

IRYNA VOLOSHYNA<sup>1)</sup>  
 VALERIY VYROZHEMSKIY<sup>2)</sup>  
 ANDRZEJ URBANIK<sup>3)</sup>  
 CEZARY KRASZEWSKI<sup>4)</sup>  
 MIROSŁAW SZPIKOWSKI<sup>5)</sup>

## UKRAINIAN AND POLISH EXPERIENCES IN THE USE OF COAL WASTE AS A MATERIAL FOR ROAD CONSTRUCTION

## POLSKO-UKRAIŃSKIE DOŚWIADCZENIA W WYKORZYSTANIU ODPADÓW POWĘGLOWYCH W DROGOWNICTWIE

**STRESZCZENIE.** Wydobywaniu węgla kamiennego towarzyszy powstawanie dużych ilości odpadów. Odpady te są potencjalnym źródłem materiałów do budowy dróg. Ze względu na ich właściwości mogą one być traktowane jak grunty czy kruszywa naturalne. Odpady powęglowe są stosowane w budownictwie drogowym, szczególnie do budowy nasypów. Jednak bilans wykorzystania tego rodzaju materiałów jest ujemny, składowiska odpadów powęglowych nie maleją. Zhałdowany materiał jest źródłem zanieczyszczeń środowiska i zajmuje cenne tereny, które można by przeznaczyć pod uprawę lub inwestycje. Wychodząc naprzeciw tym problemom powstają różne projekty badawcze mające na celu wymianę międzynarodową doświadczeń technicznych i naukowych. Projekt INCRIS jest tego przykładem, a głównym celem jest zacieśnienie współpracy między DNDI jako koordynatorem, a instytucjami w niego zaangażowanymi. Głównym kierunkiem badawczym projektu było zwiększenie wykorzystania odpadów powęglowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** Łupek przywęglowy, nasyp, odpad powęglowy, roboty ziemne.

**ABSTRACT.** Coal mining accompanied by the formation of large amounts of waste. These wastes are a potential source of material for road construction. Because of their properties, they can be treated as soils or aggregates. Coal wastes are used in road construction in particular for the construction of embankments. However, the balance of the use of such materials is negative, landfill wastes, not decrease. Stockpiled material is a source of environmental pollution and takes up valuable land that could be used for cultivation or investments. To meet these challenges arise various research projects aimed at international exchange technical and scientific experiments. INCRIS project is an example of this, and the main objective is to strengthen cooperation DNDI as coordinator and institutions involved in the project. The main direction of the research project to increase the use of coal wastes.

**KEYWORDS:** Coal shale, coal waste, embankment, earth works.

DOI: 10.7409/rabdim.014.006

<sup>1)</sup> Shulgin State Road Research Institute (DNDI), Ukraine; iv@dorndi.org.ua

<sup>2)</sup> Shulgin State Road Research Institute (DNDI), Ukraine; vv@dorndi.org.ua

<sup>3)</sup> Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; aurbanik@ibdim.edu.pl

<sup>4)</sup> Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; ckraszewski@ibdim.edu.pl (✉)

<sup>5)</sup> Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; mszpikowski@ibdim.edu.pl

## 1. WPROWADZENIE

Zagadnienie wykorzystania odpadów powęglowych jest istotne ze względów społecznych, środowiskowych i technologicznych. Do budowy dróg, przygotowania podłoża, a szczególnie do budowy wysokich nasypów wykorzystywane są duże objętości gruntów. Eksploatacja obszarów spowodowana pozyskaniem tych gruntów skutkuje utratą terenów rolniczych. Z drugiej strony magazynowane na hałdach odpady powęglowe zajmują rozległe tereny, które mogły by być wykorzystane pod uprawę lub przeznaczone inwestycje. Hałdy odpadów powęglowych stanowią źródło zanieczyszczenia środowiska, ale jednocześnie są potencjalnym źródłem materiałów do budowy nasypów. Wykorzystanie odpadów stanowi nie tylko rezerwę niezbędnych materiałów, lecz jest także ważnym czynnikiem polityki społecznej ukierunkowanej na oszczędność zasobów i ochronę środowiska.

Odpady powęglowe są specyficznym materiałem składającym się z konglomeratów o różnych właściwościach wytrzymałościowych oraz zróżnicowanej odporności na działanie mrozu i wody. Właściwości te zależą od frakcji węgla, technologii przeróbki odpadów, czasu składowania oraz stopnia zwietrzenia i wypalenia. Warunkiem stosowania odpadów powęglowych do budowy wytrzymałych, stabilnych i przyjaznych dla środowiska nasypów komunikacyjnych jest określenie właściwości i dokonanie klasyfikacji odpadu. W oparciu o tę klasyfikację powinien zostać opracowany projekt techniczny i technologiczny.

## 2. IDENTYFIKACJA ZAGADNIEŃ NA PODSTAWIE WYTYCZNYCH ZAWARTYCH W RAMACH PROJEKTU INCRIS

Projekt INCRIS „Udoskonalenie Współpracy Międzynarodowej oraz Strategia Rozwoju Infrastruktury Drogowej dla Ukrainy” jest wdrażany w ramach 7 Projektu Ramowego „Możliwości” oznaczonego FP7-INCO-2011-6. Jednym z głównych celów tego projektu jest zacieśnienie współpracy pomiędzy DNDI (Shulgin State Road Research Institute), a innymi instytucjami zaangażowanymi w projekt. Korzystne wyniki tego projektu posłużą za doświadczenie w utrwalaniu bliższego partnerstwa z innymi instytucjami badawczymi w Europie. Na podstawie doświadczenia w rozwoju działalności badawczej posiadanego przez instytuty badawcze zaangażowane w projekt, rozpoznane zostają potencjalne pola współpracy oraz działania

## 1. INTRODUCTION

The issue of coal waste utilization is of social, environmental and technological significance. During the construction of roads and for the purposes of subgrade arrangement, especially for high embankments, large volumes of soil are needed. This requires a development of soil pits resulting in the loss of farmland. Large coal waste dumps are sources of environmental pollution and they also occupy the areas of farmland or investments. At the same time these dumps are a potential source of materials for the construction of embankments. Consequently, the use of man-made resources is not only one of the reserves of necessary materials but also an important component of public policy targeted at resource saving and environmental protection.

Coal waste is a very specific material that consists of large fragments varying in strength, water and frost resistance properties. This, in its turn, depends on the grade of coal, applied technology for waste generation, storage time, and the degree of weathering and burning. For the use of such soils in the construction of strong, sustainable and stable embankments classification of soils is required. Basing on their classification, special design and technological solutions should be provided.

## 2. IDENTIFICATION OF ISSUES BASING ON THE RESEARCH DIRECTIONS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE PROJECT INCRIS

Under the Seventh Framework Programme the project INCRIS “Improving International Cooperation and R&D Road Infrastructure Strategy for Ukraine” is currently implemented. One of the main objectives of this project is to strengthen partnership between DNDI (Shulgin State Road Research Institute) and other institutions involved in the project. Successful results of this project will serve as a proper hands-on experience in establishing closer partnership with other research institutions across Europe. Based on the experience in the research development, activities available to the research institutes involved in the project, as well as potential areas of cooperation will be identified. DNDI as project coordinator of INCRIS considers the research direction of development of coal waste designs and technology of coal waste use in the embankments of roads as very promising.

dostępne tym placówkom. DNDI jako koordynator INCRIS uważa kierunki badań nad rozwojem projektów z użyciem odpadów powęglowych oraz technologii użycia odpadów powęglowych do budowy nasypów drogowych za bardzo interesujące.

Zagadnieniem wykorzystania odpadów węglowych zainteresowanych jest wiele krajów europejskich. Specjaliści z Wielkiej Brytanii, Niemiec, Hiszpanii, Francji, Polski, Ukrainy, Czech, Słowacji i Rumunii prowadzą rozległe badania mające na celu znalezienie najbardziej oszczędnych metod wykorzystania odpadów powęglowych. W szczególności odnoszą się one do budowy sztucznych konstrukcji gruntowych - uwzględniając wysokie nasypy, a także do zbrojonych warstw podbudów i warstw mrozoodpornych w nawierzchniach dróg niższej kategorii, tymczasowych podjazdów oraz do wytwarzania mieszanek cementowo-asfaltowych oraz mieszanek mineralno-bitumicznych. W Europie zakres użycia odpadów powęglowych jest dużo szerszy niż na Ukrainie. Dodatkowo wielu badaczy zaobserwowało problemy z jakością nawierzchni drogowych wykonanych z użyciem odpadów powęglowych [1].

W Niemczech i Polsce za najbardziej korzystne miejsce wykorzystanie odpadów powęglowych uważa się budowę nasypów drogowych oraz zapór. Podobne priorytety wykorzystania odpadów węglowych przyjęto w Hiszpanii i Francji. W protokole technicznym brytyjskiego Ministerstwa Transportu wskazano, że z punktu widzenia interesu narodowego, potrzebne jest szersze stosowanie odpadów powęglowych zamiast surowców tradycyjnie używanych do robót ziemnych oraz budowy ścian oporowych z gruntu zbrojonego z naziemem w postaci odpadów powęglowych. Ten kierunek rozwoju jest uważany za najbardziej obiecujący.

### 3. TECHNOLOGICZNA KLASYFIKACJA ODPADÓW POWĘGLOWYCH

Na Ukrainie w DNDI prowadzone są szerokie badania odpadów powęglowych jako materiałów do budowy dróg. Badania wykazały, że odpady powęglowe składają się z mieszaniny wodoodpornych cząstek stałych, gruzu nieodpornego na wilgoć oraz drobnoziarnistych składników powstałych głównie wskutek wietrzenia. Odpady powęglowe znajdują się na 1200 składowiskach w regionie donieckim, a ich całkowita objętość wynosi około 1,5 miliarda m<sup>3</sup>. W tym samym czasie dodatkowo 1200 milionów ton odpadów jest produkowanych rocznie przez zakłady mechanicznej przeróbki węgla.

The issue of the use of coal waste is common to both, Ukraine and the European countries. Specialists from United Kingdom, Germany, Spain, France, Poland, Czech Republic, Slovakia and Romania are carrying out extensive research to determine the most economical ways to use coal waste. In particular, this refers to construction of artificial soil structures including high embankments, and in road construction to arranging reinforced layers of road bases, frost blanket courses of pavements of lower category roads, temporary driveways, and to making asphalt concrete mixes and bitumen mineral mixes. In Europe the scope of using coal waste is much wider than in Ukraine. At that a number of researchers have noted difficulties in production of high performance road pavements using coal waste [1].

In Germany and Poland the construction of roads embankments, waterworks dams is considered as the most profitable way of using coal waste. The same ways of coal waste application are considered as the most expedient in France and Spain. In a Technical Memorandum of the Ministry of Transport of UK it is indicated that from the viewpoint of the national interests, a wider use of coal waste instead of traditional raw materials for filling the subgrade, arrangement of retaining walls made of reinforced soil using coal waste as backfill material is needed. This direction is considered as the most promising and a large-scale one.

### 3. TECHNOLOGICAL CLASSIFICATION OF COAL WASTE

In Ukraine, at DNDI, extensive studies of coal waste as the material for road construction are also conducted. During these studies it was determined that the coal waste consists of a mixture of solid waterproof particles and hydrolabile debris that can soak, as well as fine-grained components created mainly during weathering. Today mine rocks dumps are accumulated in about 1200 stockpiles of Donbass region with a total volume of rocks of about 1.5 billion m<sup>3</sup>. At the same time, up to 120 million tons of waste are produced annually by coal preparation plants.

Mine rock waste and coal waste have a common structure and undergo the same changes in the dumps. According to the lithologic composition, argillites and coal-mineral concretions prevail in coal waste and coal-mineral aggregates prevail in mine rocks including argillites and siltstones; sandstones occur less. Among

Odpady powęglowe mają podobną strukturę i podlegają takim samym przemianom w hałdach. Zgodnie ze składem litologicznym w odpadach powęglowych przeważają argility i kongrecje węglowo-mineralne, natomiast w skale kopalnej przeważają argility i piaskowce drobnoziarniste; piaskowce występują rzadziej. Wśród najbardziej powszechnych minerałów ilastych są kaolinit i hydromika. Zawartość minerałów ilastych w litej skale może osiągnąć 81,0%, średnio wynosi 66,0%.

Skład mineralny i litologiczny odpadów powęglowych z 87 hałd w regionie Doniecka jest reprezentowany przez argilit i piaskowiec drobnoziarnisty o zmiennych stopniach metamorfizmu, skały wapienne, piaskowiec, węgiel oraz mineralne agregaty piryty (Tabl. 1). Wykorzystanie tych materiałów do budowy wytrzymałych, stabilnych i przyjaznych środowisku nasypów wymaga opracowania klasyfikacji odpadów powęglowych oraz przygotowania specjalnych rozwiązań projektowych i technologicznych.

the most common clay minerals are kaolinite and hydromica. Content of clay minerals in fresh rock can reach 81.0%, averaging 66.0%.

Mineralogical and lithological composition of coal waste from 87 slagheaps of Donbass region is represented by argillites and siltstones of varying degrees of metamorphism, limestone rocks, sandstone, coal and mineral pyrite aggregates (Table 1). Use of such soils in the construction of strong, sustainable and stable embankments requires the development of soils classification and basing on this classification, the provision of special design and technological solutions.

Table 1. Content of mineral components in coal waste  
Tablica 1. Zawartość składników mineralnych w odpadach powęglowych

Content Zawartość	Component / Składnik [%]					
	Argillite Argilit	Siltstone Piaskowiec drobnoziarnisty	Sandstone Piaskowiec	Carbonate stratum Warstwa węgla	Coal-mineral concretions Kongrecje węglowo-mineralne	Pyrite Piryt
Maximum Maksymalna	82.0	48.0	23.5	15.0	54.0	8.0
Minimum Minimalna	25.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
Average value Wartość średnia	60.7	6.4	6.6	2.8	22.5	1.0 <sup>*)</sup>
Note / Uwaga <sup>*)</sup> Presence of pyrite is detected in the waste of 35 % slagheaps / Obecność piryty wykryto w 35% odpadów z badanych hałd						

Charakterystyka wytrzymałościowa kruszywa (odpadów powęglowych) jest przyjęta jako kryterium oceny cech mechanicznych gruboziarnistego materiału składającego się z wielu składników. Dodatkowym kryterium może być ocena właściwości kruszywa podczas procesu zagęszczania. Warunkiem koniecznym może okazać się ocena odporności na warunki atmosferyczne i czynniki klimatyczne. Jeżeli materiał ma skłonność do wietrzenia, konieczne jest stworzenie warunków do zapewnienia stabilności nasypu i zapobieżenia osiadaniu. Na tej podstawie stworzono klasyfikację techniczną odpadów powęglowych jako gruntu gruboziarnistego - kruszywa (Tabl. 2). Przyjęto założenia dla normy państwowej na Ukrainie, która jest aktualnie opracowywana.

Aggregate strength characteristic is accepted as a holistic criterion for evaluation of possibility and the necessity of creating dense structure of multicomponent coarse soil. At that, the criterion for evaluation of the possibility for creating a dense structure may serve strength of aggregate system at compaction. Resistance to the effects of weather and climatic factors may serve the criterion of necessity. If debris is prone to weathering, it is necessary to create conditions for ensuring the embankment's stability to prevent subsidence. Based on this, technological classification of coal waste as multicomponent coarse soil has been developed and created the basis for the national standards of Ukraine that are currently being developed (Table 2).



Table 2. Technological classification of coal waste according to Ukrainian requirements

Tablica 2. Technologiczna klasyfikacja odpadów powęglowych zgodnie w wymogami ukraińskimi

Type of soil Rodzaj gruntu		Characteristic Charakterystyka		Value of characteristic / Wartość charakterystyki		
				Initial state Stan początkowy	Initial state of weathering Początkowy stan wietrzenia	Final stage of weathering Końcowy stan wietrzenia
Aggregate-strong Kruszywo wytrzymałe		Aggregate strength value Wytrzymałość kruszywa <i>A</i>	%	≥ 95		
		Potential module of subsidence Potencjalny moduł osiadania	mm/m	0 - 1		
		Modulus of elasticity Moduł Younga <i>E</i>	MPa	500 - 700		
		Frost resistance Mrozoodporność	%	≥ 95		
Provisionally aggregate-strong Kruszywo warunkowo wytrzymałe	Type / Typ I	Aggregate strength value Wytrzymałość kruszywa <i>A</i>	%	85 - 95	80 - 90	75 - 85
		Potential module of subsidence Potencjalny moduł osiadania	mm/m	5 - 8	3 - 5	1 - 3
		Modulus of elasticity Moduł Younga <i>E</i>	MPa	300 - 600		
		Frost resistance Mrozoodporność	%	50 - 70	60 - 80	70 - 95
	Type / Typ II	Aggregate strength value Wytrzymałość kruszywa <i>A</i>	%	80 - 90	≥ 75	≥ 60
		Potential module of subsidence Potencjalny moduł osiadania	mm/m	3 - 7	1 - 3	-1 - 1
		Modulus of elasticity Moduł Younga <i>E</i>	MPa	100 - 500		
		Frost resistance Mrozoodporność	%	50 - 70	60 - 90	–
Aggregate-fragile Kruszywo kruche		Aggregate strength value Wytrzymałość kruszywa <i>A</i>	%	≥ 75	≥ 60	
		Potential module of subsidence Potencjalny moduł osiadania	mm/m	-1 - 1		
		Modulus of elasticity Moduł Younga <i>E</i>	MPa	50 - 300		
		Frost resistance Mrozoodporność	%	–		

Kiedy stosowane są kruszywa kruche i nieodporne na wilgoć (kruszywo kruche według Tabl. 2), podlegają one niszczeniu podczas procesu zagęszczania w wyniku czego tworzą się znaczne ilości pyłów. Później wpływ wietrzenia może powodować odkształcenia skurczowe. W przypadku zawartości pyłów od 25% do 30% większość porów pomiędzy ziarnami jest nim wypełniona, tworząc stabilną strukturę.

When using fragile hydrolabile material (aggregate fragile), it undergoes destruction followed by creation of significant quantities of pit-run fines at compaction. Later on weathering impact can cause shrinkage strain. In the presence of 25% to 30% pit-run fines, the majority of pores between debris are filled with this material, thereby creating a stable structure.

Większość skał dobrze przepalonych (np. łupki przepalony), znajdujących się na hałdach, posiada wysoką wytrzymałość. Materiał ten trudno jest skruszyć podczas zagęszczania. Jednocześnie istotny wpływ na zniszczenie materiału ma proces wietrzenia. Ten typ materiału jest sklasyfikowany jako kruszywo warunkowo wytrzymałe. Jest on trudno zagęszczalny, a do budowy stabilnego nasypu wymagane jest bardzo dobre zagęszczenie. W celu zastosowania takiego materiału wymagane są specjalne środki technologiczne.

Kruszywa warunkowo wytrzymałe typu I są bardziej odporne na wietrzenie. W przypadku kruszyw o wytrzymałości pomiędzy 90% a 85% w stanie początkowym, ziarna są niszczone pod wpływem cykli zwilżania-schnięcia. Po trzech cyklach zwilżania-schnięcia wytrzymałość kruszywa wynosi od 90% do 80%, natomiast po dziesięciu cyklach mieści się w przedziale od 85% do 75%.

Warunkowo wytrzymałe kruszywa typu II w stanie początkowym są również mocne (wytrzymałość od 90% do 80%), lecz pod wpływem wietrzenia w okresie początkowym następuje znacząca strata wytrzymałości (po trzech cyklach ich wytrzymałość spada do 75% lub mniej) z tendencją do przejścia w kategorię kruszyw kruchych.

Grunt może być traktowany jako gruboziarnisty wytrzymały pod warunkiem obecności znaczących ilości gruzu wytrzymałego i odpornego na działanie wody w mieszaninie odpadów powęglowych. W praktyce materiały takie nie są niszczone ani podczas zagęszczania, ani pod wpływem warunków klimatycznych. Gęsta struktura takiego gruntu, gdy przestrzeń pomiędzy gruzem jest wypełniona drobnymi cząstkami, może być osiągnięta dzięki użyciu specjalnej technologii.

Obszar Donieckiego Zagłębia Węglowego jest podobny do polskiego Śląska, występują tam bowiem podobne odpady powęglowe. Liczne kopalnie węgla kamiennego wytwarzają odpady powęglowe, w tym także łupki przywęglowe. W Polsce materiał taki jest używany od wielu lat do budowy dróg, zwłaszcza nasypów drogowych [2, 3, 4]. Zwykle, łupki przywęglowe dzieli się na dwa rodzaje: łupki przywęglowe nieprzepalone (czarne) i łupki przepalone (czerwone). Surowy materiał (łupki nieprzepalony), wydobyty bezpośrednio z kopalni, charakteryzuje się strukturą gruboziarnistą oraz zróżnicowanym, głównie wysokim, stopniem rozkruszenia pod wpływem działania wody i mrozu. Wielkość stopnia rozkruszenia łupków zależy głównie od zawartości i rodzajów skał występujących w odpadach oraz zawartości podstawowych składników np. ilowców.

Most well burnt rocks in dumps are of high strength. They can hardly be crushed at compaction. At the same time, the destruction of varying degrees of intensity is influenced by weathering. This type of soil is classified as conditionally strong aggregate. It is hard to compact and a dense structure must be created for construction of a stable embankment. To use such material, it is necessary to provide for special technological measures.

Coarse conditionally strong aggregate soils of type I are more resistant to weathering. At aggregate strength value from 90% to 85% in the initial state, these soils are destroyed under the influence of wetting - drying with little attenuation: After three cycles of wetting - drying the aggregate strength value makes from 90% to 80%; after 10 cycles it makes from 85% to 75%.

Coarse conditionally strong aggregate soils of type II in the initial state are also quite strong (from 90% to 80%) but then under the influence of weathering in the initial period, there is a significant loss of strength (during three cycles their strength is reduced to 75% or less) with the subsequent transition to aggregate fragile coarse soils.

On condition that presence of significant amount of strong and water resistant debris in a mixture of coal waste, soil may be referred to the aggregate strong type. These soils are practically not destroyed at compaction and under the influence of climatic factors. Dense structure of such soils, when the space between the debris is filled with pit-run fines, may be attained by taking special technological measures.

The area of Donetsk Coal Basin is similar to Poland's Silesia, where analogous mining wastes occur. There are numerous hard coal mines in the area, with waste related to that industry, including coal-associated shale. In Poland, such material has been used for many years in road construction, especially in road embankments [2, 3, 4]. In general, coal-associated shale is divided into two types: unburnt black shale and burnt red shale. Raw material (unburnt shale) taken directly from a mine is characterised by a coarse grain structure and varied, mainly high, degree of crushability under the impact of water and frost. Lower or higher crushability of shale depends mainly on the content and type of the different rocks occurring in waste as well as the content of the basic component, i.e. Claystone.

Zastosowanie surowych, nieprzetworzonych, gruboziarnistych łupków do prac ziemnych na nasypach jest trudne, ponieważ bez wypełnienia obszarów pomiędzy ziarnami materiał jest niestabilny (ze względu na postępujące niszczenie ziaren wraz z upływem czasu) pod działaniem wody i mrozu. Surowy łupek zawiera okruchy węgla (w ilościach dochodzących do 30%), które powodują, że materiał jest podatny na samozapłon. Zjawisko zapłonu samoczynnego pojawia się w przypadku składowania łupków przywęglowych na hałdach bez odpowiedniego zagęszczenia i wypełnienia pustych przestrzeni, co sprzyja napływowi tlenu. Czarny łupek, który został przepalony na hałdzie wskutek samozapłonu posiada zdecydowanie lepsze właściwości mechaniczne i jest ogólnie nazywany łupkiem przepalonym.

Przepalony łupek przywęglowy, potocznie zwany łupkiem czerwonym, tworzy materiał wynikający z przemian zachodzących podczas palenia się hałdy. Różnorodność warunków, w których płonie hałda, wpływa znacząco na jednorodność struktury i właściwości przepalonego materiału. W pełni przepalony materiał jest przeważnie podobny do dobrze wypalanej cegły ceramicznej, w której ziarnista powierzchnia i przełam mają jednorodny - ceglasczerwony kolor. W przeciwieństwie do niego, materiał częściowo przepalony jest często wielokolorowy. Powierzchnia ziaren słabo przepalonych jest zazwyczaj jasnoszara, a przełamany materiał charakteryzuje się kolorem i właściwościami podobnymi do łupka nieprzepalonego. Dobrze przepalony łupek jest materiałem wystarczająco odpornym na działanie wody i mrozu, co jest szczególnie ważne przy budowie nasypów na terenach podmokłych lub budowie nasypów i warstw ochronnych wystawionych na zamarzanie [2]. Na terenie Polski zasoby łupka przepalonego są bardzo ograniczone; praktycznie występuje tylko łupek czarny. Wynika to prawidłowego sposobu odwęglania łupków i składowania ich z wykorzystaniem zagęszczania.

#### 4. WYNIKI BADAŃ POLOWYCH I LABORATORYJNYCH

Poszczególne rodzaje odpadów powęglowych mogą być użyte jako podłoże konstrukcji drogowej tylko i wyłącznie po kompleksowych badaniach uziarnienia gruntu oraz określeniu właściwości fizycznych, mechanicznych, wytrzymałościowych oraz odkształcalności. Zbadane zostały próbki łupka pobrane ze zwałowiska kopalni Ye. T. Abakumov: jedna z próbek była przepalona i miała kolor czerwony, a druga była nieprzepalona w kolorze szarym. Właściwości fizyczne i mechaniczne tych próbek przedstawiono w Tabl. 3.

The use of raw, unprocessed coarse-grained shale in earthworks (embankments) is difficult because without filling gaps between grains the material is unstable (due to grain destruction progressing over time) under the impact of water and frost. Raw shale contains coal (in quantities which may be as high as 30%), which makes the material prone to spontaneous ignition of coal chips contained in it. The phenomenon of spontaneous ignition occurs in the case where shale is stockpiled in tips without proper compaction and filling of voids, which is conducive to the inflow of oxygen. Black shale in a tip that has been burnt as a result of spontaneous ignition has definitely better mechanical properties and is commonly referred to as burnt shale.

Burnt coal-associated shale, commonly referred to as red shale, forms a material resulting from the transformation occurring during the tip burning process. The diversity of tip “burning” conditions highly affects the uniformity of the structure of burnt material and its properties. A fully burnt material is usually similar to well-burnt ceramic brick debris in which the granular surface and fracture has a uniform brick-red colour. In contrast, partly burnt material is often multi-coloured. The surface of poorly burnt grains is usually light grey, and fractured material displays colours and properties similar to those of unburnt shale. Well burnt shale is a material sufficiently resistant to water and frost impact, which is particularly important in the formation of embankments in wetlands or the construction of embankments and protective layers exposed to freezing [2]. In Poland, burnt shale resources are very limited, and practically only black shale occurs. This results from the proper decarburisation of shale and its controlled stockpiling with compaction.

#### 4. RESULTS OF FIELD AND LABORATORY STUDIES

Coal waste related to specific soil types can be used in the subgrade only after a comprehensive study of their soil grading and physicommechanical, deformation and strength properties. Different rock samples selected from the dump of the mine named after Ye. T. Abakumov have been studied: one rock sample was burnt and of red colour and the second rock sample was unburnt and of gray colour. Physical and mechanical properties of the samples are given in Table 3.

Table 3. Physical and mechanical properties of the test samples of burnt and unburnt shale  
 Tablica 3. Właściwości fizyczne i mechaniczne próbek łupków przepalonych i nie przepalonych

Indicators / Wskaźniki		Sample of shale / Próbką łupka	
		Sample of burnt shale Próbką przepalona	Sample of unburnt shale Próbką nieprzepalona
Density of rock particles Gęstość cząsteczek skalnych	g/cm <sup>3</sup>	2.04	1.97
Optimal moisture at standard compaction Optymalna wilgotność przy zagęszczeniu standardowym	%	21.3	12.7
Water absorption Absorpcja wody	%	3.1	4.5
Compression strength of debris Wytrzymałość na ściskanie gruzu	MPa	2.8	1.3
Liquid limit of pit-run fines, particle size 0.315-0.071 mm Granica płynności cząstek drobnych, rozmiar cząstek 0,315-0,071 mm		29.0	32.8
Moisture limit at rolling of pit-run fines, particle size 0.315-0.071 mm Granica wilgotności przy toczeniu cząstek drobnych, rozmiar cząstek 0,315-0,071 mm		20.6	20.3
Plasticity index of pit-run fines, particle size 0.315-0.071 mm Wskaźnik plastyczności cząstek drobnych, rozmiar cząstek 0,315-0,071 mm		8.4	12.5
Modulus of elasticity Moduł Younga	MPa	58.0	47.0
Maximum module of subsidence Maksymalny moduł osiadania	mm/m	8.3	17.6
pH		5	5

Ze względu na znaczenie budowy obwodnicy Doniecka, po konsultacjach z naukowcami z Politechniki w Parmie (Włochy) zdecydowano się wzmocnić zbocza nasypu i warstwę roboczą drogi oraz ustabilizować korpus nasypu budowanego z odpadów powęglowych poprzez dodanie cementu. Wyniki badań właściwości fizycznych i mechanicznych próbek odpadów powęglowych wzmocnionych i stabilizowanych poprzez dodanie optymalnej zawartości cementu pokazano w Tablicy 4.

Because of high importance of the construction of the road bypassing the city of Donetsk, after consultation with the scientists of Technical University of Parma (Italy), it was decided to reinforce the slopes and a working layer of the road and to stabilize the body of the embankment constructed of coal waste by adding cement. The results of determination of physical and mechanical properties of the rock samples reinforced and stabilized by adding the optimal content of cement are shown in Table 4.

Table 4. Physical and mechanical properties of the reinforced and stabilized shale  
 Tablica 4. Właściwości fizyczne i mechaniczne łupków wzmocnionych i stabilizowanych

Indicators / Wskaźniki		Reinforced shale Łupki wzmocnione	Stabilized shale Łupki stabilizowane
Compression strength of a dry sample Wytrzymałość na ściskanie próbki suchej	MPa	2.2	0.9
Compression strength in water saturated state Wytrzymałość na ściskanie w stanie nasyconym wodą	MPa	1.7	0.6
Frost resistance factor Współczynnik mrozoodporności		0.7	0.6



Jako uzupełnienie badań naukowo-technicznych przy układaniu warstw z łupków pochodzących z hałd kopalni Ye. T. Abakumov, eksperci DNDI zbadali wpływ zabiegów technologicznych na zmianę uziarnienia gruntu. W celu przeprowadzenia niezbędnych badań wyselekcjonowano 5 próbek. Wybrany łupek był reprezentowany przez przepaloną skałę, głównie argilit. Uziarnienie łupków z hałdy było określone po przejściu walca, recyklera oraz kombinacji obu maszyn. Wyniki badań uziarnienia łupków [5] podano w Tablicy 5.

At the fulfilment of scientific and technical support of arrangement of subgrade using shale from the dumps of the mine named after Ye.T Abakumov, DNDI experts investigated the impact of technological operations on the change of soil grading. In order to conduct the necessary studies, 5 samples were selected. Selected shale was represented by burnt rock, mainly argellite. Grading of shale from the slagheap was determined after cam roller passing, recyclers and combined operations. The results of shale grading [5] are given in Table 5.

Table 5. Grading of the shale  
Tablica 5. Uziarnienie łupków

Particle size Rozmiar cząstki [mm]	Percentage / Udział procentowy [%]				
	Slagheap Hałda (a)	After passing of cam roller Po przejściu walca (b)	After passing of one recycler Po przejściu recyklera 1× (c)	After passing of two recyclers Po przejściu recyklera 2× (d)	After passing of two recyclers and roller Po przejściu recyklera 2× i przejściu walca (e)
> 40	39.7	17.6	7.4	1.7	0
20 - 40	15	30.1	11.4	11.4	9.4
10 - 20	13.8	18.3	19.1	22.2	18.6
5 - 10	11	13.0	22.2	23.8	25
2 - 5	6.9	7.3	18.3	19.2	20.4
< 2	13.6	13.7	21.6	21.7	26.6

Jak pokazano w Tablicy 5 początkowe uziarnienie gruntu było reprezentowane przez cząstki gruboziarniste > 40 mm stanowiące 39,7%. Po przejściu walca ilość cząstek o rozmiarze > 40 mm spadła prawie o połowę, tzn. do 17,6%. Po 1-krotnym przejściu recyklera wszystkie cząstki były znacząco rozkruszone, lecz nadal pozostały cząstki o rozmiarze > 40 mm. Najpełniejsze ujednorodnienie uziarnienia gruntu było osiągnięte, gdy walec i recykler były użyte w połączeniu. Dodatkowo, wszystkie cząstki o rozmiarze przekraczającym 40 mm zostały rozkruszone, a zawartość cząstek o wielkości mniejszej niż 2 mm wynosiła około 30%.

Gęstość odpadów powęglowych zależy głównie od stopnia lityfikacji skał zawierających węgiel: największa gęstość jest charakterystyczna dla gruntów związanych z wydobyciem antracytu, najniższa zaś jest typowa dla lignitu. W celu określenia najwydajniejszego sposobu wykorzystania skał z kopalni Ye.T Abakumov eksperci DNDI określili jedno z głównych kryteriów zagęszczenia - optymalną wilgotność, przy której otrzymuje się największą gęstość.

As shown in Table 1, the initial soil grading was represented mostly by coarse size particle > 40 mm – 39,7%. After passage of the cam roller, the number of particles of > 40 mm size almost halved (from 39.7% to 17.6%). After passage of the recyclers, all the particles were significantly grinded, but the particle of > 40 mm size still remained. The most complete and uniform soil grinding is achieved when a recycler and cam rollers are used jointly. At that, all particles size exceeding 40 mm are crushed, and the content of particles of less than 2 mm size is about 30%.

Density of coal waste depends mainly on the lithification grade of rocks which contain coal: the highest density is inherent to the soils associated to mining of anthracite; the lowest density is typical for brown coal. In order to define the most efficient use of the rocks from the mine named after Ye.T Abakumov, DNDI experts determined one of the main criteria of compaction – the definition of optimum moisture content for obtaining maximum density of pit-run fines.

Badanie przeprowadzono na dwa sposoby: przy użyciu przyrządu „SoyuzdorNII” w przypadku standardowego zagęszczenia gruntu oraz metodą zmodyfikowanego Proctora [6]. Wykresy zależności gęstości objętościowej gruntu od wilgotności opracowane na podstawie wyników badań przyrządem „SoyuzdorNII” oraz przy użyciu standardowego i zmodyfikowanego urządzenia Proctora, przedstawiono na Rys. 1.

This study was conducted by two methods: using the device “SoyuzdorNII” for standard soil compaction and testing by the method of modified Proctor [6]. The graphs of dependency of dry soil density on its moisture content measured using the device “SoyuzdorNII” and modified Proctor device are shown in Fig. 1.

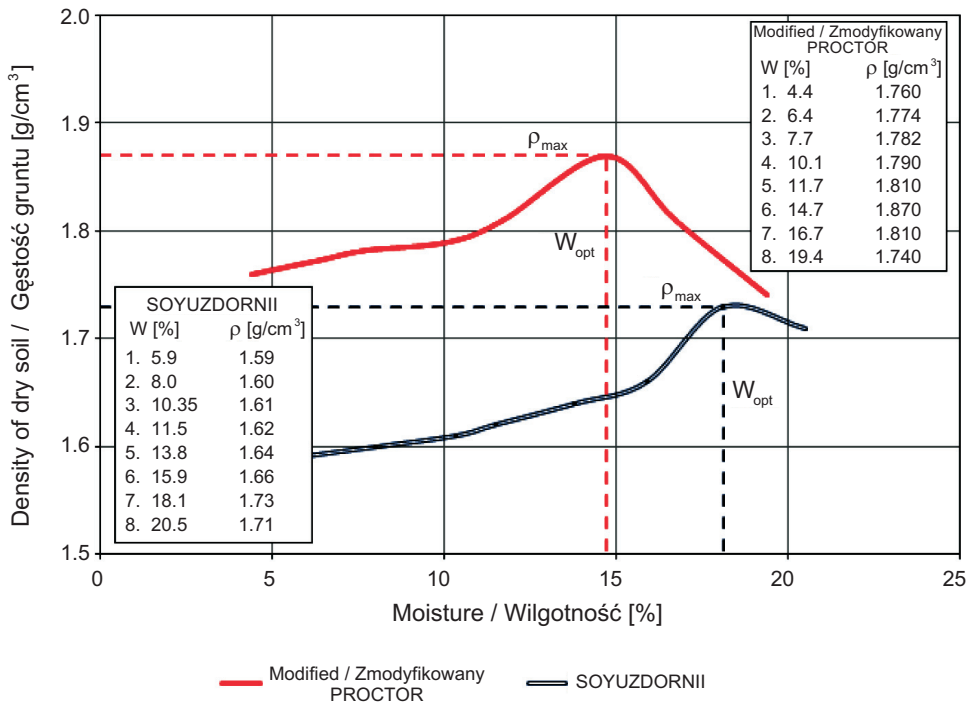


Fig. 1. Graph of dependency of dry soil density on its moisture content by using the device SoyuzdorNII and by the method of modified Proctor  
Rys. 1. Wykresy zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności dla standardowej i zmodyfikowanej metody Proctora

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że wymagania w stosunku do parametrów zagęszczenia, określone metodą zmodyfikowanego Proctora, są dużo wyższe niż te zdefiniowane za pomocą urządzenia „SoyuzdorNII”.

Basing on test results, it is possible to assert that the requirements for compaction defined by the method of modified Proctor are much higher than those defined using the device “SoyuzdorNII”.

## 5. MIĘDZYNARODOWE SPOTKANIE W DONIECKU NA TEMAT ODPADÓW POWĘGLOWYCH

Ważnym elementem badań na polu drogownictwa jest wymiana doświadczeń pomiędzy badaczami zajmującymi się analizą teoretyczną i eksperymentalną a wykonawcami robót. Międzynarodowe spotkanie w ramach projektu INCRIS na temat wykorzystania odpadów powęglowych zostało zorganizowane na początku października 2013 w Doniecku w okolicy obwodnicy Doniecka. Uczestniczyli

## 5. INTERNATIONAL MEETING IN DONETSK ON COAL WASTE ISSUE

An important element of research in the field of road construction is an exchange of experiences between scientists working on theory and experiment with the construction executors. An international meeting of INCRIS project on the use of coal waste issue was organised on early October, 2013 in Donetsk in the area of a bypass highway round Donetsk. It was attended by the scientists of Polish Institute IBDiM, Cezary Kraszewski, Mirosław Szpikowski,

w nim naukowcy polskiego instytutu IBDIM: Cezary Kraszewski, Mirosław Szpikowski, spółki państwowej Netivei Israel z Izraela: Leonid Soskin, oraz reprezentujący FEHRL Andrzej Urbanik. Ze strony Ukraińskiej obecni byli badacze (Valeriy Vyrozhemskiy, Iryna Voloshyna, DNDI) oraz przedstawiciele głównego wykonawcy zaangażowanego w przeprowadzenie prac na miejscu (Alexander Valuykin, Eugene Suslov z LLC „Road Construction” „AltKom”).

Uczestnicy spotkania odwiedzili zwałowisko odpadów kopalni Ye.T. Abakumov, z którego użyto materiałów do budowy obwodnicy Doniecka. Zidentyfikowano także miejsca, w których nadal przebiegają procesy palenia się odpadów powęglowych na hałdach. W czasie tego spotkania na miejscu zademonstrowano technologię budowy nasypów z odpadów powęglowych (Rys. 2). Ze względu na to, iż w tym rejonie nasyp budowany jest na słabym, podmokłym gruncie badacze z DNDI zaproponowali stabilizację korpusu nasypu poprzez dodanie niewielkich ilości cementu. Proces poprawy uziarnienia odpadów powęglowych został połączony z dodatkowym nawilżaniem i jednorodnym wprowadzaniem cementu przy użyciu recyklera.

Fig. 2. Stabilization the embankment body composed of coal waste with cement adding

Rys.2. Stabilizacja korpusu nasypu wykonanego z odpadów węglowych z dodatkiem cementu

## 6. WNIOSKI I PLANY NA PRZYSZŁOŚĆ

Powyższe przykłady pokazują, że prace ziemne charakteryzują się wysoką materiałochłonnością, a najprostszym sposobem na zagospodarowanie dużych ilości odpadów w infrastrukturze transportowej jest wykorzystanie odpadów powęglowych do budowy nasypów. Dotyczy to szczególnie budowy głównych dróg i autostrad w obszarach wysoko zurbanizowanych, gdzie istnieje potrzeba zapewnienia wielopoziomowych skrzyżowań z wysokimi nasypami. Wykorzystanie odpadów powęglowych w trakcie realizacji inwestycji drogowych przyczynia się do zmniejszenia ich ilości na składowiskach, co ma zdecydowanie korzystny wpływ na środowisko.

of Israeli Public Company Netivei Israel, Leonid Soskin and the representative of FEHRL, Andrzej Urbanik. From Ukraine the meeting was attended by the researchers (Valeriy Vyrozhemskiy, Iryna Voloshyna, DNDI), and the representatives of the General Contractor engaged in work performance on the site (Alexander Valuykin, Eugene Suslov, LLC “Road Construction” “AltKom”).

The participants of the International meeting visited a waste dump of a mine named after Ye.T. Abakumov from which the materials for the construction of a highway bypass round Donetsk is extracted. Moreover, they identified the places where coal waste burning processes are still going on. At this on-site meeting, the technology of embankment arrangement produced of coal waste was demonstrated (Fig.2). Since in this area the embankment is constructed on weak overwetted soils at its base, DNDI researchers proposed to stabilize the body of the embankment by adding small amount of cement. The process of coal waste grinding was combined with the process of additional damping and uniform introduction of cement using recycler.



## 6. CONCLUSIONS AND FUTURE PLANS

The examples mentioned above show that the use of mining waste for the construction of transport infrastructure embankments is the simplest way to manage large quantities of waste, because earthworks are characterized by high material intensity. This applies especially to the construction of main roads and motorways in highly urbanized areas, where there is special need for the provision of multi-level crossings with high embankments. The use of mining waste materials in construction contributes to the reduction of their deposits in stockpiles, which has a favourable environmental effect.

W rezultacie spotkania na Ukrainie podjęto decyzję o potrzebie szerszej interpretacji zagadnienia wykorzystania odpadów powęglowych w drogownictwie. Warto zauważyć, że wszyscy uczestnicy wyrazili zainteresowanie pozytywnym rozwiązaniem problemu. Zaproponowano połączenie wysiłków organizacji biorących udział w tym spotkaniu w celu przeprowadzenia szerokich i złożonych badań. Ta współpraca może stać się użytecznym wynikiem projektu INCRIS w Europejskim i Ukraińskim obszarze badań.

As a result of this meeting a decision was made on the need for a broader interpretation of the issue of using coal waste in road construction. It should be noted that all the participants of the meeting expressed their interest in solving this problem. It was proposed to join efforts of organizations participating at this meeting for the fulfilment of full-scale and complex investigations. This joint project could become an effective outcome of the project INCRIS in the research area of Europe and Ukraine.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] *Vyrozhemskiy V.K., Voloshyna I.V.*: Continuous Environmental Chain: Road-Environment-Life. Road Branch, Kyiv, 3, 2013, 20-25
- [2] Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych. Opracowanie IBDiM dla GDDKiA, Warszawa 2004
- [3] PN-S-02205 Polish Standard. Roads. Earthworks. Requirements and testing
- [4] *Sybilski D., Mirski K., Kraszewski C.*: Use of Industrial Waste Materials in Road Construction in Poland, in: Proceedings of the International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures. Eds. E. Vázquez, Ch.F. Hendriks, G.M.T. Janssen, November 8-11, 2004, Barcelona, Vol. 2, 351-362
- [5] State Standard GOST 12536-79. Laboratory method for defining soil grading (grain) and micro-aggregate composition
- [6] State Standard of Ukraine DSTU Б B.2.1-12:2009 Soils. Laboratory method for defining maximum density