

Jacek Bosak, Marek Bosak*, Tomasz Michalski**

SKUTECZNOŚĆ ODWODNIENIA WGLĘBNEGO METODĄ WIERTNICZĄ PRZY STABILIZACJI OSUWISK

1. Wprowadzenie

Pierwotnie powierzchniowe ruchy masowe powstawały w wyniku procesów naturalnych. W Polsce okresem wzmożonego ich rozwoju był schyłek zlodowacenia północnopolskiego, gdy kształtował się nowy obieg wody na stokach górskich przy zaburzeniu równowagi stoków przez erozję boczną [10] oraz pogranicze okresów atlantyckiego i subborealnego (50 000–4500 lat temu), gdy nastąpiło ożywienie się działalności rzek i pogłębianie ich koryt w głębi gór [11], a także w najmłodszym holocenie, w wyniku rozpoczęcia wylesiania dużych obszarów przez człowieka. Obecnie w wyniku urbanizacji znacznych obszarów, powodującej zaburzenia równowagi stoków oraz warunków krążenia wód powierzchniowych i podziemnych, człowiek odnawia i przyspiesza te ruchy.

Anomalie pogodowe ostatnich lat i związana z nimi aktywizacja ruchów masowych podkreśliły wagę sposobów przeciwdziałania ich skutkom i zwiększyły liczbę publikacji na ten temat. Do starszych, już klasycznych publikacji, jak [7, 11], doszły nowe, uaktualniające klasyfikacje, podstawy geologiczne i inżynierskie badania osuwisk [1, 3–5, 13] oraz konstrukcje inżynierskie używane w ich stabilizacji [3, 6, 9, 12, 13, 15]. Mniej jest publikacji dotyczących sposobów odwodnienia na tle analizy warunków hydrogeologicznych, chociaż wszyscy autorzy zgodnie dostrzegają rolę wody w tym mechanizmie.

Autorzy niniejszej publikacji, posiadający dwunastoletni staż w stosowaniu odwodnienia wglębnego osuwisk wykonywanego metodą wiertniczą, włączają się do tej dyskusji, nie zgadzając się jednak z głoszoną tezą, że uporządkowanie stosunków wodnych w rejonie osuwiska nie jest na ogół samodzielnie wystarczające do jego zabezpieczenia [3]. Zdaniem autorów jest odwrotnie: jest ono na ogół wystarczające, ale pod warunkiem skutecznego osuszenia terenu. Wymaga to oczywiście przeprowadzenia analizy hydrogeologicznej obszaru i dokładnego określenia warunków krążenia wód, co czasem jest trudne, ale niezbędne.

* Zakład Specjalistycznych Robót Wiertniczych, Gdynia

2. Ruchy masowe pod wpływem działania wody i powstawanie osuwisk

Osuwiska powstają, gdy jednocześnie spełnione są trzy warunki:

- 1) rzędne powierzchni terenu są zróżnicowane w stopniu pozwalającym na przebieg procesów wywołanych grawitacją,
- 2) przypowierzchniowa warstwa osadów jest zbudowana z osadów spoistych lub ułożenie i spękanie warstw skalnych sprzyja poziomym przemieszczaniom się skał,
- 3) w obrębie tych osadów lub skał występuje woda podziemna.

Do tych naturalnych czynników dochodzi jeszcze ingerencja człowieka, w wyniku której często następuje zaburzenie równowagi stoku.

Stabilizacja osuwiska polega na usunięciu przynajmniej jednego z tych warunków przez:

- zrównoważenie sił działających na podlegającą przemieszczeniom bryłę osadów, przez wyrównanie terenu lub przyłożenie odpowiedniej siły zewnętrznej,
- wymianę gruntów,
- zmianę parametrów mechanicznych koluwiów przez osuszenie lub zainiektowanie środków chemicznych.

Wobec braku wiary w wystarczające całkowite zneutralizowanie któregokolwiek w wymienionych warunków stosujemy współdziałanie przynajmniej dwóch sposobów stabilizacji.

W przypadku dostatecznie dobrego osuszania bryły podlegającej ruchowi konstrukcje oporowe są potrzebne jedynie do lepszego wykorzystania przestrzeni oraz odbudowy uszkodzonych obiektów. W przypadku braku czasu na pełne osuszenie gruntów i ich naturalną konsolidację często stosuje się je jako swoisty „współczynnik bezpieczeństwa”.

W każdym wariantcie uwzględnia się jednak osuszenie osuwiska, gdyż udział wody jest decydujący; zmniejsza ona bowiem parametry mechaniczne gruntów, działa hydrodynamicznie i powoduje wypór, a w zimie, w części przypowierzchniowej, działa fizycznie w wyniku zjawisk mrozowych. Stąd bardzo ważne staje się określenie dróg zasilania bryły podlegającej ruchowi.

Możliwe są różne źródła wody w osuwisku:

- woda podziemna płytkiego i dalekiego krążenia,
- woda powierzchniowa pochodzenia naturalnego i ludzkiego.

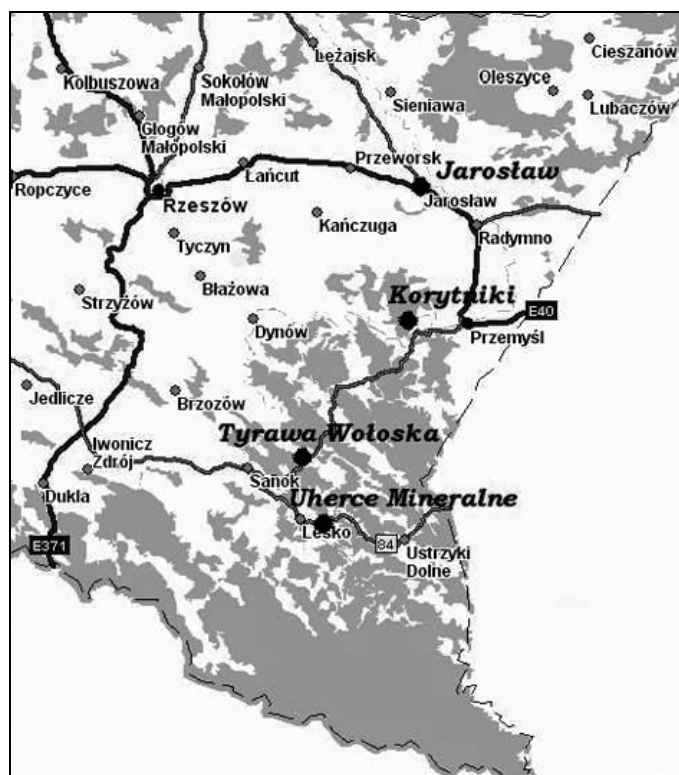
Najczęściej oba te źródła wody występują w osuwisku jednocześnie, z tym że wobec rozwoju budownictwa czynnik antropogeniczny zaczyna oddziaływać coraz silniej.

Osuszenie przemieszczającej się bryły można osiągnąć przez:

- niedopuszczenie wody do osuwiska (a przynajmniej poważne ograniczenie dopływu)
 - odwodnienie bierne,
- odwodnienie koluwiów (odwodnienie czynne).

Idealem byłoby całkowite przejście wody przed jej dostaniem się do osuwiska. Na ogół nie jest to fizycznie możliwe, tym niemniej powinno się dążyć do jak największego przejścia tej wody, w myśl znanej zasady „lepiej zapobiegać niż leczyć”. Ponieważ strefy poślizgu często położone są dosyć głęboko, trudno jest sięgnąć poniżej nich metodą odkrywkową. W tych przypadkach z pomocą przychodzi odwodnienie wgłębne. Wykonywane jest ono metodą wiertniczą. Na ogół są to dreny umożliwiające spływ grawitacyjny, mające konstrukcję odbiegającą nieco od stosowanych w standardowych drenażach, czasem jednak wykonywane są jako studnie przelewowe, szczególnie u podstawy osuwiska. Te ostatnie umożliwiają zmniejszenie ciśnienia wody na spąg bryły podlegającej ruchowi w warunkach, gdy dotarcie do strefy poślizgu w inny sposób jest trudne (strefa poślizgu położona jest głęboko). Metoda odwodnienia wgłębego pozwala na jednoczesne przejście wody spod strefy poślizgu i osuszanie koluwiów. Jako jedyna (do tej pory) umożliwia osuszenie strefy poślizgu i zwiększenie wartości parametrów mechanicznych gruntów w nich występujących, wymusza bowiem samoistną konsolidację gruntów w tej strefie.

Analizę skuteczności tych odwodnień przedstawiono na wybranych przykładach, których lokalizację przedstawiono na rysunku 1 (poza Koronowem).



Rys. 1. Lokalizacja opisywanych przykładów

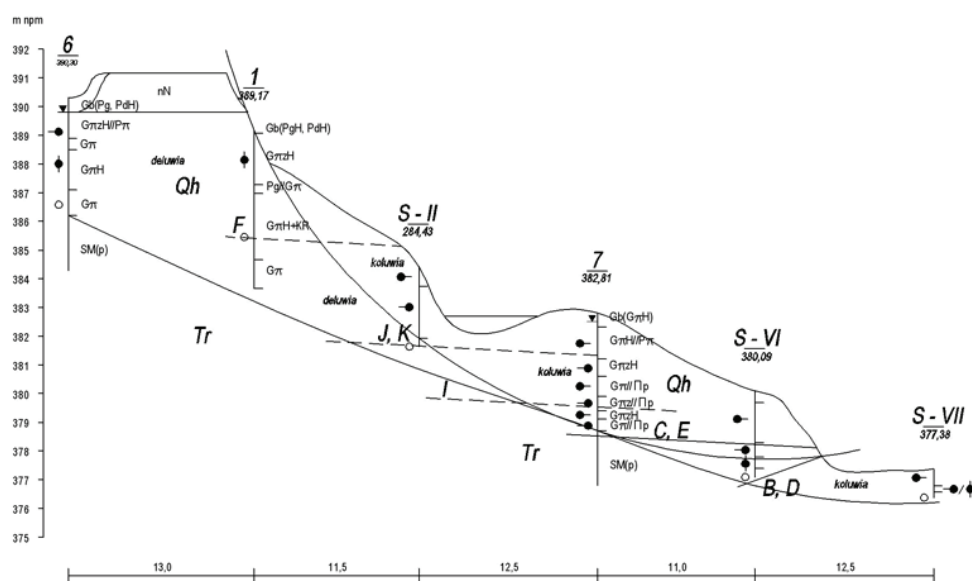
3. Skuteczność odwodnień na wybranych przykładach

3.1. Uherce Mineralne

Osuwisko powstało w miejscu kontaktu drogi krajowej nr 84 z poprzecznym do niej wąwozem. Droga schodzi do doliny głównej wododziałem rozdzielającym dwa niższego rzędu obniżenia dolinne. Kulminacja drogi znajduje się ok. 500 m od pierwszego (najwyżej sięgającego) wąwozu. Na odcinku około 400 m odchodzą od drogi w obie strony cztery wąwozy z wyciekami wody i rozwiniętymi na kontakcie z nią ruchami masowymi.

W dnach tych wąwozów na głębokości od kilku do kilkunastu metrów występują podmokłości i sączenia, dające początki strumieniom. Ich zlewnie powierzchniowe są bardzo małe i nie mogą odpowiadać za całoroczne (choć zmienne w czasie) wypływy oraz nie powinny powodować szybkiej erozji wstecznej mogącej zagrozić stateczności korpusu drogi. W tej sytuacji pochodzenie wód w dnie wąwozu musi być bardziej skomplikowane.

Niżej będzie przedstawiona analiza hydrogeologiczna dla jednego z tych wąwozów. Na opisywanym obszarze na neogeńskich piaskowcach gruboławicowych i łupkach dolnych warstw krośnieńskich leży ich gliniasta czwartorzędowa zwietrzelina o miąższości od 1,5 do ponad 6 m. Osuwisko jest typu konsekwentno-zwietrzelinowego. Schemat budowy geologicznej ilustruje rysunek 2. W obrębie osuwiska występuje pionowa strefowość występowania wypływów.



Rys. 2. Uherce Mineralne — przekrój geologiczny osuwiska z lokalizacją drenów wierconych

Górny poziom wypływów znajduje się w skarpie wąwozu bezpośrednio poniżej korpusu drogi. Woda pojawia się tu w kilka godzin od wystąpienia opadu i zanika po kilku

dniach po jego zakończeniu. Dostarczycielem tej wody okazał się korpus drogi sprowadzający ją z wyższej jego części.

Środkowy poziom wypływów jest zróżnicowany wysokościowo i znajduje się w przedziale głębokości wąwozu 3÷8 m. Wypływy i sączenia są tu trwalsze i ustępują dopiero kilka tygodni po zakończeniu opadu. Ich wysychanie następuje stopniowo postępując od góry. W dolnych partiach są wilgotne zawsze. Są to typowe powierzchniowe objawy wód podziemnych związane z drogami średniego krążenia.

Dolny poziom wypływów (położony ok. 10 m poniżej drogi) charakteryzuje się małą zmiennością wydatków, a sposób wypływania wskazuje na zasilanie z głębi. Należy sądzić, że mamy tu do czynienia z drenażem dróg dalekiego krążenia i nie ma on bezpośredniego wpływu na ruchy masowe.

Na wypływ wody podziemnej z korpusu drogi (poziom górny) nakłada się woda powierzchniowa wpływająca do wąwozu z rowu przydrożnego o długości ok. 200 m, nawadniająca i erodująca skarpcę wąwozu i nawadniająca dodatkowo koluwia. Poziom środkowy i dolny mają zlewnie naturalne. Zlewnie poziomu górnego oraz wód powierzchniowych zostały stworzone przez człowieka. Prawdopodobnie żaden z tych poziomów samodzielnie nie byłby w stanie uruchomić osuwiska w dzisiejszej postaci.

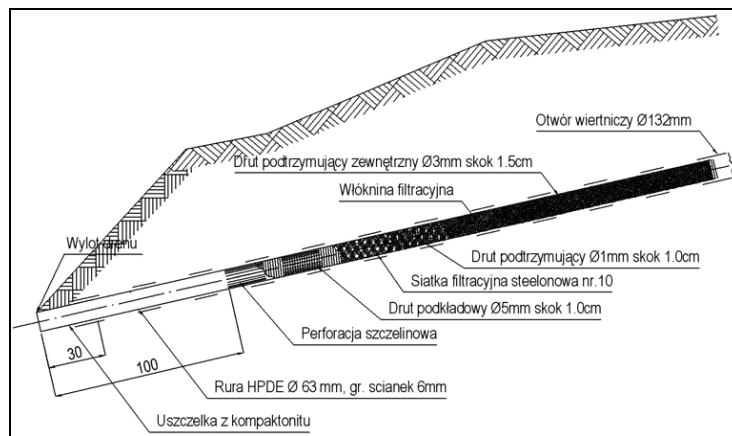
W celu stabilizacji osuwiska przejęto wierconymi drenami poziomymi wody z odpływem grawitacyjnym z dwóch górnych poziomów (rys. 2 i 4) i odprowadzono do potoku. U podstawy osuwiska wykonano studnie przelewowe (dreny „B” i „D”), których zadaniem było zmniejszenie wyporu bryły podlegającej ruchowi przez ułatwienie odpływu wody, która z jakichś powodów nie została wyżej przejęta. Wszystkie wykonane dreny od samego początku rozpoczęły pracę, były więc potrzebne. Początkowo wypływy były znaczne: z jednego drenu przez pierwszą dobę wypływało ok. 40 m³/h. Po spompowaniu zasobów statycznych i ostatecznym uformowaniu się leja depresji wydatki z nich bardzo zmalały. Obecnie w większości pracują jedynie okresowo: po opadach i roztopach.

Najlepszym sprawdzianem stabilności osuwiska było zmniejszanie się wypływu ze studzien przelewowych. W pewnym momencie przestały pracować. Można było tedy stwierdzić, że ciśnienie hydrostatyczne przestało działać na bryłę osuwiska, ponieważ nie występowały siły konieczne do jej ruszenia. Wodę powierzchniową z rowu przydrożnego sprowadzono do strumienia poza obrysem osuwiska.

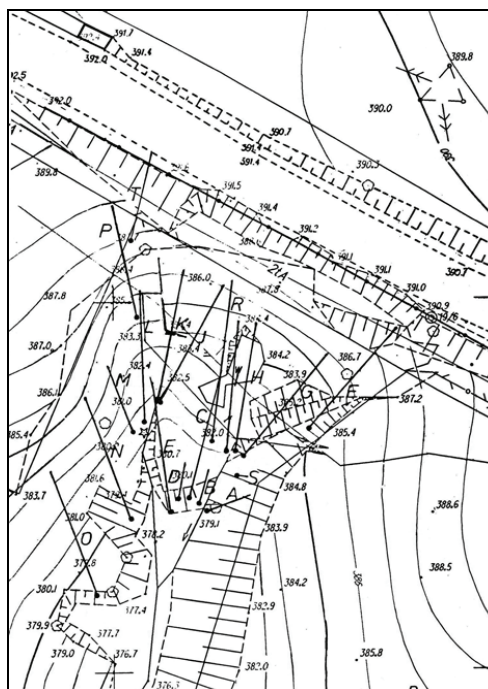
Wprowadzenie techniki wiertniczej do wykonywania drenów wglębnych (rys. 3) bardzo uprościło odwodnienie górotworu, gdyż pozwoliło dotrzeć do szczelin w skale i przejąć wodę przed jej dostaniem się do strefy poślizgu (rys. 2) oraz zredukować wypór i dodatkowo osuszyć koluria. W celu odbudowy korpusu drogi i zwiększenia współczynnika bezpieczeństwa zastosowano gabiony kotwione kotwami gruntowymi o długości 6,1÷8,5 m zakończonymi tarczami oporowymi i wstępnie sprężonymi. Dolną część korpusu zabezpieczono przed wypieraniem materacem wzmacniającym zbudowanym z warstwy zagęszczonego tłucznia w geowłókninie wzmocnionej siatką FORTRAC i związanym z podłożem płytami oporowymi z kotwami gruntowymi.

Prace zabezpieczające były wykonywane w roku 1998. Stan zabezpieczeń sprawdzono wiosną 2007 r. Stan nawierzchni i konstrukcji nie budził zastrzeżeń. Wszystkie dreny (poza

jednym bezpośrednio pod korpusem drogi) pracowały, powierzchnia osuwiska była sucha mimo topnienia śniegu. Odwodnienie spełniło swoją rolę, a rozpoznanie dróg krążenia dało podstawę do jego skutecznego osuszenia.



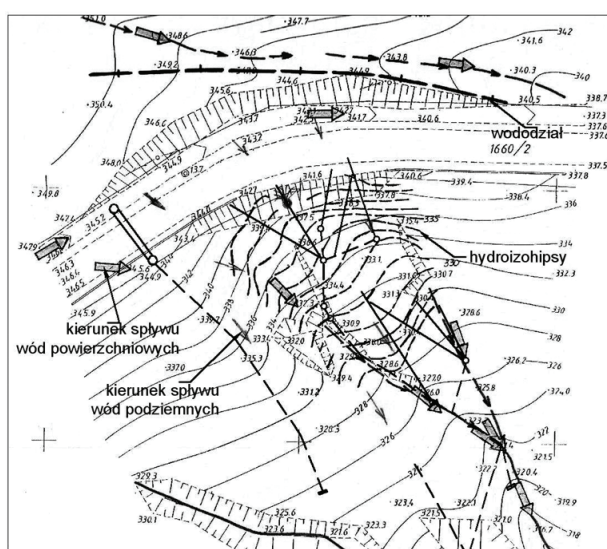
Rys. 3. Schemat drenu wprowadzonego metodą wiertniczą



Rys. 4. Uherce Mineralne — plan rozmieszczenia drenów wierconych

3.2. Korytniki

Osuwisko rozwinęło się na wewnętrznej stronie łuku drogi wojewódzkiej nr 884, schodzącej trawersem z wysoczyzny w miejscu przekraczania górnej części małej doliny. Od strony wysoczyzny droga wcięta jest na głębokość ok. 1 m, natomiast od strony doliny został uformowany nasyp o wysokości ok. 2 m. Z obu stron drogi były wykonane rowy przydrożne bez uszczelnienia. Rów od strony dolnej uchodził do doliny na skraju osuwiska. Rów od strony stoku wysoczyzny tracił częściowo wodę w obrębie osuwiska; pokazuje to mapa hydroizohips (rys. 5) wg G. Czudca [2].



Objaśnienia:

- o studzienki
- - - drenaż francuski
- drenaże wiercone
- przepusty

Rys. 5. Korytniki — mapa hydroizohips (wg G. Czudca — [2]) z siecią odwadniającą

W podłożu drogi występują łupki i piaskowce fliszowe, wieku kredowego, przykryte cienkim płaszczem gliny zwietrzelinowej o miąższości 1÷1,9 m (poza osuwiskiem) i do 4 m w obrębie osuwiska (koluwium). Osuwisko jest osuwiskiem zwietrzelinowym złożonym i objęło prawie cały profil zwietrzeliny. Ruchom masowym podlega tu całe zbocze wysoczyzny. Szczególnie intensywne ruchy występowały tu zawsze w osi doliny, gdzie skoncentrowany był spływ powierzchniowy. Dodatkowo system spękań skalnych powodował powstanie dosyć dużej zlewni podziemnej i wypływy wody w postaci źródeł i wysięków. Powodowało to zwiększenie wilgotności glin zwietrzelinowych. Uciekająca z rowu przydrożnego woda przepływa pod korpusem w skale, ukazując się w postaci źródełek, oraz przez

korpus drogi, wysączając bezpośrednio poniżej skarpy nasypu. Należy przypuszczać, że w przeszłości (droga jest bardzo stara) przy budowie drogi i jej poszerzaniu nie zwrócono uwagi na te uwarunkowania. Przyczyną powstania i rozwoju osuwiska były więc naturalne warunki geologiczne, spotęgowane dodatkowym doprowadzeniem wody powierzchniowej i podziemnej, oraz dociążenie zwietrzelin nasypem.

Stabilizacja osuwiska polegała na:

- odcięciu dopływu wody powierzchniowej do rejonu osuwiska przez wykonanie szczelnych rowów przydrożnych i odprowadzenie wody poza obręb osuwiska (drenaż „francuski”),
- odwodnieniu koluwiów drenażem wykonanym w rowach otwartych i zrzuconiu wody do strumienia,
- zmniejszeniu dopływu wody podziemnej przez wykonanie w obrębie osuwiska, poniżej drogi, metodą wiertniczą drenów wgłębnych przecinających w trzech poziomach powierzchnię poślizgu i zakończonych w skale (rys. 5) (dolny poziom osuszył koluwia i stworzył naturalną przeporę dla wyżej leżących mas ziemnych, środkowy wszedł w skałę i przejął wodę ze strefy poślizgu, natomiast górny przejął wodę spod korpusu drogi).

Odtworzenie korpusu drogi wymagało wykonania konstrukcji oporowej (muru oporowego) składającej się z gabionów wypełnionych materiałem skalnym, wspartych na palach iniekcyjnych, zagłębionych ok. 4 m w podłoże skaliste. Mur oporowy został zakotwiony w skale kotwami gruntowymi o długości ok. 10 m.

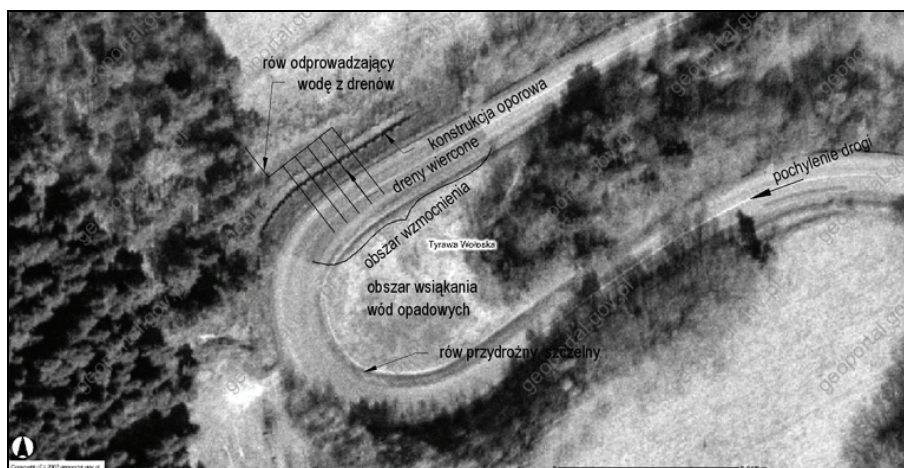
Na obszarach osuwiskowych można znaleźć ślady wskazujące na obecność uprzywilejowanych dróg krążenia wód podziemnych i powierzchniowych, jednak nie zawsze są one wyraźne. W tym przypadku oś dolinki, przekraczanej przez drogę, wskazywała na możliwość jej wystąpienia. Doliny nigdy nie występują w miejscach przypadkowych i do ich powstania muszą zostać spełnione przynajmniej dwa warunki: względnie słabe (w stosunku do otoczenia) podłoże i możliwość powstania skoncentrowanego strumienia wody (zlewnia). W miejscach zbudowanych z płytko występujących skał, o osłabieniu podłoża decyduje odporność na wietrzenie i spękanie górotworu. Ponadto spękania górotworu przyczyniają się do powstania zlewni podziemnych, decydujących o późniejszych zjawiskach związanych z przepływem wody powierzchniowej.

W przypadku Korytnik kluczem było znalezienie uprzywilejowanej drogi przepływu wód podziemnych i przejęcie ich drenażem wgłębnym przed dotarciem przez nie do powierzchni poślizgu. Drenaż koluwiów jedynie wzmacniał ich parametry i tworzył podstawę do stabilności całego zbocza.

Roboty wykonano w 2000 roku i dotychczas nie zaobserwowano deformacji korpusu. Dreny są okresowo czynne. Można więc stwierdzić skuteczność prac zabezpieczających.

3.3. Tyrawa Wołoska

Osuwisko powstało na zewnętrznym łuku drogi krajowej nr 98, schodzącej z wysoczyzny do dużego obniżenia dolinnego (rys. 6).



Rys. 6. Tyrawa Wołoska — zdjęcie lotnicze (po realizacji) z lokalizacją drenów wierconych

Na długości około 1 km droga obniża się o około 100 m. Sam łuk jest położony na krawędzi wysoczyzny i droga zmienia na nim kierunek z prostopadłego na równoległy do zbocza. Wysokość skarpy wynosi około 7 m. Sama droga jest bardzo stara, lecz wielokrotnie była przebudowywana i poszerzana, przede wszystkim na łuku. Po stronie wewnętrznej łuku biegnie nieuszczelniony rów przydrożny.

Połowa jezdni, od zewnętrznej strony łuku, na długości około 40 m, uległa uszkodzeniu. Obniżenie tej części jezdni sięgnęło 2 m. W podłożu drogi na łuku występują, na głębokości od 0 do 5,3 m, silnie spękanе cienkoławicowe fliszowe piaskowce oraz złupkowate mułowce i ilowce neogenu. Nad nimi leżą, w stanie luźnym, spoiste zwietrzliny tych skał. Skały fliszu wychodzą na powierzchnię bezpośrednio nad drogą.

Nie stwierdzono występowania jednolitych poziomów wód podziemnych. Silnie spękanе skały ułatwiają odpływ wody podziemnej z wysoczyzny i odprowadzenie jej do doliny. Jedyne w obrębie zwietrzliny występują lokalnie strefy z wodami zawieszonymi, które jednak szybko infiltrują głębiej. Na skarpie obserwuje się bezpośrednio po opadach wysięki, a lokalnie wręcz wypływy wody, które bardzo szybko zanikają. Rów przydrożny istniejący po wewnętrznym łuku drogi na wysokości osuwiska wyraźnie gubi wodę. Grunty budujące korpus drogi i występujące w jego podłożu w zewnętrznej części łuku są bardzo słabo zagęszczone.

Jak wynika z badań geologiczno-inżynierskich mamy tu do czynienia z osuwiskiem zwietrzelinowym.

Przyczyny powstania i rozwoju osuwiska są stosunkowo proste i wynikają z:

- poszerzenia drogi na łuku, co spowodowało zwiększenie kąta zbocza w jego górnej części i dociążenie zwietrzliny leżącej na stoku,
- nieuszczelnienia rowu przydrożnego,
- nieprzejęcia wody spływającej warstwą filtracyjną w korpusie drogi.

Korpus drogowy prowadzi wodę z dużej zlewni. Woda ta wypływa na łuku, zwiększając wilgotność gruntów i sufozyjnie zmniejszając ich zagęszczenie. Dodatkowo woda powierzchniowa uciekając z rowu przydrożnego przesącza się przez korpus i również wypływa na skarpie — stąd krótkotrwałe, lecz silne wypływy. Woda podziemna ciągłego poziomu nie odgrywa tu większej roli, gdyż wypływała w dnie doliny poniżej skarpy.

Przyczyną powstania i rozwoju osuwiska jest zsumowanie dociążenia skarpy oraz okresowe obniżanie się parametrów mechanicznych gruntów związane ze wzrostem wilgotności i oddziaływaniem sufozji mechanicznej.

W celu stabilizacji osuwiska wykonano:

- odwodnienie wgłębne, przez wprowadzenie u podstawy korpusu drogowego poziomych 15 drenów wierconych (rys. 6) o długości do 20 m, sięgających aż do skały po oś jezdni (o konstrukcji jak na rys. 3), przejmujących wodę, niezależnie od jej pochodzenia, przed jej dotarciem do strefy poślizgu oraz osuszających koluwia (schowanie leja depresji w korpus zlikwidowało sufozję mechaniczną oraz zmniejszyło wilgotność gruntów),
- uszczelniono rów przydrożny.

W celu odbudowania korpusu drogowego:

- wzmocniono górotwór w podłożu korpusu, wykonując dwa rzędy pali iniekcyjnych o średnicy 200÷250 mm (stężonych rurami stalowymi) zagłębionych w skaliste podłoże na głębokość 2÷3 m, stanowiące podstawę dla muru oporowego podpierającego odbudowany korpus, wykonanego z belek prefabrykowanych,
- zabezpieczono dodatkowo mur oporowy przed przemieszczeniami poziomymi kotwami gruntowymi o długości 15 m,
- związano gwoździami z rur stalowych o długości 3÷5 m odbudowaną część korpusu z już istniejącą.

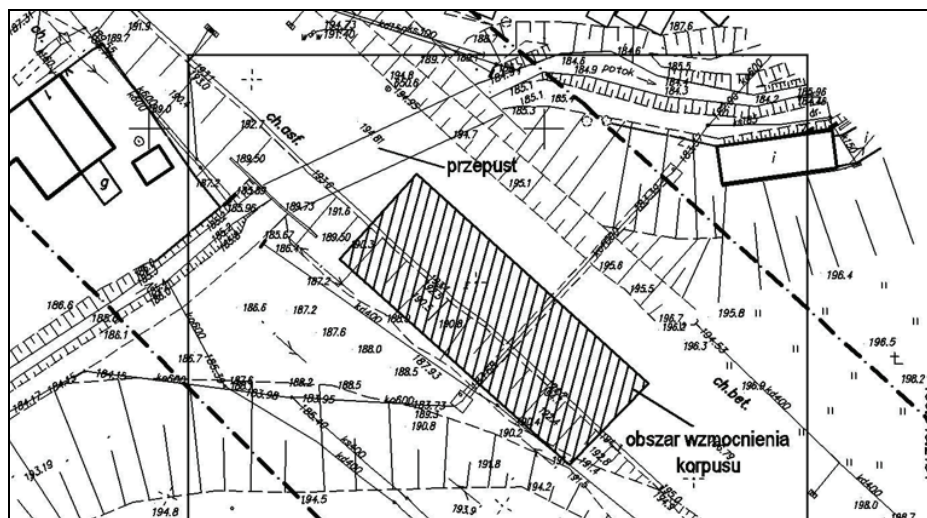
Roboty były wykonane w 2000 roku. Wielokrotne, późniejsze kontrole potwierdziły słusność oceny źródeł zawilgocenia gruntów. Ze skarpy woda już nie wypływa, natomiast obserwowane są okresowe (po opadach) wypływy wody z drenów. Są one znacznie mniejsze niż przed pracami zabezpieczającymi. Nawierzchnia nie ulega już odkształceniom.

Rozpoznanie hydrogeologiczne, które wykluczyło udział wód podziemnych dalekiego krążenia w powstaniu i rozwoju deformacji korpusu drogowego, pozwoliło na uproszczenie koncepcji stabilizacji osuwiska, a wykonanie odwodnienia wgłębego metodą wiertniczą z poziomu podstawy korpusu (około 7 m poniżej niwelety) umożliwiło przejście okresowych wód płytkiego krążenia i osuszenie całego korpusu. Konstrukcja oporowa była potrzebna jedynie do odbudowy obiektu.

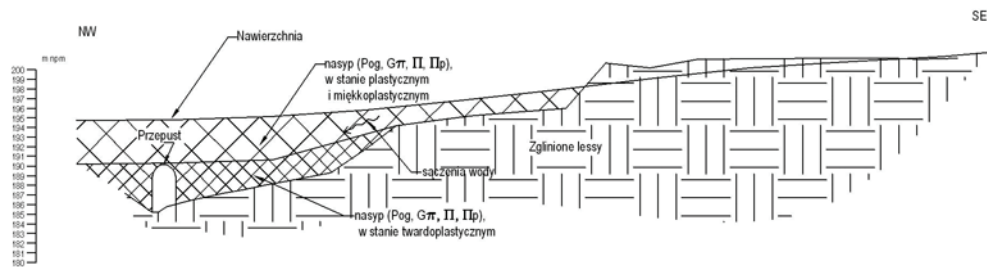
3.4. Jarosław

W miejscu wystąpienia kolejnego osuwiska droga krajowa nr 4 przecina nasypem dolinę o głębokości ok. 15 m z okresowo płynącym ciekim, ujętym w betonowy przepust

o średnicy ok. 6 m (rys. 7). Droga obniża się do przepustu na odcinku około 200 m (rys. 8). Nasyp zbudowany jest z glin i glin pylastych pochodzenia lessowego z przewarstwieniami pyłów w części górnej. Uszkodzeniom połowy jezdni towarzyszyła deformacja skarpy nasypu i muru oporowego podtrzymującego górną część korpusu drogowego. Badania geotechniczne wykazały dużą wilgotność oraz niskie parametry mechaniczne gruntów w części górnej korpusu, blisko przepustu. Nasyp był wielokrotnie przebudowywany i poszerzany.



Rys. 7. Jarosław — plan sytuacyjny z zarysem wzmocnienia korpusu

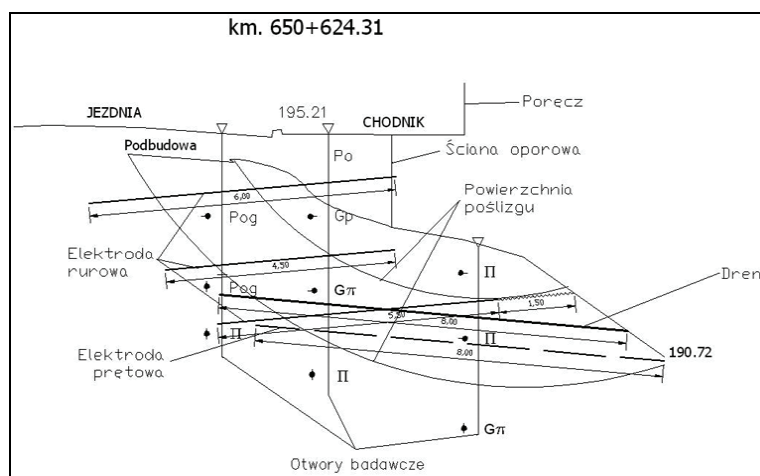


Rys. 8. Jarosław — przekrój podłużny korpusu drogowego

Analiza hydrogeologiczna terenu wykluczyła udział wód podziemnych naturalnego pochodzenia w zawilgoceniu gruntów korpusu, źródłem tej wody były więc prawdopodobnie nieszczelności starej, pogrzebanej kanalizacji deszczowej, która przepływa warstwą filtracyjną zgodnie z pochyleniem drogi. Jej skład chemiczny wyklucza udział ścieków sanitarnych. Na drodze przepływu infiltruje w przewarstwienia bardziej przepuszczalne. Betonowy przepust w nasypie oznaczający koniec jej przepływu powoduje jej piętrzenie i zmusza do pojawienia się na skarpie.

Investor, analizując koszty przebudowy całego nasypu łącznie z wymianą w nim gruntów na sypkie oraz związane z tym problemy techniczne, wybrał wariant nie wymagający zamknięcia ruchu, polegający na głębokim odwodnieniu korpusu i zwiększeniu, metodą chemiczną, parametrów mechanicznych wbudowanych w niego gruntów.

Odwodnienie było przeprowadzone dwustopniowo. W pierwszym etapie w korpus wprowadzono metodą wiertniczą, na kilku poziomach drenaży o konstrukcji jak na rysunku 3. Ich rozmieszczenie i długość ($12 \div 20$ m) wynikały z rozpoznania geotechnicznego (rys. 9).



Rys. 9. Jarosław — schemat rozmieszczenia elektrod i drenów w przekroju poprzecznym korpusu drogowego

Już bezpośrednio po ich wykonaniu zmienność wydatków drenów w czasie potwierdziła przyjętą w założeniach tezę o związkach z opadami atmosferycznymi. W drugim etapie zastosowano metodę elektroosmozy do osuszenia gruntów spoistych z jednoczesnym wprowadzaniem środków chemicznych wzmacniających korpus i nie dopuszczających do osiadania nawierzchni drogi. Zastosowano metodę cebertyzacji [16]: wprowadzano więc szkło wodne i chlorek wapnia, które wiążąc wypełniły pory gruntu. Przeprowadzone badania potwierdziły poprawę parametrów gruntów budujących nasyp. Roboty wykonano w latach 2003–2004. Drenaże pracują nadal okresowo, najdłużej podaje wodę najniższy położony dren (blisko przepustu). Roboty wykonano bez zamykania ruchu. Drenaż skutecznie chroni grunty korpusu przed zmianą wilgotności i obniżeniem parametrów mechanicznych. Uszkodzony mur oporowy podtrzymujący górną część korpusu wymieniono na nowy z jednoczesnym jego zakotwieniem kotwami gruntowymi typu Titan.

3.5. Koronowo

Droga nr 25 biegnie wysoczyzną w przybliżeniu równoległe do doliny Brdy, w sąsiedztwie Koronowa (województwo kujawsko-pomorskie) przecina ona dolinę strumienia ujęte-

go przepustem i stanowiącego prawy dopływ rzeki (rys. 10). Strumień w miejscu przecięcia płynie doliną o głębokości około 10 m. W celu osiągnięcia planowanej niwelety nad przepustem usypano nasyp o wysokości ok. 6 m, w skład którego wchodzi w sposób nieuporządkowany piaski gliniaste, gliny piaszczyste i piaski drobnoziarniste, miejscami wzmocnione rozsypanym cementem. Przepust o długości 33 m jest zbudowany z kręgów żelbetonowych o średnicy 1600 mm. Kręgi są poprzysuwane względem siebie i przez szczeliny grunt wyspuje się do przepustu. Na wewnętrznych powierzchniach kręgów przepustu do wysokości 2/3 ich wysokości są widoczne wycieki i wysięki wody. Wskazuje to na drenujący charakter przepustu i występowanie sufozji mechanicznej. Nawierzchnia drogi od strony południowej obniża się do osi doliny na odcinku ok. 500 m. Uszkodzeniom związanym z osiadaniami uległa nawierzchnia drogi oraz skarpy nasypu nad przepustem.

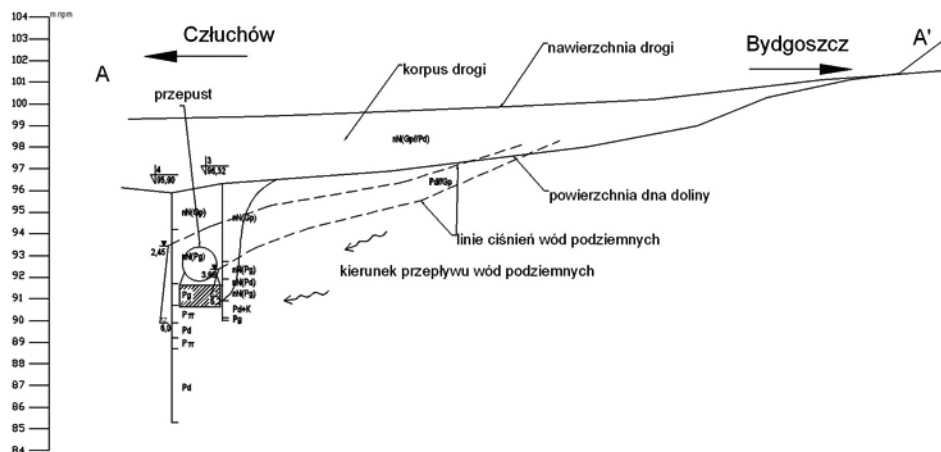


Rys. 10. Koronowo — szkic lokalizacyjny drenów wierconych

W trakcie prac badawczych stwierdzono (rys. 11):

- w dnie doliny do głębokości 6 m występują dwie warstwy wodonośne rozdzielone kilkudziesięciocentymetrową warstwą piasków gliniastych. Powierzchnia ciśnienia wody w warstwie dolnej stabilizuje się średnio ok. 1 m nad zwierciadłem wody w warstwie górnej (miejscami do 3 m) i wychodzi nad powierzchnię terenu,
- górna warstwa drenuje dolną,
- strumień ma charakter drenujący,
- przepust ma charakter drenujący w stosunku do obu warstw wodonośnych, gdyż w trakcie budowy przebito rozdzielającą je warstwę piasków gliniastych,

- zasilanie warstw wodonośnych odbywa się z wysoczyzny w sposób naturalny ze zlewni hydrogeologicznej oraz z wód opadowych płynących warstwą filtracyjną w korpusie z odcinka obniżającego się odcinka drogi,
- woda spływająca warstwą filtracyjną wsiąka w nasyp w dolinie (zwiększając wilgotność gruntów) i wypływa w przepuście szczelinami oraz na skarpach nasypu w najniższym punkcie (przepust stanowi zaporę),
- woda podziemna w dolinie w obu warstwach wodonośnych przepływa zgodnie z kierunkiem strumienia,
- w bezpośrednim sąsiedztwie przepustu występują zluźnienia gruntów w korpusie drogi,
- obciążenie nasypem słabonośnych gruntów w dnie doliny spowodowało ich konsolidację i utrudnienie w przepływie naturalnym, co doprowadziło do podpiętrzenia wód gruntowych z jednej strony nasypu i zabagnienia tarasu po stronie wody górnej.



Rys. 11. Koronowo — przekrój geologiczny w rejonie prowadzonych prac

Stwierdzono, że przyczyną uszkodzenia drogi i deformacji zboczy korpusu jest sufozja wywołana dostawaniem się w miejscach przesunięć kręgów przepustu wody wraz ziarnami gruntu. Przesunięcia te powstały prawdopodobnie już w trakcie wykonywania nasypu (obciążania przepustu nasypem).

Przyczyny deformacji usunięto, wykonując następujące prace:

- przejście szesnastoma drenami wierconymi wód podziemnych spływających do doliny warstwą górną w podstawie nasypu i obniżenie ciśnienia w warstwie dolnej,
- uszczelnienie i wzmocnienie przepustu poprzez iniekcję.

Efekty tych prac kontrolowano dzięki założonym wcześniej piezometrom. Zwierciadło wody podziemnej i linii ciśnienia zostało obniżone w sąsiedztwie przepustu poniżej powierzch-

ni terenu. Przyczynami odkształceń korpusu drogowego była woda podziemna, której przepływ został zaburzony w wyniku budowy nasypu i przepustu oraz stworzenie warunków do wystąpienia zjawiska sufozji. Wodę przejęto drenami wierconymi o konstrukcji jak na rysunku 3 i długości 9÷14 m oraz odprowadzono do strumienia. Prace zabezpieczające przeprowadzono w latach 1995 i 1996. Dzięki zastosowaniu techniki wiertniczej stabilizację korpusu przeprowadzono bez zamykania ruchu. Aktualnie drenaż jest nadal sprawny i nie odnawiają się odkształcenia przepustu ani korpusu drogi. Ten sposób osuszania gruntów w budownictwie drogowym jest stosowany przez autorów od 1995 r. Wstępne wyniki jego efektywności zostały przedstawione w roku 2002 [9].

4. Wnioski

Stosowane przez autorów odwodnienie wgłębne drenami wierconymi, w połączeniu z analizą hydrogeologiczną rejonu podlegającego ruchom masowym, jako podstawowe działanie przy stabilizacji osuwiska ma już dwunastoletnią tradycję (1995–2007). Niewątpliwie nie eliminuje ono innych form odwodnienia, ale obniża koszty i przyspiesza realizację. Dodatkowo nie wymaga wykonywania głębokich wykopów, które są zmorą wykonawców prac w gruntach o konsystencji plastycznej i miękkoplastycznej, a takie dominują w obrębie koluwiów. Nie ma dla nich ograniczeń głębokościowych. Jak wynika z przedstawionych przykładów, zastosowanie odwodnienia metodą wiertniczą jest celowe zarówno w przypadkach występowania wód naturalnych, jak i wprowadzonych do osuwiska przez człowieka. Tak wykonane dreny przechodzą przez powierzchnię poślizgu, przejmując częściowo wodę zanim dotrze do tej powierzchni, drenują wodę nią płynącą oraz osuszają koluwia. Odwodnienie jest najtańszym sposobem stabilizacji osuwiska, nie wymaga bowiem znacznych nakładów materiałowych, a w przypadku drenów wierconych — nawet większych prac ziemnych.

Odwodnienie wgłębne może być wspomagane przez chemiczne wzmocnienie gruntów. W wielu metodach wzmocnienie tego rodzaju powoduje samoistne osuszenie gruntów. Jest to bardzo pomocne przy pracach drogowych, gdy ważne jest zachowanie ciągłości ruchu. Przy skutecznym osuszeniu konstrukcje oporowe służą jedynie odbudowie obiektu. W przypadku Koronowa nie było to nawet potrzebne. We wszystkich przypadkach przeprowadzono roboty nie zamykając ruchu.

LITERATURA

- [1] *Bober L., Thiel K., Zabuski L.*: Zjawiska osuwiskowe w polskich Karpatach Fliszowych. Geologiczno-inżynierskie właściwości wybranych osuwisk. Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku. Gdańsk – Warszawa – Kraków, 1997
- [2] *Czudec G.*: Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla potrzeb zabezpieczenia osuwiska w ciągu drogi wojewódzkiej nr 884 Przemyśl — Domaradz w km 13+660–13+690 w miejscowości Kopytniki, 2000
- [3] *Furtak K., Sala A.*: Stabilizacje osuwisk komunikacyjnych metodami konstrukcyjnymi [w:] *Geoinżynieria drogi, mosty i tunele*, nr 03 (06), 2005, 12–22

- [4] *Gąska P.*: Typy osuwisk drogowych Podkarpacia. Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym. Zeszyty naukowo-techniczne Oddziału Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 35, z. 76, Kraków, 2000
- [5] Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych. Warszawa, GDDP, 1999
- [6] *Kessler A.*: Zastosowanie nowoczesnych technologii geosyntetycznych do zabezpieczeń osuwisk w budownictwie komunikacyjnym na przykładzie komórkowego systemu ograniczającego. Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, z. 76. Kraków, 2000
- [7] *Kleczkowski A.*: Osuwiska i zjawiska pokrewne. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne 1955
- [8] *Michalski T., Bosak J.*: Przyczyny powstawania i zarys rozwoju osuwisk deformujących korpusy dróg na przykładach z obszaru województwa podkarpackiego. 2002
- [9] *Sierant J.*: Nowoczesne metody stabilizacji skarp i osuwiska w oparciu o system TITAN. Zeszyty naukowo-techniczne SITK RP, Oddział w Krakowie, z.105. Kraków, 2003
- [10] *Starkel L.*: Paleografia holocenu. Warszawa, PWN 1977
- [11] *Starkel L.*: Budowa geologiczna Polski, t. I. Stratygrafia, część 3b kenozoik, czwartorzęd. Praca zbiorowa. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne 1984, 331–333
- [12] *Wysokiński L.*: Zabezpieczanie stateczności skarp i zboczy. XVI Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji. Ustroń, 2001
- [13] Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. Warszawa, GDDP 2002
- [14] *Zabuski L., Thiel K., Bober L.*: Osuwiska we fliszu Karpat Polskich (geologia, modelowanie, obliczenia stateczności). Gdańsk, Wydawnictwa Instytutu Budownictwa Wodnego PAN 1999
- [15] *Zabuski L.*: Zalecenia dotyczące zabezpieczenia się przed osuwiskami i postępowania w przypadku ich wystąpienia. Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku przy współpracy Państwowego Instytutu Geologicznego, Oddział Karpacki w Krakowie oraz Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Stacja Naukowa w Szymbarku, 2005 (materiały niepublikowane)
- [16] *Zieliński K.*: Zeskalanie gruntu metodą R. Cebertowicza. Warszawa, PWN 1956