UKD 625.711.3:625.731

BUDOWNICTWO KOMUNIKACJI LĄDOWEJ	NORMA BRANŻOWA Drogi samochodowe **Podbudowa z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi**	**BN-71 8933-10** Grupa katalogowa VII 81

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są warunki techniczne związane z projektowaniem, wykonaniem i odbiorem podbudów drogowych z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi z węgla brunatnego.

Postanowienia normy można stosować również przy wzmacnianiu podłoża wg wymagań BN-68/8933-07.

1.2. Zakres stosowania przedmiotu normy. Podbudowę z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi stosuje się jako nośne warstwy nawierzchni drogowych, placów postojowych, parkingów oraz poszerzeń istniejących nawierzchni.

1.3. Określenia

1.3.1. Popioły lotne aktywne w zrozumieniu niniejszej normy - popioły charakteryzujące się zawartością wolnego (aktywnego) tlenku wapniowego (CaO) co najmniej 7,0%.

1.3.2. Mieszanka popiołowo-gruntowa - mieszanina w optymalnych proporcjach gruntu, popiołów lotnych i wody, a w razie potrzeby również innych dodatków, np. cementu, chlorku wapniowego, wodorotlenku sodowego itp.

1.3.3. Grunt stabilizowany popiołami lotnymi - mieszanka jak w 1.3.2 zagęszczona i stwardniała w wyniku procesu wiązania popiołów lotnych.

1.3.4. Podbudowa z gruntu stabilizowanego popiołami lotnymi - jedna lub dwie warstwy zagęszczonej mieszanki popiołowo-gruntowej, która stanowi nośną część nawierzchni drogowej.

1.4. Normy związane

PN-63/B-04300 Cement. Badanie cech fizycznych
PN-68/B-04301 Cement. Analiza chemiczna
PN/B-04302 Cement. Badanie cech wytrzymałościowych
PN-55/B-04482 Grunty budowlane. Badanie właściwości fizycznych. Badania makroskopowe
PN-59/B-04483 Grunty budowlane. Analiza areometryczna
PN-55/B-04484 Grunty budowlane. Badanie właściwości fizycznych. Analiza sitowa
PN-60/B-04485 Grunty budowlane. Oznaczanie części organicznych
PN-59/B-04489 Grunty budowlane. Oznaczanie granicy płynności
PN-59/B-04490 Grunty budowlane. Oznaczanie granicy plastyczności
PN-59/B-04491 Grunty budowlane. Oznaczanie wilgotności optymalnej i maksymalnego ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego
PN-66/B-06714 Kruszywo mineralne. Kruszywo kamienne budowlane. Badania techniczne
PN-69/B-30000 Cement portlandzki
PN-58/B-32250 Woda do celów budowlanych. Wymagania techniczne dla wody do betonów i zapraw
PN-65/C-84127 Chlorek wapniowy techniczny
PN-62/S-04011 Drogi samochodowe. Oznaczanie wskaźnika zagęszczenia gruntu
BN-63/6722-02 Drogi samochodowe. Popioły lotne do stabilizacji gruntu
BN-64/8931-01 Drogi samochodowe. Oznaczanie wskaźnika piaskowego
BN-64/8931-02 Drogi samochodowe. Oznaczanie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążanie płytą
BN-64/8931-03 Drogi samochodowe. Pobieranie próbek gruntu do celów drogowych i rodzaje badań
BN-68/8931-04 Drogi samochodowe. Pomiar równości nawierzchni planografem i łatą
BN-68/8933-07 Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych
Wytyczne WP-DP-20 Projektowanie drogowych nawierzchni podatnych. Zatwierdzone zarządzeniem Ministra Komunikacji nr 17. Ogłoszone w Dzienniku Budownictwa nr 8 z dnia 11.VII.1966 r.

2. WYMAGANIA

2.1. Materiały

2.1.1. Grunty. Do wykonywania podbudów stabilizowanych popiołami lotnymi należy stosować grunty odpowiadające następującym wymaganiom:

a) ziarn przechodzących przez sito o średnicy otworów 50 mm, % wag. 100

b) ziarn przechodzących przez sito o średnicy otworów 25 mm, % wag. ≥ 85

c) ziarn przechodzących przez sito o średnicy otworów 5 mm, % wag. ≥ 50

Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Drogowej
Ustanowiona przez Ministra Komunikacji dnia 15 kwietnia 1971 r.
jako norma obowiązująca w zakresie wykonania robót i badań od dnia 1 stycznia 1972 r.
(Mon. Pol. nr poz.)

WYDAWNICTWA NORMALIZACYJNE Druk. Wyd. Norm. W-wa Ark. wyd. 1,40 Nakł. 4500+50 Zam. 1787/71 Cena zł 6,00

d) zawartość cząstek mniejszych od 0,002 mm, % ≤ 20

e) granicy płynności L_y, % < 40

f) zawartość części organicznych, % wag. < 5

g) zawartość siarczanów SO_3, % wag. < 1

Do stabilizacji popiołami lotnymi nadają się grunty mało i średniospoiste o wskaźniku plastyczności $3 \leq W_p \leq 20$. Grunty o wskaźniku plastyczności $W_p < 3$ należy doziarniać gruntem spoistym lub stosować szczególnie w przypadku piasków równoziarnistych, dodatki ulepszające jak w 2.1.4.

Wartości pH gruntów przeznaczonych do stabilizacji popiołami lotnymi nie ogranicza się.

Decydującym sprawdzianem przydatności gruntu do stabilizacji są wyniki wytrzymałości na ściskanie próbek gruntu stabilizowanego poiołami lotnymi.

2.1.2. Popioły lotne. Do stabilizacji stosuje się popioły lotne aktywne z węgla brunatnego rodzaju WB i odmiany c wg BN-63/6722-02.

Wymagania stawiane w BN-63/6722-02 popiołem lotnym WBc spełniają popioły lotne z okręgu Konińskiego (patrz informacje dodatkowe).

Popioły lotne aktywne (okręgu Konińskiego) o zawartości wolnego tlenku wapniowego (CaO) większej niż 7% (oznaczonego przybliżoną metodą polową wg załącznika), nadają się jako samodzielny materiał wiążący do stabilizacji gruntów. Popioły lotne mało aktywne o zawartości wolnego tlenku wapniowego od 3,5 do 7% stosowane do stabilizacji gruntu na podbudowy powinny być wzbogacone dodatkami ulepszającymi wg 2.1.4.

2.1.3. Woda stosowana do mieszanki powinna odpowiadać PN-58/B-32250.

2.1.4. Dodatki ulepszające. Przy stabilizacji gruntów popiołami lotnymi w przypadkach uzasadnionych stosuje się następujące dodatki:

a) cement wg PN-69/B-30000 marki 250 lub 350,

b) chlorek wapniowy wg PN-65/C-84127,

c) wodorotlenek sodowy.

Dopuszcza się stosowanie innych dodatków, których skuteczność zostanie sprawdzona.

2.2. Mieszanki popiołowo-gruntowe

2.2.1. Ustalenie składu mieszanki. Przy ustalaniu właściwego składu mieszanek popiołowo-gruntowych powinny być uwzględnione następujące czynniki:

a) dobór gruntów o właściwościach podanych w 2.1.1,

b) zawartość odpowiedniej ilości w mieszance popiołów lotnych o charakterystyce jak w 2.1.2 oraz ewentualnie dodatków ulepszających jak w 2.1.4,

c) niezbędna ilość wody.

Skład mieszanki zależy przede wszystkim od rodzaju gruntu i popiołów lotnych oraz przeznaczenia mieszanki.

Ilości dozowanych popiołów lotnych, dodatków ulepszających i wody powinny być każdorazowo ustalane laboratoryjnie w stosunku do masy (ciężaru) gruntu suchego.

Orientacyjny dodatek popiołów lotnych do gruntu wynosi:

- na ulepszone podłoże 6 ÷ 10%,
- na dolne warstwy podbudowy 8 ÷ 12%,
- na górną warstwę podbudowy 10 ÷ 15%.

W przypadku dodatku do gruntu cementu w ilości 4 ÷ 7%, ilości dodawanych popiołów mogą być zmniejszone nawet o połowę.

Dodatki $CaCl_2$ i NaOH w przypadkach koniecznych stosować należy w ilości 0,5 ÷ 1,5% w stosunku do masy gruntu.

Wilgotność optymalną mieszanki należy przyjmować wyższą od wilgotności optymalnej gruntu jak w 3.2.3.3.

Ustalenie optymalnej ilości składników w mieszance dokonuje się na podstawie wyników badań wytrzymałościowych próbek na ściskanie po ich nasyceniu wodą i po cyklach zamrażania-odmrażania.

2.2.2. Wytrzymałość na ściskanie próbek gruntu stabilizowanego popiołami. Wymagane wytrzymałości na ściskanie próbek gruntu stabilizowanego popiołami lotnymi w zależności od rodzaju warstwy w konstrukcji nawierzchni drogowej podano w tablicy.

Lp.	Rodzaj warstwy w konstrukcji nawierzchni drogowej	Wytrzymałość na ściskanie próbek nasyconych wodą MN/m² (kG/cm²)		Wskaźnik mrozoodporności $n = \frac{R^{zo}_{42}}{R^{m}_{42}}$
		R^{m}_{14}	R^{m}_{42}	
1	Górna warstwa podbudowy występująca bezpośrednio pod dywanikiem bitumicznym o minimalnej grubości warstwy: 3,0 cm przy ruchu lekkim i 6,0 cm przy ruchu średnim	>1,6 (>16)	2,5 ÷ 5 (25 ÷ 50)	0,6
2	Dolna warstwa podbudowy znajdująca się co najmniej 16 cm poniżej niwelety drogi o obciążeniu średnim, lub więcej niż 8 cm poniżej niwelety drogi o obciążeniu lekkim	>1 (>10)	1,5 ÷ 3 (15 ÷ 30)	0,5
3	Ulepszone podłoże	>0,5 (>5)	1 ÷ 2 (10 ÷ 20)	-

Oznaczenia: R^{m}_{14}, R^{m}_{42} i R^{zo}_{42} - wytrzymałość próbek przechowywanych wg 3.2.3.5.

Dolne granice R_{42}^{m} zaleca się stosować w przypadku budowy dróg o obciążeniu lekkim, a górne - dla dróg o obciążeniu średnim.

Określenie ruchu lekkiego i średniego należy przyjmować wg Wytycznych WP-DP-20.

2.3. Wymagania dotyczące wykonania stabilizacji gruntu

2.3.1. Podłoże. Podbudowa powinna być wykonana na podłożu odpowiednio sprofilowanym do wymaganych projektem spadków poprzecznych i podłużnych oraz przechyłek na łukach. Podłoże powinno być zagęszczone do co najmniej 95% maksymalnego zagęszczenia wg PN-59/B-04491 (metoda normalna).

2.3.2. Obliczenie głębokości spulchnienia gruntu. Głębokość spulchnienia gruntu h_1 dla uzyskania właściwej grubości warstwy stabilizowanej należy obliczyć w metrach ze wzoru

$$h_1 = h \frac{\varrho_{osmax}^{g}}{\varrho_{os}^{g}} + \cancel{1}\ 0{,}01 \qquad (1)$$

w którym:

h - projektowana grubość warstwy stabilizowanej po zagęszczeniu, m,

ϱ_{osmax}^{g} - maskymalna gęstość pozorna szkieletu gruntowego określona metodą normalną wg PN-59/B-04491, kg/m^3,

ϱ_{os}^{g} - gęstość pozorna szkieletu gruntowego warstwy przeznaczonej do stabilizacji przed rozdrobnieniem i spulchnieniem określona wg PN-62/S-04011, kg/m^3.

2.3.3. Obliczenie ilości popiołów lotnych i dodatków ulepszających. Potrzebną ilość popiołów lotnych lub ewentualnych dodatków ulepszających X kg na 1 m^2 stabilizowanej warstwy należy obliczyć ze wzoru

$$X = \cancel{10}\ \varrho_{osmax}^{g}\, h\, a \qquad (2)$$

w którym:

ϱ_{osmax}^{g} - maksymalna gęstość pozorna szkieletu gruntowego określona metodą normalną wg PN-59/B-04491, kg/m^3,

h - projektowana grubość warstwy gruntu stabilizowanego, m,

a - laboratoryjnie ustalony procentowy dodatek popiołów lotnych lub dodatków ulepszających do gruntu, wyrażony ułamkiem dziesiętnym.

2.3.4. Obliczenie ilości wody. Potrzebną ilość wody y w litrach na 1 m^2 warstwy stabilizowanego gruntu oblicza się ze wzoru

$$y = \cancel{10}\ \varrho_{osmax}^{g}\, h\, (w_{opt}^{m} - w_{n}^{g}) \qquad (3)$$

w którym:

ϱ_{osmax}^{g} - maksymalna gęstość pozorna szkieletu gruntowego, kg/m^3,

h - projektowana grubość warstwy gruntu stabilizowanego, m,

w_{opt}^{m} - procentowa wilgotność optymalna mieszanki ustalona wg 3.2.3.3, wyrażona ułamkiem dziesiętnym,

w_{n}^{g} - procentowa wilgotność naturalna gruntu wyrażona ułamkiem dziesiętnym.

2.3.5. Rozścielanie popiołów lotnych. Popioły lotne należy rozścielać równomierną warstwą na rozdrobnionym gruncie w ilościach wyliczonych wg 2.3.3.

2.3.6. Mieszanie gruntu z popiołami lotnymi powinno odbywać się aż do uzyskania jednorodnego wyglądu całej grubości warstwy.

2.3.7. Dodawanie dodatków ulepszających. Dodatki ulepszające takie jak cement lub chlorek wapniowy powinny być rozprowadzone równomiernie po całej powierzchni odcinka po przemieszaniu gruntu z popiołami lotnymi.

2.3.8. Dozowanie wody powinno być ustalone na podstawie wilgotności optymalnej i kontrolnych pomiarów wilgotności rzeczywistych gruntu zgodnie z 2.3.4. Wraz z wodą do gruntu dodawać należy chemiczne dodatki ulepszające takie jak chlorek wapniowy lub wodorotlenek sodowy.

2.3.9. Mieszanie składników po równomiernym dodaniu wody powinno być przeprowadzane tak długo aż mieszanka uzyska jednorodny wygląd na całej grubości warstwy.

2.3.10. Profilowanie. Mieszanka popiołowo-gruntowa powinna być przed zagęszczeniem i w czasie zagęszczania sprofilowana do wymaganych projektem pochyleń poprzecznych i podłużnych oraz przewidzianych przechyłek na łukach.

2.3.11. Zagęszczanie mieszanki powinno być wykonane nie później niż w ciągu dnia roboczego łącznie z rozłożeniem i przemieszaniem popiołów lotnych i ewentualnych dodatków z gruntem. Mieszankę należy zagęszczać przy wilgotności optymalnej z dopuszczalną odchyłką do ± 2%. Stopień zagęszczenia mieszanki popiołowo-gruntowej nie powinien być mniejszy niż 97% maksymalnego zagęszczenia metodą normalną wg PN-59/B-04491.

Przy stosowaniu cementu jako dodatku ulepszającego zagęszczenie mieszanki powinno być wykonane w czasie do 5 godzin od chwili dodania cementu do gruntu.

2.3.12. Pielęgnacja zagęszczonej mieszanki. Zagęszczoną mieszankę należy poddać pielęgnacji przez:

a) spryskanie asfaltem upłynnionym w ilości 0,3 kg na 1 m^2 podbudowy lub

b) spryskanie emulsją bitumiczną w takiej samej ilości, albo

c) przykrycie warstwą piasku grubości około 3 cm i utrzymywanie go w stanie wilgotnym przez 14 dni.

W przypadku stabilizacji popiołami gruntów przepuszczalnych w okresie ciągłych opadów deszczu należy stosować system a); w pozostałych przypadkach zaleca się system b).

BN-71/8933-10 Drogi samochodowe. Podbudowa z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi Poprawka 1

VII 82

1. W punkcie 2.3.2 we wzorze (1) zamiast: +1, powinno być: +0,01.

2. W punkcie 2.3.3 we wzorze (2)
   a) skreśla się współczynnik liczbowy: 10,
   b) objaśnienie symbolu „a" powinno mieć brzmienie: laboratoryjnie ustalony procentowy dodatek popiołów lotnych lub... itd.

3. W punkcie 2.3.4 we wzorze (3)
   a) skreśla się współczynnik liczbowy: 10,
   b) objaśnienie symboli powinno mieć brzmienie:
   — w_{opt}^{m} — procentowa wilgotność optymalna mieszanki... itd.
   — w_{n}^{g} — procentowa wilgotność naturalna gruntu... itd.

2.3.13. Ochrona zagęszczonej mieszanki przed obciążeniami. Ruch miejscowy pojazdów ogumionych można dopuścić po 10 dniach po zagęszczeniu, a konny najwcześniej po 20 dniach. Sporadyczny ruch roboczy pojazdów ogumionych można dopuszczać zaraz po zagęszczeniu mieszanki.

Układanie następnych warstw nawierzchni należy wykonywać nie wcześniej niż po 20 dniach od zagęszczenia mieszanki. W przypadku sprzyjających warunków atmosferycznych (bezdeszczowa pogoda, temperatura powyżej 15°C) można ten okres skrócić do 10 dni.

2.3.14. Grubość warstwy podbudowy z gruntów stabilizowanych popiołami lotnymi powinna być obliczona zgodnie z Wytycznymi WP-DP-20.

Przy mieszaniu sprzętem rolniczym grubość poszczególnych warstw popiołowo-gruntowych po zagęszczeniu powinna wynosić 10 ÷ 15 cm, przy mieszaniu sprzętem specjalnym (frezami) - 15 ÷ 18 cm, w betoniarkach zaś - nie więcej niż 20 cm.

Dopuszczalne odchyłki grubości warstwy wynoszą ±2 cm.

2.3.15. Warstwa odsączająca. Przy gruntach podłoża wątpliwych lub wysadzinowych nie ulepszonych spoiwami nieorganicznymi lub bitumami należy wykonywać podbudowę popiołowo-gruntową na stabilizowanym podłożu lub na warstwie odsączającej.

2.3.16. Podbudowa dwuwarstwowa jest wykonywana w przypadku podłoża wątpliwego lub wysadzinowego, gdy zamiast warstwy odsączającej wykonuje się warstwę gruntu stabilizowanego popiołami lotnymi.

Podbudowa dwuwarstwowa znajduje zastosowanie również w przypadku podłoża niewysadzinowego, jeżeli obciążenie ruchem tego wymaga.

2.4. Cechy podbudowy

2.4.1. Szerokość podbudowy powinna być zgodna z projektem. Dopuszczalne odchyłki szerokości zarówno na prostych jak i na łukach wynoszą ±5 cm.

2.4.2. Równość w przekroju podłużnym mierzona zgodnie z BN-68/8931-04 powinna być taka, aby nierówności nie przekraczały 12 mm.

2.4.3. Prawidłowość przekroju poprzecznego powinna być taka, aby po przyłożeniu łaty profilowej (szablonu) prostopadle do osi drogi i spoziomowaniu jej prześwity między łatą profilową i powierzchnią podbudowy nie przekraczały 15 mm.

2.4.4. Równość na łukach o jednostajnym spadku poprzecznym powinna być taka, aby po przyłożeniu łaty czterometrowej prześwity między łatą i powierzchnią podbudowy nie przekraczały 15 mm.

2.4.5. Moduł odkształcenia określany wg BN-64/8931-02 powinien być większy niż:

a) 20 MN/m^2 (200 kG/cm^2) dla podłoża,

b) 50 MN/m^2 (500 kG/cm^2) dla dolnej warstwy podbudowy,

c) 100 MN/m^2 (1000 kG/cm^2) dla górnej warstwy podbudowy przy ruchu lekkim,

d) 150 MN/m^2 (1500 kG/cm^2) dla górnej warstwy podbudowy przy ruchu średnim.

Oznaczanie modułu odkształcenia na warstwach stabilizowanych popiołami lotnymi należy przeprowadzać po upływie co najmniej 20 dni od dnia ich wykonania.

3. BADANIA

3.1. Program badań

a) badania wstępne (3.2),

b) badania w czasie budowy (3.3),

c) badania po zakończeniu budowy (3.4).

3.2. Badania wstępne

3.2.1. Etapy badań wstępnych i ich cel w poszczególnych etapach. Pełne badania wstępne składają się z trzech etapów:

a) etap I - badania terenowe, które mają na celu rozpoznanie warunków wodno-gruntowych terenu oraz pobranie próbek gruntu do sprawdzenia przydatności ich do stabilizacji,

b) etap II - badania ogólne laboratoryjne przeprowadzane przed wykonaniem robót ziemnych i mające na celu zbadanie przydatności do stabilizacji gruntów pobranych w etapie I oraz ustalenie założeń technologicznych i ramowego składu mieszanek popiołowo-gruntowych,

c) etap III - badania szczegółowe laboratoryjne mające na celu ustalenie ścisłych recept roboczych na próbkach gruntów pobranych z wykonanych robót ziemnych lub wyznaczonych miejsc ukopu.

3.2.2. Badania terenowe. Badania wstępne terenowe należy wykonywać na etapie projektowania w celu stwierdzenia możliwości stabilizacji i określenia założeń kosztorysowych (jak np. miejsca pobierania materiałów doziarniających, ich ilości, sposobu stabilizacji itp.). W tym celu wzdłuż projektowanej trasy drogi wykonuje się wiercenia płytkie (około 1,5 ÷ 2,0 m) lub odkrywki w odstępach co najmniej 250 m, lecz tak, ażeby zlokalizować zmienność gruntów na trasie, lub grunty wyraźnie przydatne i wyraźnie nieprzydatne do stabilizacji. Oprócz tego należy wykonać po 2 - 3 wiercenia lub odkrywek w miejscach przewidywanych ukopów wraz z pobraniem próbek.

Próbki o masie około 1 kg każda powinny być poddane wstępnym badaniom makroskopowym, badaniom właściwości fizycznych wg PN-55/B-04482.

Wstępne rozpoznanie terenu powinno pozwolić również na ustalenie miejsc pobrania wody do stabilizacji.

3.2.3. Badania ogólne laboratoryjne do założeń technologicznych

3.2.3.1. Zakres badań. Badania wstępne laboratoryjne należy wykonywać na próbkach pobranych w czasie wstępnych badań terenowych w celu określenia właściwości gruntu oraz właściwej ilości popiołów lotnych i wody jak również ilości ewentualnego doziarnienia lub zastosowania dodatków jak: cement, chlorek wapniowy, wodorotlenek sodowy.

3.2.3.2. Rodzaje i wykonanie badań gruntu:

a) sprawdzenie uziarnienia gruntu wg PN-55/B-04484 lub PN-59/B-04483,

b) sprawdzenie konsystencji gruntu wg PN-59/B-04489 i PN-59/B-04490 lub wskaźnika piaskowego wg BN-64/8931-01,

c) sprawdzenie zawartości części organicznych gruntu wg PN-60/B-04485,

d) sprawdzenie zawartości siarczanów wg PN-66/B-06714,

e) sprawdzenie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości pozornej szkieletu gruntowego oraz mieszanek popiołowo-gruntowych wg metody normalnej PN-59/B-04491,

f) sprawdzenie wytrzymałości na ściskanie próbek mieszanek popiołowo-gruntowych z ewentualnym dodatkiem ulepszającym.

3.2.3.3. Wykonanie mieszanek gruntu z popiołami lotnymi oraz ewentualnymi dodatkami ulepszającymi i wodą polega na dokładnym i równomiernym przemieszaniu gruntu z popiołami lotnymi oraz ewentualnymi dodatkami ulepszającymi i następnie z wodą. Procentową ilość popiołów lotnych, dodatków ulepszających i wody oblicza się w stosunku do gruntu suchego. Masę gruntu suchego m_s oblicza się w gramach ze wzoru

$$m_s = \frac{100 \cdot m_w}{100 + w} \qquad (4)$$

w którym:

m_w - masa gruntu wilgotnego, g,

w - wilgotność gruntu, %.

Potrzebną ilość gruntu wilgotnego m_w do wykonania mieszanki oblicza się w gramach ze wzoru

$$m_w = m_s \cdot \frac{100 + w}{100} \qquad (5)$$

w którym oznaczenia jak we wzorze (4).

Orientacyjną wilgotność optymalną mieszanki w^m_{opt} w procentach należy obliczyć ze wzoru

$$w^m_{opt} = w^g_{opt} + 0{,}3a \qquad (6)$$

w którym:

w^g_{opt} - wilgotność optymalna gruntu, %, wg PN-59/B-04491,

a - dodatek popiołów lotnych, %.

Ilość wody W w kilogramach, którą należy dodać do gruntu o wilgotności $w_n < w^m_{opt}$, powinna wynosić:

$$W = m_g(w^m_{opt} - w_n) \qquad (7)$$

gdzie:

m_g - masa gruntu, kg,

w^m_{opt} - wilgotność optymalna mieszanki, %,

w_n - wilgotność naturalna gruntu, %.

Jeżeli wilgotność naturalna gruntu jest większa od wilgotności optymalnej mieszanki, to grunt należy podsuszyć w temperaturze nie przekraczającej 60°C.

3.2.3.4. Przygotowanie próbek popiołowo-gruntowych. Przyjmuje się podstawowy wymiar próbek dla wszystkich gruntów w kształcie walca o wymiarach $d = h = 8$ cm, z wyjątkiem gruntów drobnoziarnistych mało i średniospoistych, dla których dopuszcza się wykonanie próbek o wymiarach $d = 5$ cm i $h = 7{,}5$ cm.

Odpowiednią ilość mieszanki m niezbędną do uformowania próbki oblicza się w kilogramach ze wzoru

$$m = \varrho^m_c \cdot V \qquad (8)$$

w którym:

ϱ^m_c - gęstość pozorna mieszanki zagęszczonej przy wilgotności optymalnej, kg/m^3,

V - objętość próbki odpowiadająca objętości formy, m^3.

Odchyłki wysokości formowanych próbek nie powinny przekraczać ±5% podanych wymiarów. Maksymalne średnice ziarn gruntu nie powinny być większe od 1/5 średnicy próbki. Ziarna większe od 1/5 średnicy próbki powinny być zastąpione ziarnami drobniejszej frakcji żwirowej.

Próbki o wymiarach $d = h = 8$ cm należy zagęszczać dynamicznie energią odpowiadającą zagęszczeniu mieszanki wg normalnej metody podanej w PN-59/B-04491, a próbki o wymiarach $d = 5$ cm i $h = 7{,}5$ cm powinny być zagęszczane statycznie w prasie pod naciskiem zapewniającym uzyskanie ϱ^m_{osmax} odpowiadającego normalnej metodzie wg PN-59/B-04491. Maksymalną gęstość pozorną szkieletu mieszanki ϱ^m_{osmax} (kg/m^3) można również wyliczyć ze wzoru

$$\varrho^m_{osmax} = \varrho^g_{osmax} - 0{,}01a \qquad (9)$$

w którym:

ϱ^g_{osmax} - maksymalna gęstość pozorna szkieletu gruntowego określona wg normalnej metody PN-59/B-04491, kg/m^3,

a - ilość popiołów lotnych, %.

Dla ustalenia właściwej ilości popiołów lotnych należy wykonać co najmniej 3 mieszanki o różnych dodatkach popiołów np. 8, 10 i 12%.

Z każdej mieszanki należy pobrać po dwie próbki (50 ÷ 70 g) dla oznaczania jej wilgotności, a następnie wykonać po 3 identyczne próbki w celu określenia ich średniej wytrzymałości na ściskanie po 14 dniach.

3.2.3.5. Przechowywanie próbek. Po uformowaniu próbki należy przechowywać w zależności od celu badania, jak następuje:

a) do badań wytrzymałości na ściskanie po 14 dniach R^m_{14} - przechowuje się przez 7 dni w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wyschnięciem w komorze o wilgotności powyżej 96% lub w papierze oparafinowanym i następnie przez dalsze 7 dni całkowicie zanurzone w wodzie o temperaturze pokojowej,

b) do badań wytrzymałości na ściskanie po 42 dniach, R^m_{42} - przechowuje się przez 28 dni w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wyschnięciem jak w a) i następnie przez dalsze 14 dni całkowicie zanurzone w wodzie o temperaturze pokojowej,

4. W punkcie 3.2.3.3 we wzorze (7) objaśnienie symboli powinno mieć brzmienie:

— w_{opt}^{w} — procentowa wilgotność optymalna mieszanki, wyrażona ułamkiem dziesiętnym.

— W_n — procentowa wilgotność naturalna gruntu, wyrażona ułamkiem dziesiętnym.

(Biuletyn PKNiM nr 8/74, poz. 79)

c) do badań mrozoodporności, R_{42}^{20} - przechowuje się przez 28 dni w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wyschnięciem jak w a) i następnie poddaje się 14 cyklom zamrażania-odmrażania. Jeden cykl zamrażania-odmrażania polega na ośmiogodzinnym zamrażaniu w temperaturze -23°C wyjętych z wody próbek i szesnastogodzinnym odmrażaniu próbek całkowicie zanurzonych w wodzie w temperaturze pokojowej.

3.2.3.6. Badanie wytrzymałości na ściskanie po 14 dniach przeprowadza się na próbkach wykonanych jak w 3.2.3.4 i po ich przechowywaniu jak w 3.2.3.5 a).

Ściskanie próbek należy przeprowadzać w prasie o prędkości posuwu tłoka 0,2 ÷ 0,4 mm/s co najmniej na trzech próbkach tej samej serii przyjmując wynik średni.

Za miarodajny przyjmuje się wynik, jeżeli wytrzymałość poszczególnych próbek nie różni się więcej niż o 30%. Jeżeli rozrzut wytrzymałości wszystkich próbek przekracza powyższe różnice, to badanie należy powtórzyć.

Z części zgniecionej próbki należy określić wilgotność.

3.2.4. Badania szczegółowe związane z projektowaniem mieszanki roboczej

3.2.4.1. Zakres badań. Badania gruntów i mieszanek popiołowo-gruntowych należy przeprowadzać zgodnie z 3.2.3 i ponadto sprawdzać:

a) jakość wody wg PN-58/B-32250,

b) aktywność popiołów lotnych wg BN-63/6722-02 lub w sposób uproszczony wg załącznika,

c) jakość cementu wg PN-63/B-04300, PN-68/B-04301 i PN/B-04302,

d) wytrzymałość próbek po 14 i 42 dniach z uwzględnieniem nasycenia wodą oraz cykli zamrażania-odmrażania.

Sprawdzenie wody, popiołów lotnych i ewentualnego dodatku cementu może być pominięte, jeżeli mieszanki popiołowo-gruntowe wykonane ze składników przygotowanych na budowie do stabilizacji nie wykazują zaniżonych (w stosunku do wymaganych) wyników wytrzymałości na ściskanie.

Przeprowadzenie pełnych badań (na wytrzymałość po 14 i 42 dniach oraz na odporność na cykle zamrażania-odmrażania) dla ustalonej mieszanki o określonej ilości popiołów lotnych i ewentualnych dodatków ulepszających wymaga co najmniej 9 identycznych próbek.

3.2.4.2. Pobieranie próbek gruntu. Próbki gruntu należy pobierać wg BN-64/8931-03 z warstw, które podlegać będą stabilizacji, bądź z ukopów gruntów przeznaczonych do stabilizacji.

3.2.4.3. Przechowywanie próbek - jak w 3.2.3.5.

3.2.4.4. Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzać należy wg 3.2.3.6 po 14 dniach i analogicznie po 42 dniach z uwzględnieniem nasycenia wodą i cykli zamrażania-odmrażania wg 3.2.3.5.

3.2.4.5. Wyniki badań. Wytrzymałość na ściskanie po 14 i 42 dniach oraz wskaźnik mrozoodporności próbek gruntów stabilizowanych popiołami lotnymi i przechowywanych wg 3.2.3.5 powinny spełniać wymagania podane w 2.2.2 w tablicy.

3.3. Badania w czasie budowy. W czasie budowy badania należy prowadzić systematycznie dla każdej dziennej działki roboczej. Polegają one na sprawdzeniu na bieżąco zgodności wykonywanych robót z wymaganiami 2.3. Wyniki badań w czasie budowy powinny być wpisywane do dziennika laboratorium polowego i obejmować sprawdzenie:

a) jakości materiałów używanych do budowy,

b) wskaźnika zagęszczenia podłoża gruntowego,

c) uziarnienia gruntu przeznaczonego do stabilizacji,

d) rozdrobnienia gruntu spoistego,

e) dokładności przemieszania gruntu z popiołami lotnymi,

f) wilgotności gruntu,

g) wskaźnika zagęszczenia gruntu stabilizowanego,

h) grubości warstwy stabilizowanej,

i) wytrzymałości gruntu stabilizowanego,

j) szerokości podbudowy,

k) równości podbudowy w przekroju podłużnym,

l) prawidłowości przekroju poprzecznego,

m) równości podbudowy w przekroju poprzecznym na prostych i na łukach.

3.4. Badania po zakończeniu budowy (odbiorcze) polegają na sprawdzeniu:

a) technologicznych dokumentów budowy,

b) grubości podbudowy,

c) szerokości podbudowy,

d) równości podbudowy w przekroju podłużnym,

e) prawidłowości przekroju poprzecznego,

f) równości podbudowy w przekroju poprzecznym na łukach,

g) jednolitości stabilizowanego gruntu.

3.5. Opis badań

3.5.1. Sprawdzenie jakości materiałów należy przeprowadzać wg norm przedmiotowych lub czynnościowych (badawczych).

3.5.2. Sprawdzenie zagęszczenia podłoża gruntowego. Zagęszczenie podłoża gruntowego należy sprawdzać na każdej dziennej działce roboczej, przynajmniej w dwóch przekrojach. Kontrolę wskaźnika zagęszczenia należy przeprowadzać wg PN-62/S-04011 bezpośrednio po zakończeniu zagęszczania.

Badanie maksymalnej gęstości pozornej szkieletu gruntowego wg PN-59/B-04491 powinno objąć co najmniej jedną próbkę z dziennej działki roboczej wykorzystując materiał pobrany z dołków próbnych.

3.5.3. Sprawdzenie uziarnienia gruntu przeznaczonego do stabilizacji. Uziarnienie gruntu przeznaczonego do stabilizacji należy sprawdzać dla

gruntów w stanie sypkim za pomocą analizy sitowej na sucho i w tym celu pobiera się co najmniej następujące liczby próbek:

z odcinka o długości do 250 m - 2 próbki,
z odcinka o długości 250 ÷ 500 m - 3 próbki,
z odcinka o długości 500 ÷ 1000 m - 4 próbki.

Masa próbki powinna wynosić około 1 kg. Próbki pobierać po zakończeniu mieszania gruntu przed rozłożeniem popiołów lotnych.

W przypadku gruntów spoistych uziarnienie ich należy określać na podstawie analizy makroskopowej wg PN-55/B-04482.

3.5.4. Rozdrobnienie gruntu spoistego należy sprawdzać co najmniej na dwóch próbkach z każdej dziennej działki roboczej. Masa próbki powinna wynosić około 1 kg. Próbki przesiewać przez sito o średnicy oczek 5 mm. Przez sito powinno przejść co najmniej 80% gruntu.

3.5.5. Sprawdzenie dokładności przemieszania popiołów lotnych z gruntem polega na wzrokowym stwierdzeniu jednolitego zabarwienia mieszanki.

3.5.6. Sprawdzenie wilgotności gruntu należy przeprowadzać:

a) po zakończeniu rozdrabniania gruntu lub mieszania gruntu z popiołami lotnymi przy wilgotności naturalnej w celu określenia potrzebnej ilości wody,

b) w końcowym etapie mieszania gruntu z popiołami lotnymi i dodatkami ulepszającymi w celu ostatecznego stwierdzenia prawidłowości nawilgocenia.

Do sprawdzenia wilgotności należy pobrać co najmniej 2 próbki z dziennej działki roboczej. Oznaczanie wilgotności wykonuje się albo piknometrem polowym, albo za pomocą suszenia lub inną dostatecznie dokładną metodą. Z każdej próbki wykonuje się co najmniej dwa oznaczania. Za wynik przyjmuje się średnią arytmetyczną wyników oznaczań.

Dopuszczalna odchyłka wynosi ±1% wilgotności oznaczonej wg 3.2.3.2 f).

3.5.7. Sprawdzenie wskaźnika zagęszczenia gruntu stabilizowanego. Należy przeprowadzać obok miejsca pobrania próbek mieszanki do kontroli wytrzymałości wg 3.5.2.

3.5.8. Sprawdzenie grubości warstwy stabilizowanej należy dokonywać w czasie jej mieszania i po zagęszczeniu w miejscach badania wskaźnika zagęszczenia.

3.5.9. Sprawdzenie wytrzymałości na ściskanie gruntu stabilizowanego. Wytrzymałość mieszanki należy sprawdzać na materiale pobranym z miejsca robót natychmiast po przemieszaniu (gruntu, popiołów lotnych, ewentualnych dodatków ulepszających i wody).

Próbki w liczbie co najmniej trzech z każdej dziennej działki roboczej należy formować i przechowywać wg 3.2.3.4 i 3.2.3.5. Wytrzymałość na ściskanie próbek powinna spełniać warunki podane w 2.2.2.

Wytrzymałość próbek można sprawdzać również po 42 dniach wg kryterium podanego w 2.2.2, powiększając liczbę próbek z każdego miejsca o następne trzy sztuki i przechowując je zgodnie z 3.2.3.5.

W przypadku otrzymania wyników różniących się od wymagań 2.2.2 zaleca się sprawdzenie wytrzymałości gruntu stabilizowanego na próbkach wyciętych z podbudowy, lub skontrolować moduł odkształcenia wg 2.4.5.

3.5.10. Sprawdzenie szerokości podbudowy należy wykonać przez pomiar co najmniej w trzech miejscach na każdym kilometrze.

3.5.11. Sprawdzenie równości podbudowy w przekroju podłużnym należy przeprowadzać zgodnie z 2.4.2:

a) w przypadku badań w czasie budowy - wyrywkowo co najmniej w 10 miejscach na każdym kilometrze,

b) w przypadku badań odbiorczych - co najmniej raz na każdym kilometrze.

3.5.12. Sprawdzenie prawidłowości przekroju poprzecznego na prostej należy przeprowadzać zgodnie z 2.4.3:

a) w przypadku badań w czasie budowy - wyrywkowo w 10 miejscach na każdym hektometrze,

b) w przypadku badań odbiorczych - co najmniej w 5 dowolnie obranych miejscach na każdym kilometrze.

3.5.13. Sprawdzenie równości podbudowy w przekroju poprzecznym na łukach należy wykonać wg 2.4.4 co najmniej w trzech miejscach na każdym łuku.

3.5.14. Sprawdzenie technicznych dokumentów budowy. Przy odbiorze podbudowy należy zbadać następujące techniczne dokumenty budowy:

a) projekt techniczny,
b) dziennik budowy,
c) protokóły badań laboratoryjnych,
d) recepty robocze,
e) wyniki badań próbek pobranych w czasie budowy,
f) inne dokumenty dotyczące budowy.

3.5.15. Sprawdzenie grubości podbudowy należy przeprowadzać w przypadkach wątpliwych, na zlecenie Komisji Odbiorczej, co najmniej raz na każdym kilometrze lub w razie potrzeby częściej, wykonując po dwa otwory w przekroju poprzecznym w odległości nie mniejszej niż 0,5 m od krawędzi podbudowy.

3.5.16. Sprawdzenie jednolitości stabilizowanego gruntu polega na ocenie zabarwienia, wielkości ziarn i ogólnego wyglądu (braku większych nierówności, rys, spękań itp.). Ocenę należy przeprowadzić na podstawie oględzin.

K O N I E C

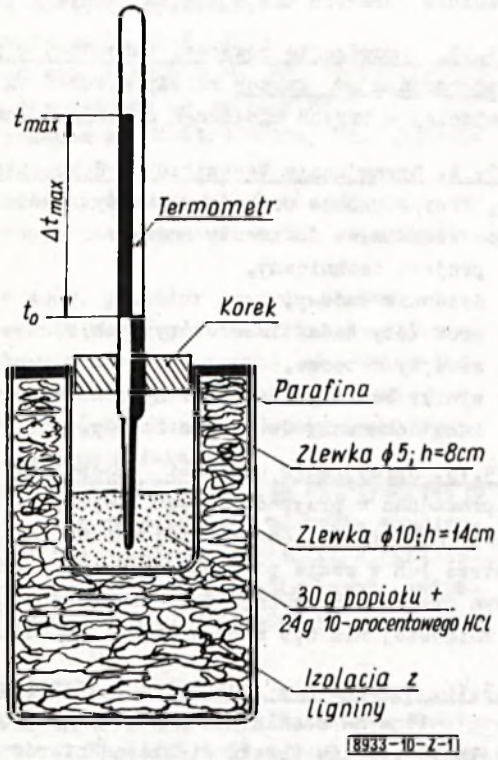
Załącznik
Informacje dodatkowe

OZNACZANIE AKTYWNOŚCI POPIOŁÓW LOTNYCH I PRZYBLIŻONEJ ZAWARTOŚCI WOLNEGO TLENKU WAPNIOWEGO CaO

1. Zasada oznaczania. Oznaczanie polega na określeniu ciepła rozpuszczenia próbki popiołów lotnych w 10-procentowym kwasie solnym.

2. Cel oznaczania. Oznaczanie przeprowadza się dla oceny aktywności popiołów lotnych i przybliżonej zawartości w nich wolnego tlenku wapniowego.

3. Sprzęt i materiały pomocnicze. Oznaczanie ciepła rozpuszczania metodą przybliżoną wykonywane jest w naczyniu termosowym przedstawionym na rys. Z-1. Naczynie termosowe składa się ze zlewki o średnicy 10 cm i wysokości 14 cm, do której wstawiona jest zlewka mniejsza o średnicy 5 cm i wysokości 8 cm. Przestrzeń między zlewką większą i mniejszą wypełniona jest ligniną, jako masą izolacyjną, ściśle ułożoną i w górnej części zlewki oparafinowaną. Grubość warstwy parafiny około 1,0 cm. Zlewka mniejsza zamykana jest korkiem gumowym o grubości 2,0 cm z otworem w części środkowej na termometr z możliwością pomiaru temperatur od 10 do 100°C i z dokładnością do 0,1°C.



Rys. Z-1. Naczynie termosowe do pomiaru ciepła rozpuszczania popiołów

4. Wykonanie oznaczania. Wykonanie oznaczania polega na tym, że do umieszczonej w termosie próbki popiołu lotnego o masie 30 g należy dodać 24 ml 10 procentowego kwasu solnego (HCl) i po natychmiastowym zamknięciu termosu korkiem, pomiarze przyrostów temperatur.

Początkowy pomiar temperatury należy dokonywać po wyrównaniu się temperatury próbki popiołów lotnych w termosie, a następne pomiary - co 5 s począwszy od momentu dodania 10 procentowego kwasu solnego i narastania temperatury aż do momentu wyraźnego zmniejszania się temperatury.

Maksymalny przyrost temperatury następuje zwykle po 40 ÷ 80 s, a czas pomiarów trwa 2 ÷ 5 min.

Pomiary temperatur notowane w odpowiednim formularzu powinny pozwolić na określenie maksymalnego przyrostu temperatury Δt_{max} °C w wyniku rozpuszczenia próbki popiołu lotnego w 10 procentowym kwasie solnym wg wzoru

$$\Delta t_{max} = t_{max} - t_o$$

w którym:

t_{max} - maksymalna temperatura stwierdzona w czasie rozpuszczania próbki popiołu lotnego w 10 procentowym kwasie solnym, °C,

t_o - początkowa temperatura próbki popiołu lotnego w termosie przed dodaniem 10-procentowego kwasu solnego, °C.

5. Ocena wyników. Na podstawie ustalonej miarodajnej wartości t_{max} °C aktywność popiołów lotnych oraz orientacyjna zawartość w nich wolnego CaO ocenia się uwzględniając zależności podane na rys. Z-2 następująco:

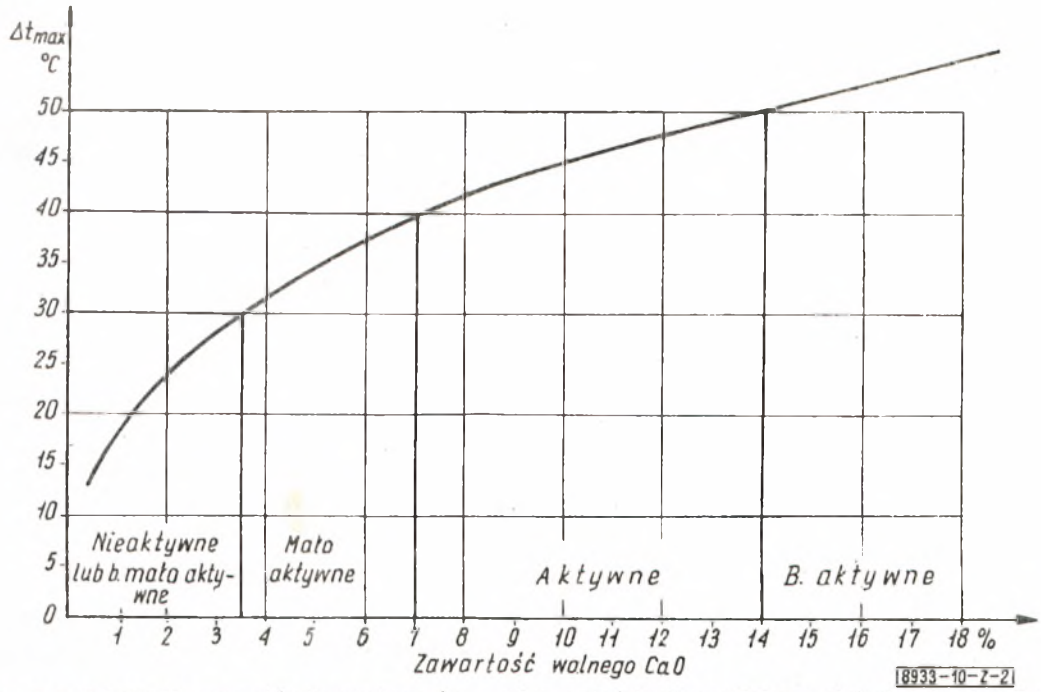
$\Delta t_{max} < 30$°C - nieaktywne lub bardzo mało aktywne (wolnego CaO mniej niż 3,5%),

$30 \leq \Delta t_{max} < 40$°C - mało aktywne (wolnego CaO co najmniej 3,5%, lecz mniej niż 7%),

$40 \leq \Delta t_{max} < 50$°C - aktywne (wolnego CaO co najmniej 7%, lecz mniej niż 14%),

$\Delta t_{max} \geq 50$°C - bardzo aktywne (wolnego CaO co najmniej 14%).

6. Dokładność wyników. Wyniki uzyskane z pomiarów ciepła rozpuszczania traktować należy jako wartości przybliżone z dokładnością zawartości wolnego CaO ±1,0%.



Rys. Z-2. Zależność przyrostów temperatury Δt_{max} od zawartości wolnego CaO w popiołach lotnych z Konina

INFORMACJE DODATKOWE do BN-71/8933-10

Własności popiołów lotnych z węgla brunatnego z elektrowni Konin

Przeciętne fizyczne, chemiczne i mineralogiczne własności popiołów lotnych z węgla brunatnego okręgu konińskiego frakcji średniej i najdrobniejszej z elektrowni Konin podano w tabl. I-1, I-2 i I-3.

Tablica I-1. Uogólnione cechy fizyczne (średnie statystyczne i odchylenia przy pewności $\alpha = 95\%$)

Frakcja	Procentowa zawartość cząstek 0,074 mm	Gęstość pozorna suchego popiołu lotnego		Gęstość ϱ g/cm^3	Powierzchnia właściwa wg Blaina cm^3/g
		ϱ_{osmin}	ϱ_{osmax}		
Średnia	69 ±29,0	0,69 ±0,22	1,00 ±0,31	2,59 ±0,12	3375 ±1256
Najdrobniejsza	92 ±8,0	0,67 ±0,27	0,94 ±0,29	2,66 ±0,10	5143 ±2081

Frakcja średnia popiołów lotnych uzyskiwana jest z sypów środkowych pod elektrofiltrami, a frakcja najdrobniejsza z sypów usytuowanych najbliżej komina.

Tablica I-2. Uogólniony skład chemiczny (średnia statystyczna i odchylenia przy pewności $\alpha = 95\%$)

Frakcja	Zawartość składników, %							Zawartość części nierozpuszczalnych w HCl %	Zawartość wolnego CaO %
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO (całkowita)	MgO	SO_3	straty prażenia		
Średnia	41,0 ±23,7	6,8 ±5,9	5,7 ±4,9	43,8 ±12,7	2,6 ±2,1	5,6 ±2,9	5,5 ±2,9	41,9 ±31,0	9,5 ±5,7
Najdrobniejsza	27,0 ±11,0	4,8 ±2,7	5,8 ±2,7	44,5 ±9,8	5,5 ±4,3	10,4 ±4,1	2,0 ±2,0	24,3 ±17,0	13,3 ±6,5

Tablica I-3. Przybliżona zawartość niektórych minerałów

Frakcja	Zawartość minerałów, %			
	alit-krzemian trójwapniowy $3CaOMiO_2$	anhydryt $CaSO_4$	trójkrzemian pięciowapniowy $5CaO3Al_2O_3$	tlenek wapniowy CaO
Średnia	25,02	5,28	5,94	9,0
Najdrobniejsza	30,83	8,11	5,59	13,0

Dane w tabl. I-2 i I-3 zestawiono na podstawie badania 50 próbek popiołów lotnych pobieranych w latach 1960-1968.