

Grunty antropogeniczne w dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich dla budowli drogowych – wybrane problemy

Krzysztof Cabalski¹, Michał Radzikowski¹



K. Cabalski

M. Radzikowski

Anthropogenic soils in documenting geological-engineering conditions for road building – selected problems. *Prz. Geol.*, 58: 886–891.

A b s t r a c t. The article presents some of the problems related to the practice of documenting anthropogenic soils, focusing primarily on linear investments such as roads. It discusses the rank of anthropogenic soils in soils classification as in PN-86/B-02480: Building soils. Definition, symbols, and description of the soils classification and it elaborates on the difficulties in distinguishing anthropogenic from indigenous soils. Using the example, inter alia, of Trasa Armii Krajowej in Warsaw, the Authors present problems associated with construction on anthropogenic soils, including those soils with great thickness, and illustrate problems with assessment of the condition of old berms, predominantly consisting of ashes. In addition, the article demonstrates that the study of anthropogenic soil construction should be comprehensive and should entail indigenous soils in the immediate vicinity of the site.

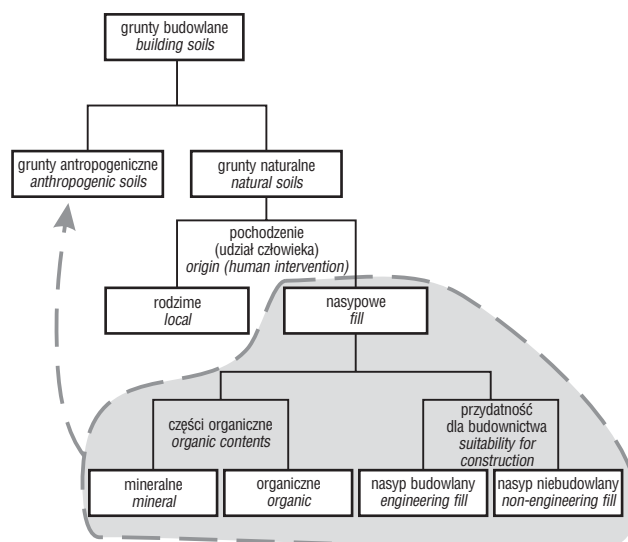
Keywords: anthropogenic soils, linear investments, practical solutions

Problematykę badawczą gruntów antropogenicznych w geologii wprowadził i przez wiele lat rozwijał prof. dr hab. Andrzej Dragowski. Dzięki niemu termin *grunty antropogeniczne* pojawił się w literaturze naukowej (Dragowski, 1979, 1989, 2008). Jego zasługą jest również rozpoznanie podziału gruntów antropogenicznych na trzy grupy (zob. Dragowski, s. 868).

Grunty antropogeniczne w podziale gruntów budowlanych

W budownictwie najczęściej stosowaną normą dotyczącą podziału gruntów jest PN-86/B-02480 (*Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów*), zgodnie z którą dzieli się je na antropogeniczne oraz naturalne. Grunt antropogeniczny to grunt nasypowy utworzony z gruntów naturalnych lub z produktów gospodarczej bądź przemysłowej działalności człowieka. Grunt naturalny to grunt *in situ*, którego szkielet powstał w wyniku procesów geologicznych. Grunty naturalne dzielą się w zależności od pochodzenia i udziału człowieka w ich powstaniu na rodzime i nasypowe. Grunt nasypowy to grunt naturalny lub antropogeniczny powstały w wyniku działalności człowieka, np. na wysypiskach, zwałowiskach, zbiornikach osadowych, budowłach ziemnych itd. Należy zwrócić uwagę na fakt, że – zgodnie z opisem zawartym w normie – grunty antropogeniczne znajdujące się w obrębie gruntów nasypowych są automatycznie w grupie gruntów naturalnych! Do gruntów nasypowych stosuje się dwa podziały: ze względu na zawartość części organicznych (mineralnych i organicznych) oraz ze względu na przydatność dla budownictwa (nasyt budowlany i niebudowlany). Nasyp budowlany jest nasypem, którego rodzaj i stan odpowiadają wymaganiom budowli ziemnych lub podłoża pod budowlę, zaś nasyp niebudowlany nie odpowiada wymaganiom budowlanym. W praktyce geologicznej, aby uniknąć przedstawionej powyżej sprzeczności, stosuje się bardzo często podział wynikający z normy, ale zmodyfikowany zgodnie z ryciną 1.

We wprowadzanej obecnie normie PN-EN ISO 14688-1 z czerwca 2006 r. (*Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis*) w procedurze oznaczania i opisu gruntu przewiduje się odmienny podział gruntów. Ze względu na proces, który doprowadził do powstania gruntu, dzieli się je na naturalne i antropogeniczne, a następnie do ich opisu stosuje kryterium zawartości materiałów naturalnych. W przypadku udziału składników naturalnych stosuje się opis jak dla gruntów naturalnych, zaś w pozostałych przypadkach należy podać proporcje, cechy i rodzaj składników gruntu. Zarówno w jednej, jak i w drugiej grupie gruntów oddziela się nasypy kontrolowane od niekontrolowanych, co w pewnym sensie jest tożsamsze z podziałem gruntów na nasypy budowlane i niebudowlane.



Ryc. 1. Stosowana modyfikacja podziału gruntów wg normy PN-86/B-02480

Fig. 1. Modification used in division of soils according to PN-86/B-02480

¹Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; krzysztof.cabalski@uw.edu.pl, michal.radzikowski@uw.edu.pl

Występowanie gruntów antropogenicznych

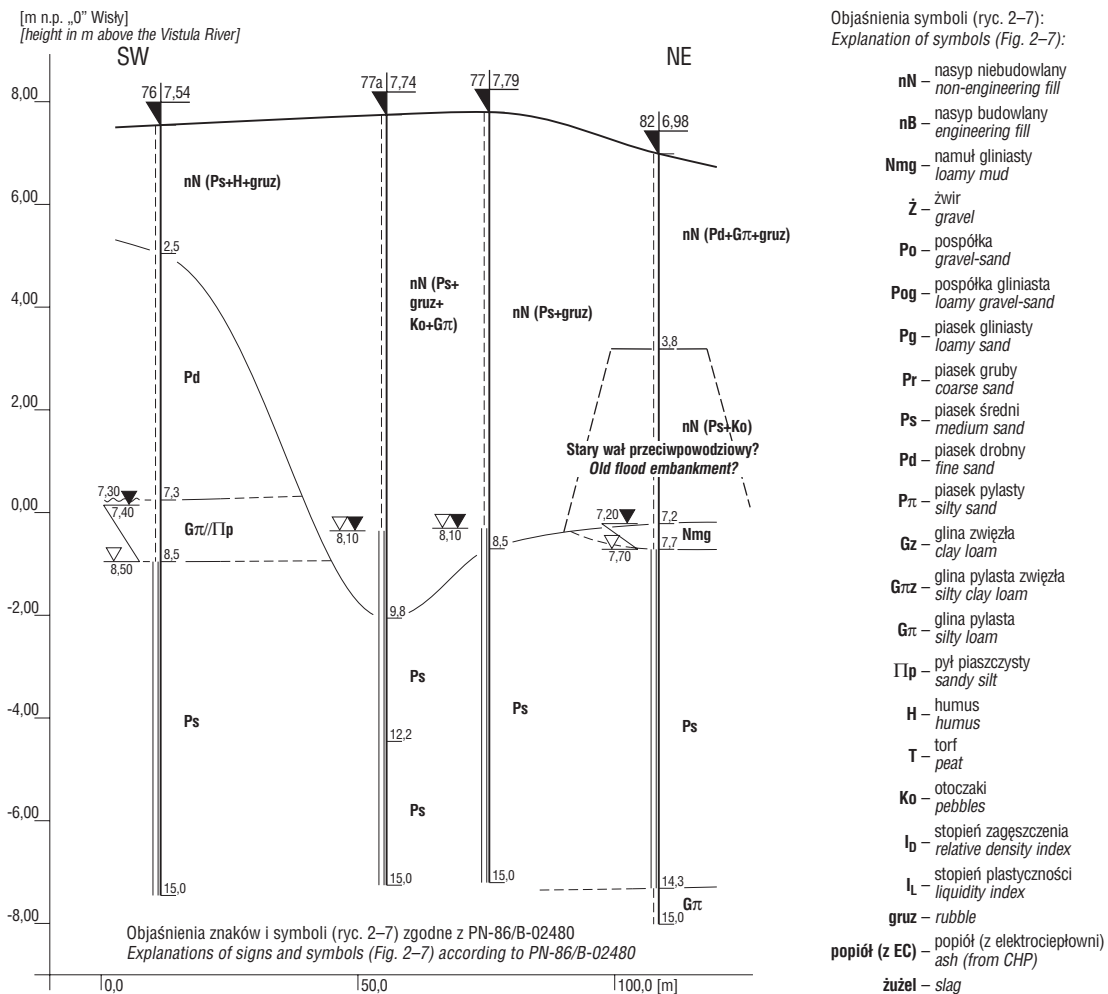
W budowie geologicznej grunty antropogeniczne tworzą przypowierzchniowe partie terenu. W zależności od stopnia ingerencji człowieka w środowisko geologiczne oraz stopnia przemysłowania i zurbanizowania terenu jest to strefa od kilkudziesięciu centymetrów do nawet kilkuset metrów. Dla pewnego uproszczenia można przyjąć, że strefa ta ogranicza się zwykle do kilku, kilkunastu metrów od powierzchni terenu. To właśnie ta strefa jest przedmiotem zainteresowań w przypadku dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla obiektów drogowych. Należy zaznaczyć, że na terenach silnie zurbanizowanych i przemysłowych, zdecydowana część inwestycji liniowych posadowiona jest w miejscach występowania gruntów antropogenicznych. Przy dokumentowaniu warunków geologicznych i projektowaniu przedsięwzięcia grunty antropogeniczne odgrywają kluczową rolę dla właściwej budowy i eksploatacji dróg.

Grunty antropogeniczne o dużych miąższościach

Poważnym problemem jest dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich na terenach, gdzie występują grunty antropogeniczne o dużych miąższościach. Przykładem może tu być rejon Trasy Armii Krajowej przy węźle z Wisłostradą w Warszawie (Cabalski i in., 2008b). Pier-

wotnie był to taras zalewowy Wisły, który w okresie odbudowy Warszawy po II wojnie światowej został nadsypa-ny gruzem pochodzącym ze zniszczeń wojennych. Teren nadbudowano na tyle skutecznie, że zasypany został istniejący tam przed wojną wał przeciwpowodziowy, a miąższość nasypów dochodzi nawet do 10 m (ryc. 2).

Skład gruntów antropogenicznych w tym nasypie jest bardzo zróżnicowany. Dominuje piasek średni z gruzem ceglany i betonowy oraz w różnym stopniu: gleba, glina pylasta, glina piaszczysta, namuł gliniasty i piaszczysty, popiół, otoczaki. Przy tej zmienności składu badania zagęszczenia nasypu wykazują równie daleko idącą zmienność: wartość stopnia zagęszczenia I_D waha się od 0,27 do 0,93, co odpowiada wskaźnikowi zagęszczenia I_S od 0,90 do 1,03. Ze względu na fakt, że nasyp jest już dosyć stary, należałoby spodziewać się bardziej równomiernych wartości wynikających z samodogęszczenia. Posadowienia obiektów budowlanych na takich gruntach są rzadko praktykowane. Najczęściej ich występowanie wiąże się ze stwierdzeniem braku możliwości posadowienia. Dla obiektów mostowych węzła Trasy AK i Wisłostrady zaprojektowano pale, tak aby estakady posadowić na nośnych gruntach naturalnych (piaskach rzecznych). Inaczej przedstawia się problem z wykonaniem nawierzchni drogowych. Usunięcie 10 m warstwy gruntów antropogenicznych jest ekonomicznie nieuzasadnione. Mając świadomość punkowego rozpoznania warunków geologicznych



Ryc. 2. Przekrój geologiczno-inżynierski w rejonie skrzyżowania Trasy AK i Wisłostrady w Warszawie
Fig. 2. Geological-engineering cross-section, area of Trasa AK and Wisłostrada junction in Warsaw

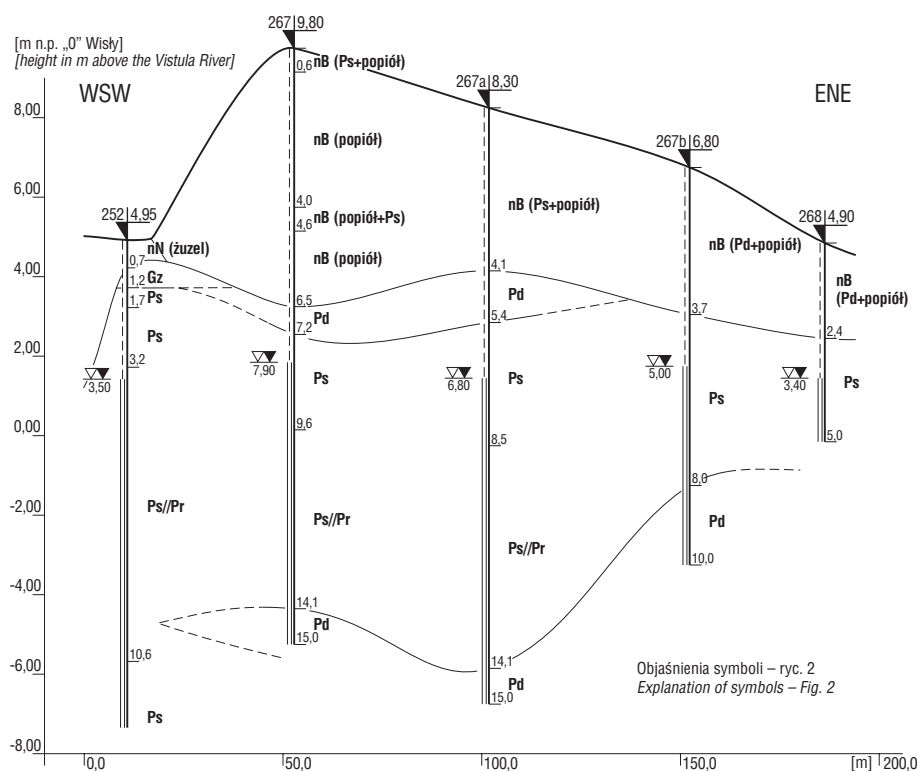
(składu i właściwości gruntów antropogenicznych), należy zwiększyć ilość punktów obserwacyjnych (wierceń i sondowań), tak aby można było określić strefy występowania gruntów słabych. Zachodzi tu konieczność stosowania

takich technik badawczych, jak sondowania dylatometrem (DMT), badania presjometryczne (PMT), próbne obciążenia płytą (PLT), świdrem talerzowym, płytą sztywną (VSS) itd. W takich warunkach gruntowych nie do przece-

nienia jest nadzór geotechniczny na budowie. Dużo pełniejszej oceny zmienności gruntów antropogenicznych zalegających w podłożu można dokonać dopiero po rozebraniu istniejących nawierzchni dróg oraz wykorytowaniu i powtórzeniu badań nośności podłoża.

Nasypy uformowane z gruntów antropogenicznych

W budownictwie grunty antropogeniczne dość powszechnie stosowane są jako materiał konstrukcyjny nasypów. Używano ich m.in. przy budowie wspomnianej już Trasy AK. Bardzo charakterystyczne były tam wysokie (do ok. 6 m) nasypy najazdów na wiadukt nad ulicą Łabiszyńską, wykonane prawie wyłącznie z popiołów z elektrociepłowni (ryc. 3). W trakcie prac dokumentacyjnych okazało się, że – mimo dość jednorodnego składu – nasypy zostały nierównomiernie zagęszczone (tab. 1, kolorem szarym zaznaczono strefy zalegania gruntów antropogenicznych niezagęszczonych).



Ryc. 3. Fragment przekroju geologiczno-inżynierskiego wzdłuż Trasy AK przez nasypy w rejonie ul. Łabiszyńskiej w Warszawie

Fig. 3. Part of geological-engineering cross-section alongside Trasa AK through the berms in the area of Łabiszyńska street in Warsaw

Tab. 1. Wyniki badań zagęszczenia sondą DPH nasypów Trasy AK w rejonie ul. Łabiszyńskiej w Warszawie (otwór 267)
Table 1. Results of DPH sounding – berms of Trasa AK in the area of Łabiszyńska street in Warsaw (borehole 267)

Przedział głębokościowy [m p.p.t.] Depth range [m b.g.l.]	Profil geologiczny Geological profile	Średniona wartość stopnia zagęszczenia Average value of relative density I_D	Średniona wartość wskaźnika zagęszczenia Average value of degree of compaction I_s
0,0–0,5	nB (Ps+popiół)	0,45	0,93
0,5–1,0	nB (popiół)	0,69	0,98
1,0–1,5	nB (popiół)	0,87	1,01
1,5–2,0	nB (popiół)	0,62	0,96
2,0–2,5	nB (popiół)	0,62	0,96
2,5–3,0	nB (popiół)	0,68	0,97
3,0–3,5	nB (popiół)	0,31	0,91
3,5–4,0	nB (popiół)	0,37	0,92
4,0–4,5	nB (popiół+Ps)	0,71	0,98
4,5–5,0	nB (popiół)	0,87	1,02
5,0–5,5	nB (popiół)	0,70	0,98
5,5–6,0	nB (popiół)	0,47	0,93
6,0–6,5	nB (popiół)	0,32	0,91
6,5–7,0	Pd	0,42	0,92

nB – nasyp budowlany, Ps – piasek średni, Pd – piasek drobny
nB – engineering fill, Ps – medium sand, Pd – fine sand, popiół – ash

Ze względu na granulometrię (popioły miały znaczący udział frakcji pyłowej) istniała także realna możliwość wystąpienia wysadzin.

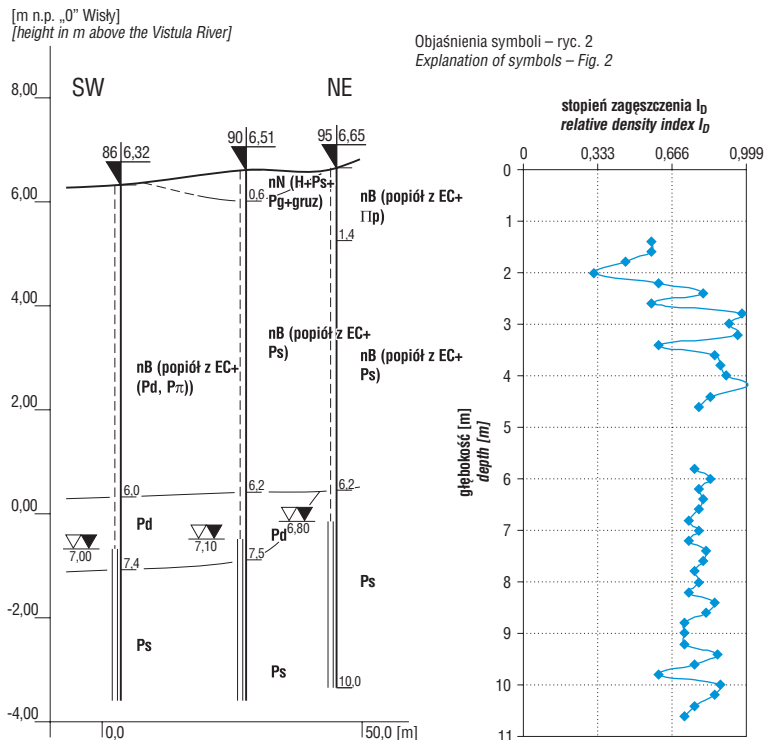
Nasypy te zostały również znacznie osłabione na skutek wzrostu drzew i krzewów sukcesyjnej, których system korzeniowy, po wykarzowaniu roślin, doprowadził do miejscowych rozluźnień w nasypie. Wytworzyły się w ten sposób strefy osłabień predestynowane do powstania powierzchni osuwiskowych. W tej sytuacji istniało realne niebezpieczeństwo niedotrzymania warunków stateczności skarp nasypu.

Wszystkie powyżej przytoczone fakty spowodowały, że zdecydowano się na rozebranie i budowę nasypów od nowa.

Posadawianie obiektów inżynierskich na gruntach antropogenicznych

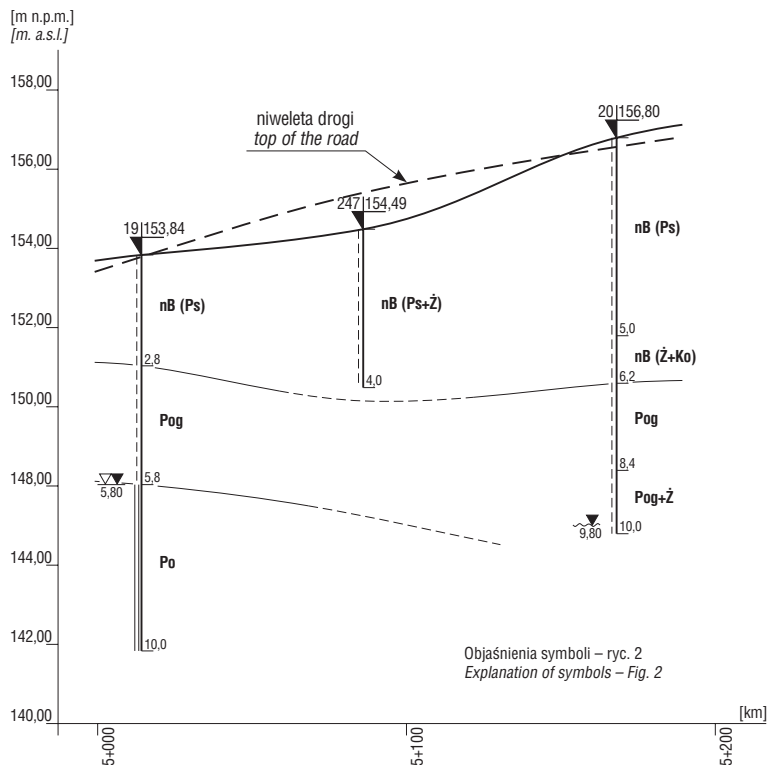
Jak już wcześniej wspomniano posadawianie obiektów budowlanych na gruntach antropogenicznych jest praktykowane bardzo rzadko. W wielu przypadkach, aby tego uniknąć, konieczne są bardzo kosztowne i zakrojone na szeroką skalę prace ziemne. Czasami jednak można ich uniknąć i posadzić obiekt na gruntach antropogenicznych. Dotyczy to głównie sytuacji, gdy skład tych gruntów jest jednorodny, a parametry geotechniczne zbliżone. Taka sytuacja miała miejsce na Trasie AK w rejonie skrzyżowania z planowanym Traktem Nadwiślańskim (ryc. 4). Nasypy były zbudowane z popiołów z elektrociepłowni, odpowiadających granulometrycznie piaskom drobnym i pylistym oraz będących w stanie średnio zagęszczonym, zbliżonym do zagęszczonego, o wartości $I_D = 0,65$ ($I_S = 0,96$). Z tego powodu zdecydowano się na bezpośrednie posadowienie obiektu.

Podobną sytuację zaobserwowano w trakcie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby przebudowy autostrady A-18 na odcinku Olszyna-Golnice (Cabalski i in., 2008a). W jej podłożu występowały bardzo stare nasypy budowlane pochodzące jeszcze z okresu II wojny światowej. Na wielu odcinkach ich skład był bardzo jednorodny (Zarębski i in., 2001), a właściwości fizyczno-mechaniczne co najmniej wystarczające (ryc. 5). Miały do 6,2 m miąższości i uformowane były z piasków średnich, lokalnie z domieszką żwirów. W stropowych partiach występowały w stanie średnio zagęszczonym ($I_D = 0,55$, czyli $I_S = 0,95$), a głębiej w stanie zagęszczonym ($I_D = 0,70$, czyli $I_S = 0,98$). W stwierdzonych warunkach konieczne okazało się dogęszczenie górnej partii istniejącego nasypu, po którym będzie można zacząć formować warstwy konstrukcyjne nawierzchni drogowej.



Ryc. 4. Fragment przekroju geologiczno-inżynierskiego w rejonie skrzyżowania Trasy AK z planowanym Traktem Nadwiślańskim wraz z wynikiem sondowania CPT

Fig. 4. Part of geological-engineering cross-section, area of Trasa AK and planned Trakt Nadwiślański route junction in Warsaw with results of CPT sounding



Ryc. 5. Fragment przekroju geologiczno-inżynierskiego wzdłuż osi autostrady A-18 na odcinku Olszyna-Golnice

Fig. 5. Part of geological-engineering cross-section alongside A-18 motorway at Olszyna-Golnice section

Warunki geologiczne występowania gruntów antropogenicznych

W przypadku dokumentowania gruntów antropogenicznych bardzo istotne jest właściwie udokumentowanie warunków geologicznych, w których zalegają. Często, pomimo pozornie korzystnych właściwości gruntów antropogenicznych, warunki zalegania całkowicie uniemożliwiają uznanie ich za materiał konstrukcyjny. Taką sytuację obserwowano w przypadku projektowanej przebudowy drogi wojewódzkiej nr 575 w rejonie miejscowości Uderz k. Iłowa (Cabalski i in., 2005). W podłożu drogi występowały jednorodne nasypy budowlane uformowane z piasków średnich o miąższości dochodzącej do 2 m, jednak w ich podstawie stwierdzono występowanie gruntów organicznych, słabonośnych i bardzo ściśliwych (ryc. 6).

Właściwości odkształcalnościowe oraz wytrzymałościowe gruntów organicznych spowodowały, że nasypy uległy rozluźnieniu i odkształceniu, a nawierzchnia – pękaniu i dezintegracji. W takiej sytuacji geologicznej, pomimo jednorodnego składu i wystarczających właściwości fizyczno-mechanicznych, konieczne było rozebranie nasypu.

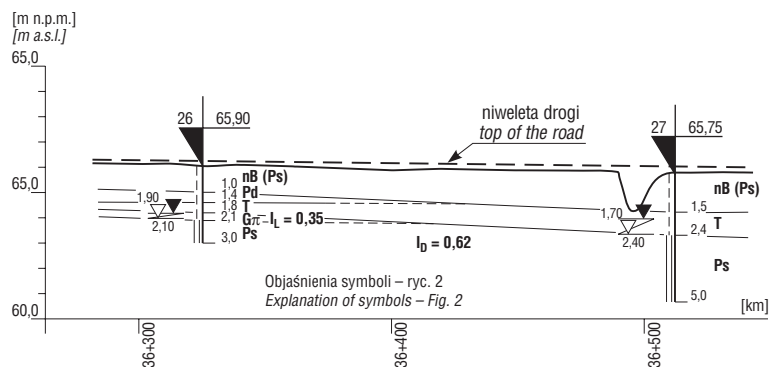
Rozpoznanie gruntów antropogenicznych

Podstawowym problemem związanym z dokumentowaniem obszarów silnie zmienionych przez działalność człowieka jest właściwe rozpoznanie gruntów antropogenicznych. Dobry przykład stanowi wykop pod budynek pompowni kanalizacyjnych przy ul. Karowej w Warszawie (Drażowski i in., 1999), w którym dokumentator błędnie określił występujący na głębokości 2,2–4,6 m p.p.t. piasek drobny z przewarstwieniem torfu jako grunt naturalny. Projektant przewidział posadowienie na nim obiektu (otwór nr 1 na ryc. 7). Dopiero po wykonaniu wykopu fundamentowego i odsłonięciu gruntów na większej powierzchni okazało się, że grunty zaliczone do naturalnych stanowią w rzeczywistości nasypy niebudowlane o dużej zawartości części organicznych, praktycznie niezagęszczone (otwór nr 2 na ryc. 7). Grunt ten nie mógł stanowić podłoża budowli i konieczna była dodatkowa, kontrolowana wymiana gruntów o miąższości ok. 3 m.

W praktyce w wielu przypadkach odróżnienie gruntów antropogenicznych od naturalnych, np. przy zasypkach głębokich

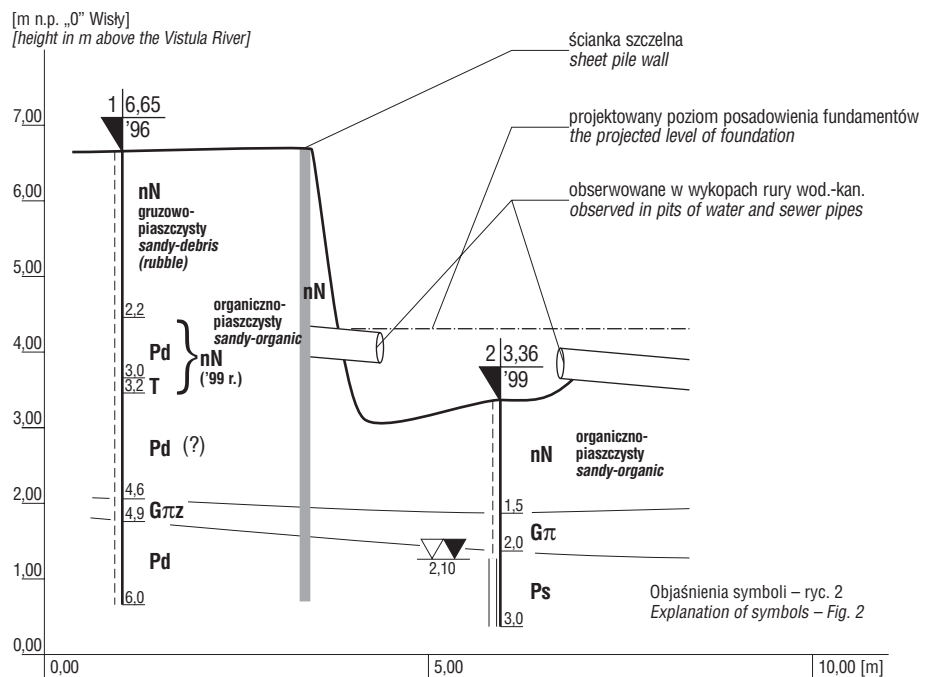
wykopów kanalizacyjnych (gdy stosowany był grunt rodzimy), może być bardzo trudne do zaobserwowania, a czasami nawet niemożliwe. Wtedy, oprócz praktyki w geologicznych badaniach terenowych, przydatne mogą okazać się:

- obserwacja i analiza morfologii terenu;
- analiza map sytuacyjno-wysokościowych;
- obserwacja i analiza przebiegu infrastruktury podziemnej;
- zebranie wszelkich dostępnych materiałów archiwalnych, w tym historycznych, kartograficznych i geologicznych oraz przeprowadzenie wywiadu z okoliczną ludnością;
- zwiększenie liczby wierceń i sondowań na terenach poddanych przekształceniom antropogenicznym.



Ryc. 6. Fragment przekroju geologiczno-inżynierskiego wzdłuż osi drogi 575 w rejonie Uderza k. Iłowa

Fig. 6. Part of geological-engineering cross-section alongside route 575 in the area of Uderz near Iłow



Ryc. 7. Fragment przekroju geologiczno-inżynierskiego przez wykop fundamentowy przy ul. Karowej w Warszawie

Fig. 7. Part of geological-engineering cross-section through the foundation excavation in the area of Karowa Street in Warsaw

Podsumowanie

W niniejszym artykule na wybranych przykładach przedstawiono najczęściej spotykane problemy związane z gruntami antropogenicznymi w dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich dla obiektów drogowych. Pominięto bardzo istotne zagadnienia związane m.in. ze statecznością zboczy zbudowanych z gruntów antropogenicznych, ich zdegradowaniem chemicznym (Draǳowski i in., 1996) oraz wysadzinowością.

Obecnie problem badawczy, który w 1979 r. wprowadził do literatury naukowej prof. dr hab. Andrzej Draǳowski, wobec rozpowszechnienia gruntów antropogenicznych w środowisku geologicznym, nabiera nowego znaczenia – szczególnie na terenach uprzemysłowionych i zurbanizowanych, gdzie w przypowierzchniowych partiach terenu grunty te stanowią zdecydowaną większość. Należy zwrócić uwagę na ich lepsze udokumentowanie, starając się doskonalić metody badawcze geologii urbanistycznej (*urban geology* za Mulder, 1992; Belanger & Moore, 1999). Czasy, gdy problem gruntów antropogenicznych kwitowało się stwierdzeniem, że nie mogą stanowić podłoża budowli, powoli odchodzą do przeszłości.

Literatura

BELANGER J.R. & MOORE C.W. 1999 – The use and value of urban geology in Canada: A case study in the National Capital Region [URL: <http://gsc.nrcan.gc.ca/urbgeo/stlawrence/pdf/urbangeology-pub.pdf>].
 CABALSKI K., KARABON J., RADZIKOWSKI M., RYDELEK P. & WIECZERZYŃSKI B. 2008a – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla budowy autostrady A-18 na odcinku: węzeł „Olszyna” – węzeł „Golnice”, 0+633–71+533. GEOINSTAL S.C., Warszawa (materiały niepublikowane).

CABALSKI K., RADZIKOWSKI M. & WIECZERZYŃSKI B. 2005 – Dokumentacja warunków geotechnicznych dla projektowanej przebudowy drogi wojewódzkiej nr 575 na odcinku 26+993 – 54+617. GEOINSTAL S.C., Warszawa (materiały niepublikowane).
 CABALSKI K., RADZIKOWSKI M. & WIECZERZYŃSKI B. 2008b – Badania podłoża gruntowego. Dostosowanie Trasy Armii Krajowej do parametrów drogi ekspresowej S-8 na odcinku al. Prymasa Tysiąclecia w Warszawie – ul. J. Piłsudskiego w Markach. GEOINSTAL S.C., Warszawa (materiały niepublikowane).
 Draǳowski A. 1979 – Wybrane problemy badawcze zwietrzelin i gruntów antropogenicznych dla posadowienia budowli. Mat. Konf. Budownictwo na gruntach słabych, nasypanych i antropogenicznych rejon Warszawy. Warszawa: 47–61.
 Draǳowski A. 1989 – Wykorzystanie odpadów do rekultywacji wyrobisk poeksploatacyjnych. Współczesne problemy geologiczne Polski Centralnej. Mat. Sesji Nauk. z okazji 25-lecia Koła SIITG przy Wydz. Geol. Uniw. Warsz., Warszawa: 391–398.
 Draǳowski A. 2008 – Impact of anthropogenic environmental changes on geological and engineering conditions for the setting of building. Geologija, 50: S62–S67.
 Draǳowski A., CABALSKI K. & RADZIKOWSKI M. 1996 – Issue related to housing in chemically degraded areas. 3rd International Symposium and Exhibition on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe, Warsaw: 976–978.
 Draǳowski A., CABALSKI K. & RADZIKOWSKI M. 1999 – Kontrolne badania geologiczno-inżynierskie z dna wykopu fundamentowego pod budynek MPWiK u zbiegu ulic Dobrej i Karowej. GEOKOM, Warszawa (materiały niepublikowane).
 MULDER DE E.F.J. 1992 – Urban Geology: Present Trends and Problems. [W:] Cendrero A., Lüttig G. & Wolff F.Ch. (red.) Planning the Use of the Earth's Surface. Lecture Notes in Earth Sciences, 42: 125–140.
 PN-86/B-02480 – Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
 PN-EN ISO 14688-1:2006 – Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis.
 ZARĘBSKI M., STACHOWIAK M. & SUPEL J. 2001 – Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla projektowanej modernizacji drogi krajowej DK-18 Olszyna-Golnice, odcinek Olszyna-Królów, 0+633–9+600. PROXIMA, Wrocław (materiały niepublikowane).

Praca wpłynęła do redakcji 25.06.2010 r.
 Po recenzji akceptowano do druku 26.07.2010 r.