



Pomysł wykorzystania popiołów i żużli w drogownictwie zrodził się już ponad trzydzieści lat temu w Europie Zachodniej, gdzie szeroko rozumiana ochrona środowiska i rachunek ekonomiczny sprawiły, że pozornie bezwartościowy materiał odpadowy z energetyki stał się materiałem budowlanym stanowiącym alternatywę rozwiązań tradycyjnych.

Obecnie przykłady zastosowań popiołów i żużli w drogownictwie można znaleźć na całym świecie. Według danych statystycznych ECOBA za rok 2002 wynika, że w tym właśnie roku w krajach „piętnastki” w drogownictwie zagospodarowano 6,47 mln Mg UPS (ubocznych produktów spalania).

Doświadczenia w zakresie zastosowania UPS w drogownictwie

W Polsce drogi z tych materiałów powstają między innymi w rejonie Gdańska, Opola, Konina, Poznania i Rybnika. W roku 2003 w ramach budowy obwodnicy Sochaczewa w ciągu drogi krajowej nr 2 wykonano trzy nasypy z zastosowaniem 250 000 Mg popioło-żużli. Drogownictwo coraz chętniej stosuje UPS, dostrzegając ich zalety nie tylko po stronie atrakcyjności cenowej i w ochronie środowiska, ale również jako bardzo dobrego materiału drogowego.

Obecny stan normalizacji polskiej w zakresie wykorzystania UPS w drogownictwie

Obecnie obowiązują następujące normy związane ze stosowaniem popiołów i żużli w drogownictwie, pochodzących ze spalania w kotłach tradycyjnych (normy te nie dotyczą popiołów nowej generacji - popiołów fluidalnych oraz popiołów zawierających produkty odsiarczania spalin):

Zastosowanie UPS w drogownictwie

Utworzono: piątek, 18, grudzień 2009 08:57 Tomasz Szczygielski

a) PN-S-96035:1997 Drogi samochodowe. Popioły lotne. Norma podaje systematykę i wymagane właściwości popiołów lotnych przydatnych w drogownictwie. Norma obejmuje popioły z węgla kamiennego PK i brunatnego PB. Dodatkowo występuje podział na trzy odmiany popiołów:

- PK odmiana a - popiół jako dodatek hydrauliczny do materiałów wiążących,
- PK odmiana b - popiół jako materiał doziarniający do materiałów mineralnych o słabszym uziarnieniu,
- PB odmiana c - popiół jako samodzielny materiał wiążący.

Ponadto norma podaje wymagania i badania dla każdego rodzaju popiołów i stanowi ogólne wytyczne dotyczące przydatności popiołów w drogownictwie.

b) PN-S-02205:1998 - Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania. Norma dopuszcza między innymi popioły lotne oraz mieszaniny popiołowo-żużłowe jako materiały przydatne do budowy nasypów drogowych. Dla mieszanin popiołowo-żużłowych podano wymagania jakie powinny one spełniać, natomiast popioły lotne powinny odpowiadać PN-S-96035:1997. Według normy popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużłowe mogą być wykorzystane na dolne warstwy nasypów, pod warunkiem zabudowania ich w miejsca suche. Natomiast stosowanie tych materiałów w górnych warstwach nasypów dopuszczone jest pod warunkiem ulepszenia spoiwem. Ponadto norma podaje wymagania jakim powinny odpowiadać poszczególne warstwy nasypów, które są identyczne zarówno dla materiałów mineralnych jak i dla popiołów bądź popioło-żużli.

c) PN-S-06103:1997 - Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego dotyczy stosowania popiołów z węgla kamiennego lub brunatnego (wg wymagań PN-S-96035:1997) w kompozycjach z kruszywami do wykorzystania w podbudowach. Norma wyróżnia trzy klasy wytrzymałościowe betonu popiołowego:

- klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 1.5-7 \div 3$ MPa,
- klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 3.0-7 \div 5.0$ MPa,
- klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 5.0-7 \div 8.0$ MPa.

Zastosowanie podbudowy o odpowiedniej klasie wytrzymałościowej uzależnione jest od obciążenia ruchem oraz od umiejscowienia podbudowy w konstrukcji nawierzchni (podbudowa zasadnicza czy pomocnicza). Popiół w betonie oprócz kruszywa stanowi jeden z zasadniczych składników mieszanki. Praktycznie zawartość popiołu z węgla kamiennego PK w mieszance może wynosić do 35% oraz aktywnych popiołów PB do 15%. Ponadto norma podaje wymagania dla poszczególnych składników betonu popiołowego oraz dla stwardniałego betonu.

d) PN-S-06102:1997 - Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie, gdzie popiół może stanowić dodatek polepszający parametry mieszanki. Mieszanka kruszywa nie spełniająca stawianych wymagań może być ulepszona dodatkiem popiołów. Stosowanie popiołów zalecane jest w następujących przypadkach:

Zastosowanie UPS w drogownictwie

Utworzono: piątek, 18, grudzień 2009 08:57 Tomasz Szczygielski

- gdy wskaźnik piaskowy WP kruszywa jest niski i wynosi 20÷30% należy stosować popioły lotne odmiany PBc, które stanowią spoiwo mające na celu związanie drobnych frakcji w kruszywie,
- gdy wskaźnik piaskowy WP jest za wysoki i wynosi powyżej 70%, popioły lotne odmiany PBb lub PKb są wypełniaczem do poprawy uziarnienia mieszanki, lub popioły odmiany PBc mogą stanowić aktywator żuźla granulowanego jeżeli występuje on w mieszance.

e) PN-S-96012:1997 - Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem, dopuszczająca stosowanie popiołów jako środka doziarniającego lub ulepszającego właściwości stabilizowanego gruntu. Popiół w tym przypadku ma poprawić uziarnienie stabilizowanego gruntu lub kruszywa. W przypadku gruntów kwaśnych o $\text{pH} < 5$, które charakteryzują się ograniczoną przydatnością do stabilizacji cementem popiół lotny stanowić może środek odkwaszający grunty.

Jak wynika z powyższego opisu normy dopuszczają szerokie stosowanie popiołów w drogownictwie. W szczególności można wydzielić trzy sfery zastosowań:

- roboty ziemne (nasypy drogowe), gdzie zastosować można bardzo duże ilości popiołów i popioło-żuźli jako samodzielnego materiału drogowego,
- ulepszone podłoże, warstwy wzmacniające (górną warstwę podłoża drogowego), aktywne popioły jako samodzielne spoiwo do stabilizacji i ulepszania gruntów, oraz popioły w kompozycjach z materiałami mineralnymi w technologiach stabilizacji cementem o niskich wytrzymałościach,
- podbudowy (zasadnicze i pomocnicze), gdzie popioły bądź mieszaniny popiołowo-żuźlowe są składnikiem mieszanek mineralnych z dodatkiem cementu o większych wytrzymałościach.

Oprócz norm wymienionych powyżej adoptować można normy, które nie dotyczą bezpośrednio popiołów. Chodzi o następujące normy:

- PN-S-96012:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
- PN-S-96013:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa z chudego betonu.

W tym przypadku popiół bądź popioło-żuźel może być stosowany jako jeden ze składników mieszanki łącznie z kruszywem naturalnym i cementem. Z doświadczenia wynika, że zawartość popiołów w tych mieszankach może dochodzić od 20% do 50%.

Pierwsza z tych norm PN-S-96012:1997 wyróżnia trzy marki wytrzymałościowe:

- marka R_m 1.5 MPa o wytrzymałości $R_{28}=0.5$ 1.5 MPa - warstwy wzmacniające
- marka R_m 2.5 MPa o wytrzymałości $R_{28}=1.5$ 2.5 MPa - warstwy wzmacniające lub dolne podbudowy

- marka R_m 5.0 MPa o wytrzymałości $R_{28}=2.5$ 5.0 MPa - podbudowy zasadnicze

Wskazane jest aby zamiast pielęgnacji 28 dniowej typowej dla mieszanek cementowych przyjmować 42 dniowy okres twardnienia.

Druga norma PN-S-960 13: 1997 dotyczy podbudowy z chudego betonu o wytrzymałości 6 9 MPa. Te mieszanki popularnie nazywane mieszankami popiołowokruszywowo-cementowymi są przez wykonawców robót drogowych chętnie stosowane. Podbudowy z tych mieszanek posiadają standardowe zakresy wytrzymałościowe i można wykorzystać w typowych konstrukcjach jakie oferuje Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni IBDiM.

Oprócz norm, potencjalnie dużą grupę dokumentów uzupełniających normalizację stanowią aprobaty techniczne. Zgodnie z ustawą dotyczącą aprobat technicznych uzyskanie aprobaty technicznej jest wymagane dla wszystkich materiałów budowlanych i prefabrykatów, dla których nie ustanowiono odpowiedniej polskiej normy PN. Aprobata techniczna określa wymagania użytkowe i techniczne wyrobu. Aprobaty opracowywane są na konkretny wyrób budowlany, co ogranicza ich stosowanie do wyrobu wytworzonego przez konkretnego producenta. Z drugiej strony Aprobaty Techniczne umożliwiają rozwój postępu technicznego, gdyż opracowanie norm to okres długoletni, natomiast opracowanie aprobaty trwa zdecydowanie krócej. W IBDiM opracowano aprobaty techniczne na wyroby zawierające popioły nowej generacji - popioły fluidalne i popioły zawierające produkty odsiarczania spalin.

Oddziaływanie nasypu drogowego z popiołów lotnych na wody gruntowe

Dr inż. Waldemar Cyske przedstawił w pracy „Oddziaływanie nasypu drogowego z popiołów lotnych na wody gruntowe” badania wody pobranej spod nasypu zbudowanego z popiołów lotnych. Instalacja badawcza została wykonana na odcinku doświadczalnym Politechniki Gdańskiej, zlokalizowanym na drodze dojazdowej do EC III w Gdyni, na bazie mieszaniny popiołowo-żuźlowej uzyskanej z Elektrowni.

W celu zbadania ilości i jakości wody przesączającej się przez nasyp z popiołów lotnych oraz jej składu chemicznego, na odcinku doświadczalnym wykonano instalację do zbierania odcieku wodnego. Instalacja do zbierania wykonana była z folii, ułożonej na wyprofilowanym podłożu. Średnia ilość wody przesączająca się przez korpus drogowy wynosiła około 5 dm^3 w ciągu miesiąca, co wynosi $1,25 \text{ dm}^3 / \text{mb}$ drogi w ciągu miesiąca, czyli $0,14 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{miesiąc}$. Część pobranych próbek wody poddano analizie składu chemicznego.

Utylizacja popiołów lotnych do budowy nasypów drogowych powoduje nieznaczne zwiększenie zawartości w wodzie gruntowej substancji chemicznych takich jak: siarczany, substancje rozpuszczone, rtęć, stront, żelazo.

Wpływ nasypu z popiołów na wody gruntowe jest niewielki, co jest zgodne z zaleceniami Unii Europejskiej (klasyfikują one popioły jako odpad obojętny).

Wymywalność metali ciężkich z nasypu drogowego w ciągu okresu eksploatacji drogi jest minimalna w porównaniu z wynikami badań laboratoryjnych.

Spoiwa hydrauliczne

Spoiwa hydrauliczne stanowią realną, ekonomicznie i jakościowo uzasadnioną alternatywę dla stabilizacji cementem, a także osuszania wapnem oraz dla tradycyjnej metody wymiany gruntu. Umożliwiają tanią i szybką budowę wysokiej jakości dróg, włączając drogi gminne, leśne i wiejskie. Pozwalają na prowadzenie prac w trudnych warunkach, trwale osuszają, polepszają nośność, a także umożliwiają wzmocnienie oraz stabilizację gruntów i podłoża. Mogą być stosowane do stabilizacji mieszanek kruszyw oraz jako czynnik scalający osady ściekowe. Z powodzeniem są wykorzystywane do stabilizacji podłoża pod obiekty kubaturowe, do konstruowania podbudowy pod nawierzchnię z betonowej kostki brukowej, jak również do konstruowania górnych i dolnych warstw podbudowy, a także do budowy nasypów pod drogi krajowe, ekspresowe, autostrady i lotniska.

Najczęściej spoiwami drogowymi są cement i popioły lotne, natomiast do osuszania gruntów stosuje się wapno. Podstawowym celem stosowania technologii stabilizacji nowoczesnymi spoiwami hydraulicznymi jest wykorzystanie gruntu rodzimego (grunty spoiste i nie spoiste) w celu ulepszenia podłoża czy konstruowania podbudów, z uwzględnieniem możliwości prowadzenia prac w różnych warunkach atmosferycznych, w tym również ekstremalnie złych (np. silnie przewilgocenia gruntu czy obecność zanieczyszczeń). Nowoczesne spoiwa hydrauliczne umożliwiają stabilizację gruntów o stosunkowo niskiej jakości. Wysoka higroskopijność oraz reaktywność hydrauliczna gwarantują uzyskanie wysokich przyrostów nośności ulepszanych gruntów oraz trwały efekt osuszania, bez zjawiska jego wtórnego rozmywania spoiwa hydrauliczne mogą stanowić poważną alternatywę dla stabilizacji gruntu cementem lub wapnem.

Właściwości fizyczne spoiw hydraulicznych są zbliżone do cementu lub wapna. Pozwala to na wykorzystanie powszechnie stosowanych do stabilizacji urządzeń i maszyn, takich jak recykler (frezarko-mieszarka), umożliwiający przemieszanie gruntu na głębokość nawet do 50 cm, oraz „rozsyrywacz”, którego możliwości pozwalają na równomierne rozłożenie spoiwa w zakładanej ilości. Stosowane są również standardowe maszyny, takie jak równiarka i walec.

Proces stabilizacji gruntu nowoczesnymi spoiwami hydraulicznymi jest analogiczny dla stabilizacji standardowymi spoiwami. Na przygotowanym gruncie spoiwo jest rozkładane za pomocą rozsyrywacza zgodnie z dobraną recepturą, poczym następuje przemieszanie rozłożonego spoiwa z gruntem rodzimym (zużyciem recyklera) na zakładaną głębokość. Tak przygotowany materiał jest równany za pomocą równiarki oraz zagęszczany (wałowany) za pomocą walca. Przygotowana w ten sposób warstwa jest mrozoodporna, jak również powinna spełniać wymagania

Zastosowanie UPS w drogownictwie

Utworzono: piątek, 18, grudzień 2009 08:57 Tomasz Szczygielski

dla zakładanych w projekcie parametrów nośności. Cechą charakterystyczną spoiw hydraulicznych jest to, że procesy wiązania mogą zachodzić w pełnym środowisku wodnym, bez konieczności kontaktu z powietrzem, tak jak dla powszechnie stosowanych cementów CEM I, II i III.

Stosowanie spoiw hydraulicznych zawierających klinkier powoduje, że materiał stanowiący wypełnienie (np. piasek) zostaje trwale związany poprzez rozbudowaną w trakcie procesu hydratacji (i tym samym twardnienia) sieć wiązań krystalicznych (proces jak w typowej mieszance betonowej). Po zastosowaniu tego typu spoiw, w przeciwieństwie do wapna, materiał wytworzy trwale związaną oraz nośną warstwę, która przy ponownym kontakcie z wodą nie ulegnie rozmiękaniu oraz nie pogorszą się jej parametry.

W przypadku osuszania gruntu wapnem, które jest typowym spoiwem powietrznym stosowanym zazwyczaj do osuszania gruntów spoistych (ze względu na jego dużą powierzchnię właściwą, co przekłada się na jego wodożądność), w styczności ze znajdującą się w gruncie wodą zachodzi reakcja hydratacji, podczas której wydzielają się ciepło po hydratacyjne, dodatkowo osuszające grunt. W tym momencie należy zwrócić szczególną uwagę na to, że zbytne osuszenie gruntu może znacząco utrudnić jego późniejsze zagęszczanie.

dr inż. Tomasz Szczygielski
Polska Unia Ubocznych Produktów Spalania

[Uwarunkowania formalno-prawne wynikające z obowiązujących przepisów prawa \(PDF\)](#)

[Podstawowe definicje \(PDF\)](#)