

Geologiczno-inżynierskie i geomorfologiczne uwarunkowania erozji wąwozowej w lessach w rejonie Kazimierza Dolnego (wąwóz Opolska Droga)

Zbigniew Frankowski*, Dariusz Grabowski*



Z. Frankowski

D. Grabowski

Engineering-geological and geomorphological conditions of gully erosion in loess deposits in the Kazimierz Dolny area (Opolska Droga Gully). *Prz. Geol.*, 54: 777–783.

S u m m a r y . The article presents the problem of intense erosion in loess gullies in the locality Kazimierz Dolny. Primary reasons for such a quick development of gullies are: lithogenetic and physical-mechanical characteristics of loess, geomorphological and climatic conditions of the region and also human activity. Gully erosion impedes rural activity and communication in the area and causes considerable damages to local roads. In one of the loess gullies typical for the region, called „Opolska Droga” near Kwaskowa Góra, physical and mechanical parameters were examined by field and laboratory tests. The results revealed a clear correlation: shear strength of loess considerably decreases when its natural moisture content increases. What is also important, the structure of loess — loose soil skeleton mostly built of quartz and small amount of cementing clay particles — is prone to erosion. Thus, its adverse

susceptibility to influence of water occurs to be primary reason of intensive gully erosion development in the area of Nałęczów Plateau. Additionally, geomorphological and climatic conditions, together with human rural activity (often using gullies as local ways of road transport) result in faster erosion development and, in effect, they lead to disastrous results like those that took place in the region during extreme rainfalls some years ago. Any stabilizing engineering works within loess gullies should be preceded by appropriately designed system for the regulation of run-off in the drainage area.

Key words: loess gully erosion, shear strength and natural moisture content in loess

Intensywne procesy erozji gleb, a w szczególności erozji w rejonach pokrytych osadami mało odpornymi (lessami), są na obszarze Polski znane powszechnie z terenu Wyżyny Lubelskiej, a zwłaszcza w mezoregionie Płaskowyżu Nałęczowskiego (Maruszczak, 1973; Maruszczak i in., 1984; Maruszczak, 1986; Gardziel i in., 1996; Zgłobicki, 1998). Procesy te uwarunkowane są lokalnymi czynnikami morfologicznymi i występowaniem miększej pokrywy lessowej z silnie rozwiniętą siecią wąwozów.

Płaskowyż Nałęczowski obejmuje obszar zbliżony kształtem do równoległoboku o dłuższej osi ok. 45 km i szerokości 10–13 km, ograniczony dolinami Wisły (od zachodu) i Bystrzycy (od wschodu) oraz krawędziami morfologicznymi (od północy i południa). Orientacja osi i krawędzi płaskowyżu jest zbliżona do kierunku WNW–ESE. Powierzchnia płaskowyżu, nadbudowana utworami czwartorzędowymi, w obrębie których największe rozprzestrzenienie mają lessy, wznosi się średnio 200–230 m n.p.m. Jednocześnie jest to obszar znacznych deniwelacji terenu: w północnej części obejmującej krawędź Wyżyny Lubelskiej wynoszą one 40–45 m, wewnątrz płaskowyżu osiągają 30 m, a w części zachodniej obejmującej zbocza doliny Wisły — dochodzą do 90–100 m.

Płaskowyż Nałęczowski wyróżnia się spośród pozostałych mezoregionów Wyżyny Lubelskiej miększą pokrywą lessową (średnio ok. 15 m, maksymalnie ponad 30 m) porożcinaną licznymi i głębokimi wąwozami (Dowgiałło, 1981; Burczyński i in., 2005). Średnia gęstość sieci tych wąwozów wynosi ok. 5 km/km², ale w części zachodniej płaskowyżu dochodzi nawet do 11 km/km² — jest to wartość ekstremalna nawet w skali Europy (Maruszczak, 1973; Harasimiuk & Henkiel, 1978). Podobna gęstość sieci wąwozów drogowych (> 5 km/km²) w obrę-

bie pokrywy lessowej występuje jedynie na obszarze między Janowem Lubelskim a Zamościem.

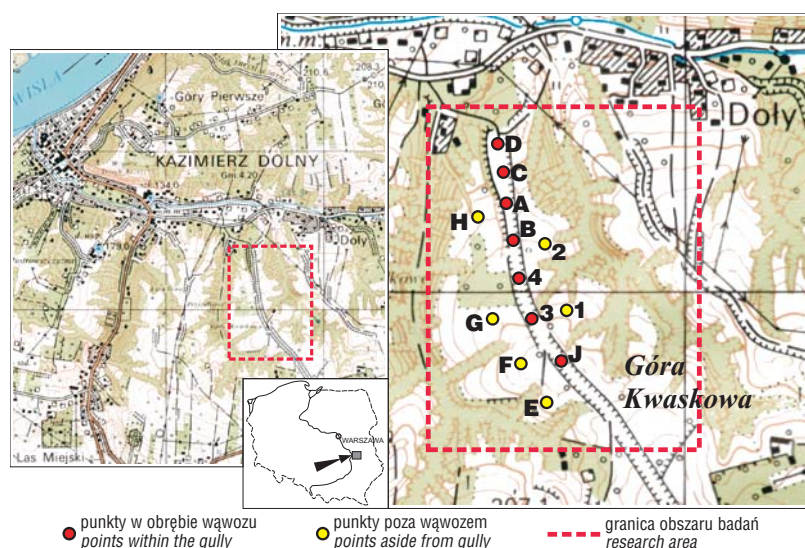
Znaczną część tych wąwozów, o przeważającej rozciągłości zgodnej z kierunkiem nachylenia stoku, stanowią drogi użytkowane rolniczo, na których odbywa się okresowy ruch kołowy. Jednocześnie te same wąwozy drogowe są wykorzystywane przez spływ wód powierzchniowych, odbywający się w czasie okresów deszczowych i roztopów zimowo-wiosennych. W czasie intensywnych i gwałtownych opadów ukierunkowany spływ wód powoduje silną erozję ścian i dna wąwozów oraz wynoszenie znacznych ilości materiału lessowego, akumulowanego najczęściej u wylotu wąwozu (Zgłobicki, 1998, 2002). W wielu przypadkach procesy erozyjne prowadzą do znacznych przekształceń i zniszczeń w obrębie samego wąwozu (powstawanie bruzd i rozcięć, pogłębianie dna, osuwanie się ścian), niejednokrotnie wyłączając go na pewien czas z użytkowania drogowego. Równocześnie materiał wynoszony z wąwozów stanowi bardzo duże zagrożenie dla ruchu kołowego odbywającego się na szosach, prowadząc w ekstremalnych przypadkach do poważnych uszkodzeń i zniszczeń odcinków jezdni położonych najbliższej wylotu wąwozu.

Procesy erozji wąwozowej są poważnym utrudnieniem dla funkcjonowania lokalnej społeczności, zwłaszcza dla rolników użytkujących pola, znajdujące się pomiędzy wąwozami drogowymi. Procesy te prowadzą z jednej strony do znacznego ograniczenia, a nawet całkowitego wyłączenia najsilniej erodowanych wąwozów z użytkowych funkcji komunikacyjnych, jakie pełnią na tym obszarze, z drugiej strony stopniowo ograniczają (zmniejszają) powierzchnie pól uprawnych.

Główne przyczyny erozji wąwozowej

Obszar Płaskowyżu Nałęczowskiego jest terenem, gdzie intensywność i szybkość procesów erozji wąwozowej zachodzi na bardzo dużą skalę. Średnie roczne tempo

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; zbigniew.frankowski@pgi.gov.pl; dariusz.grabowski@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań
Fig. 1. Location of the study area

pogłębiania wąwozów drogowych wynosi ok. 4,5 cm/rok, a wartość ta zmienia się w zakresie 2–9 cm/rok (Nowocień, 1996; Rodzik i in., 1996). Takie wskaźniki wielkości erozji należą do największych w skali wyżynnych obszarów europejskich (Maruszczak, 1973). W innych obszarach lessowych zarówno w Polsce, jak i w Europie, procesy erozji wąwozowej zachodzą na znacznie mniejszą skalę.

Główne przyczyny intensywnej erozji wąwozowej na obszarze Płaskowyżu Nałęczowskiego są wynikiem trzech podstawowych czynników:

- 1) cech litogenetycznych i fizyczno-mechanicznych samego lessu;
- 2) specyfiki geograficznej omawianego obszaru;
- 3) działalności człowieka.

Lessy Płaskowyżu Nałęczowskiego charakteryzują się bardzo wysoką zawartością frakcji pyłowej (średnio ok. 70%) oraz względnie niską zawartością frakcji iłowej (średnio 10–15%) i węgla wapnia (średnio 4–7%), co powoduje małą spoistość osadu (Dowgiało, 1981; Bura-czyński i in., 2005). Wymienione cechy, w połączeniu ze znaczną miąższością (20–30 m) pokryw lessowych, oraz z cechami fizycznymi i mechanicznymi, które ulegają zasadniczym zmianom ze wzrostem wilgotności ośrodka gruntowego, powodują, że odporność lessów na działanie czynników erozyjnych jest bardzo mała.

Przy omawianiu powstawania i rozwoju wąwozów w strefach krawędziowych wysoczyzn zbudowanych z lessów konieczne jest przedstawienie specyficznych właściwości tych gruntów. Lessy jako subaeralny osad pyłowy pochodzenia eolicznego wyróżniają się specyficznymi cechami litogenetycznymi. Wykształcenie tych cech jest związane bezpośrednio z akumulacją lessu na obszarach zmarzliny plejstoceńskiej w strefie peryglacialnej przedpola łąd lodowców (Liszkowski, 1994). Z punktu widzenia charakterystyki do ważnych elementów należą: geneza, typ litologiczny, skład mineralny i uziarnienie, struktura i typy wiązań oraz cechy fizyczne i mechaniczne. Do cech fizycznych wyróżniających lessy z innych osadów należą:

- mała wilgotność naturalna w profilach pionowych,
- duża porowatość,
- nietrwała struktura,
- szybkie rozmokanie,
- mała gęstość objętościowa szkieletu gruntowego.

W przypadku cech mechanicznych istotna jest duża wytrzymałość lessów w warunkach niewielkiej wilgotności oraz szybki spadek wytrzymałości tych gruntów w wyniku zmian ich stanu i/lub struktury.

Na obszarze Płaskowyżu Nałęczowskiego w rejonach występowania gęstej sieci wąwozów znaczne rozprzestrzenienie i miąższość mają lessy najmłodsze, które stratygraficznie zaliczono do lessów młodszych górnych — LMg (Maruszczak, 1991).

Wyniki badań polowych i laboratoryjnych

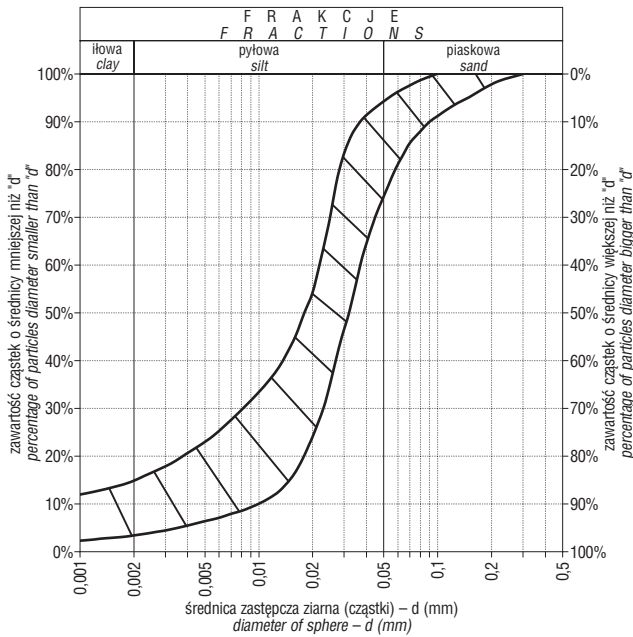
Geologiczno-inżynierskie badania lessów występujących na Wyżynie Lubelskiej były prowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny w okresie kilkunastu lat. Badaniami objęto głównie lessy młodsze (LM), a szczególnie dużo uwagi poświęcono lessom młodszym górnym (LMg), gdyż stanowią podłoże różnych obiektów budowlanych. W rejonach tych badań w Kazimierzu Dolnym na Kwaskowej Górze przeprowadzono w kilku okresach wieloma metodami polowymi szeroką ocenę geologiczno-inżynierską lessów. Kompleksowymi badaniami objęty był także wąwóz Opolska Droga — punkty badawcze były położone w obrębie wąwozu i w odległości kilkunastu metrów od jego ścian (ryc. 1).

Badania lessów wskazują, że podstawowym elementem strukturalnym tych utworów są ziarna i agregaty składające się z cząstek pyłowych, ilastych i koloidalnych zespolonych wiązaniami koagulacyjno-cementacyjnymi (Grabowska-Olszewska, 1988, 1998). Węglan wapnia jest głównym składnikiem cementującym cząstki, a minerały ilaste i cząstki koloidalne głównym koagulantem. Udział frakcji agregatowej odpowiadającej frakcji pyłowej wynosi od ok. 67 do ok. 77% (Myślińska, 2004). Wymiary agregatów najczęściej mają wielkość odpowiadającą frakcji pyłowej oraz w niewielkim procencie odpowiadają piaskom drobnym. W lessach o większym udziale agregatów zawartość frakcji grubopyłowej (0,06–0,02 mm wg BS 1377) i piaskowej wzrastają.

Lessy mają mikrostrukturę szkieletową, co spowodowane jest dużą zawartością cząstek pyłowych o wymiarach 0,02–0,05 mm. Udział tej frakcji (zwanej frakcją „lessową”) w lessach często wynosi ponad 50%. Mikrostruktura ta charakteryzuje się luźnym szkieletem o równomiernych porach (Grabowska-Olszewska, 1988). Szkielet jest zbudowany z ziaren kwarcu, skaleni i minerałów ilastych oraz węgla wapnia i tlenków żelaza.

Zróżnicowanie zawartości węgla wapnia występuje zarówno z głębokością, jak i przestrzennie. Węgla, jako związki rozpuszczalne w wodzie, są łatwo wymywane z pierwotnych poziomów. Powstają strefy odwapnienia o miąższości nawet do kilku metrów. Zmiany w zawartości węglanów zachodzą również podczas procesów glebowych (wietrzeniowych). Zawartość węgla wapnia w niezwiędzniętych lessach na Wyżynie Lubelskiej zmienia się od 2 do 20%, przy najczęściej występujących wartościach od 5 do 8%.

Do oceny parametrów fizyczno-mechanicznych lessów zastosowano m.in. badania radiometryczne, sondowania dynamiczne i statyczne oraz sondą krzyżakową. W



Ryc. 2. Zróżnicowanie uziarnienia lessów młodszych (LM) w rejonie Kwaskowej Góry

Fig. 2. Variability in grain size distribution in younger less (LM) in the locality Kwaskowa Góra

profilach pionowych do głębokości ok. 10–11 m pomiarami izotopowymi w odstępach 0,20 m określono wartości gęstości objętościowej (ρ) i wilgotności objętościowej (w_o).

Na podstawie ρ i w_o wyznaczonych metodami radiometrycznymi, przy przyjęciu dla lessów wykształconych jako pyły i gliny pylaste gęstości właściwej szkieletu gruntowego $\rho_s = 2,67 \text{ Mg/m}^3$, obliczono wartości wskaźnika porowatości i stopnia wilgotności (Borowczyk & Frankowski, 1979). Sondowania dynamiczne wykonano sondą lekką (DPL), a sondowania statyczne sondą CPT szwedzkiej firmy Borro.

Wytrzymałość na ścinanie lessów określono za pomocą sondy krzyżakowej (FVT). Badania przeprowadzono końcówką krzyżakową o średnicy 40 mm i wysokości 80 mm. Prędkość obrotu końcówki krzyżakowej była stała i wynosiła $5^\circ/\text{min}$.

Do badań laboratoryjnych próbki gruntu o nienaruszonej strukturze pobrano cienkościennymi cylindrami (grubość ścianki cylindra 1 mm).

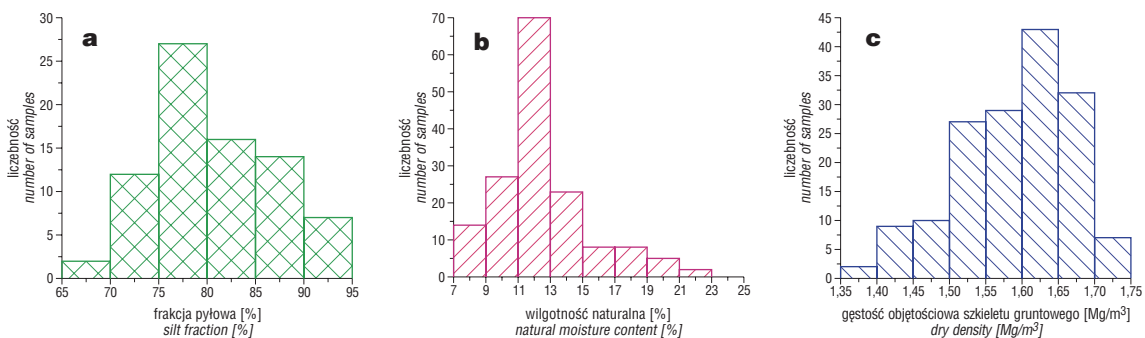
Jedną z ważniejszych cech lessów jest ich uziarnienie. Lessy wysoczyznowe (wierzchowinowe) Kwaskowej

Góry pod względem granulometrycznym są wykształcone głównie jako pyły, a w głębszych poziomach jako gliny pylaste (zgodnie z klasyfikacją wg polskiej normy PN-86/B-02480). Zróżnicowanie uziarnienia badanych lessów przedstawiono na ryc. 2, opracowanej na podstawie 78 analiz areometrycznych. Największy procentowy udział ma frakcja pyłowa (0,002–0,05 mm wg PN-86/B-02480). Z histogramu (ryc. 3a) wynika, że duża zawartość frakcji pyłowej w przedziale 75–80% jest najczęstsza w badanych próbkach lessu. Udział pozostałych frakcji jest znacznie mniejszy. Średnia zawartość frakcji iłowej wynosiła 7,6%, a frakcji piaskowej 13,3% (tab. 1). W badanych profilach nie stwierdzono występowania warstwek lub soczewek piasków. Jedynie w stropowej części pokrywy lessowej w strefie głębokości od powierzchni do 1,0 m występowały warstewki piasku pylastego o miąższości od 1,0 do 2,0 cm.

Na właściwości lessów istotny wpływ ma wilgotność naturalna. W punktach badawczych w rejonie wąwozu wilgotność oznaczono metodą radiometryczną oraz na próbkach gruntu w laboratorium. Na podstawie wartości wilgotności objętościowej uzyskanej z pomiarów metodą radiometryczną obliczono wilgotność naturalną. W rejonie Kwaskowej Góry wilgotność ta zmieniała się w przedziale od 7,7 do 22,8%, a średnio 12,5% (ryc. 3b, tab. 1).

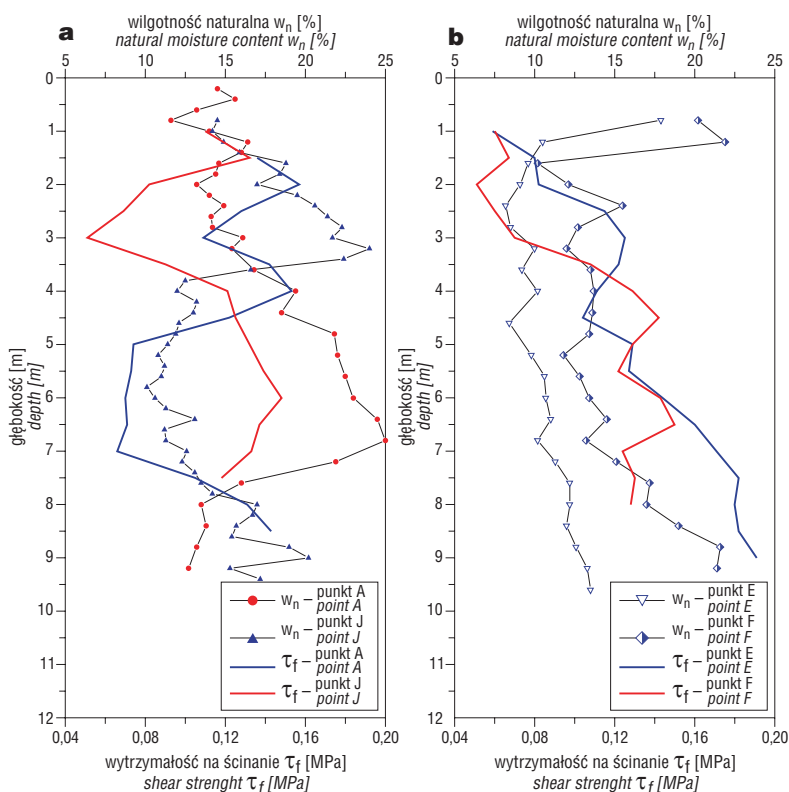
Lessy wysoczyznowe o małej wilgotności naturalnej (w_n) charakteryzują się największymi parametrami wytrzymałościowymi. Zmienność wartości wilgotności naturalnej i wytrzymałości na ścinanie (τ_f) określonej sondą krzyżakową (FVT) w profilach pionowych przedstawiono na ryc. 4. W punktach A i J położonych w wąwozie zaznaczają się strefy o podwyższonej wilgotności (ryc. 1). W punkcie A od 4 do 8 m, a w punkcie J od 2 do 4 m. Pomiary wytrzymałości na ścinanie sondą krzyżakową wykazały występowanie wyraźnego obniżenia wytrzymałości lessu w strefach zawilgoconych. W punktach E i F zlokalizowanych poza wąwozem, przy wilgotności naturalnej lessu od 7 do 18%, nie zaznacza się obniżenie wartości wytrzymałości na ścinanie.

Wykonane przy punktach badawczych A, J, E i F sondowania dynamiczne sondą DPL i statyczne sondą CPT (ryc. 5) wykazały podobną reakcję na zmiany wilgotności naturalnej jak uzyskano sondą krzyżakową (ryc. 4). Wartości liczby uderzeń (N_{10}) sondy DPL i oporu stożka (q_c) sondy CPT są wyraźnie mniejsze w punktach A i J niż w E i F. W punkcie E badania sondami FVT, CPT i DPL wykazały znaczną wytrzymałość lessu w warunkach naturalnej wilgotności wynoszącej od 7 do 12%.



Ryc. 3. Histogramy wartości frakcji pyłowej (a), gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (b) i wilgotności naturalnej (c)

Fig. 3. Histograms of values of clay fraction (a), dry density (b) and natural moisture content (c)



Ryc. 4. Zmienność wartości wytrzymałości na ścinanie i wilgotności naturalnej z głębokością; a) w wąwozie, b) poza wąwozem

Fig. 4. Dependence of shear strength and natural moisture content on depth; a) in the gully, b) aside from gully

Na rycinie 6 przedstawiono zależność wytrzymałości na ścinanie z sondy krzyżakowej od wilgotności naturalnej. Wartości wytrzymałości na ścinanie (τ_f) pomierzone w 9 punktach sondą krzyżakową wynosiły od 0,051 do 0,211 MPa. Na próbkach gruntu pobranych z poziomów, na których wykonano pomiary sondą krzyżakową oznaczono wilgotność w laboratorium. Pomimo dość znacznego rozrzutu punktów wyraźna jest zależność między obu mierzonymi cechami.

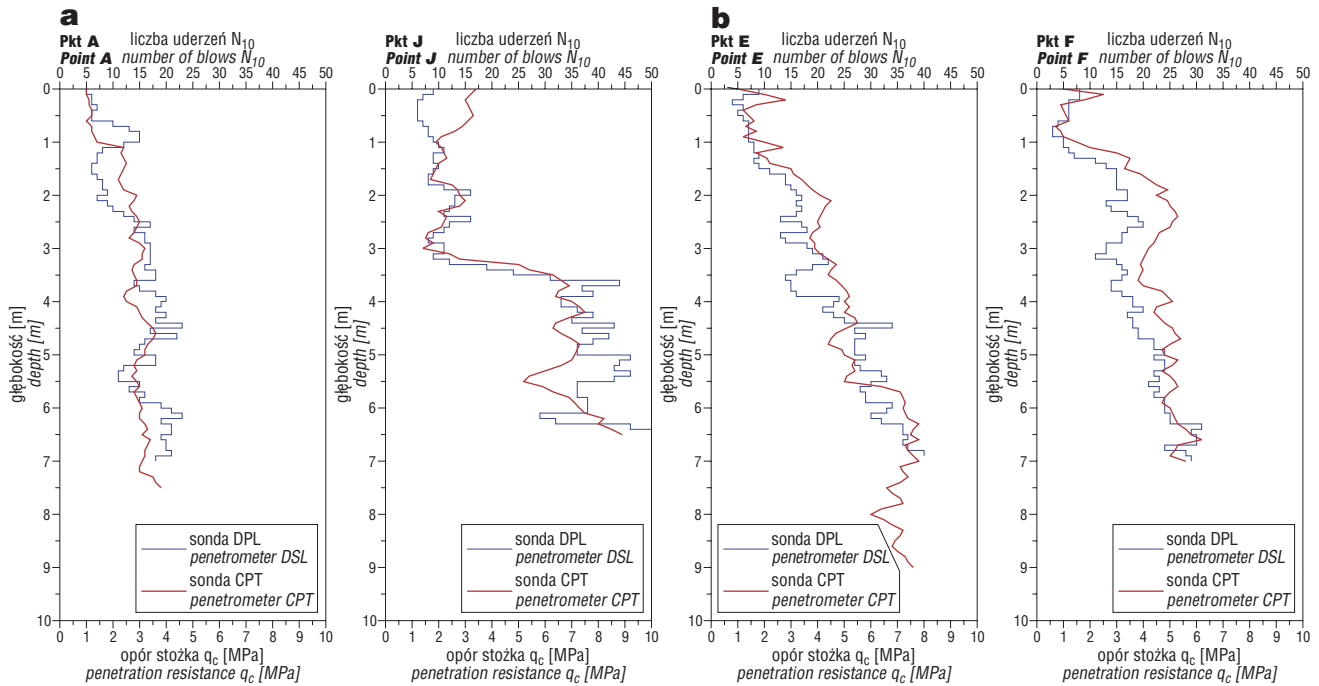
W funkcji głębokości pokazano zmiany stopnia wilgotności (S_r) w punktach wykonanych w wąwozie oraz w punktach oddalonych kilkanaście metrów od niego (ryc. 7). Wartości stopnia wilgotności w wąwozie (pkt. B, C, D, 3 i 4) zmieniają się od 0,45 do 0,7 w strefie głębokości do około 4 m, a głębiej dochodzą do S_r bliskiego wartości 1,0. Wyraźnie zaznacza się wpływ wód opadowych okresowo płynących wąwozem. W punktach zlokalizowanych poza wąwozem (pkt. E, H, F, G, 1 i 2) stopień wilgotności wynosi od 0,3 do 0,6 w strefie głębokości do ok. 11 m, a jedynie w niektórych punktach jest wyższy.

Badania terenowe i laboratoryjne wykazały, że lessy o wysokiej porowatości ogólnej szybko reagują na wodę. Charakterystykę porowatości lessów występujących na Kwaskowej Górze przedstawiono w postaci wykresów wartości wskaźnika porowatości (e). Na ryc. 8 przedstawiono wartości wskaźnika porowatości w punktach położonych w

Tab. 1. Parametry fizyczno-mechaniczne lessów młodszych górnych w rejonie Kwaskowej Góry. Symbole: f_p – frakcja piaskowa, f_π – frakcja pyłowa, f_i – frakcja ilasta, w_n – wilgotność naturalna, ρ_d – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, S_r – stopień wilgotności, e – wskaźnik porowatości, w_L – granica płynności, w_p – granica plastyczności, τ_f – wytrzymałość na ścinanie

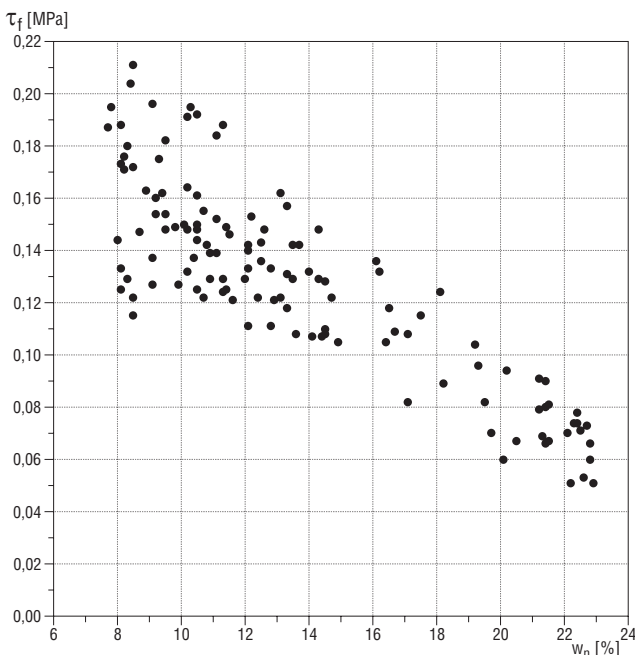
Table 1. Physical and mechanical parameters of upper younger loess in locality of Kwaskowa Mountain. Symbols: f_p – sand-size grains, f_π – silt-size particles, f_i – clay fraction, w_n – natural moisture content, ρ_d – dry density, S_r – degree of saturation, e – void ratio, w_L – liquid limit, w_p – plastic limit, τ_f – shear strength

Miary zmienności Measures of variability	Parametr Parameter									
	f_p (%)	f_π (%)	f_i (%)	w_n (%)	ρ_d (Mg/m ³)	S_r (–)	e (–)	w_L (%)	w_p (%)	τ_f (MPa)
min min	4,0	65,0	3,0	7,2	1,39	0,21	0,49	23,8	18,6	0,031
max max	19,0	93,0	15,0	25,8	1,73	0,99	1,27	32,7	24,7	0,245
średnia average	13,3	79,1	7,6	12,5	1,58	0,48	0,70	26,5	20,6	0,118
odchylenie standardowe standard deviation	7,7	6,8	3,5	3,0	0,08	0,14	0,12	2,3	1,1	0,046
mediana median	13,5	78,0	7,0	12,2	1,60	0,45	0,67	25,7	20,8	0,112
liczba oznaczeń number of tests	78	78	78	169	157	187	187	25	25	143



Ryc. 5. Zmienność wartości liczby uderzeń sondy DPL i oporu stożka sondy CPT z głębokością; a) w wąwozie, b) poza wąwozem
Fig. 5. Dependence of number of blows (DPL) and CPT core resistance on depth; a) in the gully, b) aside from gully

wąwozie i poza nim. Linia przerywaną zaznaczono wartości wskaźnika porowatości $e = 0,72$, która odpowiada porowatości 42%. Znaczna liczba badań wykazała, że lessy wykształcone jako pyły (wg klasyfikacji PN-86/B-02480), o stopniu wilgotności $S_r < 0,6$ i porowatości $> 42\%$ mogą charakteryzować się strukturą nietrwałą (Borowczyk & Frankowski, 1979; Frankowski, 1979). W lessach o strukturze nietrwałej pod wpływem wody następuje gwałtowny spadek wytrzymałości na ścinanie i bardzo szybki rozwój deformacji objętościowych.



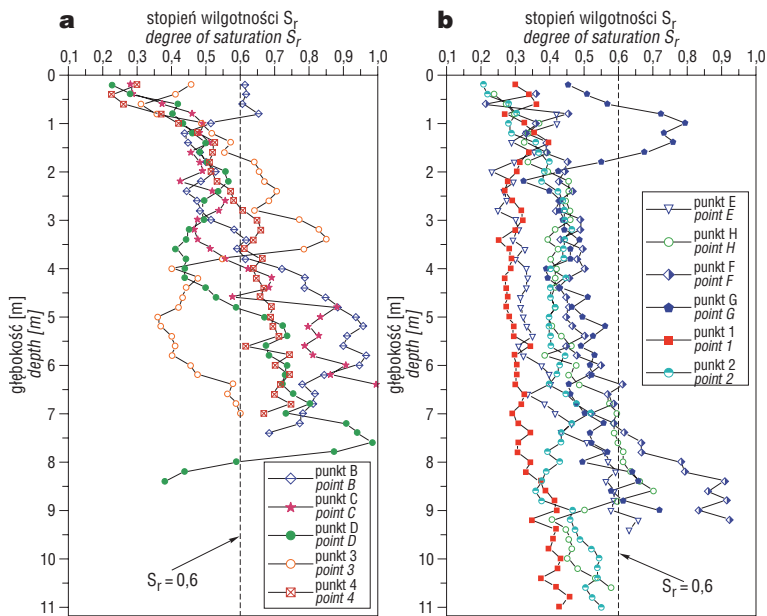
Ryc. 6. Zależność wytrzymałości na ścinanie (τ_f) od wilgotności naturalnej (w_n) lessów młodszych (LM) z rejonu Kwaskowej Góry
Fig. 6. Dependence of shear strength (τ_f) on natural moisture content (w_n) in younger loess (LM) in the locality Kwaskowa Góra

Do charakterystycznych cech lessu zaliczana jest przez wielu badaczy gęstość objętościowa szkieletu gruntowego (ρ_d). Parametr ten określono za pomocą pomiarów izotopowych i oznaczeń w laboratorium. Zmienność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego lessów w rejonie wąwozu na Kwaskowej Górze przedstawiono na histogramie (ryc. 3c). Wartości ρ_d z punktów badawczych położonych w otoczeniu wąwozu wynosiły od 1,42 do 1,67 Mg/m^3 , a w punktach położonych w wąwozie od 1,62 do 1,75 Mg/m^3 . Wartości $\rho_d < 1,6 Mg/m^3$ są charakterystyczne dla lessów o wilgotności poniżej 13%.

Analiza wyników badań

Właściwości fizyczno-mechaniczne lessu są decydującym elementem w procesach odkształceń tego ośrodka gruntowego pod wpływem opadów atmosferycznych. Istotną cechą jest bardzo mała odporność lessu na oddziaływanie wód. Wiąże się ona z mikrostrukturą szkieletową lessów, która stanowi luźny szkielet zbudowany z ziaren frakcji pyłowej, głównie kwarcu. Udział cząstek ilastych jest niewielki i są nierównomiernie rozłożone. Łączą ziarna i agregaty za pomocą tzw. mostków (Grabowska-Olszewska, 1988). Powoduje to, że wiązania między elementami strukturalnymi są typu koagulacyjnego. W warunkach nasycenia lessu wodą wiązania te łatwo ulegają niszczeniu, występuje szybki rozwój deformacji struktury gruntu aż do upłynięcia. Badania szybkości rozmakania kostek lessu (pyły) o wymiarach $5 \times 5 \times 5$ cm wykazały, że całkowity ich rozpad następuje po około 1–2 minutach.

W strukturze szkieletowej przeważający udział mają otwarte pory o wielkości kilku mikrometrów. Ich procentowy udział w lessach młodszych górnych z rejonu Kwaskowej Góry wynosi od 58 do ponad 70%. Wielkość porów określona za pomocą porozymetru rtęciowego firmy Micromeritics wynosi od 3 do 11 μm .



Ryc. 7. Zmienność wartości stopnia wilgotności z głębokością
 Fig. 7. Changes of degree of saturation with depth

Stosunkowo mała gęstość ułożenia ziaren i cząstek powoduje, że pod wpływem wody występuje filtracyjne niszczenie struktury lessu. Przenikanie wód opadowych w głąb lessu uruchamia procesy przemieszczania się drobnych frakcji i rozpuszczania różnych soli. Te cechy lessu w połączeniu z naturalnymi warunkami, jakie wystąpiły na danym terenie są często przyczyną gwałtownego rozwoju procesów erozyjnych zarówno powierzchniowych, jak i podziemnych (Liszkowski, 1971). Skoncentrowany spływ wód opadowych powoduje rozwój liniowych i powierzchniowych rozmyć. Głębokość tych rozmyć jest zmienna, ściśle uzależniona od intensywności opadu i czasu jego trwania. Oddziaływanie procesów erozji jest zależne od zagospodarowania terenu i stopnia uporządkowania warunków odpływu wód opadowych. Analiza zniszczeń spowodowanych przez procesy erozyjne wskazuje także na znaczny udział czynników antropogenicznych. Przyczyną powstania wielu wąwozów jest gospodarcza działalność człowieka.

Występowanie szczelin w strefach krawędziowych pokryw lessowych ułatwia wnikanie wody, a w dalszej konsekwencji decyduje o procesach podziemnego rozmy-

wania — erozji podziemnej. Wody opadowe wnikające w system szczelin o różnym rozprze-strzenieniu i głębokości powodują zawilgoce-nie lessu, obniżanie wytrzymałości i wypłukiwanie drobnych cząstek gruntu. Powo-duje to powiększanie szczelin, tworzenie się systemów kanałów i kawern, osiadanie gruntu i powstawanie deformacji zboczy wąwozów (ryc. 9*).

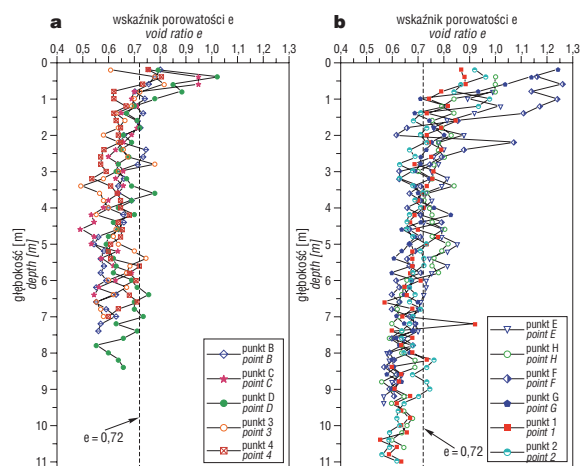
Obserwacje ścian wąwozów wykazały, że w wielu przypadkach występują pionowe ściany. Pionowa oddzielność i zdolność masywu lessowego do utrzymywania pionowych ścian jest najprawdopodobniej związana z procesami kriogenicznymi, którym podlegały osady lessowe po ich depozycji (Liszkowski, 1994).

Rozcięcie masywu lessowego przez wody opadowe powoduje, że w strefach przykrawędziowych wąwozu występuje przesuszenie lessów, które sprzyja rozwieraniu się spękań już istniejących. Niekorzystnym czynnikiem jest oddziaływanie korzeni drzew. Rozwój korzeni w szczelinach, a następnie ich rozrastanie się w połączeniu z ułatwionym wnikaniem wód opa-dowych powoduje rozwieranie się szczelin aż

do odspojenia się bloków lessu (ryc.10). Procesy te łącznie z okresowym podcinaniem erozyjnym zboczy wąwozów przez wody opadowe są przyczyną pogłębiania i poszerzania się wąwozów. Charakter zsuwów i obrywów materiału lessowego na zboczach wąwozów wskazuje na ich zróżni-cowaną wilgotność i uziarnienie.

Z obserwacji terenowych wynika, że na stateczność zboczy wąwozów duży wpływ ma roślinność. Zbocza porośnięte krzewami charakteryzują się większą statecznością niż porośnięte drzewami. Systemy korzeniowe drzew jedynie okresowo wpływają na stabilizację ścian wąwozów, gdyż w miarę rozrastania się umożliwiają skon-centrowane przenikanie wody w głąb masywu, a tym samym uruchamiają procesy erozji wewnętrznej (ryc. 11).

Inne przyczyny wpływające na intensywną erozję wąwozową w pokrywach lessowych związane są ze specy-fiką geograficzną Płaskowyżu Nałęczowskiego oraz działalnością człowieka. Najważniejsze cechy fizycz-no-geograficzne Płaskowyżu ułatwiające erozję wąwozową są następujące:



Ryc. 8. Zmienność wartości wskaźnika porowa-tości z głębokością

Fig. 8. Changes of void ratio with depth

*Ryc. 9–11 patrz III str. okładki (str. 823)

— specyficzna sytuacja geomorfologiczna — region znacznie wyniesiony w stosunku do regionów otaczających;

— zróżnicowane ukształtowanie powierzchni wysoczyzn lessowych (duże deniwelacje i znaczne spadki);

— klimat oraz ilość i natężenie opadów, zwłaszcza tzw. zjawiska ekstremalne (Maruszczak, 1986).

Intensywna działalność rolnicza prowadzona przez człowieka przez co najmniej 1000 lat (a w szczególności ostatnie 200 lat) w znacznym stopniu zainicjowała, a w wielu przypadkach zdecydowanie przyspieszyła rozwój erozji wąwozowej. Największy wpływ na zwiększenie erozji miało:

— wylesianie stoków;

— usuwanie ze stoków roślinności krzewiastej i traw i zastępowanie jej polami uprawnymi;

— sposób i typ prowadzonej uprawy (wzdłużstokowa i poprzeczstokowa — Rodzik & Zgłobicki, 2000);

— intensywne użytkowanie wąwozów jako dróg transportu, a zwłaszcza wprowadzenie mechanicznego transportu kołowego (Gardziel & Rodzik, 2001).

Natężenie procesów erozji wgłębnej i bocznej w pojedynczych wąwozach jest dodatkowo uzależnione od:

— długości wąwozu i nachylenia dna;

— wielkości zlewni;

— intensywności użytkowania;

— stadium rozwoju wąwozu;

— stopnia zabezpieczenia krawędzi wąwozu przez roślinność.

Wnioski

Czynnikami inicjującymi rozwój erozji wąwozowej w miększych i mało odpornych na procesy erozyjne lessach były naturalne położenie, ukształtowanie oraz klimat Płaskowyżu Nałęczowskiego. Naturalny rozwój tych procesów był ułatwiony małą odpornością na erozję lessów w stanie wilgotnym, ale został jednak w sposób istotny przyspieszony przez rolniczą działalność człowieka, przekształcającego znaczne kompleksy leśne (stanowiące naturalną barierę ochronną przed zbyt intensywną erozją podłoża) w pola uprawne oraz wąwozy (stanowiące naturalne systemy odprowadzania wód z wierzchołków Płaskowyżu do dolin rzecznych) w ciągi komunikacyjne. Intensywny rozwój wąwozów związany był zatem głównie z wykarczowaniem lasów i ekspansją rolnictwa, co stworzyło korzystne warunki do spływu powierzchniowego oraz erozji wód opadowych i roztopowych.

Przedstawione wyniki badań różnych parametrów lessów w zależności od zmian wilgotności osadu wskazują na bardzo silną podatność tych gruntów na procesy erozyjne w warunkach podwyższonej wilgotności. Najważniejszym zadaniem, przed podjęciem jakichkolwiek zabiegów stabilizujących wąwoz, jest uregulowanie (tj. ograniczenie) spływu powierzchniowego z obszaru zlewni. Jest to element decydujący w ograniczaniu dalszego rozwoju erozji wąwozowej. Bez właściwej regulacji stosunków wodnych wszelkie inne prace stabilizacyjne (takie jak utwardzenie dna wąwozów, biologiczna stabilizacja ich

zbozcy) nie są w stanie ograniczyć w sposób zadawalający negatywnych efektów erozji i będą z góry skazane na niepowodzenie.

Literatura

- BOROWCZYK M. & FRANKOWSKI Z. 1979 — Wytczne wykonywania badań lessów metodami polowymi. Instrukcja i metody badań geologicznych, z. 40, Instytut Geologiczny, Warszawa: 5–26.
- BURACZYŃSKI J., HENKIEL A. & SZWAJGIER 2005 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, arkusz Nałęczów. CAG Państw. Inst. Geol.
- DOWGIAŁŁO W.D. 1981 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusz Kazimierz Dolny. Państw. Instyt. Geol.
- FRANKOWSKI Z. 1979 — Wpływ litogenezy na fizyczno-mechaniczne właściwości lessów określane metodami polowymi. *Prz. Geol.*, 27: 31–36.
- GARDZIEL Z., HARASIMIUK M. & RODZIK J. 1996 — Dynamika procesów geomorfologicznych w zlewni Grodarza i związane z nimi zagrożenia dla Kazimierza Dolnego. [W:] M. Kucharczyk (red.) — Małopolski przełom Wisły — walory, zagrożenia, ochrona. Wydawnictwo UMCS, Lublin: 21–31.
- GARDZIEL Z. & RODZIK J. 2001 — Drogi gruntowe jako stymulator przemian silnie urzeźbionego krajobrazu lessowego okolic Kazimierza, [W:] K. German & J. Balon (red.) Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie. *Problemy Ekologii Krajobrazu t. 10:* 305–311.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1988 — Wiązania strukturalne w lessach i ich wpływ na osiadanie zapadowe. *Prz. Geol.*, 418: 65–69.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1998 — Inżyniersko-geologiczna rejonizacja lessów polskich, [W:] Współczesne Problemy Geologii Inżynierskiej w Polsce. WIND, Wrocław: 139–145.
- HARASIMIUK M. & HENKIEL A. 1978 — Wpływ budowy geologicznej i rzeźby podłoża na ukształtowanie pokrywy lessowej w zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego. *Ann. UMCS, sec. B*, 30/31: 55–80.
- LISZKOWSKI J. 1971 — Filtracyjne deformacje utworów lessowych. *Biul. Geol. UW*, t. 13: 87–126.
- LISZKOWSKI J. 1994 — Reliktowe cechy mikrostrukturalne i fizyczne lessów i ich paleośrodowiskowa interpretacja. *GEORAMA 2*, Sosnowiec: 3–11.
- MARUSZCZAK H. 1973 — Erozja wąwozowa we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. *Z. Nauk. Post. Nauk. Roln.*, 151: 15–30.
- MARUSZCZAK H. 1986 — Tendencje sekularne i zjawiska ekstremalne w rozwoju rzeźby małopolskich wyżyn lessowych w czasach historycznych. *Czas. Geograf.*, 57: 271–282.
- MARUSZCZAK H. 1991 — Różnicowanie stratygraficzne lessów w Polsce, [W:] H. Maruszczak (red.) — Podstawowe profile lessów w Polsce. Wyd. UMCS, Lublin, A: 13–35.
- MARUSZCZAK H., MICHALCZYK Z. & RODZIK J. 1984 — Warunki geomorfologiczne i hydrogeologiczne rozwoju denudacji w dorzeczu Grodarza na Wyżynie Lubelskiej. *Ann. UMCS, sec. B.*, 39: 117–145.
- MYŚLIŃSKA E. 2004 — Występowanie agregatów w gruntach spolistych i ich wpływ na ocenę niektórych właściwości tych gruntów. *Prz. Geol.*, 52: 653–656.
- NOWOCIEŃ E. 1996 — Dynamika rozwoju wąwozów drogowych na obszarach lessowych. *Pam. Puł. Pr. IUNG*, 107: 101–111.
- RODZIK J., JANICKI G. & ZGŁOBICKI W. 1996 — Reakcja agroekosystemu zlewni lessowej na epizodyczny spływ podczas gwałtownej ulewy. [W:] A. Józefaciuk (red.) — Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją, IUNG K(11/1). *Pr. Naukowe cz.*, 1: 201–214.
- RODZIK J. & ZGŁOBICKI W. 2000 — Współczesny rozwój wąwozu lessowego na tle układu pól. [W:] S. Radwan, Z. Lorkiewicz (red.) — Problemy ochrony i użytkowania obszarów wiejskich o dużych walorach przyrodniczych. Wyd. UMCS, Lublin: 257–261.
- ZGŁOBICKI W. 1998 — Wąwozy drogowe północno-zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego, [W:] R. Dobrowolski (red.) — Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce. Stan aktualny i perspektywy. IV Zjazd Geomorfologów Polskich. III. Przewodnik wycieczkowy. Wyd. UMCS, Lublin 1998: 175–179.
- ZGŁOBICKI W. 2002 — Dynamika procesów denudacyjnych w północno-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- PN-86/B-02480 — Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów
- BS 1377:1975 — Soils for civil engineering purposes

Praca wpłynęła do redakcji 04.04.2006 r.

Akceptowano do druku 17.07.2006 r.

Geologiczno-inżynierskie i geomorfologiczne uwarunkowania erozji wąwozowej w lessach w rejonie Kazimierza Dolnego (wąwóz Opolska Droga) — patrz str. 777



Ryc. 9. Ściana wąwozu — droga lokalna Wilków–Rogów
Fig. 9. Wall of a gully — local road Wilków–Rogów

Ryc. 10. System korzeniowy w szczelinie — Wilków
Fig. 10. Plant root system in a fissure — Wilków



Ryc. 11. Wąwóz Korzeniowy Dół — Kazimierz Dolny
Fig. 11. Gully Korzeniowy Dół — Kazimierz Dolny

