

WARUNKI GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE OSUWISKA W SADOWIU

UKD 624.191.543(496.312 Sadowie)

Ingerencja człowieka w istniejący w przyrodzie układ stosunków bez uprzedniego ich rozpoznania prowadzi najczęściej do zaburzeń o bardzo przykrych konsekwencjach. Przykładem tego może być osuwisko w Sadowiu. W miejscowości tej, położonej ok. 24 km na N od Krakowa, w ramach budowy linii kolejowej Warszawa—Kraków bez bliższego rozpoznania stosunków gruntowo-wodnych wykonano przekop przez wzgórze na długości ok. 600 m. Przekop ten o maksymalnej głębokości 18,0 m rozciął warstwę przepuszczalnego lessu i zagłębił się w trzeciorzędowe iły. Z chwilą rozpoczęcia eksploatacji linii kolejowej, w obrębie skarp przekopu wystąpiły ruchy mas ziemnych, które w różnej formie i z różnym nasileniem trwają do chwili obecnej.

HISTORIA OSUWISKA

W obrębie skarp przekopu notowano dwa rodzaje ruchów mas ziemnych: obrywy i osuwiska. Pierwsze z nich pozostawały bez większego znaczenia. Osuwiska natomiast miały charakter katastrofalny. Przemieszczające się masy gruntu zasypywały bądź wypychały torowisko do góry, co powodowało wielodniowe przerwy w ruchu kolejowym. Z większych i bardziej znanych osuwisk należy wymienić cztery następujące: w 1934 r. zaraz po wykonaniu przekopu, w jego części centralnej nastąpiło osunięcie się gruntu w ilości ok. 100 000 m³; 4 października 1941 r. po przejeździe pociągu pośpiesznego Warszawa—Kraków nastąpiło w części południowej przekopu osunięcie się skarpy zachodniej na odcinku ok. 200 m. W 1942 r. osuwisko miało miejsce w części północnej, również w obrębie skarpy zachodniej. Przemieszczeniu uległy wówczas masy gruntu na odcinku kilkudziesięciu metrów. Zarówno w pierwszym, jak i drugim przypadku osunięte masy gruntów wywieziono poza przekop, przywracając w ciągu kilku dni ruch pociągów.

Dalszym ruchom osuwiskowym przeciwdziałano przez zmniejszenie nachylenia skarp, które pierwot-

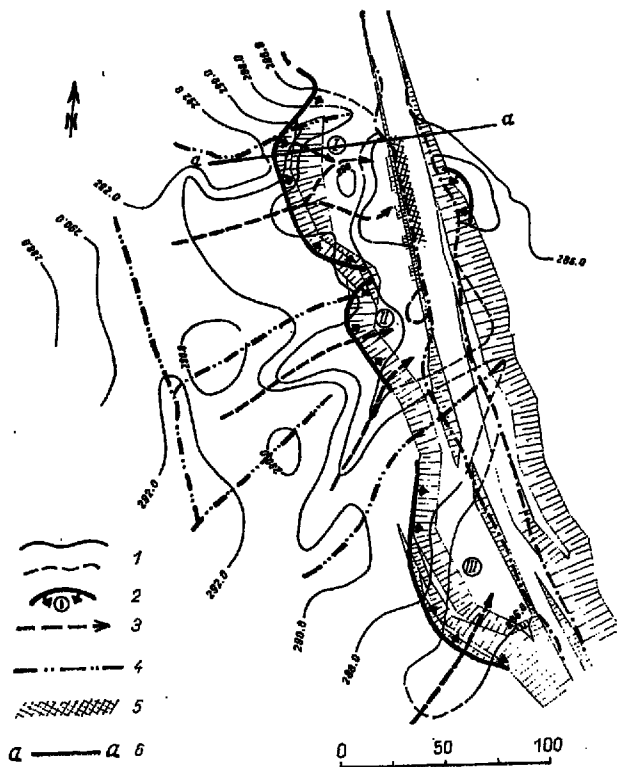
nie wynosiło 1:1,25. Ponadto w 1948 r. u podnóża osuwiska powstałego w 1942 r. wybudowano 10 studni kregowych, których zadaniem było odwodnienie terenu i zmniejszenie parcia gruntu na torowisko. Wymienione prace nie zabezpieczyły jednak przekopu przed dalszymi ruchami osuwiskowymi.

Na początku 1953 r. w obrębie skarpy zachodniej na odcinku ok. 80,0 m nastąpiło ponownie osuwisko. W jego wyniku przesunięciu o ok. 0,7 m uległ tor kolejowy przy jednoczesnym wypchnięciu go do góry. Spowodowało to wstrzymanie na kilka dni ruchu kolejowego, a wybudowane w 1948 r. studnie odwadniające zostały wychylone z pionu i częściowo zniszczone. Wskutek ich zniszczenia nastąpiło silne nawodnienie gruntu w rejonie torowiska. Uporządkowania osuwiska, jak i w poprzednich przypadkach dokonano przez usunięcie przemieszczonych mas ziemnych oraz odpowiednie sprofilowanie skarpy. Ponadto w rejonie powstałego osuwiska poszerzono przekop i przełożono tor o ok. 8,0 m w kierunku wschodnim.

W pierwotnym położeniu podtorze uległo okresowo silnemu nawilgoceniu i było wypierane do góry. Po przełożeniu torów ruchy ich ustały. Zniszczone kregowe studnie odwadniające zastąpiono studniami monolitycznymi. Studnie te mimo uszkodzeń spowodowanych parciem gruntu funkcjonują do chwili obecnej, tworząc system odwadniający osuwisko północne. W chwili obecnej skarpy przekopu znajdują się w stanie równowagi, z wyjątkiem części północnej, gdzie jak już wspomniano występują tendencje do powstawania nowych ruchów osuwiskowych.

UKSZTAŁTOWANIE TERENU OSUWISKOWEGO

Obecne ukształtowanie większej części skarp przekopu jest wynikiem ruchów osuwiskowych. Pierwotne nachylenie skarp zachowało się jedynie na niewielkim odcinku w części południowej. Na pozostałym odcinku ich wygląd jest wynikiem osuwisk i związanych z nim prac porządkowych i zabezpiecza-



Ryc. 1. Mapa stropu ilów.

1 — warstwyce stropu ilów, 2 — nisze osuwiskowe, 3 — osie zagłębień rynnowych w stropie ilów, 4 — linie grzbietowe, 5 — strefa wypierania gruntu, 6 — linie przekroju.

Fig. 1. Map of clay top.

1 — lamination in clay top, 2 — landslide niches, 3 — axes of channel-like depressions in clay top, 4 — ridge lines, 5 — zones of soil bulging, 6 — lines of cross sections.

jących. W wyniku tych robót we wschodniej skarpie przekopu powstały dwie półki o szerokości do 10 m, w przekroju podłużnym poziome, w poprzecznym nachylone w kierunku torowiska. W obrębie skarpy zachodniej występują 3 nisze osuwiskowe (ryc. 2): północna, środkowa i południowa. Dwie ostatnie łączą się ze sobą, natomiast północna odcina się od nich wyraźną krawędzią. Na krawędzi niszy północnej występują szczeliny oraz powstają lokalne obrywy. Skarpa jest nie uporządkowana. Teren u jej podnóża posiada wybrzuszenie charakterystyczne dla czoła osuwiska. Znajdujące się tu słupy telegraficzne, ogrodzeniowe oraz wspomniane na wstępie studnie odwadniające przypominają „pijany las”. Ponadto na przedpolu osuwiska leży podłużny garb. Jest to miejsce, w którym znajdowały się tory kolejowe przed ich przełożeniem. Podwyższenie to o wysokości 0,4 m jest wynikiem wypierania w tym rejonie gruntu. Skarpy przekopu z wyjątkiem skarpy osuwiska północnego umocniono przez wykonanie przypór sączków z kamienia łamanego, połączonych u dołu z sączkiem poziomym odprowadzającym wodę poza teren osuwiska.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Teren, przez który przebiega przekop, zbudowany jest z utworów czwartorzędowych, zbliżonych swymi własnościami do lessu, poniżej występują ilły trzeciorzędowe i margle kredowe. Strop margli w rejonie osuwiska występuje na głębokości od kilku do powyżej 30 m. Na powierzchnię wychodzą one na W i N od przekopu kolejowego. W samym przekopie nie zostały one jednak odsłonięte. Z istniejących odkry-

wek i wykonanych wierceń wynika, iż są one skałą miękką, mało spękaną. Strop ich jest zerodowany, nachylony w kierunku wschodnim pod kątem 10–20°. W stropie margli znajdują się zagłębienia rynnowe o kierunku E–W, których osie nachylone są w kierunku wschodnim. Powyżej margli występują trzeciorzędowe ilły mioceńskie bądź utwory lessopodobne. Ilły zachowały się głównie w nieckowatych zagłębieniach stropu margli, w pozostałych przypadkach bezpośrednio na marglach zalegają utwory lessopodobne. Ilły tworzą dość monotony kompleks litologiczny o miąższości od kilkunastu do powyżej 30 m. Lokalnie wśród ilów spotyka się cienkie, kilkumilimetrowe soczewki piasku. Występują one głównie w częściach stropowych i spagowych ilów. Ilły zostały odsłonięte w przekopie kolejowym, który wciął się w nie na głębokość ok. 5,0 m, ponadto wychodzą one na powierzchnię na wschód od terenu osuwiskowego. Jak wykazała przeprowadzona przez autorów analiza materiałów z wierceń w stropie ilów występują zagłębienia rynnowe (ryc. 2).

W rejonie przekopu powyżej ilów, a na W od niego bezpośrednio na marglach występują utwory zbliżone swymi własnościami i wyglądem do lessu. Są to przewarstwiane się wzajemnie gliny i mułki. Miąższość tych utworów jest zmienna i wynosi od kilku do kilkunastu metrów. Największa jest ona w S–W części terenu przyległego do przekopu, najmniejsza w części środkowej i północnej.

STOSUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Wodę gruntową w rejonie osuwiskowym stwierdzono w marglach, ilach oraz utworach lessopodobnych.

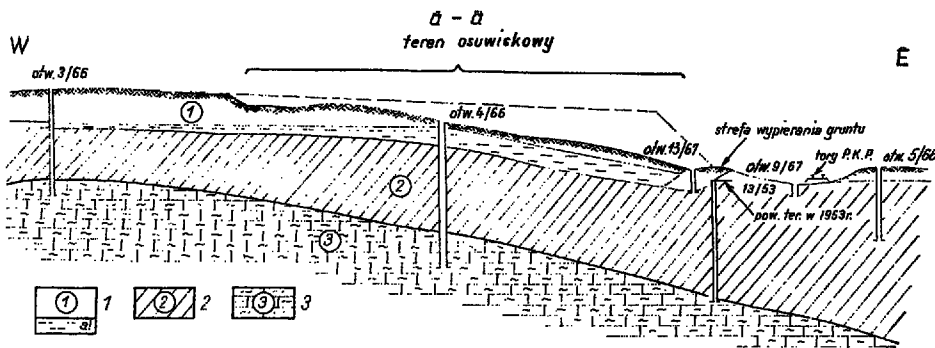
Margle — woda gruntowa występuje w szczelinach wyłącznie w tych rejonach, gdzie w stropie margli znajdują się zagłębienia o charakterze rynien. Zwierciadło wody jest napięte przez występującą powyżej warstwę ilów. W marcu 1966 r. stabilizowało się ono w granicach 15–28 m powyżej poziomu jego nawiercenia. Wahania lustra wody z margli obserwowane w latach 1966–67 w piezometrach nie przekroczyły 1,3 m.

Ilły — stanowią one warstwę wyklonowującą się na W od przekopu. Wodę gruntową w ilach stwierdzono w formie sączeń z zawartych w nich piaszczystych wkładkach oraz ze szczelin. W omawianych ilach stwierdzono dwie strefy szczelin. Pierwsza w partiach stropowych na ogół do głębokości 5,0 m, druga w spagu ilów. Woda z sączeń stabilizuje się do kilku metrów powyżej ich stwierdzenia na ogół na głębokości różnej od stabilizacji wody z utworów lessopodobnych występujących powyżej ilów.

Utwory lessopodobne — woda gruntowa występuje w mułkach i glinach, przy czym mułki są nawodnione, natomiast gliny mokre. Zwierciadło wody znajduje się na głębokości od 0,5 do kilkunastu metrów poniżej powierzchni terenu. Wykazuje ono nachylenie w kierunku rynien występujących w stropie ilów oraz w kierunku przekopu. Miąższość warstwy nawodnionej wynosi od kilku do kilkunastu metrów. Wahania lustra wody w okresie od marca 1966 do maja 1967 r. wynosiły 1,5–4,0 m. Zależne są one od pory roku i wielkości opadów. Opisaną warstwę wodonośną rozcięto przekopem, co doprowadziło do zaburzenia istniejącego reżimu wodnego oraz spowodowało przypuszczalne zwiększenie szybkości przepływu wody w kierunku wspomnianych rynien i przekopu. Wykonane obserwacje w terenie wykazały, iż wody opisanych warstw wodonośnych w zasadzie nie kontaktują ze sobą.

PRZYCZYNY POWSTAWANIA OSUWISKA

Badania geologiczne, mające na celu ustalenia przyczyn powstawania osuwisk zostały podjęte w 1946 r. Prowadził je kolejno prof. S. Sokołowski z



Ryc. 2. Przekrój geologiczny przez teren osuwiskowy.

1 — utwory lessopodobne, czwartorzęd, a) — warstwa wodonośna, 2 — ły, trzeciorzęd, 3 — margle, kreda.

Instytutu Geologicznego oraz prof. F. Zalewski z Akademii Górniczo-Hutniczej. Prof. S. Sokołowski opracował budowę geologiczną i stosunki wodne występujące w rejonie przekopu oraz podjął próbę wyjaśnienia przyczyn powstawania osuwisk. Osuwiska według prof. S. Sokołowskiego powstały wskutek rozcięcia przekopem warstwy wodonośnej, zawartej w utworach lessopodobnych.

Prace prowadzone przez prof. F. Zalewskiego miały również na celu wyjaśnienie przyczyn powstawania osuwisk. Zawarte w nich były jednocześnie propozycje odnośnie do sposobu ich ustabilizowania. Prace wykonane przez powyższych autorów ze względu na to, iż nie dysponowali oni dostateczną ilością materiałów z wierceń (prof. S. Sokołowski), bądź ograniczali je do najbliższego rejonu osuwisk (prof. F. Zalewski) nie doprowadziłyby do jednoznacznego i szczegółowego wyjaśnienia przyczyn powstawania osuwisk.

Dopiero kompleksowe badania wykonane przez „Geoprojekt” w latach 1966—1967 przy konsultacji z prof. Z. Witunem oraz w powiązaniu z wynikami wspomnianych badań pozwoliły wyjaśnić genezę powstawania osuwisk. W ramach tych prac wykonano m. in. szereg otworów wiertniczych, obserwacje wahań zwierciadła wody w piezometrach, obserwacje ruchów za pomocą pomiarów geodezyjnych oraz specjalnych studni, badania laboratoryjne próbek gruntu oraz inwentaryzację wszystkich uszkodzonych przez osuwiska urządzeń. Skąpe ramy artykułu nie pozwalają na dokładny opis tych prac, przedstawione zostaną jedynie ich wyniki.

Jak już wspomniano w obrębie przekopu istnieją bądź istniały osuwiska ograniczone do ściśle określonych rejonów skarpy zachodniej. W obrębie skarpy wschodniej występowały również symptomy ruchów osuwiskowych w formie obrywów. Poza jednym przypadkiem były to zjawiska krótkotrwałe. W skarpie zachodniej zjawiska te występują aktualnie na terenie osuwiska północnego. Objawiają się one w postaci obrywów, jak również w formie powolnego przesuwania się mas gruntowych. Ostatnie z nich rejestrowane są przez bardzo powolne zmiany położenia studni odwadniających, słupów telegraficznych i ogrodzeniowych oraz nierównomiernego zężenia się rowu znajdującego się u podnóża skarpy osuwiska. W istniejącej sytuacji powstaje główne pytanie, dlaczego ruchy osuwiskowe występowały głównie w pewnych rejonach skarpy zachodniej, natomiast skarpa wschodnia pozostała w stanie względnego spokoju.

W niniejszym artykule podjęto próbę wyjaśnienia tych zjawisk. Omówienie genezy osuwisk dotyczyć będzie głównie skarpy zachodniej, ponieważ były one tu najintensywniejsze. Ruchy osuwiskowe powstają w obrębie łąw bądź utworów lessopodobnych, ponieważ tylko te utwory odsłaniają się w skarpach. Udział margli należy wykluczyć, gdyż nie zostały one odsłonięte. ły w przekopie charakteryzują się stanem zwartym, z wyjątkiem partii stropowych, któ-

Fig. 2. Geological section through the landslide area.

1 — loesslike formations, Quaternary — a) water-bearing bed, 2 — clays, Tertiary, 3 — marls, Cretaceous.

re do głębokości nie przekraczającej 1,0 m znajdują się w stanie twardoplastycznym. Badania laboratoryjne kilkudziesięciu próbek wykazały, że kąt tarcia wewnętrznego wynosi 15° , a kohezja $1,1 \text{ kg/cm}^2$. Wartości te dla partii stropowych są mniejsze i wynoszą odpowiednio $\varphi = 15^\circ$ i $c = 0,5 \text{ kg/cm}^2$.

Zarówno w pierwszym, jak i drugim przypadku są one duże i pozwalają na zachowanie w stanie statycznym dość stromych skarp. Wartości te wykazują, że ły nie biorą bezpośredniego udziału w ruchach osuwiskowych, mimo że zostały rozcięte przekopem. Nad łąwami występują pyły piaszczyste, pyły i gliny pylaste, w dolnych partiach nawodnione. Oznaczenia w wyniku badań laboratoryjnych kilkudziesięciu próbek o nienaruszonej strukturze wielkości kąta tarcia wewnętrznego i kohezji dla omawianych gruntów wynoszą średnio: $\varphi = 28^\circ$ i $c = 0,7 \text{ kg/cm}^2$. Wartości te dla próbek pobranych poniżej i powyżej zwierciadła wody są bardzo zbliżone. Ze wielkości te są również duże w stanie naturalnego zalegania gruntu świadczą południowa część przekopu, gdzie skarpy o nachyleniu 1:1,25 nie wykazały żadnych tendencji do powstawania osuwisk.

Z powyższych rozważań nasuwa się wniosek, że musi istnieć inny element mający wpływ na stateczność skarpy, elementem tym jest woda gruntowa. Rozcięcie przekopem warstwy wodonośnej, zawartej w utworach lessopodobnych i zejście poniżej stropu łąw doprowadziło do spływu wód gruntowych w kierunku przekopu przynajmniej w najbliższym jego otoczeniu. Zjawisko to miało niewątpliwie pierwszorzędne znaczenie dla powstawania obrywów, a po tym osuwisk. Osuwiska ograniczają się do ściśle określonych rejonów skarpy zachodniej. Jeśli przyjmemy, że woda gruntowa jest czynnikiem powodującym ruchy, to fragmenty skarp, w których one istniały muszą charakteryzować się szczególnymi warunkami hydrogeologicznymi. Odpowiedź na powyższe pytanie daje analiza ukształtowania stropu łąw (ryc. 2), a ściśle biorąc spągu utworów lessopodobnych (ły nie wszędzie występują w podłożu). Z mapy spągu utworów lessopodobnych wynika, że w osi każdego z osuwisk istnieje zagłębienie w stropie łąw w formie podziemnego ciekła wodnego, nachylonego w kierunku torowiska.

Fragmenty terenu nie objęte osuwiskami, to linie podziemnych działów wodnych. W osi poszczególnych cieków obserwuje się największe ruchy mas ziemnych, świadczą o tym uszkodzone studnie odwadniające zlokalizowane u podnóża osuwiska północnego oraz przechylone słupy telegraficzne i ogrodzeniowe. Istnieje więc ścisły związek pomiędzy podziemnymi ciekami i osuwiskami. Wody opadowe wsiąkające w grunt spływają w kierunku cieków. Wytwarzają się ciśnienia spływowe, które ma decydujący wpływ na powstawanie osuwisk. Ono to powoduje, że skarpy zbudowane z gruntów, których kąt tarcia wewnętrznego i kohezja są wystarczająco duże do utrzymania

Ich w stanie statycznym podlegają ruchom osuwiskowym.

O istnieniu spływu wody gruntowej świadczy obniżanie się jej zwierciadła w kierunku wymienionych cieków. Ponadto w osi cieków u podnóża skarpy istnieją wycieki wód gruntowych, bądź silne zawilgocenie gruntów. Pyły ulegają stosunkowo łatwo u-
płynnieniu. W obrębie cieków przy braku odpowiedniego podparcia może zachodzić zjawisko płynięcia gruntów w kierunku przekopu. Ruchy te będą miały charakter powolny, a szybkość ich będzie zależna od stopnia nawodnienia gruntów.

Na powyższy fakt rzuca pewne światło zjawisko wypierania torów w rejonie osuwiska północnego (ryc. 1). Tory pierwotnie położone tu były w rejonie kontaktu ilów z pyłami. Strop ilów nachylony jest tu w kierunku zachodnim, tworząc garb. Przemieszczające się grunty wskutek natrafienia na ów garb ulegały wypieraniu i podnosiły torowisko. Po położeniu torów w kierunku wschodnim nie ulegały one podnoszeniu. Z analizy wielkości opadów według Stacji Miechów, w latach 1942—1967 wynika, że osuwiska poprzedzone były okresami intensywnych i wykraczających ponad normę opadów.

Natężenie ruchów osuwiskowych obecnie jest znacznie mniejsze niż w przeszłości na co złożyło się szereg czynników. Wskutek kilkakrotnych ruchów osuwiskowych zmienił się zasięg podziemnych cieków. W przekopie wykonano szereg prac zabezpieczających, idących głównie w kierunku odwodnienia terenu. Zmienił się charakter upraw rolniczych. Posadzono w rejonie osuwisk kilkadziesiąt drzew owocowych, które wraz z wykonanymi pracami zabezpieczającymi zmniejszyły infiltrację wód opadowych, a tym samym natężenie ruchów osuwiskowych.

Ostatnie zagadnienie, które zostanie omówione — to sprawa skarpy wschodniej. W pierwszych fazach istnienia przekopu, w jej obrębie występowały rów-

nież ruchy, jednak głównie w postaci obrywów. Ruchy te występowały zaraz po wykonaniu przekopu, były krótkotrwałe i z wyjątkiem niewielkiego fragmentu w części północnej całkowicie ustały (we wspomnianym fragmencie wystąpił w 1962 r. obryw).

Do chwili obecnej brak jest w rejonie skarpy wschodniej dokładniejszego rozpoznania geologicznego. Wnioski, dotyczące tego rejonu mogą mieć jedynie charakter hipotetyczny. Z wykonanych tu nielicznych wierceń wynika, iż strop ilów ogólnie obniża się tu, przypuszczalnie w kierunku wschodnim. W powyższej sytuacji spływ wód gruntowych odbywa się również w tym kierunku. W pierwszej fazie po wykonaniu przekopu mógł istnieć krótki okres, w którym wody gruntowe z najbliższego rejonu spływały w kierunku przekopu. Wówczas to występowały ruchy o charakterze obrywów, które po odwodnieniu ustały.

Z powyższych rozważań wynikają następujące wnioski:

a) osuwiska na terenie Sadowia występują w warstwie nawodnionych utworów lessopodobnych w strefie kontaktowej z ilami,

b) głównym czynnikiem powodującym ruchy jest ciśnienie pływowe wody, wytwarzające się w „podziemnych ciekach wód gruntowych”.

Ponadto na przykładzie Sadowia, gdzie przez ponad 30 lat z powodu niedostatecznej znajomości budowy geologicznej trudno było podjąć ostateczną decyzję w sprawie techniczności i ekonomiczności uzasadnionego zabezpieczenia przekopu przed ruchami mas ziemnych nasuwają się dwa wnioski. Wszelkie roboty inżynierskie, z którymi związane jest wykonanie dużych i głębokich robót ziemnych powinny być poprzedzone rozpoznaniem warunków gruntowo-wodnych. Przy czym badania te nie mogą być ograniczone tylko do bezpośredniego terenu robót, lecz muszą obejmować również teren przyległy w celu umożliwienia kompleksowego rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich.

SUMMARY

Human interference into the natural environment conditions, without any preliminary reconnaissance, as a rule is responsible for all severe disturbances resulting in disagreeable consequences. This problem has been exemplified by the present author by a landslide at Sadowie, where during the railway construction without any adequate recognition of soil-water conditions, a cross-cut has been made through a hill, at a distance of about 600 m. This cross-cut, maximum 18,0 m in depth, transected a water-permeable loess layer entered a clay series of Tertiary age. After the railway had been put into service, movements of earth masses were observed to occur within the escarpments of the cross-cut. To a greater or lesser degree these movements are active also at present. Based on their examinations the authors of this article explain the reasons of the movements considered.

РЕЗЮМЕ

Вмешательство человека в созданные природой условия без предварительного их изучения часто приводит к нарушениям с весьма пагубными последствиями. Таким примером может быть оползень в Садове, где была пройдена железнодорожная выемка без детального изучения грунтов и водных условий. Выемка глубиной 18 м и длиной 600 м пересекла слой проницаемого лесса и вскрыла третичные глины. С момента пуска в ход железнодорожной линии в откосах выемки начались смещения земляных масс, которые с разной интенсивностью продолжают до настоящего времени.

Авторы статьи объясняют причины этих смещений на основании проведенных ими исследований.