

Piotr WILEŃSKI

Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
w Warszawie

## MOŻLIWOŚCI I WARUNKI WYKORZYSTANIA ENERGETYCZNYCH ODPADÓW PALENISKOWYCH W BUDOWNICTWIE KOMUNIKACYJNYM

**Streszczenie.** W artykule scharakteryzowano przydatność poszczególnych rodzajów odpadów energetycznych jako materiałów do wykonywania nasypów komunikacyjnych lub dodatków ulepszcjących do gruntów lub kruszyw mających znaleźć zastosowanie przy wykonywaniu warstw ulepszonego podłoża i wzmocnionego podterza nawierzchni kolejowych.

### 1. WSTĘP

Realizowany w minionych latach kierunek rozwoju energetyki w kraju bazował głównie na trudnych do wyekaportowania gorzyczych gatunkach węgla, co spowodowało wiele uciążliwych dla środowiska skutków. Jednym z nich jest problem utylizacji dużej ilości odpadów energetycznych (w Polsce powstaje rocznie około 30 milionów ton odpadów energetycznych).

Spośród różnych gałęzi gospodarki krajowej, potencjalną możliwość wykorzystania dużych ilości odpadów ma budownictwo komunikacyjne [2, 6]. Budownictwo komunikacyjne zainteresowane jest odpadami możliwie jednorodnymi, występującymi w dużych ilościach, składowanych w sposób ułatwiający ich pobór, dystrybucję i transport.

Oprócz korzystnej lokalizacji składowisk duży wpływ na zakres zastosowania odpadów mogą mieć również takie czynniki, jak: stopień rozpoznania charakterystycznych właściwości odpadów i znajomość warunków technologicznych związanych z ich wykorzystaniem w typowych procesach stosowanych przy formowaniu nasypów oraz stabilizacji mechanicznej i chemicznej gruntów i kruszyw.

### 2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW ELEKTROWNIANYCH

Odpady elektrowniane stanowią produkt bezrueztowego spalania miazgu węglowego w kotłach elektrowni przemysłowych. Zakres i charakter zastosowania w budownictwie komunikacyjnym odpadów zależy głównie od ich właściwości fizykochemicznych, które determinowane są następującymi czynnikami [3,5]:

- rodzaj i pochodzenie węgla (węgiel kamienny lub brunatny oraz miejsce jego wydobycia),
- zastosowanie przez elektrownie systemu wychwytywania, usuwania i magazynowania odpadów.

Biorąc za podstawową przydatność odpadów elektrownianych do stabilizacji gruntów oraz formowania nasypów, można podzielić je na trzy zasadnicze grupy:

Grupa I - popioły lotne węgla brunatnego okręgu konińskiego i bełchatowskiego uzyskane ze zaspów w stanie suchym

Popioły grupy I charakteryzują się dużym stopniem rozdrobnienia (zawartość frakcji poniżej 0,075 mm wynosi 75-95%) oraz znaczną zawartością wolnego CaO i minerałów występujących w cementach. Miarą przydatności tych popiołów jako spoiwa hydraulicznego jest ich stopień aktywności. W zależności od zawartości wolnego CaO rozróżnia się następujące stopnie aktywności:

- nieaktywne lub mało aktywne o zawartości wolnego CaO < 3,5%,
- mało aktywne o zawartości wolnego CaO = 3,5-7%,
- aktywne o zawartości wolnego CaO = 7-14%,
- bardzo aktywne o zawartości wolnego CaO > 14%.

W celu zachowania specyficznych własności popiołów jako spoiwa wymagane jest, aby transport, składowanie i magazynowanie odbywało się w warunkach zbliżonych do przyjętych dla cementu.

Grupa II - popioły lotne z węgla kamiennego uzyskane ze zaspów w stanie suchym

Popioły te charakteryzują się następującymi właściwościami:

- dużym stopniem rozdrobnienia (zawartość frakcji poniżej 0,074 mm wynosi 80-90%),
- małą zawartością wolnego CaO (max. do 4%),
- wykazują śladowe właściwości wiążące (dotyczy popiołów o zawartości wolnego CaO  $\geq 2\%$ ),
- usaktywnione wapnem, popiołami lotnymi grupy I lub cementem wykazują cechy spoiw pucołanowych.

Popioły te odznaczają się względnie dobrą jednorodnością uziarnienia, a także zbliżonymi właściwościami fizycznymi, niezależnie od miejsca pochodzenia węgla. Przy masowym wykorzystaniu popiołów do nasypów mogą one być transportowane i magazynowane luzem, po odpowiednim zrośnięciu wodą.

### Grupa III - mieszaniny popiołowo-żużłowe gromadzone na składowiskach przy elektrowniach pracujących na węglu kamiennym

Odpady grupy III, stanowiące mieszaninę żużla, nie apalonego węgla, piasku oraz różnych frakcji popiołów lotnych, gromadzone są na składowiskach (zbiorniki osadowe lub hałdy) przy elektrowniach. Cechą charakterystyczną odpadów jest duża niejednorodność składu granulometrycznego, a szczególnie odpadów odprowadzanych metodą hydrauliczną do stawów osadowych, gdzie ziarna grubsze osadzają się w pobliżu miejsca zrzutu pulpy. W zależności od uziarnienia, czasu zalegania na składowisku oraz wilgotności odpady te wykazują cechy bardziej lub mniej zbliżone do popiołów grupy II. Pucolaniczne właściwości wiążące mają szczególnie odpady o dużej zawartości drobnych składników (zawartość frakcji poniżej 0,074 mm co najmniej 70%) i krótkim, nie przekraczającym jednego roku okresie składowania. Natomiast pozostałe odpady mogą być traktowane jako grunty rodzime o szczególnie dobrej przydatności do stabilizacji aktywnymi popiołami lotnymi grupy I lub cementem oraz jako materiał do formowania nasypów.

### 3. NASYPY Z ODPADÓW ELEKTROWNIANYCH

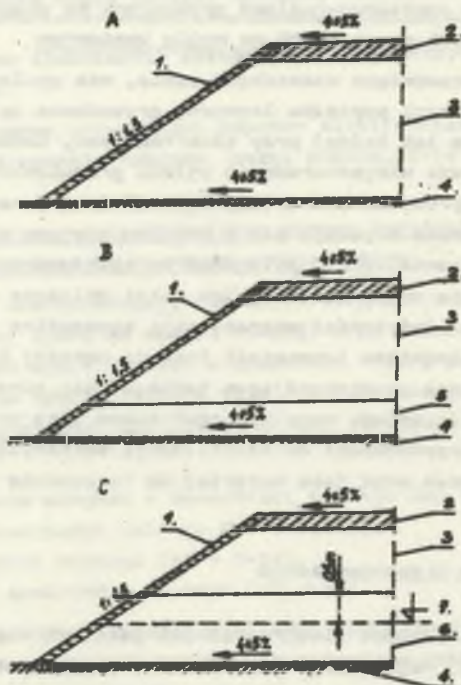
Jednym z zastosowań odpadów elektrownianych jest ich użycie do budowy nasypów [6, 7, 9, 10]. Mogą to być popioły z hałd odstożnikowych (odpady grupy III), tzw. mieszaniny popiołowo-żużłowe lub popioły lotne z suchego odpopielania (odpady grupy II) odpowiednio zroszone wodą. Wykorzystanie odpadów elektrownianych z hałd do formowania nasypów jest najprostszym sposobem ich utylizacji, cechując go trzy główne zalety:

- odpady wykorzystywane są w stanie "naturalnym", niepotrzebne jest stosowanie jakichkolwiek dodatkowych procesów uszlachetniających mieszaniny popiołowo-żużłowe,
- do budowy nasypów z odpadów elektrownianych odpowiednie są maszyny powszechnie stosowane do tradycyjnych robót ziemnych,
- utylizowane są duże ilości odpadów, gdyż roboty ziemne charakteryzują się dużą objętością mas.

Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że:

a) Mieszaniny popiołowo-żużłowe, mimo dość dużej różnorodności uziarnienia (niejednorodności), nie zmieniają swojego uziarnienia ani pod wpływem zagęszczenia, ani pod wpływem działania mrozu.

b) Mieszaniny popiołowo-żużłowe są materiałami lekkimi i stosowanie ich umożliwia budowanie nasypów lekkich, co jest szczególnie ważne przy formowaniu ich na gruntach mało nośnych. Mniejsza wilgotność naturalna od wilgotności optymalnej jest również zaletą, ponieważ pozwala na dobre zagęszczenie materiału.



Rys. 1. Typowe konstrukcje nasypów komunikacyjnych z mieszanin popiołowo-żuźlowych

A - na terenach suchych przy niskim stanie wody gruntowej, B - na terenach podmokłych przy wysokim stanie wody gruntowej, C - na terenach zalawowych

1 - skarpa wzeocniona biologicznie, 2 - warstwa izolacyjna, 3 - mieszanina popiołowo-żuźłowa, 4 - grunt podłoża, 5 - warstwa odcinająca, 6 - grunty nie wrażliwe na działanie wody, 7 - poziom oddziaływania wody

Fig. 1. Typical construction of road and railway embankments with fly-ash-slag mixtures

A - on the dry terrain with the low sub-soil water table, B - on the marshy terrain with the high sub-soil water table, C - on the floody terrain

1 - slope protection by hydroseeding, 2 - water proofing layer, 3 - fly ash-slag mixture, 4 - natural ground, 5 - separation layer, 6 - coarse-grained soil, 7 - aximal level of water

c) Mieszaniny popiołowo-żuźłowe charakteryzują się wysoką wartością kątów tarcia wewnętrznych ( $28-32^\circ$ ), co świadczy o możliwości formowania zboczy o pochyleniu 1:1,5, natomiast otrzymane wartości laboratoryjnych wskaźników nośności CBR  $\geq 10\%$  wskazują, że badane mieszaniny popiołowo-żuźłowe mają wystarczającą nośność nawet po nasyceniu wodą, co pozwala na opuszczenie tego materiału do budowy nasypów, oczywiście pod warunkiem uprzedniego odpowiedniego ich zagęszczenia.

d) Mieszanki popiołowo-żużlowe po zagęszczeniu wykazują niskie wartości współczynników filtracji  $k_{10} \leq 0,1$  m/dobę, czyli przy dużej wodochłonności i jednocześnie małej wodoprzepuszczalności tego materiału należy się liczyć ze znacznym obniżeniem nośności z chwilą jego nadmiernego nasycenie wodą, co może nastąpić przy niedostatecznym zagęszczeniu. W związku z powyższym należy chronić ten materiał przed dostępem wody oraz jego pełnym nasyceniem, w żadnym przypadku nie można go wbudować poniżej zwierciadła wody gruntowej.

e) Mieszanki popiołowo-żużlowe pod wpływem czynników atmosferycznych (wody i mrozu) zmieniają swoją objętość (pęcznieją), ale jedynie w przypadku całkowitego braku obciążenia zewnętrznego. Po obciążeniu ich nadległymi warstwami z gruntów niewrażliwych o grubości rzędu 20 cm, stają się odporne na działanie mrozu. Odpady elektrowniane wbudowywane w nasypy powinny być chronione przed dostępem wody przez zastosowanie odpowiednich warstw izolacyjnych (rys. 1).

f) Mieszanki popiołowo-żużlowe charakteryzują się małą odpornością na erozję (pod wpływem deszczu lub wiatru), w związku z tym powierzchnie skarp nasypów powinny być odpowiednio ulepszone np. warstwą gleby roślinnej lub metodą hydroobsiawu opracowaną przez IBDiM [1].

#### 4. WARSTWY WZMOCNIONEGO PODŁOŻA LUB PODTORZA I PODBUDOWY Z GRUNTÓW STABILIZOWANYCH POPIOŁAMI LOTNYMI

Zgodnie z podaną w p. 2 charakterystykę, popioły lotne oraz mieszanki popiołowo-żużlowe mogą być wykorzystane do ulepszania stabilizacji gruntów, spełniając następujące zadania:

- samodzielnego spoiwa w przypadku ulepszenia gruntów mało lub średnio-spoistych (popioły aktywne grupy I),
- składnika ulepszającego uziernienie gruntów niespoistych (popioły grupy I, II i III),
- składnika poprawiającego niekorzystne właściwości chemiczne gruntów (popioły grupy I i II),
- dodatku hydraulicznego spoiwa wapiennego lub cementowego (popioły grupy II i III).

Przeprowadzone dotychczas badania laboratoryjne oraz doświadczenia terenowe pozwoliły na ustalenie następującego zakresu wykorzystania popiołów lotnych.

## 5. ULEPSZENIE I STABILIZACJA GRUNTÓW SPOISTYCH AKTYWNYMI POPIOŁAMI LOTNYMI

Dodatek aktywnych popiołów lotnych grupy I w ilości 6-12% do gruntów spoistych umożliwia dokonanie trwałej zmiany struktury gruntu, czyniąc go bardziej odpornym na działanie wody. Grunty ulepszone w ten sposób ztracają swoją plastyczność oraz skłonność do nadmiernego pęcznienia i skurczów.

Oprócz tych zmian strukturalnych, dodatek popiołów lotnych powoduje z biegiem czasu nadanie mieszanca dostatecznie wysokiej wytrzymałości, co w jeszcze większym stopniu podwyższa jej nośność oraz odporność na wpływy atmosferyczne.

Stabilizacja gruntów podłoża wyszczepionego pozwala na wyeliminowanie warstwy piaskowej lub znaczne zmniejszenie grubości warstwy ochronnej, co przyczynić się może również do znacznego potaniaenia ogólnych kosztów wykonania podtorza, jak i skuteczniejszego zabezpieczenia od uszkodzeń wynikłych z niedostatecznej nośności podłoża [11]. Warstwa ulepszonego podłoża o grubości 12-18 cm i o wytrzymałości  $R_{14} \geq 500 \text{ kPa/cm}^2$  i  $R_{42} = 1000-2000 \text{ kPa/cm}^2$  zastąpić może warstwę odcączającą z piasku o grubości 20-30 cm.

## 6. WZMACNIANIE GRUNTÓW SYPKICH I KRUSZYW DODATKAMI DOZIARNIAJĄCYMI

W przypadku występowania w podłożu lub warstwie ochronnej materiałów (gruntów) równoziarnistych, trudnych do zagęszczania, istnieje możliwość polepszenia stateczności stosowanego materiału dodatkami popiołów lotnych [8]. Praktycznie stwierdzono, że odpowiednio wysoką stabilność mechaniczną mieszanki popiołowo-gruntowej uzyskać można stosując następujące dodatki popiołów lotnych (popioły grupy II):

- dla popiołki 10-20%,
- dla piasku grubego 15-25%,
- dla piasku średniego 20-30%,
- dla piasku drobnego 25-35%.

Przy ulepszeniu uziarnienia gruntów dodatkami jw. oraz właściwie przeprowadzonym procesem ich wbudowania (zagęszczenie przy wilgotności optymalnej lub mniejszej od optymalnej od 2-3%) istnieje możliwość uzyskania nośnej warstwy o grubości 10-20 cm charakteryzującej się wskaźnikiem CBR w granicach od 90-200%, a więc spełniającej wymagania dla dobrego podłoża lub odpowiednio nośnej warstwy ochronnej podłoża.

## 7. WYKORZYSTANIE WŁAŚCIWOŚCI PUCOLANOWYCH POPIOŁÓW LOTNYCH PRZY STABILIZACJI GRUNTÓW SYPKICH LUB KRUSZYW

Wykorzystanie pucolanowych własności wiążących popiołów lotnych pozwala na stabilizację gruntów lub kruszyw tak, jak przy zastosowaniu cementu [8, 11]. Efekt ten można uzyskać w przypadku równoczesnego zastosowania do stabilizacji gruntów popiołów lotnych grupy II lub III oraz dodatków aktywizujących w postaci popiołów lotnych grupy I, cementu lub wapna. Praktycznie do przygotowania mieszanki o wytrzymałości na ściskanie  $R_{42} = 1500-8000 \text{ kPa/cm}^2$  stosuje się następujące zestawy składników:

- grunty mineralne lub inne kruszywa 50-90%,
- popioły lotne grupy II 50-10%.

Mieszankę o zestawie składników jw. można ulepszyć jednym z niżej wymienionych dodatków aktywizujących:

- wapno hydratyzowane palone lub pokarbidowe w ilości 4-6%,
- popioły aktywne grupy I (o zawartości CaO powyżej 7%) w ilości 6-12%,
- cement portlandzki marki 25 lub 35 w ilości 3-8%.

Mieszanka powinna również zawierać wodę w ilości zbliżonej do optymalnej określonej wg metody Proctora. Mieszanki wg proponowanego rozwiązania mogą być stosowane do wykonania dolnych lub górnych warstw wzmocnionego podtorza o grubości 10-20 cm, szczególnie na liniach o znacznym obciążeniu ruchem.

### LITERATURA

- [1] Dzierżawski K., Głazewski M., Makowski S., Biologiczne umocnienie skarp - hydrodynamiczny sieć z użyciem osadów ściekowych. Prace IBDiM, nr 1, 1990.
- [2] Pachowski J., Odpady przemysłowe w światowym i krajowym budownictwie drogowym, Warszawa 1983.
- [3] Pachowski J., Wileński P., Próby zastosowania popiołów lotnych z węgla brunetnego do stabilizacji gruntów. Prace IBDiM, nr 4, 1983.
- [4] Puchalski R., Wileński P., Atlas i katalog rozmieszczenia odpadów przemysłowych i warunki ich wykorzystania w budownictwie kolejowym. Opracowanie IBDiM wykonane w latach 1986 i 1987.
- [5] Szupeki W., Wileński P., Stosowanie popiołów lotnych w budownictwie drogowym. Sympozjum Nauk.-Techn. "Możliwości praktycznego wykorzystania odpadów elektrownianych", Tarnobrzeg 1980.
- [6] Szupeki W., Stosowanie odpadów energetycznych do budowy nasypów komunikacyjnych. Prace IBDiM, nr 1-2, 1981.
- [7] Szupeki W., Technologia wykonywania nasypów z odpadów energetycznych (wytyczne). IBDiM Studia i Materiały, nr 16/1981.
- [8] Wileński P., Prace badawczo-rozwojowe w zakresie podbudów drogowych z gruntów sypkich stabilizowanych popiołami lotnymi. Prace IBDiM, nr 2, 1976 i nr 3-4, 1976.

- [9] Wileński P., Przydatność odpadów z elektrociepłowni Gliwice do robót ziemnych w budowie dróg. Prace IBDiM, nr 3, 1984.
- [10] Wileński P., Przydatność odpadów paleniskowych El. taziaka do budowy nasypów i warstw wzmocnionego podtorza. Prace IBDiM, maszynopis 1988.
- [11] Wileński P., Warstwy wzmocnionego podtorza nawierzchni kolejowych z gruntów stabilizowanych wapnem, popiołami lotnymi lub cementem. Prace IBDiM, nr 4, 1983.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Maciej Gryczmański

Wpłynęło do Redakcji 8.02.1991 r.

#### POSSIBILITIES AND CONDITIONS OF APPLICATION OF POWER PLANT WASTE MATERIALS IN RAILROAD CONSTRUCTION

#### S u m m a r y

The paper gives a characteristics of particular types of power plant waste materials and theirs applicability in the construction of railroad embankments or improvement of soil of railway subgrade.

#### ВОЗМОЖНОСТИ И УСЛОВИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОТБРОСОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

#### Р е з ю м е

Статья содержит характеристику пригодности отдельных видов энергетических отходов, из которых можно возводить насыпи в транспортном строительстве. Указано также возможности использования золоудосов в виде добавки влияющей на улучшение свойств грунтов и заполнителей в дорожных покрытиях.