INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 4/2011, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 141–150
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Anna Szafarczyk, Edyta Puniach

OSUWISKA – WYZNACZENIE CZASOKRESÓW PROWADZENIA OBSERWACJI GEODEZYJNYCH PRZEMIESZCZAJĄCYCH SIĘ MAS ZIEMNYCH

LANDSLIDES – PERIODS DETERMINATION OF SURFACE MASS DISLOCATIONS GEODETIC SURVEYS

Streszczenie

Osuwiska są jednymi z najbardziej rozpowszechnionych zjawisk, które powodują katastrofy naturalne. W związku z tym prowadzenie geodezyjnego monitoringu przemieszczających się mas ziemnych jest niezbędne w celu zapewnienie bezpieczeństwa ludzi i ich mienia. Podczas pomiarów geodezyjnych związanych z monitoringiem osuwisk bardzo ważne jest zaplanowanie momentów wykonywania obserwacji we właściwych odstępach czasu. Wybór właściwych momentów wykonania obserwacji daje obserwatorowi odpowiedni wgląd w przebieg kinematyki zjawiska wraz z rozpoznaniem etapów rozwoju procesu, które następują kolejno z różnym nasileniem i częstotliwością. Autorzy, bazując na literaturze, zaprezentowali zasady planowania serii pomiarowych podczas geodezyjnych badań deformacji, skupiając się na zależnościach związanych z deformacjami gruntu spowodowanymi prowadzoną podziemną eksploatacją górniczą. Zaprezentowana została koncepcja planowania i wykonania serii pomiarowych na przykładzie aktywnego osuwiska przy uwzględnieniu czynników wpływających na intensyfikację przemieszczania się mas ziemnych, takich jak: nasycenie gruntu wodą, budowa geologiczna obszaru, czy rodzaj gleby i jej właściwości.

Słowa kluczowe: osuwiska, deformacje powierzchni terenu, geodezyjne badanie deformacji

Summary

Landslides are one of the most common events that cause natural disasters. Therefore, performing geodetic monitoring of moving soil mass is necessary to ensure the safety of people and their property. During geodetic surveys connected

with landslides monitoring it is very important to plan the moments of observations in a correct time periods. Choosing appropriate moments of observation series can give the observer proper view on progress of process kinematics with identification of development stages of process, which occur sequentially with various severity and frequency. Authors presented the rules of planning observation series during geodetic surveys of deformations according to literature. They focused mainly on formulas connected with ground deformations caused by underground exploitation and gave proposition of planning observations series on the example of landslide, taking into account factors influencing the intensification of soil mass movement, such as water saturation of soil, geological structure of the area or soil type and its properties.

Key words: *landslides, ground deformation, geodetic surveys of deformations*

WSTĘP

Pod pojęciem *powierzchniowe ruchy masowe* ogólnie rozumie się ruch mas ziemnych na stokach, bądź na innych obszarach pochyłych. Podział tych procesów jest niejednoznaczny i zróżnicowany w wielu opracowaniach. Obecnie największym uznaniem cieszy się uproszczona klasyfikacja zaproponowana przez Varnesa [Varnes, 1978], w której grawitacyjne ruchy masowe określa się terminem *osuwiska* (*landslides*) [Rybicki, 2005].

Na mocy ustawy z dnia 27 kwietnia 2001r. – Prawo ochrony środowiska – osuwiska, a także tereny zagrożone ruchami masowymi powinny być monitorowane, ponieważ mogą stanowić poważny problem dla gospodarki, powodując wymierne straty finansowe oraz zagrażając zdrowiu i życiu ludzi.

Dla uzyskania materiału doświadczalnego przydatnego do określenia kinematyki powierzchniowych ruchów masowych konieczne jest odpowiednie zaplanowanie czasokresów prowadzenia obserwacji. Mając na uwadze aspekt ekonomiczny, odstępy czasu między seriami obserwacyjnymi nie powinny być zbyt krótkie. Wydłużenie okresów pomiarowych może z kolei doprowadzić do niezarejestrowania momentu wystąpienia ekstremalnych wartości wskaźników deformacji terenu. Z powyższych względów należy częstotliwość pomiarów kształtować w ścisłym powiązaniu z intensywnością prognozowanych ruchów powierzchni terenu.

Możliwość przewidywania deformacji terenu istnieje w przypadku ruchów wywołanych działalnością człowieka, natomiast w przypadku ruchów o charakterze osuwiskowym przy wyborze terminów prowadzenia pomiarów należy kierować się innymi przesłankami, wśród których najważniejszymi są:

– budowa geologiczna zbocza,
– obfite i długo trwające opady atmosferyczne,
– wiosenne roztopy zalegającego w dużych ilościach śniegu,
– zmiana właściwości fizyko-mechanicznych gruntu wywołana napływem dużej ilości wody nie pochodzącej z opadów atmosferycznych.

CZYNNIKI DECYDUJĄCE O DYNAMICE PRZEMIESZCZANIA SIĘ MAS ZIEMNYCH

Istnieje wiele przyczyn, które powodują uruchomienie osuwisk, a następnie determinują tempo przemieszczania się mas ziemnych. Można je podzielić, kierując się różnymi założeniami. Przykładowo do wewnętrznych przyczyn ruchów masowych zalicza się erozję wgłębną i boczną stoków, ruchy tektoniczne, a także trzęsienia ziemi, natomiast wysycenie wodą opadową bądź roztopową oraz działalność człowieka traktuje się jako warunki zewnętrzne negatywnie wpływające na stabilność zboczy. Inny podział uwzględnia czynniki bierne (np. budowa geologiczna), czynniki aktywne, czyli wszystkie procesy oddziałujące na zbocze, oraz czynniki antropogenne, takie jak mechaniczne podcięcie zboczy, czy obciążenie zboczy przez zabudowę.

Podstawowym czynnikiem mającym wpływ na tempo uruchomienie się mas ziemnych jest woda pochodząca z opadów atmosferycznych lub doprowadzona w sposób sztuczny przez człowieka. Prowadzone obserwacje należy zatem konfrontować z danymi meteorologicznymi rejonu badań, co nie jest zadaniem łatwym, ponieważ opady atmosferyczne są bardzo zmienne i trudne do przewidzenia w czasie, jak i w przestrzeni.

Intensywne, długotrwałe opady deszczu już niejednokrotnie były przyczyną uaktywnienia się katastrofalnych w skutkach osuwisk, czego przykładem jest ponad 1300 osuwisk powstałych w okresie maj – czerwiec 2010r. na terenie województw: małopolskiego i śląskiego. W czasie trwających trzy dni opadów deszczu (15-18.05.2010r.) spadło od 100 mm/m^2 do ponad 300 mm/m^2 wody przy średniej temperaturze powietrza nie przekraczającej 10°C. W „rekordowej" Bielsko Białej wysokość opadów przekroczyła 370 mm/m^2, co stanowi 4-ktotną normę przypadającą na miesiąc maj. Główny Urząd Nadzoru Budowlanego ocenia, że w Polsce według stanu na dzień 17.06.2010r. w wyniku osuwisk zostało uszkodzonych łącznie 2269 budynków, w tym całkowicie zniszczonych zostało 560 budynków, a 1709 wymaga odbudowy lub remontu [Uniknąć zagrożenia…, 2010]. Przy czym w samym Kłodnem osuwająca się z prędkością 1m/h ziemia na powierzchni około 100ha zniszczyła niemal 30 domów (rys. 1) [Hamarnik P., 2010]. Podobne skutki przyniosła powódź z lipca 1997r. wraz z poprzedzającymi ją rekordowymi opadami deszczu. W dniach 03-08.07.1997r. opady objęły cały kraj, osiągając najwyższe wartości przekraczające 200 mm/m^2 w południowo-zachodniej części kraju, jednak w wybranych rejonach Polski wysokość opadów dochodziła do 500 mm/m^2.

W kolejnych latach w wyniku nasilonych opadów atmosferycznych wielokrotnie dochodziło do uruchomienia osuwisk, których skutkiem były duże szkody w infrastrukturze osadniczej i komunikacyjnej. Przykładem może być rok 2001, kiedy to na Hali Gąsienicowej między 16 a 27 lipca spadło 561,6 mm/m^2. Również deszczowy rok 2002, poprzedzony śnieżną zimą, przyniósł liczne

straty, kiedy to w wyniku opadów o charakterze nawalny (np. w Muszynie 07.07 spadło w 40 min 51,3mm/m^2, a 14.07 w 30 min – 54mm/m^2) ziemia spływała ze stoków, zasypując, bądź niszcząc budynki [Monitoring osuwisk…].

Rysunek 1. Osuwisko w Kłodnem (gmina Limanowa) [www.limanowa.in]
Figure 1. Ladnslide in Kłodno (community Limanowa)

O powstaniu osuwisk nie decyduje jedynie nasiąknięcie mas zwietrzelinowych i skalnych wodą deszczową, ewentualnie roztopową. Duże znaczenie ma również budowa geologiczna, nachylenie stoku oraz jakość pokrywy zwietrzelinowej [Klimaszewski M., 1978].

Osuwiska są szczególnie częste w obszarach o sprzyjającej im budowie geologicznej, gdzie warstwy skał przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych występują naprzemiennie. Silnie nasiąkający nieprzepuszczalny materiał podścielający (np. iły, mułowce, łupki ilaste) stanowi doskonałą płaszczyznę poślizgu dla obciążonych wodą grubych ławic przepuszczalnych piaskowców, wapieni lub bazaltów. Osuwiska rozwijają się również często wzdłuż płaszczyzny szczelin lub płaszczyzny uławicenia [Klimaszewski M., 1978].

Skały zwięzłe mogą tworzyć pionowe ściany, natomiast skały luźne (spoiste bądź sypkie) w różnym stopniu wykazują zdolność do przemieszczania się po zboczu. Maksymalne nachylenie, przy którym materiał luźny nie ulegnie jeszcze przemieszczeniu, jest różne w zależności od materiału i nazywane kątem naturalnego spoczynku. Dla piargów ostrokrawędzistych osiąga on wartość do 45°, dla piasków – od 30° do 38°, dla glin – od 8° do 20°, natomiast dla iłów – od 5° do 17°. Na intensywność ruchów grawitacyjnych duży wpływ mają właściwości fizyczne gleb, które są często funkcją wilgotności, takie jak: plastyczność, lepkość, zwięzłość, pęcznienie i kurczenie się. Na podatność utworów spoistych i sypkich do przemieszczania się ma znaczenie również struktura gruntu, jego porowatość, a także przepuszczalność. Najważniejszym, spośród wymienionych, parametrem jest wskaźnik plastyczności, którego wartość określa, ile procent musi wzrosnąć wilgotność gleby, aby zmieniła się jej konsystencja za zwartej na płynną. Im wyższa wartość tego wskaźnika, która uzależniona jest od zawartości w glebie cząstek iłu koloidalnego, tym większa spoistość gleby, a zatem większa wytrzymałość gruntu na ścinanie [Zawadzki S. i in. 1995].

Zbyt duże nasyceniu gleby wodą może doprowadzić do jej upłynnienia. Jednak nie musi ona pochodzić wyłącznie z opadów atmosferycznych, czy też roztopów. Źle odprowadzona woda opadowa również bywa przyczyną powstania osuwisk, szczególnie w obrębie skarp drogowych. Przykładem może być osuwisko położone wzdłuż drogi krajowej nr 4 Kraków – Tarnów, które powstało w wyniku pogorszenia właściwości wytrzymałościowych gruntów spoistych budujących nasyp w skutek przenikania do wnętrza nasypu wody ze źle działającego odwodnienia i pękania nawierzchni.

METODY PLANOWANIA CZASOKRESÓW POMIAROWYCH

Dobór odstępów czasowych między kolejnymi seriami pomiarowymi zależny jest od znajomości przyczyny powstających deformacji. Zarówno w przypadku ruchów powierzchni terenu o charakterze osuwiskowym, jak i deformacji będących skutkiem eksploatacji podziemnej optymalna byłaby ciągła w czasie

rejestracja zachodzących procesów. Specyfika pomiarów geodezyjnych, a także koszty z nimi związane wykluczają takie rozwiązanie. Z tego powodu obserwacje geodezyjne przeprowadza się w praktyce cyklicznie, w stałych odstępach czasu. Dla terenów, pod którymi prowadzona jest podziemna eksploatacja górnicza, istnieje bogata literatura dotycząca planowania pomiarów w celu określenia wskaźników deformacji, natomiast w przypadku ruchów masowych takie opracowania nie istnieją.

Przy badaniu wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię pierwsze dwie serie obserwacyjne zgodnie z [Milewski M., 1980] należy wykonać jeszcze przed ujawnieniem się wpływów na powierzchni ze względu na kontrolę prawidłowości wyników obserwacji, jak i w celu wykrycia ewentualnych zmian położenia punktów badawczych pod wpływem czynników nie górniczych. Kolejne obserwacje zaleca się prowadzić w odstępach wyznaczanych przy wykorzystaniu jednego z poniżej przedstawionych wzorów (tab. 1).

Możliwość zaplanowania pomiarów w geodezji górniczej wiąże się ze znajomością tzw. funkcji wpływów, która opisuje obniżenia punktu terenowego, wywołane prowadzoną eksploatacją, w funkcji czasu. W celu określenia czasoprzestrzennych rozkładów deformacji powierzchni według stosowanej powszechnie teorii S. Knothego konieczna jest znajomość trzech parametrów [Szafarczyk A., 2008]:

– $tg\beta$ (tangens kąta zasięgu wpływów) to parametr, którego wartość zależy od budowy geologicznej i geomechanicznych własności skał nadległego górotworu,

– c czyli współczynnik czasu, na którego wartość wpływa głównie głębokość eksploatacji, system eksploatacji oraz prędkość frontu eksploatacji,

– a - współczynnik eksploatacji – zależy od systemu prowadzonej eksploatacji.

Dysponowanie wartościami wyżej wymienionych parametrów umożliwia następnie zaprogramowanie takiego czasu obserwacji, aby można było uchwycić wszystkie charakterystyczne stany deformacji.

Tabela 1. Wzory pozwalające na określenie interwału czasu pomiędzy kolejnymi seriami obserwacyjnymi

Tabela 1. Formulas for determining time interval between successive sets of observations

Autor	Wzór na ustalenie interwałów pomiędzy seriami obserwacyjnymi	Oznaczenia
B. Skinderowicz	$t = \dfrac{w \cdot r}{0{,}6 \cdot w_{max} \cdot v}$	t - interwał czasu między obserwacjami wysokościowymi, w - obniżenie, v - szybkość eksploatacji.

Autor	Wzór na ustalenie interwałów pomiędzy seriami obserwacyjnymi	Oznaczenia
K. Trojanowski	$t = \frac{t_d}{10}$	t_d - czas trwania zasadniczego okresu ruchu powierzchni, wyznaczony z zależności: $t_d = 2{,}1 \cdot \frac{H}{v}$ gdzie: H - głębokość zalegania eksploatowanego pokładu, v - szybkość eksploatacji.
S. Szpetkowski	$t = \frac{k \cdot m \cdot \sqrt{2}}{v_d}$	m - uzyskany średni błąd obserwacji danego rodzaju wielkości deformacji, k - współczynnik pewności, przy czym k=2÷3, v_d - prędkość występowania deformacji w jednostce czasu.

Źródło: Milewski M., 1980.

Analizując szczegółowo przebieg osiadania punktu, można wydzielić trzy fazy tego procesu (rys. 2):

t_A- faza ruchów wstępnych,

t_B - faza ruchów zasadniczych (głównych),

t_A - faza ruchów zanikających.

Podczas trwania głównej fazy ruchów powierzchni i górotworu wartość obniżeń punktu w czasie przyjmuje maksymalną prędkość, co widać na rys. 2, a czas trwania ruchów zasadniczych według [Dżegniuk B. i inni, 1979] opisany jest wzorem:

$$t_B = \frac{1}{f_T(u)} \cdot \frac{r}{v} \tag{1}$$

gdzie:

$f_T(u)$– funkcja, którą określa przybliżona zależność , $f_T(u) = \frac{1{,}13}{1{,}3 + u}$,

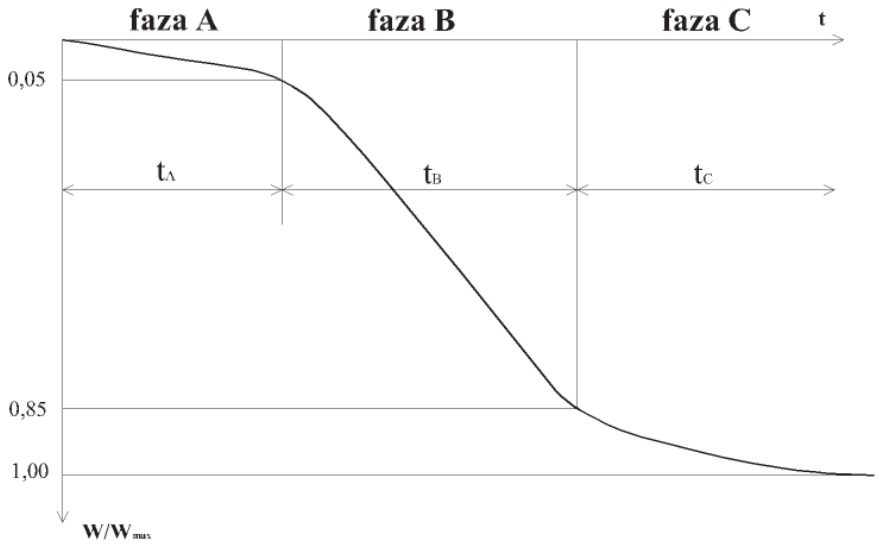
u – zmienna dynamiczna, równa $u = \frac{c \cdot r}{v}$,

r – parametr rozproszenia wpływów, $r = \frac{H}{tg\beta}$.

W zależności od dokładności rozpoznania przebiegu zjawiska deformacji, jaką planuje się uzyskać, określa się ilość n cykli pomiarowych wykonanych w fazie ruchów zasadniczych. Wobec tego odstęp czasu pomiędzy kolejnymi obserwacjami charakteryzuje zależność:

$$\Delta t = \frac{t_B}{n} \tag{2}$$

W przypadku ruchów powierzchni terenu o charakterze osuwiskowym dokładny przebieg ruchu poszczególnych punktów osuwiska w funkcji czasu jest zagadnieniem wymagającym przeprowadzenia badań kinematyki zjawiska. Brak znajomości funkcji opisującej ruch punktu w funkcji czasu utrudnia zaplanowanie terminów wykonania prac.



Rysunek 2. Charakterystyka obniżeń punktu w czasie [Pielok J. 2002]
Figure 2. Characteristics of point subsidence in time [Pielok J. 2002]

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi [Dz. U. 2007 nr 121, poz. 840 z późniejszymi zmianami] narzuca obowiązek monitorowania osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi na starostów. Celem tych prac jest określenie prędkości i charakteru ruchu mas ziemnych. Wartości przemieszczeń w szczególności są wyznaczane przy użyciu metod geodezyjnych na liniach lub siatkach reperów ziemnych, metodami fotogrametrii naziemnej lub lotniczej, przy użyciu GPS, satelitarnej interferometrii radarowej oraz skaningu laserowego. Do obserwacji ruchów masowych wdraża się ostatnio również naziemny radar interferometryczny, co przedstawiono w [Szafarczyk A. i in. 2009]. Zgodnie z wyżej wymienionym rozporządzeniem przemieszczenia punktów związane z osuwaniem się gruntów powinny być mierzone co najmniej dwa razy w roku oraz za każdym razem po wystąpieniu zjawisk przyrodniczych, których skutkiem mogłoby być uruchomienie się osuwisk. Rozwiązanie takie może jednak doprowa-

dzić do niezarejestrowania zasadniczej fazy ruchu punktu, co może spowodować, że wartości przemieszczeń w czasie, a także wartości prędkości tych przemieszczeń i ich przyśpieszeń będą błędnie wyznaczone.

WNIOSKI

Bazując na różnorodności dostępnych technik pomiarowych i sposobie rejestracji wyników łącznie z możliwością zdalnego ich przesyłu, autorzy zaproponowali program badań umożliwiający wykonywanie pomiarów w momentach wzmożonej aktywności osuwiska, tak aby możliwe było późniejsze opisanie funkcji ruchu poszczególnych punktów charakterystycznych osuwiska w czasie. Planowane do wykorzystania przyrządy pomiarowe to:

– deszczomierz,
– GPS,
– suwmiarka elektroniczna.

Wszystkie wyżej wymienione urządzenia będą zainstalowane na zboczach zagrożonych ruchami grawitacyjnymi, a pomiary przez nie wykonywane umożliwią określenie momentu prawdopodobnego uruchomienia osuwiska lub jego wzmożonej aktywności.

Monitoring czynnika, którego wpływ na uaktywniania się osuwisk jest niezaprzeczalny
i największy, będzie realizowany przy użyciu deszczomierza, z którego odczyty będą wykonywane codziennie. Intensywne opady będą sygnałem do przeprowadzenia pomiarów przemieszczeń na całym monitorowanym osuwisku, co pozwoli na określenie zależności pomiędzy wysokością opadów atmosferycznych a nasileniem procesów osuwiskowych.

Zastosowanie anteny GPS na stałe zamontowanej na zboczu osuwiska, a także suwmiarki elektronicznej, która permanentnie będzie śledziła zmiany długości odcinka pomiarowego położonego na terenie objętym grawitacyjnymi ruchami masowymi, ma na celu wychwycenie momentu, w którym masy ziemne zaczną przemieszczać się na zboczu z większą niż generalnie obserwowaną intensywnością. Automatycznie zapisywane i zdalnie przesyłane wyniki pomiarów będą stanowiły podstawę do podjęcia decyzji o konieczności wykonania obserwacji całego osuwiska.

BIBLIOGRAFIA

Dżegniuk B., Pielok J., Sroka A., *Częstotliwość geodezyjnych pomiarów deformacji obiektów powierzchni i górotworu przy podziemnej eksploatacji górniczej*. Materiały konferencji „Nowoczesność i technika cyfrowa w miernictwie górniczym”, Kokotek k. Lublińca, 1979, s. 22-31.

Hamarnik P., *Czy Kłodne zniknie z mapy? Zsuwają się domy* [online]. http://wyborcza.pl/1,75478, 7970825,Czy_Klodne_zniknie_z_mapy__Zsuwaja_sie_domy.html [dostęp: 19 stycznia 2011].

Klimaszewski M., *Geomorfologia*. Państwowe Wydawnictwa Naukowe, Warszawa 1978, 1098 ss.

Milewski M., *Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980, s. 97-147.

Monitoring osuwisk w polskich Karpatach [online]. http://www.zielonekarpaty.org.pl/Monitoring OsuwiskWPolskich .html [dostęp: 17 stycznia 2011r.]

Pielok J., *Badania deformacji powierzchni terenu i górotworu wywołanych eksploatacją górniczą*. AGH, Kraków 2002, 139 ss.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie informacji dotyczących ruchów masowych ziemi. Dz. U. 2007 nr 121, poz. 840, 10 ss.

Rybicki S., *Metodyczne założenia rejestracji i inwentaryzacji przejawów powierzchniowych ruchów masowych*. Seminarium „Rejestracja i inwentaryzacja naturalnych zagrożeń geologicznych (ze szczególnym uwzględnieniem osuwisk oraz innych zjawisk geodynamicznych) na terenie całego kraju", AGH, Kraków 23.11.2005, s. 7-8.

Szafarczk A., *Wyznaczenie odkształceń powierzchni terenu górniczego przy zastosowaniu rozet geodezyjnych*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2008, 150 ss.

Szafarczyk A., Kwartnik-Pruc A., *The concept of integrated monitoring system for surface mass dislocations using terrestrial radar interferometry*. Geomatics and environmental engineering, nr 1/1, 2010, s. 137-143.

Uniknąć zagrożenia – geolodzy o osuwiskach. Informacja prasowa, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 06.09.2010r., 5 ss.

Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002r. o stanie klęski żywiołowej. Dz. U. 2002 nr 62, poz. 558 z późniejszymi zmianami, 15 ss.

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001r. – Prawo ochrony środowiska. Dz. U. 2001 nr 62, poz. 627 z późniejszymi zmianami, 172 ss.

Zawadzki S., Dobrzański B., *Gleboznawstwo*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 1995, 562 ss.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy N N524 465839.

Dr inż. Anna Szafarczyk, adiunkt
szafarcz@agh.edu.pl
tel. 012 617 44 86

Mgr inż. Edyta Puniach, doktorant
epuniach@agh.edu.pl,
tel. 012 617 22 99
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa
al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Recenzent: *Dr hab. inż. Waldemar Krupiński, prof. UR*