



Aleksandra Borecka, Robert Kaczmarczyk

Geologiczno-inżynierska ocena zagrożeń osuwiskowych w utworach lessowych południowo-wschodniej Polski

Engineering geology evaluation of landslide hazard of southeastern Polish loess formations

Streszczenie: Pokrywa lessowa południowo-wschodniej części Polski, stanowi podłoże budowlane na obszarze blisko 15 tys. km². Z uwagi na dużą wrażliwość lessów na zmiany wilgotności, utwory te traktowane są często w geologii inżynierskiej jako „grunty niepewne”. Oddziaływanie wody prowadzi do znacznego pogorszenia się właściwości fizyko-mechanicznych lessów, zwłaszcza lessów facji eolicznej, a w konsekwencji do uaktywnienia szeregu procesów geodynamicznych stanowiących realne zagrożenie zarówno dla różnego rodzaju obiektów budowlanych (budynki mieszkalne, gospodarcze itp.), linii kolejowych, dróg, jak i dla bezpieczeństwa ludzi. W pracy przedstawiono wyniki badań podstawowych parametrów fizyko-mechanicznych lessów z okolic Sandomierza i Krasnegostawu, a także charakterystykę najbardziej typowych ruchów masowych, jakie zarejestrowano w utworach lessowych w trakcie prowadzonych prac terenowych dla potrzeb realizacji projektu badawczego na zlecenie Ministerstwa Środowiska.

Słowa kluczowe: less, właściwości fizyko-mechaniczne lessów, procesy geodynamiczne

Abstract: In the southeastern part of Poland the loess cover provides a groundbase over the area of nearly 15,000 km². Due to high sensitivity of loess for moisture changes, this soil is commonly regarded as “risky foundation”. The action of water declines both the physical and mechanical properties of loess, particularly loess of eolian origin. As a result, several geodynamic processes become active, which cause hazard for constructions (variety of buildings, railways, roads, etc.) and for humans. The paper presents the results of studies on principal, physical and mechanical properties of loess from the vicinity of Sandomierz and Krasnystaw towns as well as the

Aleksandra Borecka, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: oborecka@geol.agh.edu.pl

Robert Kaczmarczyk, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Zakład Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: rkaczmar@op.pl

characterization of most typical mass movements recorded in loess during the field studies. The research project was ordered by the Ministry of Environment.

Key words: loess, physical and mechanical properties of loess, geodynamics processes

Wprowadzenie

Ruchy masowe uważane są za jeden z najbardziej niszczących procesów geologicznych. Szacuje się, że w Polsce powstało kilkanaście tysięcy osuwisk, głównie w Karpatach, z których wiele stanowi poważne zagrożenie dla bezpiecznego użytkowania różnego rodzaju obiektów budowlanych, dróg, linii kolejowych itp. Zjawiska te, choć w mniejszej skali, spotykane są również na obszarach występowania utworów lessowych. W ramach projektu badawczego „Rejestracja i inwentaryzacja naturalnych zagrożeń geologicznych (ze szczególnym uwzględnieniem osuwisk oraz



Ryc. 1. Występowanie lessów w południowo-wschodniej Polsce wg Mapy Geologicznej 1:2 000 000 E. Rühlego i J. Mojskiego (Malinowski, 1971)

Fig. 1. Occurance of loess in southeastern Polish on the basis of E. Rühlego and J. Mojskiego Geologic Map 1:2 000 000

innych zjawisk geodynamicznych) na terenie całego kraju” wykonanego na zlecenie Ministerstwa Środowiska przeprowadzono akcję inwentaryzacji osuwisk na obszarze Wyżyny Lubelskiej, Roztocza oraz części Wyżyny Sandomiersko-Opatowskiej (ryc. 1).

Zróznicowana morfologia terenu (główny element morfologii badanego obszaru stanowi wysoczyzna lessowa, porozcinana przez stosunkowo liczne doliny erozyjne i wąwozy lessowe, opadające niejednokrotnie pionowymi lub prawie pionowymi ścianami o wysokości do kilkunastu metrów) oraz duża wrażliwość osadów lessowych na zmiany wilgotności sprawiają, że u podstawy skarp często obserwuje się koluwia powstałe w wyniku licznych obrywów, spelżywań lub innych form osuwiskowych. Nasilenie procesów osuwiskowych na tym obszarze wiąże się głównie z występowaniem intensywnych opadów atmosferycznych, wiosennymi roztopami lub innymi czynnikami naturalnymi, może być jednak również stymulowane przez nieracjonalną działalność człowieka (podcinanie skarp).

Właściwości utworów lessowych z obszaru południowo-wschodniej Polski

Najważniejsze z punktu widzenia rozwoju powierzchniowych ruchów masowych na obszarze Wyżyny Lubelskiej, Roztocza i w rejonie Sandomierza są utwory pokrywy czwartorzędowej, wykształconej w postaci lessów. Nie tworzą one zwartej i ciągłej pokrywy, ale występują najczęściej w formie płatów o powierzchni kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych, przeciętnych licznymi dolinkami erozyjnymi (rzecznymi), wąwozami i parowami o stromych, niekiedy prawie pionowych ścianach ($70\text{--}80^\circ$) i głębokości dochodzącej nawet do 10 m (fot. 1). Mięszkość pokrywy lessowej na omawianych obszarach wynosi przeciętnie 10–20 m.

Problematyką oceny właściwości geologiczno-inżynierskich utworów lessowych występujących na obszarze Polski zajmowano się od lat 50. ubiegłego stulecia. W tym czasie powstało szereg publikacji i opracowań (Malinowski, 1961; Grabowska-Olszewska, 1963; GeoTECH, 1993; Rybicki, Lendusko, 1994; Mularz, Rybicki, 1999; Borecka i in., 2006) dotyczących szczególnych właściwości charakteryzujących ten materiał gruntowy, często odróżniających go znacznie od podobnych pod względem składu granulometrycznego gruntów spoistych.

Definiując nazwę less, oparto się na definicji podanej przez Maruszczaka (2000), która brzmi następująco: *less (less właściwy) jest to węglanowy utwór pylasty, przeważnie żółto-szary, o miąższości co najmniej 2–3 m, skłonny do osiadania pod wpływem nawodnienia względnie dodatkowego obciążenia. Dominuje w nim frakcja pyłów średnich ($0,05\text{--}0,02\text{ mm} > 50\%$), wyselekcjonowana i deponowana głównie na drodze eolicznej, a więc w warunkach względnie suchego klimatu, (...) W stanie suchym wykazuje skłonności do spękania i tworzenia pionowych obrywków, które znikają, gdy less jest wilgotny i nasycony wodą.*

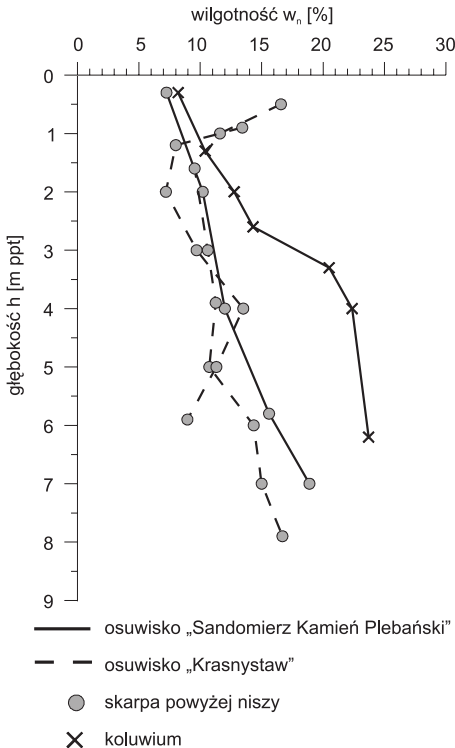
W składzie ziarnowym przebadanych lessów wyraźnie dominuje frakcja pyłowa (ok. 70%), co sprawia, że grunty te mają bardzo niski wskaźnik plastyczności (3–10%). Tak niskie wartości wskaźnika plastyczności powodują, iż nawet przy niewielkim wzroście wilgotności dochodzi do szybkiej zmiany konsystencji gruntu, ze



Fot. 1. Charakterystyczne strome, prawie pionowe skarpy utworzone w lessach – Sandomierz (fot. R. Kaczmarczyk)

Phot. 1. Typical steep, almost vertical slopes in loess – Sandomierz (phot. R. Kaczmarczyk)

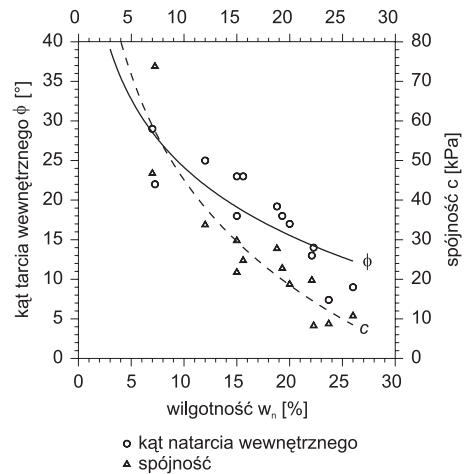
zwartej na miękkoplastyczną, np. lessy z rejonu Sandomierza (Kamień Plebański) przy wilgotności 8% charakteryzują się zwartym stanem konsystencji, a przy wilgotności 24% są w stanie plastycznym. Dalszy wzrost wilgotności może nawet prowadzić do upłynnienia lessów (spływy błotne – lessowe). Sezonowe wahania wilgotności osadów lessowych mogą być dosyć duże, np. w rejonie Sandomierza wynosiły od 2% do 12% (badania w latach 1993–1994, przeprowadzone do głębokości 4 m p.p.t.), (Rybicki, Lendusko, 1994; Mularz, Rybicki, 1999). Geologiczno-inżynierskie prace badawcze prowadzone przez autorów na osuwiskach w Krasnymstawie i Sandomierzu (Kamień Plebański) wykazały w obu przypadkach stopniowy wzrost wilgotności utworów lessowych wraz ze wzrostem głębokości, od 7,3% (0,3 m p.p.t.) do ok. 19% (6,2 m p.p.t.) dla skarpy sandomierskiej i od ok. 9% (1,5 m p.p.t.) do ok. 16% (8 m p.p.t.) dla skarpy krasnostawskiej (ryc. 2). Podwyższone wartości wilgotności w strefie przypowierzchniowej utworów lessowych z Krasnegostawu związane są z porą roku, w której prowadzone były badania geologiczno-inżynierskie – grudzień 2005 r. W przypadku osuwiska w Krasnymstawie



Ryc. 2. Zmiany wilgotności utworów lessowych z głębokością (Sandomierz, Krasnystaw)

Fig. 2. Changes in moisture content of loess with depth (Sandomierz, Krasnystaw)

maksymalne różnice wilgotności wynosiły przeciętnie 2–3% i nie wpływały w sposób znaczący na zmianę parametrów wytrzymałościowych lessów. W Sandomierzu wzrost wilgotności był bardziej wyraźny, a wartość stopnia plastyczności (I_L) zmieniająca się w zakresie od $-1,1$ ($w_n = 7,25\%$) do $0,47$ ($w_n =$



Ryc. 3. Zmiany kąta tarcia wewnętrznego (ϕ) i spójności (c) utworów lessowych w rejonie Sandomierza

Fig. 3. Changes in angel of internal friction and cohesion of loess formation in the region of Sandomierz

23,71%) rzutowała na znaczący, bo niemal 3-krotny, spadek wartości kąta tarcia wewnętrznego (φ) z $22,2^\circ$ do $7,8^\circ$ i ponad 8-krotny spadek wartości spójności (c) z 74,5 kPa do 9,0 kPa (ryc. 3).

Biorąc pod uwagę powyższe dane oraz fakt, że wzrost wilgotności o 5–10% może zmienić konsystencję gruntu ze stanu półzwarłego do miękkoplastycznego, należy stwierdzić, że istnieje dość wysokie prawdopodobieństwo ponownego uaktywnienia się części zarejestrowanych osuwisk.

Formy oraz ocena zagrożeń zarejestrowanych ruchów masowych w południowo-wschodniej Polsce

Rejestracja procesów geodynamicznych na obszarze Wyżyny Sandomiersko-Opawskiej, Wyżyny Lubelskiej i Roztocza była prowadzona w latach 2003–2005 przez pracowników Katedry Geologii Inżynierskiej i Geotechniki Środowiska AGH w Krakowie (Borecka i in., 2006). W ramach projektu badawczego zinventaryzowano 74 osuwiska, z czego prawie 90% to osuwiska rozwijające się na obszarze występowania utworów lessowych lub lessopodobnych, często bardzo urozmaiconych pod względem morfologicznym. Znacznej ilości osuwisk nie udokumentowano z powodu ograniczonego zakresu wykonywanych prac.

Charakterystyka geologiczna strefy przypowierzchniowej, zbudowanej głównie z utworów lessowych, powoduje, że dominującym rodzajem rozwijających się powierzchniowych ruchów masowych są obrywy-obwały (28 przypadków), powstające najczęściej wzdłuż wąwozów lessowych (fot. 2) lub w pobliżu zabudowań mieszkalnych i gospodarczych (fot. 3), oraz formy złożo-



Fot. 2. Wąwóz lessowy – Kazimierz Dolny (fot. A. Borecka)

Phot. 2. Loess ravine – Kazimierz Dolny (phot. A. Borecka)

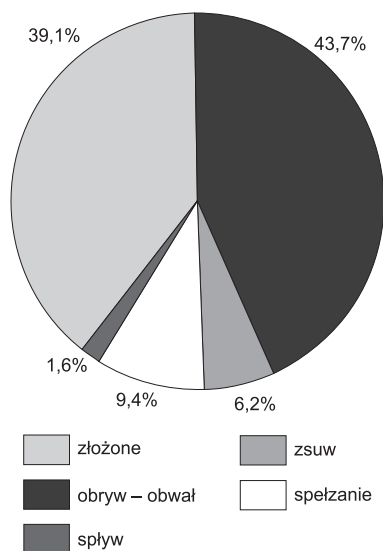


Fot. 3. Osuwisko w Krasnymstawie (fot. A. Borecka)

Phot. 3. The landslide in Krasnymstaw (phot. A. Borecka)

ne (25 przypadków), będące kompilacją kilku form osuwiskowych, np. obrywu i spelzowania, czy też zsuwu, spelzowania i spływania, rozwijające się na zboczach wyżynnych oraz zboczach dolin rzecznych. Sporadycznie stwierdzono występowanie innych form osuwiskowych, wśród których wyróżniono spelzowania (6 przypadków), zsuwy (4 przypadki) i spływy (1 przypadek) (ryc. 4). Na podstawie danych archiwalnych (Bożyński i in., 1972) oraz przekazów ustnych wyróżnić można również inne formy erozyjne (erozja żłobinowa) z siecią żłobień sięgającą do głębokości przeciętnie 20–30 cm, uformowana przez zmywy powierzchniowe, a rozwijająca się szczególnie na obszarach pól uprawnych oraz zboczach ubogich w szatę roślinną lub jej pozbawionych, nachylonych najczęściej pod kątem ok. 10°. Lessy łatwo ulegają rozmywaniu stąd liczne spływy błotne z pól uprawnych i wąwozów lessowych, które u wylotu dróg polnych oraz wąwozów tworzą często stożki napływowe, zagrażające w wielu przypadkach, bezpiecznemu poruszaniu się po drogach zarówno lokalnych, jak i powiatowych (Roztocze).

Cechą charakterystyczną lessów jest ich wysoka porowatość określana jako makroporowatość. Wysoka porowatość oraz działalność wody prowadzi do uaktywnienia szeregu procesów deformacyjnych, wśród których oprócz typowych procesów osuwiskowych opisanych wyżej można wyróżnić również osiadanie zapadowe oraz procesy sufozyjne, prowadzące do powstania pustek, kawern, kanałów, które



Ryc. 4. Rodzaje form ruchów masowych występujących w utworach lessowych
Fig. 4. Types of mass movements in loess formation



Fot. 4. Niszcząca działalność wody w utworach lessowych – lej sufozyjny – Kazimierz Dolny (fot. A. Borecka)

Phot. 4. Destructive activity of water in loess – piping sink – Kazimierz Dolny (phot. A. Borecka)

z czasem zapadają się, tworząc na powierzchni terenu szereg form typu: niecki, leje, kotły, studnie (fot. 4). Zjawiska te pociągają za sobą znaczne szkody zwłaszcza na terenach zabudowanych. Wadliwe działanie rynien deszczowych, urządzeń odwadniających, sieci kanalizacyjnej, brak szczelnej nawierzchni były i nadal są przyczynami zapadania się i wymywania podłoża lessowego na terenach Starego Miasta, jak też przyległych ulic Lublina i Sandomierza (lata 60., 70., 90.), (Malinowski, 1961; Grabowska-Olszewska, 1963; Wiąchowski, 1970; Bożyński i in, 1972; GeoTECH, 1993; Rybicki, Lenduszko, 1994; Mularz, Rybicki, 1999). Skutkiem tego były i są popękane nawierzchnie jezdni, chodników i podwórek oraz uszkodzone (popękane) (fot. 6, 7), a niekiedy wręcz zrujnowane ściany zabytkowych kamienic.

Aktywność osuwisk występujących w rejonie Sandomierza jest stosunkowo niewielka. Dominują zdecydowanie osuwiska mało aktywne (33), odnawiające się w cyklu wieloletnim. Tylko 2 spośród zarejestrowanych 38 osuwisk charakteryzowały się dużą aktywnością, a trzy uznano za ustabilizowane. Znacznie większą aktywność wykazywały osuwiska zlokalizowane na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Spośród 26 zinwentaryzowanych osuwisk 16 (60%) charakteryzowało się dużą aktywnością, 9 zostało uznanych za mało aktywne i tylko jedno osuwisko potraktowano jako osuwisko ustabilizowane (Dobre k. Kazimierza Dolnego). Można więc stwierdzić, że pod względem aktywności (rozwoju) procesów geodynamicznych przeważająca część zarejestrowanych osuwisk to osuwiska mało aktywne, podlegające zmianom w cyklu wieloletnim (ok.



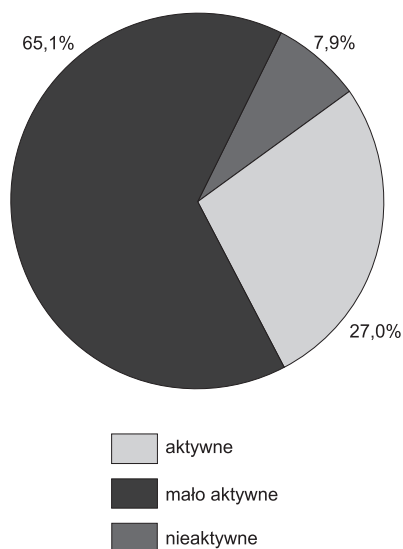
Fot. 5. Procesy osuwiskowe przy drogach poprowadzonych wzdłuż wąwozów lessowych (fot. A. Borecka)

Phot. 5. Destructive processes next to roads carried out along loess ravines (phot. A. Borecka)



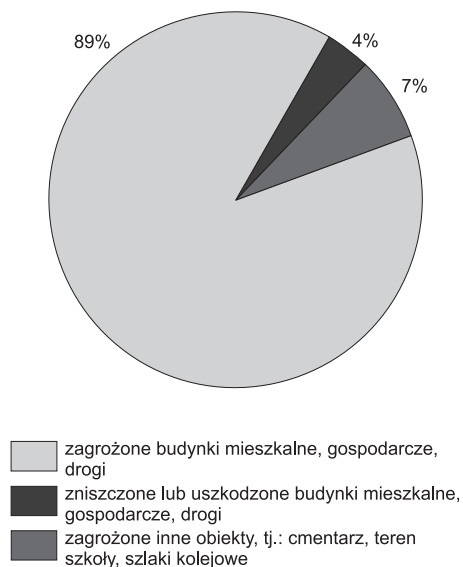
Fot. 6–7. Niszcząca działalność wód na przykładzie Sandomierza (fot. R. Kaczmarczyk)

Phot. 6–7. Destructive activity of waters for example Sandomierz (phot. A. Borecka)



Ryc. 5. Aktywność osuwisk zarejestrowanych w utworach lessowych

Fig. 5. Activity of landslides observed in loess formation



Ryc. 6. Ocena zagrożeń osuwiskowych rozwijających się w utworach lessowych

Fig. 6. Evaluation of landslide hazards developed in loess formations

65%). Znacznie mniejszą grupę stanowią osuwiska o charakterze aktywnym (ok. 27%) odnawiające się przy najmniej raz w roku, natomiast do najmniej licznej grupy, bo zaledwie 8-procentowej, zaliczono osuwiska nieaktywne – ustabilizowane (ryc. 5).

Rejony miejskie Sandomierza, Kazimierza Dolnego, Izbicy czy też Krasnogostawu są gęsto zaludnione i intensywnie zagospodarowane, stąd też nawet niewielkie i słabo aktywne osuwiska stwarzają duże zagrożenie dla budynków mieszkalnych (21 przypadków) i gospodarczych (18 przypadków) (fot. 3) oraz infrastruktury technicznej, zwłaszcza dróg (24 przypadki) – np. odcinek drogi łączącej Parchatkę ze Zbędowicami w powiecie puławskim (fot. 5, ryc. 6). W znacznym stopniu zagrożone są również tereny cmentarzy (Kazimierz Dolny), szkół (Izbica), pola uprawne, łąki oraz drogi lokalne i ścieżki dydaktyczne biegnące wzdłuż wąwozów lessowych – np. wąwóz Korzenio-wy Dół w Kazimierzu Dolnym (fot. 2). W kilku przypadkach nastąpiło uszkodzenie dróg – np. w miejscowości Pliszczyn koło Lublina.

Infiltracja wód opadowych w głąb podłoża lessowego, erozyjna działalność wód opadowych i roztopowych oraz podcięcia erozyjne to prawie 80% wszystkich czynników wpływających istotnie na rozwój procesów geodynamicznych w obrębie utworów lessowych południowo-wschodniej Polski (ryc. 7).

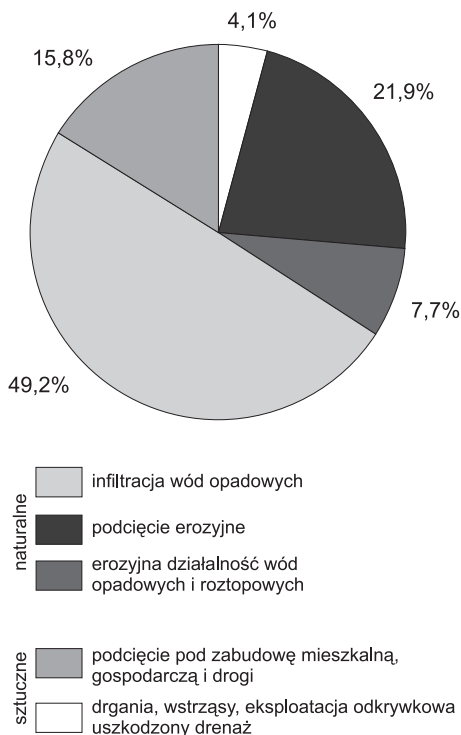
Opisane wyżej zjawiska dodatkowo potęguje niszcząca działalność człowieka. Nagminnemu podcinaniu lub podkopywaniu podstawy zboczy pokryw lessowych i wąwozów dla celów budowy dróg (Gałkowice, Marcetki, Kazimierz Dolny i in.), pobieraniu materiału lessowego jako surowca

budowlanego (Zagrody, Zastawie) lub powiększaniu powierzchni użytkowych działek budowlanych (Krasnystaw – fot. 3, Izbica, Kazimierz Dolny, Nałęczów, Sandomierz i in.) towarzyszy szereg procesów osuwiskowych.

Podsumowanie

Ze względu na ograniczony zakres wykonanych prac inwentaryzacyjnych przytoczone dane nie odzwierciedlają w pełni faktycznego stanu rozwoju ruchów masowych zarejestrowanych w utworach lessowych południowo-wschodniej Polski. Również ze względu na ciągłe tendencje rozwojowe procesów osuwiskowych omawianego obszaru przedstawiony stan należy traktować jako chwilowy.

Należy oczekiwać dużej aktywności osuwiskowej, zwłaszcza na obszarach występowania pokrywy lessowej pozbawionej szaty roślinnej. Miejsca te są szczególnie narażone na działania wód opadowych i roztopowych, które stają się główną przyczyną powstawania i rozwoju szeregu procesów osuwiskowych. Nie wolno również zapominać o istotnym udziale człowieka w ich rozwoju.



Ryc. 7. Procentowy udział poszczególnych czynników naturalnych i sztucznych w rozwoju procesów geodynamicznych w utworach lessowych

Fig. 7. Percentage fraction of natural and artificial factors in evolution of geodynamic processes in loess formations

Literatura

- Borecka A., Kaczmarczyk R., i in. 2005. Rejestracja i inwentaryzacja naturalnych zagrożeń geologicznych (ze szczególnym uwzględnieniem osuwisk oraz innych zjawisk geodynamicznych) na terenie całego kraju – rejon Sandomierza i Lubelszczyzna, Sprawozdanie z badań do projektu badawczego nr 415/2002/Wn-12/FG-go-tx/D dla MŚ. AGH, Kraków (www.geozagrozenia.agh.edu.pl).
- Bożyński J., Malinowski J., Kastory L., Miłoszewska W., Kühn A., 1972. Katalog osuwisk województwa lubelskiego. IG, Zakład Geologii Inżynierskiej, Warszawa.
- GeoTECH, 1993. Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla opracowania modelu warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych Wzgórza Sandomierskiego w Sandomierzu. Maszynopis.

- Grabowska-Olszewska B., 1963. Właściwości fizyko-mechaniczne utworów lessowych północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej na tle ich litologii i stratygrafii. *Biuletyn Geologiczny Wydziału Geologicznego UW* 3.
- Malinowski J., 1971. *Badania geologiczno-inżynierskie lessów*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Maruszczak H., 2000. Definicja i klasyfikacja lessów oraz utworów lessopodobnych. *Przegląd Geologiczny* 48: 580–586.
- Mularz S., Rybicki S., 1999. Geologiczno-inżynierskie uwarunkowania deformacji terenu i szkód budowlanych w staromiejskiej dzielnicy Sandomierza. *Przegląd Geologiczny* 47: 1117–1124.
- Rybicki S., Lendusko P., 1994. *Opracowanie modelu warunków geologiczno-inżynierskich hydrogeologicznych Wzgórza Sandomierskiego*. Sprawozdanie z badań do projektu celowego KBN 9915529/758. AGH, Kraków. Maszynopis.
- Wiąchowski S., Kłębok A., Stała Z., 1970. *Sprawozdanie z prac dotyczących rejestracji zapadlisk na terenie miasta Lublin*. „Geoprojekt” Przedsiębiorstwo Geologiczno-Fizjograficzne i Geodezyjne Budownictwa, Warszawa.