

## Wykorzystanie gruntów rodzimych do budowy dróg lokalnych na terenach wiejskich

Michał Cwiakala<sup>1</sup>, Andrzej Greinert<sup>2</sup>,  
Joanna Korzeniowska<sup>3</sup>, Paweł Tarasewicz<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instytut Innowacyjnych Technologii Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: m.cwiakala@iit.edu.pl

<sup>2</sup> Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,  
Uniwersytet Zielonogórski, e-mail: A.Greinert@iis.uz.zgora.pl

<sup>3</sup> Instytut Innowacyjnych Technologii Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: j.korzeniowska@iit.edu.pl

<sup>4</sup> Wapeco Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: p.tarasewicz@wapeco.eu

**Streszczenie:** Grunty rodzime, powstałe w wyniku procesów geologicznych w miejscu zalegania, stanowią fundamentalny element konstrukcji drogowej. Fundament ten powinien charakteryzować się odpowiednią nośnością i trwałością, osiąganą dzięki prawidłowo ulepszonemu naturalnemu podłożu gruntowemu. Ulepszone podłoże gruntowe to mocny fundament dla podbudowy nawierzchni drogowej. Polepszenie właściwości gruntów rodzimych można uzyskać poprzez zastosowanie w nich hydraulicznych spoiw drogowych, spełniających rolę wypełniacza drobnych cząstek (bądź doraźnego wzmocnienia) szkieletu mineralnego gruntu.

W niniejszej pracy skupiono się na określeniu podstawowego parametru mechanicznego mieszanek gruntowo-spoiwowych, a mianowicie wskaźnika nośności *CBR*. Mieszanki gruntowo-spoiwowe składały się z gruntów rodzimych, pobranych na terenach wiejskich (pięć rodzajów o zróżnicowanym uziarnieniu) oraz z dwóch rodzajów spoiwa hydraulicznego (o klasie wytrzymałości 3 MPa i 9 MPa). Głównym składnikiem spoiw hydraulicznych był aktywowany popiół lotny, pochodzący ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni Pątnów, oraz cement portlandzki (CEM I 42,5 MPa).

Wyniki badań wykazały, że przy zastosowaniu innowacyjnych spoiw drogowych o właściwościach wiążących, możliwe jest wykorzystanie gruntów rodzimych do budowy dróg lokalnych na terenach wiejskich.

**Słowa kluczowe:** ulepszanie gruntów rodzimych, drogi lokalne, popioły lotne, mieszanki gruntowo-spoiwowe, nośność gruntów

### 1. Wstęp

Zrównoważony rozwój gospodarczy kraju oraz polityka proekologiczna wpłynęły na wszechstronne wykorzystywanie odpadów poprodukcyjnych. Przykładem takiego odpadu energetycznego jest popiół lotny, wytwarzany w wyniku spalania węgla kamiennego bądź brunatnego. Popioły lotne z węgla brunatnego charakteryzują się właściwościami hydrauliczno-pucolanowymi i z tego też względu największe zastosowanie znalazły w przemyśle materiałów budowlanych, drogownictwie, rolnictwie i rekultywacji [1, 3, 4, 5, 12, 13]. Jednak w poszczególnych branżach przemysłowych tylko określone rodzaje popiołów znalazły zastosowanie. Wynika to z ich odmiennych właściwości fizyczno-chemicznych. W zależności od składu chemicznego, w tym zawartości tlenków krzemu, glinu, wapnia i siarki, popioły lotne można podzielić na trzy główne grupy [10]:

- I grupa: popioły lotne glinowo-krzemianowe ze spalania węgla kamiennego, dla których stosunek procentowej zawartości  $\text{SiO}_2$  do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  jest większy lub równy 2,0 i zawartość  $\text{CaO}$  jest mniejsza niż 15 %,
- II grupa: popioły lotne krzemianowo-glinowe ze spalania węgla brunatnego – Okręg Turoszowski, dla których stosunek procentowej zawartości  $\text{SiO}_2$  do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  jest mniejszy niż 2,0 i zawartość  $\text{CaO}$  jest mniejsza niż 15 % oraz  $\text{SO}_3$  – poniżej 3,0 %,

- III grupa: popioły lotne siarczanowo-wapniowe ze spalania lignitu, tj. węgla brunatnego – Okręg Koniński, z ogólną zawartością CaO większą od 15 % i SO<sub>3</sub> – powyżej 3,0 %.

Każda z ww. grup odznacza się innym miejscem pochodzenia oraz odmiennymi parametrami użytkowymi. W niniejszej pracy skupiono się na popiołach należących do grupy III, czyli siarczanowo-wapniowych ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni Patnów. W swoim składzie chemicznym, posiadają one dużą ilość tlenków wapnia i siarki. Związki te powodowały niekorzystne zmiany strukturalne podczas twardnienia spoiwa hydraulicznego, w związku z czym – poszukiwano różnych procesów technologicznych, za pomocą których można było zminimalizować szkodliwe działanie tych substancji. Zastosowanie innowacyjnej technologii modyfikowania właściwości tych bezużytecznych popiołów, przyczyniło się do wykorzystania ich jako pełnowartościowych produktów w budownictwie drogowym [6, 7]. W drogownictwie, popioły lotne ze spalania węgla brunatnego stosowane są jako składniki:

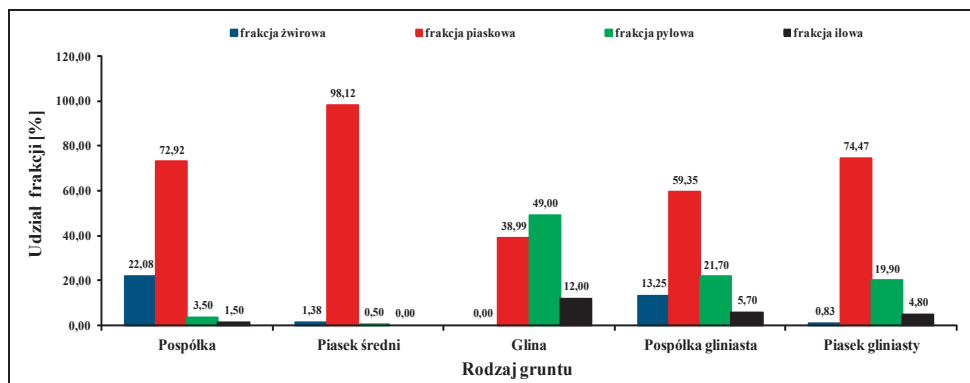
- betonu cementowego i asfaltowego stosowanego w warstwach nawierzchni [1, 14],
- zastępujące kruszywa naturalne w podbudowach drogowych [8, 9, 14],
- spoiw hydraulicznych, służących do stabilizacji i ulepszenia gruntów pod konstrukcją nawierzchni drogowej [4, 14, 15].

Zastosowanie spoiw hydraulicznych, na bazie popiołów lotnych z węgla brunatnego, do ulepszenia gruntów słabych daje możliwość wykorzystania gruntów rodzimych do budowy dróg. Zastosowanie to, z uwagi na koszty wydobycia i transportu surowców naturalnych oraz zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego, jest niezwykle cenne, w szczególności na terenach wiejskich przy budowie dróg lokalnych.

Przeprowadzone badania miały na celu rozpoznanie czy grunty rodzime na terenach wiejskich mogą stanowić – wytrzymałe mechanicznie ze względu na nośność – dobre podłoże gruntowe pod budowę dróg lokalnych.

## 2. Materiały i metodyka badań

Do badań wytypowano pięć rodzajów gruntów rodzimych, znajdujących się na terenach wiejskich, w środkowo-zachodniej Polsce. Były to grunty naturalne niespoiste (pospółka, piasek średni), średnio spoiste (glina) i mało spoiste (pospółka gliniasta, piasek gliniasty) o zróżnicowanej zawartości frakcji żwirowej, piaskowej, pyłowej oraz ilowej. Uziarnienie poszczególnych rodzajów gruntów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Uziarnienie gruntów użytych do badań

Popioły lotne, zastosowane do sporządzenia spoiwa hydraulicznego, zostały poddane procesowi modyfikacji z zastosowaniem nowoczesnej technologii aktywatora magnetycznego Wapeco [2, 6, 7]. Aktywator magnetyczny Wapeco (rys. 2) powoduje modyfikowanie popiołów lotnych, co skutkuje m.in. zwiększeniem ich powierzchni aktywnej, a tym samym polepszeniem ich właściwości hydrauliczno-pucolanowych.



Rys. 2. Aktywator magnetyczny Wapeco (fot. Michał Cwiakała)

Podstawowym elementem aktywatora magnetycznego jest wzbudnik wirującego pola elektromagnetycznego oraz umieszczona w jego osi rura, stanowiąca komorę roboczą. Komora ta wypełniona jest popiołem lotnym oraz mielnikami ferromagnetycznymi. W wyniku licznych zderzeń (w tym między mielnikami a kawałkami materiału mielonego), którym towarzyszy duża prędkość – przebiega proces modyfikacji. Efektem procesu modyfikacji jest otrzymanie popiołu o dużo lepszych właściwościach reaktywnych w porównaniu z produktem wyjściowym (popiołem niezmodyfikowanym).

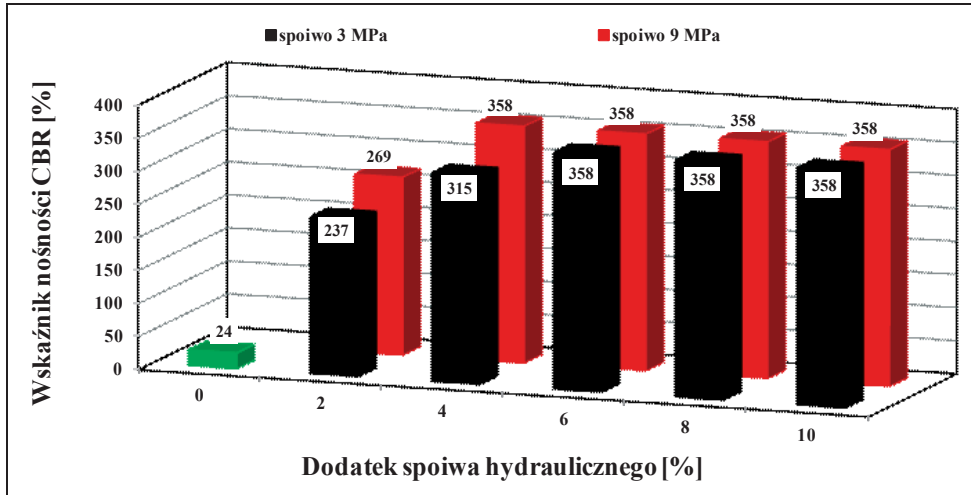
Do wykonania mieszanek gruntowo-spoiwowych użyto dwóch rodzajów hydraulicznego spoiwa drogowego (o klasie wytrzymałości na ściskanie 3 MPa i 9 MPa) w proporcjach 2%, 4%, 6%, 8% i 10% w stosunku do masy szkieletu gruntowego. Hydrauliczne spoiwa drogowe składały się z modyfikowanego popiołu lotnego z węgla brunatnego oraz cementu w następujących proporcjach:

- 3 MPa: 90% aktywowanego popiołu lotnego i 10% cementu (CEM I 42,5 MPa),
- 9 MPa: 80% aktywowanego popiołu lotnego i 20% cementu (CEM I 42,5 MPa).

Badania gruntów oraz mieszanek gruntowo-spoiwowych polegały na wyznaczeniu wskaźnika nośności *CBR* gruntów po 4 dniach moczenia oraz na określeniu przyrostu wskaźnika nośności po 7 dniach pielęgnacji próbek (w tym 4 doby próbki nasycano wodą). Próbki do badań wskaźnika nośności wykonano i przebadano zgodnie z załącznikiem A normy PN-S-02205:1998 [11].

### 3. Wyniki badań

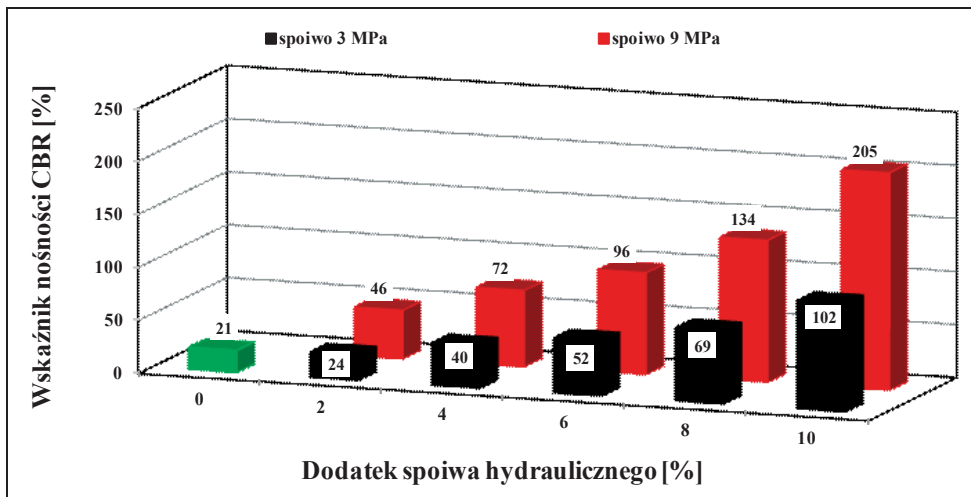
Wyniki badań nośności gruntów bez dodatku spoiwa po 4 dniach moczenia w wodzie porównano do wyników badań nośności mieszanek gruntowo-spoiwowych (z dodatkiem dwóch rodzajów spoiwa hydraulicznego) po 7 dniach pielęgnacji (w tym 4 dni nasycano wodą) – rys. 3-7.



Objaśnienia:

0% dodatku spoiwa hydraulicznego (prostokąt zielony) – oznacza brak dodatku spoiwa hydraulicznego do gruntu

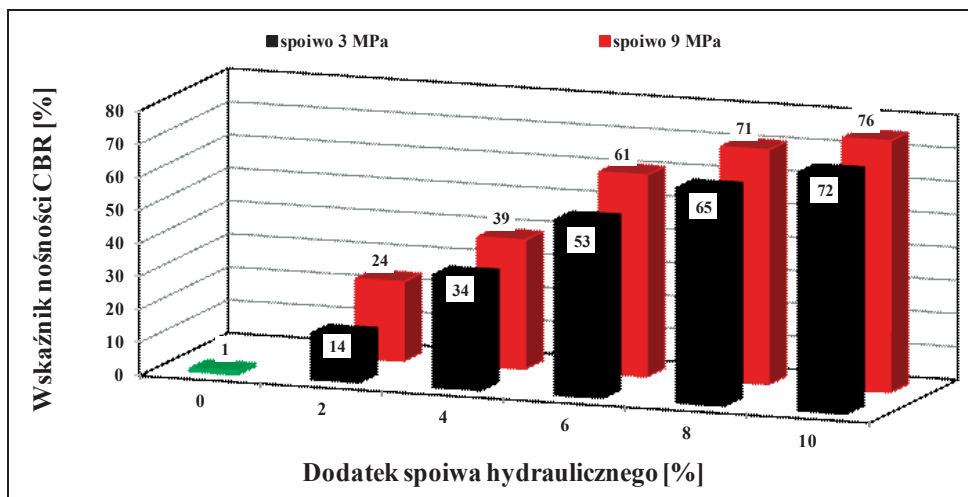
Rys. 3. Nośność *CBR* mieszanek gruntowo-spoiwowych na bazie pospółki, w zależności od rodzaju i ilości dodanego spoiwa hydraulicznego



Objaśnienia:

0% dodatku spoiwa hydraulicznego (prostokąt zielony) – oznacza brak dodatku spoiwa hydraulicznego do gruntu

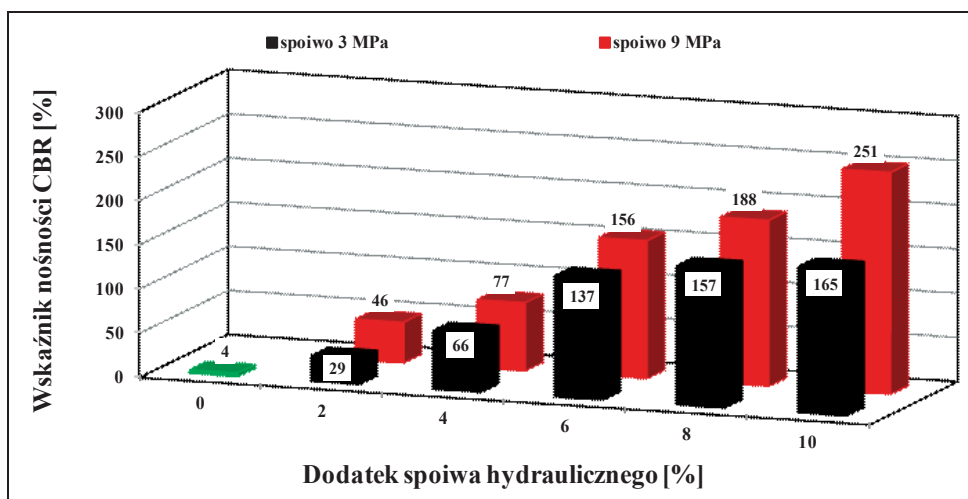
Rys. 4. Nośność *CBR* mieszanek gruntowo-spoiwowych na bazie piasku średniego, w zależności od rodzaju i ilości dodanego spoiwa hydraulicznego



Objaśnienia:

0% dodatku spoiwa hydraulicznego (prostokąt zielony) – oznacza brak dodatku spoiwa hydraulicznego do gruntu

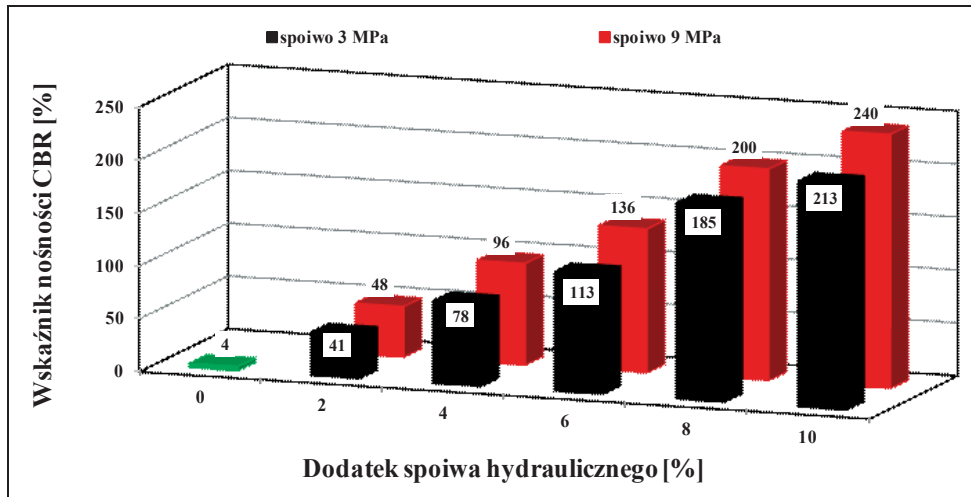
Rys. 5. Nośność *CBR* mieszanek gruntowo-spoiwowych na bazie gliny, w zależności od rodzaju i ilości dodanego spoiwa hydraulicznego



Objaśnienia:

0% dodatku spoiwa hydraulicznego (prostokąt zielony) – oznacza brak dodatku spoiwa hydraulicznego do gruntu

Rys. 6. Nośność *CBR* mieszanek gruntowo-spoiwowych na bazie pospółki gliniastej, w zależności od rodzaju i ilości dodanego spoiwa hydraulicznego



Objaśnienia:

0% dodatku spoiwa hydraulicznego (prostokąt zielony) – oznacza brak dodatku spoiwa hydraulicznego do gruntu

Rys. 7. Nośność *CBR* mieszanek gruntowo-spoiwowych na bazie piasku gliniastego, w zależności od rodzaju i ilości dodanego spoiwa hydraulicznego

Nośność zbadanych próbek mieszanin gruntowo-spoiwowych kształtuje się na wysokim poziomie (rys. 3-7). Z analizy wykresów, obrazujących przyrost wskaźnika nośności w zależności od rodzaju i ilości dodanego spoiwa hydraulicznego (rys. 3-7) wynika, że najwyższe wartości wskaźnika *CBR* wykazują mieszanki gruntowo-spoiwowe, w których zastosowano wyższą klasę wytrzymałości spoiwa (9 MPa) oraz większy procentowy dodatek spoiwa (10%). W przypadku gruntów stosowanych do wykonywania budowli ziemnych, zgodnie z normą PN-S-02205:1998 [11] dopuszcza się użycie piasków drobnoziarnistych o wskaźniku nośności powyżej 10%. Porównując wyniki wskaźnika nośności dla wszystkich rodzajów gruntów, z użyciem spoiw o klasach wytrzymałości 3 MPa oraz 9 MPa, z różnym dodatkiem spoiwa (2, 4, 6, 8 i 10%) i zbadanych po 7 dniach pielęgnacji – widać, że wszystkie rodzaje mieszanek gruntowo-spoiwowych mogą być przydatne w wykonawstwie robót ziemnych, ale przy spełnieniu odpowiednich warunków. Przebadane grunty w stanie naturalnym charakteryzują się niską nośnością, zwłaszcza po nasyceniu wodą (rys. 3-7). Po dodaniu do nich już niewielkiej ilości hydraulicznego spoiwa drogowego stały się materiałami przydatnymi do budowy mocnych fundamentów konstrukcji drogi.

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że wartości wskaźników nośności gruntów i mieszanek gruntowo-spoiwowych zależały przede wszystkim od rodzaju badanego gruntu oraz klasy wytrzymałości i ilości dodanego spoiwa hydraulicznego.

Stwierdzono kilkudziesięciokrotny wzrost wskaźnika nośności gruntów ulepszonych spoiwami hydraulicznymi w porównaniu do gruntów nieulepszonych. Tak wysoki przyrost parametru mechanicznego gruntów (*CBR*) świadczy o pozytywnym wpływie procesu ulepszania gruntów rodzimych spoiwami hydraulicznymi. Ponadto, uzyskanie wysokich wartości nośności mieszanek gruntowo-spoiwowych przekształca grunty rodzime z bezużytecznych w przydatne dla zastosowań w budownictwie drogowym.

Zastosowanie gruntów rodzimych w drogownictwie ma szczególne znaczenie w przypadku dróg lokalnych, na terenach wiejskich. Wynika ono zarówno ze względów ekonomicznych (wyeliminowanie kosztów transportu i wydobycia surowców naturalnych) jak i przyrodniczych (ochrona zasobów naturalnych oraz eliminacja szkodliwego wpływu wydobycia, transportu i rozładunku surowców).

Wykorzystanie gruntów rodzimych pod budowę dróg lokalnych, na terenach wiejskich, ma jeszcze jedną olbrzymią zaletę. Chodzi o zastosowanie popiołów lotnych ze spalania węgla brunatnego, które jako główny składnik spoiw hydraulicznych polepszają parametry mechaniczne gruntów.

## Literatura

- 1 Ahmaruzzaman M. A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science* 36 (2010) 327–363.
- 2 Aprobata techniczna: Hydrauliczne spoiwo drogowe Wapeco I, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Nr AT/2009-03-2510, Warszawa, 2009.
- 3 Arora S., Aydilek A. Class F fly ash amended soils as highway base materials. *Journal of Materials in Civil Engineering* 17(6), (2005) 640–649.
- 4 Buhler S., Cerato A. Stabilization of Oklahoma expansive soils using lime and class C fly ash. *ASCE Geotechnical Special Publication* 162 (2007) 1–10.
- 5 Cetin B., Aydilek A., Guney Y. Stabilization of recycled base materials with high carbon fly ash. *Resources, Conservation and Recycling* 54 (2010) 878–892.
- 6 Ćwiąkała M., Kmiołek B. Sposób wytwarzania spoiwa hydraulicznego w postaci aktywowanego popiołu lotnego, aktywowany popiół lotny, spoiwo hydrauliczne, beton siarkowy lub cementowy, mieszanka mineralno-asfaltowa oraz zastosowanie aktywowanego popiołu lotnego. Zgłoszenie patentowe nr P.384199 z dnia 31.12.2007r., Urząd Patentowy RP, Warszawa, 2007.
- 7 Ćwiąkała M., Kmiołek B. Method for producing hydraulic binding agent in a form of activated fly ash, activated fly ash, hydraulic binding agent, sulphur or cement concrete, mineral-asphalt mixture and application of the activated fly ash. Zgłoszenie patentowe Nr EP-08173125.9 z dnia 30.12.2008r. Europejski Urząd Patentowy, Warszawa, 2008.
- 8 Gajewska B. Nieznormalizowane metody wzmacniania podłoża, Seminarium IBDiM i PZWFS – Wzmacnianie podłoża gruntowego i fundamentów budowli (2007) 73-82.
- 9 Ondova M., Stevulova N., Estokova A. The study of the properties of fly ash based concrete composites with various chemical admixtures. *Procedia Engineering* 42 (2012) 1863-1872.
- 10 Pachowski J.: Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym, WKiŁ, Warszawa, 1976.
- 11 PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- 12 Rafalski L., Kraszewski C., Wilczek J., Dreger M. Analiza uwarunkowań oraz badanie możliwości wykorzystania wybranych UPS w inżynierii lądowej – Studium literaturowe. IBDiM, Warszawa, 2010.
- 13 Strzyszczyk Z., Łukasik A. Zasady stosowania różnorodnych odpadów do rekultywacji biologicznej terenów poprzemysłowych na Śląsku. *Gospodarka surowcami mineralnymi*, Tom 24, Zeszyt 2/3 (2008) 41–49.
- 14 Sybilski D., Kraszewski C. Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych, IBDiM, Warszawa (2004) pp. 278.
- 15 Widuch A., Ćwiąkała M., Korzeniowska J., Kraszewski C. Stabilizacja gruntów hydraulicznymi spoiwami drogowymi na bazie popiołów lotnych z węgla brunatnego. *Kwartalnik Drogi i Mosty* 3 (2012) 195-214.

## The advantage of virgin soil in rural service road constructions

Michał Cwiakała<sup>1</sup>, Andrzej Greinert<sup>2</sup>,  
Joanna Korzeniowska<sup>3</sup>, Paweł Tarasewicz<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instytut Innowacyjnych Technologii Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: m.cwiakala@iit.edu.pl

<sup>2</sup> Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,  
Uniwersytet Zielonogórski, e-mail: A.Greinert@iis.uz.zgora.pl

<sup>3</sup> Instytut Innowacyjnych Technologii Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: j.korzeniowska@iit.edu.pl

<sup>4</sup> Wapeco Sp. z o.o., Warszawa, e-mail: p.tarasewicz@wapeco.eu

**Abstract:** Virgin soils as a result of geotechnical processes are element of road's solid bottom. The bottom ought to have enough capacity and durability which is provided by proper virgin sub-grade's enhancement. The sub-grade is road's base course right bottom. It is possible to improve virgin soil's parameters by road's hydraulic binding agent. The agent is a mineral frame's micro-particle extender or enhancement.

The researches were focused to define main soil-cement compound's mechanical parameter called CBR. Compounds consisted of rural virgin soils (five grain-size types) and two hydraulic agent types (endurance rates 3 MPa and 9 MPa). Hydraulic agent's main component was activated fly ash and white cement (CEM I 42,5 MPa). The ash is from Pątnów Power Plant and is a result of brown coal burning.

The researches answered that it is possible to exploit virgin soils in rural service road's construction thanks to innovative road cements with binding qualities.

**Keywords:** virgin soil enhancement, service roads, fly ashes, soil-cement compounds, soil's capacity