

*Bogusław Kamiński, Andrzej Czerniak*

**PRZYDATNOŚĆ ROZKRUSZONYCH MIESZANEK  
POPIOŁOWO-ŻUŻŁOWO-GRUNTOWYCH  
DO KONSTRUKCJI PODBUDÓW DROGOWYCH**

---

***SUITABILITY OF RE-COMPACTED ASH-SLAG-SOIL  
COMPOSITES FOR CONSTRUCTION  
OF ROAD PAVEMENT***

**Streszczenie**

W leśnej sieci komunikacyjnej przeważają drogi z nawierzchnią gruntową. Najwięcej problemów dostarczają drogi gruntowe na podłożu spoistym oraz organicznym. Do stabilizacji gruntów spoistych można użyć popiołów lotnych z węgla brunatnego. Pod wpływem intensywnego obciążenia ruchem nawierzchnie stabilizowane popiołami mogą ulegać zniszczeniu. Celem badań było opracowanie technologii naprawy zniszczonych nawierzchni popiołowo-gruntowych i popiołowo-żużłowo-gruntowych. Określono kształtowanie się nośności rozkruszonych mieszanek stabilizowanych popiołem i żużłem po wtórnym zagęszczeniu w zależności od czasu i warunków wiązania mieszanki przed rozkruszeniem oraz wtórnego dodatku stabilizatora. Do stabilizacji gruntu wykorzystano aktywne popioły lotne z węgla brunatnego okręgu konińskiego grupy IIIC oraz żużel paleniskowy kokosowy. Badaniom poddano dwie mieszanki gliny piaszczystej z 14% popiołów lotnych oraz 10% popiołów i 10% żużla. Próbki rozkruszano i wtórnie zagęszczano po 14 i 42 dniach pielęgnacji w warunkach optymalnych i wodnych. Po pielęgnacji próbek określono na laboratoryjnej prasie VSS moduły odkształcenia, które posłużyły do oceny przydatności mieszanek do wykonywania naprawy zniszczonych nawierzchni dróg leśnych. Z obu analizowanych mieszanek grunt stabilizowany samym popiołem cechował się lepszą nośnością, szczególnie po pielęgnacji wodnej. Określono również technologię odbudowy nawierzchni z wykorzystaniem materiałów rozkruszonych. Zniszczone nawierzchnie z gliny stabilizowanej

popiołem w okresie 2 tygodni od jej wykonania można naprawiać poprzez wtórne zagęszczenie po uzupełnieniu wodą do wilgotności optymalnej. Ustalono także dawki wtórnego dodatku stabilizatora istotne dla wzmocnienia mieszanek rozkruszonych po okresie dłuższym od 2 tygodni.

**Słowa kluczowe:** drogi leśne gruntowe, stabilizacja, popioły lotne, żużel, opracowanie technologii naprawy nawierzchni

### **Summary**

*Forest communication network consists mainly of dirt roads. Acute technical problems with forest roads occur especially for these dirt road which are constructed on cohesive topsoil. Lignite fly-ash may be utilized for successful stabilization of cohesive topsoil dirt roads. Under heavy loads the pavements stabilized with fly-ash often perform unsatisfactorily and as a result failures are noted. The aim of research described in this paper was to develop technical solution for reconstruction of road pavements constructed with admixture of fly-ash and fly-ash-slag respectively. Bearing strength variability of fly-ash-soil and fly-ash-slag-soil mixes after failure were considered. The mixes crushed then re-compacted with addition of stabilizer as influenced by period and conditions of setting were tested. The stabilizers utilized for the test were both active fly-ash of lignite group IIIC acquired from Konin mining region and coke blast furnace slag. Two kinds of mixtures were tested. These were sandy clay mixed with addition of 14 % lignite fly-ash and the mixture of 10 % lignite fly-ash and 10% furnace slag respectively. The samples were crashed and re-compacted after 14 and 42-day period of curing in optimal and air-dump conditions. After sample curing bulk modules were measured with the utilization of VSS press. This procedure was the basis for assessment of mixture suitability for reconstruction of forest road pavements after failure. Higher bearing performance especially after air-dump curing occurred for sole fly-ash admixture. The technical guidelines for reconstruction of road pavements with utilization of re-used crashed pavement materials were developed. The clayey pavements after failure may be stabilized again in fortnight period after construction. The repair procedure includes re-compaction with adding of water to achieve optimum moisture. In addition, the doses of optimum stabilizer content for the longer than forthright period since road construction were identified.*

**Key words:** forest dirt road, stabilization, fly-ash, slag, pavement reconstruction technical guidelines development

### **WSTĘP**

W leśnej sieci komunikacyjnej około 79% dróg ma nawierzchnie gruntowe, których utrzymanie w stanie technicznym, umożliwiającym dobre warunki komunikacji wymaga częstych prac remontowych. Najwięcej problemów dostarczają drogi gruntowe o nawierzchni z gruntów spoistych i organicznych. Grunty te w zależności od stopnia uwilgotnienia zmieniają diametralnie parametry mechaniczne, uplastyczniają się i tracą nośność, a pod wpływem obciąże-

nia ruchem następuje zniszczenie korpusu drogowego. Jednym ze stabilizatorów gruntów spoistych są aktywne popioły lotne z węgla brunatnego. Popioły lotne są jednak spoiwem słabszym od cementów, stąd nawierzchnie wykonane z popiołogruntu charakteryzują się niską nośnością osiąganą po dłuższym czasie wiązania. Nawierzchnie te w okresie pierwszych 4 do 8 tygodni po wykonaniu pod wpływem intensywnego obciążenia ruchem mogą ulec zniszczeniu. Niniejsze badania zmierzały do opracowania technologii naprawy lub przebudowy zniszczonych nawierzchni popiołogruntowych.

### **MATERIAŁY UŻYTE W BADANIACH**

Popioły lotne wykazują najlepsze właściwości wiążące w stosunku do gruntów spoistych. Do badań wybrano glinę piaszczystą z powierzchniowej warstwy leśnej drogi gruntowej. Do stabilizacji gliny piaszczystej użyto aktywnych popiołów lotnych z węgla brunatnego grupy III podgrupy C z elektrowni Pątnów. Przed stabilizacją gruntu połowę próbek doziarniono żużlem paleniskowym koksowym o składzie granulometrycznym żwiru.

### **CEL BADAŃ**

Celem badań było opracowanie technologii naprawy zniszczonych nawierzchni popiołowo-gruntowych i popiołowo-żużlowo-gruntowych. Przedmiotem badań było kształtowanie się nośności rozkruszonych mieszanek stabilizowanych popiołem i żużlem po wtórnym zagęszczeniu w zależności od czasu i warunków wiązania mieszanki przed rozkruszeniem oraz wtórnego dodatku stabilizatora.

### **METODY I ZAKRES BADAŃ**

Badania przeprowadzono na dwóch mieszankach gliny piaszczystej z 14% popiołów (Gp14P) oraz 10% popiołów i 10% żużla (Gp10P10Ż). Skład procentowy dobrano na podstawie wcześniejszych badań sondażowych. Wybrano mieszanki, które osiągnęły najwyższe parametry wytrzymałościowe. Próbkę wykonywano w cylindrach CBR, zagęszczając mieszankę w wilgotności optymalnej z energią równą 100% energii stosowanej w metodzie normalnej Proctora. Dla obu mieszanek wykonano po 6 serii próbek, w tym dwie serie porównawcze próbek niezniszczonych w trakcie dojrzewania. Jedną serię wykonano z próbkami dojrzewającymi w warunkach wilgotności optymalnej (o), a drugą w warunkach pełnego nasycenia wodą zwaną próbkami moczonymi (m). Dla obu serii przyjęto następujące okresy dojrzewania próbek: 14, 42, 70, 98, 126 i 154 doby.

Próbki, które wiązały w warunkach wilgotności optymalnej (o/14, o/42,...o/154) przez cały okres przelegiwały zabezpieczone przed utratą wilgotności w temperaturze 18°C.

Próbki moczone (m/14) przez 7 dób przechowywano w warunkach wilgotności optymalnej, następnie na 1 dobę zanurzono do poziomu pierwszego (podsiąkanie), a na pozostałe 6 dób całkowicie zalano wodą. Próbki badane po dłuższym czasie (m/42,...m/154) w pierwszej fazie dojrzewały w warunkach wilgotności optymalnej, a na 14 dni przed terminem penetracji zanurzono je na dobę do poziomu pierwszego; pozostałe 13 dób pozostawały całkowicie zanurzone w wodzie.

Po określeniu nośności próbek przechowywanych w wilgotności optymalnej oraz moczonych (o/14\*, o/42\*, m/14\*, m/42\*) próbki rozkruszono i przesiano przez sito (8 mm), aby uzyskać zbliżone rozdrobnienie. Po uzupełnieniu wody do wilgotności optymalnej mieszanki ponownie zagęszczano i kontynuowano sposób pielęgnacji, który obowiązywał przed jej rozkruszeniem.

W celu zwiększenia nośności mieszanek rozkruszonych wykonano również serie próbek, do których po rozkruszeniu dodano wtórnie od 4 do 6% popiołów lotnych.

Nośność wszystkich rodzajów mieszanek określono na laboratoryjnej prasie VSS, oznaczając moduły odkształcenia przy pierwotnym i wtórnym obciążeniu próbki ( $E_1$ ,  $E_2$ ) oraz obliczono wskaźniki  $E_2/E_1$  [Rolla 1985]. Moduły odkształcenia obliczono za pomocą następującego wzoru:

$$E = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot D \cdot 0,75$$

$\Delta p$  – przyrost obciążenia jednostkowego w zakresie 0,25–0,35 MPa,

$\Delta s$  – przyrost odkształcenia pionowego w cm w zakresie 0,25–0,35 MPa,

D – średnica płytki naciskowej w cm.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Glina z popiołami (Gp14P) w serii porównawczej (o) (tab. 1) osiągnęła maksymalny moduł odkształcenia  $E_1$  150 Mpa, natomiast wskutek pielęgnacji wodnej moduł uległ obniżeniu o 16%. Próbki wykonane z rozkruszonej mieszanki po 14 dobach pielęgnacji w wilgotności optymalnej (o/14\*) wykazywały niższe o 17% moduły odkształcenia w stosunku do serii porównawczej (o). Próbki rozkruszone po pielęgnacji wodnej (m/14\*) miały średnio niższe moduły  $E_1$  od 25% do 33% od analogicznych próbek serii porównawczej (m). Te same mieszanki zniszczone po 42 dobach wiązania wykazały jeszcze wyższe spadki nośności w stosunku do serii (o,m). W serii przechowywanej w warunkach wilgotności optymalnej spadek między maksymalnymi modułami  $E_1$  przy pielęgnacji

gnacji (o i o/42\*) wynosił 55%. Po pielęgnacji wodnej (m/42\*) maksymalny moduł  $E_1$  wynosił zaledwie 50 Mpa, co świadczy o 60% utracie nośności w stosunku do serii porównawczej.

**Tabela 1.** Moduły odkształcenia  $E_1$  próbek z gliny piaszczystej stabilizowanej popiołem (Gp14P) po różnych sposobach i czasie przechowywania

**Tabela 1.** Bulk modulus  $E_1$  of sandy clay stabilized with fly-ash (Gp14P) as influenced by various methods and periods of sample curing

Pielęgnacja próbek opisana w metodyce Sample curing described in methodology	Moduły odkształcenia $E_1$ w MPa oraz stosunek $E_2/E_1$ Bulk modulus $E_1$ and relation of $E_2/E_1$					
	Czas pielęgnacji w dobach Time period in days					
	14	42	70	98	126	154
Wilgotność optymalna (o)	75,0–1,7	93,7–1,3	107,1–1,2	125,0–1,5	150,0–1,7	150,0–2,5
Moczone (m)	68,2–2,2	83,3–1,8	107,1–2,3	107,1–1,7	125,0–1,5	125,0–1,5
Rozkruszone (o/14*)	–	83,3–1,3	83,3–1,8	107,1–1,7	125,0–2,0	125,0–1,5
Rozkruszone (m/14*)	–	62,5–2,4	68,2–2,2	83,3–3,0	83,3–1,8	93,7–2,0
Rozkruszone (o/42*)	–	–	44,1–1,7	50,0–1,9	75,0–2,0	68,2–1,6
Rozkruszone (m/42*)	–	–	25,0–3,0	37,5–2,2	53,6–2,8	50,0–3,0
Rozkruszone + popiół (o/42*+4P)	–	–	62,5–2,0	68,2–1,8	93,7–1,6	93,7–1,6
Rozkruszone + popiół (m/42*+4P)	–	–	41,7–2,0	46,9–2,3	75,0–2,0	75,0–2,5
Rozkruszone + popiół (o/42*+8P)	–	–	68,2–1,8	75,0–2,0	107,1–1,7	125,0–2,0
Rozkruszone + popiół (m/42*+8P)	–	–	57,7–2,2	68,2–1,8	93,7–1,6	107,1–2,3

Dodatek 4% popiołów do materiałów rozkruszonych, pochodzących z próbek (m/42\*) zwiększył nośność od 40 do 50%, natomiast dawka 8% popiołów podniosła wskaźniki o dalsze 30 do 50%, co w konsekwencji zbliżyło wyniki nośności do serii porównawczej (m).

W mieszance popiołowo-żuźlowej z gliną piaszczystą (Gp10P10Ż) w próbkach rozkruszonych po 14 i 42 dniach wystąpiły podobne tendencje spadku nośności, jak w mieszance z udziałem samych popiołów (tab. 2). Jednak

mieszanka stabilizowana popiołem i żużlem wykazywała zdecydowanie większą wrażliwość na destrukcyjne działanie wody. Próbki moczone w serii porównawczej wykazywały aż 40% spadek nośności. Udział porowatych ziaren żużla w mieszance zwiększał jej nasiąkliwość.

**Tabela 2.** Moduły odkształcenia  $E_1$  próbek z gliny piaszczystej stabilizowanej mieszanką popiołów i żużla (Gp10P10Ż) po różnych sposobach i czasie przechowywania  
**Tabela 2.** Bulk modules  $E_1$  of sandy clay stabilized with mixture of fly-ash and cinder (Gp10P10Ż) as influenced by various methods and periods of sample curing

Pielęgnacja próbek opisana w metodyce Sample curing described in methodology	Moduły odkształcenia $E_1$ w MPa oraz stosunek $E_2/E_1$ Bulk modules $E_1$ and relation of $E_2/E_1$					
	Czas pielęgnacji w dobach Time period in days					
	14	42	70	98	126	154
Wilgotność optymalna (o)	83,3–1,8	107,1–1,4	125,0–1,5	150,0–1,7	187,5–1,3	187,5–2,0
Moczone (m)	62,5–1,7	75,0–2,5	75,0–2,0	93,7–2,0	125,0–1,5	107,1–1,4
Rozkruszone (o/14*)	–	75,0–1,4	93,7–1,6	83,3–2,2	107,1–1,7	125,0–1,5
Rozkruszone (m/14*)	–	50,0–2,1	62,5–1,7	75,0–2,0	83,3–1,8	83,3–2,2
Rozkruszone (o/42*)	–	–	53,6–2,0	68,2–1,8	75,0–2,0	75,0–2,0
Rozkruszone (m/42*)	–	–	18,7–3,1	25,0–2,7	41,7–2,6	47,5–2,8
Rozkruszone + popiół (o/42*+4P)	–	–	83,3–1,8	83,3–1,8	93,7–1,6	107,1–2,3
Rozkruszone + popiół (m/42*+4P)	–	–	25,0–3,0	37,5–2,0	37,5–2,9	50,0–3,0
Rozkruszone + popiół (o/42* + 8P)	–	–	93,7–1,6	107,1–1,7	107,1–2,3	125,0–2,0
Rozkruszone + popiół (m/42*+8P)	–	–	46,9–3,2	50,0–3,0	62,5–2,4	75,0–2,5

Na podstawie powyższej analizy stwierdzono, że mieszanka Gp14P rozkruszona w pierwszej fazie wiązania (okres 2 tygodni) może zostać ponownie użyta do odtworzenia konstrukcji nawierzchni drogi leśnej. Zaleca się jej rozdrobnienie za pomocą frezy gruntowej, uzupełnienie wody do wilgotności optymalnej, wymieszanie „na mokro”, wyprofilowanie oraz zagęszczenie. W przypadku, gdy zniszczenie konstrukcji drogowej nastąpiło po dłuższym cza-

się wiązania należy po rozkruszeniu dodać ponowną dawkę popiołów od 6 do 8%, wymieszać „na sucho”, uzupełnić wodę do wilgotności optymalnej, wymieszać „na mokro”, wyprofilować i zagęścić. Jeżeli po rozdrobieniu mieszanka ma strukturę gruzełkową to jej zagęszczenia należy stosować walce wibracyjne.

### WNIOSKI

1. Mieszanka gliny piaszczystej z 14% popiołów cechowała się wyższą nośnością od mieszanki popiołowo-żużlowo-gruntowej, szczególnie po nasączeniu wodą.

2. Zniszczone nawierzchnie z gliny stabilizowanej popiołem w okresie 2 tygodni od jej wykonania należy naprawiać poprzez wtórne zagęszczenie mieszanki po uzupełnieniu wody do wilgotności optymalnej w celu uzyskania koniecznych parametrów dobrego zagęszczenia.

3. W przypadku, gdy zniszczenie nawierzchni nastąpiło po okresie dłuższym niż 2 tygodnie od jej wykonania, należy mieszankę powtórnie rozdrobnić, dodać 3 do 8% popiołu w stosunku do suchej masy mieszanki, uzupełnić wodą do wilgotności optymalnej, po czym zagęścić całość, doprowadzając do profilu zgodnego z pierwotnym założeniem projektowym.

### BIBLIOGRAFIA

- Kamiński B., Kokowski J. *Perspektywy szybkiej i taniej budowy dróg z zastosowaniem kultywera*. Roczniki AR Poznań 268, Melioracje, 1994, s. 61.
- Kamiński B., Kokowski J., Janaszek K. *Moduły odkształcenia leśnych dróg gruntowych stabilizowanych popiołami lotnymi po 10 – letnim okresie eksploatacji*. Roczniki AR Poznań 179, 1986, str. 47.
- Rolla S. *Badania materiałów i nawierzchni drogowych*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1985.

Dr hab. Bogusław Kamiński,  
dr hab. Andrzej Czerniak  
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu  
Katedra Inżynierii Leśnej  
60-623 Poznań, ul. Mazowiecka 41

Recenzent: *Prof. dr hab. Stanisław Węglarczyk*