

Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie

**OCENA I BADANIA WYBRANYCH
ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH
DO WYKORZYSTANIA
W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH**

Zespół autorski:

Kierownik tematu: prof. dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI

Autor prowadzący: mgr inż. Cezary KRASZEWSKI

**oraz grupy robocze z udziałem przedstawicieli przemysłu
w składzie:**

Odpady hutnicze,

autor prowadzący: dr inż. Andrzej DUSZYŃSKI

Odpady górnicze,

autor prowadzący: inż. Piotr WILEŃSKI

Odpady budowlane,

autor prowadzący: mgr inż. Cezary KRASZEWSKI

Odpady elektrowniane i ciepłownicze,

autor prowadzący: prof. dr inż. Jan PACHOWSKI

Odpady chemiczne,

autor prowadzący: mgr inż. Krzysztof MIRSKI

Zespół autorski grup roboczych:

Odpady hutnicze,

autor prowadzący: *dr inż. Andrzej DUSZYŃSKI*

1. Piotr Sobczyński - Slag Recycling Sp. z o.o.
2. Dariusz Gądkowski - HK Ekogrys
3. Wiesława Rowińska – IBDiM,

Odpady górnicze,

autor prowadzący: *inż. Piotr WILEŃSKI*

1. Garai Atila – Polsko-Węgierska Górnicza Spółka Akcyjna „HALDEX”,
2. Jadwiga Wilczek – Laboratorium Inżynierii Lądowej „LABOTEST” Sp. z o.o.

Odpady budowlane,

autor prowadzący: *mgr inż. Cezary KRASZEWSKI*

1. Jadwiga Wilczek – Laboratorium Inżynierii Lądowej „LABOTEST” Sp. z o.o.
2. Waldemar Cyske – Skanska S.A.
3. Piotr Wileński – IBDiM
4. Piotr Sobczyński - Slag Recycling Sp. z o.o.
5. Przemysław Kamiński – IBDiM

Odpady elektrowniane i ciepłownicze,

autor prowadzący: *prof. dr inż. Jan PACHOWSKI*

1. Jerzy Kanafek – P.P.H. „UTEX” Sp. z o.o.,
2. Krzysztof Fałat - P.P.H. „UTEX” Sp. z o.o
3. Jacek Oleś – MP Partners Engineering Sp. jawna
4. Waldemar Cyske – Skanska S.A.
5. Sławomir Wyrzykowski – VKN Polska Sp. z o.o – Unia UPS.
6. Marek Jakób – VKN Polska Sp. z o.o. – Unia UPS
7. Andrzej Wieliński – Energo Mineral
8. Wojciech Domosławski – ECM
9. Katarzyna Ziarkowska – WARTUR Sp. z o.o.
10. Marcin Tumanow – WARTUR Sp. z o.o.
11. Janusz Kalotka – Zakład Usług Technicznych i Recyklingu S.A.
12. Piotr Sobczyński - Slag Recycling Sp. z o.o.
13. Paweł Bartusiak, EKOTRAKT Sp. z o.o.
14. Sonia Jarema - Suchorowska - ZPBE Energopomiar
15. Cezary Kraszewski – IBDiM

Odpady chemiczne,

autor prowadzący: *mgr inż. Krzysztof MIRSKI*

1. Wojciech Sikora – ABC Recykling S.A.,
2. Ryszard Burzyński – ABC Recykling S.A.,
3. Józef Gil, TC Dębica S.A,
4. Tomasz Bednarczyk, Michelin Polska Sp. z o.o.
5. Cezary Kraszewski – IBDiM,

Rozpoznanie patentowe – mgr inż. Zofia Gałajda, IBDiM

1. WPROWADZENIE

Pracę wykonano na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Państwowych i Autostrad w celu określenia właściwości i zwiększenia stopnia wykorzystania odpadów przemysłowych w budownictwie drogowym. Słowo „odpad” kojarzony jest z materiałem nieprzydatnym i szkodliwym dla człowieka i środowiska. Wiąże się to ze społecznym niezrozumieniem tego zagadnienia. Szeroko prowadzone badania chemiczne i radiologiczne wykazują, że materiały te nie szkodzą środowisku. Oczywiście chodzi o wybrane odpady, sprawdzone praktycznie i stosowane obecnie w budownictwie drogowym. Bardziej trafnym określeniem, podobnie jak w Europie będzie: uboczne produkty przemysłowe (UPP) lub materiały alternatywne. Są to w większości typowe materiały stosowane dotychczas w polskim drogownictwie na podstawie indywidualnych rozwiązań technicznych i badań.

Przy obecnych wymaganiach technicznych stawianym materiałom budowlanym oraz wysokim zaawansowaniu technologicznym prawie każdy odpad jest poddawany przeróbce. Dlatego ważnym krokiem jest rozdzielenie definicji odpadu od produktu budowlanego. Jest to zasadne z tego względu, że obecnie wprowadzane normy europejskie jako PN-EN przewidują w znacznym zakresie stosowanie kruszyw sztucznych, materiałów z recyklingu oraz produktów ze spalania węgla w energetyce jako materiałów w budownictwie drogowym.

Wg ostatnich uzgodnień z Ministerstwem Środowiska w sprawie traktowania odpadu przemysłowego, który poddany przeróbce spełnia wymagania norm oraz aprobat technicznych uzyskano jednoznaczne stanowisko następującej treści:

„Z chwilą spełnienia przez nowy produkt parametrów określonych w normie, odpad staje się pełnowartościowym produktem”.

Przyjęcie takiego stanowiska uwalnia wykonawców robót, inwestorów oraz administrację drogową od utrudnień związanych z obrotem tymi materiałami i ich stosowaniem. Stanowisko Ministerstwa Środowiska w tej sprawie przedstawiono na stronie 4 niniejszego opracowania.

Ideą niniejszego opracowania jest ustalenie kryteriów technologicznych oraz wymagań technicznych i ekologicznych dla wybranych odpadów, w większości nie znormalizowanych, przydatnych w budownictwie drogowym.

Praca ma na celu zebranie dotychczasowych doświadczeń krajowych i zagranicznych oraz podsumowanie ich w formie zawierającej podstawowe kierunki ich wykorzystania, co doprowadziłyby w stosunkowo krótkim czasie do istotnego zwiększenia się bazy materiałowej przydatnej w drogownictwie wraz z podaniem badań i wymagań jakie powinny one spełniać. Jest to istotne z uwagi na szeroki plan budowy autostrad w Polsce, który wymaga stosowania materiałów na skalę masową. Możliwość wykorzystania materiałów alternatywnych przynieść powinna znaczne korzyści ekonomiczne i ekologiczne.

Celem pierwszego etapu pracy są analizy dostępnych ubocznych produktów przemysłowych (UPP) z ich podziałem i podaniem systematyki pod kątem wykorzystania ich w drogownictwie. Opracowanie zawiera UPP sprawdzone w praktyce, wymagające w niektórych przypadkach wykonania badań uzupełniających.

Niniejsza praca stanowić ma punkt wyjścia do opracowania Katalogu UPP do stosowania w konstrukcjach drogowych. W katalogu zawarte zostaną UPP, których masowa utylizacja w drogownictwie rokuje największe nadzieje na przyszłe zastosowania.

MINISTERSTWO ŚRODOWISKA

DEPARTAMENT INSTRUMENTÓW OCHRONY ŚRODOWISKA

00-922 Warszawa, ul. Wawelska 52/54

DIOŚ 024/50/9011/04/ID

Warszawa, dn. 29 października 2004 r.

TG
2004.11.03

Pan

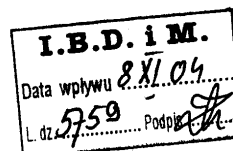
Tomasz Kula

Zastępcą Dyrektora

Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Ul. Jagiellońska 80

03-301 Warszawa



Odpowiadając na pismo z dnia 19 października 2004 r., znak: IDM-TG-5450-50-407/04, dotyczące kwalifikacji przetworzonych odpadów jako produktów Departament Instrumentów Ochrony Środowiska przedstawia następującą opinię.

Z informacji zawartych w Państwa piśmie wynika, iż odpady hutnicze zostały przetworzone na kruszywo drogowe odpowiadające normie PN-88/B-23004 *Kruszywa mineralne*. Z chwilą spełnienia przez nowy produkt parametrów określonych w normie, odpad staje się pełnowartościowym produktem. Sytuacja taka będzie miała miejsce w każdym przypadku, gdy odpady, np. górnicze, budowlane, pochodzące z elektrowni i ciepłowni, a także z przemysłu chemicznego, po przetworzeniu będą spełniały wymagania zawarte w odpowiednich normach dopuszczających do stosowania materiałów w konstrukcjach drogowych.

Jeśli natomiast normy nie mogą zostać spełnione, wtedy mamy do czynienia z odpadem, który także może podlegać obrotowi, jednakże z zachowaniem zasad określonych w ustawie o odpadach.

p.o. Zastępcy Dyrektora Departamentu
Instrumentów Ochrony Środowiska

M. Typko
M. Typko

2. WSTĘP

Budowa dróg samochodowych wiąże się często z przemieszczeniem dużych mas ziemnych i zdarza się, że bilans mas ziemnych jest dla danego odcinka ujemny, co oznacza, że brakujące materiały należy sprowadzić spoza obszaru pasa drogowego. W tej sytuacji inżynierowie drogowi, kierując się kryterium ekonomicznym, sięgają po najbliższe złoża materiałów skalnych. Jeśli takich złóż nie ma, to często okazuje się, że tańsze jest zastosowanie odpadowych materiałów mineralnych, gdy są zlokalizowane blisko drogi. Taka jest geneza najbardziej masowego wykorzystania odpadów w drogownictwie, tj. wykorzystania odpadów do budowy nasypów drogowych.

Drugi podstawowy kierunek utylizacji odpadów w drogownictwie pojawił się później (w Polsce w latach sześćdziesiątych) i wiąże się ze świadomym poszukiwaniem tańszych substytutów materiałów podstawowych do budowy konstrukcji drogowych, np.:

- 1) do stabilizacji i ulepszania gruntów pod nawierzchniami drogowymi zamiast cementu i wapna można użyć popiołów elektrownianych aktywnych, wapna pokarbidowego, pyłów różnego pochodzenia itp.;
- 2) na podbudowy drogowe zamiast kruszyw naturalnych można stosować żużle paleniskowe, hutnicze lub elektrowniane;
- 3) do wytwarzania betonu cementowego lub asfaltowego, z którego powstają warstwy nawierzchni, można stosować wszystkie w/w materiały odpadowe jako substytuty odpowiednio kruszywa, wypełniacza lub spoiwa.

Trzeci kierunek utylizacji odpadów w drogownictwie jest stosunkowo najmłodszy; powstał na fali szerokiego zainteresowania społeczeństw postindustrialnych problematyką ekologiczną. W dyskusjach na temat, jak zmniejszyć ujemne oddziaływanie przemysłu i budownictwa na środowisko, szybko pojawiło się zagadnienie wykorzystania ogromnych mas odpadów. Obecnie panuje już powszechna zgoda co do tego, że ze względów energetyczno-ekologicznych należy doprowadzić docelowo do pełnego zagospodarowania wszystkich odpadów. W dążeniu do tego celu można sięgnąć nie tylko do środków zachęty ale również do środków przymusu. Realizatorem tych środków przymusu może być aparat państwowy działający na podstawie upoważnień ustawowych. Taka jest geneza najnowszych opracowań techniczno-badawczych, powstających w Polsce w zakresie utylizacji odpadów, w tym również geneza niniejszej pracy.

Warto podkreślić, że wymuszone, poza-ekonomiczne stosowanie odpadów w drogownictwie w Polsce ma już miejsce. Umożliwia to rozbudowany w ostatnich latach, zwarty system prawa ekologicznego oraz wzrastająca aktywność resortu ochrony środowiska, wojewódzkich i lokalnych wydziałów ochrony środowiska oraz wydziałów nadzoru budowlanego. Pozwala to np. w decyzjach o pozwoleniu na budowę, w tym budowę drogi, postawić warunek wykorzystania lokalnego materiału odpadowego i warunek ten z całą mocą prawa wyegzekwować.

3. PRZEGLĄD PRZEPISÓW PRAWNYCH

Stosowanie odpadów przemysłowych, budowlanych i komunalnych w drogownictwie podlega regulacjom prawnym, ogólnym i szczegółowym. Regulacje te obejmują kilka aspektów, z których najważniejsze to:

- aspekt normatywno-techniczny,
- aspekt budowlany,
- aspekt ekologiczny.

Uregulowania prawne normatywno-techniczne wynikają z ustawy o badaniach i certyfikacji [1] oraz ustawy o normalizacji [2]. Ustawy te nakładają na każdego producenta, również "producenta" odpadów przemysłowych, obowiązek uzyskania certyfikatu zgodności z normami technicznymi jako warunku dopuszczenia danego wyrobu do powszechnego obrotu. Przed wydaniem certyfikatu wykonuje się badania techniczne próbki wyrobu w celu określenia jego właściwości technicznych, przydatności technicznej i porównania tych cech z wymaganiami zawartymi w obowiązujących dokumentach normalizacyjnych.

W zakresie wykorzystania odpadów w drogownictwie aktualnie w Polsce obowiązują następujące normy:

1. PN-72/B-23002 Żużel wielkopiecowy granulowany do produkcji cementu.
2. PN-B-11115:1998 Kruszywa mineralne. Kruszywa sztuczne z żużla stalowniczego do nawierzchni drogowych.
3. PN-60/B-06730 Kruszywa żużlowe. Żużel paleniskowy i kruszywo z żużla paleniskowego. Badania techniczne.
4. PN-88/B-023004 Kruszywa mineralne. Kruszywa z żużla wielkopiecowego kawałkowego.
5. PN-S-96035:1997 Drogi samochodowe. Popioły lotne. Wymagania i badania
6. PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania, gdzie podano wymagania dla mieszanin popiołowo żużlowych z węgla kamiennego
7. PN-S-06103:1997 - Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego, dotycząca stosowania popiołów z węgla kamiennego lub brunatnego (wg wymagań PN-S-96035:1997) w kompozycjach z kruszywami.
8. BN-71/8933-10 Drogi samochodowe. Podbudowa z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi; dotycząca popiołów z węgla brunatnego z okręgu konińskiego,
oraz wprowadzone ostatnio
9. PN-EN 13242:2004 Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym
10. PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu
11. PN-EN 13285:sierpień 2004 Mieszanki niezwiązane – Specyfikacja

1 Ustawa z dnia 3 kwietnia 1993 r. o badaniach i certyfikacji Dz. U, nr 55/1993 poz. 250

2 Ustawa z dnia 12 września 2003 r. o normalizacji – Dz.U. nr 169/2002 poz. 1386

Dotyczą one przede wszystkim ubocznych materiałów z hutnictwa stali oraz z energetyki. Pozostałe uboczne produkty przemysłowe - UPP przydatne w konstrukcjach drogowych nie są znormalizowane. Także stan normalizacji europejskiej dot. wykorzystania UPP nie jest zadowalający. Obecnie trwają prace w grupie roboczej CEN TC227 nad ustanowieniem norm drogowych z zakresu stosowania materiałów odpadowych. W IBDiM prowadzi się działania mające na celu wdrożenie norm EN w Polsce z zakresu drogownictwa. W tych pracach przewidziano konieczność opracowania krajowych aneksów do norm EN w celu wprowadzenia polskich doświadczeń dostosowanych do specyfiki lokalnych materiałów odpadowych i uwarunkowań klimatycznych.

Potencjalnie dużą grupą dokumentów normalizacyjnych stanowią aprobaty techniczne. Zgodnie z Ustawą dotyczącą aprobat technicznych [3] uzyskanie aprobaty technicznej jest wymagane dla wszystkich materiałów budowlanych i prefabrykatów, dla których nie ustanowiono odpowiedniej polskiej normy PN. Na mocy w/w rozporządzenia jednostką aprobującą w odniesieniu do wyrobów stosowanych w budownictwie komunikacyjnym jest Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Aprobata techniczna określa wymagania użytkowe i techniczne wyrobu. Spełnienie tych wymagań jest niezbędne dla właściwego zaprojektowania i wykonania obiektu budowlanego.

Każdy materiał lub prefabrykat budowlany, w tym również drogowy, przed wprowadzeniem do obrotu powinien być zaopatrzony w jedną z trzech następujących form dokumentów certyfikujących:

- deklarację producenta o zapewnieniu odpowiednich własności wyrobu,
- znak zgodności wyrobu z dokumentem normalizacyjnym, tj. Polską Normą lub aprobatą techniczną; znak zgodności wystawia jednostka certyfikująca,
- znak bezpieczeństwa, potwierdzający, że dany wyrób nie stanowi zagrożenia dla życia, zdrowia, mienia i środowiska; znak bezpieczeństwa wystawia jednostka certyfikująca.

W ostatnich latach coraz większe znaczenie w budownictwie, a w szczególności w budownictwie drogowym, uzyskuje ekologiczny aspekt tej działalności gospodarczej. Prawną bazą tego aspektu jest dynamicznie rozwijający się zbiór przepisów, zwanych w skrócie prawem ekologicznym. Prawie każdy z tych przepisów dotyczy działalności budowlanej, w tym drogowej. W odniesieniu do stosowania odpadów przemysłowych w drogownictwie podstawowe uregulowania wynikają z ustawy Prawo ochrony środowiska [4] i dotyczą:

- gospodarki odpadami oraz obchodzenia się z odpadami niebezpiecznymi [5,6]
- ochrony powietrza [7], gruntów, gleb, upraw rolnych i leśnych [8] oraz wód powierzchniowych i podziemnych [9,10] przed skażeniami pochodzącymi z odpadów,
- ochrony środowiska w działalności inwestycyjnej; na mocy prawa budowlanego [11] oraz ustawy Prawo ochrony środowiska [4] na każdym etapie procesu inwestycyjnego, co dotyczy również inwestycji drogowych, wymagane jest sporządzenie oceny oddziaływania

3 Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 5 sierpnia 1998 r. w sprawie aprobat i kryteriów technicznych oraz jednostkowego stosowania wyrobów budowlanych. Dz.U. 1998 nr 107 poz. 679 wraz ze zmianami

4 Ustawa - Prawo ochrony środowiska" z dnia 27 kwietnia 2001r. Dz. U. Nr 62. poz. 627 wraz ze zmianami

5 Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. Dz. U. Nr 62. poz. 628 wraz ze zmianami

6 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206)

7 Rozporządzenie Ministra ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 12 lutego 1990 r. w sprawie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniami, Dz. U. nr 15/92 poz. 92,

8 Ustawa z dn. 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych, Dz. U. nr 16/95 poz. 78 wraz ze zmianami

9 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. Nr 212, poz. 1799)

10 Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne Dz. U. 2001 nr 115 poz. 1229 wraz ze zmianami

11 Ustawa z dn. 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, Dz. U. nr 89/94 poz. 414, tekst jednolity Dz. U. 2000 nr 106 poz. 1126

na środowisko (OŚ); zakres tej oceny jest ustalony jest w ustawie Prawo ochrony środowiska [4] Rozdział 2 art. 46÷57.

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad zleca kolejno i zatwierdza do stosowania poszczególne działy (zeszyty) "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg" [12,13,14,15,16,17,18], które w sposób wszechstronny ujmują problemy ekologiczne, jakie mogą pojawiać się w drogownictwie.

4. PRZEGLĄD DOŚWIADCZEŃ ZAGRANICZNYCH

Od ponad czterdziestu lat obserwuje się na świecie zainteresowanie regionalnym wykorzystywaniem odpadów przemysłowych, przy czym w ostatnim dwudziestolecu zagadnienie to nabiera coraz większej ostrości z uwagi na:

- rozwój przemysłu, powodujący przyrosty materiałów odpadowych i produktów ubocznych;
- potrzebę ochrony środowiska, przynaglającą intensyfikację działań w zakresie eliminacji odpadów i ich uzdatniania celem właściwego zagospodarowania;
- wzrost zapotrzebowania na kruszywa i grunty, a więc niezbędność poszukiwania nowych materiałów zastępczych;
- narastające trudności składowania dużych ilości odpadów ze względu na brak terenu;
- kryzys energii i deficyt materiałów tradycyjnych, narzucający badania wszystkich możliwych źródeł, łącznie z wykorzystaniem materiałów odpadowych zgromadzonych na hałdach lub z bieżącej produkcji, bądź pozyskiwanych na budowach metodą recyklingu, to jest ponownego wbudowywania materiałów otrzymywanych z odzysku.

Te sprzężenia spowodowały, że w większości krajów zajęto się licznymi, nieraz nawet ignorowanymi odpadami. Podjęto systematyczne poszukiwania dla znalezienia nowych metod waloryzacji odpadów, w szczególności w robotach drogowych.

Już obecnie w krajach Zachodniej Europy i w USA prace badawcze i wdrożeniowe dotyczą utylizacji kilkudziesięciu rodzajów odpadów przemysłowych i komunalnych z zastosowaniem różnych technologii i zabezpieczeń przed ujemnymi wpływami na środowisko naturalne.

Zaostrzenia w ostatnich latach wymagań ekologicznych spowodowały spadek utylizacji odpadów uciążliwych i szkodliwych, jak np. smoły, mączki azbestowej, siarki, keku, a dla innych odpadów stosowanych od dawna (popioły, żużle) wprowadza się odpowiednie zabezpieczenia ochronne przed zanieczyszczeniem terenu i wód gruntowych.

Wzrastają wymagania techniczne i ekologiczne w zakresie wytwarzania odpadów. Producenci zajmują się więcej odpadami niż robili to dotychczas. Wprowadzają modyfikację procesów obróbki oraz uwzględniają segregowanie, ulepszanie i składowanie zapewniające otrzymywania odpadów bardziej odpowiadających wymaganiom użytkowników.

Stosowanie odpadów i produktów ubocznych urosło do problemu światowego. Z tego względu organizowane są liczne konferencje międzynarodowe.

Największe zainteresowanie w drogownictwie znajdują odpady lub produkty uboczne występujące w dużych ilościach, mogące mieć zastosowanie jako zastępcze materiały do budowy nasypów oraz podbudów drogowych. W mniejszych ilościach stosowane są odpady

12 Część ogólna (Dział 00) "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg", Transprojekt-Warszawa, 1984

13 Ochrona przed hałasem drogowym, Dział 01 "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg", Transprojekt-Warszawa, 1984

14 Ochrona przed drogowymi zanieczyszczeniami środowiska, Dział 02 "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg", Transprojekt-Warszawa, 1984

15 Kształtowanie terenów zieleni w otoczeniu dróg, Dział 03 "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg", Transprojekt-Warszawa, 1984

16 Ochrona środowiska w budowie dróg, Dział 04 "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg", Transprojekt-Warszawa, 1993

17 Ochrona wód w otoczeniu dróg, Dział 07 "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg", Transprojekt-Warszawa, 1992

18 Ochrona środowiska w utrzymaniu dróg, Dział 09 "Zasad ochrony środowiska w projektowaniu, budowie i utrzymaniu dróg", Transprojekt-Warszawa, 1993

po uzdatnieniu jako dodatki w technologiach nawierzchniowych. Zestawienie materiałów odpadowych, stosowanych w drogownictwie amerykańskim na podstawie publikacji [19] przedstawia tablica 1, w której wyróżniono 15 rodzajów różnych odpadów stosowanych lub mogących mieć zastosowanie w drogownictwie do nawierzchni asfaltowych, nawierzchni betonowych, do podbudów, nasypów i innych robót drogowych.

Z tablicy tej wynika, że w większości przypadków uwzględniane jest prowadzenie dalszych badań i eksperymentów.

**Tablica 1. Zestawienie materiałów odpadowych stosowanych w drogownictwie
w Stanach Zjednoczonych**

Materiał odpadowy		Roczna ilość w mln ton		Zastosowanie w drogownictwie w przyszłości i obecnie, w:				
		produ- kowa- nych	stosowa- nych	nawierzchniach asfaltowych	nawierzchniach betonowych	podbudowach	nasypach	innych robotach
Żużel wielkopiecowy		?	14,1	kruszywo w warstwie wiążącej i ścieralnej; badania wykazują dobrą jakość	dodatek cementujący w formie granulowanej - dalsze badania w toku	kruszywo (dobre, twarde, wytrzymałe)	w ograniczo- nym zakresie	badania nad stosowaniem w betonie wałowanym; stosowanie kruszywa do uszorstnienia oblodzonych nawierzchni i ubitego śniegu
Włókna odpadowe z dywanów		2	?	badania próbne zastosowania w mieszankach mineralno-asfaltowych wytwarzanych na gorąco i grysowo-mastykowych	badania próbne - brak danych	zastosowanie nie jest znane	zastosowa- nie nie jest znane	zastosowanie nie jest znane
Pro- dukty ubo- czne spala- nia węgla	popiół lotny	45	11	dotychczas stosowany jako wypełniacz; prowadzi się dalsze badania	stosowany w nawierzchniach betonowych; prowadzi się dalsze badania	stosowany do stabilizacji gruntu	stosowany w nasypach wykonywa- nych metodą hydrome- chanizacji oraz w nasypach stałych	stosowany we wszystkich typach betonów cementowych
	popiół lub żużel paleniskowy	16	5	mieszanina popiołowo-żużłowa stosowana jako drobne kruszywo; dane ze stosowań - ograniczone	zastosowanie nie jest znane	zastosowanie nie jest znane	stosowany do podbudowy pomocniczej i w nasypach	stosowany w betonie lekkim oraz jako materiał ścierny
	odpa- dy z odsiar- czania	18	?	zastosowanie nie jest znane	stosowane jako domieszka opóźniająca wiązanie betonu	stosowane z cementem do stabilizacji gruntu	stosowane jako materiał nasypowy	zastosowanie nie jest znane
szkło		12	2,4	stosowane jako kruszywo; prowadzi się dalsze badania	dotychczasowe badania wykazują trudności w stosowaniu	stosowane w podbudowach o strukturze ściślej i otwartej	prowadzi się pewną liczbę badań	ograniczone stosowanie jako podłoża farb oraz zasyпки przepustów
Odpady z kruszenia lub mielenia skał		432	<1%	stosowany; dobre wyniki badań	stosowanie ograniczone	zastosowanie nie jest znane	stosowany	zastosowanie nie jest znane

c.d. Tablicy 1

Odzyskiwane części nawierzchni betonowych	3	?	ograniczone wykorzystywanie; prowadzi się długoterminowe badania	ograniczone wykorzystanie; prowadzi się badania	stosowane	stosowane	stosowane jako narzut kamienny w wodzie
Odzyskiwane nawierzchnie asfaltowe	91	73	różnorodne częste stosowanie	badania próbne	stosowane	stosowane	zastosowanie do zwalczania śliskości zimowej
Odpady asfaltowych płytek dachowych	0,4 ----- zużyte 7,7	<1% ----- zużyte ?	ograniczone zastosowanie; prowadzi się dalsze badania	zastosowanie nie jest znane	zastosowanie nie jest znane	zastosowanie nie jest znane	stosuje się do napraw miejscowych wybojów („łatania dziur”)
Przetworzone zużyte opony	2,3	0,4	stosowane; prowadzi się dalsze intensywne badania	badania próbne	stosowane jako warstwa mrozo-ochronna	stosowane z pewnym powodzeniem; prowadzi się dalsze badania	produkty rynkowe do wykorzystania jako ekrany akustyczne, mury podporowe, formowane słupki i inne drobniejsze zastosowania
Żużel stalowniczy	7,5	6,9	dotychczasowe badania wykazują dobre wyniki stosowania	obszerne badania, niewielkie wykorzystanie	ograniczone zastosowanie	stosowany	zastosowanie do zwalczania śliskości zimowej
Odpady skalne	<95	<1%	stosowane; badania wykazują dobre wyniki stosowania	zastosowanie ograniczone	zastosowanie nie jest znane	zastosowanie nie jest znane	zastosowanie nie jest znane
Popiół powstający ze spalania miejskich śmieci	7,3	<10%	dotychczasowe badania wykazują dobre spełnienie zadań	zastosowanie nie jest znane	stosowany w podbudowach stabilizowanych cementem	stosowany do stabilizacji gruntu	zastosowanie nie jest znane
Tworzywa sztuczne	14,7	0,3	stosowane jako dodatek do lepiszcza	stadium eksperymentalne	zastosowanie nie jest znane	zastosowanie nie jest znane	stosowane jako słupki znaków drogowych i ogrodzeń lub słupki barier ochronnych

Największe ilościowe zastosowanie w drogownictwie USA znajdują żużle wielkopiecowe i stalownicze oraz popioły ze spalania śmieci miejskich. Ponadto dość znaczne zastosowanie znajduje przetłuczone szkło, materiały odzyskiwane z nawierzchni bitumicznych, jak również przetworzone zużyte opony oraz odpadowe tworzywa sztuczne (głównie polipropylen). W większości przypadków dostosowywane są technologie budowy sprawdzane na odcinkach próbnym, poddawanych wieloletnim obserwacjom i badaniom. Na uwagę zasługują nowe odpady, powstające z odsiarczania spalin, które znajdują już zastosowanie do stabilizacji gruntów na podbudowy i w nasypach drogowych.

W warunkach europejskich [20] odpady i produkty uboczne często stanowią substytut kruszyw naturalnych lub służą jako dodatki, które poprawiają uziarnienie i pewne właściwości

geotechniczne. Podkreśla się przydatność niektórych odpadów i produktów ubocznych dla produkcji kruszyw sztucznych, posiadających właściwości wyższe niż kruszywo naturalne.

W robotach ziemnych zastosowanie odpadów i produktów ubocznych może być masowe z uwagi na to, iż nie wymaga się w tym zakresie robót szczególnych właściwości. Zastosowanie to bywa limitowane ograniczonym zasięgiem wokół źródła odpadów, wynikającym z ekonomiki transportu lub ze względu na lokalne zaostrożenia wymogów ekologicznych.

W regionach, gdzie istnieją zgromadzone duże ilości odpadów (żużle, popioły i inne), świadomie zwiększa się zakres drogowych robót ziemnych w kierunku zwiększenia objętości nasypów, co umożliwia likwidację uciążliwych dla środowiska hałd. Wprowadza się jednocześnie rekultywacyjne obsiewanie skarp trawami z wykorzystaniem np. przefermentowanych komunalnych osadów ściekowych.

Według przytoczonego piśmiennictwa, duże zainteresowanie znajdują takie odpady, jak:

- żużle hutnicze i stalownicze;
- żużle wielkopiecowe granulowane;
- żużle paleniskowe - zarówno ze spalania węgla, jak i ze spalania śmieci;
- żużle powstałe ze spiekania popiołów;
- kruszywa odpadowe powstające przy kruszeniu skał w czasie produkcji tłuczni i grysów;
- kruszywa sztuczne, produkowane z popiołów;
- popioły lotne ze spalania węgla kamiennego, brunatnego oraz ze spalania stałych odpadów komunalnych;
- mieszaniny popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych, w tym popioły ze spalania w złożu fluidalnym;
- przepalone i nieprzepalone łupki kopaliń węglowych;
- piaski poformierskie;
- fosfogipsy (rozdziela się fosfogipsy uwodnione i półwodne);
- odpady drzewne - kora, trociny oraz odpady papiernicze i celulozowe w postaci szlamów;
- opony samochodowe i skrawki gumy z opon samochodowych;
- tworzywa sztuczne odpadowe różnej postaci oraz włókna z tworzyw sztucznych;
- wapno odpadowe pokarbidowe, pyły z cementowni;
- przefermentowane osady komunalne;
- osady porafineryjne;
- szkło tłuczone;
- odzyskiwane części nawierzchni bitumicznych (recykling);
- odzyskiwane części nawierzchni betonowych (recykling);
- odpady z rozbiórek obiektów budowlanych.

Raport Komitetu C-12 PIARC [21] dotyczący lekkich materiałów wypełniających w drogowych robotach ziemnych przedstawia sposoby użycia odpadów jako gruntów antropogenicznych, powstałych w wyniku działalności przemysłowej, charakteryzujących się małą gęstością objętościową $300 \div 1800 \text{ kg/m}^3$, wówczas gdy grunty mineralne charakteryzują się gęstością objętościową $1800 \div 2200 \text{ kg/m}^3$.

Stosowanie lekkich odpadów przemysłowych odpowiednio przygotowanych pozwala na wykonywanie korpusów drogowych na mało nośnym i często bardzo ściśliwym podłożu.

Do tego celu znalazły zastosowanie następujące materiały odpadowe:

21 Lightweight filling materials. Committee Report PIARC C-12, Earthworks Road Congress 1995

- odpady z drewna (ścinki z kory, wióry, trociny),
- popioły lotne z węgla kamiennego, z węgla brunatnego i mieszaniny popiołowo-żużlowe,
- odpady z tworzyw sztucznych formowane w bloki prostopadłościennie,
- zużyte opony samochodowe w postaci ścinków lub opony całe bądź przecinane na połówki,
- żużle różnego rodzaju.

W wielu krajach do mieszanek mineralno-asfaltowych dodawane są pozyskiwane z odpadów cięte włókna tworzyw sztucznych bądź rozdrobniona guma.

W Stanach Zjednoczonych wiele robi się w zakresie wykorzystania odpadów gumowych. Głównym źródłem odpadów gumowych są opony samochodowe. Każdego roku, wraz z rozwojem motoryzacji zwiększa się liczba zużytych opon. Problem ten występuje najostrzej w krajach o największej liczbie pojazdów. Wśród nich przodujące miejsce zajmują Stany Zjednoczone, w których roczny przyrost zużytych opon sięga około 240 milionów sztuk. Tam też prowadzonych jest wiele prac badawczych oraz wdrożeniowych dotyczących nowych technologii wykorzystania tych odpadów.

5. GŁÓWNE RODZAJE ODPADÓW PRZEMYSŁOWYH PRZYDATNYCH W DROGOWNICTWIE

Systematyki ubocznych produktów przemysłowych dokonać można wg działu gospodarki i gałęzi przemysłu, gdzie one powstają. Opracowanie IBDiM [22] podaje następujące rodzaje odpadów wg ich pochodzenia:

Z przemysłu budownictwa i materiałów budowlanych

1. Kruszywo, kamień budowlany i drogowy

- a) odpady eksploatacyjne i przeróbcze w produkcji kruszyw naturalnych: różnorodne zastosowanie, zwłaszcza do budowy nasypów i warstw odcinających oraz na doziarnienie – do stabilizacji mechanicznej gruntów, a także do rekultywacji;
- b) odpady kruszyw łamanych, zastosowanie jak w p. 1a) oraz do utwardzania dróg dojazdowych;
- c) odpady z wydobycia kamieni budowlanych, materiał o zmniejszonej przydatności z powodu nieselektywnego zwałowania oraz dużej zawartości gliny i ilu; przydatne do budowy nasypów lub po segregacji i przeplukaniu do produkcji kruszywa łamanego.

2. Cementownie, wapienniki, zakłady gipsowe

- a) odpady z wydobycia kopaliny, olbrzymie zasoby zwłaszcza w rejonie Gór Świętokrzyskich i na ich obrzeżu, podobnie jak materiały wymienione w p. 1c) o ograniczonej przydatności z powodu nieselektywnego zwałowania; materiały te mogą być przydatne do rekultywacji lub budowy nasypów;
- b) odpady technologiczne powstające w procesie kruszenia i sortowania urobku oraz gruz poremontowy, szamotowy i odpady kotłowe, przydatne do doziarnienia lub po segregacji na tłuczeń, albo do utwardzania dróg dojazdowych.

3. Wyrób betonów

- a) odpady poeksploatacyjne z nadkładu i przewarstwień płonnych z kopalni kruszywa, zastosowanie analogiczne, jak w p. 1a);
- b) odpady przeróbcze, odsiewki piasku – przydatne na warstwy odcinające;
- c) złom betonowy, popiół i żużel paleniskowy ze spalania węgla kamiennego, przydatne do nasypów i utwardzania dróg dojazdowych, a odpowiednio stabilizowane – także na podbudowy.

4. Ceramika i szkło budowlane

- a) odpady eksploatacyjne z nadkładu i warstw płonnych z kopalni surowca; różnorodne zastosowanie zwłaszcza do budowy nasypów, w przypadku selektywnego odkładania piasku, żwiru i pospółek przydatności analogicznie jak w p. 1a);
- b) odpady przeróbcze, glina, piasek, przydatne na nasypy i na warstwy odcinające (piasek);
- c) złom ceramiczny, popiół, żużel paleniskowy ze spalania węgla kamiennego, przydatność analogiczna jak w p. 3c);
- d) stłuczka szklana, nieprzydatna do ponownego przetopienia, znajduje ograniczone zastosowanie do doziarnienia – stabilizacji mechanicznej gruntu.

Z przemysłu wydobywczego

5. Górnictwo węglowe, odpady i surowce wtórne

- a) materiał zwalowy z robót udostępniających częściowo przydatny na nasypu;
- b) łupki przywęglowe z mechanicznej przeróbki węgla przydatne do doziarnienia (stabilizacji mechanicznej gruntów) oraz kruszywo niższej jakości;
- c) produkty odwęglowe z zakładów „Haldex”, przydatne jako substytut kruszywa lekkiego lub do doziarnienia gruntu;
- d) łupki samoczynnie przepalone na zwalach (w tym łupkoryty), przydatne po dodatkowej przeróbce (kruszenie, segregacja – sortowanie) lub na górne warstwy nasypów;
- e) odpady z robót udostępniających i z procesów technologicznych w Zagłębiu Wałbrzyskim w postaci skał dolomitu, kwarcu, skaleni i innych, mogą być przydatne na kruszywo różnej jakości, na górne warstwy nasypów lub do utwardzania dróg dojazdowych.

6. Górnictwo węgla brunatnego

W wyniku nieselektywnego zbierania nadkładów i warstw płonnych materiał o ograniczonej przydatności do ziemnego budownictwa komunikacyjnego, w przypadku glin lub piasków nadający się na nasypy lub warstwy odcinające.

7. Kopalnictwo piasku podsadzowego

Piaski i gliny zwalowe z nadkładu, przydatne do budowy nasypów, dostępne w ograniczonej ilości, gdyż głównie wykorzystywane są do robót rekultywacyjnych.

8. Wydobycie surowców mineralnych

- a) odpady w procesie eksploatacji kwarcu (głównie skały nadkładu) przydatne do produkcji kruszywa (tłuczeń, grysy);
- b) odpady w procesie eksploatacji skalenia – całość wykorzystywana jest na tłuczeń i grys dla celów drogowych i budowlanych;
- c) odpady z eksploatacji łupka chlorytowo-serycytowego, wykorzystywane są po oddzieleniu do uziarnienia 0-0,8 mm jako wypełniacz do mas bitumicznych.

Z przemysłu energetycznego

9. Energetyka zawodowa

- a) popioły z węgla kamiennego (popioły lotne i żużle) przydatne do formowania dolnych i górnych warstw nasypów pod warunkiem ochrony przed nadmiernym zawilgoceniem, a także do mechanicznego wzmocnienia podłoża albo stabilizacji hydraulicznej w przypadku cech aktywnych; mogą być również stosowane jako wypełniacz do mas bitumicznych;
- b) popioły z węgla brunatnego (popioły lotne i żużle) szczególnie przydatne, w przypadku posiadania cech aktywnych są bardzo cennym materiałem do stabilizacji gruntów i kruszywa.

10. Energetyka niezawodowa

Popioły i żużle, głównie paleniskowe ze spalania węgla kamiennego przydatne do budowy środkowych partii nasypów i do doraźnego utwardzania dróg dojazdowych, odpowiednio stabilizowane przydatne także na podbudowy.

Z przemysłu hutniczego

11. Hutnictwo żelaza

- a) żużle wielkopiecowe ze starych zwalów, przydatne na nasypy, lub po segregacji jako substytut kruszywa do mas bitumicznych;
- b) żużle hutnictwa stali, ograniczony zakres stosowania z powodu zasadowego odczynu, co stanowi duże obciążenie dla środowiska; w warunkach atmosferycznych ulegają hydratacji, wykorzystywane głównie jako substytut kruszywa, a żużle z żelazostopów także do mas bitumicznych;
- c) żużel granulowany, znakomity materiał jako substytut kruszywa, a także spoiwo na warstwy podbudowy górnej i dolnej.
- d) piaski po-formierskie

12. Hutnictwo metali nieżelaznych

- a) żużel szybowy, doskonały materiał zwłaszcza na kruszywa (grys, tłuczeń, kliniec), obecnie w tym kierunku wykorzystywany jest przez Przedsiębiorstwo Eksploatacji Kruszyw;
- b) leizny z żużla (przydatne na różne kształtowniki) zastępują kamień drogowy;
- c) odpady górnicze z wydobycia i flotacji rud cynkowo-ołowianych (dolomit, piaskowiec, wapień, łowiec) wykorzystywane jako kruszywo lub kamień, sortowane i niesortowane; frakcje drobne dolomitu wykorzystywane są jako mączka – wypełniacz do mas bitumicznych;
- d) żużel z pieców przewalowych hut cynkowo-ołowianych powszechnie jest wykorzystywany przez PKP
- e) piaski po-formierskie

13. Materiały ogniotrwałe

Odpady powstałe przy eksploatacji i przeróbce mechanicznej surowców ogniotrwałych, zwłaszcza dolomity wykorzystywane są jako kamień drogowy i wypełniacz do mas bitumicznych.

14. Hutnictwo szkła

Odpady z produkcji piasków szklarskich, przydatne do doziarnienia – stabilizacji mechanicznej gruntu, na warstwy odcinające i na nasypy.

Z przemysłu chemicznego

15. Chemia nieorganiczna

- a) odpady poflotacyjne siarki „kek”, przydatne do produkcji kekobetonu oraz do mas bitumicznych;
- b) polimery siarki,
- c) odpady przy przeróbce fosfogipsów, mogą być stosowane do budowy nasypów w niewielkim udziale z powodu właściwości pęczniejących.

16. Chemia organiczna - petrochemia

Z powyższego podziału na uwagę zasługują materiały występujące masowo, sprawdzone w praktyce inżynierskiej, stanowiące cenny materiał zastępczy dla surowców tradycyjnych. Intencją opracowania jest ocena wybranych materiałów, tych, które są dość dobrze znane i wymagają tylko badań uzupełniających. Pozostałe odpady wymagają dodatkowych badań laboratoryjnych i wykonania odcinków testowych, co na dzień dzisiejszy wyklucza szersze wykorzystanie tego rodzaju materiałów, ale nie ogranicza. Te materiały mogą być dopuszczane do stosowania na podstawie indywidualnych rozwiązań technicznych oraz Aprobat Technicznych. Wg powyższych założeń można zaproponować należy pięć grup odpadów podzielonych wg gałęzi gospodarki:

1. Odpady hutnicze

- a) Żużel wielkopiecowy granulowany
- b) Żużel wielkopiecowy kawałkowy
- c) Żużel stalowniczy
- d) Żużle metali kolorowych

2. Odpady górnicze

- a) Łupek przywęglowy nieprzepalony
- b) Łupek przywęglowy przepalony
- c) Skąła rozdrobniona z hałd

3. Odpady budowlane

- a) Kruszywo z recyklingu betonu
- b) Kruszywo z gruzu budowlanego (betony niższych marek, cegła)

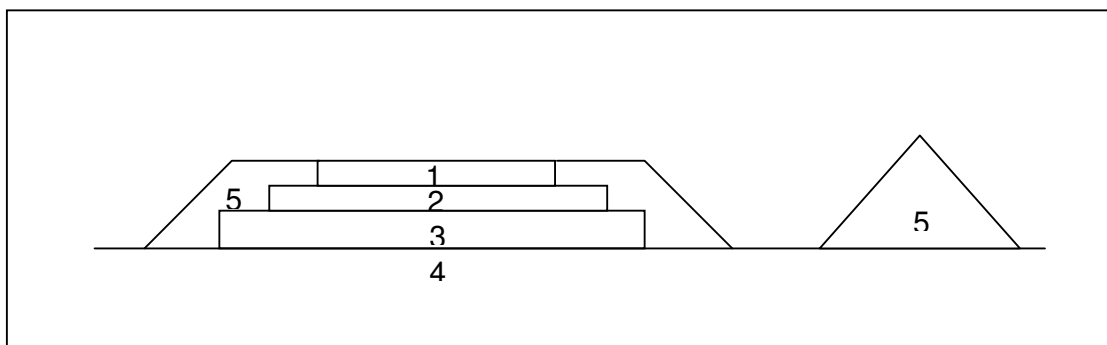
4. Odpady elektrowniane i ciepłownicze

- a) Popioły lotne i mieszaniny popiołowo żużłowe z węgla kamiennego i brunatnego
- b) Popioły i żużle ze spalania węgla w złożu fluidalnym
- c) Popioły i żużle zawierające produkty z odsiarczania spalin

5. Odpady chemiczne

- a) *Guma*
- b) *Osady porafineryjne przetworzone wapnem palonym*

Na podstawie przeprowadzonych analiz oraz badań dla każdej grupy odpadów przedstawionych w załącznikach dokonano następującego podziału pod względem rodzaju odpadu i jego lokalizacji w konstrukcji drogowej co przedstawiono na rys.1 i tablicy 2.



Rys. 1 - Schemat konstrukcji drogowej

1. warstwa ścieralna
2. warstwa wiążąca
3. podbudowa
4. podłoże (w tym podłoże ulepszone)
5. skarpy, nasypy, niwelacja terenu

Tablica 2 – Wykorzystanie ubocznych produktów przemysłowych w konstrukcjach drogowych

Rodzaj ubocznego produktu przemysłowego	Potencjalne wykorzystanie materiału w konstrukcjach drogowych				
	Warstwa ścieralna	Warstwa wiążąca	Podbudowa	Podłoże (w tym podłoże ulepszone)	Skarpy, nasypy, nawielacja terenu
	1	2	3	4	5
Odpady hutnicze					
<i>Żużel wielkopiecowy granulowany</i>				+	+
<i>Żużel wielkopiecowy kawałkowy</i>	+	+	+		
<i>Żużel stalowniczy</i>	+	+	+		
<i>Żużel z huty miedzi</i>	+	+	+		
<i>Żużel z huty niklu</i>			+	+	+
<i>Żużel z huty cynku i łowiu</i>				+	+
Odpady powęglowe					
<i>Łupek przywęglowy nieprzepalony</i>				+	+
<i>Łupek przywęglowy przepalony</i>			+ ¹⁾	+	+
<i>Skala rozdrobniona z hałd</i>			+ ¹⁾	+	+
Odpady budowlane					
<i>Kruszywo z recyklingu betonu</i>			+	+	+
<i>Kruszywo z gruzu budowlanego (betony niższych marek, tynk, cegła)</i>				+	+
Odpady elektrowniane i ciepłownicze					
<i>Popioły lotne tradycyjne</i>			+	+	+
<i>Mieszaniny popiołowo-żużłowe tradycyjne</i>			+	+	+
<i>Popioły lotne i żużle z fluidalnego spalania</i>			+ ²⁾	+ ²⁾	
<i>Popioły i żużle zawierające produkty odsiarczania spalin</i>			+	+	
Odpady z przemysłu chemicznego					
<i>Osady porafineryjne przetworzone wapnem palonym</i>				+ ²⁾	+ ²⁾
<i>Guma</i>	+ ³⁾	+ ³⁾	+ ³⁾	+	+

¹⁾ dolne warstwy, ²⁾ jako spoiwo lub składnik spoiw, ³⁾ w warstwach asfaltowych

5.1 PRZYKŁADOWE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI Z WYKORZYSTANIEM UBOCZNYCH PRODUKTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Poniżej przedstawione konstrukcje nawierzchni z wykorzystaniem ubocznych produktów przemysłowych opierają się na dotychczasowych charakterystykach materiałowych ustalonych wg Polskich Norm. W ostatnim czasie zostały i są wdrażane dynamicznie nowe normy PN-EN, które odwołują się do nowych metod badawczych. Tak na przykład wprowadzono w 2004 roku nowe normy PN-EN dotyczące kruszyw: PN-EN 13242:2004 [23], PN-EN 13043:2004 [24] oraz PN-EN 13285:sierpień 2004 [25]. Na ukończeniu są także prace nad wprowadzeniem norm popiołowych, a mianowicie: PN-EN 14227-3 [26], EN 14227-4 [27] dotyczących mieszanek zawierających popioły z energetyki.

Nowo wprowadzone normy, to dokumenty typowo klasyfikacyjne, nie podające wymagań jakie powinny spełniać materiały, tylko sposób ich klasyfikacji. Bardzo ważnym krokiem zaproponowanym w nowych normach jest wprowadzenie kruszyw sztucznych oraz kruszyw z recyklingu, czego dotychczas w Polsce nie było. Oznacza to zezwolenie na stosowanie materiałów odpadowych w budownictwie drogowym. Pozwala się więc na traktowanie tych materiałów na równi z materiałami naturalnymi, a szeroki zakres kategorii umożliwia klasyfikację kruszyw zarówno dobrych jak również o słabszych właściwościach. Także normy dopuszczają oznaczenia poza klasowe, o parametrach deklarowanych. To projektant na podstawie klasyfikacji kruszywa dobiera, gdzie dane kruszywo może być zastosowane, ale wiąże się to z następującym problemem.

Nowe normy opierają się na normach badawczych, co oznacza konieczność stosowania nowych metod badawczych. Zatem stan aktualny jest taki, że są nowe normy dotyczące klasyfikacji kruszyw, natomiast brak jest norm podających wymagania. Z uwagi na to, że dotychczasowe wymagania (Specyfikacje) opierały się na starych normach dotyczących badań, wprowadzenie nowej klasyfikacji powoduje, że nie można przełożyć nowej klasyfikacji na nowe wymagania bez wykonania badań porównawczych, czego przykład przedstawiono w cz. II opracowania (badania mrozoodporności kruszywa betonowego). Dotyczy to zwłaszcza materiałów odpadowych. W związku z tym poniżej przedstawione przykładowe konstrukcje zostały opracowane na podstawie analizy danych materiałowych ustalonych wg dotychczasowych norm polskich. Jest to spowodowane tym, aby podane wymagania znalazły odpowiednie przełożenie.

Katalog konstrukcji z użyciem materiałów odpadowych (Ubocznych Produktów Przemysłowych) powinien wypełnić lukę do czasu opracowania Specyfikacji Technicznych opartych na nowej klasyfikacji kruszyw i innych materiałów oraz stanowić może poradnik dla projektantów drogowych.

Przedstawione poniżej konstrukcje nawierzchni są przykładami, zaprojektowanymi na podłożu G1, które powinny być zweryfikowane do założonego ruchu, oraz strefy klimatycznej.

Właściwości oraz sposób zabudowy materiałów przedstawionych w poniższych konstrukcjach powinny odpowiadać Normom, Aprobatom Technicznym lub zapisom w opiniach jednostkowego zastosowania wyrobu budowlanego.

23 PN-EN 13242:2004 Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym

24 PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu

25 EN 13285:2004 Mieszanki niezwiązane – Specyfikacja

26 PN-EN 14227-3 Hydraulically bound mixtures . Specifications - Part 3: Fly ash bound mixtures

27 EN 14227-4 Hydraulically bound mixtures Specifications Part 4: Fly ash for hydraulically bound mixtures

5.1.1 ODPADY BUDOWLANE

Kruszywo z recyklingu betonu

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza Mieszanki stabilizowane mechanicznie KR1÷KR2 lub wyższa w przypadku stabilizacji kruszywa spoiwem	Podbudowa	
Podbudowa pomocnicza Mieszanki stabilizowane mechanicznie KR1÷KR6		
 $E \geq 100 \text{ MPa KR1} \div \text{KR2}$ $E \geq 120 \text{ MPa KR3} \div \text{KR6}$		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające Warstwy mrozochronne i odsączające		Podłoże
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		

Gruz budowlany

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa  $E \geq 100 \text{ MPa KR1} \div \text{KR2}$ $E \geq 120 \text{ MPa KR3} \div \text{KR6}$	
Podbudowa pomocnicza		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające i mrozochronne Materiał niewysadzinowy o $SE \geq 35$		Podłoże
Nasypy warstwy górne Pod warunkiem zabezpieczenia przed wodą		
Nasypy warstwy dolne Wymagana izolacja od wody, stosować należy warstwy odcinające od spodu		

5.1.2 ODPADY POWĘGLOWE

Łupek nie przepalony „czarny”

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa  $E \geq 100 \text{ MPa KR1} \div \text{KR2}$ $E \geq 120 \text{ MPa KR3} \div \text{KR6}$	
Podbudowa pomocnicza		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające		Podłoże
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		
Wymagana izolacja od wody i mrozu, stosować należy warstwy odcinające od spodu oraz zabezpieczenie skarp		

Łupek przepalony ”czerwony”

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa	
Podbudowa pomocnicza Mieszanka stabilizowana mechanicznie dla ruchu KR1÷KR2		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające Warstwy mrozochronne, odsączające		Podłoże
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		

Odpady skaliste – kruszywo ze skały przywęglowej

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa E≥100 MPa KR1÷KR2 E≥120 MPa KR3÷KR6	
Podbudowa pomocnicza Mieszanka stabilizowana mechanicznie dla ruchu KR1÷KR2		
Podłoże ulepszone G1		Podłoże
Warstwy wzmacniające Warstwy mrozochronne, odsączające		
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		

5.1.3 ODPADY ELEKTROWNIANE

Mieszanki popiołowo-żużlowe z węgla kamiennego konwencjonalne

Warstwa ścieralna		
Warstwa wiążąca		

28 PN-S-06103:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego

29 PN-S-96012:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa I ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem

30 PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.

Mieszanki popiołowo-żużlowe z węgla kamiennego i brunatnego zawierające produkty odsiarczania spalin^{*)}

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza Dla ruchu KR1÷KR2 Beton popiołowy R_{42} 5÷8 MPa, R_{42} 2.5÷5 MPa, lub Mieszanka kruszywowo - popiołowo- spoiwowa o R_{28} 6÷9 MPa, R_{28} 2.5÷5 MPa	Podbudowa $E \geq 100$ MPa KR1÷KR2 $E \geq 120$ MPa KR3÷KR6	
Podbudowa pomocnicza Dla ruchu KR3÷KR6 Beton popiołowy R_{42} 5÷8 MPa, R_{42} 2.5÷5 MPa, lub Mieszanka kruszywowo- popiołowo- spoiwowe R_{28} 6÷9 MPa, R_{28} 2.5÷5 MPa		
Podłoże ulepszone G1		Podłoże
Warstwy wzmacniające i mrozochronne		
Beton popiołowy R_{42} 1.5÷3 MPa, lub		
Mieszanka kruszywowo- popiołowo-spoiwowa R_{28} 0.5÷1.5 MPa i R_{28} 1.5÷2.5 MPa, lub		
Mieszanina popiołowo-żużłowa gdy wykazuje właściwości wiązania hydraulicznego		
Nasypy warstwy górne		
Mieszanina popiołowo-żużłowa nie wykazująca pęcznienia ($p < 2\%$ ³¹)		
Nasypy warstwy dolne		
Mieszanina popiołowo-żużłowa nie wykazująca pęcznienia pod warunkiem odizolowania od wody		

^{*)} w przypadku mieszanek niezwiązanych hydraulicznie należy zapewnić brak kontaktu z konstrukcjami betonowymi i stalowymi

Popioły fluidalne z węgla kamiennego i brunatnego

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa  $E \geq 100$ MPa KR1÷KR2 $E \geq 120$ MPa KR3÷KR6	
Podbudowa pomocnicza		
Podłoże ulepszone G1 Jako stabilizator (środek ulepszający) gruntów naturalnych lub popiołów i mieszanin popiołowo –żużłowych konwencjonalnych lub składnik spoiw		Podłoże
Nasypy - warstwy górne Jako stabilizator lub składnik spoiw		
Nasypy - warstwy dolne Jako stabilizator lub składnik spoiw		

³¹ Pęcznienie mierzone bez obciążenia wg metodyki podanej w PN-S-02205:1998

5.1.4 ODPADY CHEMICZNE

Odpady gumowe

Warstwa ścieralna dla ruchu KR1÷KR6 Jako składnik mieszanek mineralno - gumowo- asfaltowych		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca dla ruchu KR1÷KR6 Jako składnik mieszanek mineralno - gumowo- asfaltowych		
Podbudowa zasadnicza dla ruchu KR1÷KR6 Jako składnik mieszanek mineralno -gumowo- asfaltowych	Podbudowa  $E \geq 100 \text{ MPa KR1} \div \text{KR2}$ $E \geq 120 \text{ MPa KR3} \div \text{KR6}$	
Podbudowa pomocnicza		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające		Podłoże
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		

Przetworzone osady porafineryjne wapnem palonym^{*)}

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa	
Podbudowa pomocnicza		
Podłoże ulepszone G1 Jako stabilizator gruntów naturalnych lub popiołów i mieszanin popiołowo –żuźłowych konwencjonalnych		Podłoże
Nasypy warstwy górne Jako stabilizator		
Nasypy warstwy dolne Jako stabilizator		

^{*)} maksymalny dodatek przetworzonego osadu porafineryjnego nie powinien być większy niż 10% w stosunku do masy stabilizowanego gruntu, lub większy w przypadku, gdy badania wymywalności nie wykażą nadmiernej szkodliwości na środowisko zgodnie z odpowiednimi przepisami.

5.1.5 ODPADY HUTNICZE

Kruszywo z żużla wielkopiecowego kawałkowego, stalowniczego, pomiedziowego

Warstwa ścieralna mieszanki mineralno asfaltowe KR1-KR2, kl I, II; gat.1, 2 wg PN-B-11112:1996 ³² KR3÷KR6 kl I; gat. 1 wg wg PN-B-11112:1996 oraz wg ¹⁾		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca mieszanki mineralno asfaltowe KR1-KR2, kl I, II; gat.1, 2 wg PN-B-11112:1996 KR3÷KR6 kl I; gat. 1 wg wg PN-B-11112:1996 oraz wg ¹⁾		
Podbudowa zasadnicza mieszanki mineralno asfaltowe KR1-KR2, kl I, II, III; gat.1, 2 wg PN-B-11112:1996 KR3÷KR6 kl I, II; gat. 1, 2 wg wg PN-B-11112:1996 oraz wg ¹⁾ mieszanki stabilizowane mechanicznie PN-S-06102:1997	Podbudowa  $E \geq 100 \text{ MPa}$ KR1÷KR2 $E \geq 120 \text{ MPa}$ KR3÷KR6	
Podbudowa pomocnicza mieszanki stabilizowane mechanicznie PN-S-06102:1997 ³³		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające, mrozochronne – odsiewki, materiał o słabszych właściwościach mechanicznych, lecz niewysadzinowy o $SE \geq 35$		Podłoże
Nasypy warstwy górne– odsiewki, materiał o słabszych właściwościach mechanicznych		
Nasypy warstwy dolne – odsiewki, materiał o słabszych właściwościach mechanicznych		

¹⁾ PN-88/B-23004 [34] – w przypadku stosowania kruszywa z żużla wielkopiecowego kawałkowego, lub PN-B-11115:1998 [35] w przypadku stosowania kruszywa z żużla stalowniczego oraz Aprobata Techniczne w przypadku stosowania żużla pomiedziowego

32 PN-B-11112:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych

33 PN-S-06102:1997 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie

34 PN-88/B-23004 Kruszywa mineralne. Kruszywa sztuczne. Kruszywo z żużla wielkopiecowego kawałkowego.

35 PN-B-11115:1998 Kruszywa mineralne. Kruszywa sztuczne z żużla stalowniczego do nawierzchni drogowych

Kruszywo z żużla wielopieczowego granulowanego

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza Jako dodatek ulepszający do mieszanek kruszyw stabilizowanych mechanicznie	Podbudowa  $E \geq 100 \text{ MPa KR1+KR2}$ $E \geq 120 \text{ MPa KR3+KR6}$	
Podbudowa pomocnicza Jako dodatek ulepszający do mieszanek kruszyw stabilizowanych mechanicznie		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające, mrozochronne materiał niewysadzinowy o $SE \geq 35$		Podłoże
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		

Kruszywo z żużla poniklowego

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa  $E \geq 100 \text{ MPa KR1} \div \text{KR2}$ $E \geq 120 \text{ MPa KR3} \div \text{KR6}$	
Podbudowa pomocnicza		
Podłoże ulepszone G1 warstwy wzmacniające, mrozochronne, gdy nie pełnią funkcji drenażowej materiał niewysadzinowy o $SE \geq 35$		Podłoże
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		

*) w przypadku mieszanek niezwiązanych hydraulicznie należy zapewnić brak kontaktu z konstrukcjami betonowymi i stalowymi

Kruszywo z żużla połówowego i pocynkowego

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa  $E \geq 100 \text{ MPa KR1} \div \text{KR2}$ $E \geq 120 \text{ MPa KR3} \div \text{KR6}$	
Podbudowa pomocnicza		
Podłoże ulepszone G1 Warstwy wzmacniające, mrozoochronne gdy nie pełnią funkcji drenażowej materiał niewysadzinowy o $SE \geq 35$		Podłoże
Nasypy warstwy górne		
Nasypy warstwy dolne		

*) w przypadku mieszanek niezwiązanych hydraulicznie należy zapewnić brak kontaktu z konstrukcjami betonowymi i stalowymi

6. BADANIE STANU TECHNIKI NA PODSTAWIE POLSKICH OPISÓW ZGŁOSZENIOWYCH I PATENTOWYCH W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH W DROGOWNICTWIE

6.1 TEMAT BADANIA

Tematem badania jest ustalenie stanu techniki do tematu pracy badawczej dotyczącej wykorzystania odpadów przemysłowych w drogownictwie, realizowanej przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie.

6.2 CEL I RODZAJ BADANIA

Celem badania jest ustalenie znanego stanu techniki, dotyczącego wykorzystania odpadów przemysłowych w drogownictwie, na podstawie polskich opisów patentowych i zgłoszeniowych. Wyniki poszukiwań patentowych stanowić będą podstawę do wstępnej oceny zdolności patentowej rozwiązań technicznych, dokonanych w wyniku dalszej realizacji tematu badawczego.

Na podstawie przeprowadzonej w ramach pracy badawczej analizy ustalono, że główne odpady przemysłowe, które mogą być wykorzystywane w budownictwie, to:

- Odpady hutnicze - żużle wielkopiecowe, stalownicze i metali kolorowych
- Odpady górnicze – łupki przywęglowe, skała rozdrobniona z hałd
- Odpady budowlane – kruszywo z recyklingu betonu i z gruzu budowlanego
- Odpady elektrowniane i ciepłownicze – popioły, żużle, mieszanki popiołowo-żużlowe, gips powstający z osiarczania spalin
- Odpady z przemysłu chemicznego – fosfogipsy, osady porafineryjne, guma

6.3 METODA BADANIA

Poszukiwania opisów patentowych związanych z tematem przeprowadzono metodą przedmiotową, w Biuletynach Urzędu Patentowego od 1998 r. do 20 października 2003 r. (ostatni wydany BUP nr 21) i w Wiadomościach Urzędu Patentowego za okres od 1995 r. do października 2003 r. (ostatni wydany WUP nr 10).

Badania patentowe przeprowadzono w następujących klasach Międzynarodowej Klasyfikacji Patentowej B09B, C04B, C09K, C08L, E01C, E01F, E02B, E02D.

6.4 CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH POLSKICH OPISÓW PATENTOWYCH DOT. BADANEGO TEMATU

Polskie patenty, udzielone w okresie od 1995 r. oraz zgłoszenia patentowe, opublikowane w Biuletynach Urzędu Patentowego w okresie od 1998 r. do nr 21 z 2003 r. wymieniono w tabelarycznym zestawieniu, w którym podano skrót opisu, przedstawiający istotę rozwiązania stanowiącego przedmiot zgłoszenia patentowego lub treść głównego zastrzeżenia patentowego.

6.5 OMÓWIENIE REZULTATÓW BADAŃ

Z analizy opisów patentowych wynika, że w Polsce zostały udzielone patenty lub mogą być udzielone patenty na wykorzystanie odpadów przemysłowych do następujących zastosowań:

- Żużel ze stalowni z dodatkiem popiołów – do podbudowy drogi (poz. 1)
- Żużel szybowy pomiedziowy – do podbudowy drogi (poz. 3)
- Żużel gruboziarnisty z przemysłu metali nieżelaznych, łupek przepalonym i żużlik lub gruz budowlany lub żużel mieszany z przemysłu żelaza i stali – do ułożenia kolejnych warstw podłoża gruntowego drogi: warstwy wzmacniającej, mrozoochronnej i filtracyjnej (poz. 20, 21, 22)
- Popioły lotne z elektrofiltrów – jako materiał wiążący po dodaniu cementu i kruszywa granulowanego lub łamanego (poz. 7, 8)
- Popioły lotne – w postaci mieszanek z cementem do wykonywania wałów (poz. 13, 14)
- Popioły lotne z odpadami z mechanicznej obróbki powierzchni metali – do wykonywania drobnowymiarowych elementów nawierzchni drogowej o obniżonej nasiąkliwości (poz. 15)
- Popioły jako odpady przemysłowe
- Odpady przemysłowe, jak żużle, pucolany, popioły lotne, dymy krzemowe w postaci spoiwa – jako składnik mieszanki, zawierającej wapno palone i ewentualnie wodorotlenek glinu, przeznaczonej do stabilizacji gruntów przy budowie nasypów i podbudów drogowych (poz. 17)
- Odpad przemysłowy – z dodatkiem cementu i gruntu rodzimego oraz wodnego roztworu substancji organicznej do wykonywania podbudowy drogi (poz. 23)
- Osad ściekowy, osad wysuszony lub osad z wód powierzchniowych – jako wypełniacz do uszczelniania gruntu (poz. 4)
- Odpady gumowe i fosfogipsy – jako składniki kompozycji, zawierającej tworzywa sztuczne, do wykonywania urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego (poz. 9)
- Guma, w postaci kruszonki z opon – jako składnik kompozycji bitumicznej modyfikowanej polimerami (poz. 2)
- Opony samochodowe – do budowy ścian oporowych, nasypów i innych budowli ziemnych (poz. 16, 24, 27)
- Odpady zaolejone przemysłu rafineryjnego – do stabilizacji podłoża gruntowego i do wytwarzania betonu cementowego (poz. 10, 11)
- Odpady i pierwiastki szkodliwe – do podłoża drogowego (poz. 12)
- Spoiwo siarkowe – do napraw dróg (poz. 26,
- Serwatka – odpad przy produkcji serów – jako środek usuwający oblodzenie dróg (poz. 19)
- Recykling nawierzchni bitumicznej – pokruszony asfalt z dodatkiem kruszywa służy do układania nawierzchni (poz. 5, 6, 16, 18,)
- Odpady tworzyw sztucznych po recyklingu – do wykonywania płyt nawierzchni drogowej, elementów bezpieczeństwa ruchu i wyposażenia dróg (poz. 28, 29, 30)

Badanie zakończono według stanu na dzień 30 października 2003.

Wykaz wybranych polskich patentów i zgłoszeń patentowych przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3 - Wykorzystanie odpadów przemysłowych w drogownictwie. Wykaz
wybranych patentów od 1995 r. i zgłoszeń patentowych od 1997r.

Lp	Nr patentu, zgłoszenia Data zgłoszenia klasyfikacja patentowa	Tytuł wynalazku; uprawniony z patentu,	Istota wynalazku - skrót
1	171642 1992.11.10 C09K 17/00	Kompozycja do podbudowy jezdni na bazie żużla ze stalowni elektrycznej - EUROGRANULATS, Francja	Kompozycja zawiera piasek i/lub żwir sporządzony z żużla ze stalowni z piecem elektrycznym zmieszany z jednym lub kilkoma środkami wiążącymi wybranymi spośród wodnych środków wiążących, lotnych popiołów pucolanowych, pochodnych lotnych popiołów pucolanowych i ich mieszanin i co najmniej jednym środkiem aktywującym i z jednym lub kilkoma środkami wiążącymi/aktywującymi. Wynalazek dotyczy także sposobu wytwarzania kompozycji.
2	175009 1993.12.29 C08L95/00	Sposób wytwarzania kompozycji bitumicznych oraz kompozycja bitumiczna -Kanada	Gumę, zwłaszcza kruszonkę z opon poddaje się obróbce i stosuje się do wytworzenia kompozycji bitumicznej modyfikowanej polimerem.
3	177273 1995.10.24 E01C3/00	Materiał łatwo klinujący się i sposób wykonywania podbudowy drogi z użyciem tego materiału -Dereżyński T.; Jankowski K.; Majchrowski J.; Świdorski M.	Materiał zawiera co najmniej jednokrotnie rozdrobniony żużel szybowy pomiedziowy i materiał ziarnisty nieorganiczny w ilości 1,5 do 45% masy żużla. Sposób polega na tym, że na podłożu rozkłada się co najmniej raz warstwę rozdrobnionego żużla a na tej warstwie rozsypuje się materiał ziarnisty nieorganiczny w ilości 1,5 do 45% masy żużla, po czym uzyskaną warstwę zagęszcza się znanymi metodami.
4	177551 1995.09.18 C09K17/00	Sposób uszczelniania formacji gruntowych -Niemcy	Sposób polega na tym, że na formację gruntową nanosi się mineralną warstwę uszczelniającą z gruntu spoistego i wypełniacza i potem zagęszcza się mechanicznie. Jako wypełniacz stosuje się osad wysuszony, osad ściekowy lub osad z wód powierzchniowych o zawartości suchej substancji co najmniej 70% wag. w ilości 5-15% wag. w stosunku do suchej substancji osadu.
5	178217 1995.06.27 E01C 19/10	Sposób i urządzenie do ciągłego mieszania na zimno materiału wierzchniej warstwy nawierzchni drogowej -Szwecja	Sposób dotyczy ciągłego mieszania wierzchniej warstwy nawierzchni z kruszywem, dostarczonym do lejka samowyladowczego i emulsją bitumiczną

c.d. tablicy 3

6	178342 1995-10-13 E01C 7/18	Sposób regeneracji zużytej warstwy asfaltu nawierzchni drogowej -TARCO VEJ A/S, Dania	Sposób polega na tym, że na części zużytej warstwy asfaltu układa się grys o frakcji gruboziarnistej, po czym po pokruszeniu asfaltu miele się i miesza z nim grys, a po uzyskaniu jednnorodnej mieszaniny kieruje się do ruchomego urządzenia do powtórznego wykorzystania asfaltu.
7	183681 1996.08.14 C04B18/08 P-315729	Sposób wytwarzania materiału wiążącego popiołowo-cementowego z dodatkiem kruszywa łamanego - Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe UTEX Sp. z o.o., Rybnik	Sposób jak wyżej, z tym, że zamiast kruszywa granulowanego dodaje się kruszywo sztuczne w postaci łamanej o wielkości ziarn do 25 mm.
8	183697 1996.08.14 C04B18/08 P-315727	Sposób wytwarzania materiału wiążącego popiołowo-cementowego z dodatkiem kruszywa łamanego - Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe UTEX Sp. z o.o., Rybnik	Sposób polega na tym, że stosuje się 10-90% wag. popiołów lotnych z elektrofiltrów o określonych właściwościach, 3-90% wag. cementu oraz 10-80% wag. kruszywa sztucznego granulowanego o wielkości ziarn do 25 mm. Składniki miesza się z wodą w stosunku 0,2:1-0,8:1.
9	P-306330 główny P-321612 dod. 1997.08.12 C08L 21/00 C08L23/02 C08K3/32	Termoplastyczna kompozycja polimerowa zawierająca odpady gumowe -Instytut Chemii Przemysłowej, Warszawa	Kompozycja, zawierająca odpady gumowe i tworzywa termoplastyczne charakteryzuje się tym, że jako napelniacz stosuje się fosfogips lub mieszanę fosfogipsu z innymi napelniaczami. Kompozycja przeznaczona jest szczególnie na wielkogabarytowe urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego.
10	P-316642 1996.10.21 C04B18/06	Sposób wytwarzania betonu cementowego - Mazowieckie Zakłady Rafineryjne i Petrochemiczne S.A., Płock	Sposób polega na zmieszaniu gorącego lub wystudzonego popiołu z procesu spalania fluidalnego osadów ściekowych pochodzenia rafineryjnego i petrochemicznego z cementem portlandzkim a następnie wprowadzeniu kruszywa, wody i superplastyfikatora. Ilość popiołu wynosi 10-20% masy betonu, kruszywa 60-80% masy betonu, wody 4-12% masy betonu i superplastyfikatora 0,1-0,6%.
11	P-317498 1996.12.14 B09B3/00	Sposób utylizacji odpadów zaolejonych przemysłu rafineryjnego -PETROCHEMIA PŁOCK	Sposób polega na tym, że odpady w ilości 5-50% same lub z dodatkiem wapna miesza się z gruntem i zagęszcza mechanicznie
12	P-319927 1997.05.12 C09K17/00	Zabezpieczenie odpadów i pierwiastków szkodliwych w podłożu dróg przed ich niebezpiecznym działaniem dla środowiska -Bernat Kazimierz, Bytom	Sposób polega na rozluźnieniu zewnętrznej warstwy podłoża, zawierającego odpady i pierwiastki szkodliwe, o grubości do 15 cm z jednoczesnym nawilżeniem tej warstwy preparatem np. Pol Seal, Baltona Magma Seal oraz starannym wymieszaniu tej warstwy, a następnie jej zagęszczeniu i pokryciu nawierzchnią ochronną.

c.d. tablicy 3

13	P-322474 1997.10.06 E02D17/18	Wał, zwłaszcza przeciwpowodziowy -Firma HALLER S.A., Katowice	Ekran uszczelniająco-wzmacniający wału wykonany jest z mieszanki gruboziarnistych ciał stałych, korzystnie o granulacji powyżej 20 mm, popiołów lotnych w ilości 0,2-2,5 masy ciał gruboziarnistych i wody zarobowej w ilości 0,4-1,5 masy popiołów
14	P-322558 1997.10.09 E02B3/12	Wał przeciwpowodziowy z zastosowaniem mieszanki popiołowo-cementowej -EKOTECH Sp. z o.o., Szczecin	Korpus wału stanowi mieszanka popiołowo-cementowa o zawartości 1-5% cementu, którego ilość w tym zakresie jest zmienna w zależności od potrzebnej elastyczności wału.
15	P-324049 1997.12.23 C04B 32/00	Sposób wytwarzania drobnowymiarowych elementów budowlanych o obniżonej nasiąkliwości, zwłaszcza do budowy pieszo-jezdných ciągów komunikacyjnych -Instytut Gospodarki Odpadami, Katowice	Sposób polega na zastosowaniu do odlewania wyrobów mieszanki, zawierającej do 30% cementu, do 50% popiołów lotnych, 10-70% drobnodziarnistych odpadów z mechanicznej obróbki powierzchniowej metali i wodę zarobową.
16	P-324757 1998.02.09 E02D3/12	Materac do wzmacniania podłoża dla posadowienia obiektów budowlanych Rzeźniczak Jerzy, Poznań	Do wzmocnienia podłoża stosuje się kratownicę z prętów i połączonych z nią między sobą opon, które są wstępnie zaciśnięte do złączenia stopek i utrwalone w tym stanie elastyczną taśmą.
17	P-327028 1996.11.27 C09K17/00	Metoda przerabiania ziemi i/lub urobku materiału do nasypu - Francja	Metoda, stosowana do stabilizacji dróg i nasypów, polega na dodaniu do gruntu lub urobku do nasypu mieszaninę wapna gaszonego, wodorotlenku glinu i/lub spoiwa, wybranego z żużli, pucolan, popiołów lotnych i dymów krzemowych.
18	P-327548 1998.07.15 C04B 26/00	Sposób wykonywania półsztywnych warstw z betonu kruszywo-asfalto-cementowego - Politechnika Lubelska	Sposób polega na tym, że beton kruszywo-asfalto-cementowy, służący do budowy warstw półsztywnych uzyskuje się metodą mieszania składników „in situ” poprzez dodawanie zaprawy cementowo-piaskowej w ilości 10-25% wagowo do destruktu najkorzystniej przed frezowaniem, wymieszaniu składników na sucho, dodaniu wody, wymieszaniu na mokro, profilowaniu, zagęszczeniu i spryskaniu warstwy emulsją asfaltową.
19	P-329479 1997.03.19 C09K5/00	Kompozycja usuwająca oblodzenie i sposób zwalczania oblodzenia i śniegu tą kompozycją -USA	Do usuwania oblodzenia i śniegu na drogach i mostach zastosowano kompozycją, zawierającą jako główny składnik serwatkę.

c.d. tablicy 3

20	P-331573 1999.02.20 E01C3/04	Sposób układania warstwy wzmacniającej podłoże gruntowe drogi, warstw mrozoochronnej i filtracyjnej oraz podbudowy drogi z odpadów przemysłowych i gruzu budowlanego -Instytut Gospodarki Odpadami, Katowice	Sposób polega na tym, że na podłożu gruntowym układa się warstwę wzmacniającą z żużla, stanowiącego odpad gruboziarnisty z przemysłu metali nieżelaznych o grubości 20-40 cm, na której układa się warstwę mrozoochronną z przepalonego łupka powęglowego o grubości 20-50 cm, na niej układa się warstwę filtracyjną z żużlika z pieców szybowych z przemysłu metali nieżelaznych o grubości co najwyżej 30 cm a warstwę podbudowy układa się z gruzu budowlanego, wielofrakcyjnego o grubości co najmniej 22 cm.
21	P-331574 1999.02.20 E01C3/04	Sposób układania warstwy wzmacniającej podłoże gruntowe drogi, warstw mrozoochronnej i filtracyjnej oraz podbudowy drogi z odpadów przemysłowych i gruzu budowlanego frakcjonowanego -Instytut Gospodarki Odpadami, Katowice	Sposób polega na tym, że na podłożu gruntowym układa się warstwę wzmacniającą z żużla, stanowiącego odpad gruboziarnisty z przemysłu metali nieżelaznych o grubości 20-40 cm, na której układa się warstwę mrozoochronną z przepalonego łupka powęglowego o grubości 20-50 cm, na niej układa się warstwę filtracyjną z gruzu budowlanego jednofrakcyjnego o grubości do 30 cm, a warstwę podbudowy, o grubości co najmniej 22 cm, układa się z żużlopopiołów stabilizowanych cementem w ilości 4-8%.
22	P-331575 1999.02.20 E01C3/04	Sposób układania warstwy wzmacniającej podłoże gruntowe drogi, warstw mrozoochronnej i filtracyjnej oraz podbudowy drogi z mineralnych surowców odpadowych -Instytut Gospodarki Odpadami, Katowice	Sposób polega na tym, że na podłożu gruntowym układa się warstwę wzmacniającą z żużla, stanowiącego odpad gruboziarnisty z przemysłu metali nieżelaznych o grubości 20-40 cm, na której układa się warstwę mrozoochronną z przepalonego łupka powęglowego o grubości 20-50 cm, na niej układa się warstwę filtracyjną z żużlika z pieców kotłowych z energetyki przemysłowej o grubości do 30 cm, a warstwę podbudowy, o grubości co najmniej 22 cm, układa się z żużli mieszanych z przemysłu żelaza i stali.
23	P-332529 1999.04.13 E01C3/00	Podbudowa nawierzchni, zwłaszcza drogowej - Krzyk Antoni, Będzin; Greczkowski Władysław, Bytom; Nowalski Robert, Będzin; Byrska-Moroz Barbara, Katowice; Cesarz Zenon, Świętochłowice	Podbudowa w postaci jednorodnej i jednowarstwowej masy stabilizującej, której bazą jest grunt rodzimy i/lub odpady przemysłowe z dodatkiem cementu portlandzkiego lub hutniczego w stanie suchym charakteryzuje się tym, że masa jest wzbogacona wodnym roztworem substancji organicznej uplastyczniająco-wiążącej na bazie produktów naturalnych o pH równym 1,0.
24	P-336527 1998.04.27 E02D29/02	System ściany oporowej -Austria	Ściana oporowa wykonana jest przy użyciu opon umieszczonych w wielu szeregach Wzmocnienie z opon lub taśm przenośnikowych może być połączone z konstrukcją ściany by polepszyć jej stabilność.

c.d. tablicy 3

25	P-337047 1999.12.06 E01C23/00	Sposób zwiększania sztywności eksploatowanych warstw bitumicznych nawierzchni drogowych -Politechnika Lubelska	Sposób polega na tym, że frezuje się wierzchnią warstwę nawierzchni bitumicznej i destrukta miesza się z zaprawą cementowo-piaskową, w której stosunek cementu do piasku wynosi wagowo 0,5-1,0. Mieszanke uклада się, zagęszcza i pielęgnuje do 24 godz. Na tej podbudowie wykonuje się wierzchnie warstwy nawierzchni.
26	P-339314 2000.03.28 C04B22/14 C04B14/48	Sposób wytwarzania mieszanek na bazie spoiwa siarkowego do napraw dróg -Przedsiębiorstwo Zagraniczne MARBET, Bielsko-Biała	Sposób polega na tym, że siarkę lub polimer siarkowy podgrzewa się do osiągnięcia przez nie stanu płynnego lub półpłynnego, po czym poddaje się je rozpyleniu, przy czym w obszar mgły wprowadza się kruszywo mineralne oraz wypełniacz metaliczny w postaci korzystnie krótkich włókien metalowych na czas całkowitego powleczenia kruszywa mineralnego i wypełniacza metalicznego siarką lub polimerem siarki, po czym schładza się do temperatury otoczenia.
27	P-349478 2001.09.03 E02D3/00	Zbrojenie budowli ziemnej lub wodnej -Cholewa Konrad, Poznań; Roth Michał, Poznań	Zbrojenie nasypów, wałów i innych budowli ziemnych stanowi siatka wykonana ze zużytych opon trwale powiązanych ze sobą łącznikami.
28	P-349655 2001.09.13 E01C5/00	Sześciokątna płyta nawierzchniowa - PRET – Bełchatów Sp.z o.o., Bełchatów	Płyta o konstrukcji opisanej w zgłoszeniu może być wykonana w całości z tworzywa sztucznego, pochodzącego z recyklingu, albo z gumy.
29	W-112502 2001.08.29 E01F9/08	Segment separatora drogowego - Zakłady Gumowe Górnictwa SA, Bytom	Elementy wykonane są z uplastycznionych odpadów PCV, pochodzących z recyklingu
30	W-112512 2001.08.31 E01F9/08	Zespół elementów drogowej wysepki komunikacyjnej -Zakłady Gumowe Górnictwa SA, Bytom	Elementy wykonane są z uplastycznionych odpadów PCV, pochodzących z recyklingu.

Załącznik 1

Odpady hutnicze

1. WSTĘP. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GRUPY ODPADÓW HUTNICZYCH

Odpady pohutnicze, to odpady pochodzące z bezpośredniej produkcji żelaza, stali oraz metali kolorowych.

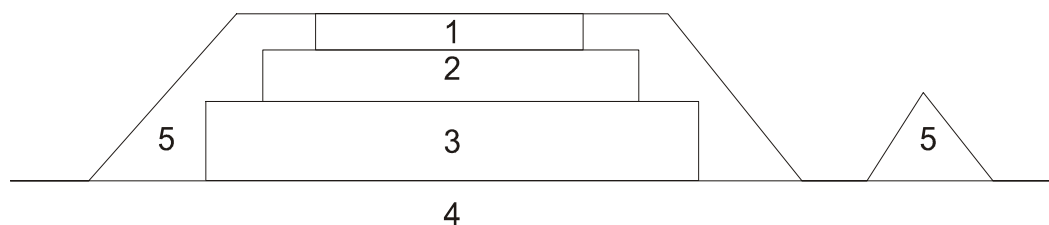
Ogólnie, kruszywa uzyskane z tych odpadów pod względem technicznym odpowiadają w mniejszym lub większym stopniu zakresowi właściwości ujętych w normie PN-B-11112:1996 [1], poza stałością objętościową związaną z rozpadami oraz alkalicznym stężeniem jonów wodorowych. Ponadto poszczególne podgrupy odpadów hutniczych charakteryzują się specyficznymi właściwościami, które zostaną ujęte poniżej przy ich identyfikacji technicznej. Dla niektórych podgrup istnieją normy PN.

W zakresie stałości objętościowej wyróżniono badanie rozpadów wg norm PN oraz badanie pęcznienia wg normy PN-EN 1744-1 [2]; to ostatnie dla kontroli odpadów pohutniczych przede wszystkim z produkcji bieżącej.

Stężenie jonów wodorowych to cecha związana przede wszystkim z ekologią, tj. oddziaływaniem na środowisko, ale w przypadkach niektórych zastosowań związanych z ulepszeniem spoiwami hydraulicznymi i lepiszczami.

Charakterystyka odpadów pohutniczych ujęta w poniższych punktach dotyczy czystych żużli i nie dotyczy mieszanek żużli z innymi żużlami lub/i kruszywami naturalnymi oraz nie dotyczy żużli z zanieczyszczonymi innymi składnikami z procesu produkcji w hucie, które w zależności od zastosowań stanowią ograniczenie zastosowań.

Zastosowania dla wszystkich podgrup odpadów pohutniczych odniesiono do wydzielonych elementów konstrukcji drogowej, które przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat konstrukcji drogowej oraz oznaczenia wydzielonych elementów:

- 1 - warstwa ścieralna
- 2 - warstwa wiążąca
- 3 - podbudowa
- 4 - podłoże (w tym podłoże ulepszone)
- 5 - skarpy, nasypy, niwelacja terenu

2. PODZIAŁ GRUPY ODPADÓW HUTNICZYCH NA PODGRUPY

- Żużel wielkopiecowy granulowany,
- Żużel wielkopiecowy kawałkowy,
- Żużel stalowniczy,
- Żużle metali kolorowych.

1 PN-B-11112:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych

2 PN-EN 1744-1 Badania chemicznych właściwości kruszyw. Analiza chemiczna.

2.1. ŻUŻEL WIELKOPIECOWY - KAWAŁKOWY

2.1.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Żużel wielkopiecowy powstaje w procesie wytopu surówki z rudy żelaza i dodatków mineralnych przy wolnym studzeniu.

2.1.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Bazowe charakterystyki odróżniające żużel wielkopiecowy do produkcji kruszyw od właściwości ujętych w normie PN-B-11112:1996 [1] dla kruszyw uzyskanych z surowców mineralnych to:

- Uziarnienie,
- Gęstość nasypowa w stanie utrzęsionym,
- Stałość objętości – rozpady,
- Alkaliczne stężenie jonów wodorowych.

W pewnym stopniu znajduje to odzwierciedlenie w normie PN-88/B-23004 [3] przy określeniu cech gatunkowych zawartych w tablicy 1.

Tablica 1 – wymagane właściwości żużla wielkopiecowego kawałkowego

Lp.	Cecha	Gatunek I	Gatunek II
1	2	3	4
1	Zawartość zanieczyszczeń obcych % (m/m), nie więcej niż	1	2
2	Gęstość objętościowa g/cm ³ , nie więcej niż	2,5	2,5
3	Nasiąkliwość % (m/m), nie więcej niż	6	8
4	Mrozoodporność po 25 cyklach (ubytek masy), % (m/m), nie więcej niż	5	10
5	Rozpad krzemianowy	nie może wykazywać cech rozpadu	nie może wykazywać cech rozpadu
6	Rozpad żelazowy	nie może wykazywać cech rozpadu	nie może wykazywać cech rozpadu
7	Zawartość siarki całkowitej w przeliczeniu na SO ₃ , % (m/m), nie więcej niż	2	4
8	Ścieralność w bębnie Los Angeles, %, nie więcej niż ¹⁾	25	35
¹⁾ Dotyczy wyłącznie kruszyw drogowych			

Należy podkreślić, że procedury badań rozpadów zawarte w normie PN-88/B-23004 [3] są podobne jak w normalizacji europejskiej.

W wyżej wskazanych wymaganiach konieczne jest odniesienie do aktualnie produkowanych żużli wielkopiecowych – kawałkowych, zarówno pod względem identyfikacji jak i cech technicznych:

Należy:

- rozszerzyć badanie ścieralności w bębnie Los Angeles o wskaźnik jednorodności ścierania lub o badanie miażdżenia w związku z zastosowaniem kruszyw z żużla wielkopiecowego kawałkowego do warstw asfaltowych,
- uaktualnić zakres badań i metody badań.

2.1.3. IDENTYFIKACJA HANDLOWA - ASORTYMENT

Wg PN-B-11112:1996 [1] oraz w zależności od potrzeb odbiorcy kruszywa.

2.1.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

- skarpy, nasypy, niwelacja terenu
- podbudowy stabilizowane mechanicznie
- podłoże nawierzchni
- warstwa wiążąca
- warstwa ścieralna

2.1.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO

Kod wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206):

10 02 Odpady z hutnictwa żelaza i stali

10 02 01 Żużle z procesów wytopienia (wielkopiecowe, stalownicze)

Wyciąg wodny:

- badanie niepotrzebne – brak przekroczeń dopuszczalnych wartości
- metale kontrolnie z uwagi na brak oddziaływania
- stężenie jonów wodorowych

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie. Procedurę badania wyciągu wodnego zawartą w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) należy stosować ostrożnie, ponieważ nie odnosi się do kruszyw dla zastosowania w budownictwie drogowym. Uwaga ta odnosi się do wszystkich odpadów hutniczych.

2.1.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

W zależności od jakości kruszyw w pełnym zakresie konstrukcji drogowych.

2.1.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Dopracowanie procedury zawartej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) badania wyciągów wodnych do kruszyw dla zastosowania w budownictwie drogowym.

Kalibracja procedur badania rozpadów wg norm PN z badaniami rozpadów wg normy PN-EN 1744-1 [2], której procedury są podobne w normie PN-63/B-06731 [4]

2.2. ŻUŻEL WIELKOPIECOWY - GRANULOWANY

2.2.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Żużel wielkopiecowy granulowany powstaje w procesie wytopu surówki z rudy żelaza i dodatków mineralnych przy szybkim studzeniu w wodzie.

4 PN-63/B-06731 Żużel wielkopiecowy kawałkowy. Kruszywo budowlane i drogowe. Badania techniczne.

2.2.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Bazowe charakterystyki odróżniające żużel wielkopiecowy - granulowany do produkcji kruszyw od właściwości ujętych w normie PN-B-11112:1996 [1] dla kruszyw uzyskanych z surowców mineralnych to:

- Gęstość nasypowa w stanie utrzęsionym,

Brak normy dla zastosowań w drogownictwie. Wskazywana w normie PN-S- 6102:1998 [5] norma na badanie żużli granulowanych PN-86/B-23006 [6]. Zmienne uziarnienie jest mało istotne dla niektórych zastosowań w drogownictwie. Podstawową charakterystyką dla oceny jednorodności danej produkcji może być gęstość nasypowa w stanie utrzęsionym.

2.2.3. IDENTYFIKACJA HANDLOWA - ASORTYMENT

W zależności od potrzeb; praktycznie 0/5 (0/6,3) mm

2.2.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

- skarpy, nasypy, niwelacja terenu po dostosowaniu lub ulepszeniu
- podbudowy stabilizowane mechanicznie - ulepszenie
- podłoże nawierzchni

2.2.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO

Kod wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206):

10 02 Odpady z hutnictwa żelaza i stali

10 02 01 Żużle z procesów wytapiania (wielkopiecowe, stalownicze)

Wyciąg wodny:

- badanie niepotrzebne – w praktyce brak przekroczeń dopuszczalnych wartości
- brak oddziaływania

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie.

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie. Procedurę badania wyciągu wodnego zawartą w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) należy stosować ostrożnie, ponieważ nie odnosi się do kruszyw dla zastosowania w budownictwie drogowym.

2.2.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

Jak w punkcie 2.2.4.

2.2.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Ustalenie identyfikacji.

5 PN-S- 6102:1998 Drogi samochodowe. Podbudowa z kruszyw stabilizowanych mechanicznie
6 PN-86/B-23006 Kruszywa do betonu lekkiego" nie odnosi się dla zastosowania w drogownictwie

2.3. ŻUŻEL STALOWNICZY

2.3.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Żużel stalowniczy jest produktem ubocznym wytopu stali z surowki żelaza w piecu konwertorowym lub elektrycznym. Rozróżnia się żużel z procesu w piecu:

- konwertorowym LD (Linz-Donawitz) (BOF),
- z łukiem elektrycznym (EAF).

Żużle te pod względem składu chemicznego i właściwości zazwyczaj charakteryzują się określoną zmiennością, która nie ma znaczenia przy masowej produkcji żużla. W przypadku istotnych różnic, spowodowanych zmianą procesu wytopu, żużle powinny być składowane oddzielnie i podlegać identyfikacji i klasyfikacji w zakładowym systemie kontroli jakości. Żużel elektryczny z odlewni i z procesu wytopu stali szlachetnej nie są przedmiotem tego opracowania.

2.3.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Bazowe charakterystyki odróżniające żużel wielkopiecowy do produkcji kruszyw od właściwości ujętych w normie PN-B-11112:1996 [1] dla kruszyw uzyskanych z surowców mineralnych to:

- Jednorodność ścierania,
- Gęstość nasypowa w stanie utrzęsionym,
- Stałość objętości – pęcznienie,
- Alkaliczne stężenie jonów wodorowych.

W pewnym stopniu znajduje to odzwierciedlenie w normie PN-B-11115 [7] przy określeniu cech (nazwanych tutaj) klas zawartych w tablicy 2. W normie brak określić dla surowcowych.

Tablica 2 – wymagania dla żużla stalowniczego

Lp.	Właściwości	Klasa		
		A	B	C ¹⁾
1	2	3	4	5
1	Zawartość zanieczyszczeń obcych, nie więcej niż	1	2	5
2	Zawartość pyłów mineralnych poniżej 0,0063 mm, nie więcej niż	3	5	8
3	Nasiąkliwość, nie więcej niż	3	5	8
4	Mrozoodporność metodą krystalizacji, nie więcej niż	2	5	10
5	Mrozoodporność metodą bezpośrednią, nie więcej niż	10	30	-
6	Zawartość ziarn nieforemnych, nie więcej niż	20	35	50
7	Rozpad wapniowy, nie więcej niż	1	2	3
8	Rozpad żelazowy, nie więcej niż	1	2	3
9	Ścieralność w Bębnie Los Angeles, nie więcej niż	25	35	45
10	Przyczepność bitumów	dobra	dobra	-
Znak „-” oznacza, że właściwości nie normalizuje się.				
¹⁾ Nie zaleca się stosować do bitumicznych warstw nawierzchni				

W wyżej wskazanych wymaganiach konieczne jest odniesienie do aktualnie produkowanych żużli stalownicznych i ich dużej różnorodności.

Należy:

- rozszerzyć badanie ścieralności w bębnie Los Angeles o wskaźnik jednorodności ścierania lub o badanie miażdżenia w związku z zastosowaniem kruszyw z żużla wielkopiecowego kawałkowego do warstw asfaltowych,
- uaktualnić zakres badań i metody badań.

7 PN-B-11115 Kruszywa mineralne. Kruszywa sztuczne z żużla stalowniczego do nawierzchni drogowych

2.3.3 IDENTYFIKACJA HANDLOWA - ASORTYMENT

Wg PN-B-11112:1996 [1] oraz w zależności od potrzeb odbiorcy kruszywa.

2.3.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

W zależności od jakości w pełnym zakresie konstrukcji drogowych.

2.3.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO

Kod wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206):

10 02 Odpady z hutnictwa żelaza i stali

10 02 01 Żużle z procesów wytopienia (wielkopiecowe, stalownicze)

Wyciąg wodny:

- metale kontrolnie z uwagi na brak oddziaływania
- stężenie jonów wodorowych

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie.

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie. Procedurę badania wyciągu wodnego zawartą w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) należy stosować ostrożnie, ponieważ nie odnosi się do kruszyw dla zastosowania w budownictwie drogowym.

2.3.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

W zależności od jakości w pełnym zakresie konstrukcji drogowych.

2.3.7 PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Dopracowanie procedury zawartej w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) badania wyciągów wodnych do kruszyw dla zastosowania w budownictwie drogowym.

Kalibracja badania rozpadów ujętych w normie PN-B-11115 [7] wobec badania stałości objętości wg normy PN-EN 1744-1 [2] dla polskich żużli stalowniczych oraz ustalenie wymagań dla określonych zastosowań i technologii wbudowania.

2.4. ŻUŻLE METALI KOLOROWYCH

2.4.1 ŻUŻEL POMIEDZIOWY

2.4.1.1 DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Żużel pomiedziowy jest ubocznym produktem hutniczym wytopu miedzi z koncentratu miedziowego i ewentualnie złomu kolorowego w procesie fluidalnym, szybowym lub elektrycznym. Z płynnego żużla może być wytwarzany:

- kawałkowy żużel szybowy, w wyniku powolnego ochładzania w dołach, a następnie przetworzenia na ciąg technologiczny,

- szklisty żużel granulowany, w wyniku szybkiego ochłodzenia w wodzie, stosowany w drogach jako mieszanka 0/5 mm bez potrzeby uzdatniania.

Należy podkreślić zasadniczą różnicę pod względem cech technicznych i ekologicznych żużli uzyskanych z produkcji pierwotnej i wtórnej.

2.4.1.2 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Bazowe charakterystyki odróżniające żużel pomiedziowy do produkcji kruszyw od właściwości ujętych w normie PN-B-11112:1996[1] dla kruszyw uzyskanych z surowców mineralnych to:

- Uziarnienie
- Gęstość nasypowa w stanie utrzęzionym
- Stałość objętości – rozpady
- Składniki w wyciągu wodnym wg 2.4.1.5.
- Radioaktywność

2.4.1.3 IDENTYFIKACJA HANDLOWA - ASORTYMENT

Wg PN-B-11112:1996[1] oraz w zależności od potrzeb odbiorcy kruszywa.

2.4.1.4 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

W zależności od jakości w pełnym zakresie konstrukcji drogowych.

2.4.1.5 EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO

Kod wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206):

10 06 Odpady z hutnictwa miedzi

10 06 01 Żużle z produkcji pierwotnej i wtórnej

10 06 80 Żużle szybowe i granulowane

Wyciąg wodny:

- przede wszystkim: Miedź, Ołów, Cynk
- stężenie jonów wodorowych

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie.

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie. Procedurę badania wyciągu wodnego zawartą w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) należy stosować ostrożnie, ponieważ nie odnosi się do kruszyw dla zastosowania w budownictwie drogowym.

2.4.1.6 PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

W zależności od jakości w pełnym zakresie konstrukcji drogowych.

2.4.1.7 PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Składniki wyciągu wodnego oraz radioaktywność w kontekście recyklowalności pod względem wymagań ekologicznych.

2.4.2. ŻUŻEL PONIKLOWY

2.4.2.1 DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Żużel ponikłowy jest ubocznym produktem hutniczym wytopu niklu z odpowiedniego koncentratu. Żużel ponikłowy stanowi kawałkowy żużel otrzymywany w wyniku powolnego ochładzania w dołach, a następnie przetworzenia na ciąg technologiczny.

2.4.2.2 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Pod względem właściwości technicznych odpowiada zakresowi właściwości ujętych w normie PN-B-11112:1996 [1], przy czym należy zwrócić uwagę i dodać następujące:

- Uziarnienie
- Gęstość nasypowa w stanie utrzęsionym
- Stałość objętości – rozpady i pęcznienie
- Składniki w wyciągu wodnym

2.4.2.3 IDENTYFIKACJA HANDLOWA -ASORTYMENT

Wg PN-B-11112:1996 [1] oraz w zależności od potrzeb odbiorcy kruszywa.

2.4.2.4 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

- skarpy, nasypy, niwelacja terenu po dostosowaniu lub ulepszeniu
- podbudowy stabilizowane mechanicznie
- podłoże nawierzchni

2.4.2.5 EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO

Kod odpadu wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206):

10 08 Odpady z hutnictwa pozostałych metali nieżelaznych

10 06 09 inne żużle

Wyciąg wodny:

- metale
- stężenie jonów wodorowych

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie.

Procedura badania wyciągu wodnego wymaga dostosowania do warunków spotykanych w drogownictwie. Procedurę badania wyciągu wodnego zawartą w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) należy stosować ostrożnie, ponieważ nie odnosi się do kruszyw dla zastosowania w budownictwie drogowym.

2.4.2.6 PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

Jak w punkcie 2.4.1.4.

2.4.2.7 PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Składniki wyciągu wodnego w kontekście recyklowalności pod względem wymagań ekologicznych.

Ustalenie wymagań dla określonych zastosowań i technologii wbudowania pod względem technicznym oraz stałości objętości - rozpadów i pęcznienia.

2.4.3 ŻUŻEL POŁOWIOWY I POCYNKOWY

2.4.3.1 DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Żużel połowiowy i pocynkowy są ubocznymi produktami hutniczymi wytopu ołowiu i cynku z odpowiednich tlenków lub koncentratów. Z płynnego żużla może być wytwarzany:

- kawałkowy żużel w wyniku powolnego ochładzania w dołach; również po dodaniu kruszyw kwarcowych przy specjalnych przetopach żużla pocynkowego,
- kruchy żużel (podobny do żużla paleniskowego)

Zakres opracowania nie obejmuje piaskowych lub/i pylastych produktów typu pogalwanowego.

2.4.3.2 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Identyfikacja techniczna tych żużli jest trudna i stanowi specyfikę produkcji ołowiu i cynku. Pod względem właściwości technicznych żużel z produkcji ołowiu i cynku nie odpowiada zakresowi właściwości ujętych w normie PN-B-11112:1996 [1]. Przy formułowaniu właściwości technicznych należy przede wszystkim zwrócić uwagę na:

- Uziarnienie
- Gęstość nasypowa w stanie utręzionym
- Stałość objętości – rozpady, pęcznienie i lasowanie się
- Składniki w wyciągu wodnym
- Stężenie jonów wodorowych

W związku z zakresem zastosowania norma PN-S-02205:1998 [8] pod względem zakresu wymagań, zastosowania wraz z ulepszeniem może stanowić normę bazową.

2.4.3.3 IDENTYFIKACJA HANDLOWA

W zależności od potrzeb.

2.4.3.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

Po dostosowaniu do potrzeb i ulepszeniu:

- nasypy, niwelacja terenu
- pomocnicze podbudowy stabilizowane mechanicznie

2.4.3.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO

Kod wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206):

10 04 Odpady z hutnictwa ołowiu

10 04 01 Żużle z produkcji pierwotnej i wtórnej

10 05 Odpady z hutnictwa cynku

10 05 01 Żużle z produkcji pierwotnej i wtórnej

10 05 80 Żużle granulowane z pieców szybowych oraz żużle z pieców obrotowych

Wyciąg wodny:

- wszystkie metale
- stężenie jonów wodorowych

Badanie wyciągu wodnego wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206)

2.4.3.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

W zależności od jakości kruszyw w zakresie wg punktu 2.4.1.4.

2.4.3.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Dobór sposobów lub technologii ulepszenia.

Trwałość właściwości technicznych i funkcjonalnych w określonych warunkach konstrukcji drogowej.

Ustalenie wymagań dla określonych zastosowań i technologii wbudowania pod względem technicznym.

Składniki wyciągu wodnego w kontekście możliwości recyklowalności pod względem wymagań ekologicznych.

Załącznik 2

Odpady powęglowe

1. WSTĘP.

Wydobyciu węgla kamiennego towarzyszy występowanie dużych ilości odpadów powstających w wyniku prowadzonych prac przygotowawczych (drażenie nowych szybów i chodników) jak również eksploatacyjnych i przeróbczych związanych z pozyskaniem odpowiedniej jakości węgla. Gospodarcze wykorzystanie odpadów górniczych szczególnie w silnie zurbanizowanej aglomeracji śląskiej stanowi ważny problem społeczny ponieważ zakłady górnicze wyczerpały już praktycznie możliwości dalszego lokowania materiałów na hałdach. Obecnie ilość odpadów zgromadzonych na hałdach przekracza znacznie 1,5 miliarda ton a roczny przyrost powoduje zwiększenie ich ilości o dalsze 70÷80 milionów ton.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW Z GÓRNICTWA WĘGLA KAMIENNEGO.

W skład odpadów powęglowych wchodzi różnego rodzaju grunty skaliste i nie skaliste takie jak: łupki ilaste, iłowce, łupki węglowe, piaskowce, żwirowce, mułowce, syderytym sferosyderyty i okruchy węgla kamiennego. Występująca często warstwowa budowa powoduje, że wietrzejące okruchy skalne tworzą płytki i cienkie blaszki.

Podział i klasyfikacja odpadów zależy może od przyjętych kryteriów takich jak sposób ich powstania lub przydatności dla wybranych kierunków ich wykorzystania wynikającej z technicznych właściwości odpadów. W zależności od sposobu powstania odpadów górniczych wyróżniane są dwie grupy:

- odpady pochodzące z robót przygotowawczych i eksploatacji pokładów węgla
- odpady pochodzące z zakładów przeróbczych i wzbogacania węgla

Uwzględniając różny stopień bezpośredniej lub pośredniej przydatności odpadów górniczych (zwanych potocznie łupkami przywęglowymi) oraz sposób i warunki ich wykorzystania w budownictwie drogowym można wydzielić następujące rodzaje odpadów:

- łupki przywęglowe nieprzepalone (surowe) pobrane bezpośrednio z płuczki węglowej
- łupki przywęglowe nieprzepalone składowane co najmniej jeden rok na hałdzie
- łupki odwęglone z wtórnej przeróbki mechanicznej łupka nieprzepalonego świeżego lub składowanego co najmniej jeden rok na hałdzie
- łupki przywęglowe przepalone (czerwone)
- odpady zawierające skaliste i nie skaliste grunty z robót przygotowawczych

2.1 ŁUPKI PRZYWĘGLOWE NIEPRZEPALONE.

Łupki przywęglowe nieprzepalone zwane są potocznie czarnymi. Materiał surowy pobrany bezpośrednio z kopalni charakteryzuje się gruboziarnistym uziarnieniem i różnym przeważnie dużym stopniem podatności na rozkruszenie w warunkach działania wody i mrozu oraz stosowanych procesów technologicznych umożliwiających jego wykorzystanie. Mniejsza lub większa podatność na rozkruszenie łupka zależy głównie od zawartości i rodzaju poszczególnych odmian skalnych występujących w odpadach jak również stopnia zdiagenezowania podstawowego składnika jakim jest iłowiec. W łupkach surowych występuje węgiel (w ilościach dochodzących nawet do 30%) co może wpływać na warunki i sposób wykorzystania odpadów.

Wykorzystanie surowych nieprzetworzonych odpadów gruboziarnistych o cechach jak wyżej w robotach ziemnych jest znacznie utrudnione ponieważ materiał ten bez wypełnienia przestrzeni międzyziarnowych, jest niestabilny (w wyniku postępującej z biegiem czasu destrukcji uziarnienia) oraz podatny na możliwości samozapalenia zawartych w nim okruchów węgla. Łupki przywęglowe przeważnie zwałowane są na składowiskach wspólnie z innymi odpadami górniczymi. W wyniku niekontrolowanego wymieszania łupka surowego z innymi odpadami zawierającymi niejednokrotnie duże fragmenty twardych skał, obudowy

górnictwa, uszkodzonych maszyn i urządzeń materiał może być wykorzystywany selektywnie głównie jako substytut gruntów naturalnych i kruszyw kamiennych.

Postępujący z upływem czasu proces fizycznego wietrzenia grubookruchowego materiału skalnego zgromadzonego na składowisku powoduje jego rozdrobnienie i zawilgocenie co znacznie ułatwia jego zagęszczenie w robotach ziemnych. Postępujące rozdrobnienie odpadów spowodować może nadmierny przyrost drobnych frakcji pyłowo-iłowych i nadanie cech materiałowi wysadzinowego co z kolei może ograniczyć zakres ich wykorzystania w konstrukcjach (lub miejscach) narażonych na działanie wody i mrozu.

2.2 ŁUPKI ODWĘGLANE Z WTÓRNEJ PRZERÓBKİ MECHANICZNEJ ŁUPKA SUROWEGO.

Łupek odwęglony stanowi materiał uzyskany z zakładów przetwórczych. Zastosowany proces wtórnej przeróbki mechanicznej łupka surowego pochodzącego bezpośrednio z płuczki węglowej lub rozbiórki istniejących hałd polega na jego mechanicznym rozdrobnieniu, rozdzieleniu węgla od skały płonnej w hydrocyklonach z cieczą ciężką oraz odwodnieniu i posortowaniu materiału według uziarnienia. Przetworzony materiał na frakcję 0÷45 mm charakteryzuje się jednorodnym ciągłym uziarnieniem oraz zmniejszoną w stosunku do łupka surowego zawartością węgla jak również zmniejszoną ilością najłabszych ziaren podatnych na zmianę uziarnienia w procesie zagęszczania materiału lub działania wody i mrozu co znacznie rozszerza możliwości jego wykorzystania w robotach ziemnych.

Szczególnie korzystnymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi charakteryzuje się materiał uzyskany z rozbiórki i przeróbki przesezonowanych hałd odpadów pogórniczych.

2.3 ŁUPKI PRZYWĘGLOWE PRZEPALONE.

Łupki przywęglowe przepalone zwane potocznie czerwonymi lub łupkoporytami stanowią materiał uzyskany w wyniku przeobrażenia zachodzącego podczas procesu przepalania hałdy. Różnorodność warunków „palenia się” hałdy rzutuje w sposób zasadniczy na jednorodność struktury przepalonego materiału i jego właściwości. Całkowicie przepalony materiał podobny jest z reguły do gruzu z dobrze wypalanej cegły ceramicznej w którym powierzchnia i przełom ziarn posiada jednorodnie ceglaste (czerwone) zabarwienie. Natomiast materiał częściowo przepalony posiada niejednorodne często pstre ubarwienie. Powierzchnia słabo przepalonych ziarn jest przeważnie jasno szara a w ich przełomie występuje materiał w barwie i właściwościach zbliżony do łupku nieprzepalonego.

Przepalony materiał tworzy czasami duże zwarte (spieczone) bryły które powinny być rozkruszone przed jego wykorzystaniem. Dobrze przepalony łupek jest materiałem stosunkowo lekkim i wystarczająco odpornym na działanie wody i mrozu co jest szczególnie ważne przy formowaniu nasypów na gruntach małooszczędnych, podmokłych lub budowy nasypów i warstw ochronnych narażonych na przemarzanie.

2.4 ODPADY Z ROBÓT PRZYGOTOWAWCZYCH.

Do grupy odpadów powęglowych należą również skaliste i nie skaliste grunty wydobywane w czasie prowadzonych robót przygotowawczych i udostępniających złoża węgla kamiennego. Odpady z tej grupy zawierają często duże ilości twardego materiału kamiennego (przeważnie piaskowca). Odpady uzyskane z robót przygotowawczych z reguły składowane są na hałdach wspólnie z łupkami przywęglowymi oraz innymi odpadami produkcyjnymi dlatego najlepszym sposobem ich pozyskania w celu dalszego wykorzystania jest przechwycenie ich z bieżącej produkcji. W zależności od właściwości fizyko-mechanicznych selektywnie pozyskany materiał może być wykorzystany do produkcji

kruszyw do warstw nośnych nawierzchni drogowych lub warstw ochronnych wzmacniających podłoże nawierzchni.

3. CECHY I WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE ODPADÓW NIEPRZEPALONYCH.

Cechy identyfikujące poszczególne odmiany oraz warunki i zakres wykorzystania odpadów powęglowych zależą od wielu czynników a głównie: składu petrograficznego, mineralnego, chemicznego oraz właściwości geotechnicznych (fizyko-mechanicznych)

3.1 SKŁAD PETROGRAFICZNY.

Skład petrograficzny odpadów surowych według K. Skarżyńskiej [1] pochodzących z 25 krajowych kopalni przedstawiono w tablicy 1.

Tablica nr 1 Skład petrograficzny odpadów powęglowych w %

Lp.	Rodzaj skały	Miejsce pochodzenia	
		Zagłębie górnośląskie	Zagłębie lubelskie
1	łłowce	40-98	31-65
2	Mułowce	2-40	34-47
3	Łupki węglowe	2-25	
4	Piaskowce	0-33	16-18
5	Węgiel ¹⁾	3-10	6-8

¹⁾ węgiel oznaczony metodą Sheffield według PN-73/G-04521

3.2 SKŁAD MINERALNY.

Typowe odpady powęglowe zawierają około 50÷70% minerałów ilastych, 20÷30% kwarcu oraz 10÷20% innych minerałów i substancji węglowej. Substancje węglowe występują w większości jako węgiel nieorganiczny.

3.3 SKŁAD CHEMICZNY.

Skład chemiczny może mieć duże znaczenie ze względu na potencjalną możliwość zanieczyszczenia środowiska przez wymywanie z odpadów rozpuszczalnych soli (chlorki i siarczany). W zależności od tego czy odpady posiadają odczyn pH obojętny, zasadowy lub kwaśny mogą one w różny sposób oddziaływać na stosowane wspólnie z nimi inne materiały konstrukcyjne takie jak beton, stal, geosyntetyki. Orientacyjną zawartość składników chemicznych w typowych krajowych odpadach pogórniczych przedstawiono w tablicy numer 2.

1 Skarżyńska K. „odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej” – Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja, Kraków 1997r.

Skarżyńska K. „Wykorzystanie nieprzepalonych odpadów powęglowych w budownictwie drogowym” – Inżynieria morska i geotechnika nr 4/1996r.

Tablica nr 2. Orientacyjny skład chemiczny odpadów powęglowych w %[1].

Składniki	Zawartość w %
SiO ₂	35-60
Al ₂ O ₃	17-28
Fe ₂ O ₃	1,5-5,5
K ₂ O	0,1-5,5 ^{a)}
CaO	0,3-1,8
MgO	0,3-2,1
Na ₂ O	0,01-0,7 ^{b)}
TiO ₂	0,1-1,7
P ₂ O ₅	0,1-0,3
SO ₃	0,04-1,8
Cl ⁻	0,02-0,06
pH	4-7,9

a) K₂O₂

b) Na₂O₃

3.4 WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE.

Do podstawowych cech fizyko-mechanicznych odpadów pogórnich stosowanych jako substytut gruntów naturalnych należą:

- uziarnienie, wg PN-B-04481:1988 [2]
- wskaźnik różnoziarnistości, wg PN-B-04481:1988
- wskaźnik piaskowy wg BN-64/8931-01 [3]
- kapilarność bierna wg PN-B-04493:1988 [4]
- maksymalny ciężar szkieletu gruntowego, wg PN-B-04481:1988
- wilgotność optymalna wg PN-B-04481:1988 [2]
- współczynnik filtracji wg PN-55/B-04492 [5]
- kąt tarcia wewnętrznego, wg PN-B-04481:1988
- spójność, wg PN-B-04481:1988
- straty prażenia wg PN-B-04481:1988
- wskaźnik nośności *CBR* wg PN-S-02205:1998 Załącznik A [6]
- pęczniecie, wg PN-S-02205:1998 Załącznik A

W przypadku odpadów pogórnich stosowanych jako substytut kruszyw kamiennych cechami dodatkowymi są:

- mrozoodporność wg PN-B-06714-19:1978 [7]
- ścieralność PN-79/B-06714/42 [8]

W zależności od warunków wykorzystania odpadów istnieje potrzeba ustalenia zakresu zmian wyżej wymienionych cech materiału pod wpływem zagęszczenia, rozmakania w wodzie oraz działania wody i mrozu.

W przypadku odpadów gruboziarnistych badania laboratoryjne cech fizyko-mechanicznych odpadów gruboziarnistych powinny być przeprowadzone w miarę możliwości i potrzeb z wykorzystaniem aparatury wielkokalibrowej.

2 PN-B-04481 „Grunty budowlane. Badania próbek gruntu”.

3 BN-64/8931-01 „Drogi samochodowe. Oznaczanie wskaźnika piaskowego”.

4 PN-B-04493 „Grunty budowlane. Oznaczanie kapilarności biernej”.

5 PN-55/B-04492 „Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczanie wskaźnika wodoprzepuszczalności”

6 PN-S-02205:1998 Załącznik A „Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania”.

7 PN-B-06714-19:1978 „Oznaczanie mrozoodporności metodą bezpośrednią”

8 PN-79/B-06714/42 „Oznaczanie ścieralności w bębnie Los Angeles”.

Sposób przygotowania próbek do badań laboratoryjnych powinien uwzględniać również możliwość poboru materiału z wcześniej wykonanych poletek doświadczalnych. W celu przeprowadzenia badań materiału częściowo zdegradowanego w wyniku zastosowania typowych warunków załadunku, transportu, wyładunku, formowania warstwy konstrukcyjnej i jej zagęszczenia.

Zestawienie podstawowych właściwości surowych (nieprzepalonych) odpadów powęglowych (według K. Skarżyńskiej [1]) występujących w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym przedstawiono w tablicy numer 3.

Tablica nr 3. Właściwości geotechniczne odpadów powęglowych występujących w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym.

Oznaczenie	Symbol	Miano	Wprost z kopalni	Ze zwałowisk		Z zakładów przerobczych	
				nowych	zleżałych	świeżych	zleżałych
Zawartość frakcji:							
- kamienistej	f_k	(%)	25-66	30-38	4-18	5-13	3-7
- żwirowej	f_z		30-62	43-54	39-61	72-74	66-75
- piaskowej	f_p		2-10	10-15	9-21	10-14	10-17
- pyłowej z ilową	$f_{\Pi+I}$		2-4	3-8	2-30	5-7	10-12
Nazwa wg. PN-86/B-02480			Ż,KR	Ż,Żg	Ż,Żg,Pog	Ż,Ż/Żg	Żg
Wskaźnik różnoziarnistości	U	(-)	4-160	22-170	14-2740	47-54	236-833
Straty masy przy prażeniu	I_z	(%)	17-34	17-29	15-27	17	15
Wilgotność	w	(%)	4-13	4-10	5-19	5-7	7-8
Wilgotność optymalna	w_{opt}	(%)	7-12	9-16	11-19	8-10	10-11
Maksymalny ciężar szkieletu gruntowego	ρ_{dmax}	(kN/m ³)	17-19	16-19	12-20	19-20	18-19
Ciężar objętość szkieletu materiału luźnego	ρ_{do}	(kN/m ³)	12-15	14	12,8-13	14,1-14,6	13,6
Ciężar właściwy	ρ_s	(kN/m ³)	20-26	22-23	21-25	-	24-25
Współczynnik filtracji dla $I_s=0,95$	k	(m/s)	10^{-4} - 10^{-5}	10^{-4} - 10^{-6}	10^{-4} - 10^{-8}	10^{-4} - 10^{-5}	10^{-5} - 10^{-6}
Kąt tarcia wewnętrzznego dla $I_s=0,95$	Φ	(°)	38-47	36-42	30-46	38-40	33-37
Spójność dla $I_s=0,95$	c	(kPa)	4-35	21-33	10-48	29-32	31-50

Przykładowe właściwości wybranych odpadów oraz zachodzących w nich zmianach powstałych w wyniku zagęszczania, rozmakania w wodzie oraz po cyklicznym zamrażaniem i rozmrażaniem materiału (wg badań archiwalnych wykonanych w IBDiM) przedstawiono w tabelach numer 4[9], 5[10], 6[11], 7[12], 8 [10] i 9 [10]. Wykonane badania dotyczą różnych odmian odpadów reprezentujących mniej („miękkie”) lub bardziej odporne („twarde”) na degradację uziarnienia materiały surowe i przepalone.

9 Wileński P. „Ocena Przydatności łupka surowego z KWK Gottwald do budowy Drogowej Trasy Średnicowej GOP” – Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 1986r.

10 Wileński P. „Ocena przydatności łupka przepalonego z haldy KWK Nowy Wirek do budowy Drogowej Trasy Średnicowej GOP” – Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 1986r.

11 Wileński P. „Ocena przydatności łupka surowego odwęglonego z Zakładów Haldex – Michał do budowy Drogowej Trasy Średnicowej GOP” – Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 1986r.

12 Wileński P. „Opinia dotycząca przydatności łupka odwęglonego z zakładów przerobczych Haldex – Szombierki do budowy nasypów oraz warstw nośnych nawierzchni drogowych” – Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 1985r.

Tabela nr 4. Zestawienie wyników badań łupka nieprzepalonego „miękkiego” z płuczki KWK Gottwald [8] przed i po zagęszczeniu oraz rozmakaniu lub cyklach zamrażania i rozmrażania.

Nr próbki	Rodzaj i sposób przygotowania próbki	Procentowa zawartość frakcji				Wskaźnik płaskowy SE	Kapilarność bierna H_{Kb} [m]	Granice konsystencji		Wskaźnik plastyczności
		kamienistej	żwirowej	piaskowej	Pyłowo-łłowej			płynność	plastyczność	
1	Kruszywo w stanie naturalnym	65,3	32,6	1,6	0,5	-	-	-	-	-
2	Kruszywo po 5 dniach moczenia	58,2	37,2	3,8	0,8	-	-	-	-	-
3	Kruszywo po 10 dniach moczenia	17,7	74,1	7,2	1,0	28	0,50	-	-	-
4	Kruszywo po 15 dniach moczenia	5,9	76,3	16,3	1,5	38	0,50	-	-	-
5	Kruszywo po 20 dniach moczenia	3,3	63,7	25,0	8,0	51	0,50	-	-	-
6	Kruszywo po 25 dniach moczenia	3,3	63,5	24,2	9,0	73	0,55	-	-	-
7	Kruszywo po 50 dniach moczenia	2,6	62,0	26,2	9,2	71	0,55	-	-	-
8	Kruszywo 0-40 mm	24,2	70,2	5,4	0,2	-	-	-	-	-
9	Kruszywo 0-40mm po badaniu Proctora	5,0	72,5	23,5	4,0	35	0,46	-	-	-
10	Kruszywo 0-40mm po badaniu Proctora oraz 5 cyklach zamrażania i rozmrażania	2,5	63,5	28,5	8,0	20	0,70	-	-	-
11	Kruszywo 0-40mm po badaniu Proctora oraz 10 cyklach zamrażania i rozmrażania	-	37,1	34,9	28,0	-	-	26,6	13,4	13,2
12	Kruszywo 0-40mm po badaniu Proctora oraz 15 cyklach zamrażania i rozmrażania	-	25,3	45,7	29,0	-	-	25,2	14,1	11,1
13	Kruszywo 0-40mm po badaniu Proctora oraz 20 cyklach zamrażania i rozmrażania	-	24,6	45,4	30,0	-	-	26,0	15,0	11,0
14	Kruszywo 0-40mm po badaniu Proctora oraz 25 cyklach zamrażania i rozmrażania	-	22,0	45,0	33,0	-	-	25,5	14,5	11,0

Tablica nr 7. Zestawienie wyników badania tępka odwęglonego z Zakładów Haldex-Szombierki przed i po zagęszczeniu lub cyklach zamrażania i rozmrażania.

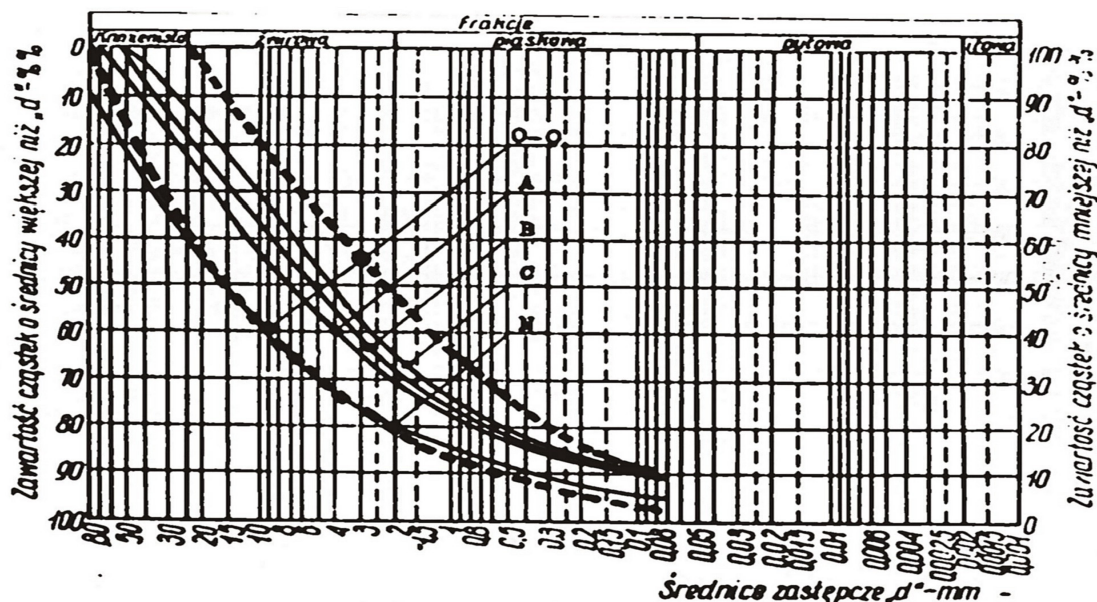
Nr próby	Rodzaj i sposób przygotowania próbki	Procentowa zawartość frakcji				Wskaźnik różnicowości U	Wskaźnik płaskowy SE	Wskaźnik plastyczności L _p	Kapilarność bierna H _{Kb} (m)
		kamienistej	żwirowej	piaskowej	pyłowej				
1	Kruszywo w stanie naturalnym przed zagęszczeniem	30	52	15	2	200	43	<1	<0,5
	Kruszywo po 5-krotnym zagęszczeniu	25	47	18	10	197	33	<1	0,7
	Różnica	-5	-5	+3	+7	-3	-10	-	-
2	Kruszywo od 0 do 25 mm przed zagęszczeniem	-	80	17	3	19	40	<1	<0,5
	Kruszywo od 0 do 25 mm po zagęszczeniu	-	64	24	12	-	32	<1 ^{x/}	0,8
	Różnica	-	-16	+7	+9	-	-8	-	-
3	Kruszywo w stanie naturalnym przed cyklami zamrażania i rozmrażania	30	55	11	4	220	43	<1	<0,5
	Kruszywo po 10 cyklach zamrażania i rozmrażania	20	53	22	5	24	40	<1	<0,5
	Różnica	-10	-2	+11	+1	-196	+3	-	-
	Kruszywo po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania	15	49	28	8	23	39	<1	<0,5
^{x/} dla frakcji <0,5 mm granica płynności 28% a granica plastyczności 19%		-15	-6	+17	+4	-197	-4	-	-

Tablica nr 8. Zestawienie wyników badań łupka przepalonego z KWK Nowy Wirek przed i po zagęszczeniu lub po cyklach zamrażania i rozmrażania.

Nr próby	Rodzaj i sposób przygotowania próbki do badań	Procentowa zawartość frakcji				Wskaźnik różnicowania U	Wskaźnik piaskowy SE	Kapilarność bierna H_{kb} (m)
		kamienistej	żwirowej	piaskowej	pyłowej			
1	Kruszywo w stanie naturalnym przed zagęszczeniem	24,7	61,8	11,0	2,5	19	68	<0,25
2	Kruszywo po 5-krotnym zagęszczeniu	9,2	65,8	20,1	4,9	12	74	<0,25
	Różnica	-15,5	+4,0	+8,9	+2,4	-7	+6	-
3	Kruszywo po 25 dniach moczenia w wodzie	21,4	65,1	11,0	2,5	18	68	0,25
	Różnica (pr. 1 i 3)	+3,3	+3,3	0,0	0,0	-1	0	-
4	Kruszywo po 25 cyklach zamrażania i rozmrażania	17,2	57,3	19,2	6,3	52	60	0,26
	Różnica (pr. 1 i 4)	-7,5	-4,5	+8,2	+3,8	+33	-8	-
5	Kruszywo po 5-krotnym zagęszczeniu oraz 25 cyklach zamrażania i rozmrażania	3,8	70,4	18,3	7,5	36	58	0,27
	Różnica (pr. 1 i 5)	-20,9	+8,6	+7,3	5,0	+17	-10	-

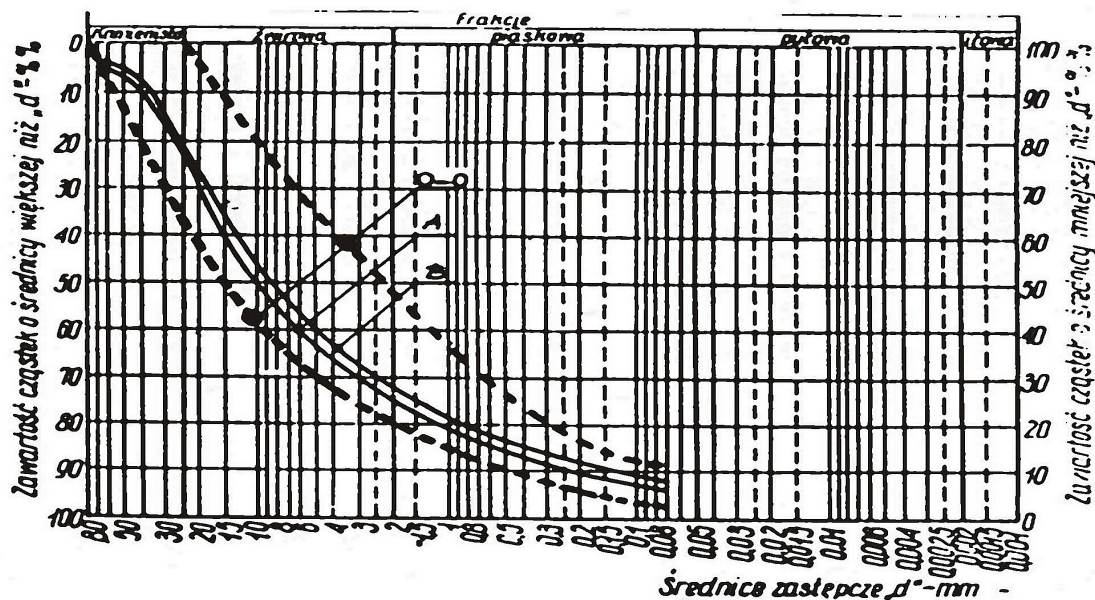
ablica nr 9. Zestawienie wyników badań łupka przepalonego z KWK „NOWY WIREK”

Miejsce pobrania próbki	Rodzaj badanej próbki kruszywa	Sposób przygotowania próbki do badań	Warunki badania próbki w cylindrze CBR						Współczynnik filtracji k_{10}	Wskaźnik płaskowy WP	Kapilarność bierna H_{10}	Mrozo-odporność frakcji > 10 mm strata masy po 25 cyklach z-o	Ścieralność w bębnie Los Angeles		Krzywa uzlatnienia wg rys.	
			Gęstość objęt. szkieletu kruszywa	Wilgotność kruszywa			Wskaźnik CBR przy penetracji						częściowa S_{cz} - 1/5 obrotów	całkowita S_c - 5/5 obrotów	Nr 1	Nr 2
				po zagęszczeniu	po nasyceniu wodą	po cyklach z-o	po 25 mm	po 50 mm								
A)	Kruszywo w stanie naturalnym	bezpośrednio po jednokr. zagęszczeniu po 6 dniach moczenia	1,621	10,0	-	-	82	96	4,4	63,0	68	< 25	38,6	49,8	N	-
		bezpośrednio po zagęszczeniu po 6 dniach moczenia	1,621	10,0	15,0	-	82	96	-	-	74	< 25	-	-	-	-
	Kruszywo po 5-krotnym zagęszczeniu w wielkowmiarowy m aparacie Proctora	bezpośrednio po zagęszczeniu po 6 dniach moczenia	1,729	10,5	-	-	61	81	0,769	11,07	74	< 25	9,55	34,61	A	-
		po 6 dniach moczenia	1,729	10,5	13,8	-	90	118	0,645	9,29	74	< 25	-	-	-	-
		po 25 cyklach z-o	1,729	10,5	-	17,3	96	121	0,597	8,60	60	27	-	-	B	-
Kruszywo pobrane z hałdy Nowy Wirek (próbka A)	Kruszywo po 5-krotnym zagęszczeniu jw. oraz po 25 cyklach z-o	bezpośrednio po zagęszczeniu po 6 dniach moczenia	1,727	11,4	-	-	107	138	0,587	8,45	58	27	-	-	-	-
		po 6 dniach moczenia	1,797	11,4	14,9	-	120	147	0,483	6,96	58	27	-	-	-	-
		po 25 cyklach z-o	1,797	11,4	-	17,5	127	151	0,451	6,49	52	31	-	-	C	-
	Kruszywo częściowo ozdobione w wyniku zagęszcz. podbudowy wałbem wibracyjnym	bezpośrednio po zagęszczeniu po 6 dniach moczenia	1,705	14,4	-	-	75	88	0,460	6,62	71	< 25	10,52	25,24	-	A
		po 25 cyklach z-o	1,705	14,4	16,5	-	79	92	-	-	71	< 25	-	-	-	-
Kruszywo pobrane z podbudowy na odcinku próbnym (próbka B)	Kruszywo po 5-krotnym zagęszczeniu jw. oraz po 25 cyklach z-o	Bezpośrednio po zagęszczeniu po 6 dniach moczenia	1,732	14,5	-	-	76	95	0,392	5,637	61	28	6,30	16,54	-	B
		po 6 dniach moczenia	1,732	14,5	20,1	-	72	94	-	-	61	28	-	-	-	-
		po 25 cyklach z-o	1,732	14,5	15,9	-	87	100	-	-	61	28	-	-	-	-



Rys. 1. Łupek przepalony z KWK „Nowy Wirek” /próbka pobrana z hałdy /

- 0-0 – obszar korzystnego uziarnienia kruszywa łamanego na podbudowę stabilizowaną mechanicznie wg PN-S-06102:1997 [13]
- N – uziarnienie w stanie naturalnym
- A – uziarnienie po 5-krotnym zagęszczeniu
- B – uziarnienie po 25 cyklach zamrażania i odmrażania
- C – uziarnienie po 50 cyklach zamrażania i odmrażania



Rys. 2. Łupek przepalony z KWK „Nowy wirek” /próbka pobrana z podbudowy/

- 0-0 – obszar korzystnego uziarnienia kruszywa łamanego na podbudowę stabilizowaną mechanicznie wg PN-S-06102:1997 [13]
- A – uziarnienie kruszywa po zagęszczeniu walcem wibracyjnym
- B – uziarnienie kruszywa po 25 cyklach zamrażania i odmrażania

4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ.

4.1 NASYPY Z ODPADÓW POGÓRNICZYCH.

Przykładami ostatnich zastosowań odpadów pogórnich są:

- nasyp drogowy na podjeździe do wiaduktu nad torami kolejowymi w Jastrzębiu o wysokości dochodzącej do 17 metrów gdzie zastosowano łupek czarny z KWK Pniówek w ilości 130 tys. m³ (tj. około 250 tys. ton),
- budowa autostrady A-4 w obrębie Chorzowa gdzie do budowy dwupoziomowych skrzyżowań, wjazdów oraz odcinków szlakowych zastosowano 80 tys. m³ (około 150 tys. ton) łupka czerwonego z KWK Makoszowy oraz 160 tys. m³ (około 290 tys. ton) łupka z KWK Zabrze-Biskupice.

Z przytoczonych przykładów wynika, że zastosowanie odpadów pogórnich do budowy nasypów komunikacyjnych stanowi najprostszy sposób wykorzystania dużych ilości odpadów ponieważ roboty ziemne charakteryzują się znaczną materiałochłonnością. Dotyczy to szczególnie budowy dróg głównych i autostrad na terenach silnie zurbanizowanych gdzie zachodzi szczególna potrzeba wykonania wielopoziomowych skrzyżowań z wysokimi nasypami. Ogólnie można stwierdzić, że do budowy nasypów mogą być stosowane wszystkie rodzaje odpadów pod warunkiem odpowiedniego ich wykorzystania. Ogólną oceną przydatności odpadów do wykonania poszczególnych części korpusu (nasypu) drogowego określa norma PN-S-02205:1998 „Roboty ziemne. Wymagania i badania.”

W stosunku do odpadów miękkich podatnych na destrukcję uziarnienia występującą głównie w łupku surowym nie przepalonym lub słabo przepalonym norma dopuszcza ich wykorzystanie w nasypach poniżej strefy przemarzania gruntów i powyżej strefy oddziaływania wód gruntowych i powierzchniowych.

Zgodnie z normą warstwy nasypów powinny być formowane z materiału umożliwiającego w czasie zagęszczania odpowiednie wypełnienie przestrzeni między ziarnowych.

Według w/w normy „bez ograniczeń” mogą być stosowane w nasypach drogowych również odpady „pogórnice twarde” takie jak dobrze przepalone łupki lub odpady zawierające materiał skalny odporny na destrukcję uziarnienia pod wpływem czynników mechanicznych i atmosferycznych.

Duża atrakcyjność „twardych” odpadów pogórnich masowo stosowanych w budownictwie komunikacyjnym do wykonania nasypów przyczyniła się do znacznego wyczerpania ich zasobów aktualnie istnieje więc potrzeba bardziej racjonalnego sposobu ich wykorzystania (np. w dolnych warstwach konstrukcji nawierzchni).

Dotychczasowe doświadczenia lub zrealizowane w pełnej skali technicznej zastosowania odpadów pogórnich „miękkich” (głównie łupków nieprzepalonych lub niedostatecznie przepalonych) do budowy nasypów drogowych wskazują na możliwość znacznie szerszego w stosunku do normy zakresu ich wykorzystania. Poza normowe wykorzystanie odpadów na podstawie dopuszczenia jednostkowego lub aprobaty technicznej wymaga jednak znacznie dokładniejszego rozpoznania ich specyficznych właściwości oraz zakresu zmienności poszczególnych cech materiału w powiązaniu z konkretnymi warunkami geotechnicznymi, budowlanymi i eksploatacyjnymi realizowanego obiektu.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że nie ma podstaw do obaw dotyczących występowania samozapłonu w nasypach formowanych z odpadów odwęglonych (zawierających mniej niż 20% części palnych) o kontrolowanym odpowiednio wysokim zagęszczeniu ($I_s > 0,95$) [14]. Potencjalna przydatność „miękkich” odpadów pogórnich do wykonywania poszczególnych części korpusu drogowego (nasypu) może być określona na podstawie następujących właściwości:

14 Kawalec J. „Odpady górnicze jako materiał konstrukcyjny do budowy dróg i autostrad – korzyści i zagrożenia” – Seminarium: „Kruszywa dla dróg i mostów”, Warszawa 9 października 2003r.

- uziarnienia, wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, granic konsystencji, wskaźnika nośności i pęcznienia, współczynnika filtracji i ich zmienności w procesie zagęszczania lub działania wody i mrozu
- zawartości siarczanów i soli rozpuszczalnych, odczynu pH i zawartości węgla

Ocena liczbowa wartości poszczególnych parametrów uzyskanych z badań jw. powinny być uzależnione od przewidywanego miejsca i sposobu wykorzystania odpadów w konstrukcji nasypu (partie nasypu narażone lub nie narażone na bezpośrednie lub pośrednie oddziaływanie ruchu, wody i mrozu).

Ogólnie można stwierdzić, że materiał rozkruszony w wyniku zagęszczenia oraz ewentualnego działania wody i mrozu powinien spełniać wymagania jak dla gruntów mineralnych stosowanych tradycyjnie do nasypów drogowych.

W praktyce przy ocenie przydatności i sposobu wykorzystania poszczególnych rodzajów odpadów powinny być uwzględnione również warunki poboru i dystrybucji (materiał z hałdy lub bieżącej produkcji), rodzaj materiału (surowy odwęglony lub nie odwęglony względnie przepalony) i jego odmiany (odpady gruboziarniste twarde lub miękkie, jednofrakcyjne lub o ciągłym uziarnieniu) oraz praktyczne możliwości uzyskania potrzebnego zagęszczenia nasypów formowanych z wypełnieniem lub bez wypełnienia przestrzeni międzyziarnowych (zagęszczenie dynamiczne uderowo-wstrząsowe, wibracyjne, statyczne itd.), możliwość i potrzeba wykonania dodatkowych zabezpieczeń w celu ochrony wód gruntowych (drenaż, warstwy odsączające i izolacyjne). Współzależność tak wielu czynników wpływających na efektywność i bezpieczeństwo wykorzystania odpadów przy braku odpowiednich wzorów instrukcji i wytycznych stanowi istotną barierę w racjonalnym gospodarczo poprawnym i technicznie szerokim wykorzystaniu odpadów szczególnie łupku surowego nieprzepalonego. Do czasu opracowania odpowiednich normatywów technicznych, źródłową informację o sposobie i procedurze badań oraz interpretacji wyników stanowi mogą przedstawione w załączniku opracowania wykonane przez IBDiM dla potrzeb budowanej Drogowej Trasy Średnicowej Katowice-Gliwice[15].

4.2 WARSTWY WZMOCNIONEGO PODŁOŻA I PODBUDOWA POMOCNICZA NAWIERZCHNI DROGOWEJ Z ODPADÓW POGÓRNICZYCH.

Dotychczasowe doświadczenia z zastosowaniem odpadów pogórnich wykazują, że wybrane rodzaje odpadów pogórnich zawierające głównie twarde odmiany skał lub dobrze przepalony łupek mogą znaleźć zastosowanie do wykonania warstw wzmocnionego podłoża, warstw mrozoochronnych lub nośnych dolnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Przy ocenie przydatności odpadów do wykonania warstw jw. powinny być ustalone ich właściwości podobnie jak dla materiałów stosowanych do nasypów a ponadto takie cechy jak mrozoodporność, ścieralność lub ewentualnie przydatność do ulepszenia dodatkami spoiwa (głównie cementu lub aktywnych popiołów lotnych) zgodnie z istniejącymi wymaganiami przedmiotowych norm lub wymaganiami projektowymi ustalonymi indywidualnie dla realizowanego obiektu.

W praktyce do wykonania warstw ulepszonego podłoża nawierzchni stosowane były, z dobrym skutkiem, łupki przepalone lub surowe z wtórnej mechanicznej przeróbki (tj. procesu odwęglania) z przesezonowanych hałd przykopalnianych.

Warstwy wzmacniające lub podbudowa pomocnicza nawierzchni wykonywane były w technologii kruszywa stabilizowanego mechanicznie i zawierały odpowiednio przekruszony materiał skalny uzyskany z selekcji odpadów z robót przygotowawczych. Uzyskanie korzystnego ciągłego uziarnienia w warstwach ulepszonego podłoża lub podbudowy formowanej z materiałów zbrylonych (spieczony łupek) lub posiadających niewystarczającą

15 Wileński P. „Warunki zastosowania odpadów z górnictwa węgla kamiennego do budowy nasypów Drogowej Trasy Średnicowej GOP Katowice-Gliwice” maszynopis IBDiM

Wileński P. „Badanie przydatności odpadów pogórnich z hałdy KWK Sośnica do wykorzystania w budownictwie drogowym” maszynopis IBDiM

zawartość części drobnych (łupki odwęglone Haldex) było możliwe dzięki zastosowaniu określonych sposobów formowania i zagęszczania warstw z w/w materiałów. W celu uzyskania wymaganego rozdrobnionego materiału stosowano odpowiednio dobrany zestaw sprzętu (spychacz z lemieszem, frezy mieszające, walec okołkowany, walec wibracyjny, walec gładki) oraz ściśle określone sposoby i warunki jego wykorzystania ustalone na próbnym odcinkach. Źródłowe informacje o sposobie i procedurze badań na próbnym odcinkach oraz interpretacji wyników zawierają opracowania wykonane przez IBDiM dla potrzeb budowanej Drogowej Trasy Średnicowej Katowice-Gliwice [15].

5. OCENA ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA.

Odpady pogórnice zgodnie z aktualnymi przepisami o ochronie środowiska (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.09.2001r w sprawie katalogu odpadów Dziennik Ustaw numer 112 pozycja 1202) zostały sklasyfikowane w grupie o kodzie identyfikacyjnym 01 04 jako odpady z fizycznej i chemicznej przeróbki kopalin.

Poszczególne odmiany i rodzaje odpadów z robót udostępniających, eksploatacyjnych i przerobczych mogą być zaklasyfikowane jako:

- odpady zawierające skruszone skały kod 01 04 08, piaski i iły kod 01 04 09
- odpady powstające przy płukaniu i czyszczeniu kopalin kod 01 04 12
- odpady z flotacyjnego czyszczenia węgla nie zawierające substancji niebezpiecznych kod 01 04 81 lub zawierające substancje niebezpieczne kod 01 04 82

W przypadkach wątpliwych do sklasyfikowania powinny być wykonane badania chemiczne i testy wymywalności szkodliwych substancji chemicznych. Rodzaj szkodliwych zanieczyszczeń chemicznych oraz ich stężenie w odciekach wodnych określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29.11.2002r Dziennik Ustaw numer 212 pozycja 1799 w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Ogólnie można stwierdzić, że odpady przywęglowe ze świeżej produkcji nie wykazują przekroczenia substancji szkodliwych dla środowiska. Zachodzący na składowiskach procesy wietrzenia skał powoduje przejściowe zwiększenie zawartości łatwo rozpuszczalnych soli (chlorków i siarczanów jak również zmiany odczynu pH).

W zależności od intensywności infiltracji wody opadowej, przez materiał zgromadzony, na składowisko maleje w nim z biegiem czasu wymywanie i koncentracja szkodliwych substancji chemicznych mogących powodować zagrożenie dla środowiska.

Według opinii ekologów utylizacja i wykorzystanie odpadów pogórnich w nasypach komunikacyjnych nie stanowi istotnego zagrożenia dla środowiska przy zachowaniu niezbędnych środków ostrożności oraz zastosowaniu w miarę potrzeb odpowiednich zabezpieczeń. Do zabezpieczeń zaliczyć należy przede wszystkim dobre zagęszczenie (ograniczające infiltrację wody opadowej i erozję odpadów oraz możliwość ich samozapalenia) właściwie zaprojektowany drenaż i ewentualne wykonanie w miarę potrzeb szczelnych ekranów lub warstw ochronnych (zmniejszających możliwość wymywania z odpadów szkodliwych substancji chemicznych np. przy zmianach poziomu wód gruntowych).

Właściwie zaprojektowany i wykonany drenaż połączony z systemem powierzchniowego odwodnienia pasa drogowego powinien zapewnić odpowiednie rozcieńczenie odcieków wód drenarskich mogących zawierać śladowe ilości chlorków i siarczanów.

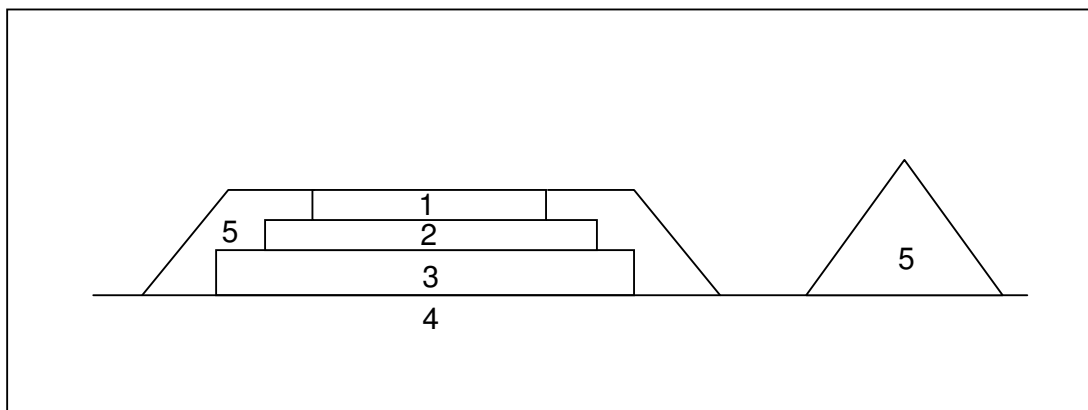
6. POTENCJALNE ZASTOSOWANIE ODPADÓW POGÓRNICZYCH.

Do budowy nasypów mogą być stosowane wszystkie rodzaje odpadów pogórnich pod warunkiem odpowiedniego ich wykorzystania.

Odpady „miękkie” (łupki surowy nieprzepalony lub słabo przepalony) podatne na destrukcję uziarnienia spowodowaną czynnikami atmosferycznymi lub mechanicznymi (zagęszczenie) mogą być wykorzystane w nasypach poniżej strefy przemarzania gruntów i powyżej strefy oddziaływania wód gruntowych i powierzchniowych.

Wybrane rodzaje odpadów pogórnich zawierające twarde odmiany skał lub dobrze przepalony łupek, tzw. odpady „twarde”, mogą znaleźć zastosowanie do warstw wzmocnionego podłoża lub nośnych dolnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Potencjalny zakres wykorzystania odpadów przedstawiono na poniższym schemacie.

Schemat konstrukcji drogowej



1. warstwa ścieralna
2. warstwa wiążąca
3. podbudowa
4. podłoże (w tym podłoże ulepszone)
5. skarpy, nasypy, niwelacja terenu

Rodzaj warstwy drogowej	Możliwe wykorzystanie odpadów pogórnich	
	„twarde”	„miękkie”
warstwa ścieralna	-	-
warstwa wiążąca	-	-
Podbudowa	+	-
podłoże (w tym podłoże ulepszone)	+	-
skarpy, nasypy, niwelacja terenu	+	+

^{*)} dolne warstwy podbudowy

7. PROPOZYCJA PROGRAMU I ZAKRESU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.

W celu określenia możliwości rozszerzenia zakresu i sposobów wykorzystania poszczególnych odmian odpadów pogórnich szczególnie w warstwach konstrukcyjnych nasypów i nawierzchni drogowych narażonych na działanie wody, mrozu i ciężkiego ruchu budowlanego i eksploatacyjnego należy wykonać badania uzupełniające z zastosowaniem odpowiednich „ulepszaczy” poprawiających właściwości odpadów pogórnich. Materiałami „ulepszającymi” wykazującymi z reguły cechy słabych spoiw mogą być np. uboczne produkty spalania węgla z zakładów energetycznych, niektóre odmiany żużla hutniczego oraz stabilizatory chemiczne poprawiające stabilność mechaniczną i warunki zagęszczenia odpadów.

Ze względu na to, że odpady przywęglowe, zwłaszcza łupki nieprzepalone i przepalone należą do materiałów słabych pod względem mechanicznym, zmieniają one swoje właściwości podczas wbudowywania w konstrukcje drogowe. Powstaje w związku z tym pytanie, jakie właściwości w specyfikacjach technicznych powinno się przyjmować dla tego typu materiałów, przed wbudowaniem czy po wbudowaniu? W tym celu przeprowadzić należy badania poligonowe określające zmiany cech geotechnicznych podczas zagęszczania w skali poligonowej na odcinkach doświadczalnych, co zostało przedstawione w cz. II niniejszego opracowania.

8. PROPONOWANA METODYKA BADAŃ KLASYFIKACYJNYCH DLA ODPADÓW Z GÓRNICTWA WĘGLA KAMIENNEGO - PRZYKŁAD

8.1 POCHODZENIE I OPIS PRÓBEK.

Materiał dostarczony do badań pochodzi z przykopalnianej hałdy z KWK Sośnica w Gliwicach aktualnie nieczynnej technicznie. Hałda zawiera materiał (łupek przywęglowy) częściowo przeobrażony w wyniku samoczynnego przepalenia oraz wieloletniego sezonowania odpadów na otwartym powietrzu.

Dostarczone do badań próbki numer 1, 2, 3 i 4 pobrane zostały z części hałdy wytypowanej do eksploatacji dla potrzeb DTŚ. Poszczególne próbki o masie 60 – 100 kg każda zawierają następujący rodzaj materiału:

Próbka Nr 1 zawiera dobrze przepalony gruboziarnisty łupek z charakterystycznym białym nalotem na powierzchni ziaren.

Próbka Nr2 zawiera nieprzepalony łupek czarny o uziarnieniu 0 – 150 mm, frakcja drobna wykazuje cechy gruntu mało spoistego.

Próbki 3 i 4 zawierają gruboziarnisty łupek dobrze przepalony (czerwony), materiał o zbliżonym wyglądzie i uziarnieniu w obydwu próbkach.

9. BADANIA LABORATORYJNE.

9.1 PROGRAM BADAŃ.

W programie badań uwzględniono oznaczenie wszystkich istotnych cech kruszywa z odpadów górniczych niezbędnych dla oceny jego przydatności jako materiału do wykonania:

- nasypów drogowych
- wzmocnienia podłoża
- warstw mrozochronnych

Przy ustaleniu przydatności i zakresu wykorzystania odpadów jw. ocenie podlegały następujące właściwości fizyczne i chemiczne kruszywa:

- uziarnienie, wskaźnik piaskowy, kapilarność bierna, granice płynności i plastyczności i ich zmienność w procesie zagęszczania lub działania wody i mrozu,
- wilgotność optymalna i maksymalna gęstość objętościowa szkieletu kruszywa,
- wskaźnik nośności i pęcznienia,
- ścieralność w bębnie Los Angeles,
- wodoprzepuszczalność,
- nasiąkliwość,
- mrozoodporność,
- kąt tarcia wewnętrznego i spójność,
- straty prażenia,
- zawartość chlorków i siarczanów.

9.2 BADANIE UZIARNIENIA I JEGO ZMIENNOŚCI.

Skład granulometryczny badanego materiału oznaczono na podstawie analizy sitowej wykonanej metodą płukania. Przeprowadzone badania dotyczyły następujących próbek:

- kruszywo w stanie naturalnym (próbka Nr 1, 2, 3 i 4 oraz średnia próbka uzyskana z połączenia próbek Nr 3 i 4),
- kruszywo (próbki Nr 1 i 2 oraz średnia z próbek 3 i 4) o zmodyfikowanym uziarnieniu 0 – 32 mm, w którym frakcje powyżej 32 mm zastąpiono taką samą ilością frakcji 10 – 32mm (wersja kruszywa do badań w_{opt} , p_{ds} , CBR , k_{10} z zastosowaniem standardowego cylindra 152mm),
- kruszywo w stanie naturalnym wg próbki Nr 2 (łupek nieprzepalony) po 5, 10, 20 i 40 dniach moczenia w wodzie,
- kruszywo w stanie naturalnym (próbka Nr 1 i 2 oraz średnia próbka kruszywa Nr 3 i 4) po 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania do -20°C i odmrażania w wodzie $+18^{\circ}\text{C}$,
- kruszywo (próbka Nr 1 i 2 oraz średnia próbka kruszywa Nr 3 i 4) w zmodyfikowanej wersji uziarnienia jak w punkcie b po 5-krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora,
- kruszywo (wg próbki Nr 1 i 2 oraz średnia z próbek Nr 3 i 4) w zmodyfikowanej wersji uziarnienia jak w punkcie b po 5-krotnym zagęszczeniu w oraz 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania do -20°C i odmrażania w wodzie $+18^{\circ}\text{C}$.

Równolegle z badaniami uziarnienia kruszywa wykonano również oznaczenia wskaźnika piaskowego (badania wg PN-EN 933-8 [16]) i kapilarności biernej (badania wg PN-60/B-04493 [17]). Dla próbki Nr 2 (łupek nieprzepalony) wykonano również oznaczenia granic konsystencji gruntu i wskaźnika plastyczności (badanie wg PN-88/B04481[18]). Skład granulometryczny badanych materiałów (procentowa zawartość frakcji kamienistej, żwirowej, piaskowej i pyłowo-iłowej), wskaźnik piaskowy (WP), kapilarność bierną (H_{kb}) oraz granice płynności (w_L) i plastyczności (w_P) oraz wskaźnika plastyczności (W_L) przedstawiono w tablicy 1, 2 i 3. Zmiany uziarnienia kruszywa w wyniku przeprowadzonych badań jak w punktach a, c, d w stosunku do stanu naturalnego przedstawiono na rysunku 1, 2, 3, 4 i 5.

Zmiany uziarnienia kruszywa zmodyfikowanego (0-30mm) w wyniku przeprowadzonych badań jak w punktach b, e, f przedstawiono na rysunku 6, 7 i 8.

Na podstawie przeprowadzonych badań próbek Nr 1, 2, 3 i 4 stwierdzić można:

- materiał w stanie naturalnym (rys.1) zawiera 75 do 90% frakcji kamienisto-żwirowej i tylko 5 do 10% pyłasto-iłowej, można więc zgodnie z PN-86/B-02480 zaliczyć go pod względem uziarnienia do gruntów gruboziarnistych,
- materiał przepalony wg próbek Nr 1 i 3/4 badany w zmiennych warunkach zamrażania i odmrażania podlega stosunkowo niewielkiemu rozkruszeniu. Po 25 cyklach zamrażania kruszywa przyrost frakcji pyłowo-iłowej nie przekracza 8% (rys.2 i 5),
- materiał przepalony nie wykazuje degradacji uziarnienia w warunkach dłuższego (40 dobowego) nasycania wodą próbek,
- materiał nieprzepalony (wg próbki 2) w stosunku do przepalonego wykazuje większą podatność na działanie wody i mrozu. Przyrost frakcji pyłowo-iłowej spowodowany 40 dniowym moczeniem kruszywa w wodzie wynosi 8% (rys. 3), natomiast po 25 cyklach zamrażania zaobserwowano wzrost frakcji pyłowo-iłowej z 4 na 16% (rys.4)

Z przeprowadzonych badań na kruszywie o zmodyfikowanym uziarnieniu (jak w punktach b, e, f) wynika, że łączne działanie zagęszczenia i zmiennych warunków zamrażania i

16 PN-EN 933-8 Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Cz. 8 Ocena zawartości drobnych cząstek. Badanie wskaźnika piaskowego

17 PN-60/B-04493 Grunty budowlane. Oznaczanie kapilarności biernej

18 PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

odmrażania powoduje jakościowo różne zmiany w kruszywie przepalonym i nie przepalonym, a mianowicie:

- materiał przepalony uzyskany z próbek Nr 1 i 3/4 po częściowym rozdrobnieniu (głównie frakcji grubych) w warunkach badań jw. charakteryzuje się korzystną z punktu widzenia stabilizacji mechanicznej krzywą uziarnienia (rys.6 i 8) kruszywo przed i po rozdrobnieniu nie wykazuje cech gruntu spoistego (max. zawartość ziarn $<0,075\text{mm} <13\%$, $WP > 35$)
- materiał surowy nie przepalony (uzyskany z próbki Nr 2) po częściowym rozdrobnieniu w warunkach badań jw. charakteryzuje się wzrostem zawartości frakcji poniżej $0,075\text{mm}$ nawet do 23% (rys.7) oraz możliwością uzyskania niskich wskaźników piaskowych, może być więc zaliczony do gruntów niepewnych ($WP < 35$) lub wysadzinowych ($WP < 25$),
- obydwa rodzaje kruszywa (materiał surowy i przepalony uzyskane z próbek 1, 2, 3 i 4) po częściowym rozdrobnieniu w warunkach jw. charakteryzują się podwyższoną kapilarnością bierną ($H_{kb} > 1,3\text{m}$) nie powinny więc być stosowane w warstwie podłoża nawierzchni drogowych w strefie narażonej na podciąganie wody gruntowej i działania mrozu.

9.3 OZNACZENIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ.

Badanie wilgotności optymalnej oraz maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego wykonano na kruszywie o zmodyfikowanym uziarnieniu $0-32\text{mm}$ (wg p.9.2.b), proces zagęszczenia kruszywa przeprowadzono zgodnie z podstawowymi warunkami PN-88/B-04481 [2] met.II (cylinder o objętości 2300cm^3). Uzyskane wartości z badań przedstawiają się następująco:

- kruszywo z materiału przepalonego (wg próbki 1 i 3/4)
wilgotność optymalna $w_{\text{opt}} = 12,0 - 13,0\%$
maksymalna gęstość objętościowa szkieletu $\rho_{\text{ds}} = 1,71 - 1,75 \text{ g/cm}^3$
- kruszywo z materiału nie przepalonego (wg próbki Nr 2)
wilgotność optymalna $w_{\text{opt}} = 8,3\%$
maksymalna gęstość objętościowa szkieletu $\rho_{\text{ds}} = 1,91 \text{ g/cm}^3$

Biorąc pod uwagę, że do badań zastosowano kruszywa o niepełnym uziarnieniu i stosunkowo dużej nasiąkliwości (punkt 9.6), uzyskane wyniki jw. mają wartość orientacyjną. Przewiduje się, że dla celów praktycznych warunki zagęszczenia (ρ_{ds} i w_{opt}) określone zostaną na polietku doświadczalnym w naturalnych warunkach prowadzonych robót ziemnych.

9.4 OZNACZENIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI.

Badanie kalifornijskiego wskaźnika nośności *CBR* wykonano zachowując podstawowe warunki jak w normie BN-70/8931-05. do badań stosowano kruszywo wg próbek 1, 2 i 3/4 o zmodyfikowanym wg punktu 2.2.b uziarnieniu $0-32 \text{ mm}$ w cylindrze *CBR* $\varnothing = 152\text{mm}$.

Wykonano również badania dla kruszywa zagęszczonego w warunkach w_{opt} i ρ_{ds} z uwzględnieniem różnych sposobów oznaczenia wskaźników *CBR* a mianowicie:

- pomiar bezpośrednio po zagęszczeniu,
- pomiar po 6 dniach nasycania wodą,
- pomiar po częściowym podsuszeniu do wilgotności $w = w_{\text{opt}} - 5\%$ i 6 dniach nasycania próbki w wodzie
- pomiar po 40 dniach nasycania próbki w wodzie
- pomiar po 25 cyklach zamrażania w temperaturze -20°C i odmrażania próbki w wodzie w temperaturze $+18^\circ\text{C}$.

Biorąc pod uwagę wysoką kapilarność bierną ($H_{kb} > 1,3m$) kruszywa wykonano również dodatkowe badania z użyciem materiału częściowo rozdrobnionego w wyniku 5-krotnego zagęszczenia oraz cyklicznego zamrażania i odmrażania (25 cykli). Przed wykonaniem pomiaru wskaźnika *CBR* stosowano 6 dniowe nasycanie próbek wodą.

Równolegle z badaniami *CBR* określono również wrażliwość kruszywa na pęcznienie w warunkach 6 lub nawet 40 dniowego nasycania próbek wodą. Czterdziestodniowy okres nasycania próbek wodą wprowadzono wobec stwierdzenia w badanym kruszywie obecności siarczanów (patrz punkt 9.9). Wyniki badań wskaźnika *CBR* oraz pęcznienia dla poszczególnych próbek i zastosowanych warunków badań przedstawiono w tablicy 2.

Na podstawie uzyskanych wyników z badań jw. można stwierdzić, że kruszywo zawierające zarówno materiał przepalony jak i surowy, zagęszczone przy wilgotności optymalnej charakteryzuje się stabilną niezależną od przyjętych różnych warunków badań nośnością oraz brakiem lub małą wrażliwością na pęcznienie po nasycaniu wodą.

W zależności od rodzaju kruszywa (materiał przepalony lub surowy) oraz mniej lub bardziej korzystnego uziarnienia, poszczególne próbki charakteryzują się następującymi wartościami wskaźnika *CBR* i pęcznienia p :

Próbka 1 (materiał przepalony)	$CBR = 90 - 110\%$	$p = 0,0\%$
Próbka 2 (materiał surowy)	$CBR = 50 - 60\%$	$p = 0,1 - 0,6\%$
Próbka 3/4 (materiał przepalony)	$CBR = 70 - 90\%$	$p = 0,0\%$

Z punktu widzenia korzystnej nośności badane kruszywa stanowić mogą dobre podłoże pod drogowe konstrukcje nawierzchni nawet dla ruchu ciężkiego.

9.5 OZNACZENIE ODPORNOŚCI NA ŚCIERANIE.

Biorąc pod uwagę możliwości eksploataowania warstwy ulepszanego podłoża jako tymczasowej nawierzchni pod ciężkim ruchem roboczym wykonano oznaczenie ścieralności dla grubszych frakcji kruszywa z łupka przepalonego (próbki Nr 1 i 3/4).

Badanie ścieralności przeprowadzono w bębnie Los Angeles zgodnie z normą PN-79/B-06714/42 [19]. Do badań stosowano frakcje 10/32mm i 32/80mm wydzielone z kruszywa o uziarnieniu:

- naturalnym,
- naturalnym po 25 cyklach zamrażania i odmrażania,
- zmodyfikowanym (0-32mm) po 5-krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora,
- zmodyfikowanym (0-32mm) poddanym 5-krotnemu zagęszczeniu w aparacie Proctora oraz 25 cyklach zmrażania i odmrażania.

Uzyskane wyniki przedstawione w tablicy 5 pozwalają ocenić badany materiał pod względem ścieralności ($S_c < 40$) jako przydatny na warstwę ulepszanego podłoża lub podbudowę pomocniczą z kruszywa stabilizowanego mechanicznie.

9.6 OZNACZENIE MROZODPORNOŚCI I NASIĄKLIWOŚCI.

Biorąc pod uwagę możliwość eksploataowania warstwy ulepszanego podłoża pod ruchem roboczym w różnych warunkach atmosferycznych, wykonano normowe badanie mrozoodporności i nasiąkliwości kruszywa.

Badanie mrozoodporności przeprowadzono metodą bezpośrednią zgodnie z PN-78/B-06714/19 [20] jak dla kruszywa wielofrakcyjnego.

Do badań wykorzystano próbki Nr 1, 2, 3 i 4 wydzielając z nich frakcje 4-8mm, 8-16mm, 16-32mm i 32-80mm. Wyniki określone jako średnią ważoną mrozoodporność po 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania przedstawiono w tablicy r i na rysunku 9.

19 PN-79/B-06714/42 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie ścieralności w bębnie Los Angeles.

20 PN-78/B-06714/19 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie mrozoodporności metodą bezpośrednią

Uzyskane wyniki po 25 cyklach zamrażania i odmrażania (ubytek masy < 12%) świadczy o możliwości wykorzystania materiału przepalonego (próbki 1, 3 i 4) na warstwę ulepszanego podłoża jako tymczasowej nawierzchni z kruszywa stabilizowanego mechanicznie.

Okres eksploatacji pod ruchem roboczym nie przykrytej nawierzchnią warstwy ulepszanego podłoża nie powinien przekraczać jednego roku.

Biorąc pod uwagę stosunkowo gorsze wyniki mrozoodporności uzyskane dla materiału nie przepalonego (próbka Nr 2 – rys. 9) nie zaleca się stosowania łupka surowego do wykonania warstwy ulepszanego podłoża.

9.7 OZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI.

Z uwagi na gruboziarnisty charakter badanego materiału oznaczenie wodoprzepuszczalności wykonano stosując do badań cylinder *CBR* o średnicy 152mm. Oznaczenie wodoprzepuszczalności kruszywa (wg próbek Nr 1, 2, 3/4) o zmodyfikowanym jak w punkcie 2.2.b uziarnieniu wykonano przed i po dodatkowym rozdrobnieniu materiału w wyniku 5-krotnego zagęszczenia oraz działania wody i mrozu (tj. po 25 cyklach zamrażania i odmrażania).

Pomiary wskaźnika filtracji przeprowadzono przy trzech stanach zagęszczenia kruszywa ($J_s = 0,8; 0,9; 1,0$). Otrzymane wyniki podano w tablicy 7.

Z przeprowadzonych badań wynika, że przy standardowym zagęszczeniu warstwy ulepszanego podłoża z kruszywa przepalonego wg próbki 1 i 3/4 będą one charakteryzować się korzystnym współczynnikiem filtracji $k_{10} > 8$ m/dobę nawet w przypadku postępującego z biegiem czasu częściowego rozdrobnienia materiału w wyniku działania ruchu drogowego i czynników atmosferycznych. Niski wskaźnik filtracji kruszywa nie przepalonego wskazuje na konieczność utrzymania odpowiedniego odwodnienia warstw nasypów formowanych z materiału nie przepalonego.

9.8 OKREŚLENIE KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO.

Oznaczenie wielkości kąta tarcia wewnętrznego (Φ) i spójności (C) dla kruszyw wg próbki 1, 2, i 3/4 o zmodyfikowanym uziarnieniu (wg punktu 9.2.b) przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścierania o wymiarze skrzynki 14x14 cm kierując się ustaleniami normy PN-88/B-04481[18] wykonano również badania z zastosowaniem kruszywa jw. częściowo rozdrobnionego w wyniku 5-krotnego zagęszczenia.

Poszczególne oznaczenia Φ i C wykonano bezpośrednio po zagęszczeniu kruszywa przy wilgotności optymalnej oraz po 4 dniowym nasyceniu jw. próbek wodą.

Uzyskane z badań wartości kąta wewnętrznego = $45 \div 55^\circ$ (tablica 8) świadczą o możliwości bezpiecznego formowania nasypów o pochyleniu skarp 1:1,5.

9.9 OZNACZENIE ZAWARTOŚCI SIARCZANÓW I CHLORKÓW.

Wobec stwierdzenia na powierzchni niektórych ziaren kruszywa charakterystycznego białego nalotu przeprowadzono badania na określenie zawartości związków siarki w kruszywie (badanie wg PN-78/B-06714/28 [21]) i przesączu wodnym (badanie wg PN-74/C-04566/09) oraz zawartości chlorków w kruszywie.

Badania jw. dotyczyły uśrednionych próbek kruszywa Nr 1, 2 i 3/4. Dla próbki Nr 1 wykonano również oznaczenie zawartości SO_3 dla wydzielonych ziarn kruszywa z najmniejszą i największą ilością białego nalotu. Wyniki badań przedstawiono w tablicy 9.

Na podstawie uzyskanych wyników badań ustalić można, że średnia zawartość związków siarki w badanych próbkach kruszywa wynosi 2,33 – 2,85%, przy czym poszczególne ziarna

mogą zawierać od 1,03 do 4,85% SO_3 . Zawartość chlorków w badanym kruszywie nie przekracza 0,015%.

Biorąc pod uwagę, że wykonano równolegle badania (punkt 2.4) nie wykazują pęcznienia zagęszczonego i nasyconego wodą kruszywa dopuścić można formowanie nasypów drogowych z materiałów jw. w miejscach gdzie korpus nie będzie miał bezpośredniego kontaktu z wodami powierzchniowymi.

W przypadku formowania nasypów w obrębie zbiorników wodnych możliwość wykorzystania materiałów jw. wymagać będzie indywidualnego rozpoznania istniejących warunków wodno-gruntowych.

Z uwagi na zawartość związków siarki w ilości większej od 2,0% nie przewiduje się możliwości wykorzystania badanych materiałów do warstw nośnych ulepszonych cementem.

9.10 OKREŚLENIE ZAWARTOŚCI CZĘŚCI ORGANICZNYCH.

Biorąc pod uwagę ograniczoną możliwość określenia zawartości części organicznych w kruszywie grubym, badanie (wykonano wg PN-88/B04481 metodą prażenia) dotyczyło frakcji < 6,3mm zawierającej najwięcej kruchego kruszywa. Wyniki badań (straty masy w czasie wyżarzania) dla próbek pobranych z kruszywa w stanie naturalnym oraz próbek kruszywa częściowo rozdrobnionego w wyniku 5-krotnego zagęszczenia oraz cyklicznego zamrażania i odmrażania przedstawiono w tablicy 10.

Na podstawie wyników badań jw. ustalić można:

- razem ze wzrostem zawartości części drobnych spowodowanym wielokrotnym zagęszczeniem kruszywa lub działaniem wody i mrozu nie obserwuje się przyrostu części organicznych, co wskazuje, że dodatkowo rozdrobnione kruszywo nie zawiera większych ilości przewarstwień w postaci węgla,
- zgodnie z oczekiwaniem proporcjonalnie większa zawartość węgla $J_z = 9,5 - 11,2\%$ występuje w kruszywie nie przepalonym (próbka Nr 2), mniejsza ($J_z = 3,4 - 5,7\%$) w kruszywie przepalonym,
- niezależnie od różnej zawartości części organicznych w obydwu badanych rodzajach kruszywa można stwierdzić, że nie powodują one nadmiernego rozluźnienia zagęszczenia kruszywa spowodowanego pęcznieniem w wodzie i działaniem mrozu (patrz punkt 9.4).

10. WNIOSKI I ZALECENIA.

Na podstawie otrzymanych wyników badań i ich analizy należy stwierdzić, że materiał reprezentowany przez próbki dostarczone do badań pobrane z hałdy przy KWK Sośnica w Gliwicach zawiera obydwie odmiany (surową i przepaloną) łupka przywęglowego.

Wspólne cechy obydwu odmian łupka stanowią:

- gruboziarniste uziarnienie częściowo podatne na mechaniczne rozdrobnienie co praktycznie powinno umożliwić korzystne wypełnienie wolnych przestrzeni międzyziarnowych w warunkach zagęszczenia kruszywa walcami wibracyjnymi,
- dobra (materiał surowy) i bardzo dobra (materiał przepalony) nośność po zagęszczeniu nawet w warunkach pełnego nasycenia wodą,
- brak lub niewielka wrażliwość na pęcznienie w warunkach długotrwałego moczenia w wodzie pomimo występowania w badanym kruszywie zanieczyszczeń w postaci związków siarki (SO_3 w ilościach 1 – 3%) i części organicznych (niespalony węgiel w ilościach 3 – 10%)
- korzystny ostry kształt ziaren zwiększający stateczność kruszywa (wysoki kąt tarcia wewnętrznego) sprzyjający bezpiecznemu formowaniu stromych skarp nasypów.

Poszczególne odmiany łupka wykazują różnice w zakresie następujących cech:

- a) łupek przepalony reprezentowany próbkami 1, 3 i 4 charakteryzuje się następującymi cechami:
 - jednorodnym stanem przepalenia ; materiał przepalony (łupek czerwony) nie zawiera wtrąceń z łupka surowego,
 - korzystnym uziarnieniem (częściowo ulepszonym w wyniku zagęszczenia) zbliżonym do optymalnego dla kruszywa stabilizowanego mechanicznie, nie podlegającym większym zmianom w warunkach działania wody i mrozu,
 - dobrą wodoprzepuszczalnością uzyskaną w warunkach wymaganego zagęszczenia jak dla warstwy ulepszanego podłoża,
 - stosunkowo wysoką kapilarność bierną ograniczającą możliwość wykonywania warstwy ulepszanego podłoża z łupka jw. w strefie aktywnego działania wody gruntowej.
- b) łupek surowy reprezentowany próbką Nr 2 charakteryzuje się następującymi cechami:
 - właściwościami zbliżonymi do gruntu spoistego lub mało spoistego (wskaźnik plastyczności $J_l = 5$ i wskaźnik piaskowy $WP = 21 - 33$), które wystąpić mogą szczególnie w warunkach mechanicznego rozdrobnienia kruszywa w procesie zagęszczenia lub działania wody i mrozu,
 - wysoką kapilarność i niską wodoprzepuszczalnością uzyskaną w warunkach wymaganego zagęszczenia dla nasypów drogowych.

Powyższe cechy charakteryzujące obydwa rodzaje kruszywa pozwalają na ustalenie zakresu ich wykorzystania:

- w przypadku nieselektywnej eksploatacji hałdy KWK Sośnica występujący tam materiał (przepalony i nie przepalony) może być wykorzystany do formowania nasypów do wysokości strefy przemarzania gruntów pod konstrukcją nawierzchni,
- w przypadku przekraczania istniejących zbiorników wodnych lub terenów okresowo zalewanych wodą możliwość wykorzystania materiału z hałdy KWK Sośnica do formowania podwodnej części nasypów wymagać będzie indywidualnego rozpoznania istniejących warunków wodno-gruntowych i wymagań ochrony środowiska.

Zakres wykorzystania badanych odpadów może być rozszerzony na górne warstwy nasypów (w tym również warstwy ochronnej) pod warunkiem:

- zastosowania materiału przepalonego jak próbka 1, 3 i 4 co wymagać będzie selektywnego poboru materiału zgromadzonego na hałdzie,
- formowana warstwa jw. nie będzie występowała w strefie aktywnego podciągania wody gruntowej (w praktyce ograniczenia dotyczyć mogą odcinków przebiegających w poziomie terenu lub w wykopach w miejscach wymagających wymiany gruntów rodzimych).

Tablica 1. Zestawienie wyników badań kruszywa wg próbki Nr 1 przed i po zagęszczeniu lub cyklach zamrażania i odmrażania.

Lp.	Rodzaj i sposób przygotowania próbki do badań	Procentowa zawartość frakcji			Wskaźnik piaskowy WP	Kapilarność bierna H _{Kb} [m]
		kamienista	żwirowa	piaskowa	pyłowo- iłowa	
1	Kruszywo w stanie naturalnym	40	37	15	8	0,40
2	Kruszywo jw. po 40 dniach moczenia w wodzie	38	36	16	10	0,60
3	Kruszywo jw. po 5 cyklach zamrażania i odmrażania	36	39	15	10	1,20
4	Kruszywo jw. po 10 cyklach zamrażania i odmrażania	32	41	16	11	0,60
5	Kruszywo jw. po 15 cyklach zamrażania i odmrażania	30	41	17	12	1,60
6	Kruszywo jw. po 20 cyklach zamrażania i odmrażania	25	43	19	13	1,80
7	Kruszywo jw. po 25 cyklach zamrażania i odmrażania	23	44	19	14	1,80
8	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm	33	44	15	8	0,40
9	Kruszywo 0 – 32mm po 5-krotnym zagęszczeniu	11	59	20	10	0,90
10	Kruszywo 0 – 32mm po 5 cyklach zamrażania i odmrażania	8	60	21	11	1,20
11	Kruszywo 0 – 32mm po 10 cyklach zamrażania i odmrażania	5	61	22	12	1,40
12	Kruszywo 0 – 32mm po 15 cyklach zamrażania i odmrażania	4	60	24	12	1,30
13	Kruszywo 0 – 32mm po 20 cyklach zamrażania i odmrażania	4	59	24	13	1,40
14	Kruszywo 0 – 32mm po 25 cyklach zamrażania i odmrażania	3	59	25	13	1,50

Tablica 2.Zestawienie wyników badań kruszywa wg próbki Nr 2 przed i po zagęszczeniu lub cyklach zamrażania i odmrażania.

Lp.	Rodzaj i sposób przygotowania próbki	Procentowa zawartość frakcji				Wskaźnik piaskowy SE	Kapilarność bierna $H_{k,b}$ [m]	Granica plastyczności w_l [%]	Granica płynności w_p [%]	Wskaźnik plastyczności J_L
		kamienistej	żwirowej	piaskowej	Pyłowo-łkowej					
1	Kruszywo w stanie naturalnym	40	35	21	4	21	0,40	16,2	20,7	4,5
2	Kruszywo jw. po 5 dniach moczenia	37	31	24	8	23	0,85	-	18,9	-
3	Kruszywo jw. po 10 dniach moczenia	36	31	23	10	34	1,70	-	20,1	-
4	Kruszywo jw. po 20 dniach moczenia	35	31	23	11	28	>2,00	-	18,2	-
5	Kruszywo jw. po 40 dniach moczenia	34	30	24	12	22	>2,00	-	19,8	-
6	Kruszywo jw. po 5 cyklach z-o	35	33	24	8	24	1,50	18,1	19,9	1,8
7	Kruszywo jw. po 10 cyklach z-o	32	32	26	10	43	>2,00	18,1	19,9	1,8
8	Kruszywo jw. po 15 cyklach z-o	29	31	28	12	33	>2,00	-	18,6	-
9	Kruszywo jw. po 20 cyklach z-o	25	33	27	15	30	>2,00	-	19,0	-
10	Kruszywo jw. po 25 cyklach z-o	23	34	27	16	33	>2,00	-	16,0	-
11	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm	36	39	21	4	22	0,45	16,2	20,7	4,5
12	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm po 5-krotnym zagęszczeniu	15	47	26	12	40	0,60	-	18,0	-
13	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm po 5-cyklach z-o	11	43	28	18	50	>2,00	-	17,0	-
14	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm po 10-cyklach z-o	8	43	27	22	48	>2,00	-	17,5	-
15	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm po 15-cyklach z-o	7	43	28	22	38	>2,00	-	18,0	-
16	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm po 20-cyklach z-o	5	44	28	23	37	>2,00	-	17,8	-
17	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm po 25-cyklach z-o	5	43	29	23	36	>2,00	-	15,5	-
z-o – zamrażanie i rozmrażanie										

Tablica 3. Zestawienie wyników badań kruszywa wg próbki Nr 3 i 4 przed i po zagęszczeniu lub cyklach zamrażania i rozmrażania.

Lp.	Oznaczenie próbki	Rodzaj i sposób przygotowania próbki do badań	Procentowa zawartość frakcji				Wskaźnik piaskowy WP	Kapilarność bierna H_{kb} [m]
			kamienista	żwirowa	piaskowa	pyłowo- iłowata		
1	Pr. Nr 3	Kruszywo w stanie naturalnym	64	22	11	3	35	0,35
2	Pr. Nr 4	Kruszywo w stanie naturalnym	59	29	10	2	36	0,30
3	Średnia pr.3/4	Kruszywo w stanie naturalnym	61	26	10	3	34	0,30
4	jw.	Kruszywo po 40 dobach moczenia w wodzie	59	25	11	5	40	0,50
5	jw.	Kruszywo po 5 cyklach z-o	51	33	10	6	43	1,30
6	jw.	Kruszywo po 10 cyklach z-o	47	33	12	8	31	1,20
7	jw.	Kruszywo po 15 cyklach z-o	44	33	13	10	57	>2,00
8	jw.	Kruszywo po 20 cyklach z-o	40	36	13	11	59	>2,00
9	jw.	Kruszywo po 25 cyklach z-o	37	37	15	11	61	>2,00
10	jw.	Kruszywo o uziarnieniu 0 – 32mm	56	31	10	3	36	0,35
11	jw.	Kruszywo 0 – 32mm po 5-krotnym zagęszczeniu	15	61	15	9	40	1,90
12	jw.	Kruszywo 0 – 32mm po 5 cyklach z-o	11	63	15	11	52	>2,00
13	jw.	Kruszywo 0 – 32mm po 10 cyklach z-o	6	66	17	11	60	>2,00
14	jw.	Kruszywo 0 – 32mm po 15 cyklach z-o	5	65	18	12	51	>2,00
15	jw.	Kruszywo 0 – 32mm po 20 cyklach z-o	4	66	18	12	52	>2,00
16	jw.	Kruszywo 0 – 32mm po 25 cyklach z-o	3	66	19	12	58	>2,00

z-o – zamrażanie i rozmrażanie

Tablica 4. Zestawienie pomierzonych wskaźników nośności CBR kruszywa o uziarnieniu 0 – 32mm uzyskanego z próbek 1, 2, 3 i 4.

Sposób badania	Próbka 1						Próbka 2						Próbka 3 i 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	Wilgotność przy zagęszczeniu próbki	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	Wilgotność w trakcie badania CBR	Wskaznik CBR przy penetracji trzpienia		Pęcznienie liniowe	Wilgotność przy zagęszczeniu próbki	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	Wilgotność w trakcie badania CBR	Wskaznik CBR przy penetracji trzpienia		Pęcznienie liniowe	Wilgotność przy zagęszczeniu próbki	Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	Wilgotność w trakcie badania CBR	Wskaznik CBR przy penetracji trzpienia		Pęcznienie liniowe																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
				W %	ρ _d g/cm ³					W %	ρ _d g/cm ³					W %	ρ _d g/cm ³		W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %	ρ _d g/cm ³	W %

Tablica 5 Oznaczenie ścieralności w bębnie Los Angeles

Lp.	Rodzaj kruszywa	Fracja kruszywa mm	Oznaczenie próbki			
			Nr 1		Nr 3/4	
			Ścieralność (%) po:		Ścieralność (%) po:	
			200 obr. bębna $\dot{S}_{cz}$	1000 obr. bębna $\dot{S}_c$	200 obr. bębna $\dot{S}_{cz}$	1000 obr. bębna $\dot{S}_c$
1.	Naturalne	32 ÷ 80 10 ÷ 32	11,1 11,1	33,5 33,5	12,9 14,1	38,2 40,0
2.	Naturalne i po 25 cyklach zamrażania-odmrażania	32 ÷ 80 10 ÷ 32	7,2 8,6	25,3 26,4	8,3 10,7	29,3 31,9
3.	Zmodyfikowane po 5-krotnym zagęszczeniu	10 ÷ 32	8,5	26,1	9,7	28,3
4.	Zmodyfikowane po 5-krotnym zagęszczeniu i 25 cyklach zamrażania-odmrażania	10 ÷ 32	6,9	23,7	7,2	24,5

Tablica 6 Zestawienie wyników badań mrozoodporności i nasiąkliwości

Rodzaj badania	Próbka 1	Próbka 2	Próbka 3	Próbka 4
Ubytek masy (%) próbki po:				
- 5 cyklach zamrażania-odmrażania	3,1	6,1	2,1	1,5
- 10 cyklach zamrażania-odmrażania	4,7	7,9	4,3	2,9
- 15 cyklach zamrażania-odmrażania	6,5	10,9	7,5	5,2
- 20 cyklach zamrażania-odmrażania	9,1	14,6	9,7	7,1
- 25 cyklach zamrażania-odmrażania	11,0	17,1	11,5	9,1
Nasiąkliwość (%)	8,7	6,5	5,9	5,3

Tablica 7 Współczynnik filtracji k_{10} (m/dobę) kruszywa 0-32 mm uzyskanego z próbek 1, 2, 3 i 4

Rodzaj kruszywa	Wskaźnik zagęszczenia I_s	Współczynnik filtracji k_{10} (m/dobę)		
		Próbka 1	Próbka 2	Próbka 3 i 4
Kruszywo 0-32 mm	0,8	406,7	203,3	610,1
	0,9	152,2	60,3	406,7
	1,0	61,0	9,8	150,2
Kruszywo 0-32 mm po 5-krotnym zagęszczeniu	0,8	402,7	140,3	264,4
	0,9	84,4	20,8	142,4
	1,0	22,5	5,1	63,2
Kruszywo 0-32 mm po 5-krotnym zagęszczeniu i 25 cyklach zamrażania-odmrażania	0,8	270,2	80,1	173,2
	0,9	52,3	16,7	81,4
	1,0	12,1	3,7	21,3

Tablica 8 Kąt tarcia wewnętrzznego ϕ i spójność c dla próbek 1, 2, 3 i 4

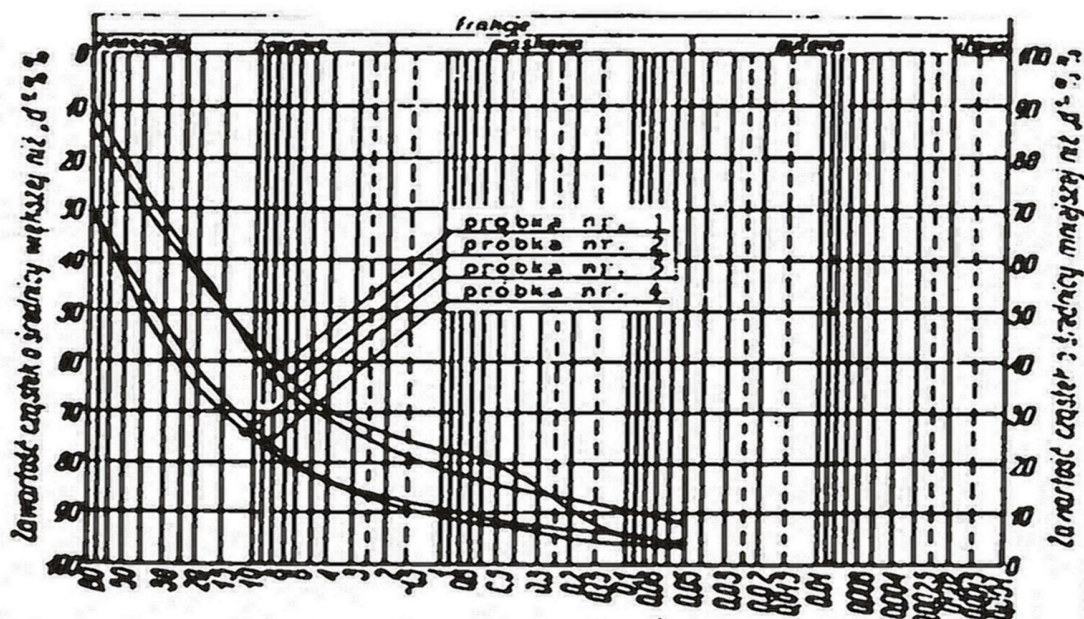
Badana cecha	Próbka 1				Próbka 2				Próbka 3 i 4			
	Kruszywo				Kruszywo				Kruszywo			
	naturalne		po 5-krotnym zagęszczeniu		Naturalne		po 5-krotnym zagęszczeniu		naturalne		po 5-krotnym zagęszczeniu	
	$W_{opt}=13,4\%$	$W_{opt}=16,5\%$	$W_{opt}=13,4\%$	$W_{opt}=16,9\%$	$W_{opt}=8,2\%$	$W_{opt}=11,0\%$	$W_{opt}=8,2\%$	$W_{opt}=11,9\%$	$W_{opt}=11,6\%$	$W_{opt}=14,5\%$	$W_{opt}=11,6\%$	$W_{opt}=15,7\%$
Kąt tarcia wewnętrzznego $\phi (^{\circ})$	$52^{\circ} 30'$	$51^{\circ} 30'$	$55^{\circ} 30'$	$54^{\circ} 30'$	$49^{\circ} 30'$	44°	$53^{\circ} 30'$	48°	$54^{\circ} 30'$	55°	$56^{\circ} 30'$	57°
Spójność c (MPa)	0,016	0,016	0,016	0,016	0,011	0,010	0,010	0,011	0,011	0,008	0,022	0,020

Tablica 9 Zawartość związków siarki (SO₃) i chlorków (Cl)
w kruszywie wg próbki 1, 2 i 3/4

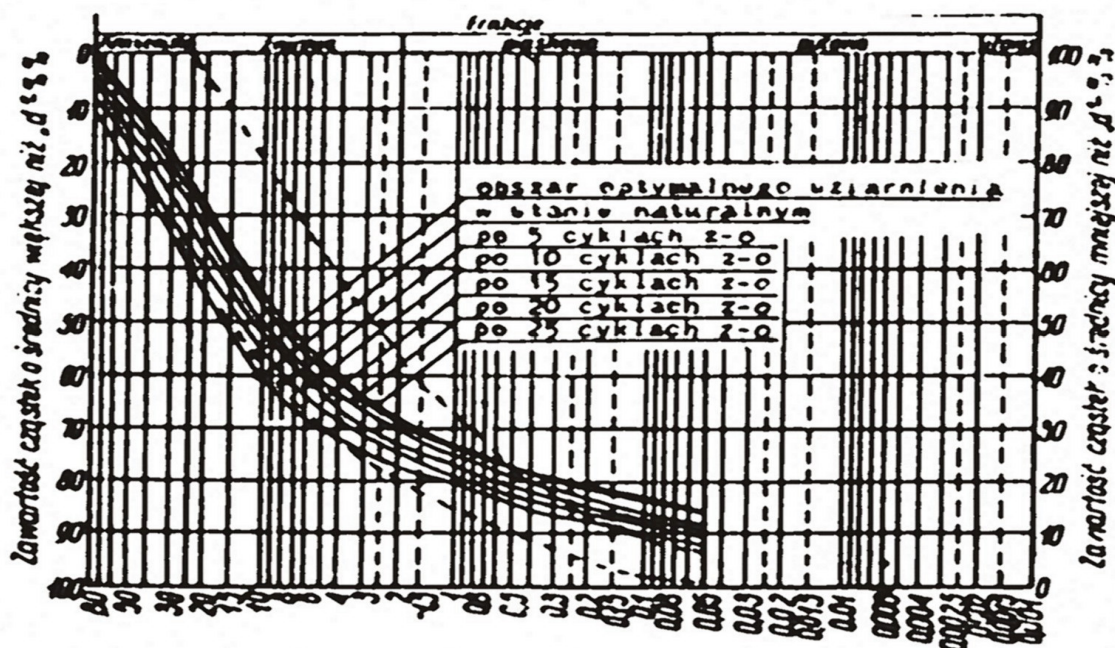
Rodzaj badane próbki	Zawartość siarki w przeliczeniu na SO ₃ (%)		Zawartość chlorków (%)
	w kruszywie	w przesączu wodnym	w kruszywie
Próbka Nr 1 - materiał uśredniony - materiał najbardziej zanieczyszczony - materiał najbardziej czysty	2,37 4,85 1,03	0,70 - -	0,010 - -
Próbka Nr 2 - materiał uśredniony	2,33	0,62	0,014
Próbka Nr 3/4 - materiał uśredniony	2,85	1,33	0,011

Tablica 10 Zawartość części organicznych określonych metodą prażenia
w temperaturze 600 – 800 °C w kruszywie wg próbek 1, 2 i 3/4

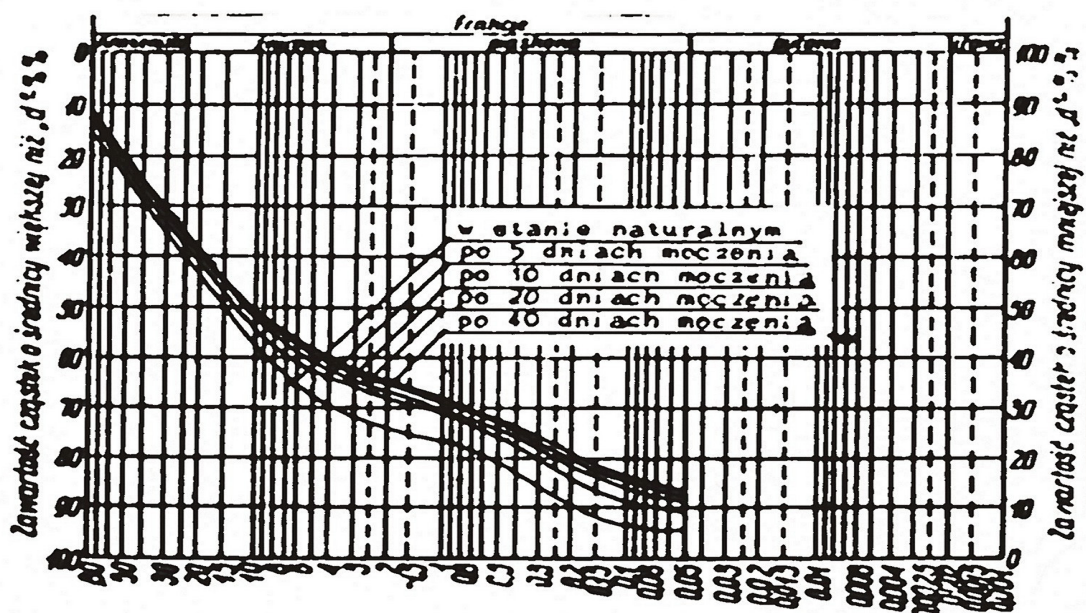
Oznaczenie próbki	Strata masy przy prażeniu dla kruszywa ≤ 6,3 mm, I ₂ (%)		
	w stanie naturalnym	po 5-krotnym zagęszczeniu	po 5-krotnym zagęszczeniu i 25 cyklach z-o
Nr 1	4,9	4,2	5,7
Nr 2	11,2	9,5	10,1
Nr 3/4	3,7	2,6	3,4



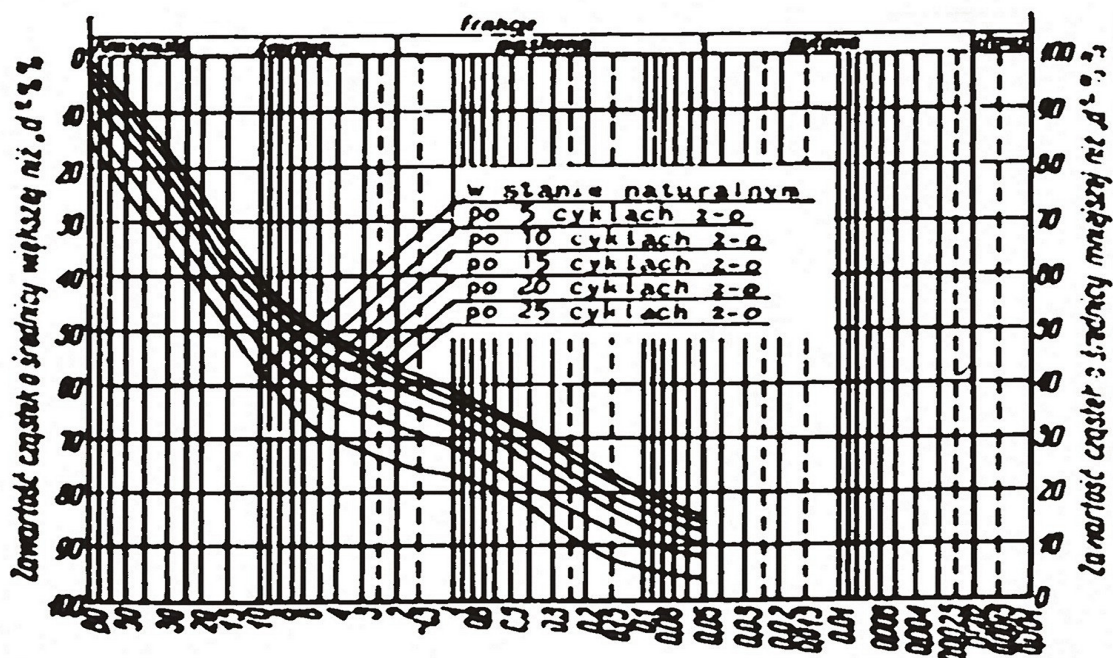
Rys. 1. Wykres uziarnienia kruszywa reprezentowanego próbkami 1, 2, 3 i 4.



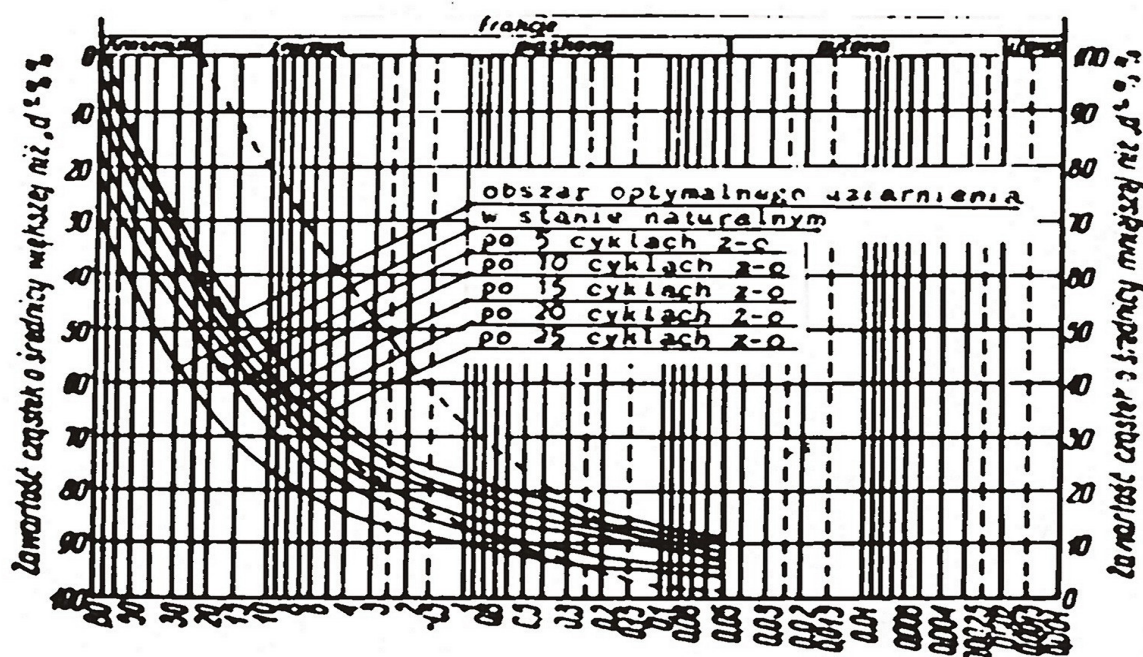
Rys. 2. Wykres uziarnienia kruszywa wg próbki nr 1 w stanie naturalnym oraz po 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania i odmrażania.



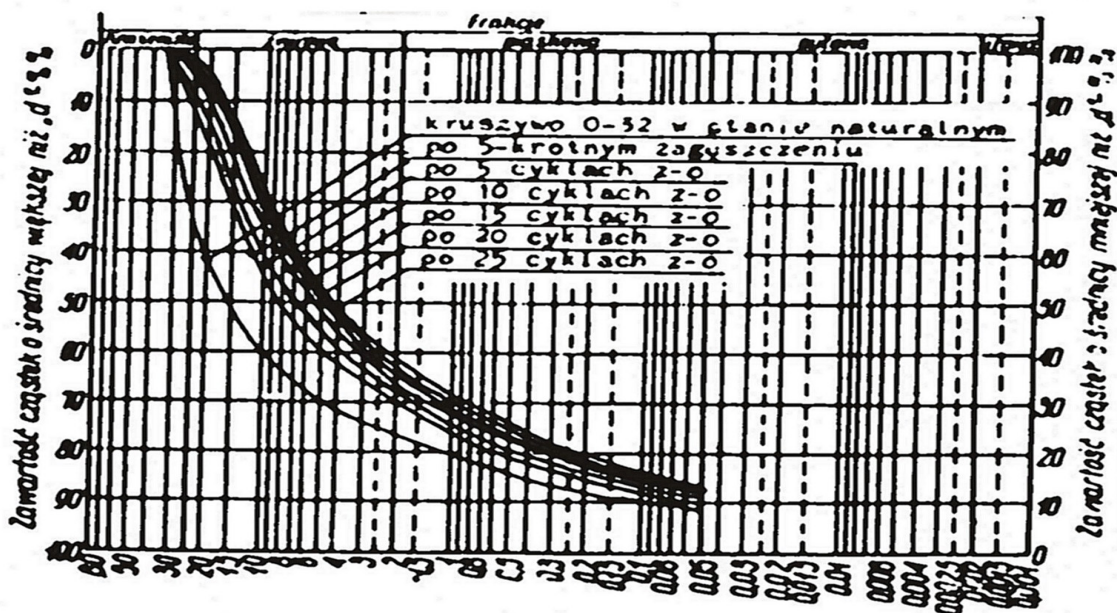
Rys. 3 . Wykres uziarnienia kruszywa wg próbki nr 2 w stanie naturalnym oraz po 5, 10, 20 i 40 dniach moczenia w wodzie.



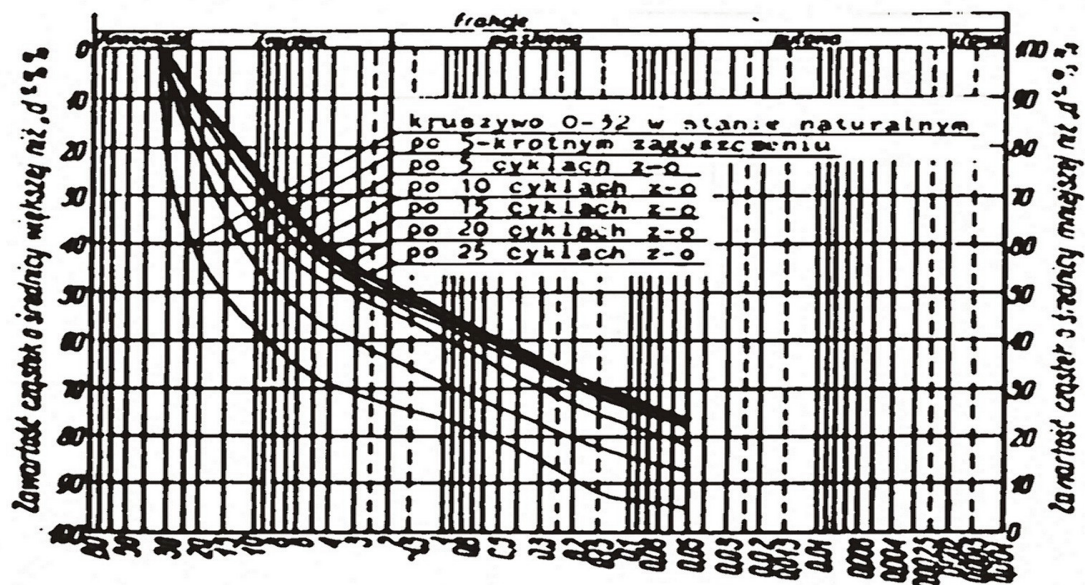
Rys. 4. Wykres uziarnienia kruszywa wg próbki nr 2 w stanie naturalnym oraz po 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania i odmrażania.



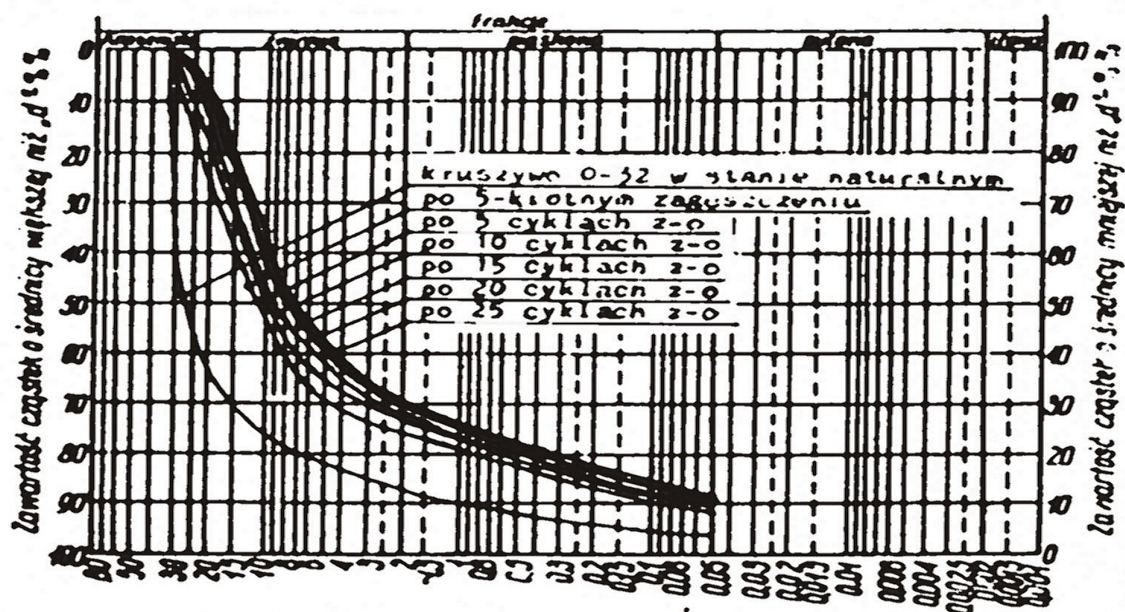
Rys. 5. Wykres uziarnienia kruszywa wg próbki nr 3/4 w stanie naturalnym oraz po 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania i odmrażania.



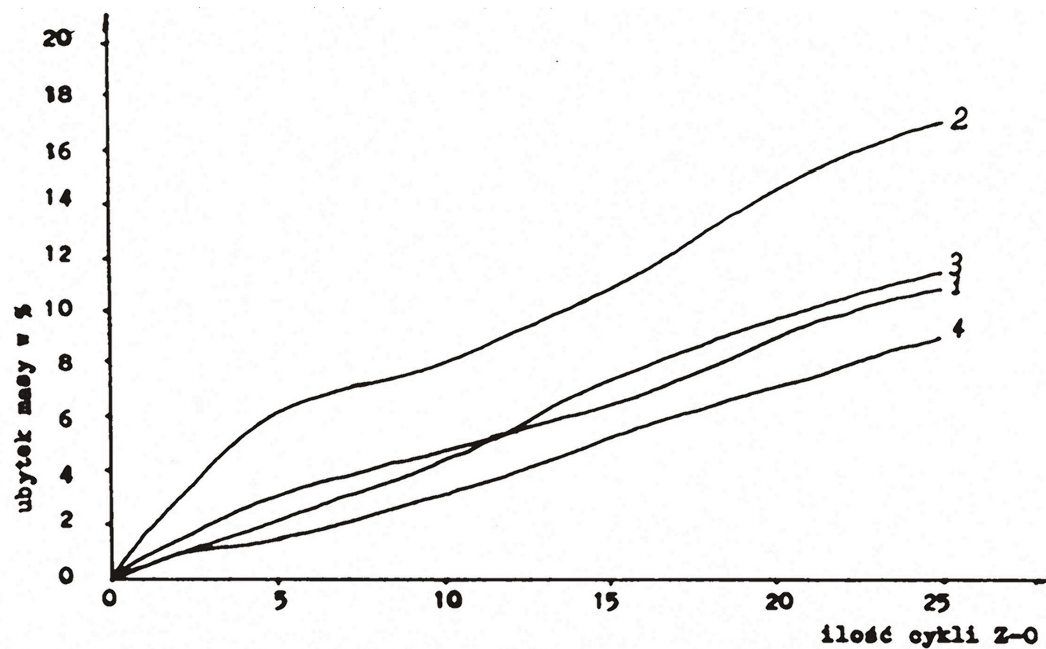
Rys. 6. Wykres uziarnienia kruszywa zmodyfikowanego /0-32 mm/ uzyskanego z próbki nr 1 stan przed i po badaniach zagęszczenia oraz 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania i odmrażania.



Rys. 7. Wykres uziarnienia kruszywa zmodyfikowanego /0-32 mm/ uzyskanego z próbki nr 2 stan przed i po badaniach zagęszczenia oraz 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania i odmrażania



Rys. 8. Wykres uziarnienia kruszywa zmodyfikowanego /0-32 mm/ uzyskanego z próbki nr 3/4 ; stan przed i po badaniach zagęszczenia oraz po 5, 10, 15, 20 i 25 cyklach zamrażania i odmrażania.



Rys. 9. Wpływ ilości cykli zamrażania i odmrażania na ubytek masy kruszywa o uziarnieniu 4-80 mm wydzielonego z próbek nr 1, 2, 3 i 4.

Załącznik 3

Odpady budowlane

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW BUDOWLANYCH.

Odpady budowlane są materiałami powstającymi w procesie rozbiórki obiektów budowlanych. Materiałami rozbiórkowymi nazywamy różnorakie produkty, z których nie wszystkie nadają się do recyklingu na kruszywo do budowy dróg, dlatego też wymagają one selektywnego sortowania.

Materiały rozbiórkowe można generalnie podzielić na cztery kategorie:

1. Materiał z rozbiórki konstrukcji budowlanych oraz inżynierskich składający się z betonu (zbrojonego lub niezbrojonego) bez obrutki, tynku, azbestu oraz innych specjalnych odpadów przemysłowych;
2. Materiał z rozbiórki dróg składający się z materiału związanego lub niezwiązanego spoiwami hydraulicznymi, starej nawierzchni brukowej, krawężników betonowych lub z kamienia naturalnego, itp.
3. Mieszaniny materiałów zespolonych (ramy betonowe, fragmenty murów, itp.) z niewielką zawartością tynku, drewna, plastiku, itp.;
4. Heterogeniczne mieszaniny zawierające ponad 10% materiałów niepożądanych (tynku, drewna, plastiku, itp.)

Niebezpieczne odpady zawierające azbest i inne, zależnie od poziomu ich szkodliwości powiązane lub niepowiązane z innymi materiałami muszą być systematycznie usuwane podczas dostawy lub podczas sortowania, a następnie muszą być przekazywane do specjalistycznych centrów recyklingu.

Budownictwo drogowe, a szczególnie kubaturowe ziemne zainteresowane jest odpadami występującymi masowo. W warunkach masowego występowania odpadów istnieje możliwość znacznego zmniejszenia kosztów przetworzenia odpadów oraz ich dystrybucji. Potencjalnie duża użyteczność niektórych odpadów budowlanych (powstających w wyniku prowadzonych prac wyburzeniowych lub remontowych) dla budownictwa drogowego nie znajduje jak dotąd właściwego odbioru w skali ich faktycznego wykorzystania.

Spośród wielu czynników mających wpływ na dotychczasowy niezadowolający stan wykorzystania poszczególnych rodzajów odpadów budowlanych w drogownictwie należy wymienić:

- a) utrudniona dostępność w uzyskaniu opłacalnych ilości odpadów przeznaczonych do bezpośredniego wykorzystania lub ich dalszego przetworzenia (wynikająca z braku profesjonalnie zorganizowanej zbiórki odpadów),
- b) znaczna niejednorodność odpadów uzyskanych z tzw. wyburzeń, odpady porozbiórkowe zawierają oprócz materiału mineralnego duże ilości zanieczyszczeń takich jak: drewno, stal, tworzywa sztuczne, papę itp.,
- c) brak lub niedostateczne wyposażenie zakładów zajmujących się zbieraniem oraz utylizacją odpadów budowlanych, które w większości przypadków dostarczane są na wysypiska komunalne, gdzie są mieszane z innymi składowanymi materiałami,
- d) brak funkcjonalnych wzorów racjonalnego zagospodarowania odpadów łącznie z opracowanymi normami określającymi optymalne warunki i racjonalne sposoby przetworzenia i wykorzystania odpadów w budownictwie drogowym.

Problem ponownego zagospodarowania odpadów i materiałów powstających podczas wyburzeń, rozbiórek i remontów obiektów budowlanych w drogownictwie rzadko jest podejmowany w krajowej literaturze technicznej. Doraźnie wykonane badania oraz próby praktycznego wykorzystania gruzu ceglanego lub betonowego świadczą w prawdzie o ich potencjalnej przydatności, lecz nie stanowią jednak wystarczająco dobrego rozpoznania całości problemu związanego z wykorzystaniem tego rodzaju odpadów w budownictwie drogowym.

W praktyce zakres wykorzystania odpadów budowlanych jako materiału do robót ziemnych i kruszywa drogowego do warstw konstrukcyjnych nawierzchni zależeć będzie od właściwości

technicznych materiału uzyskanego w wyniku zastosowanego procesu przetworzenia odpadów. Do najważniejszych cech pozwalających na wstępną klasyfikację przetworzonych odpadów oraz ustalenie ich przydatności do dalszego wykorzystania w robotach drogowych zaliczyć należy:

- wrażliwość na działanie wody i mrozu,
- podatność na mechaniczne rozkruszenie pod wpływem zagęszczenia oraz działania ruchu drogowego,
- reaktywność chemiczną w stosunku do innych materiałów (spoiw i lepiszczy) stosowanych w technologiach drogowych.

Graniczne wartości cech technicznych pozwalających na wstępną klasyfikację materiałów jak również innych pożądanych parametrów (stopień rozdrobnienia, nośność po zagęszczeniu lub ulepszeniu innymi materiałami) może być ustalona na podstawie badań laboratoryjnych i doraźnie przeprowadzonych prób poligonowych. Wyniki prób i badań stanowią mogą podstawę do wyboru najlepszych rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych przydatnych do zastosowania w budownictwie drogowym.

Kruszywa z recyklingu nawierzchni betonowych są wykorzystywane jako podbudowy stabilizowane mechanicznie oraz stabilizowane cementem w szeregu krajów członkowskich OECD [1]. W krajach tych duży procent (70÷100 procent) dostępnej ilości tego produktu ubocznego jest poddawany recyklingowi. Grupa szacuje, że w krajach, gdzie nawierzchnie betonowe z cementu portlandzkiego nie występują albo występują w niewielkich ilościach, recykling tego produktu ubocznego prowadzony jest bardzo rzadko.

Nawierzchnia betonowa może być poddawana recyklingowi na miejscu poprzez rozbijanie istniejącego betonu i pokrywanie go nową warstwą asfaltu lub betonu. Ewentualnie, istniejący beton może być rozbijany, usuwany i kruszony do rozmiarów kruszywa w centralnej instalacji.

Skruszona nawierzchnia betonowa z odzysku wykazuje dobrą odporność na starzenie w warunkach atmosferycznych oraz erozję. Jeżeli nie zastosuje się zbyt dużej ilości drobnoziarnistych frakcji kruszywa betonowego, otrzymane z niej podłoże jest zwykle samo-odwadniające się, nieplastyczne oraz niewrażliwe na mróz. Włączenie do niego cząstek pokrytych bitumem (na przykład z nałożonego dywanika) powoduje zmniejszenie nośności i powinno ograniczać się do 30 procent lub mniej.

W pięciu krajach (Austria, Kanada, Holandia, Wielka Brytania oraz USA) nawierzchnie betonowe są również poddawane recyklingowi na kruszywo do betonu na cemencie portlandzkim. W tym zastosowaniu, ważna jest zawartość drobnych cząstek, poziom zanieczyszczeń oraz jednorodność odzyskanej nawierzchni betonowej. gruboziarnista część odzyskanej nawierzchni betonowej może zastępować tradycyjne kruszywo gruboziarniste w betonie cementowym nawet do 100 procent, pod warunkiem, że można prawidłowo zaprojektować skład mieszanki. Jednak dla uniknięcia problemów z urabialnością, zastąpienie tradycyjnego kruszywa drobnoziarnistego drobnym materiałem z odzyskanej nawierzchni betonowej powinno być ograniczone do nie więcej niż 20 procent masy. Poziom zanieczyszczeń w odzyskanej nawierzchni betonowej nie powinien przekraczać dozwolonych limitów dla kruszyw mineralnych. Również potencjalna reaktywność kruszywa z recyklingu zawierającego kruszywo reagujące zasadowo powinna zawierać się w wartościach granicznych dozwolonych dla materiałów tradycyjnych. Dla zapewnienia jednorodnych właściwości kruszywa, kruszywa betonowe pochodzące z różnych źródeł powinny być odpowiednio mieszane lub przetwarzane osobno w dużych stosach.

2 PODZIAŁ ODPADÓW BUDOWLANYCH

Każdy nowy materiał musi spełniać określone wymogi środowiskowe i ekonomiczne. Innymi słowy, dany produkt uboczny jest akceptowalnym zamiennikiem materiału naturalnego, jeżeli nie powoduje żadnej utraty właściwości (lub utratę niewielką), a jego

1 Road Transport Research; Recycling strategies for road works, OECD 1997

stosowanie ma ograniczone skutki środowiskowe lub ekonomiczne. Bardzo ważne jest też zdrowie i bezpieczeństwo robotników. Zanim nowy produkt zostanie zaakceptowany, może zaistnieć konieczność poddania go badaniom lub okresowi próbnemu oraz ocenie, która potwierdzi jego jakość i niezawodność.

W wielu krajach coraz ważniejsze staje się zapewnienie, aby produkty uboczne z recyklingu rzeczywiście mogły zostać ponownie poddane recyklingowi. Nie tylko w pierwszej fazie ponownego ich użycia, ale również w fazie drugiej, trzeciej, itd. Materiał powinien być użyteczny w sposób nie zagrażający środowisku. Dlatego też stosowanie materiałów odpadowych powinno opierać się na dokładnym rozpoznaniu właściwości technicznych i ekologicznych.

Właściwości techniczne materiałów drogowych produkowanych z odpadów budowlanych zależą przede wszystkim od surowca (materiału źródłowego) użytego do produkcji. Wymienić tu można główne trzy grupy źródeł pozyskiwania surowców:

- Stare betonowe nawierzchnie drogowe i lotniskowe, krawężniki i kostki betonowe – są to betony o wysokich wytrzymałościach $B > 35 \text{ MPa}$,
- Konstrukcje inżynierskie betonowe i żelbetowe – betony o wysokich wytrzymałościach $B > 15 \text{ MPa}$,
- Gruz z rozbiórki obiektów inżynierskich zawierający cegłę, zaprawę murarską i tynkarską, oraz gruz z rozbiórki konstrukcji drogowych zawierających grunty i kruszywa stabilizowane spoiwami niskich marek – materiał kruchy o niskiej wytrzymałości.

Wobec powyższej klasyfikacji, ze względu surowiec i jego właściwości z odpadów betonowych można uzyskać główne dwa rodzaje materiału przydatnego w drogownictwie:

- **Kruszywo betonowe** zawierające kruszony beton o odpowiednich frakcjach lub mieszankach frakcji do wykorzystania w podbudowach i warstwach nośnych oraz jako kruszywa do mieszanek betonowych,
- **Gruz budowlany** zawierający mieszanekę w postaci odpadów mineralnych, betonu, cegły, dachówek, zaprawy i itp., do wykorzystania jako materiał do budowy korpusu nasypów drogowych oraz przygotowania podłoża pod konstrukcyjne warstwy nawierzchni drogowych.

3. KRUSZYWO BETONOWE – DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Kruszywo betonowe – kruszywo sztuczne sortowane lub nie sortowane powstałe w wyniku skruszenia elementów betonowych takich jak: konstrukcje betonowe i żelbetowe obiektów inżynierskich, betonowe nawierzchnie drogowe i lotniskowe.

Materiał składa się z wysokiej jakości, dokładnie sortowanych kruszyw, związanych stwardniałym zaczynem cementowym powstałym w wyniku reakcji cementu portlandzkiego (oraz ewentualnie uzupełniających materiałów cementu podobnych, takich jak pucolany lub mielony i granulowany żużel wielkopiecowy) z wodą. Stwardniały zaczyn cementowy składa się głównie z uwodnionych krzemianów wapniowych, oraz z mniejszych ilości związków krzemianów wapniowo-glinowych oraz wodorotlenku wapniowego (który jest wysoce alkaliczny).

Nawierzchnia betonowa przeznaczona do recyklingu może być zanieczyszczona jonami chloru pochodzącymi z soli wykorzystywanej do usuwania lodu z nawierzchni oraz siarczanami pochodzącymi z kontaktu z olejami bogatymi w te związki. Jony chloru są związane z korozją stali, natomiast reakcje z siarczanami prowadzą do ekspansywnego rozpadu (pęcznienia) zaczynu cementowego. Omawiany materiał może też zawierać kruszywa reagujące zasadowo lub kruszywa wrażliwe na działanie mrozu. Jest to istotne zagadnienie w przypadku stosowania kruszywa betonowego w betonach cementowych.

Znajdujące się w betonie kruszywa reagujące zasadowo mogą powodować rozprężanie oraz pękanie betonu.

Kruszywo pochodzące z recyklingu betonu jest materiałem w 100% tłuczonym i ma bardzo kanciaste kształty. Ze względu na przyleganie zaprawy do kruszyw zawartych w betonie, przetworzony materiał posiada chropowatą teksturę powierzchniową, niższy ciężar właściwy oraz większą nasiąkliwość niż konwencjonalne kruszywo naturalne. Ponieważ rozmiar cząstki przetworzonego materiału ulega zmniejszeniu, występuje odpowiedni spadek ciężaru właściwego oraz zwiększenie absorpcji wody spowodowane przez większe proporcje zaprawy przylegające do kruszyw o drobniejszych ziarnach. Wysoka absorpcja wody jest szczególnie zauważalna w skruszonym materiale drobnoziarnistym uzyskanym z betonu, ponieważ w drobnoziarnistych kruszywach z betonu odzyskanego występuje znacząco więcej zaprawy niż w ich gruboziarnistych odpowiednikach. Niektóre drobne ziarna kruszywa betonowego mogą stanowić w 100% starą zaprawę. W konsekwencji tego ziarna o mniejszych frakcjach charakteryzują się mniej korzystnymi właściwościami pod względem nasiąkliwości i mrozoodporności.

Produkcja kruszywa betonowego obejmuje główne dwa etapy:

Etap I - separacja materiałów rozbiórkowych polegająca na starannym oddzieleniu od gruzu betonowego lub ceglanego zbrojenia stalowego, tynku, drewna, tworzyw sztucznych, materiałów bitumicznych, elementów gipsowych, papieru

Etap II - kruszenie gruzu w kruszarkach i sortowanie na przesiewaczach na ziarna określonego wymiaru w których wydzielić można następujące fazy produkcji kruszyw z materiałów z recyklingu betonu:

- Selekcja i magazynowanie surowca. Magazynowanie powinno być selektywne z uwzględnieniem rodzaju i pochodzenia surowca.
- Wstępne przygotowanie polegające przecięciu długich elementów, usunięciu zanieczyszczeń,
- Wstępne kruszenie przy zastosowaniu kruszarki szczękowej lub udarowej z usunięciem części metalowych poprzez elektromagnes,
- W zależności od możliwości proces kruszenia powinien polegać na odsiewie materiału słabego i pozwolić na ręczne usunięcie zanieczyszczeń (drewno, papier, plastik)
- Rozsianie kruszyw na poszczególne frakcje,
- Ewentualnie, powtórne kruszenie pozostałości frakcji o większym wymiarze po zakończeniu poprzedniej fazy kruszenia.

Jeżeli kruszywo betonowe przeznaczone jest do wykonania podbudowy stabilizowanej mechanicznie i krzywa przesiewu mieści się w krzywych granicznych to nie jest wymagane rozdzielanie na odpowiednie frakcje.

Instalacje przerabiające gruz betonowy można podzielić na dwa rodzaje:

- instalacja nieruchoma; lub
- instalacja ruchoma, z podziałem na dwa typy:
 - Instalacje pierwotne (jeden stopień kruszenia)
 - Instalacje wtórne (co najmniej dwa stopnie kruszenia).

Ogólnie rzecz biorąc, instalacje nieruchome są bardziej skomplikowane, przez co umożliwiają wytwarzanie szerszego asortymentu materiałów.

Np. w roku 2000, w całym regionie Ile-de-France w 29 zakładach wyprodukowano prawie 3 miliony ton materiałów z recyklingu, a łączne moce produkcyjne tych zakładów sięgały 4 milionów ton [2].

3.1 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Identyfikacji technicznej można dokonać na podstawie analizy porównawczej parametrów kruszywa betonowego. Umożliwi to ustalenie zmienności i pomoże w ustaleniu wymagań dla tego materiału. W niniejszym opracowaniu przedstawiono podział i klasyfikację kruszyw pochodzących z recyklingu betonu wg przepisów francuskich [2] oraz dokonano analizy parametrów technicznych na kruszywach, które było wyprodukowane w różnych zakładach z różnych surowców. Wyniki badań porównawczych przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1 - Zestawienie wyników badań dla kruszywa betonowego

L.p.	BADANA CECCHA	Badanie wg	Otrzymany wynik							
			DELTA S.A	Labotest Sp. z o.o.	MPRD S.A.	Fal-Bruk	HEILIT+ WOERNER	WPRD S.A	ALT-MAT Dania	ALT-MAT Szwecja
1	Mrozoodporność metodą bezpośrednią [%]	PN-B-06714-19: 1978	7,33						14,7	
	frakcja 2/4 mm					18,2				
	frakcja 4/8 mm			15,3	44,88	40,3	3,3			
	frakcja 8/16 mm			14,9	32,80	55,5	4,8			
	frakcja 16/31,5 mm			9,7	20,55	10,5	1,6			
	frakcja 31,5/63 mm			17,4	11,13	4,4				
	frakcja > 63 mm			0,39	3,9					
2	Nasiąkliwość [%]	PN-B-06714-18: 1978	4,97						5,58	
	frakcja 2/4 mm					6,55				
	frakcja 4/8 mm				4,73	5,34	3,6			
	frakcja 8/16 mm				4,56	4,73	3,1			
	frakcja 16/31,5 mm				5,60	4,76	3,3			
	frakcja 31,5/63 mm				4,52	4,87				
	frakcja > 63 mm			5,09	5,28					
3	Wskaźnik nośności $W_{noś}$ [%] (CBR)	PN-S- 02205:1988 załącznik A								
	bezpośrednio po zagęszczeniu		112	62	47	164			230÷264	
	po 4 dobach moczenia w wodzie		117	106						
	po 7 dniach w tym 4 dni moczenia w wodzie		121							
	po 14 dniach, w tym 4 dni moczenia					264				
	po 25 cyklach zamrażania i odmrażania			93						
	po 28 dniach, w tym 4 dni moczenia w wodzie			>250						
	po 28 dniach w tym 14 dni moczenia w wodzie		125							
	po 28 dniach w tym 14 cykli zamrażania i rozmrażania		54							
	po 28 dniach w tym 25 cykli zamrażania i rozmrażania			85						

c.d. tablicy 1

BADANA CECHA			Badanie wg		Otrzymany wynik							
L.p.					DELTA S.A	Labotest Sp. z o.o.	MPRD S.A.	Fal-Bruk	HEILIT+ WOERNER	WPRD S.A	ALT-MAT Dania	ALT-MAT Szwecja
4	Wilgotność optymalna [%]		PN-B-04481: 1988		11,5		8,3	13,1			13,0	
5	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [g/cm³]				1,841		1,970	1,875			1,860	
6	Wskaźnik piaskowy SE [%]		PN-EN- 9338:2001									
	w stanie naturalnym			87	73	76						
	po 5 krotnym ubiciu w aparacie PROCTORA			79		71		59				
	po zagęszczeniu i 14 cyklach zamrażania i rozmrażania			57								
	po zagęszczeniu i 25 cyklach zamrażania i odmrażania					52						
	Kapilarność bierna [m]											
	w stanie naturalnym		0,3	0,58								
	po 5 krotnym ubiciu w aparacie PROCTORA			0,64								
7	po zagęszczeniu i 14 cyklach zamrażania i rozmrażania		PN-B-04493- 0739:1960			0,71						
	po zagęszczeniu i 25 cyklach zamrażania i odmrażania					0,72						
	Wskaźnik wodoprzepuszczalności K ₀ [m/d]											
	stan naturalny			24,8								
	bezpośrednio po zagęszczeniu		32,16	14,5								
8	po 4 dobach moczenia w wodzie		PN-B-04492- 0739:1955		31,22							
	po 7 dniach w tym 4 dni moczenia w wodzie				30,64							
	po 28 dniach w tym 14 dni moczenia w wodzie				31,42							
	po 28 dniach w tym 14 cykli zamrażania i rozmrażania				31,92	9,2						
	po 25 cyklach zamrażania i odmrażania					5,4						
	Ścieralność w bębnie Los Angeles [%]											
	ścieralność cząściowa ś ₇		15,07	18,8	26,7	18,84						
	ścieralność całkowita ś ₆		45,53	34,1	56,3	46,38		40,1	37-39		33	
9	wskaźnik jednorodności ścierania X ₆				33,12							

c.d. Tablicy 1

L.p.	BADANA CECHA	Badanie wg	Otrzymany wynik							
			DELTA S.A	Labotest Sp. z o.o.	MPRD S.A.	Fal-Bruk	HEILIT+ WOERNER	WPRD S.A	ALT-MAT Dania	ALT-MAT Szwecja
10	Wskaźnik rozkruszenia X [%]	PN-B-06714-40:1978	22,66							
11	Zawartość ziaren mniejszych niż 0,075mm [%]	PN-B-06714-15:1991								
	przed zagęszczeniem		2,0		0,01	2,0		2,0		
	po 5-krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora				11,3	3,0				
12	Zawartość nadziarna [%]	PN-B-06714-15:1991	0,0							
	frakcja 2/8 mm							3,6		
	frakcja 8/16 mm							6,4		
	frakcja 16/32 mm							6,3		
13	Straty prażenia	PN-B-04481:1988							7,7-10,9	
14	Zawartość Ca								16,8-21,2	
15	Wytrzymałość na ściskanie R ₉₈ [MPa]									
	bez cementu									
	4 % cementu		1,0							
	5 % cementu		2,8							
	6 % cementu		4,6							
	7 % cementu									
	8 % cementu		6,2							
									5,1	

Kruszywa betonowe wytwarzane w zakładach recyklingu to materiały od niesortowanego do klasyfikowanego kruszywa, na przykład piasku lub kruszyw drobnych oraz różnych pośrednich rodzajów kruszywa.

Poniższa tablica zawiera produkty różnych centrów recyklingu we Francji wraz z normami używanymi do ich klasyfikowania na podstawie [2].

Tablica 2 – Klasyfikacja kruszywa betonowego wg przepisów francuskich

Typ materiału	Norma	Zakład
Materiał wstępnie przesiewany	NF P 11-300	Wszystkie zakłady przed kruszeniem
Kruszywo niesortowane	NF P 11-300	Kruszenie pierwotne bez odsiewania
Kruszywo 0/D	XP P 18-540 oraz NF P 11-300 lub NF P 98-129	Kruszenie pierwotne lub wtórne z odsiewaniem
Piasek	XP 18-540	
Drobne kruszywa i grube kruszywa	XP P 18-540	

Większość produkcji stanowi kruszywo 0/D oraz piasek, kruszywa drobne i kruszywo grube.

We Francji definiuje się pięć kategorii kruszywa z recyklingu betonu RG (RG – recycled gravel): – RG0, RG1, RG2, RG3 i RG4, które określają:

- Rodzaj produktu, oraz
- Kryteria normowe.

Jeżeli chodzi o kryteria „ścieralności” (badania Los Angeles oraz Micro Deval Underwater (MDE)), norma XP P 18-540 jest zmodyfikowana w taki sposób, aby zapewniać lepszy opis produktu z perspektywy lepszego recyklingu poprzez utworzenie klasy podrzędnej E+ ($LA \leq 40$, $MDE \leq 35$, $LA + MDE \leq 65$) w klasie E.

Ze względu na pochodzenie materiałów, należy zachować ostrożność w związku z wymogami normy XP P 18-540 dotyczącymi obecności siarczanów, który może powodować problemy związane ze strukturą - zmiany objętościowe. Wymogi te zostały obejmują również materiały RG1 zgodne z normą NF P 11-300. Kategorie kruszywa betonowego wg [2] przedstawia tablica 3.

Tablica 3 – Kategorie kruszywa betonowego ze względu na cechy mechaniczne wg propozycji francuskiej

Odwołanie do normy	NF P 11-300		XP P 18-540 oraz NF P 98-129 9 (UG A)		
	F 72	F 71			
Kategoria kruszywa z recyklingu	RG0	RG1	RG2	RG3	RG4
Wielkość ziarna	Niekalibrowana	0/D $D \leq 80$ mm	0/D $D \leq 31,5$ mm	0/D $D \leq 20$ mm	0/D $D \leq 20$ mm
Ścieralność	Nieokreślona	$LA \leq 45$ $MDE \leq 45$	$LA \leq 45$ $MDE \leq 45$ $LA + MDE \leq 80$, tj. E	$LA \leq 45$ $MDE \leq 35$ $+ MDE \leq 65$, tj. E+	$LA \leq 35$ $MDE \leq 30$ $+ MDE \leq 55$, tj. D
Czystość	Nieokreślona	$VBS^{(1)} \leq 0,2$	$(SE^{(2)} \geq 50$ lub $MB^{(3)} \leq 2,5)$ tj. b	$(SE^{(2)} \geq 50$ lub $MB^{(3)} \leq 2,5)$ tj. b	$(SE^{(2)} \geq 50$ lub $MB^{(3)} \leq 2,5)$ tj. b
Siarczany	Zależnie od zastosowania	$SS b (\leq 0,7\%)$			

(1) VBS: Wartość grupy błękitu metylenowego wg normy NF P 94-068.

(2) Wskaźnik piaskowy

(3) MB: Wartość grupy błękitu metylenowego wg normy EN 933-9

Uwagi dotyczące zawartości siarczanów

Zawartość siarczanów jest określana przez normę NF P 18-581.

Próg absolutny jest podniesiony do 0,20% (tj. kategoria SSa) przy zastosowaniu w budownictwie pod płytą betonową. W takim przypadku zawartość tynku musi być zerowa, a jedynym źródłem siarczanów może być cement w materiale źródłowym.

Aby zaliczyć je do kategorii RG1, RG2, RG3 lub RG4, materiały muszą spełniać wszystkie kryteria mające zastosowanie do każdej z tych kategorii.

3.2 IDENTYFIKACJA HANDLOWA – ASORTYMENT

Do produkcji kruszywa betonowego stosowane są standardowe instalacje sortujące tak jak dla kruszyw mineralnych. Zestawy sit są znormalizowane i stosowane mogą być przy produkcji kruszyw mineralnych i sztucznych. W związku z tym nie ma potrzeby wprowadzania innych asortymentów pod względem składu ziarnowego kruszyw betonowych i proponuje się stosować grupy asortymentowe kruszyw wg [6] jak niżej:

Tablica 4 – Podział kruszywa na frakcje handlowe

Podgrupy	
kruszywa łamane zwykle	
rodzaj	Frakcja lub grupa frakcji¹⁾ [mm]
1	2
miał	0 – 4
kliniec	4 – 12.8
kliniec	4 – 20.0
kliniec	4 - 31.5
kliniec	6.3 - 12.8
kliniec	6.3 - 20.0
kliniec	12.8 - 20.0
kliniec	20 - 31.5
tłuczeń	31.5 - 63.0
niesort	0 - 31.5
niesort	0 - 63.0

1) Dopuszcza się po uzgodnieniu z odbiorcą, w przypadkach technicznie uzasadnionych, dostarczanie kruszywa innych frakcji i grupy frakcji niż w tablicy

Kruszywo betonowe powinno być klasyfikowane pod względem właściwości. Należy rozróżniać kruszywo o dobrych właściwościach fizykomechanicznych i złych. Pod tym względem wymagane będzie ustalenie wymagań dla tego typu kruszyw z określeniem warunków ich stosowania w budownictwie drogowym, co jest przedmiotem niniejszego opracowania.

3.3 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ KRUSZYWA BETONOWEGO

3.3.1 KRUSZYWO Z NAWIERZCHNI LOTNISKOWEJ BEMOWO W WARSZAWIE PRODUKCJI MPRD S.A.

Kruszywo betonowe miało być zastosowane na podbudowy drogowe w konstrukcjach nawierzchni ul. Powstańców Śląskich i Centrum Handlowego BEMOWO w Warszawie [3] Kruszywo stanowiła mieszanka 0/63mm uzyskana w procesie mechanicznej przeróbki (przekruszenia) gruzu betonowego. Do kruszenia zostały zastosowane kruszarki szczękowe.

3 Cezary KRASZEWSKI, Mieczysław PRZYGODA Zakład Geotechniki IBDiM - Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe z zastosowaniem gruzu betonowego na terenie dróg i placów manewrowych Centrum Handlowego przy ul. Powstańców Śląskich w Warszawie; praca wykonana na zlecenie MPRD S.A., Warszawa 1999 r.

Stosowany przy produkcji kruszywa gruz betonowy pochodził z nawierzchni lotniska BEMOWO w Warszawie. Charakterystykę kruszywa betonowego ustaloną na podstawie badań IBDiM [4] przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 5 – Charakterystyka kruszywa betonowego powstałego z przekruszenia nawierzchni lotniska BEMOWO w Warszawie

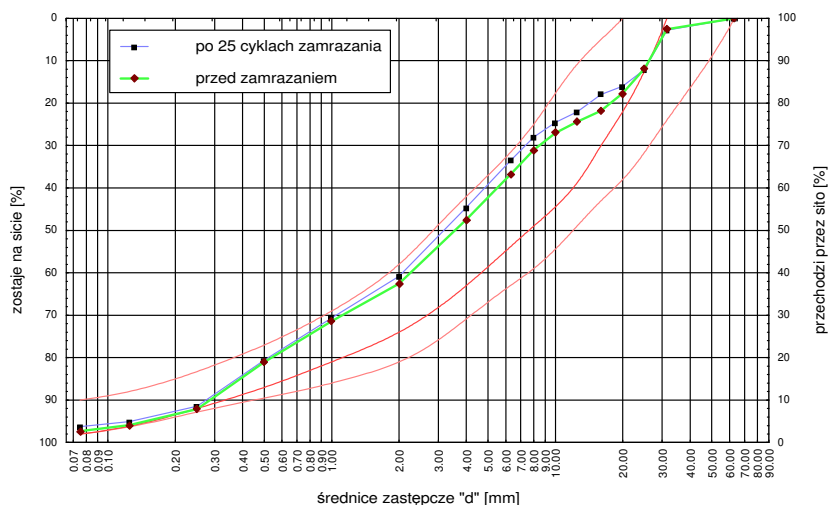
Lp.	Badana cecha	Badanie wg	Jednostka	Wynik
1	Nasiąkliwość	PN-B-06714-18:1977		
	frakcja 4/8mm		%	4.73
	frakcja 8/16mm		%	4.56
	frakcja 16/31.5mm		%	5.60
	frakcja 31.5/63mm		%	4.52
	frakcja >63mm		%	5.09
	Nasiąkliwość średnia ważona dla całej mieszanki		%	4.84
2	Mrozoodporność (ubytek masy)	PN-B-06714-19:1978		
	frakcja 4/8mm		%	44.88
	frakcja 8/16mm		%	32.80
	frakcja 16/31.5mm		%	20.55
	frakcja 31.5/63mm		%	11.13
	frakcja >63mm		%	0.39
	Nasiąkliwość średnia ważona dla całej mieszanki		%	16.38
3	Wskaźnik piaskowy	BN-64/8931-01	WP	73
4	Ścieralność w bębnie Los Angeles	PN-B-06714-42:1979		
	częściowa, po 1/5 pełnej liczby obrotów		%	26.7
	całkowita, po pełnej liczbie obrotów		%	56.3
5	Zawartość zanieczyszczeń organicznych	PN-B-04481:1988	%	brak
6	Zawartość ziarn mniejszych niż 0.075mm	PN-B-06714-15:1991		
	-dla próbki przed zagęszczeniem		%	0.01
	-po 5-krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora		%	11.3
7	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu pds	PN-B-04481:1988	g/cm ³	1.970
8	Wilgotność optymalna W _{opt}	PN-B-04481:1988	%	8.3
9	Wskaźnik nośności w _{noś} (CBR)	BN-70/8931-05		
	przy penetracji trzpienia 2.5mm		%	37
	przy penetracji trzpienia 5.0mm		%	57
	średnia		%	47
10	Zawartość zanieczyszczeń obcych	PN-B-06714-12:1976	%	Brak

Tablica 6 – charakterystyka kruszywa betonowego powstałego z przekruszenia nawierzchni drogowych drobnowymiarowych elementów betonowych

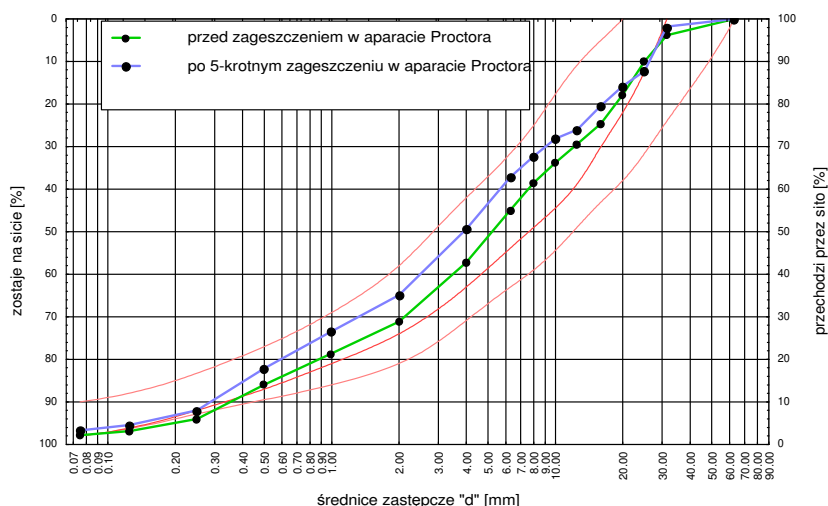
Lp.	Badana cecha	Badanie wg	Jednostka	Wynik
1.	<u>Zawartość ziarn nieforemnych</u> 4/8mm 8/16mm 16/31.5mm 31.5/80mm	PN-B-06714- 16:1978	% % % %	0.0 1.3 2.6 18.8
2.	<u>Nasiąkliwość</u> frakcja 2/4mm frakcja 4/8mm frakcja 8/16mm frakcja 16/31.5mm frakcja 31.5/63mm frakcja >63mm	PN-B-06714- 18:1977	% % % % % %	6.55 5.34 4.73 4.76 4.87 5.28
3.	<u>Mrozoodporność (ubytek masy)</u> frakcja 2/4mm frakcja 4/8mm frakcja 8/16mm frakcja 16/31.5mm frakcja 31.5/63mm frakcja >63mm	PN-B-06714- 19:1978	% % % % % %	18.2 40.3 55.5 10.5 4.4 3.9
4	<u>Ścieralność w bębnie Los Angeles</u> <u>częściowa, po 1/5 pełnej liczby obrotów</u> frakcja 4/10mm frakcja 10/31.5mm frakcja 31.5/80mm <u>całkowita, po pełnej liczbie obrotów</u> frakcja 4/10mm frakcja 10/31.5mm frakcja 31.5/80mm	PN-B-06714- 42:1979	% % % % % % %	18.07 19.58 17.17 44.26 47.32 49.64
5.	<u>Zawartość zanieczyszczeń obcych</u> Próbka 1 0/12mm Próbka 2 10/63mm Próbka 3 31.5/80mm	PN-B-06714- 12:1976	% % %	Brak Brak Brak

Tablica 7 – charakterystyka mieszanki kruszywa betonowego 0/63mm

Lp.	Badana cecha	Badanie wg	Jednostka	Wynik
1	Wskaźnik piaskowy Przed zagęszczeniem w aparacie Proctora Po 5-krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora	BN-64/8931-01	WP WP	76 71
2	Ścieralność w bębnie Los Angeles częściowa, po 1/5 pełnej liczby obrotów całkowita, po pełnej liczbie obrotów	PN-B-06714- 42:1979	% %	18.84 46.38
3.	Nasiąkliwość	PN-B-06714- 18:1977	%	5.33
4.	Zawartość ziarn mniejszych niż 0.075mm -dla próbki przed zagęszczeniem -po 5-krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora	PN-B-06714- 15:1991	% %	2 3
5.	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu ρ_{ds}	PN-B-04481:1988	g/cm ³	1.875
6.	Wilgotność optymalna W_{opt}	PN-B-04481:1988	%	13.1
7.	<u>Wskaźnik nośności $w_{noś}$ (CBR)</u> Bezpośrednio po zagęszczeniu mieszanki przy penetracji trzpienia 2.5mm przy penetracji trzpienia 5.0mm	BN-70/8931-05	% %	161 164
8	Mrozoodporność średnia ważona dla mieszanki	PN-B-06714- 19:1978	%	27.8



Rys 2 - Wykresy zmian uziarnienia mieszanki z kruszywa betonowego przed i po cyklach zamrażania i odmrażania



Rys. 3 - Wykresy zmian uziarnienia mieszanki z kruszywa betonowego podczas zagęszczania

Kruszywo o właściwościach przedstawionych powyżej w stosunku do kruszyw mineralnych jest kruszywem znacznie słabszym. Wg kryteriów klasyfikacji kruszyw w drogownictwie [6] kruszywo to nie spełnia wymagań nawet dla III klasy. Przekroczone są granice nasiąkliwości i mrozoodporności. Odporność na działanie mrozu badana w sposób analogiczny jak dla kruszyw mineralnych (badanie na poszczególnych frakcjach wg [7]) nie spełnia warunku mrozoodporności, natomiast mieszanka poddana 25 cyklom zamrażania i odmrażania nie zmienia granulometrii co oznacza, że nie jest ona podatna na działanie mrozu. W tym zakresie wymagane będzie przeprowadzenie badań uzupełniających. Kruszywo to zostało dopuszczone do stosowania w warstwach konstrukcyjnych poniżej oddziaływania mrozu, w technologiach stabilizacji mechanicznej, bądź w technologii stabilizacji cementem w warstwach narażonych na działanie mrozu.

6 PN-B-11112:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych.

7 PN-EN 1367-1:2001 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych cz.1 oznaczanie mrozoodporności.

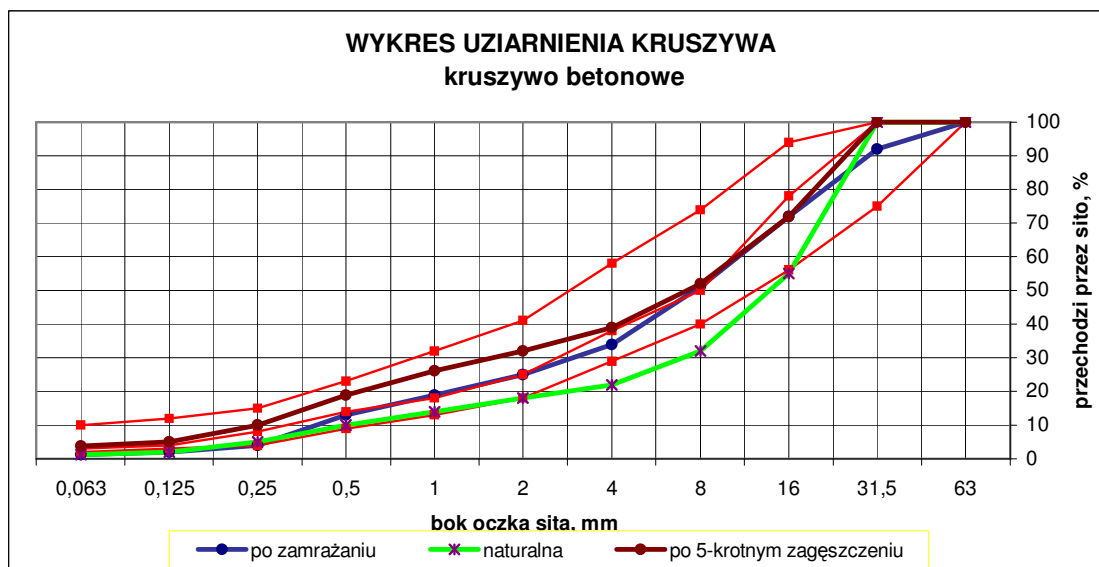
3.3.3 KRUSZYWO POWSTAŁE Z PRZEKRUSZENIA DROGOWYCH DROBNOWYMIAROWYCH ELEMENTÓW BETONOWYCH – DELTA S.A.

Badane kruszywo powstaje w wyniku mechanicznej przeróbki elementów betonowych takich jak: krawężniki, elementy nawierzchniowe (kostka, trelinka) oraz elementy konstrukcji budowlanych pochodzące rozbiórki. Surowiec do produkcji kruszywa betonowego jest dość zmienny i charakteryzuje się klasą wytrzymałościową od B15÷B40. Elementy betonowe są kruszone kruszarką szczękową na bazie producenta kruszywa. W procesie produkcji uzyskuje się kruszywo o uziarnieniu ciągłym frakcji 0/63mm. Kruszywo jest składowane na hałdzie, skąd pobierane jest na środki transportu w celu dystrybucji na budowy.

Charakterystykę kruszywa betonowego ustaloną na podstawie badań IBDiM [8] przedstawiono w tablicy 8.

Tablica 8 - Zestawienie wyników badań dla kruszywa betonowego wg badań IBDiM - 039/134/2003 z sierpnia 2003 r.

Lp	BADANA CECHA	Badanie wg.	OTRZYMANY WYNIK
1	Mrozoodporność metodą bezpośrednią [%]	PN-B-06714-19: 1978	7,33
2	Nasiąkliwość [%]	PN-B-06714-18: 1978	4,97
3	Wskaźnik nośności $W_{noś}$ [%]	PN-S-02205:1988 załącznik A	
	bezpośrednio po zagęszczeniu		112
	po 4 dobach moczenia w wodzie		117
	po 7 dniach w tym 4 dni moczenia w wodzie		121
	po 28 dniach w tym 14 dni moczenia w wodzie		125
	po 28 dniach w tym 14 cykli zamrażania i rozmrażania		54
4	Wilgotność optymalna [%]	PN-B-04481: 1988	11,5
5	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [g/cm ³]		1,841
6	Wskaźnik piaskowy SE [%]	PN-EN-9338:2001	
	po 5 krotnym ubiciu w aparacie PROCTORA		72
	po 14 cyklach zamrażania i rozmrażania		72
7	Kapilarność bierna [m]	PN-B-04493:1960	0,3
8	Wskaźnik wodoprzepuszczalności K_{10} [m/d]	PN-B-04492:1955	
	bezpośrednio po zagęszczeniu		32,16
	po 4 dobach moczenia w wodzie		31,22
	po 7 dniach w tym 4 dni moczenia w wodzie		30,64
	po 28 dniach w tym 14 dni moczenia w wodzie		31,42
	po 28 dniach w tym 14 cykli zamrażania i rozmrażania		31,92
9	Ścieralność w bębnie Los Angeles [%]	PN-B-06714-42:1979	
	ścieralność częściowa $\dot{s}_{cz}$		15,07
	ścieralność całkowita $\dot{s}_c$		45,53
	wskaźnik jednorodności ścierania X_s		33,12
10	Wskaźnik rozkruszenia X_r [%]	PN-B-06714-40:1978	22,66
11	Zawartość ziaren mniejszych niż 0,075mm [%]	PN-B-06714-15:1991	2,0
12	Zawartość nadziarna [%]	PN-B-06714-15:1991	0,0



Rys. 4 – wykres uziarnienia kruszywa w stanie naturalnym, poddanego cyklowi zamrażania, poddanego zagęszczeniu

Pod względem uziarnienia kruszywo betonowe należy zakwalifikować do niesortu 0/63mm wg PN-B-11112:1996 [6]. Krzywa uziarnienia kruszywa naturalnego (przed zagęszczeniem) jest zbliżona do zalecanej krzywej w PN-S-06102:1997 [9]. Po zagęszczeniu w aparacie Proctora, co symuluje proces zagęszczania wibracyjnego krzywa uziarnienia kruszywa wpisuje się w zalecany zakres uziarnienia.

Cechy fizyko-mechaniczne pozwalają na zaliczenie badanego kruszywa do kruszyw mineralnych klasy III zgodnie z [6]. Pod względem podstawowych cech świadczących o przydatności do wykonywania podbudów drogowych, właściwości kruszywa betonowego odpowiadają wymaganiom PN-S-06102:1997 [9].

Kruszywo betonowe charakteryzuje się korzystnie wysoką wartością wskaźnika nośności *CBR*, która wynosi bezpośrednio po ubiciu $CBR=112\%$, i rośnie w miarę czasu do $CBR=125\%$ po 28 dniach. Wskazuje to na pewną aktywność i właściwości wiążące kruszywa po jego rozkruszeniu. Nawet podczas nasycania wodą nośność mieszanki rośnie. Wysoki wskaźnik $CBR>100\%$ upoważnia do przyjęcia wskaźnika równoważnej nośności - 1.00, który można stosować przy zmianach materiałowych.

Ponadto kruszywo betonowe charakteryzuje się niską zawartością cząstek o średnicy mniejsze niż 0.063mm, co czyni ten materiał dobrze przepuszczający wodę. Wskaźnik wodoprzepuszczalności k_{10} dla tego kruszywa wynosi 30m/dobę co spełnia wymagania dla drogowych materiałów filtracyjnych. Dla przykładu dobrze przepuszczalny materiał w drogownictwie to $k_{10}>8\text{m/dobę}$.

Badania przeprowadzone pod kątem mrozoodporności wykazały, że kruszywo spełnia wymagania dla kruszyw gat. III. Ponadto zastosowano niestandardowe badania mrozoodporności, które wykazały, że kruszywo poddane cyklom zamrażania i odmrażania w wodzie nie zmienia znacznie swego uziarnienia, a wskaźnik *CBR* utrzymuje się na poziomie 54%.

Na podstawie powyższej charakterystyki kruszywa betonowego jego racjonalne wykorzystanie można zaproponować następująco:

- Dla dróg kategorii KR1÷KR2 kruszywo betonowe może być wykorzystane w podbudowach zasadniczych,

- Dla dróg kategorii KR3÷KR6 kruszywo betonowe może być wykorzystane w podbudowach pomocniczych.

Ponadto kruszywo betonowe może być stosowane w podbudowach zasadniczych w konstrukcjach drogowych na ruch KR3÷KR6 w technologiach stabilizacji kruszywa cementem lub chudych betonach. W tym przypadku, przy projektowaniu mieszanek, badaniach i odbiorze warstw podbudów wykonanych w tej technologii obowiązują wymagania przedstawione w:

- PN-S-96012:1997 [10], lub
- PN-S-96013:1997 [11].

Producent kruszywa o powyższych właściwościach od 10 lat stosuje w podbudowach drogowych materiały pochodzące z recyklingu tj. tłuczeń betonowy i opartą na jego bazie mieszankę optymalną kruszyw. Jak pokazało wieloletnie doświadczenie konstrukcje, w których zastosowano takie podbudowy bardzo dobrze zniosły próbę czasu. Podbudowy z tłucznia betonowego, lub z mieszanki optymalnej zastosowano między innymi na niżej wymienionych obiektach:

- *Otoczenie zakładów PROCTER & GAMBLE Targówek Plant w Warszawie 1995*
- *Stacje paliw STATOIL przy ulicach: Fieldorfa, Połczyńskiej i Wrocławskiej 1994*
- *Stacje paliw AMOCO (SHELL) ulica Wolska, Wolica 1996, 1997*
- *Kompleksowy remont ulic: CHMIELNEJ, POLNEJ, TRAUGUTTA, SIENKIEWICZA, Pl. MŁYNARSKI, WÓJTOWSKIEJ, BACZYŃSKIEGO i pl. EMILA MŁYNARSKIEGO*
- *Remont parku KASKADA - Żoliborz 1996*
- *Otoczenie biurowców TOP 2000 przy ul. Wołoskiej i AKTYN przy ul. Chmielnej 1995*
- *Drogi i place na terenie WARSAW DISTRIBUTION CENTER przy ul. Szyszkowej 1995,6*
- *Otoczenie biurowców ILMET, KASKADA, WARSAW FINANCIAL CENTER, BRC i WARSAW TOWERS przy rondzie ONZ i ulicach: Świętokrzyskiej i Emilii Plater 1997 - 2000*
- *Drogi i place wokół kompleksu MAN w Wolicy i hali METRA POLAND ALUMINIUM w miejscowości Urzut 1997,8*
- *Otoczenie siedziby KRAJOWEJ IZBY ROZLICZENIOWEJ - ul. Śródziemnomorska 1997*
- *Drogi i parkingi dla firmy komputerowej KAREN - Al. Jerozolimskie 1998*
- *Kompletne otoczenie zakładów DANFOSS w Grodzisku Mazowieckim 1998,9*
- *Parkingi i drogi wewnętrzne przy hali TORWAR II oraz przy kompleksie NATPOL na Ursynowie 1997, 1998*
- *Otoczenie hal EUROPA PARK i MAERSK w Mszczonowie 1999, 2000*
- *Otoczenie kompleksu szkolno - sportowego przy ul. KASPRZAKA (pływalnia) 1998*
- *Drogi, parkingi i chodniki przy siedzibie AMPLICO - ul. Przemysłowa 2000*
- *Otoczenie kompleksów REDUTA, KILJAŃCZYK - RENAULT oraz JEROZOLIMSKIE BUSINESS PARK wraz z modernizacją ulic: AL. JEROZOLIMSKIE, OPACZEWSKA, MSZCZONOWSKA, WŁOCHOWSKA 1998, 1999*
- *Drogi i parkingi wokół hal MOTOZBYT - ul. Łopuszańska 1999*
- *Drogi i ukształtowanie terenu przy BIBLIOTECIE UNIwersytetu WARSZAWSKIEGO wraz z modernizacją ulicy DOBREJ i LIPOWEJ 1999, 2000*
- *Otoczenie centrum CATERPILLAR w Ołtarzewie 2001*
- *Otoczenie CINEMA CITY na Bemowie, CITY STAR w Raszynie 2001*
- *Otoczenie hotelu NOWA PRAGA przy ul. Brechta 2002*

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

11 PN-S-96013:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa z chudego betonu

- Otoczenie budynku GIEŁDY PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH przy ul. Książęcej 2002
- Modernizacja ul. MODZELEWSKIEGO na Mokotowie 2001
- Otoczenie biurów: BUSINESS RESEARCH CENTER przy ul. Grzybowskiej oraz RENNAISSANCE TOWER wraz z modernizacją ulicy ROGALIŃSKIEJ 2000
- Parkingi przy ulicy DORYCKIEJ na Bielanych 2000
- Otoczenie siedziby AGORA S.A. przy ul. Czerskiej 2002, 2001
- Ulice: IRYSOWA, FAŁĘCKA i KURPIŃSKIEGO na Mokotowie 2003

3.3.4 KRUSZYWO POWSTAŁE Z PRZEKRUSZENIA DROGOWYCH DROBNOWYMIAROWYCH ELEMENTÓW BETONOWYCH - LABOTEST

Do badań wykorzystano kruszywo o uziarnieniu 0/63 mm uzyskane z przekruszenia gruzu betonowego z rozbiórki konstrukcji betonowych klasy B15 do B40. Dostarczona do badań próbka laboratoryjna reprezentowała materiał przekruszony kruszarką szczękową zlokalizowaną na bazie w Siemianowicach Śląskich. Wyniki badań [12] przeprowadzonych przedstawiono poniżej w tablicach 9, 10, 11, 12.

Tablica 9 - Oznaczenie zmian wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i współczynnika filtracji po zagęszczeniu kruszywa i cyklach zamrażania

rodzaj mieszanki	wskaźnik piaskowy <i>WP</i>	kapilarność bierna H_{kB}	współczynnik filtracji k_{10}
mieszanka normowa, w której frakcję > 20 mm zastąpiono frakcją 6,3/20	87,3	0,58	24,8
mieszanka 0/20 po zagęszczeniu w aparacie Proctora dla $I_s = 1,00$	78,5	0,64	14,5
mieszanka 0/20 po zagęszczeniu w aparacie Proctora i 14-tu cyklach z-o	56,8	0,71	9,2
mieszanka 0/20 po zagęszczeniu w aparacie Proctora i 25-ciu cyklach z-o	51,5	0,72	5,4

Tablica 10 - Oznaczenie wartości wskaźnika nośności kruszywa przy zastosowaniu różnych warunków badań

stan mieszanki	CBR (%) dla $I_s = 1,00$	CBR (%) dla $I_s = 1,03$
mieszanka 0/20 bezpośrednio po zagęszczeniu	62,3	79,5
mieszanka 0/20 po zagęszczeniu i 4 dobach moczenia w wodzie	105,7	129,9
mieszanka 0/20 po zagęszczeniu i 25-ciu cyklach z-o	92,6	115,0
mieszanka 0/20 po 28 dniach sezonowania i 4 dobach moczenia w wodzie	> 250	> 250
mieszanka 0/20 po 28 dniach sezonowania i 25 cyklach z-o	84,7	105,1

Tablica 11 - Oznaczenie ścieralności częściowej i całkowitej w bębnie Los Angeles dla poszczególnych frakcji kruszywa

frakcja	procentowa zawartość frakcji w mieszance	ścieralność częściowa %	ścieralność całkowita %
4/8	17,6	17,8	30,5
8/16	15,3	20,1	30,6
16/31,5	11,3	18,2	37,8
31,5 / 63	13,8	19,0	39,4
wartość średnia ważona		18,8	34,1

Tablica 12 - Oznaczenie mrozoodporności dla poszczególnych frakcji kruszywa

frakcja	procentowa zawartość frakcji w mieszance	mrozoodporność %
4/8	17,6	15,3
8/16	15,3	14,9
16/31,5	11,3	9,7
31,5 / 63	13,8	17,4
wartość średnia ważona		14,7

W celu sprawdzenia przydatności technologicznej i konstrukcyjnej kruszywa z kruszywa betonowego, wykorzystywanego w mieszankach o optymalnym uziarnieniu wykonano w maju 2000 r. dwa odcinki próbne, zlokalizowane na drodze dojazdowej do składowiska kruszyw w Katowicach Janowie oraz w marcu 2001 r. odcinek doświadczalny w postaci drogi dojazdowej do szybu Piast w Katowicach w ramach zadania: Budowa Drogowej Trasy Średnicowej.

Odcinki próbne wykonane w roku 2000

Powierzchnia odcinków: $2 \times 180 \text{ m}^2$

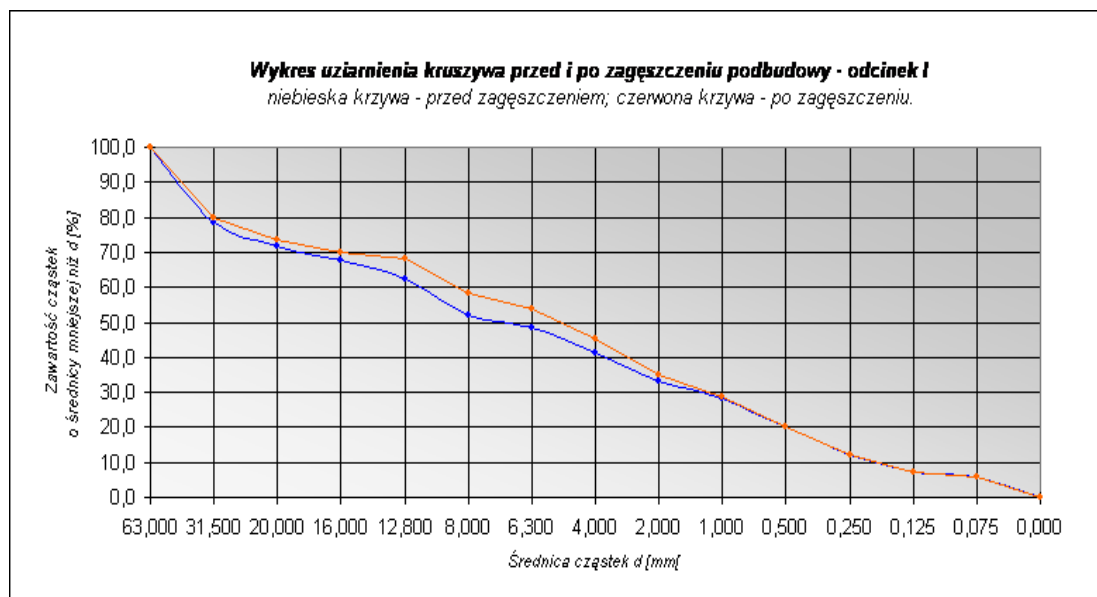
Konstrukcja nawierzchni wraz z ulepszonym podłożem dla przewidywanego obciążenia ruchem kategorii KR 4 przedstawiała się następująco:

- warstwa ścieralna (wykonana po 3 miesiącach od ułożenia podbudowy) – dywanik bitumiczny gr. 5 cm,
- podbudowa stabilizowana mechanicznie z mieszanki kruszywa z gruzu betonowego 0/63 gr. 25 cm (13+12 cm)
- warstwa mrozoochronna pełniąca równocześnie funkcję warstwy filtracyjnej z lupka przywęglowego przepalonego – gr. 50 cm (2x25cm)
- podłoże G 3 z gliny piaszczystej

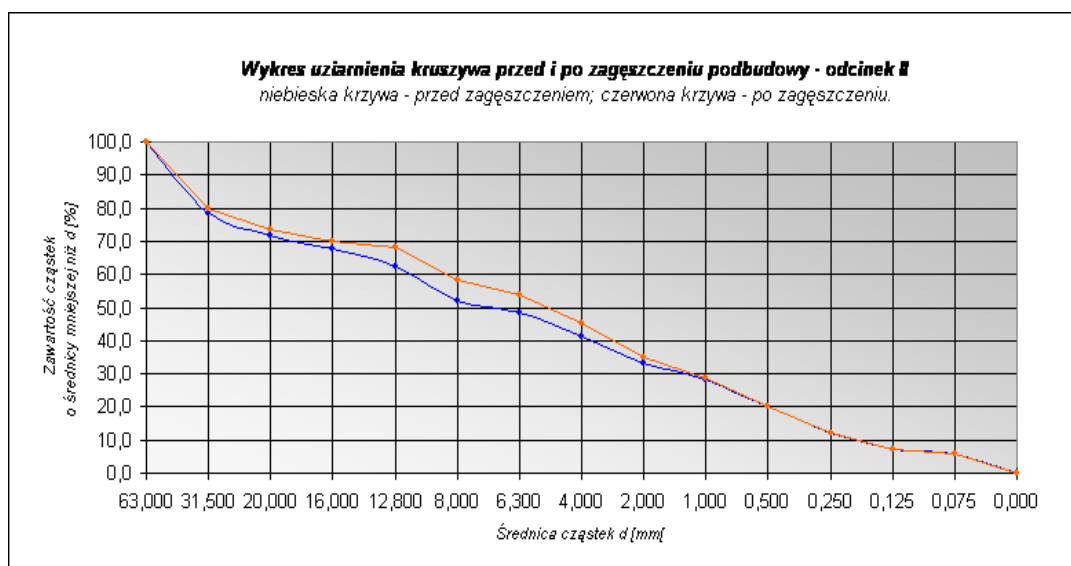
Materiał podbudowy

- odc. I 80 % kruszywo z gruzu betonowego 0/63 mm bezpośrednio z kruszarki (niedobór frakcji piaskowo- żwirowej-konieczność odziarniania)
 20 % kruszywo z żużla wielkopiecowego 0/10 mm z Huty „Jedność” (materiał doziarniający)
- odc. II mieszanka kruszywa z gruzu betonowego zestawiona z frakcji :
 25 % frakcja 0/2 mm
 45 % frakcja 2/16 mm
 30 % frakcja 16/63 mm

Uziarnienie kruszywa przed i po zagęszczeniu podbudowy przedstawiono na rys. nr 5 i 6.



Rys. 5 – wykres uziarnienia kruszywa betonowego przed i po zagęszczeniu – odcinek I



Rys. 6 – wykres uziarnienia kruszywa betonowego przed i po zagęszczeniu – odcinek II

Na tak przygotowanej podbudowie, po doświadczalnym ustaleniu sposobu zagęszczania wykonano badanie modułów nośności i wskaźnika odkształcenia.

Uzyskano następujące wyniki badań:

	warstwa mrozoochronna	podbudowa (kruszywo betonowe)
Odc. I	$E_2 = 132 \div 136 \text{ MPa}$ $I_o = 1,8 \div 2,2$	$E_2 = 225 \div 250 \text{ MPa}$ $I_o = 2,1 \div 2,2$
Odc. II	$E_2 = 129 \div 141 \text{ MPa}$ $I_o = 1,9 \div 2,0$	$E_2 = 250 \div 321 \text{ MPa}$ $I_o = 1,8 \div 2,0$

Badania powtórzono po trzech miesiącach wstępnego twardnienia podbudowy, bezpośrednio przed ułożeniem warstwy bitumicznej oraz pod koniec okresu jesienno – zimowego (połowa marca), po całkowitym rozmarznięciu konstrukcji i zdjęciu warstwy bitumicznej w miejscach pomiarów.

Niekorzystne warunki pogodowe (opady deszczu) sprawiły, że podbudowa znalazła się w stanie znacznego zawilgocenia, a zdjęcie warstwy bitumicznej spowodowało rozluźnienie jej powierzchni. Mogło to stać się przyczyną mniej korzystnych wartości wskaźników odkształcenia..

Uzyskano następujące wyniki :

Badanie po trzech miesiącach	Badania pod koniec okresu jesienno – zimowego
Odc. I $E_2 = 321 \div 375 \text{ MPa}$ $I_o = 1,7 \div 1,9$	Odc. I $E_2 = 375 \text{ MPa}$ $I_o = 2,3$
Odc. II $E_2 = 350 \div 375 \text{ MPa}$ $I_o = 1,6 \div 2,0$	Odc. II $E_2 = 450 \text{ MPa}$ $I_o = 2,1$

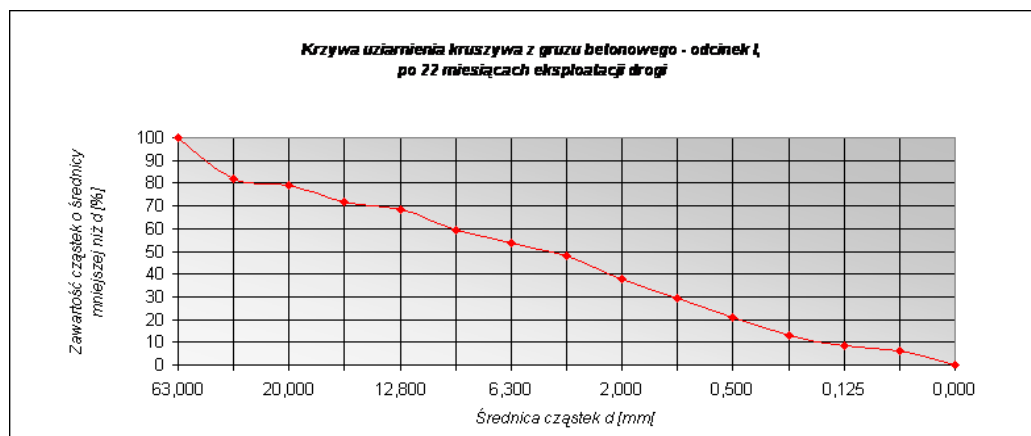
W celu sprawdzenia zmian zachodzących w podbudowie, pod wpływem obciążenia ruchem, kolejne badania nośności i uziarnienia przeprowadzono po upływie jednego roku od badań poprzednich czyli po 22 miesiącach eksploatacji drogi.

Wyniki badań były następujące:

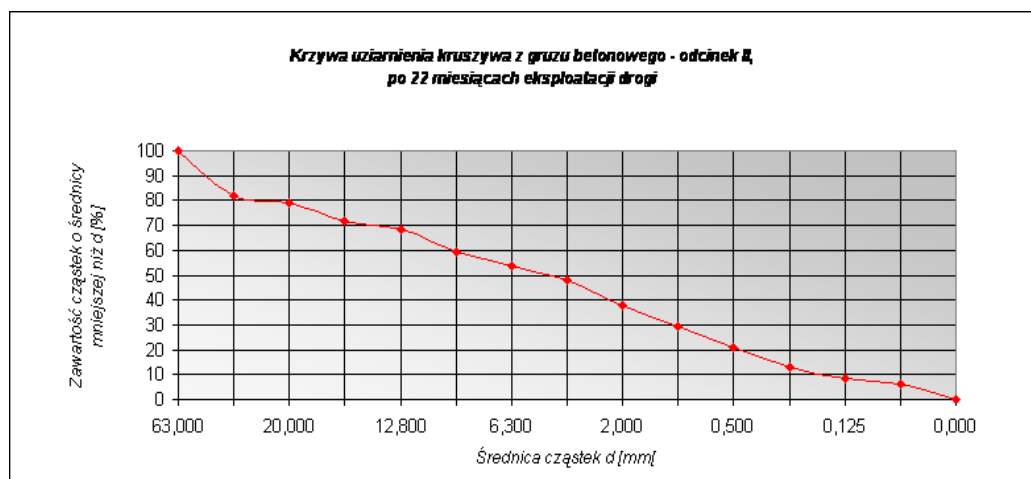
Odc. I $E_2 = 450$ MPa
 $I_o = 1,9$

Odc. II $E_2 = 562$ MPa
 $I_o = 2,1$

Uziarnienie kruszywa pobranego w miejscach badań przedstawiono na wykresach 7 i 8.



Rys. 7 – Wykres uziarnienia po wstępnym okresie eksploatacji – odcinek I



Rys. 8 – Wykres uziarnienia po wstępnym okresie eksploatacji – odcinek II

Odcinek doświadczalny wykonany w roku 2001.

W roku 2001 wykonano fragment drogi dojazdowej do szybu Piast długości 150 m i szerokości jezdni 5m. Konstrukcja nawierzchni wraz z ulepszonym podłożem dla przewidywanego obciążenia ruchem kategorii KR 2 przedstawiała się następująco:

- warstwa ścieralna - 4 cm
- warstwa wiążąca – 6 cm
- podbudowa stabilizowana mechanicznie z mieszanki kruszywa z gruzu betonowego 0/63 – gr. 25 cm (13+12 cm)
- warstwa mrozochronna pełniąca równocześnie funkcję warstwy filtracyjnej z lupka przywęglowego przepalonego – gr. 40 cm (2x20cm)

- podłoże G 4 z gliny pylastej

Materiał podbudowy stanowiła mieszanka kruszywa z gruzu betonowego z zawartością ok. 15 % gruzu ceglanego, zestawiona z frakcji:

25 % frakcja 0/2 mm

45 % frakcja 2/16 mm

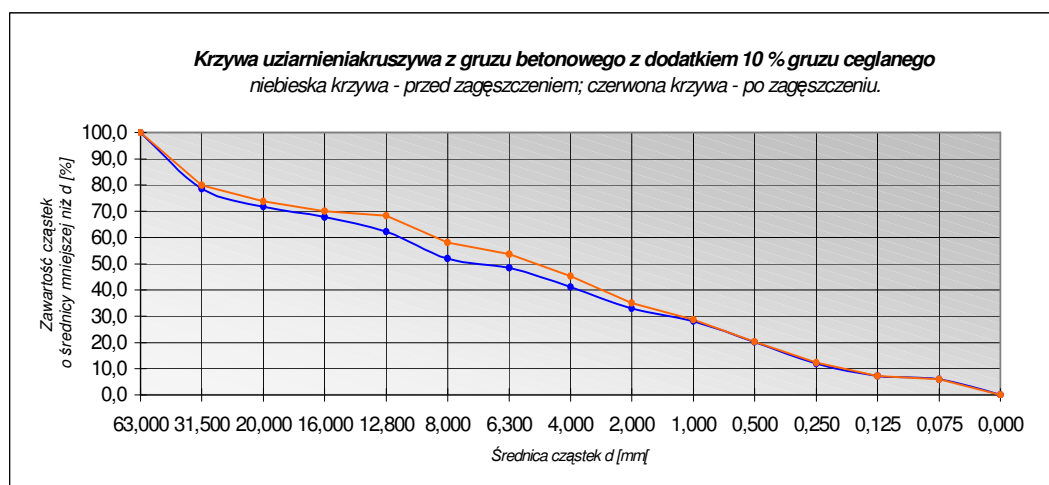
30 % frakcja 16/63 mm

Na wykonanej podbudowie przeprowadzono badania nośności oraz pobrano materiał do oceny składu ziarnowego kruszywa przed i po zagęszczeniu.

Uziarnienie kruszywa przedstawiono na wykresie nr 9.

Wyniki badania nośności i zagęszczenia przedstawiały się następująco:

$$E_2 = 225-321 \text{ MPa} \quad I_o = 1,9-2,1$$



Rys.9 – Wykres uziarnienia mieszanki kruszywa betonowego z dodatkiem gruzu ceglanego

Droga jest od dwóch lat eksploatowana i poddawana obserwacji. Do dnia dzisiejszego nie stwierdzono żadnych deformacji i uszkodzeń wskazujących na pogorszenie się stanu podbudowy.

Uwagi:

- zmiany uziarnienia kruszywa z gruzu betonowego zachodzące pod wpływem zagęszczenia są niewielkie i nie znaczące,
- zmiany uziarnienia kruszyw z gruzu betonowego z niewielką zawartością gruzu ceglanego są nieznacznie większe, ale również mało znaczące,
- podbudowę z kruszywa z gruzu betonowego cechuje stopniowy przyrost nośności w czasie, co nie oznacza zwiększenia jej sztywności na tyle aby było to niekorzystne dla pracy konstrukcji nawierzchni.

3.3.5 KRUSZYWO BETONOWE POWSTAŁE Z PRZEKRUSZENIA NAWIERZCHNI LOTNISKOWEJ - WPRD S.A

Kruszywo betonowe powstało z przekruszenia płyt nawierzchni lotniskowej BEMOWO w Warszawie. Do kruszenia zastosowana była kruszarka szczękowa zlokalizowana na terenie lotniska. Przekruszony materiał w postaci mieszanki miał być wykorzystany do wykonania podbudowy drogowej w konstrukcji nawierzchni ul. Powstańców Śląskich w Warszawie o dużym obciążeniu – KR6. Z uwagi na parametry uzyskiwanego kruszywa betonowego przedstawione w tablicy 13 (przekroczona nasiąkliwość oraz niska mrozoodporność) Wykonawca wykorzystał kruszywo jako składnik mieszanki z kruszywem mineralnym. Kruszywo betonowe było doziarnione kruszywem mineralnym w celu spełnienia wymagań przedstawionych w [9]. Kruszywo betonowe stanowiło jednak główny składnik mieszanki 0/63mm, a jego ilość wynosiła od 65÷75% masy. Taka mieszanka została wykorzystana do wykonania:

- warstwy wzmacniającej 0/63mm gr. 18cm,
- dolnej podbudowy 0/63 gr. 22 cm.

Górne warstwy konstrukcyjne tworzyły:

- podbudowa z betonu asfaltowego 0/31.5mm gr. 18 cm
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego 0/25 mm gr. 8 cm
- warstwa ścieralna z betonu asfaltowego 0/16mm gr. 5 cm

W czasie realizacji prac była kontrolowana nośność i zagęszczenie. Badania wykazały, że mieszanka jest dobrze zagęszczalna. Pomierzony wskaźnik odkształcenia wyniósł $I_0 < 2.20$ a wtórny moduł odkształcenia kształtował się na poziomie 120÷180 MPa.

Po 4 letniej eksploatacji ulicy Powstańców Śląskich nawierzchnia nie wykazuje śladów zużycia i zniszczeń.

Charakterystykę kruszywa betonowego oraz mieszanek kruszywa betonowego z kruszywem mineralnym na podstawie badań WPRD S.A. [13] przedstawiono w tablicy 13.

Tablica 13 - Zestawienie wyników badań kruszywa betonowe przekruszone
frakcji 0/63,0 mm

Lp.	Badanie cechy	Uzyskane wyniki (%)	Wymagania PN-S-0102:1997
1.	Zawartość pyłów mineralnych (< 0,075 mm)	2,0	2,0 – 12,0
2.	Zawartość zanieczyszczeń organicznych	brak	Barwa nie ciemniejsza od wzorcowej
3.	Nadziarno	-	
4.	Podziarno	-	
5.	Zawartość ziaren nieforemnych	6,6	≤ 40,0
6.	Wskaźnik piaskowy (WP) po pięciokrotnym zagęszczeniu (Proctor)	59,0	od 30,0 do 70,0
7.	Zawartość zanieczyszczeń obcych	śląd	
8.	Zawartość ziaren słabych		
9.	Nasiąkliwość	5,58	≤ 5,0
10.	Mrozoodporność po 25 cyklach	14,7	≤ 10,0
11.	Rozpad żelazawy	-	
12.	Zawartość zanieczyszczeń obcych (gruz szamotowy)	-	
13.	Ścieralność w bębnie Los Angeles całkowita % ubytku	40,1 34,2	≤ 50,0 ≤ 35,0

13 Cezary KRASZEWSKI, Mieczysław PRZYGODA Zakład Geotechniki IBDiM; Wyniki badań kruszywa uzyskanego z mechanicznej przeróbki betonu; praca wykonana na zlecenie MPRD S.A., Warszawa 1998 r.

Tablica 14 - Zestawienie wyników badań – mieszanka kruszywa betonowego (65%)
z kruszywem mineralnym (35%)

Rodzaj badania	Jednostka	Wynik	Wymaganie
Nasiąkliwość	%	3,5 – 3,6	≤ 5
Mrozoodporność po 25 cyklach met. bezpośrednią	%	9,5 – 9,6	≤ 10
Zawartość ziaren wydłużonych i płaskich	%	4,8 – 4,9	≤ 10
Ścieralność po pełnej liczbie obrotów wg Los Angeles	%	35,9 – 37,9	≤ 50
Ścieralność po 1/5 liczbie obrotów wg Los Angeles	%	31,3 – 32,7	≤ 35
Wskaźnik piaskowy po 5-krotnym badaniu wg Proctora	%	61 - 68	30 – 70
Moduł nośności pierwotny E_1	MPa	-	≥ 100
Moduł nośności wtórny E_2	MPa	-	≥ 180
Wskaźnik zagęszczenia E_2/E_1		-	≤ 2,20

3.3.6 BADANIA KRUSZYW BETONOWYCH W PROJEKCIE ALTMAT

Kruszywo pochodzące z przeróbki gruzu budowlanego było przedmiotem badań międzynarodowego projektu badawczego ATLMAT [14] – dotyczącego wykorzystania odpadów przemysłowych w drogownictwie. Projekt opierał się na wykonaniu badań laboratoryjnych materiałów oraz prowadzeniu badań terenowych na odcinkach doświadczalnych. Jednym z badanych tam materiałów było kruszywo betonowe. W projekcie zawarte zostały doświadczenia z badań prowadzone w krajach członkowskich uczestników projektu ALTMAT – Dania, Szwecja.

Dania.

Kruszywo betonowe było zastosowane w podbudowie nawierzchni o następującej konstrukcji:

Warstwa asfaltowa – 7cm
 Podbudowa z kruszywa betonowego 0/31.5 mm – 20cm
 Warstwa piasku – 30 cm
 Podłoże gruntowe z piasku.

Identyczną konstrukcję, jako konstrukcję porównawczą wykonano z zastosowaniem w podbudowie kruszywa mineralnego

Cechy techniczne zastosowanych kruszyw w podbudowie przedstawiono w poniższych tablicach.

Tablica 15 – cechy kruszywa betonowego przed zabudową w konstrukcji
i po 8 letniej eksploatacji

Rodzaj próbki		Gęstość objętościowa i wilgotność optymalna wg Proctora zmodyfikowanego (0-16 mm)		Straty prażenia	Zawartość Ca	Ścieralność Los Angeles
Materiał	Rok	$\rho_{d, max}$ t/m ³	W_{opt} %	lom %	Ca %	LA %
Badania kruszywa przed zabudową w konstrukcji						
Kruszywo betonowe	1990			8.0	17.6	39
				7.7	16.8	
				7.7	17.3	
Badania kruszywa po 8 letniej eksploatacji konstrukcji						
Kruszywo betonowe	1998	1.86	13.0	10.9	21.2	37
Kruszywo mineralne	1998	2.11	7.5			27

Tablica 16 - Wyniki badań nośności warstwy podbudowy z zastosowaniem kruszywa betonowego i mineralnego w różnych okresach

Materiał	1991 czerwiec	1998 maj
Kruszywo betonowe	320 MPa	540 MPa
Kruszywo mineralne	200 MPa	215 MPa

Tablica 17 – Wyniki badań uziarnienia kruszywa betonowego przed i po 8 latach eksploatacji w konstrukcji drogowej

Rok		Warstwa	Przechodzi przez sito				
		cm	0.075 mm	0.25 mm	1 mm	4 mm	16 mm
			%	%	%	%	%
Kruszywo betonowe							
1990	Przed budową odcinka		4	9	25	48	91
1998	Po 8 letniej eksploatacji	0 - 20	3.6	9.3	26.4	47.8	82.5
		0 - 10	3.7	9.1	25.4	47.3	80.2
		10 - 20	3.8	8.9	24.6	47.0	84.7

Tablica 18 – Wyniki badań wymywalności związków z kruszywa betonowego i kruszywa mineralnego – porównanie

Parameter	Jednostka	Materiał	
		Kruszywo mineralne	Kruszywo betonowe
Si	g/kg	210	
Fe	g/kg	7.8	40
Ca	g/kg	32	100
Al	g/kg	31	20
Na	g/kg	8.8	40
K	g/kg	20	10
Mg	g/kg	2.2	10
As	mg/kg	1.2	5
Cd	mg/kg	< 0.01	0.3
Cr	mg/kg	5.9	40
Cu	mg/kg	5.4	20
Mn	mg/kg	280	500
Mo	mg/kg	< 0.2	2
Ni	mg/kg	3.3	40
Pb	mg/kg	10	30
V	mg/kg	11	40
Zn	mg/kg	12	50
TOC	g/kg	0.7	6.1
PH	-	9.8	11.4

Rezultaty badań wskazują, że podczas 8 letniego okresu eksploatacji kruszywo betonowe doskonale spełniło swoją rolę. Po tym okresie wykonany odcinek drogi nie wykazuje żadnych zniszczeń i znajduje się w stanie dobrym (Danish Pavement Condition Index - DPCI = 0.70).

Stan dobry wg duńskich przepisów to $DPCI=0\div 1.99$. Badania nośności wykonane w czasie budowy odcinka i po 8 letniej eksploatacji wykazują bardzo duży wzrost modułu odkształcenia, co jest wynikiem mikro-wiązań hydraulicznych wywołanych w skruszonym materiale. W kruszywie mineralnym, które było zastosowane jako tło porównawcze wzrost nośności nie nastąpił. Podczas eksploatacji nie wystąpiły istotne zmiany w uziarnieniu kruszywa betonowego. Mimo mniejszej odporności na ścieralność LA kruszywo betonowe w konstrukcji nie ulega zmianom granulometrycznym.

Badania środowiskowe wykazały, że wymywalność związków chemicznych z kruszywa betonowego jest umiarkowana i trochę większa niż w materiale mineralnym. Ze względu na zawartość związków wapnia w kruszywie betonowym następuje silny wzrost odczynu pH.

Szwecja

W Szwecji każdego roku 50 mln ton naturalnego kruszywa jest stosowane w drogownictwie. W tym samym czasie rozbiórka konstrukcji budowlanych wytwarza ok. 1 mln ton odpadów budowlanych. 75% odpadów jest wykorzystywanych do makroniwelacji, 20 % jest odzyskiwane w postaci kruszywa, a 5% jako odpady niebezpieczne jest składowane na wysypiskach.

W ramach projektu ALTMAT został wykonany odcinek doświadczalny z użyciem kruszywa betonowego w podbudowie o konstrukcji j/n:

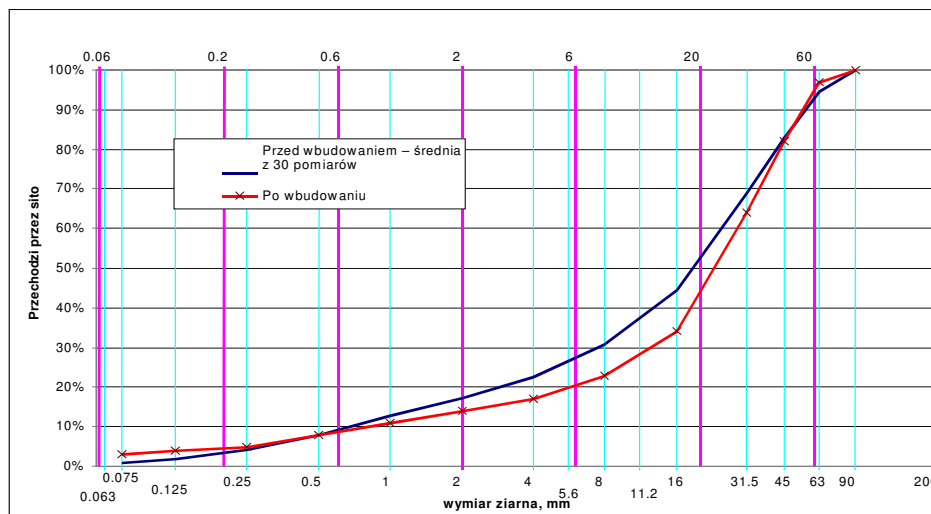
Warstwa ścieralna SMA – 3.5cm

Warstwa wiążąca – 9.5cm

Podbudowa z kruszywa
betonowego – 78.5cm

Długość odcinka wynosiła 100m, szerokość 9m.

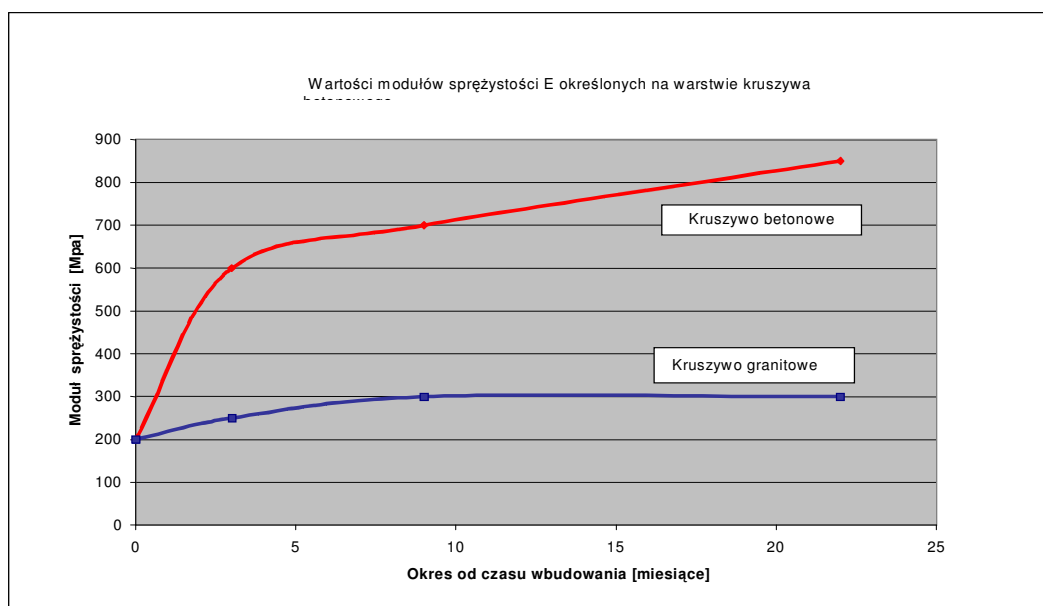
Do wykonania odcinka użyto 1500 ton kruszywa betonowego 0/63mm. Materiał o uziarnieniu jak przedstawiono na rys.10 odpowiadał wymaganiom szwedzkich przepisów drogowych ROAD 94.



Rys. 10 Wykres uziarnienia kruszywa betonowego przed zabudową i po zabudowaniu

Tablica 19 - Wyniki badań wskaźnika nośności *CBR* i ścieralności LA dla kruszywa betonowego zastosowanego na odcinku doświadczalnym

Rodzaj próbki	Wskaźnik nośności <i>CBR</i>	Ścieralność Los Angeles
Kruszywo betonowe	<i>CBR</i> %	LA %
	230	33
	264	33



Rys.

11 - Przebieg nośności podbudowy w czasie – analiza porównawcza kruszywa betonowego z kruszywem granitowym

Z powyższego wykresu wynika, że nośność podbudowy wykonanej z kruszywa betonowego rośnie znacząco w czasie (rys. 11). To zjawisko wytłumaczyć można dwoma aspektami: karbonatyzacją wolnego wapnia CaO zawartego w spoiwie i hydratacją niezhydratyzowanego cementu w reakcji z wodą. Przekłada się to na wysoki wskaźnik nośności *CBR* takiej mieszanki kruszywa jak również wysoki moduł sprężystości.

Przeprowadzono także badania środowiskowe wpływu kruszywa betonowego na środowisko oraz jako tło porównawcze posłużyło kruszywo mineralne (granit). Badanie wykazały, że kruszywo betonowe składa się głównie z następujących komponentów: Si, Al i Ca. Zdarzają się także większe ilości ciężkich metali takich jak Cr i Ni. Generalnie kruszywo betonowe charakteryzuje się wymywalnością tego samego rzędu jak materiały mineralne, jakkolwiek zdarzają się przekroczenia np. metali ciężkich takich jak Cr lub Pb.

3.4 OCHRONA ŚRODOWISKA

Ponieważ obecnie coraz więcej troski poświęca się ochronie środowiska, wykorzystanie materiałów z recyklingu oferuje trzy niewątpliwe korzyści:

- oszczędności na wysypiskach, których liczba jak i wykorzystanie może ulec zmniejszeniu;
- oszczędności w kamieniołomach, oraz
- oszczędności w transporcie, ponieważ mamy do czynienia z materiałami „lokalnymi”.

W większości krajów lokalne organy państwowe ds. ochrony środowiska regulują zastosowanie produktów ubocznych do budowy dróg. Odbywa się to często w sposób pośredni, poprzez tworzenie praw regulujących jakość gleb, wód powierzchniowych i wody pitnej, jak również praw i przepisów mających na celu ochronę żywności i zdrowia. Ponieważ warunki te są regulowane nieco inaczej w każdym z krajów (lub w każdym regionie bądź stanie we danym kraju) mogą występować duże różnice w obowiązujących przepisach.

Zasadniczo, ograniczenia dotyczące recyklingu produktów ubocznych o właściwościach fizycznych i chemicznych zbliżonych do materiałów naturalnych wykorzystywanych w drogownictwie nie istnieją lub jest ich niewiele. Istniejące nieliczne ograniczenia dotyczą wpływu na zdrowie człowieka w formie zanieczyszczenia powietrza podczas budowy oraz wpływu na środowisko naturalne. Na przykład normalnie nie zezwala się na recykling nawierzchni zawierających smołę węglową w mieszaniu powstałej w recyklingu. Ewentualnie zezwala się na bardzo małą zawartość tej substancji (poniżej 1 procenta). Co więcej, niektóre produkty uboczne mogą zawierać składniki ługujące, które mogą zanieczyścić wody powierzchniowe i gruntowe, jeżeli dany materiał będzie nieprawidłowo składowany lub wykorzystywany.

W Holandii, wymogi środowiskowe zawiera *Rozporządzenie dotyczące materiałów budowlanych* [15]. Wymogi te opierają się na przepisach prawa służących ochronie gleby i wód powierzchniowych. Wspomniane rozporządzenie określa środowiskowe kryteria jakościowe dla wykorzystywania materiałów w budownictwie. zastosowana metoda jest złożona i obejmuje potencjalne skażenie gleby i wód gruntowych. Punktem wyjścia jest założenie, że w czasie 100 lat naturalne stężenie pierwiastków chemicznych i wiązań chemicznych w wierzchnim metrze gleby nie może zostać zwiększone o więcej, niż o 1 procent naturalnego stężenia w otoczeniu. Wymóg ten dotyczy tylko materiałów ługujących i nieorganicznych; dla materiałów organicznych podaje się tylko kryteria dotyczące ich składu, gdyż brak jest rzetelnych badań dotyczących ługowania.

W USA nie ma konkretnych środowiskowych standardów jakościowych. Substancje wypłukane z recyklowanego materiału betonowego nie wydają się być ani toksyczne, ani niebezpieczne. Jednak kiedy materiał taki jest wykorzystywany jako niezwiązane podłoże lub zasypka, osady wytrącone z substancji wypłukanych mogą zapychać drobne dreny oraz membrany z geowłókniny. W Wielkiej Brytanii odpady niebezpieczne obejmuje Ustawa o Kontroli Zanieczyszczeń z roku 1974. Znaczna część jej uregulowań została zastąpiona przez Ustawę o Ochronie Środowiska z roku 1990. Przepisy dotyczące gospodarki odpadami wprowadzone w roku 1994 na mocy tej ustawy obejmują przeładunek, składowanie, obróbkę i wyrzucanie materiałów odpadowych. Krajowa Agencja ds. rzek odpowiada za ochronę wód gruntowych na mocy Ustawy o zasobach Wodnych z roku 1991 (odpowiedzialność ta została teraz przekazana Agencji ds. Ochrony Środowiska jak również Szkockiej Agencji ds. Ochrony Środowiska). Regionalne władze drogowe muszą uzgadniać z agencjami ds. ochrony środowiska możliwe wpływy budowy dróg na wody gruntowe i powierzchniowe. W efekcie, wykorzystanie materiałów odpadowych zawierających składniki rozpuszczalne w wodzie jest niedozwolone w wypełnieniach poniżej poziomu wód gruntowych.

15 Building Material Decree, code 126B/165, 23 November 1995 Zoetermeer, The Netherlands

Wymagania gospodarki wodnej dla materiałów z recyklingu elementów budowlanych RC. Podane wartości w tab. RC wg przepisów niemieckich [16] nie powinny być przekroczone. Zastosowany podział na 3 klasy umożliwia rozszerzenie zakresu stosowania materiału. Przekroczenie dopuszczalnych wartości może być tolerowane tylko wówczas, gdy są nieznaczne i nie są systematyczne. Wyniki systematyczne, to dwa kolejne wyniki przekraczające dopuszczalną wartość w badaniu obcego laboratorium, a minimalnie przekraczające to takie gdy maksymalnie po jednej właściwości w 3 z 4 pogrupowanych cech nie przekraczają dopuszczalnego w procentach przekroczenia. Jeśli występują dopuszczalne przekroczenia w cechach grupy 2, to wartość przepływu prądu może również być wyższa w granicach podanego % w kol.5.

Tablica 20 - Wyniki analizy eluatu materiału RC klasy 1, 2 i 3 i związków chemicznych oraz dopuszczalne przekroczenia pomierzonych wartości

Cechy		RC - 1	RC - 2	RC - 3	Dopuszczalne przekroczenie %	Grupy cech
1		2	3	4	5	6
PH ¹	-	7 – 12,5	7 – 12,5	7 – 12,5	-	-
Przewodność elektryczna	mS/m	150	250	300	5	1
SO ₄	mg/l	150	300	600	5	2
Cl	mg/l	20	40	150	10	2
As	mg/l	0, 01	0,04	0,05	20	3
Cd	mg/l	0,002	0,005	0,005	20	3
Cr ges.	mg/l	0,03	0,075	0,1	20	3
Cu	mg/l	0,05	0,15	0,2	20	3
Hg	mg/l	0,0002	0,001	0,002	10	3
Ni	mg/l	0,05	0,1	0,1	20	3
Pb	mg/l	0,04	0,1	0,1	20	3
Zn	mg/l	0,1	0,3	0,4	10	3
Fenol – indeks	mg/l	0,01	0,05	0,1	20	4
PAK (EPA)	mg/l	0,005	0,008	- ²	50	4
PAK (EPA)	mg/kg	20	50	100	-	4
EOX	mg/kg	3	5	10	-	4

Uwagi:

1/ Brak wartości, typowy zakres materiałowy; w razie przekroczenia, ustalić przyczynę.

2/ Określić dla praktyki; wynik nie stanowi podstawy do oceny.

Wg polskich przepisów dot. klasyfikacji odpadów kruszywo betonowe nie stanowi zagrożenia dla środowiska naturalnego i nie figuruje na liście odpadów niebezpiecznych.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) [17] wprowadza katalog odpadów, który określa:

- grupy odpadów w zależności od źródła ich powstawania,
- podgrupy i rodzaje odpadów oraz ich kody,
- listę odpadów niebezpiecznych,
- sposób klasyfikowania odpadów.

Zgodnie z ww. Rozporządzeniem kruszywo betonowe zaliczyć należy do:

grupy o kodzie identyfikacyjnym **17**

odpady z budowy, remontów
i demontażu obiektów budowlanych

16 Technische Lieferbedingungen für mineralstoffe im straßenbau, TL Min-StB 2000, Ausgabe 2000. Wymagania techniczne dotyczące jakości dostarczanych materiałów mineralnych do budowy dróg (Kruszywa i materiały kamienne do budowy dróg)

17 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206)

	oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych)
podgrupy 17 01	Odpady materiałów i elementów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (np. beton, cegły, płyty, ceramika)
rodzaju 17 01 01	Odpady betonu oraz gruz betonowy z rozbiórek i remontów, lub
rodzaju 17 01 81	Odpady z remontów i przebudowy dróg

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 2.XI.2000r. (aktualnie nie obowiązujące, lecz nie zastąpione inną ustawą) w sprawie odpadów, które powinny być wykorzystywane w celach przemysłowych, oraz warunków, jakie muszą być spełnione przy ich wykorzystaniu (Dz.U. Nr 100, poz. 1078) [26] kruszywo betonowe znajduje się w wykazie odpadów, które powinny być wykorzystywane w celach przemysłowych, a więc wytwarzający odpad tego typu powinien dążyć do jego gospodarczego wykorzystania.

Stosowanie kruszywa betonowego, zwłaszcza w postaci niezwiązanej powinno podlegać uprzednim badaniom wymywalności substancji chemicznych. Przepisy dotyczące ochrony wód i ziemi, gdzie podane są dopuszczalne kryteria dla materiałów odpadowych zawiera ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. Nr 212, poz. 1799) [18]. Kryteria wymywalności powinny oprócz kryteriów technicznych decydować o miejscu zabudowy danego materiału. Chodzi przede wszystkim o kontakt z wodą.

3.5 POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODPADÓW BUDOWLANYCH W DROGOWNICTWIE

Wg przepisów francuskich [2] do omawianych produktów z recyklingu odpadów budowlanych zaliczamy:

- kruszywo 0/D: RG0, GR1, RG2, RG3 oraz RG 4;
- piasek 0/D, drobne kruszywa oraz kruszywo grube z materiałów powyższych kategorii.

Materiały te można wykorzystać przy budowie dróg do:

- robót ziemnych (różne zasypki, nasypy drogowe i ulepszone podłoże, itp.)
- konstrukcje nawierzchni (podbudowy)

zgodnie z warunkami opisanymi w kolejnych punktach.

Kruszywo RG0 i RG1

Kruszywo RG0

Kruszywo RG0 jest materiałem przesiewanym, nie zawiera żelaza, jest poddane obróbce (nie zawiera drewna, papieru, plastiku, itp.) oraz zapewniona jest jego jednorodność, z tym, że kruszywo może zawierać tynk w zauważalnej ilości do 5%. Te ostatnie zastrzeżenie ma za zadanie ograniczenie podatności materiału na fragmentację i rozkład.

- Kruszywo RG0 nie nadaje się do zastosowania jako podłoże drogowe,
- Kruszywo RG0 może zostać wykorzystane jako zasypka pod następującymi warunkami:

⇒ Nie wykorzystywać jako zasypkę mającą kontakt z konstrukcjami;

18 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. Nr 212, poz. 1799)

- ⇒ Nie wykorzystywać jako dolną część zasyпки w obszarach zatapialnych;
- ⇒ Nie zaleca się stosować w technologiach stabilizacji bądź ulepszenia spoiwami.

Kruszywo RG1

- Kruszywo RG1 może być wykorzystane jako zasyпка na warunkach zastosowania zdefiniowanych w PN-S-02205:1997 [19] jak dla gruntów naturalnych. Kruszywo RG1 można stosować zwłaszcza tam, gdzie nie można stosować kruszywa RG0.
 - Kruszywo RG1 może być wykorzystywane jako podłoże drogowe także w technologiach stabilizacji bądź ulepszenia spoiwami.
- ⇒ W zależności od danego przypadku i lokalizacji, zwłaszcza kiedy podłoże jest przewidziane do ulepszenia, może występować konieczność usunięcia większych frakcji (> 50 mm lub nawet > 31,5 mm), które powodowałyby trudności z wymieszaniem i uzyskaniem płaskiej powierzchni,

Kruszywa RG2, RG3 i RG4

Kruszywa te mogą być wykorzystywane jako podbudowa drogi zarówno w stanie niezwiązanym (UG), jak i po poddaniu go obróbce spoiwem hydraulicznym w instalacji mieszającej (HG).

Kruszywo nie związane (UG) – stabilizacja mechaniczna

Poniżej przedstawiono specyfikacje dotyczące możliwości i warunków zastosowania tego produktu, zależnie od następujących czynników:

- Pozycja warstwy w podbudowie (podbudowa czy podłoże)
- Natężenie ruchu drogowego, zgodnie z poniższą skalą.

Tablica 21 - Kategorie ruchu wg przepisów francuskich [2]

Kategoria	T5		T4		T3		T2		T1		T0		TS		TEX
					T3'	T3'	T2'	T2'	T1'	T1'	T0'	T0'	TS'	TS'	
MAD* 0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000		5000		
KR	KR2		KR3		KR4		KR5		KR6		> KR6				

* MAD: Mean Annual Daily Traffic - Średni ruch dzienny w skali roku

KR: Kategoria Ruchu wg KTKNPiP [20]

Tablica 22 – Obszar zastosowań dla kruszywa RG2, RG3 ORAZ RG4 stabilizowanego mechanicznie

Typ kruszywa	Podłoże	Podbudowa	Dodatkowa definicja zgodnie z Normą NF P 98-129
RG2		≤ T4	- Kruszywo typu A - D = 20 mm (NES 7) - D = 31,5 mm (NES 6)
	(0/31,5)	(0/20)	
RG3	≤ T3 ⁺	≤ T3 ⁻	- Kruszywo typu A - D = 14 mm (NES 8) - D = 20 mm (NES 7)
RG4		≤ T3	

Kruszywo związane spoiwami hydraulicznymi (HG)

Kruszywa RG2, RG3 i RG4 stabilizowane spoiwem hydraulicznym są zdefiniowane w normie NF 98-116 według produktów odpowiadających zastosowanej technice obróbki: żużla, cementu, specjalnego spoiwa drogowego, itp.

19 PN-S-02205: 1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania

20 Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDP, IBDiM, Warszawa 1997r

Obszar zastosowania tych technik jest opisany poprzez odniesienie do norm oraz odpowiednich dokumentów dotyczących zastosowań. Specyfikacje jak również warunki możliwych zastosowań przedstawiono poniżej, zależnie od następujących czynników:

- Pozycja warstwy w podbudowie (podbudowa czy podłoże);
- Natężenie ruchu drogowego, zgodnie z przedstawioną wcześniej skalą.

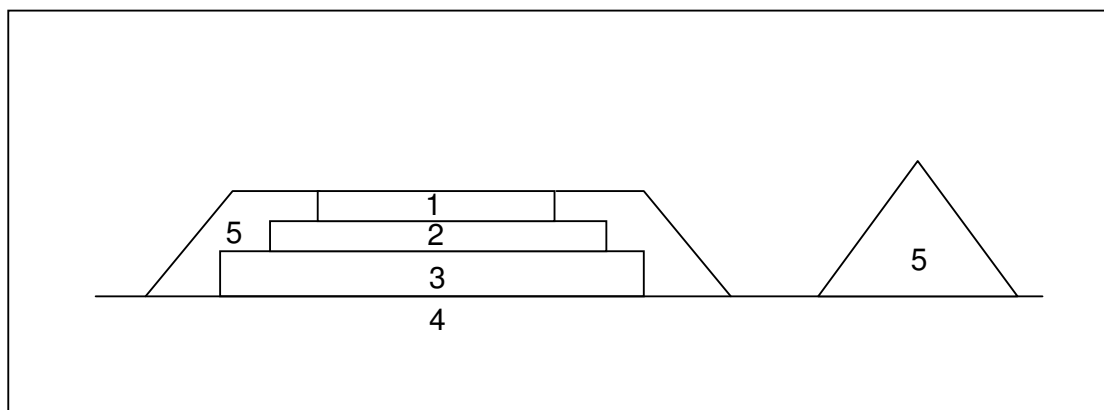
Tablica 23 – Zastosowanie kruszywa stabilizowanego spoiwem RG2, RG3 ORAZ RG4

Typ kruszywa	Podbudowa	Podłoże	Dodatkowe definicje żwiru poddanego obróbce
RG2	$\leq T3^+$	$\leq T4$	Zgodność z NES wg normy
RG3	$\leq T2^+$ $T1^{+(2)}$	$\leq T4$ $T3^+$	
RG4	$\leq T1^+$	$\leq T3^+$ $T2^+$	

Powyższe analizy pozwalają na sformułowanie wniosku, że kruszywa lepszej jakości mogą służyć jako materiał do wykonywania podbudów drogowych w technologii stabilizacji mechanicznej. Kruszywa słabsze pod względem fizyko - mechanicznym mogą być wykorzystane w dwojaki sposób:

- Jako kruszywo w mieszankach z innymi kruszywami o lepszych właściwościach
- Jako kruszywo do stosowania w technologiach stabilizacji cementem [10, 11] bądź w chudych betonach

Natomiast wykorzystanie kruszyw najslabszych, niesegregowanych przewiduje jako materiał do wzmacniania podłoża drogowego, do wykonywania zasypek bądź niwelacji terenu. Wynika z tego, że kruszywo betonowe może mieć bardzo szerokie zastosowanie w drogownictwie a miejsce zastosowania tego materiału wynika z jego jakości. Potencjalny zakres wykorzystania kruszywa betonowego przedstawiono na poniższym schemacie.



Rys. 12 - Schemat konstrukcji drogowej

1. warstwa ścieralna
2. warstwa wiążąca
3. podbudowa
4. podłoże (w tym podłoże ulepszone)
5. skarpy, nasypy, niwelacja terenu

Możliwości wykorzystania kruszywa betonowego w konstrukcjach drogowych przedstawiono poniżej:

Rodzaj warstwy drogowej	Możliwe wykorzystanie kruszywa betonowego
warstwa ścieralna	-
warstwa wiążąca	-
podbudowa	+
podłoże (w tym podłoże ulepszone)	+
skarpy, nasypy, niwelacja terenu	+

Biorąc pod uwagę przeprowadzone analizy można sformułować następujące wnioski:

- Kryterium mrozoodporności i nasiąkliwości wg badań typowych jak dla kruszyw naturalnych w większości przypadków kruszyw betonowych nie jest spełnione. Stwierdzono, że czym większe ziarno kruszywa betonowego tym parametry są lepsze pod względem odporności na wodę i mróz, czym drobniejsze uziarnienie parametry gorsze. Spowodowane jest to tym, że drobne kruszywo betonowe może składać się w całości z zaprawy cementowej, ponieważ cząstki zaprawy cementowej gromadzą się zwykle w kruszywach drobnoziarnistych, 0/4 mm.
- Wskazane jest aby kruszywa o lepszych właściwościach było stosowane w technologiach stabilizacji mechanicznej, natomiast kruszywa słabsze w technologiach stabilizacji cementem lub stosowane w dolnych konstrukcjach poniżej wpływu mrozu,
- Kruszywo betonowe jest materiałem niewysadzinowym, o niskiej zawartości pyłów i gęstości 1800÷1900 kg/m³,
- Kruszywo betonowe zastosowane w technologiach stabilizacji mechanicznej wykazuje przyrost nośności w czasie dochodzący nawet do 300% pierwotnej nośności,

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza KR1÷KR2, lub wyższa w przypadku stabilizacji kruszywa spoiwem	Podbudowa	
Podbudowa pomocnicza KR3÷KR6		
Podłoże ulepszone		Podłoże

Możliwe zastosowanie

Rys 13 - Propozycja wykorzystania kruszywa betonowego w konstrukcji drogowej

3.5.1 ZASTOSOWANIE KRUSZYW BETONOWYCH Z RECYKLINGU DO WYKORZYSTANIA W DROGOWYCH BETONACH CEMENTOWYCH

Oprócz zastosowań kruszyw betonowych w podbudowach niezwiązanych i związanych hydraulicznie o niskich wytrzymałościach, ważnym kierunkiem wydaje się być wykorzystanie tego materiału w betonach drogowych. Ograniczeniami w tym zakresie podobnie jak w poprzednim wypadku są wymogi bezpieczeństwa i trwałości konstrukcji oraz środowiska.

Na wstępie należy odrzucić wszystkie kruszywa, które pochodzą z przetworzenia betonów wykorzystywanych w przemyśle fizyko-chemicznym (aktywne chemicznie i radiologiczne) lub poddać je szczegółowym badaniom. Może okazać się, że betony z nich wykonane są szkodliwe dla środowiska lub powodują zbyt wczesne zniszczenia strukturalne (np. przyspieszona korozja zbrojenia, zakłócenia w krystalizacji betonu i w efekcie problemy z osiągnięciem zakładanych parametrów użytkowych).

Kruszywo z recyklingu powinno spełniać wymagania tych samych dokumentów odniesienia co kruszywa zwykłe. Należy jednak zastanowić się nad poszczególnymi kryteriami wymagań. Może okazać się, że kryteria stawiane kruszywom zwykłym są zbyt ostre dla kruszyw z recyklingu, co jednak nie przełoży się na parametry betonu wykonanego z takich kruszyw.

Kruszywo z recyklingu należy frakcjonować tak jak kruszywo normalne (łamane lub naturalne) według obowiązujących dokumentów odniesienia:

- Frakcja piaskowa (od 0 do 2 mm),
- Frakcja drobna (od 2 do 8 mm),
- Frakcja gruba (od 8 do 16 mm),
- Frakcja bardzo gruba (od 16 do 31,5 mm).

Najwięcej problemów pojawia się przy projektowaniu i produkcji betonów z zastosowaniem kruszywa z recyklingu. Badania wykazują, że kruszywo z recyklingu posiada mniejsze parametry trwałościowe w stosunku do materiałów mineralnych z uwagi na:

- częściową zawartość stwardniałego zaczynu lub zaprawy na powierzchni bocznej,
- mikrouszkodzenia powstałe przy przetwarzaniu kruszywa (odspojenie ze starej konstrukcji i rozkruszenie),
- wyeksploatowanie w poprzedniej konstrukcji (polerowanie, ścieranie, erozja, zmęczenie),
- mniejszą wytrzymałość na miazdzenie, większą nasiąkliwość oraz słabszą odporność na mróz,
- inne czynniki.

To czy można stosować kruszywo z recyklingu, w jakiej ilości i do jakich konstrukcji powinny potwierdzić badania laboratoryjne i polowe. Szczególną uwagę należy zwrócić na parametry wytrzymałościowe (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, odporność na ścieranie), trwałościowe (odporność na działanie środków odladzających, odporność na działanie mrozu, nasiąkliwość, przepuszczalność wody przez beton) i zmęczeniowe (po pewnym okresie eksploatacji) oraz na badania reaktywności alkalicznej z uwagi na stosowanie zbrojenia (kotwy i dyble).

Praktycznego zastosowanie kruszyw z recyklingu nawierzchni betonowych w betonach dokonała firma Heilit Woerner na budowie odcinka autostrady A12 odcinek Gołnice–Krzywa [21]. Kruszywo pochodziło z przekruszenia starej nawierzchni drogi i zostało wykorzystane do produkcji mieszanki betonowej do zastosowania w dolnej warstwie nawierzchni dwuwarstwowej. Zgodnie z normą PN-75/S-96015 [22] kruszywo użyte do produkcji mieszanek betonowych powinno posiadać właściwości fizyczne i chemiczne odpowiadające marce kruszywa „30” wg PN-86/B-06712 [23]. Jak wynika z badań kruszywa betonowego

21 Marek STANČZYK, Krzysztof SMUKALSKI - HEILIT+WOERNER

22 PN-75/S-96015 – Drogi lotniskowe i nawierzchnie z betonu cementowego.

23 PN-86/B-06712 – Kruszywo mineralne do betonu

przedstawionych w tablicy 24 nie został spełniony warunek nasiąkliwości. Pomimo tego beton wyprodukowany z takiego kruszywa spełnił wymagania stawiane w PN-75/S-96015. Doświadczenia firmy wykazują, że do produkcji mieszanki betonowej nie należy stosować piasku łamanego 0/2mm z recyklingu, ponieważ materiał ten wpływa negatywnie na urabialność betonu a także na jego wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu. Zaleca się aby maksymalna zawartość piasku łamanego z recyklingu betonu wynosiła 20÷30%. Do produkcji mieszanki betonowej zastosowano następujące kruszywa:

- kruszywa betonowe z odzysku frakcji 2/8, 8/16, 16/32 mm,
- naturalny piasek płukany 0/2mm

Cechy zastosowanego kruszywa betonowego z odzysku przedstawiono w tablicy 24

Tablica 24 Cechy kruszywa betonowego zastosowanego do
wytworzenia mieszanki betonowej

L.p	Badana cecha	Jednostka	Grys betonowy 16/32mm	Grys betonowy 8/16mm	Grys betonowy 2/8mm
1	Wytrzymałość surowca	MPa	89	89	89
2	Ścieralność w bębnie L.A.	%	29.2	29.5	24.6
3	Wytrzymałość na miażdżenie	%	4.4	5.3	2.6
4	Zawartość frakcji podstawowej	%	82.2	90.6	98.2
5	Zawartość ziaren niekształtnych	%	1.0	3.7	3.4
6	Zawartość pyłów mineralnych	%	1.2	1.5	1.6
7	Zanieczyszczenia organiczne		Barwa wzorcowa		
8	Zanieczyszczenia obce	%	brak	brak	Brak
9	Nasiąkliwość	%	3.3	3.1	3.6
10	Mrozoodporność (ubytek masy)	%	1.6	4.8	3.3

Cechy betonu wyprodukowanego na bazie kruszyw z recyklingu przedstawiały się następująco:

- Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach – 38 MPa
- Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach – 46 MPa
- Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu – 6.6 MPa
- Nasiąkliwość - 4.6 %

Przy zastosowaniu kruszyw z odzysku musi obowiązywać zasada, że beton wyprodukowany przy zastosowaniu tych materiałów nie może być traktowany ulgowo. Oznacza to, że musi on spełniać te same wymagania jak beton wyprodukowany z kruszyw naturalnych. W większości przypadków kruszywa betonowe z odzysku charakteryzują się słabszymi parametrami technicznymi niż kruszywa mineralne. Natomiast betony na bazie kruszyw z odzysku uzyskują stawiane im wymagania.

Z uwagi na wysokie wymagania, na dzień dzisiejszy okazuje się, że do produkcji betonów nawierzchniowych nie jest wskazane stosowanie kruszyw z recyklingu lub pewnych jego frakcji, co nie przeszkodzi do stosowania takich betonów do konstrukcji innych warstw.

3.6 PROGRAM BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Dokonany przegląd zastosowań kruszywa betonowego oraz analizy parametrów technicznych jakimi charakteryzuje się to kruszywo pozwala na wyciągnięcie głównego wniosku, że jest to kruszywo słabsze od kruszyw mineralnych przyjmując standardową metodykę badań. W najlepszym razie kruszywo to spełnia wymagania dla klasy III wg

klasyfikacji kruszyw naturalnych. Parametrami decydującymi przy ocenie kruszywa betonowego są: nasiąkliwość i mrozoodporność, które badane wg analogicznej metodyki jak dla kruszyw mineralnych wypadają niekorzystnie dla kruszywa betonowego. Natomiast mieszanka kruszywa betonowego o uziarnieniu ciągłym poddana nawet 25 cyklom nie wykazuje zmian uziarnienia co wskazuje na mrozoodporność takiej mieszanki.

Proponuje się w dalszych pracach przeprowadzenie badań mających na celu ustalenie kryterium mrozoodporności i nasiąkliwości dla gruzu betonowego w celu ustalenia, czy przyjąć surowe kryteria jak dla kruszyw naturalnych czy nie?. Program badań powinien zawierać badania nasiąkliwości, mrozoodporności oraz stopnia wysadzinowości (SE) kruszywa przed i po cyklach zamrażania i odmrażania. Należy także określić moduły sprężystości kruszywa betonowego o różnych parametrach w celu ustalenia współczynników równoważnej nośności w celu odniesienia do standardowego tłucznia. Ułatwi to znacznie projektowanie, a zwłaszcza zamiany materiałowe w konstrukcjach drogowych.

Wyniki badań uzupełniających przedstawiono w części II niniejszego opracowania.

4. GRUZ BUDOWLANY (PRODUKTY UBOCZNE Z ROZBIÓRKI BUDYNKÓW)– DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Odpady betonowe z budynków są rzadko dostępne w dużych ilościach i zwykle są pomieszane ze stalą zbrojeniową, dachówkami, ceglami oraz innymi materiałami budowlanymi, co zależnie od zastosowania może prowadzić do powstania słabego produktu. Wytrzymałość materiału betonowego z recyklingu zależy też od ilości cząstek zaprawy cementowej.

Materiały z rozbiórki budynków są przetwarzane poprzez ich selekcję i kruszenie, usunięcie stali zbrojeniowej, przesiewanie i mycie. Część skruszonego betonu może mieć właściwości samo cementujące ze względu na pozostały nie uwodniony cement. Dodanie wody do skruszonego betonu podczas budowy dróg może wspomagać uwadnianie pozostałego nie uwodnionego cementu, co poprawia właściwości niezwiązanego podłoża i podbudowy.

Przed wykorzystaniem różnych odpadów rozbiórkowych do budowy dróg, należy poddać substancje wypłukiwane analizom na obecność śladowych ilości metali.

Fakt, że ilości betonu uzyskiwane podczas rozbiórki budynków są często niewielkie może stanowić przeszkodę dla ponownego użycia tego materiału. Niemniej, wymagania prawne dotyczące zmniejszania ilości odpadów stałych składowanych na wysypiskach w połączeniu z globalnym ruchem w kierunku ochrony zasobów naturalnych zachęcają branżę do zbadania możliwości recyklingu nawet najmniejszych możliwych do zaakceptowania ilości materiałów odpadowych (takich jak skruszony beton wykorzystywany do budowy nawierzchni parkingów lub chodników) w celu zaoszczędzenia miejsca na wysypiskach oraz ochrony zasobów naturalnych wymaganych dla uzyskania nowego kruszywa.

Niestety kiedy odpady rozbiórkowe zawierają beton, dachówki i cegły, wytrzymałość takiego materiału jest dość niska, dlatego jest on wykorzystywany tylko na nasypy oraz jako zasypka. W Danii, skruszone dachówki i cegły mogą być wykorzystywane w dolnej warstwie nośnej dróg o lekkim i średnim obciążeniu ruchem.

Gruz budowlany jest materiałem bardzo złożonym pod względem petrograficznym. Zawiera on może oprócz typowego materiału budowlanego jak cegła, beton, zaprawa, tynk także inne dodatki np. szkło, plastik, drewno, metal. Wynika, że skład gruzu może być bardzo złożony i zmienny.

4.1 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA

Gruz budowlany porozbiórkowy jako materiał do zastosowań w budownictwie nie jest w literaturze krajowej często podejmowany. Brak jest także krajowych doświadczeń z praktycznego stosowania tego materiału. Gruz budowlany stanowi obiekt badań także w innych państwach europejskich. Jednym z europejskich projektów badawczych, w którym między innymi podjęto próbę opracowania możliwości wykorzystania gruzu budowlanego jest projekt ALT-MAT [14]. Opisane są tu doświadczenia brytyjskie z badań laboratoryjnych oraz terenowych na odcinkach z zastosowaniem tego materiału w konstrukcji drogowej. W ramach projektu zostały poddane badaniom istniejące odcinki drogowe z zastosowaniem gruzu budowlanego jako podbudowy i kruszywa wapiennego jako tło porównawcze. Wykonane zostały odkrywki w nawierzchni, przeprowadzono pomiary nośności i pobrano próbki materiału do badań.

Gruz budowlany poddany badaniom w projekcie ALT-MAT charakteryzował się następującym składem petrograficznym jak przedstawiono w tablicy 25.

Tablica 25 - Skład petrograficzny gruzu betonowego zastosowanego na odcinku doświadczalnym

	Cegła	Beton	Zaprawa	Odpady murarskie	Naturalny kamień	Szkło	Metal	Plastik	Drewno	inne
% zawartość	41	27	9	7	11	2	1	1	1	<1

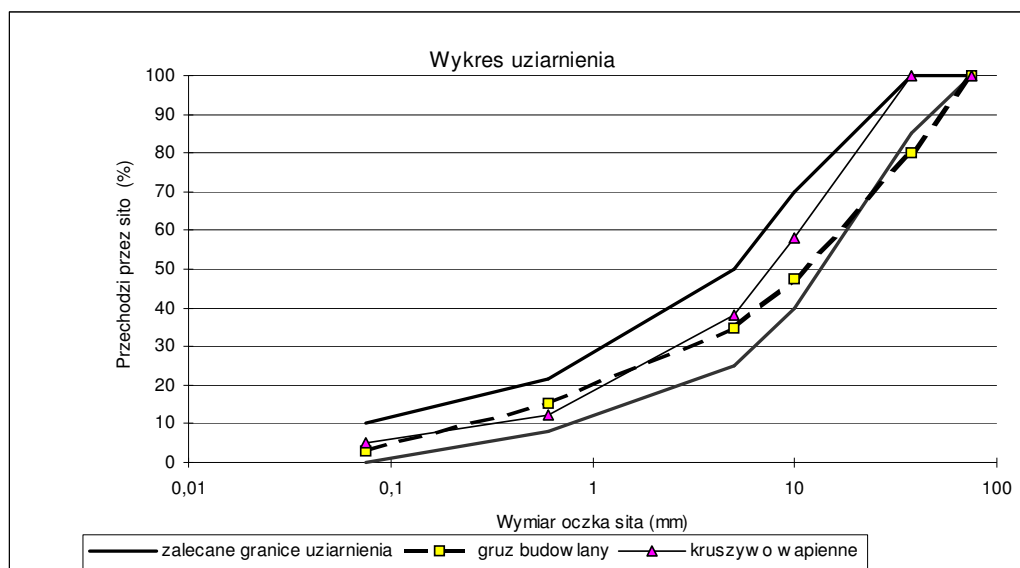
Grubość podbudowy z gruzu budowlanego wynosiła 30÷55cm, i była ułożona była na podłożu o wskaźniku nośności $CBR=4\%$. Odcinek porównawczy z zastosowaniem kruszywa wapiennego charakteryzował się grubością podbudowy 15cm ułożonej na podłożu o $CBR=15\div 18\%$. Oba odcinki drogowe były w stanie dobrym, nie można było odróżnić granicy pomiędzy sekcjami.

Właściwości kruszywa z gruzu budowlanego oraz porównawczego kruszywa wapiennego przedstawiono w tablicy 26 i rys. 14

Tablica 26 - Właściwości gruzu budowlanego i kruszywa wapiennego zastosowanego na odcinkach doświadczalnych na tle wymagań brytyjskich

Właściwość	Metoda badania	Zastosowanie materiału	Wymagania wg SHW ²⁴	Gruz budowlany	Kruszywo wapienne
Uziarnienie	BS 1377: Part 2	Zasyпки, podbudowy, ulepszone podłoże	Rys.13	Rys.13	Rys.13
Wskaźnik Jednorodności	BS 1377: Part 2	Zasyпки	Brak wymagań	68	32
Wilgotność	BS 1377: Part 2	Zasyпки, podbudowy, ulepszone podłoże	OMC – 2% to OMC + 1%	19%	4% (TP 1) 4% (TP 2) 3% (TP 3)
Wilgotność optymalna (OMC)	BS 1377: Part 4	Ulepszone podłoże	Brak wymagań	6%	5%
Maksymalna gęstość szkieletu	BS 1377: Part 4	-	Brak wymagań	1.63 Mg/m ³	2.32 Mg/m ³
Wskaźnik 10% zawartości pyłów	BS 812: Part 111	Zasyпки, podbudowy, ulepszone podłoże	>50 kN	75 kN	210 kN
Nasiąkliwość	BS 812: Part 2	Podbudowy		11.6%	1.2%
Wysadzinowość	BS 812: Part 124	Podbudowy	≤15mm	21.8mm	7.0mm
Wskaźnik CBR	BS 1377: Part 4	Podbudowy	>30%	66%	156%
Zawartość siarczanów	BS 1377: Part 3	Podbudowy	≤1.9g/l	0.09 g/l	0.05 g/l
Gęstość właściwa	BS 812: Part 2	Ulepszone podłoże	Brak wymagań	2.60 Mg/m ³	2.74 Mg/m ³

²⁴ UK Specification for Highway Works (SHW) (Department of Transport, 1991)



Rys. 14 – Wykres uziarnienia gruzu budowlanego i kruszywa wapiennego zastosowanych na odcinku doświadczalnym

Przedstawione w tablicy 25 wyniki badań wykazują, że gruz budowlany w odniesieniu do kruszywa wapiennego charakteryzuje się większą wilgotnością ok. 20%. Spowodowane jest to występowaniem materiału o dużej nasiąkliwości tj. zaprawy i cegieł oraz możliwymi wtrąceniami organicznymi. W związku z dużą nasiąkliwością materiał nie jest mrozoodporny. Badania przeprowadzone wg norm brytyjskich nie mają przełożenia na polskie ale dokonując analizy porównawczej zauważyć można, że w stosunku do kruszywa wapiennego gruz budowlany jest znacznie słabszy pod tym względem. Wskaźnik nośności *CBR* dla gruzu budowlanego kształtuje się na poziomie 66% co odpowiada polskim wymaganiom dla podbudów z kruszyw stabilizowanych mechanicznie wg [9]. Ze względu na małą zawartość pyłów gruz budowlany zaliczyć należy do materiałów niewysadzinowych i może stanowić nośne podłoże pod konstrukcję drogową. Biorąc powyższą charakterystykę techniczną gruzu budowlanego nie oraz polskie uwarunkowania klimatyczne gruz budowlany powinien być stosowany poniżej oddziaływania mrozu.

Duże ilości gruzu betonowego frakcji 50/150mm zostały z powodzeniem zastosowane w Holandii [25] jako rdzeń nasypu wałów przeciwpowodziowych. Parametry techniczne zostały osiągnięte (zagęszczenie i nośność) oraz spełniono wymagania środowiskowe.

4.2 IDENTYFIKACJA HANDLOWA - ASORTYMENT

Ze względu na dużą zmienność gruzu budowlanego spowodowaną niejednorodnością surowca nie można jednoznacznie ustanowić parametrów identyfikujących ten materiał. Ze względu na parametry fizyko-mechaniczne zastosowanie kruszywa budowlanego przewiduje się w dolnych warstwach konstrukcyjnych lub w podłożu, co nie wymaga dokładnego frakcjonowania. Proponuje się ograniczyć jedynie wielkość ziaren od góry. Ważnym elementem będzie ciągłość uziarnienia. Gruz betonowy powinien być mieszanką o uziarnieniu ciągłym. W zależności od umiejscowienia gruzu budowlanego w konstrukcji będą wymagane różne ograniczenia pod względem uziarnienia. Proponuje się następujący asortyment gruzu budowlanego w zależności od zastosowań:

- gruz betonowy jako materiał do budowy nasypów powinien charakteryzować się uziarnieniem do max500mm, z zastrzeżeniem wypełnienia wolnych przestrzeni materiałem o drobniejszym uziarnieniu,
- gruz betonowy jako materiał do budowy nasypów powinien charakteryzować się uziarnieniem ciągłym 0/ max200mm,
- gruz betonowy jako materiał do wykonania ulepszanego podłoża powinien charakteryzować się uziarnieniem ciągłym 0/max125mm.

Z powyższej klasyfikacji wynikają propozycje czterech rodzajów asortymentowego gruzu budowlanego:

- 1. 0/500 mm**
- 2. 0/200 mm**
- 3. 0/125 mm**
- 4. inne mieszanki o uziarnieniu ciągłym poniżej 125mm**

Ponadto wszystkie rodzaje gruzu budowlanego powinny charakteryzować się małą domieszką zanieczyszczeń obcych w ilościach nie przekraczających 5%.

4.3 OCHRONA ŚRODOWISKA

Wg polskich przepisów dot. klasyfikacji odpadów wyróżnia się dwa rodzaje gruzu budowlanego. Jeden rodzaj nie stanowi zagrożenia dla środowiska naturalnego i nie figuruje na liście odpadów niebezpiecznych natomiast drugi rodzaj zawierający niebezpieczne substancje umieszczony jest na liście odpadów niebezpiecznych. Poniżej przedstawiono klasyfikację gruzu budowlanego wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r. [17], w którym określa się:

- grupy odpadów w zależności od źródła ich powstawania,
- podgrupy i rodzaje odpadów oraz ich kody,
- listę odpadów niebezpiecznych,
- sposób klasyfikowania odpadów.

Zgodnie z ww. Rozporządzeniem kruszywo betonowe zaliczyć należy do:

grupy o kodzie identyfikacyjnym 17	odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych)
podgrupy 17 01	Odpady materiałów i elementów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (np. beton, cegły, płyty, ceramika)
rodzaju 17 01 06 *	Zmieszane lub wysegregowane odpady z betonu, gruzu ceglanego, odpadowych materiałów ceramicznych i elementów wyposażenia zawierające substancje niebezpieczne
rodzaju 17 01 81	Zmieszane odpady z betonu, gruzu ceglanego, odpadowych materiałów ceramicznych i elementów wyposażenia inne niż wymienione w 17 01 06

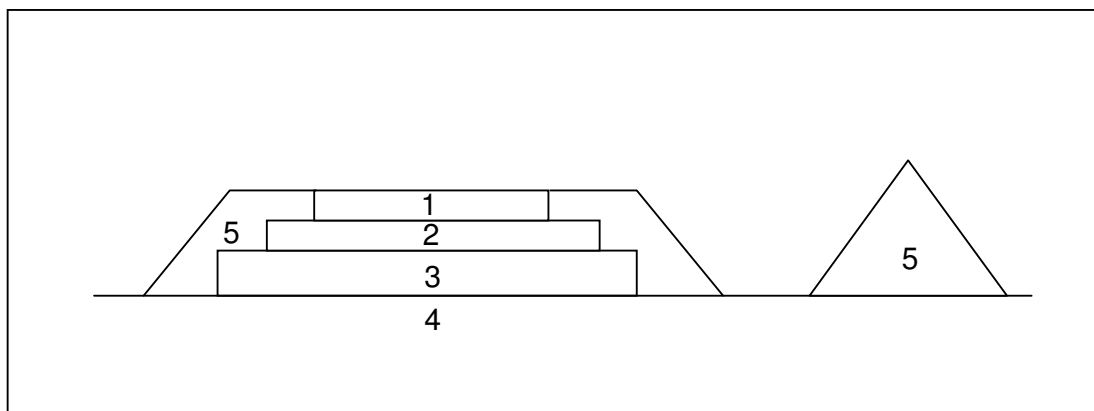
Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 2.XI.2000r. (Dz.U. Nr 100, poz. 1078) [26] (aktualnie nie obowiązujące, lecz nie zastąpione inną ustawą) w sprawie odpadów, które powinny być wykorzystywane w celach przemysłowych, oraz warunków, jakie muszą być spełnione przy ich wykorzystaniu gruz budowlany znajduje się w wykazie odpadów, które powinny być wykorzystywane w celach przemysłowych, a więc wytwarzający odpad tego typu powinien dążyć do jego gospodarczego wykorzystania.

Stosowanie gruzu budowlanego powinno podlegać badaniom wymywalności substancji chemicznych. Przepisy dotyczące ochrony wód i ziemi, gdzie podane są dopuszczalne kryteria dla materiałów odpadowych zawiera ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. Nr 212, poz. 1799) [18]. Kryteria wymywalności powinny oprócz kryteriów technicznych decydować o miejscu zabudowy danego materiału. Chodzi przede wszystkim o kontakt z wodą.

4.4 POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA GRUZU BUDOWLANEGO

Gruz budowlany jest materiałem stosunkowo słabym pod względem mechanicznym. Jednak materiał ten posiada właściwości pozwalające wykorzystać go w drogownictwie. Przede wszystkim gruz budowlany jest materiałem niewysadzinowym, niewrażliwym na powstawanie wysadzin mrozowych. Ponadto, jak wykazują badania brytyjskie [14] gruz budowlany charakteryzuje się wysokim wskaźnikiem nośności *CBR*. Cechy te upoważniają do zastosowania tego materiału w warstwach ulepszonego podłoża oraz jako warstwy wzmacniające na słabych gruntach. Pozwoli to na przygotowanie nośnego podłoża pod konstrukcję nawierzchni drogi eliminując stosowanie materiałów mineralnych, których zasoby ulegają zmniejszeniu. Drugim kierunkiem wykorzystania gruzu budowlanego to budowa nasypów drogowych. Tutaj przewidzieć można bardzo duże zastosowanie tego materiału. Z uwagi na silnie alkaliczny odczyn gruzu budowlanego nie zaleca się stosowania poniżej poziomu wód gruntowych oraz na terenach zalewowych.

Schemat konstrukcji drogowej



1. warstwa ścieralna
2. warstwa wiążąca

26 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI z dnia 2 listopada 2000 r. w sprawie określenia odpadów, które powinny być wykorzystywane w celach przemysłowych, oraz warunków, jakie muszą być spełnione przy ich wykorzystywaniu. (Dz. U. Nr 100, poz. 1078)

3. podbudowa
4. podłoże (w tym podłoże ulepszone)
5. skarpy, nasypy, niwelacja terenu

Potencjalny zakres wykorzystania gruzu budowlanego przedstawiono poniżej:

Rodzaj warstwy drogowej	Możliwe wykorzystanie kruszywa betonowego
warstwa ścieralna	-
warstwa wiążąca	-
Podbudowa	-
podłoże (w tym podłoże ulepszone)	+
skarpy, nasypy, niwelacja terenu	+

Załącznik 4

Odpady elektryczne

1. WSTĘP

Odpady elektrowniane i ciepłownicze powstające przy spalaniu węgla w bezzusztowych piecach pyłowych od wielu już lat stanowią dla drogownictwa poważne ilości alternatywnych materiałów szczególnie w zakresie budowy nasypów oraz ulepszanego podłoża i podbudów drogowych [1].

Są to popioły i żużle konwencjonalne powstające przy spalaniu węgla kamiennego jak i z węgla brunatnego z okręgu turoszowskiego i konińskiego w bezzusztowych piecach pyłowych bez odsiarczania.

Konwencjonalne odpady elektrowniane zostały dość dobrze rozpoznane i znormalizowane. W ostatnim dziesięcioleciu w energetyce wprowadza się nowe technologie spalania węgla i odsiarczania spalin co spowodowało powstawanie nowych rodzajów popiołów z fluidalnego spalania oraz popiołów z odsiarczania spalin różnymi metodami: suchą, półsuchą i moką [2]. Nowe grupy popiołów i żużli wymagają szczegółowego ich rozpoznania i przebadania oraz opracowania nowych technologii ich wbudowywania w budownictwie drogowym. Materiały te nazywane są Ubocznymi Produktami Spalania (UPS).

Wg danych zaczerpniętych z publikacji UPS w 2003 r. wynika, że w 2000 r. wypad popiołów konwencjonalnych w Polsce wyniósł 12 mln ton, popiołów z fluidalnego spalania – 723 tys. ton, popiołów z odsiarczania spalin – 140 tys. ton i gipsu z odsiarczania metodą moką – 85 tys. ton, natomiast całkowita ilość żużli – 3,5 mln ton.

Wykorzystanie produktów spalania w 2000 r. wynosiło około 70 %. Mając na uwadze miliony ton konwencjonalnych produktów spalania zalegających nawałach i odstojnikach istnieje konieczność intensyfikacji ich utylizacji. Wyróżnia się następujące produkty ze spalania węgla:

- a) popiół lotny – części mineralne o przeważającej ilości ziarn mniejszych niż 0,075 mm, pochodzące ze spalania węgla i wytrącane mechanicznie lub elektrostatycznie ze strumieni spalin (kod 10 01 02);
- b) popiół lotny aktywny z węgla brunatnego lub mieszanina popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania spalin – charakteryzujący się co najmniej 7,0 % zawartością wolnego tlenku wapnia (CaO) (10 01 02, 10 01 05 i 10 01 82);
- c) żużle – części mineralne o przeważającej ilości frakcji piaskowo-żwirowej, pochodzące ze spalania węgla i wytrącane w dolnej części kotła (10 01 01);
- d) mieszaniny popiołowo-żużłowe – części mineralne pochodzące ze spalania węgla i odprowadzane na „mokro” na składowisko (10 01 80).

Charakterystyka odpadów stałych z energetyki [3]

- a) Popiół lotny to pozostałość po spalaniu zmielonego węgla w bezzusztowych paleniskach pyłowych lub fluidalnych, wychwycona ze spalin w elektrofiltrach lub innych urządzeniach odpylających. Składa się głównie z drobin nie przekraczających 0,1 mm, zbudowanych ze składników mineralnych, najczęściej nadtopionych do fazy szklistej. Jest bardzo drobnym szarym proszkiem – suchym i lekkim, trochę z wyglądu przypominającym cement. Należy go transportować w hermetycznych środkach transportu, a wszelkie prace przeładunkowe i aplikacyjne wymagają staranności i specjalistycznych urządzeń, łatwo bowiem o zanieczyszczenie środowiska lekkim pyłem.
- b) Żużel stanowią najgrubsze frakcje popiołowe, które nie są wynoszone ze spalinami i zwykle są odprowadzane z kotłów na mokro.

1 Pachowski J. Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie drogowym. Wkił. Warszawa 1976 r.

2 Pachowski J. Rozwój technologii powstawania ubocznych produktów elektrownianych oraz ich charakterystyka i możliwości zastosowań w technologiach budownictwa drogowego. IBDiM kwartalnik Drogi i Mosty Nr 1/2002.

3 Kanafek J., Fałat K. Uboczne produkty spalania (UPS) zawierające produkty odsiarczania spalin. (materiał przygotowany na potrzeby programu Gromat-4.2003. PPH UTEX Sp. z o.o. Rybnik

- c) Produkty odsiarczania spalin to substancje stałe powstałe po przereagowaniu tlenków siarki z materiałem je absorbującym. Jako sorbenty odsiarczania stosuje się przede wszystkim związki wapnia – głównie wapien lub wapno, więc produkty odsiarczania składają się z siarczanu wapniowego (gipsu), siarczynu wapniowego, a także nie przereagowanych cząstek sorbentu. W zależności od zastosowanej technologii można wychwycić same produkty odsiarczania lub otrzymać je jako ich mieszaninę z popiołem lotnym. Mieszanina popiołu lotnego z produktami odsiarczania jest często nazywana „popiołem po odsiarczaniu”.

- d) Popiół zawierający produkty odsiarczania spalin metodą suchą

Odsiarczanie spalin metodą suchą polega na dawkowaniu sorbentu, najczęściej kamienia wapiennego lub wapna, do paliwa (na taśmociągi węgla, do zasobników lub podajników węgla) lub wdmuchiwanii sorbentu za pomocą dysz bezpośrednio do komory spalania. Reakcje odsiarczania zachodzą głównie w komorze spalania. Produkty reakcji odsiarczania spalin wraz z nieprzereagowanym nadmiarowym sorbentem są wychwytywane razem z popiołem lotnym przez urządzenia odpylające. Odpadem jest więc popiół lotny pochodzący ze spalonego węgla zawierający produkty odsiarczania – głównie siarczan wapnia CaSO_4 w postaci anhydrytu, oraz nieprzereagowany sorbent, głównie CaO – wapno palone. Mogą również występować w mniejszych ilościach inne związki wapnia, na przykład CaCl_2 i powstały wtórnie CaCO_3 . Ilość powstałego CaSO_4 jest funkcją skuteczności odsiarczania (zwykle 20-40 %) oraz zawartości siarki w węglu. Popiół lotny powstały po procesie suchego odsiarczania różni się istotnie od popiołu klasycznego (zwykłego), gdyż w określonych warunkach wykazuje dużą aktywność chemiczną, która objawia się wiązaniem i twardnieniem po zarobieniu go z wodą.

- e) Popiół zawierający produkty odsiarczania spalin metodą półsuchą

Metody półsuchego odsiarczania spalin polegają również na reakcji chemicznej pomiędzy stałym sorbentem a gazowym dwutlenkiem siarki, jednakże doświadczenia pokazały, że wprowadzenie jeszcze jednej fazy – fazy ciekłej wyraźnie podnosi skuteczność odsiarczania. Wprowadzaną cieczą może być zwykła woda lub korzystniej roztwór wodorotlenku wapniowego. Ilość wprowadzonej cieczy jest tak dobrana, aby reakcje odsiarczania przebiegały jak najefektywniej, a produkt odsiarczania był w postaci suchej. Opisany schemat metody półsuchego odsiarczania został wprowadzony do praktyki w wielu odmianach, z których można wymienić Lifac, Drypac, ABB-NID, metoda hybrydowa (El. „Rybnik”). Półsuche metody odsiarczania mogą być realizowane przed lub za elektrofiltrami.

W pierwszym przypadku produkty odsiarczania zawarte są w popiele i wylapywane są w elektrofiltrach. W drugim przypadku otrzymuje się zwykły popiół i osobno produkt odsiarczania (mieszanina siarczanów, siarczynów i nieprzereagowanego sorbentu). W tym przypadku trzeba dobudować dodatkowe filtry np. workowe.

Zaletą metody są niezbyt duże nakłady inwestycyjne, stosunkowo małe zapotrzebowanie sorbentu, z możliwością wysokiego stopnia jego wykorzystania. W półsuchych metodach uzyskuje się skuteczność odsiarczania około 70-80 %. Popioły lotne zawierające produkty odsiarczania metodami półsuchymi po zarobieniu z wodą wykazują pewne własności wiążące, choć twardość tych tworzyw nie jest tak duża jak w przypadku popiołów po suchym odsiarczaniu spalin.

- f) Popiół ze spalania w złożu fluidalnym

Spalanie paliwa następuje w warstwie fluidalnej z dodatkiem sorbentu o odpowiedniej granulacji. Ten sposób spalania pozwala na spalanie węgla gorszej jakości.

Popioły z kotłów fluidalnych są stosunkowo mało znane i charakteryzują się znacznymi wahaniami składu chemicznego i brakiem fazy szklistej. Zawartość produktów odsiarczania podobnych do produktów z metody suchej sprawia, że po zarobieniu z wodą ujawniają się własności wiążące tego popiołu.

2. AKTUALNY STAN NORMALIZACJI W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA UPS W DROGOWNICTWIE [4]

2.1. AKTUALNY STAN NORMALIZACJI POLSKIEJ W OMAWIANYM ZAKRESIE

Polska ma dość dobrze znormalizowany obszar wykorzystania elektrownianych popiołów i żużli w drogownictwie. Większość norm została ustanowiona bądź znowelizowana w 1997 i 1998 roku. 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.

Wymienić należy następujące normy:

- a) PN-S-96035:1997 Drogi samochodowe. Popioły lotne; która 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 , oraz
- 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. Wg 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 dopuszczane 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 $R_{42}^m = 1.5 \div 3.0$ MPa,
- klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 3.0 \div 5.0$ MPa,
- klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 5.0 \div 8.0$ 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:
- gdy wskaźnik piaskowy WP kruszywa jest niski i wynosi $20\div 30\%$ 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
 - 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 $pH < 5$, które charakteryzują się ograniczoną przydatnością do stabilizacji cementem popiół lotny stanowić może środek odkwaszający grunty.
- f) BN-71/8933-10 Drogi samochodowe. Podbudowa z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi; dotycząca popiołów z węgla brunatnego z okręgu konińskiego. Norma ta nie została znowelizowana, ma status normy branżowej, która stanowić może literaturę techniczną. Była normą zapomnianą i nie stosowaną ostatnio, bo w okręgu Konińskim w ostatnich 20 latach tego rodzaju popiołów praktycznie nie było. Ostatnią instalację suchego odpopielania rozebrano w związku z wprowadzeniem modernizacji technologii spalania węgla i w roku 2000 wybudowano nową instalację w El. Pątnów, przewidzianą do uruchomienia w roku 2003. Popioły aktywne mogą stanowić samodzielne spoiwo do stabilizacji gruntów. Norma zaleca stosowanie popiołów aktywnych PBc w ilościach od $6\div 15\%$ w zależności od założonej wytrzymałości. Wyróżnia się trzy klasy wytrzymałościowe podbudowy z gruntów stabilizowanych popiołami:
- Klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 2.5\div 5.0$ MPa
 - Klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 1.5\div 3.0$ MPa
 - Klasa o wytrzymałości $R_{42}^m = 1.0\div 2.0$ MPa

Zastosowanie podbudowy o odpowiedniej klasie wytrzymałościowej uzależnione jest od obciążenia ruchem oraz od umiejscowienia podbudowy w konstrukcji nawierzchni

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

- roboty ziemne (nasypy drogowe) gdzie zastosować można bardzo duże ilości popiołów i popiolo-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, oraz
- podbudowy (zasadnicze i pomocnicze), gdzie popioły bądź mieszaniny popiołowo - żużlowe są składnikiem mieszanek mineralnych z dodatkiem cementu o większych wytrzymałościach.

Schematyczny przekrój konstrukcji nawierzchni z podaniem zakresu wykorzystania i ilości popiołów lotnych lub popioło-żużli przedstawiono na Rys. 1.

Warstwa ścieralna		Nawierzchnia
Warstwa wiążąca		
Podbudowa zasadnicza wykorzystanie do 35% w kompozycjach z cementem	Podbudowa	
Podbudowa pomocnicza wykorzystanie do 100 % w kompozycjach z cementem		
Podłoże ulepszone wykorzystanie do 100% pod warunkiem stabilizacji spoiwem		Podłoże
Nasyp wykorzystanie do 100%		

Rys. 1 Wykorzystanie popiołów i popioło-żużli w drogownictwie

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-żużel 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 $R_m 1.5 \text{ MPa}$ o wytrzymałości $R_{28}=0.5 \div 1.5 \text{ MPa}$ - warstwy wzmacniające
- marka $R_m 2.5 \text{ MPa}$ o wytrzymałości $R_{28}=1.5 \div 2.5 \text{ MPa}$ – warstwy wzmacniające lub dolne podbudowy
- marka $R_m 5.0 \text{ MPa}$ o wytrzymałości $R_{28}=2.5 \div 5.0 \text{ MPa}$ – podbudowy zasadnicze

Wskazane jest, aby zamiast pielęgnacji 28 dniowej typowej dla mieszanek cementowych przyjmować 42 dniowy okres twardnienia. Druga norma PN-S-96013:1997 dotyczy podbudowy z chudego betonu o wytrzymałości 6÷9 MPa. Te mieszanki popularnie nazywane mieszankami popiołowo-kruszywowo-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 Rozporządzeniem dotyczącym aprobat technicznych [5] 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 długi, 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 dotąd jeszcze nie znormalizowane.

2.2. AKTUALNY STAN NORMALIZACJI EUROPEJSKIEJ W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA UPS W DROGOWNICTWIE

Prace nad opracowywaniem norm w zakresie materiałów do budowy dróg prowadzone są przez Komisję Techniczną CEN/TC 227. Prace są prowadzone w 5 grupach roboczych WG. Jedną z grup, która dotyczy między innymi stosowania popiołów jest grupa WG4. Wg raportu CEN/TC 227 N 363 E N_0363_Rev_25."Road materials" [6], który przedstawia zaawansowanie prac w zakresie normalizacji można wymienić następujące normy dotyczące stosowania popiołów w drogownictwie przewidziane do wprowadzenia w Polsce:

- EN 14227-3 Hydraulically bound mixtures . Specifications - Part 3: Fly ash bound mixtures, która zawiera wymagania dla mieszanek stabilizowanych popiołami, gdzie popioły mogą być składnikiem spoiwa oraz głównym składnikiem mieszanek .
- EN 14227-4 Hydraulically bound mixtures - Specifications - Part 4: Fly ash for hydraulically bound mixtures, omawiająca charakterystykę popiołów i stawiane im wymagania. Projekt podaje podział na popioły krzemianowe i wapniowe oraz wymagania jakie powinny spełniać (uziarnienie, zawartość podstawowych składników chemicznych).

Także trwają prace nad dwiema następnymi projektami norm, lecz są one znacznie mniej zaawansowane niż poprzednie, a mianowicie:

- WI Hydraulically bound mixtures .Specifications . Part 7: Soils treated by fly ash
- WI 136 Hydraulically bound mixtures . Specifications . Part 9: Soils treated by hydraulic road binder

W Instytucie Badawczym Dróg i Mostów opracowywany jest program wdrażania tych norm w Polsce. Zajmuje się tym specjalnie powołana grupa robocza GREN [6] pod kierownictwem prof. Dariusza Sybilskiego. Przyjęto zasadę wdrażania norm EN, że normy dotyczące metodyki badań będą przełożone na język polski, natomiast normy zawierające wymagania, ale nie wszystkie, będą wymagały opracowania aneksów krajowych, zaleceń lub innej formy krajowych wymagań. Normy EN 14227-3, EN 14227-4 zostały zakwalifikowane do wprowadzenia wraz z aneksami krajowymi. Jest to zabieg potrzebny, gdyż Polska jak przedstawiono w niniejszym opracowaniu posiada duże doświadczenia w stosowaniu popiołów konwencjonalnych, a stan normalizacji w tej dziedzinie jest zadowalający. Chodzi o to, by wprowadzić możliwość wykorzystania polskich doświadczeń, bardzo znacznych w tej dziedzinie oraz polskich uwarunkowań klimatycznych w tej dziedzinie.

5 Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 5 sierpnia 1998 r. w sprawie aprobat i kryteriów technicznych oraz jednostkowego stosowania wyrobów budowlanych. Dz. U. 1998 nr 107 poz. 679

6 Prace zespołu GREN – IBDiM 2004

3. POPIOŁY I ŻUŻŁE KONWENCJONALNE

3.1. POWSTAWANIE ODPADÓW PALENISKOWYCH

Popioły lotne są produktem ubocznym, powstałym na skutek spalania pyłu węglowego w bezrusztowych komorach paleniskowych [1 i 2]. W procesie spalania pył węglowy jest podawany do komory spalania przez palniki pyłowe. W komorze następuje spalanie, a cząstki popiołu unoszone są przez gazy spalinowe. Spaliny przechodzą do kanału drugiego ciągu, a potem po zmianie kierunku do urządzenia odpylającego. W czasie zmiany kierunku wytrącają się z nich najcięższe cząstki. Drobniejsze cząstki popiołów lotnych wytrącane są za pomocą mechanicznych urządzeń odpylających lub elektrofiltrów. Cząstki pyłu węglowego, które wypadły z głównego strumienia spalin opadają na dno komory paleniskowej tworząc żużel.

W metodzie hydraulicznego odprowadzania produktów spalania, popioły i żużle są transportowane rurociągami w postaci pulpy wodnej na składowiska i opadając na dno basenów tworzą mieszaniny popiołowo – żużłowe [1 i 2].

3.2. KLASYFIKACJA

Wg normy [7] wyróżnia się, w zależności od materiałów wyjściowych, 2 rodzaje popiołów lotnych:

- PB - popioły lotne z węgla brunatnego,
 - PK - popioły lotne z węgla kamiennego,
- oraz w zależności od zastosowania 3 odmiany:
- a - stosowana jako dodatek hydrauliczny do innych materiałów wiążących,
 - b - stosowana do ulepszenia składu granulometrycznego gruntów sypkich,
 - c - stosowana jako samodzielny materiał wiążący do stabilizacji gruntów spoistych oraz do zmiany odczynu gruntów (pH).

Ze względu na praktyczne możliwości stosowania popiołów lotnych można stosować następujący podział podany przez P. Wileńskiego [8]:

- aktywne popioły lotne z węgla brunatnego okręgu konińskiego odprowadzane na sucho
spod elektrofiltrów,
- nieaktywne popioły lotne odprowadzane na sucho spod elektrofiltrów,
- mieszaniny popiołowo-żużłowe odprowadzane na mokro.

Popioły lotne z węgla brunatnego okręgu konińskiego wykazują samodzielne wiązanie, dlatego mogą być wykorzystywane jako samodzielne spoiwo zastępujące cement lub wapno. Nieaktywne popioły lotne odprowadzane na sucho spod elektrofiltrów mogą być wykorzystywane do wykonywania podbudów i do ulepszania gruntów oraz nasypów drogowych.

Popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużłowe odprowadzane na mokro mogą być wykorzystywane do budowy nasypów komunikacyjnych oraz makroniwelacji.

Popioły lotne można także podzielić ze względu na ich skład chemiczny, uziarnienie i aktywność, jednakże przedstawiony podział łączy je w sposób praktyczny.

Norma [7] i inne publikacje [12] przedstawiają także klasyfikację popiołów lotnych ze względu na ich skład chemiczny. W tablicy 1 przedstawiono przykładowe klasyfikacje.

7 PN-S-96035 Drogi samochodowe. Popioły lotne

8 Wileński P. Prace badawczo rozwojowe w zakresie podbudów drogowych z gruntów sypkich stabilizowanych popiołami lotnymi. Prace IBDiM, Zeszyt 2, Warszawa 1976

Tablica 1. Podział popiołów lotnych na grupy ze względu na skład chemiczny

Występujące związki chemiczne	Klasyfikacja popiołów lotnych		
	wg ONZ i OSŻD i Bastiana	wg Instrukcji ITB	wg normy [6]
	zawartość składników		
SiO ₂ CaO SO ₃ SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Grupa I glinowo-krzemianowe poniżej 15% od 2%	Grupa I glinowo-krzemianowe ponad 40%	PKa i PKb powyżej 40% poniżej 2% (1,5%)
SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO SO ₃ SiO ₃ SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Grupa II krzemianowo-glinowe poniżej 15% poniżej 3% poniżej 2%	Grupa II krzemianowo-glinowe ponad 25%	PBa i PBb powyżej 25% poniżej 30% powyżej 3% poniżej 2% (1,5%) - -
SiO ₂ CaO wolny CaO SO ₃	Grupa III siarczanowo-wapniowe powyżej 15% powyżej 3%	Grupa III siarczanowo-wapniowe ponad 25%	PBc powyżej 25% powyżej 15% powyżej 7% do 3%
CaO SO ₃	Grupa IV powyżej 15% poniżej 3%		

Norma [7] stawia wymagania dotyczące uziarnienia popiołów lotnych podane w tablicy 2.

Tablica 2. Skład ziarnowy popiołów lotnych

Sito o oczku kwadratowym [mm]	Przechodzi przez sito [%]	
	PBb i PKb	PBa, PBc i PKa
0,5	100	100
0,25	≥ 95	≥ 97
0,1	≥ 80	≥ 90
0,075	≥ 75	≥ 85

Jednakże uziarnienie popiołów lotnych a zwłaszcza mieszanin popiołowo-żużlowych jest zazwyczaj grubsze. W tablicy 3 podano inne przykładowe klasyfikacje popiołów ze względu na uziarnienie.

Tablica 3. Podział popiołów lotnych ze względu na uziarnienie

Sortyment popiołu	Odsiew na sicie 0,063/0,075 mm [%]		Powierzchnia właściwa [m ² /kg]	
	wg Pachowskiego	wg Bastiana	wg Pachowskiego	wg Bastiana
bardzo drobny		poniżej 10%		powyżej 350
drobny	poniżej 25	poniżej 30	powyżej 300	250-350
średni	25 - 60		150-300	
gruby	powyżej 60	poniżej 50	poniżej 150	150-250
bardzo gruby		powyżej 50		poniżej 150

Ze względu na zawartość wolnego CaO (aktywność) popioły lotne dzielimy na [2, 4]:

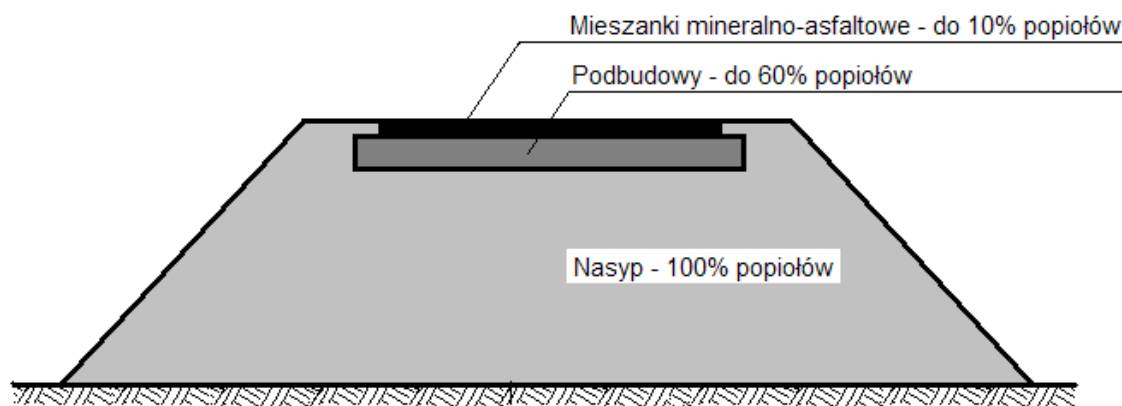
- nieaktywne lub bardzo mało aktywne poniżej 3,5%,
- mało aktywne 3,5 - 7%,
- aktywne 7 - 14%,
- bardzo aktywne powyżej 14%.

Zawartość wolnego CaO charakteryzuje zdolność samodzielnego wiązania popiołów lotnych na skutek reakcji pucolanowej.

3.3. WYKORZYSTANIE

3.3.1 MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA POPIOŁÓW LOTNYCH [12]

Popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużłowe mogą być wykorzystywane we wszystkich warstwach konstrukcji nawierzchni od makroniwelacji i nasypów przez podbudowy aż do mieszanek mineralno-asfaltowych, co zilustrowano na Rys. 2.



Rys. 2. Możliwości stosowania popiołów lotnych i mieszanek popiołowo-żużlowych w budownictwie drogowym

3.3.2. NASYPY

Popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużłowe zaliczono w normie [9] do materiałów przydatnych do robót ziemnych z zastrzeżeniami. Ich użycie dopuszcza się w następujących przypadkach:

- na dolne warstwy nasypów poniżej strefy przemarzania: **popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużłowe** - gdy zalegają w miejscach suchych lub są odizolowane od wody.
- na górne warstwy nasypów w strefie przemarzania: **mieszaniny popiołowo-żużłowe** - pod warunkiem ich ulepszenie spoiwami.

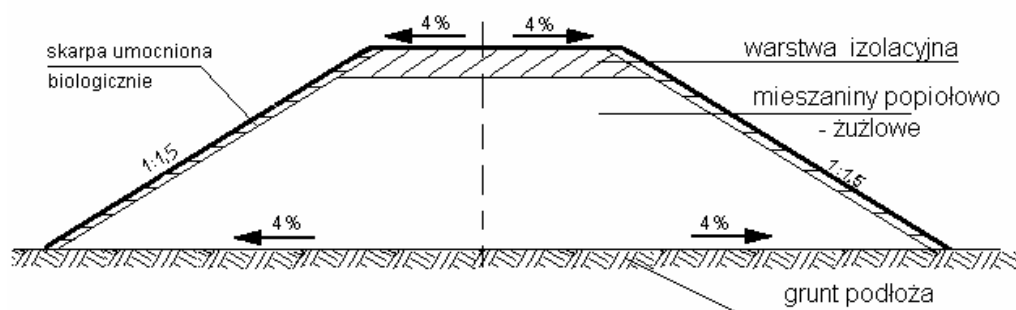
Do budowy nasypów zaleca się stosowanie mieszanin popiołowo-żużłowych o najgrubszym uziarnieniu, spełniających wymagania podane w tablicy 4.

Tablica 4. Właściwości mieszanin popiołowo-żużlowych przeznaczonych do budowy nasypów

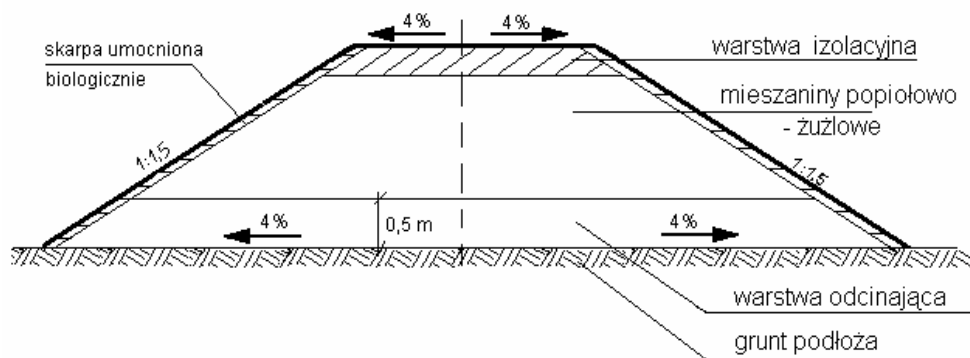
Cechy	Wartość	Badania wg normy
Uziarnienie: a) zawartość frakcji piaskowo-żwirowej b) zawartość ziarn poniżej 0,075 mm	$\geq 35\%$ $\leq 75\%$	PN-88/B-04481
Zawartość niespalonego węgla	$\leq 10\%$	PN-88/B-04481
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu po zagęszczeniu wg Proctora (metoda I lub II)	$\geq 1 \text{ g/cm}^3$	PN-88/B-04481
Wskaźnik nośności CBR , po 4 dobach nasączenia w wodzie	$\geq 10\%$	PN-S-02205:1998 Załącznik A
Pęcznienie liniowe a) bez obciążenia b) z obciążeniem 3 kN/m^2	$\leq 2\%$ $\leq 0,5\%$	PN-S-02205:1998 Załącznik A
Kąt tarcia wewnętrznego	$\geq 20^\circ$	PN-88/B-04481
Kapilarność bierna H_{kb}	$\leq 2 \text{ m}$	PN-60/B-04493
Zawartość siarczanów (w przeliczeniu na SO_3)	$\leq 3 \%$	

Nasypy z mieszanin popiołowo-żużlowych oraz popiołów lotnych należy wykonywać przy zachowaniu następujących zasad:

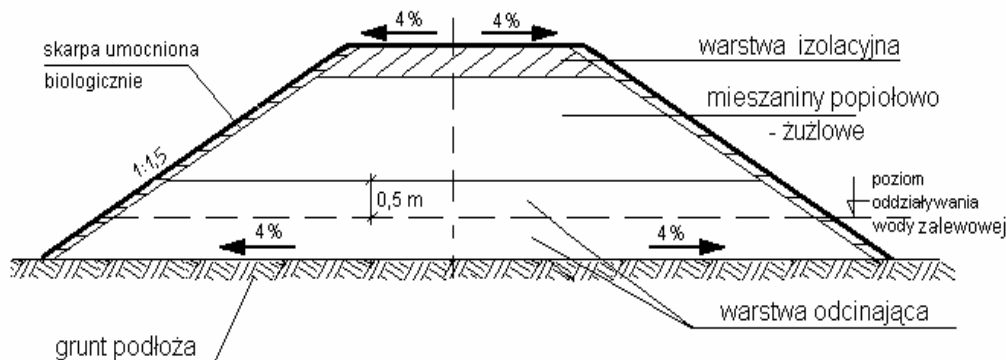
- jeżeli poziom wody gruntowej jest co najmniej 1 m poniżej spodu nasypu i występują grunty niespoiste - budować nasyp bezpośrednio na podłożu - rysunek 3,
- jeżeli poziom wody gruntowej znajduje się płytko pod powierzchnią terenu lub gdy zalegają tam grunty spoiste - pod popiołami wykonać warstwę odcinającą o grubości co najmniej 50 cm z materiałów o współczynniku filtracji $k_{10} \geq 6 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (5 m/dobę) - rysunek 4,
- jeżeli występuje teren zalewowy - warstwę odsączającą j.w. wykonać co najmniej 50 cm powyżej najwyższego stanu wód zalewowych - rysunek 5,
- górnej powierzchni warstwy należy nadać spadki poprzeczne około 4%,
- górną warstwę nasypu należy wykonać tak, aby zabezpieczała niżej leżące popioły przed nadmiernym nawilgoceniem (wykonanie stabilizacji spoiwami lub zastosowanie geomembrany przykrytej 10 cm warstwą piasku),
- skarpy zabezpieczyć tymczasową warstwą przeciwozyjną do czasu wytworzenia się okrywy roślinnej.



Rys. 3. Konstrukcja nasypu z mieszanin popiołowo-żużlowych w przypadku dobrych warunków gruntowo-wodnych

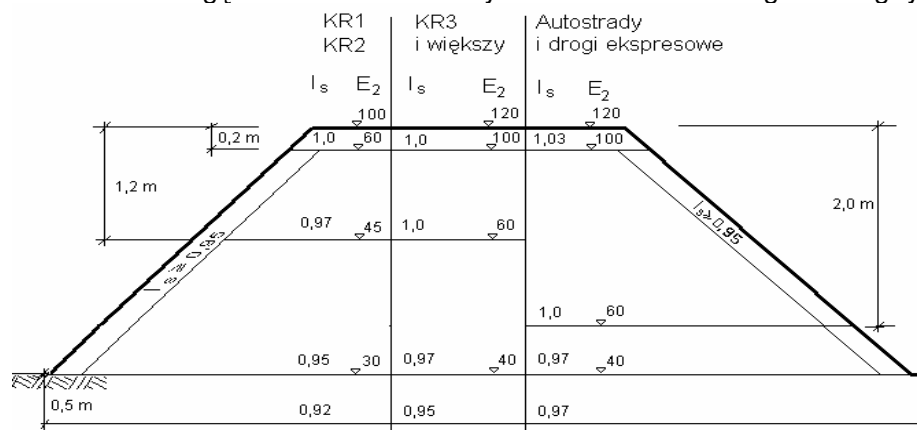


Rys. 4. Konstrukcja nasypu z mieszanin popiołowo-żużlowych w przypadku wysokiego stanu wody gruntowej lub złych warunków gruntowych



Rys. 5. Konstrukcja nasypu z mieszanin popiołowo-żużlowych na terenach zalewowych

Popioły lotne lub mieszaniny popiołowo-żużłowe należy układać warstwami i zagęszczać bezpośrednio po dostarczeniu do miejsca wbudowania. Wilgotność optymalną zagęszczanego materiału, procedurę zagęszczania i grubość warstwy należy określić doświadczalnie podczas próbnego zagęszczania. Odchylenia od wilgotności optymalnej nie powinny przekraczać +0% i -5%. W zależności od kategorii ruchu należy przyjmować wymagane wskaźniki zagęszczenia oraz moduły odkształcenia wtórnego według rysunku 6.



Rys. 6. Wymagane wskaźniki zagęszczenia oraz moduły odkształcenia wtórnego

Dla popiołów lotnych lub mieszanin popiołowo-żużlowych ulepszonych spoiwami wymagany jest wskaźnik zagęszczenia:

- $I_s \geq 1,0$ dla ulepszanego podłoża nawierzchni,
- $I_s \geq 0,97$ w strefie obliczeniowej głębokości przemarzania.

Badanie wskaźnika zagęszczenia na skarpach nie jest konieczne przy wykonywaniu nasypów z poszerzeniem o co najmniej 50 cm, a następnie zebrania tego nadkładu.

Całościowej oceny nośności nasypu dokonuje się na podstawie pomiaru wtórnego modułu odkształcenia E_2 (według rysunku 6).

Dopuszcza się wykonanie lekkiej zasypki z popiołów lotnych lub mieszaniny popiołowo-żużlowych pod warunkiem zabezpieczenia ich przed kontaktem z wodą gruntową. Wymagany wskaźnik zagęszczenia zasypki wynosi $I_s \geq 1,0$ (z wyjątkiem skarp).

Norma [9] zaleca stosowanie metody określania wskaźnika odkształcenia do oceny zagęszczenia mieszanin popiołowo-żużlowych. Jednak wymagane wartości wskaźnika odkształcenia należy określić na podstawie badań poligonowych - już w trakcie budowy.

3.3.3. PODBUDOWA Z BETONU POPIOŁOWEGO [10]

Do wykonania podbudowy z betonu popiołowego można stosować następujące materiały:

1. Kruszywa: piasek, żwir i mieszanka, kruszywa łamane, żużel wielkopiecowy kawałkowy, łupkoporyt ze zwałów, agloporyt i keramzyt,
2. Popioły lotne:
 - z węgla kamiennego odmiany PKb oraz jako dodatek pucolanowy do materiałów wiążących odmiany PKa, wg PN-S-96035:1997 [7],
 - aktywne z węgla brunatnego odmiany PBc jako samodzielne spoiwo oraz PBa i PBb jako dodatek pucolanowy do materiałów wiążących, wg PN-S-96035:1997 [7],
3. inne materiały wiążące wapno, cement.

Orientacyjna zawartość poszczególnych składników w mieszance powinna wynosić:

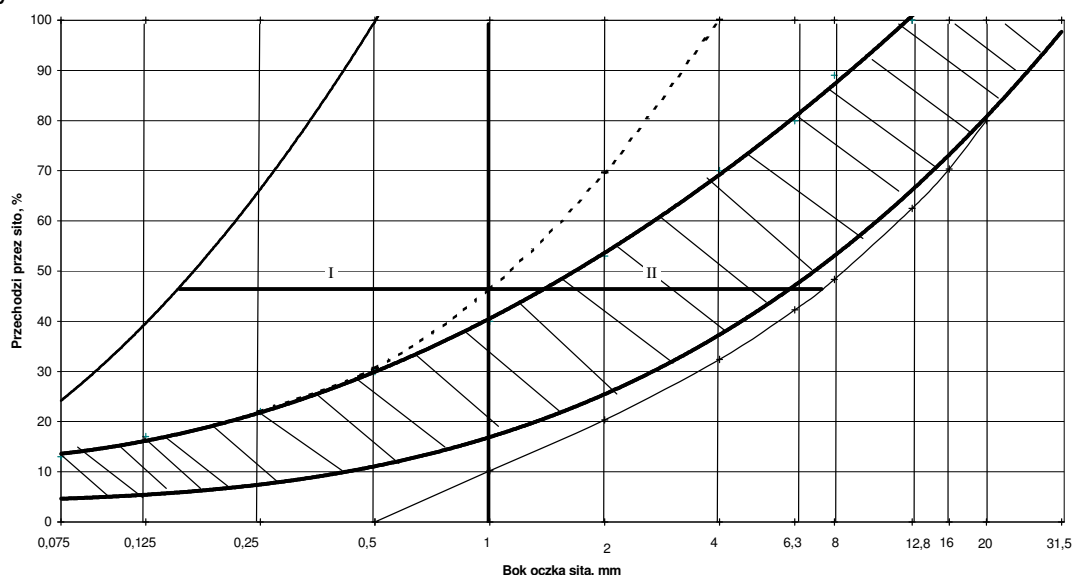
- kruszywo dobrane wg rysunku 7 w ilości 60÷80%,
- popioły lotne z węgla kamiennego odmiany PKa lub PKb w ilości 10÷35%,
- aktywne popioły lotne z węgla brunatnego odmiany PBc w ilości 5÷12% lub wapno w ilości 4÷6% bądź cementu w ilości 5÷8%.

Przy ustalaniu właściwego składu mieszanki należy wykonać następujące czynności:

- dobór uziarnienia kruszywa według rysunku 7,
- dobór odpowiedniej ilości popiołów lotnych z węgla kamiennego odmiany PKa,
- dobór odpowiedniej ilości aktywnych popiołów lotnych z węgla brunatnego odmiany PBc, bądź wapna lub cementu,
- dobór odpowiedniej ilości wody (na podstawie badania Proctora oraz wilgotności naturalnej poszczególnych materiałów),
- wstępne ustalenie składu mieszanki,
- wykonanie próbek,
- badanie wytrzymałości na ściskanie i mrozoodporność,
- ostateczne ustalenie składu mieszanki.

Należy zwrócić uwagę aby zawartość SO_3 w dolnej warstwie podbudowy nie była większa od 3% a w górnej warstwie nie większa od 2%.

Mieszanka betonu popiołowego powinna mieć uziarnienie ciągłe w granicach pokazanych na rysunku 7.



Rys. 7. Pole dobrego uziarnienia kruszyw podbudowy z betonu popiołowego

Na dolną warstwę podbudowy należy stosować kruszywo o uziarnieniu mieszczącym się w polu I lub II. Na górną warstwę podbudowy należy stosować kruszywo o uziarnieniu mieszczącym się w polu II. W przypadku dróg o obciążeniu ruchem lekkim lub średnim dopuszcza się kruszywo o uziarnieniu w polu I.

Pole zakreskowane oznacza uziarnienie kruszywa w przypadku dopuszczenia ruchu bezpośrednio po zagęszczonej podbudowie.

Decydującym kryterium przydatności gruntów do stabilizacji cementem jest wytrzymałość i mrozoodporność próbek (tablica 5).

Tablica 5. Wymagane właściwości betonu popiołowego

Rodzaj warstwy	Wytrzymałość na ściskanie			Wytrzymałość po 14 cyklach zamrażania
	R_3^t	R_{14}^m	R_{42}^m	R_{42}^{zo}
Górna warstwa podbudowy dla ruchu ciężkiego i bardzo ciężkiego	5 ÷ 8	$\geq 2,5$	5 ÷ 8	≥ 4
Górna warstwa podbudowy dla ruchu lekkiego i średniego oraz dolna warstwa podbudowy dla ruchu ciężkiego i bardzo ciężkiego	3 ÷ 5	$\geq 1,5$	3 ÷ 5	≥ 2
Dolna warstwa podbudowy dla ruchu lekkiego i średniego	1,5 ÷ 3	≥ 1	1,5 ÷ 3	$\geq 0,8$

Podbudowę należy zagęszczać przy wilgotności optymalnej $\pm 2\%$ w celu otrzymania wskaźnika zagęszczenia:

- $I_s \geq 1,03$ przy ruchu ciężkim i bardzo ciężkim,
- $I_s \geq 0,98$ przy ruchu lekkim i średnim.

3.3.4. PODBUDOWA Z POPIOŁÓW STABILIZOWANYCH CEMENTEM [11]

Do wykonania warstwy z gruntu stabilizowanego cementem można stosować następujące materiały:

- grunty odpowiadające wymaganiom podanym w tablicy 6,
- cement portlandzki, portlandzki z dodatkami lub hutniczy.

Jako dodatki ulepszające mogą być stosowane następujące materiały:

- wapno wg PN-90/B-30020,
- popioły lotne wg PN-S-96035:1997,
- chlorek wapniowy wg PN-75/C-84127.

Tablica 6. Wymagane właściwości gruntów

Właściwości	Wymagania
Uziarnienie:	
• ziarn przechodzących przez sito # 50 mm	100%
• ziarn przechodzących przez sito # 25 mm	85 ÷ 100%
• ziarn przechodzących przez sito # 4 mm	50 ÷ 100%
• ziarn przechodzących przez sito # 0,25 mm	10 ÷ 100%
• ziarn przechodzących przez sito # 0,05 mm	0 ÷ 100%
• części mniejszych od 0,002 mm, nie więcej niż	20%
Granica płynności, nie więcej niż	40%
Wskaźnik plastyczności, nie więcej niż	15%
Odczyn pH	5 ÷ 8
Zawartość części organicznych, nie więcej niż	2%
Zawartość siarczanów (SO ₃), nie więcej niż	1%

Dodatkowym kryterium oceny przydatności gruntów do stabilizacji cementem jest wskaźnik piaskowy. Najlepsze wyniki uzyskuje się przy gruntach o wskaźniku piaskowym $20 \leq WP \leq 50$ oraz zawartości frakcji poniżej 0,075 mm do 15%, a także zawartości ziarn powyżej 2 mm co najmniej 30%.

Zawartość cementu należy przyjmować w granicach od 4 do 10 % zgodnie z tablicą 7.

Tablica 7. Wymagana zawartość cementu [12]

Kategoria ruchu	Maksymalna zawartość cementu w stosunku do masy suchego gruntu [%]		
	Podbudowa zasadnicza	Podbudowa pomocnicza	Ulepszone podłoże
od KR1 do KR3	8	10	10
od KR4 do KR6	6	6	8

Decydującym kryterium przydatności gruntów do stabilizacji cementem jest wytrzymałość i mrozoodporność próbek mieszanki cementowo-gruntowej jak w tablicy 8.

Oznaczanie wskaźnika mrozoodporności próbek obowiązuje w następujących przypadkach:

- stabilizacji gruntów średnio- i bardzo spoistych,
- stabilizacji gruntów o zawartości części organicznych powyżej 2%,
- stabilizacji gruntów kwaśnych $pH \leq 5$,
- przy dodaniu popiołów lotnych w ilości większej niż cementu.

Tablica 8. Wymagane właściwości gruntu lub kruszywa stabilizowanego cementem

Rodzaj warstwy	Wytrzymałość na ściskanie		Wskaźnik mrozo-odporności
	R ₇	R ₂₈	
Podbudowa zasadnicza dla ruchu KR1 lub podbudowa pomocnicza dla ruchu od KR2 do KR6	1,6 ÷ 2,2	2,5 ÷ 5,0	0,7
Górna część ulepszanego podłoża (10 cm) przy ruchu KR5 i KR6 lub górna część ulepszanego podłoża w przypadku posadowienia nawierzchni na gruntach wątpliwych oraz wysadzinowych	1,0 ÷ 1,6	1,5 ÷ 2,5	0,6
Dolna część warstwy ulepszanego podłoża w przypadku posadowienia nawierzchni na gruntach wątpliwych oraz wysadzinowych	-	0,5 ÷ 1,5	0,6

Ilość i rodzaj środka ulepszającego określa się w oparciu o wyniki badań wytrzymałości i mrozoodporności próbek.

Podbudowę należy zagęszczać przy wilgotności optymalnej $\pm 1\%$, do otrzymania wskaźnika zagęszczenia $I_s \geq 1,00$.

3.3.5. MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE

Popioły lotne mogą być stosowane do mieszanek mineralno-asfaltowych jako wypełniacz zastępczy. Jednakże obecnie wytwórnie MMA dysponują zazwyczaj nadmiarem pyłów powstających z odpylania kruszywa.

Popioły lotne stosowane jako wypełniacz zastępczy obniżają właściwości mechaniczne mieszanek mineralno-asfaltowych.

3.4. NORMY I OGÓLNE SPECYFIKACJE TECHNICZNE POLECANE PRZY PROJEKTOWANIU I WYKONYWANIU ROBÓT DROGOWYCH Z WYKORZYSTANIEM KONWENCJONALNYCH POPIOŁÓW LOTNYCH LUB MIESZANIN POPIOŁOWO-ŻUŻLOWYCH [12,13,14]

Przy projektowaniu i wykonywaniu robót drogowych z zastosowaniem konwencjonalnych popiołów i popioło-żużli mogą być wykorzystane następujące przepisy.

3.4.1. NORMY

PN-S-02205:1998	Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
PN-S-06103:1997	Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego.
PN-S-96012:1997	Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
PN-S-96035:1997	Drogi samochodowe. Popioły lotne.
PN-S-06102:1997	Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.
BN-71/8933 -10	Drogi samochodowe. Podbudowa z gruntów stabilizowanych aktywnymi popiołami lotnymi.

3.4.2. OGÓLNE SPECYFIKACJE TECHNICZNE

OST D-02.03.01	Wykonanie nasypów.
OST D-04.04.00	Podbudowa z kruszyw. Wymagania ogólne.
OST D-04.04.01	Podbudowa z kruszywa naturalnego stabilizowanego mechanicznie.
OST D-04.04.02	Podbudowa z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie.
OST D-04.05.00	Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntów lub kruszyw Stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi. Wymagania ogólne.
OST D-04.05.01	Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu lub kruszywa stabilizowanego cementem.
OST D-04.05.03	Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego aktywnymi popiołami lotnymi.

12 Poradnik dla projektantów i wykonawców. „Budowa dróg samochodowych z zastosowaniem popiołów lotnych i mieszanin popiołowo-żużlowych”. Biuletyn Polskiej Unii Ubocznych Produktów Spalania „Szare na złote”, październik 2003 (Dodatek specjalny) Dr inż. Waldemar Cyske

13 Zastosowanie mieszanek cementowo-popiołowo-żużlowych do budowy dróg. Zakład Usług Technicznych i Recyklingu S.A. (ZUTER S.A.) i „MikroMex” Sp. z o.o. Radom 2003

14 Szydło A., i VKN Polska Wykorzystanie mieszanin popiołowo-żużlowych z Elektrociepłowni Wrocław w budownictwie drogowym. X Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja „Popioły z Energetyki”, Warszawa 14-17.10.2003

3.5. POPIOŁY KONWENCJONALNE W KONSTRUKCJACH NAWIERZCHNI DROGOWYCH [13,14]

3.5.1. WAŻNIEJSZE OKREŚLENIA [15,16]

Nawierzchnia – warstwa lub zespół warstw służących do przejmowania i rozkładania obciążeń od ruchu na podłoże i zapewniających dogodne warunki do ruchu.

Podbudowa – dolna część nawierzchni służąca do przenoszenia obciążeń od ruchu na podłoże. Podbudowa może składać się z podbudowy zasadniczej lub pomocniczej.

Podbudowa pomocnicza – dolna część podbudowy spełniająca głównie, poza funkcjami nośnymi, funkcje zabezpieczenia nawierzchni przed działaniem wody, mrozu, przenikania drobnych cząstek podłoża i inne, pp może zawierać warstwę mroзооchronną, odsączającą i odcinającą

- warstwa mroзооchronna – warstwa, której zadaniem jest ochrona nawierzchni przed skutkami mrozu,
- warstwa odsączająca – warstwa służąca do odprowadzania wody przedostającej się do nawierzchni,
- warstwa odcinająca – warstwa stosowana w celu uniemożliwienia przenikania drobnych cząstek do warstw leżących powyżej.

Podbudowa zasadnicza – górna część podbudowy, spełniająca funkcje nośne w konstrukcji nawierzchni, może ona zawierać warstwę wzmacniającą lub warstwę wyrównawczą

- warstwa wzmacniająca – warstwa podbudowy służąca do wzmocnienia istniejącej nawierzchni lub stosowana w budowie nawierzchni dla ruchu bardzo ciężkiego (KR6).

Podłoże – grunt rodzimy lub nasypowy leżący pod nawierzchnią do głębokości przemarzania, nie mniej jednak niż do głębokości, na której naprężenia pionowe od największych obciążeń użytkowych wynoszą 0,02 MPa.

Podłoże ulepszone – warstwa podłoża leżąca bezpośrednio pod nawierzchnią, ulepszona w celu umożliwienia przejścia ruchu budowlanego i właściwego wykonania nawierzchni, spełniająca wymagania określone dla podłoża.

Podbudowa z gruntu stabilizowanego cementem, wapnem (popiołem aktywnym) – jedna lub dwie warstwy zagęszczonej mieszanki, która po stwardnieniu stanowi fragment nośnej warstwy podbudowy, służący do przenoszenia obciążeń od ruchu na podłoże, poprawia jego właściwości fizykochemiczne oraz nośne.

Stabilizacja gruntów cementem (popiołem aktywnym) – proces technologiczny polegający na mieszaniu rozdrobnionego gruntu z optymalną ilością cementu (popiołu) i wody oraz zagęszczeniu takiej mieszanki, której wytrzymałość mieści się w granicach określonych normą (PN-S-96012:1997 lub PN-S-061103:1997).

Podbudowa z betonu popiołowego – jedna lub więcej warstw zagęszczonej mieszanki, która po stwardnieniu stanowi nośną część nawierzchni (podbudowy) i spełnia warunki zawarte w PN-S-061103:1997.

15 PN-S-02201 Drogi samochodowe. Nawierzchnie drogowe. Podział, nazwy, określenia

16 Pachowski J., Kraszewski C. –IBDiM, Szczygielski-EKOTECH Badania przydatności popiołów z EI. Pątnów.

Licheń 2003

Beton popiołowy – sztuczny kamień powstały w wyniku stwardnienia mieszanki betonowej.

Mieszanka betonowa – dobrana w optymalnych proporcjach mieszaniny kruszywa, popiołów lotnych z węgla kamiennego, wapna lub cementu oraz wody a w razie potrzeby również dodatków ulepszających.

Podbudowa z chudego betonu – jedna lub dwie warstwy wykonane i zagęszczone z chudego betonu, która po osiągnięciu wytrzymałości stanowi fragment nośnej części drogowej służącej do przenoszenia obciążeń od ruchu na podłoże.

Podbudowa z gruntu stabilizowanego aktywnymi popiołami lotnymi – jedna lub więcej warstw zagęszczonej mieszanki popiołowo-gruntowej, która po osiągnięciu właściwej wytrzymałości na ściskanie stanowi fragment nośnej części nawierzchni drogowej (OST D-04.05.03 oraz BN-71/8933-10).

Mieszanka popiołowo-gruntowa – mieszanka gruntu, popiołu i wody, a w razie potrzeby również dodatków ulepszających np. cementu, wodorotlenku sodu lub chlorku wapniowego, dobranych w optymalnych ilościach.

Grunt stabilizowany aktywnymi popiołami lotnymi – mieszanka popiołowo-gruntowa zagęszczona i stwardniała w wyniku ukończenia procesu wiązania popiołu.

Stabilizacja gruntu aktywnymi popiołami lotnymi proces technologiczny polegający na zmieszaniu rozdrobnionego gruntu z optymalną ilością popiołu i wody, a w razie potrzeby dodatków ulepszających grunt oraz zagęszczeniu wytworzonej mieszanki

3.5.2 PRZYKŁADOWE RECEPTY NA ULEPSZONE PODŁOŻE ORAZ PODBUDOWĘ Z POPIOŁO-ŻUŻŁA Z EL. KOZIENICE

1. Mieszanka popiołowo - żużlowo - piaskowo - cementowa klasa wytrzymałości 1.5 ÷ 2.5 MPa

- mieszanka popiołowe - żużlowo - piaskowa w stosunku objętościowym 1:1V/V	- 96,2%
- cement „32, 5	<u>-3.8%</u>
RAZEM	-100,0%

Skład 1m³ betonu

- mieszanka popiołowe - żużlowo – piaskowa	1480KG
- w stosunku objętościowym 1:1V/V	<u>60KG</u>
- cement „32,5	RAZEM - 1540 KG

- stabilizator 1,2l
- Woda w zależności od użytych do zagęszczenia maszyn drogowych.

2. Mieszanka popiołowo - żużlowo - piaskowo - cementowa klasa wytrzymałości 2.5 ÷5.0 MPa

- mieszanka popiołowe - żużlowo – piaskowa w stosunku objętościowym 1:1 V/V	- 95,0%
- cement „32,5”	<u>- 5.0%</u>
RAZEM	-100,0%

Skład 1 m³ betonu

- mieszanka popiołowo-żużlowo-piaskowa w stosunku objętościowym 1:1 V/V	-1460 KG
- cement „32,5”	<u>- 80 KG</u>
RAZEM	- 1540 KG

- stabilizator 1,2l
- woda w zależności od użytych do zagęszczenia maszyn drogowych

3. Mieszanka popiołowo - żużlowo - piaskowo - cementowa klasa wytrzymałości 6 ÷ 9 MPa

- mieszanka popiołowo - żużlowo - piaskowa
w stosunku objętościowym 1:1 V/V - 92,6%
 - cement „32,5” - 7.4%
- RAZEM -100,0%

Skład 1 m³ betonu

- mieszanka popiołowo - żużlowo – piaskowa
w stosunku objętościowym 1; 1 V/V -1425 KG
 - cement „32,5” -115 KG
- RAZEM -1540 KG

- stabilizator 1,2l
- Woda w zależności od użytych do zagęszczania maszyn drogowych.

3.5.3. ULEPSZANIE (MODYFIKOWANIE) JAKOŚCI POPIOŁÓW LOTNYCH

Jakość konwencjonalnych popiołów lotnych poprawiana i modyfikowana jest poprzez selektywny dobór poszczególnych frakcji [1, 15] lub ujednoludnienie poprzez mieszanie różnych frakcji (podgrup) w odpowiednich proporcjach a w niektórych przypadkach oddziaływaniem dodatkami spoiw, w tym wapna [2] lub produktu powstałego z przeróbki zaolejonych osadów porafineryjnych [17]. Przy wszystkich robotach drogowych niezmiennie ważne jest wymagane zagęszczenie wbudowywanych warstw zarówno w nasypach jak i konstrukcjach nawierzchni. Wyniki badań popiołów i mieszanin popiołowo-żużlowych z węgla kamiennego charakteryzujące ich przydatności do budowy nasypów komunikacyjnych dla uśrednionych prób z różnych zbiorników odстойnikowych i z silosów przy elektrowniach są przedstawione w tablicy 9.

17 Kraszewski C., Pachowski J. Popioły i mieszaniny popiołowo-żużłowe ulepszone „produktem” otrzymywanym w wyniku zestalenia zaolejonych i uwodnionych osadów porafineryjnych wapnem palonym dla celów drogowych. X Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja „Popioły z energetyki”, Warszawa 14-17.10.2003

Tablica 9. Wyniki badań popiołów i mieszanin popiołowo-żużlowych z węgla kamiennego pod kątem ich przydatności do budowy nasypów komunikacyjnych

Rodzaj badane cechy	Jednostki	Popioły i mieszaniny popiołowo-żużlowe									
		ze zbiorników odstojnikowych					z silosów				
		Blachownia Śl.	Jaworzno II	Łagisza	Stalowa Wola	Elbląg	Żerań	Siekierki	Siekierki	Zabrze	
Zanieczyszczenia obce	%	brak	brak	brak	żużel	żużel	brak	żużel	brak	brak	
Uziarnienie:											
- ilość ziarn przechodzących przez oczką 0,075 mm	%	29,5	17,8	25,1	36,0	5,8	10,6	26,7	77,8	74,7	
- ilość ziarn mniejszych od 2 mm	%	93,9	71,4	92,4	85,0	82,9	100,0	84,2	100,0	100,0	
Wskaźnik płaskowy stanu naturalnego	-	-	52,0	40,0	30-32	70,0	372,0	28,4	10,0		
Wskaźnik płaskowy po próbie normalnej wg Proctora	-	-	45,0	39,0	-	57-62	-	-	-		
Wilgotność naturalna	%	32,5	12,9	29,5	19,3	37,2	17,7	16,0	5,1		
Wilgotność optymalna	%	34,0	19,8	42,8	32,7	44,3	27,8	30,5	29,0	14,3	
Gęstość	kg/m ³	-	-	-	2040	2030	2330	2150	2090		
Gęstość pozorną	kg/m ³	-	-	-	930	700-800	1010-1160	850-950	700-830		
Maksymalna gęstość objętościowa	kg/m ³	1030	1560	950	1100	940	1380	1160	1025	1290	
Wskaźnik CBR przy w _{opt} i zagęszczeniu wg normalnej próby Proctora	%	21,5	47,0	33,3	18,6	24,0	21,0	14,2	38,7	31,5	
Wskaźnik CBR przy zagęszczeniu jw. i nasyceniu wodą (po 4 dobach)	%	29,2	49,6	25,2	14,8	14,5	16,8	12,8	58,0	41,4	
Pęcznienie liniowe	%	0,12	0,01	0,09	0,0	0,0	0,40	0,0	0,74	0,78	
Kąt tarcia wewnętrzznego	φ	35°00'	32°05'	37°15'	33°50'	36°30'	34°36'	16°10'	-	34	
Kohezja		0,17	0,90	0,60	0,20	0,33	0,40	0,75	-	0,50	
Wodoprzepuszczalność	0,01MN/m ²	-	1,10 ⁻³	-	17,10 ⁻⁵	6,10 ⁻³	17,10 ⁻⁵	17,10 ⁻⁵	17,10 ⁻⁵	17,10 ⁻⁵	
Kapilarność bierna	cm/min	0,60	0,55	0,65	0,9-1,00	0,40	1,20-1,40	0,70-0,80	>2,0	>2,0	
	m										

Z tablicy 9 wynika, że popioły drobnoziarniste z silosów wykazują bardzo wysoką kapilarność ($> 2,0$ m) co niewątpliwie jest ich wadą w porównaniu z mieszaninami popiołowo-żuźłowymi, dla których kapilarność jest mniejsza i dla różnych prób wynosiła 0,55-1,40 m. Jednakże we wszystkich przypadkach wielkości pęcznienia liniowego określane w cylindrze *CBR* przy początkowej wilgotności prób zbliżonej do w_{opt} przy kontakcie próbek z wodą przez 4 doby są niskie, a wartości kalifornijskiego wskaźnika nośności *CBR* są wysokie lub bardzo wysokie, gdyż wynosiły 14,5-58. Należy zaznaczyć, że dla piasków naturalnych po dobrym ich zagęszczeniu przy wilgotności optymalnej $CBR=8-12$.

Wykonane badania uśrednionej mieszaniny popiołowo-żuźłowej ze zbiornika odstojnikowego elektrociepłowni Żerań na pęcznienie z jednoczesnym zamrażaniem górnej powierzchni próbki za pomocą sztucznego lodu wykazały, że ich pęcznienie w najbardziej niekorzystnych warunkach (bez dodatkowego obciążenia powierzchni próbki) nie przekracza 5 %, a przy obciążeniu powierzchni próbki zaledwie 2,6 kPa pęcznienie również przy zamrażaniu i kontakcie próbki z wodą jest mniejsze niż 2 %. Oznacza to, że nasyp z mieszanin popiołowo-żuźłowych obciążony konstrukcją nawierzchni nie będzie podlegać pęcznieniu i wysadzinom mrozowym.

Popioły z silosów lub hałd przy nasycaniu wodą z jednoczesnym oddziaływaniem mrozu wykazują pęcznienie znacznie przekraczające podane w tablicy 9 i powinny być ulepszone.

Dobrze uziarnione i zagęszczone mieszaniny popiołowo-żuźłowe przy wilgotnościach optymalnych wykazują wysokie moduły odkształcenia M_E , określane według metodyki VSS wynoszące 100-300 MPa, a po całkowitym nasyceniu wodą i poddaniu wielokrotnym obciążeniom wykazują $M_E \geq 40,0$ MPa. Spełnione są przez to warunki, stawiane dla ulepszonego podłoża wszystkich klas dróg oraz dla dolnej warstwy podbudowy dróg o małym obciążeniu ruchem.

Jednym z podstawowych warunków uzyskania wysokiej stabilności i nośności nasypów jest należyte zagęszczenie popiołów i mieszanin popiołowo-żuźłowych. Dobór maszyn zagęszczających oraz skalowanie skuteczności ich przy pracy przeprowadza się na próbnym poletkach. Dotychczasowe doświadczenia nad zagęszczaniem popiołów i ich mieszanin z żużłem wykazują, że do najbardziej skutecznie pracujących maszyn zaliczyć należy ciężkie i bardzo ciężkie walce ogumione statyczne oraz walce ogumione wibracyjne przy optymalnej grubości zagęszczanych warstw 30-60 cm.

Dotychczas do budowy nasypów w Warszawie zastosowano znaczne ilości mieszanin popiołowo-żuźłowych, powstałych ze spalania węgla kamiennego w piecach bezrusztowych w EC. Żerań i odprowadzanych hydraulicznie w postaci pulpy do zbiorników odstojnikowych. Mieszaniny popiołowo-żuźłowe są różnoziarniste i przy racjonalnej eksploatacji odstojników są łatwe do wbudowania, o czym świadczą wykonane wysokie nasypy z mieszanin popiołowo-żuźłowych gruboziarnistych na Trasie Toruńskiej (nasyp łączący przyczółek mostu na Wiśle z wiaduktem nad ulicą Modlińską oraz nasypy na włączeniu Trasy Toruńskiej w trasę Warszawa-Marki-Radzymin). Podobne, lecz późniejsze osiągnięcia uzyskano w ośrodkach: Gdańskim, Wrocławskim, Katowickim, Poznańskim, Radomskim i Szczecińskim.

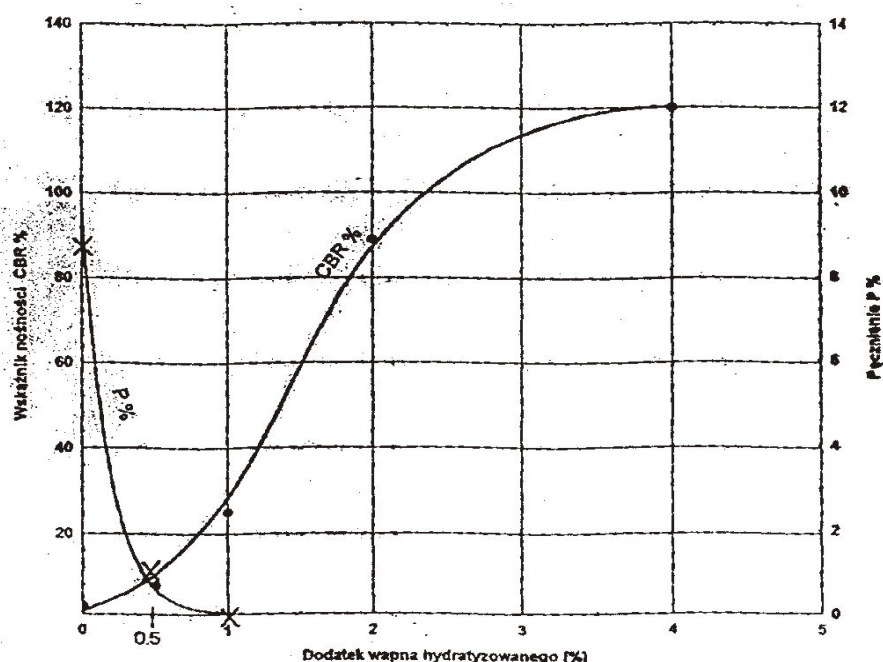
Popioły lotne wychwytywane w elektrofiltrach EC. Siekierki i transportowane na składowisko w Zawadach w stanie tylko zwilżonym, stanowią materiał drobnoziarnisty (bez domieszki żuźłowej) i znajdują zastosowanie jako dodatek do betonów i do cementu, natomiast dotychczas nie miały zastosowania do budowy nasypów drogowych. Wobec dużych ilości popiołów zdeponowanych na składowisku w Zawadach (około 4 mln ton) oraz projektowanych w pobliżu Siekierki nowych tras komunikacyjnych podjęto badania tych popiołów w aspekcie ich wykorzystania do budowy nasypów drogowych tras komunikacyjnych w Warszawie.

Należy nadmienić, że składowisko popiołów w Zawadach od około 10 lat powiększa się, mimo utylizacji części popiołów z bieżącego wypadu EC. Siekierki, w odróżnieniu od żużla elektrownianego, który jest łatwo zbywany.

Nowe podejście do utylizacji popiołów lotnych typu siekierskiego zainspirowane zostało praktyką francuską i czeską, gdzie do takich popiołów stosuje się nieznaczne dodatki (1-2 %) wapna hydratyzowanego w celu poprawienia ich cech fizyko-mechanicznych i uodpornienia na wpływy klimatyczne oraz redukcję wymywalności z popiołów ciężkich metali, jak również szkodliwych związków chemicznych.

Nowo opracowane w IBDiM normy dotyczące stosowania popiołów lotnych w robotach drogowych stanowią podstawę do wykonywania robót ziemnych i dolnych warstw podbudów z zastosowaniem tych popiołów. Jednakże normy te, w świetle przepisów Ministerstwa Ochrony Środowiska nie zwalniają od obowiązku dokonywania ocen oddziaływania popiołów na środowisko.

Wyniki badań popiołów pobranych ze składowiska w Zawadach w stanie wyjściowym wykazują, że jest to materiał wysadzinowy, gdyż wskaźnik piaskowy WP jest mniejszy od 35 i wynosi 5-26, kapilarność bierna H_{kb} jest większa od 1,0 m i wynosi > 2,0 m, pęcznienie p jest większe od 1 % i wynosi > 8 % oraz wskaźnik CBR po pełnym nasyceniu wodą jest mniejszy od 5 % i wynosi 1-3%.



Rys. 8. Wartości wskaźnika nośności i pęcznienia popiołów lotnych EC Siekierki z hałdy w Zawadach, modyfikowanych wapnem hydratyzowanym

Popioły ze składowiska w Zawadach modyfikowane 1-2 % dodatkiem wapna hydratyzowanego stanowią materiał nowej jakości, bardzo przydatny do nasypów, gdyż już po 14 dniach od zagęszczenia przy wilgotności optymalnej uzyskują bardzo wysoką nośność, wyrażoną wskaźnikiem CBR po pełnym nasyceniu wodą w granicach 27-90 przy jednoczesnej całkowitej redukcji pęcznienia w wodzie (Rys. 8). Dla popiołów niemodyfikowanych po zagęszczeniu według normalnej próby Proctora przy wilgotności zbliżonej do optymalnej zastępczy kąt tarcia wewnętrznego wynosił $\varphi=32-36^\circ$, który po nasyceniu próbki wodą obniżał się do $\varphi=20^\circ$ natomiast próbki modyfikowane 2 % dodatkiem wapna hydratyzowanego po stwardnieniu charakteryzowały się wartościami $\varphi \geq 40^\circ$. Podobne wyniki uzyskuje się przy modyfikowaniu popiołów cementem. Stwierdzenie to daje podstawę do organizowania wytwórni mieszanek popiołowo-spoiwowych w przypadku pozyskania odbiorców na tego rodzaju mieszanki.

Do właściwego sporządzania mieszanek w skali przemysłowej zaleca się stosować mieszarki stacjonarne o ciągłym działaniu i o wydajnościach odpowiednich dla robót drogowych.

Żużel pobrany ze składowiska jest materiałem niewysadzinowym, zarówno w stanie naturalnym jak i w różnych mieszaninach z piaskiem wiślanym, gdyż $WP=50-80$, $H_{kb}=25-80$ cm, $p=0,0$ i $CBR=12-19$. Materiał ten może mieć zastosowanie do górnej warstwy nasypów i do dolnych warstw podbudów – szczególnie z dodatkiem spoiwa, co umożliwia otrzymanie wartości CBR od 50 do 130.

Modyfikowane popioły lotne i wyselekcjonowane żużle powinny być traktowane jako pełnowartościowe materiały drogowe.

3.5.4. KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI DROGOWYCH [18,19]

Wzmocnienie podłoża gruntowych na gruntach o nośności G2 do G4 do nośności G1

- a) Wzmocnienie podłoża na gruncie G2
Wykonanie 10 cm warstwy popiołowo-żużlowo-piaskowo-cementowej
o $R=1,5$ MPa
- b) Wzmocnienie podłoża na gruncie G3
Wykonanie 15 cm warstwy popiołowo-żużlowo-piaskowo-cementowej
o $R=2,5$ MPa
- c) Wzmocnienie podłoża na gruncie G4
Wykonanie 25 cm warstwy popiołowo-żużlowo-piaskowo-cementowej
o $R=2,5$ MPa lub dwu warstw 15 cm: warstwa dolna o $R=1,5$ MPa i warstwa górna o $R=2,5$ MPa.

Powyższe zalecenia przedstawiono na rys. 9.

Warstwa 10 cm o wytrz. $R_m=1,5$ MPa	Warstwa 15 cm o wytrz. $R_m=2,5$ MPa	Warstwa 25 cm o wytrz. $R_m=2,5$ MPa	Rozwiązanie alternatywne 2 warstwy po 15 cm górna o wytrz. $R_m=2,5$ MPa dolna o wytrz. $R_m=1,5$ MPa
Podłoże G2	Podłoże G3	Podłoże G4	

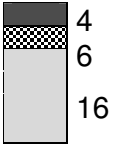
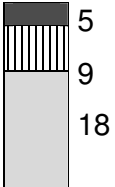
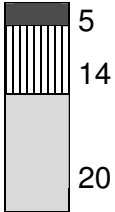
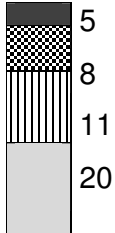
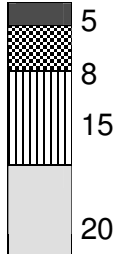
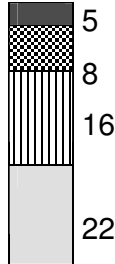
Rys. 9. Wzmocnienie podłoża G1, G2 i G4 do G1 warstwami wzmacniającymi

18 Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej Nr 43 z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne.

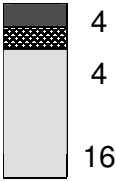
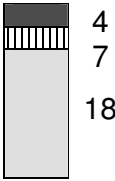
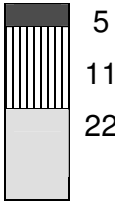
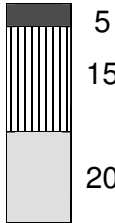
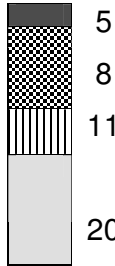
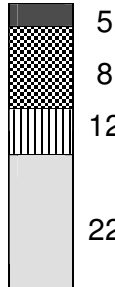
19 Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, Warszawa 1997

3.5.4.1 PRZYKŁADOWE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI NA PODŁOŻU G1 Z ZASTOSOWANIEM PODBUDÓW Z ZASTOSOWANIEM POPIOŁÓW ZWIĄZANYCH HYDRAULICZNIE PRZEDSTAWIONO

Konstrukcje nawierzchni z mieszanek związanych hydraulicznie zawierających popioły przedstawiono na rys. 10 i 11.

Kategoria ruchu					
KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
					

Rys. 10. Konstrukcje nawierzchni na podbudowach klasy wytrzymałości 2,5 ÷ 5,0 MPa

Kategoria ruchu					
KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
					

Rys. 11. Konstrukcje nawierzchni na podbudowach klasy wytrzymałości 6 ÷ 9 MPa

Legenda

	Warstwa ścieralna asfaltowa
	Warstwa wiążąca asfaltowa
	Podbudowa z betonu asfaltowego
	Popioło-żużel w kompozycjach z kruszywem i cementem

Ustalenie składu mieszanek wymaga przeprowadzenia badań laboratoryjnych i opracowania recepty roboczej.

3.6. ZAGADNIENIA EKOLOGICZNE DOTYCZĄCE KONWENCJONALNYCH UBOCZNYCH PRODUKTÓW SPALANIA [20,21]

3.6.1. PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE

W kwartalniku Prac IBDiM nr 3/1987 podano, że wg propozycji Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej ocenę aktywności materiałów w Polsce przeprowadza się na podstawie stężenia naturalnych radionuklidów. Wartość współczynnika stężenia naturalnych radionuklidów oblicza się w następujących zależnościach:

$$f = 0,01C_k + 0,1C_{ra} + 0,16C_{th}$$

gdzie:

f – współczynnik stężenia naturalnych radionuklidów pCi/g

C_k – stężenie potasu K ~ 40, pCi/g

C_{ra} – stężenie radu Ra – 226, pCi/g

C_{th} – stężenie toru Th – 232, pCi/g

Klasyfikacja radioaktywności uwzględnia następujące kryteria:

kategoria I gdy $f < 1$

materiały mogą być dopuszczone w budownictwie mieszkaniowym użyteczności publicznej;

kategoria II $1 < f < 2$

materiały mogą być przeznaczone do budownictwa przemysłowego;

kategoria III $2 < f < 6$

materiały te mogą być przeznaczone do podziemnych budowli, w których stałe przebywanie ludzi jest wykluczone (kolektory kanalizacyjne, rurociągi przemysłowe, itp.). Obiekty te powinny być przykryte warstwą gruntu lub niskoaktywnego materiału o grubości przynajmniej 0,5 m.

Na podstawie badań i dość wyczerpującej analizy tego zagadnienia stwierdzono, że popioły elektrowniane ze spalania węgla nie są odpadami radioaktywnymi, lecz substancjami o podwyższonej zawartości radionuklidów. Materiały te niewłaściwie stosowane mogą w znaczący sposób niekorzystnie modyfikować własności radiologiczne środowiska naturalnego. Przy zachowaniu określonych warunków mogą jednak być stosowane i nie stanowią wówczas zagrożenia dla środowiska i zdrowia ludności. Stanowią one pełnowartościowy surowiec dla budownictwa drogowego, przemysłowego i innych zastosowań nie związanych z bezpośrednim oddziaływaniem na organizm człowieka w długich okresach czasu.

Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej Nr 234/95 za podstawę oceny surowców i wyrobów budowlanych w aspekcie zagrożenia radiologicznego przyjmuje dwa współczynniki kwalifikacyjne f_1 i f_2 , które oblicza się wg następujących wzorów:

$$f_1 = 0,00027 S_k + 0,0027 S_{ra} + 0,0043 S_{th}$$
$$f_2 = S_{ra}$$

gdzie:

20 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie Katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112 poz.1206).

21 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełniać przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. Nr 112 poz.1799).

f_1 – współczynnik kwalifikacyjny (wielkość bezwymiarowa), związany z ograniczeniem w wyrobach stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych,

f_2 – współczynnik kwalifikacji związany z ograniczeniem w wyrobach stężenia izotopu radu ^{226}Ra ,

S_k – stężenie potasu ^{40}K w Bq/kg,

S_{ra} – stężenie radu ^{226}Ra w Bq/kg,

S_{th} – stężenie toru ^{228}Th w Bq/kg.

Jako graniczne wartości obu wymienionych współczynników kwalifikacyjnych przyjęto $f_1 = 1$; $f_2 = 185 \text{ Bq/kg}$.

W przypadku surowców mineralnych, a także innych składników produkcyjnych, jeżeli wartość, chociaż jednego współczynnika kwalifikacyjnego jest wyższa od granicznej, partia surowca nie powinna być dopuszczona do produkcji materiałów budowlanych, stosowanych do budynków z pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi lub dla inwentarza żywego. W takich przypadkach można rozważać możliwość wykorzystania takich surowców do innych celów, na przykład budownictwa drogowego, budowy i zamykania składowisk odpadów itp.

Według dotychczasowych badań bardzo rzadko zdarzało się, aby w przypadku popiołów przekroczone były wartości współczynników kwalifikacyjnych f (CLOR) czy f_1 i f_2 (ITB).

Wykonywane badania radioaktywności popiołów siekierskich przez Laboratorium Ekobet-Siekierki potwierdzają powyższe stwierdzenia.

Przykładowo według Raportu Nr 167/97 Laboratorium Ekobetu wynik badania według Instrukcji ITB Nr 234/95 próbki popiołu pobranej we wrześniu 1997 r. ze składowiska Zawady II był następujący:

$$f_{1 \max} = f_1 + \Delta f_1 = 0,97 < 1,0$$

$$f_{2 \max} = f_2 + \Delta f_2 = 144,43 \text{ Bq/kg} < 185 \text{ Bq/kg}$$

Według informacji Zakładu Usług Technicznych i Recyklingu S.A. w Radomiu z 1997 r. popioły ze spalania węgla kamiennego w Elektrowni Kozienice również spełniają wyżej podane kryteria stężenia pierwiastków naturalnie promieniotwórczych w zakresie $f_{1 \max}$ i $f_{2 \max}$. Szczegółowe wyniki pomiarów promieniotwórczości naturalnej popiołu lotnego oraz mieszaniny popiołowo-żużlowej z Elektrowni Dolna Odra przedstawiono w tablicy 10.

W świetle powyższych danych w pełni uzasadnione jest Postanowienie Nr 50/96 Państwowego Inspektoratu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej – PIBJOR z dnia 25.07.1996 r. o dopuszczeniu do budowy dróg popiołów elektrownianych bez kontroli radiometrycznej, tym bardziej jeżeli są one wiązane w sposób trwały materiałem wiążącym oraz pod warunkiem, że w nasypach drogowych i kolejowych z popiołów są one nakrywane warstwą gleby zabezpieczającą przed pyleniem. W świetle tego postanowienia pylenie popiołów winno być likwidowane zarówno na etapie eksploatacji obiektu (nasypu), jak i w czasie poboru (załadunku), transportu, rozładunku i wbudowywania popiołów.

Tablica 10. Wyniki pomiarów promieniotwórczości naturalnej popiołu lotnego oraz mieszaniny popiołowo-żużlowej z elektrowni Dolna Odra [UPS.04.98]

Szeregi promieniotwórcze	Popiół lotny ¹⁾		Popioło-żużel ¹⁾		Popiół lotny ²⁾	Wartości dopuszczalne	
	zakres	średnia	zakres	średnia		składowanie ³⁾	budownictwo ⁴⁾
Szereg potasowy K-40 (Bq/kg)	787-1045	854	746-987	863	604		
Szereg radowy Ra-226 (Bq/kg)	102-149	124	100-134	112	116	350	
Szereg radowy Ra-228 (Bq/kg)					104	230	
Szereg radowy Ra-224 (Bq/kg)					104		
Szereg torowy Th-228 (Bq/kg)	60-112	96	80-102	86			
Sumaryczne stężenie f_1	0,82-1,11	0,99	0,83-1,00	0,91			1
Emanacja lotnego radonu f_2 (Bq/kg)	102-149	124	100-134	112			185
¹⁾ Politechnika Szczecińska 1992-1997 (ok. 60 prób popioło-żużli) ²⁾ Główny Instytut Górnictwa 1994 ³⁾ Wartości dopuszczalne w odpadach składowanych na powierzchni ziemi oraz wykorzystywanych do robót inżynierskich wg zaleceń Głównego Instytutu Górnictwa ⁴⁾ Wartości dopuszczalne w materiałach wykorzystywanych w budownictwie mieszkaniowym wg Instrukcji nr 234 Instytutu Techniki Budowlanej							

Wg ostatnio znolizowanych przepisów zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. Dz. U. Nr 220 poz 1850 [22] wskaźniki aktywności f_1 i f_2 obliczone wg wzorów:

$$f_1 = \frac{S_K}{3000 \text{ Bq/kg}} + \frac{S_{Ra}}{300 \text{ Bq/kg}} + \frac{S_{Th}}{200 \text{ Bq/kg}}$$

$$f_2 = S_{Ra}$$

nie mogą przekraczać o więcej niż 20 % wartości:

1. $f_1 = 1$ i $f_2 = 200$ Bq/kg w odniesieniu do surowców i materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego;
2. $f_1 = 2$ i $f_2 = 400$ Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w obiektach budowlanych naziemnych wznoszonych na terenach zabudowanych lub przeznaczonych do zabudowy w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego oraz do niwelacji takich terenów;
3. $f_1 = 3,5$ i $f_2 = 1000$ Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach naziemnych obiektów budowlanych nie wymienionych w pkt 2 oraz do niwelacji terenów nie wymienionych w pkt 2;
4. $f_1 = 7$ i $f_2 = 2000$ Bq/kg w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach podziemnych obiektów budowlanych, o których mowa w pkt 3, oraz w

22 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów. Dz. U. Nr 220 poz 1850

budowlach podziemnych, w tym w tunelach kolejowych i drogowych, z wyłączeniem odpadów przemysłowych wykorzystywanych w podziemnych wyrobiskach górniczych.

3.6.2. WYMYWALNOŚĆ Z POPIOŁÓW SZKODLIWYCH DLA ŚRODOWISKA ZWIĄZKÓW CHEMICZNYCH ORAZ METALI CIĘŻKICH [2]

Ogólna wymywalność z popiołów związków chemicznych oraz metali ciężkich zależy jest od wyjściowego składu chemicznego popiołów oraz sposobu przeprowadzania wymywalności.

Przeciętny skład chemiczny popiołów z węgla kamiennego charakteryzuje się następująco: SiO_2 , 52-54 %; Al_2O_3 21-26 %; Fe_2O_3 11-13 %; CaO 2-6 %; MgO 1,5 %; SO_3 0,5-3%; (K_2O + Na_2O) 1,8-2,0% oraz zawartość metali ciężkich, takich jak np. miedź (Cu) 95-150 mg/kg; arsen (As) 35-100 mg/kg; mangan (Mn) 646,00 mg/kg; cynk (Zn) 247-550 mg/kg; ołów (Pb) 56-150 mg/kg; chrom (Cr) 116-160 mg/kg; nikiel (Ni) 74-95 mg/kg; bor (B) 41 mg/kg; magnez (Mg) 10 mg/kg; fluorki (F) 4 mg/kg.

W rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska [20] wszystkie odpady sklasyfikowane zostały w 20 grupach, przy czym popioły lotne znalazły się w grupie 10, która to grupa została wyłączona z listy odpadów niebezpiecznych. W innym rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska [21] określone zostały trzy klasy czystości wód w zależności od ich zanieczyszczeń związkami chemicznymi i metalami ciężkimi. W tym rozporządzeniu określone zostały również dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach wprowadzanych do wód i do ziemi.

Wskaźniki powyższe porównywane są z wynikami badań wyciągów wodnych z popiołów.

Dotychczas stosowane są różne metodyki otrzymywania wyciągów wodnych (eluantów) z popiołów w skali laboratoryjnej. Na uwagę zasługują: PN-93/G-11010. Górnictwo. Materiały na podszadki hydraulicznej. Wymagania i badania. – Norma ta podaje sposób wykonywania wyciągów wodnych oraz określenia zawartych w nich związków chemicznych i metali ciężkich oraz norma niemiecka DIN 38414 Teil 4, October 1984 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-untersuchung. Schlamm und Sedimente (Gruppe S). Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser.

Bardzo istotny jest tu sposób przygotowania próbek do wyciągów wodnych zwłaszcza popiołów stabilizowanych. Za błędne uważa się rozkruszanie popiołów stabilizowanych do postaci pierwotnej tj. do pyłu.

W pracach dla celów budownictwa wodnego i drogowego popioły wypłukiwano według metody zbliżonej do DIN 38414, lecz wprowadzono tzw. statyczny sposób wypłukiwania i dynamiczny sposób filtrowania, uzyskując różne wyniki.

W innych pracach preferowany był sposób zbliżony do DIN 38414.

Badania na wymywalność związków chemicznych i metali ciężkich z próbek popiołów siekierskich w stanie naturalnym i modyfikowanym 2% dodatkiem wapna hydratyzowanego wykonane zostały w Instytucie Systemów Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.

Bardzo korzystna ocena popiołów lotnych z E.C. Siekierki zarówno niemodyfikowanych jak i modyfikowanych 2% dodatkiem wapna hydratyzowanego dotyczy oceny wyciągów wodnych w odniesieniu do ścieków dopuszczonych do wprowadzenia do gruntu lub do wód powierzchniowych. W niektórych przypadkach (tereny chronione) może być stawiane kryterium odnoszące się do wody pitnej i wówczas należałoby wykonać dodatkowe badania i ocenę uzupełniającą lub zastosować specjalne rozwiązania techniczne.

W dotychczasowych badaniach stwierdzono jedynie przekroczenie wartości dopuszczalnych dla pH, ale nie sprawdzono zmiany wartości pH po dłuższych od 1 miesiąca okresach przechowywania popiołów modyfikowanych.

Uznano za celowe wykonanie uzupełniających badań wyciągów wodnych z popiołów modyfikowanych 1% dodatkiem wapna hydratyzowanego dla próbek przechowywanych w stanie wilgotności zbliżonej do optymalnej, ale po dłuższych okresach ich przechowywania z dostępem powietrza w temp. +20°C, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zmianę pH.

Wydaje się, że wymagania przepisów krajowych są wygórowane, szczególnie w zakresie pH i powinny być poddane rewizji.

Dotychczasowe wyniki badań na wymywalność uzyskane dla popiołów siekierkowskich wg dyrektywy EWG są pozytywne, ale dla spełnienia wymogów krajowych powinny być jeszcze sprawdzone dla różnych modyfikacji (kompozytów) w porównaniu do popiołów naturalnych (niemodyfikowanych) z uwzględnieniem kryteriów dotyczących wody pitnej w przypadku terenów chronionych (np. w pobliżu ujęć wody pitnej lub stawów rybnych).

Zwraca się uwagę na celowość badania odcieków z popiołów wbudowanych na przykład w nasyp. Wyniki tych badań mogą być różne w zależności od dostępu do popiołów wody, a więc w zależności od zabezpieczeń izolujących popioły, jak również od składu chemicznego popiołów.

Tablica 11. Wymywalność mikroelementów z popiołów grupy I, ulepszonych 3 % dodatkiem wapna hydratyzowanego

Mikroelement	Maksymalna dopuszczalna zawartość dla popiołów mg/l	Pomierzone zawartości dla popiołów + 3 % wapna
Ag	0,1	0,1
As	0,1	0,005
Ba	1,00	0,5
Be	0,005	0,001
Pb	0,1	0,05
Cr	0,1	0,03
Co	0,1	0,03
Cu	1,00	0,03
Ni	0,1	0,03
Hg	0,005	0,001
Se	0,05	0,01
V	0,2	0,02
Zn	3,00	0,08
Sn	1,00	0,02

Według pracy [2] dla warunków czeskich w tablicy 11 przedstawiono maksymalne dopuszczalne zawartości metali ciężkich w eluantach uzyskanych wg DIN 38414 dla popiołów z węgla kamiennego i otrzymanie z pomiarów zawartości mikroelementów z popiołów ulepszonych 3% dodatkiem wapna po 14-dniowym ich twardnieniu. Z tablicy 11 wynika, że dodatek wodorotlenku wapnia wiążąc cząstki popiołu utrudnia wypłukiwanie mikroelementów.

Ponadto sądzić można, że dodatek wapna zwiększając pH środowiska ma hamujący wpływ na uwalnianie się z popiołów metali ciężkich.

W przypadku budownictwa drogowego, gdzie względnie rzadko ma się do czynienia z dużym nawodnieniem podłoża i sporadycznie z nawodnieniem wywołującym filtrację przez warstwy podbudowy, niebezpieczeństwo zanieczyszczenia środowiska odciekami z utylizowanych popiołów może być marginalnie, szczególnie w przypadku modyfikacji popiołów wapnem lub cementem.

Przykładowe wyniki badań popiołów i popioło-żużli bez ich modyfikacji w odniesieniu do wymagań ochrony środowiska przytoczone zostały w Biuletynie UPS w kwietniu 1998 r. w tablicach 12 i 13 oraz wcześniej w opinii naukowej z 1995 r. według tablicy 14.

Należy zauważyć, że wyniki badań przedstawione w tablicach 12,13,14 dają informację o możliwościach przedostania się poszczególnych pierwiastków lub związków do wód gruntowych. Warunki wymywania stworzone w laboratorium są jednak znacznie bardziej sprzyjające wypłukiwaniu niż w środowisku.

Z porównania wyników analiz składu ekstraktów wodnych, przedstawionych w tablicach 12 i 13 oraz 14 z dopuszczalnymi wartościami wskaźników zanieczyszczeń według dyrektywy EWG wynika, że wszystkie uzyskane parametry mieszczą się w granicach dopuszczalnych, łącznie z pH (4-13) i SO₄ (1000 mg/l) dla odpadów (popiołów) obojętnych dla środowiska, ale wartości te nie spełniają wymagań krajowych, które dla wody pitnej wynoszą pH = 6,5÷8,5 i

dla ścieków wprowadzanych do ziemi pH = 6,5÷9,0. Podobnie dopuszczalna zawartość w eluatach (ściekach) wprowadzanych do ziemi SO₄ = 500 mg/l i dla wody pitnej SO₄ = 150 mg/l.

Według dotychczasowych wymogów krajowych w ściekach wprowadzanych do wód i do ziemi poza pH i częściowo SO₄ większość parametrów znajduje się w zakresie I klasy czystości wód; z pozostałych parametrów tylko nieliczne przekraczają dopuszczalną wartość zanieczyszczeń.

W niewielkim stopniu ulegają rozpuszczeniu lub są praktycznie nierozpuszczalne: krzemionka, tlenki glinu i żelaza.

Również niewymywalne lub wymywalne w bardzo nieznacznym stopniu są jony: kadmu, kobaltu, niklu, ołowiu i cynku [UPS.04.98].

Należy zaznaczyć, że w miarę pozyskiwania nowych obligatoryjnych kryteriów krajowych i Unii Europejskiej, dane zawarte w tablicy 14 będą poddawane weryfikacji

Tablica 12. Wyniki całkowitych analiz popiołów lotnych z El. Dolna Odra oraz mieszaniny popiołowo-żużlowej ze składowisk El. Dolna Odra i Pomorzany [UPS.04.98]

Składniki	Popiół lotny – El. Dolna Odra		Popioło-żużle – El. Dolna Odra		Popioło-żużle – El. Pomorzany		Powierzchniowe poziomy gleb 7
	1	2	3	4	5	6	
	% wagowe						
SiO ₂	45,37-53,63	50,07	52,64-53,30	54,7	55,12-55,49	55,8-57,7	
Al ₂ O ₃	21,20-28,80	27,33	26,32-26,38	26,1	24,60-26,76	22,6-23,6	
Fe ₂ O ₃	5,60-18,78	7,71	6,98-7,58	6,7	5,17-7,45	5,7-6,8	
CaO	2,02-3,83	3,86	0,96-1,69	3,0	0,73-0,92	3,2-3,5	
CaO wolny			0,08-0,19	0,089	0,04-0,08	0,054-0,200	
MgO	1,76-2,76	3,92	1,08-1,57	3,3	0,94-1,25	3,3-3,9	
SO ₃	0,28-1,51	0,58	0,17-0,27	0,26	0,07-0,25	0,27-0,52	
CO ₂			4,30-5,06		4,31-4,97		
Cl	0,0040-0,0590		0,0007-0,0018	0,027	0,0007-0,007	0,011-0,036	
K ₂ O	2,54-3,37	3,10	2,64-2,99	3,2	2,23-2,56	3,1-3,3	
Na ₂ O	0,42-1,10	1,09	0,92-1,04	1,3	0,94-1,11	1,2-1,8	
NH ₃			0,0013-0,0058	0,012	0,0025-0,0101	0,011-0,016	
C	0,52-3,80		1,40-1,50		1,37-2,56		
Cr	0,089-0,0300	0,0145	0,0008-0,0011	0,0013	0,0009-0,0013	0,0024-0,0048	0,0015-0,0050
Ni	0,0071-0,1200	0,0132	0,0166-0,0231	0,0098	0,0156-0,0157	0,0028-0,0045	0,0008-0,0018
Pb	0,0035-0,0150	0,0079	0,0069-0,0094	0,0170	0,0079-0,0092	0,0064-0,0100	0,0020-0,0025
Cu	0,0093-0,0170	0,0208	0,0097-0,0242		0,0094		0,0005-0,0015
Cd.	<0,0002	<0,0004	0,0004-0,0008	0,0015	0,0003-0,0005	0,0006-0,0007	0,000005-0,00003
Zn	0,016-0,240	0,02	0,0217-0,0220	0,0160	0,0171-0,0202	0,0048-0,0110	0,0037-0,0070
Straty prażenia			1,85-2,92	3,3	2,79-3,25	4,29-5,15	
Gęstość (g/cm ³)			2,43-2,44		2,26-2,36		

1- Energopomiar 1981, 2- Główny Instytut Górnictwa ZMŚ 1994, 3- Politechnika Szczecińska 1991, 4- Centrum Stosowanej Chemii Nieorganicznej PAN 1994, 5- Politechnika Szczecińska 1991, 6- Centrum Stosowanej Chemii Nieorganicznej PAN 1993, 7- Pierwiastki śladowe w powierzchniowych poziomach gleb Polski – średnie zawartości dla gleb piaszczystych, pyłowych i gliniastych oraz organicznych wg Kabaty – Pendias, A., Pendias, H., 1993 r.

Tablica 13. Wyniki analiz wyciągów wodnych z popiołu lotnego, z mieszaniny popiołowo-żużlowej oraz żużla z El. Dolna Odra [UPS.04.98]

Składniki	Popiół lotny			Popiolo- żużel kwatera nr 3a/4 (3 próby)	Żużel	Wartości wskaźników zanieczyszczeń wód powierzchniowych (klasy czystości) 6			Dopuszczalne wartości w ściekach
	Mg/l								
	1	2	3	4	5	I	II	III	7
pH	10,7	11,2	11,8	9,4-9,9	10,1	6,5-8,5	6,5-9,0	6,0-9,0	6,5-9,0
prz.wł. (μS/cm)			3100	271-720		<800	<900	<1200	
tw. Og. (CaCO ₃)	558	400	43,7	4,8-8,1	144	<350	<550	<700	3500
Cl(-)	7	5	4	2,3-46,3	10	<250	<300	<400	1000
SO ₄ (-2)	306	310	357	33,9-112,8	46	<150	<200	<250	500
Cr(+6)	0,03	0,2	0,038	0,003-0,013	0,01	<0,05			0,2
Nh ₄ (+)	n.w.	0,21	0,214	0,018-0,156	n.w.	<1,0	<3,0	<6,0	6,0
NO ₃ (-)	n.w.	0,2	0,084	0,0021-0,61	n.w.	<5,0	<7,0	<15,0	30,0
F(-)		2,5	0,8	0,4-2,6		<0,1	<0,25	<0,4	5,0
Fe	0,2	0,23	0,049	0,037-0,138	0,44	<1,0	<1,5	<2,0	10,0
Mn	0,01	0,05	0,001	0,001-0,003	0,03	<0,1	<0,3	<0,8	
Ni		0,026	<0,002	<0,002		<1,0			2,0
Pb	0,018	0,025	<0,1	<0,1	0,01	<0,05			0,5
Cu	0,022	0,01	<0,001	<0,01	0,028	<0,05			0,5
Cr(+3)	0,02	0,02	0,0263		0,01	<0,05	<0,1		0,5
Cr				0,017-0,110					
Cd	0,01	0,01	<0,005	<0,005	0,01	<0,05	<0,03	<0,1	0,1
As			<0,04	<0,04		<0,05		<0,2	0,2
B			1,4	0,84-1,2		<1,0			1,0
Hg			<0,02	<0,02		<0,001	<0,05	<0,01	0,02
Se			0,051	0,023-0,036		<0,01			
Ag			<0,002	<0,002		<0,01			0,2
V			0,075	0,036-0,108		<1,0			2,0
P.			0,105	0,005-0,130		<0,1	<0,25	<0,4	5,0
Na(+)	42,8	27,2	30	1,5-36	4,1	<100	<120	<150	800,0
K(+)	10	13,4	7	1-7,5	1,0	<10	<12	<15	80,0

1- Energopomiar 1992, 2- Energopomiar 1994, 3- Instytut Ekologii PAN 1995, 4- Instytut Ekologii PAN 1995, 5- Energopomiar 1992, 6- Wartości wskaźników zanieczyszczeń śródlądowych wód powierzchniowych wg załącznika nr 1 do rozporządzenia MOŚZNiL z dnia 5.11.1991 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz.U. Nr 116, poz. 503), 7- Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach wprowadzanych do wód i do ziemi wg załącznika nr 2 do rozporządzenia j.w.

Tablica 14. Wyniki analiz wyciągów wodnych z próbki popiołu z El. Poznań, pobranej w dniu 26.09.1995 r. z polygonu w Biedrusku

Badany parametr	Według metodyki polskiej			Według dyrektyw EWG	
	oznaczono	stężenie dopuszczalne w ściekach wprowadz. do ziemi	stężenie dopuszcz. w wodach pow. I kl. czystości	oznaczono	stężenie dopuszczalne w odpadach obojętnych dla środowiska
Odczyn, pH	9,73	6,5-9,0	6,5-8,5	9,93	4-13
Arsen, mg/l As	n.w.(<0,02)	0,2	0,05	n.w.(<0,01)	pon. 0,1
Chrom (III) mg/l	n.w.(<0,01)	0,5	0,05	n.w.(<0,01)	-
Chrom (VI) mg/l	n.w. (<0,01)	0,2	0,05	n.w. (<0,05)	0,1
Cynk, mg Zn/l	0,018	2,0	0,2	0,021	2,0
Kadm, mg Cd./l	0,002	0,1	0,005	0,003	0,1
Kobalt, mg Co/l	0,001	-	-	0,001	-
Miedź, mg Cu/l	0,005	0,5	0,05	0,006	2,0
Nikiel, mg Ni/l	0,002	2,0	1,0	0,002	0,4
Ołów, mg Pb/l	0,019	0,5	0,05	0,023	0,4
Rtęć, mg Hg/l	n.w. (<0,001)	0,02	0,001	n.w. (<0,0001)	0,02
Fluorki, mg F/l	0,60	15,0	1,5	0,74	pon. 5,0
Og. węgiel org. mg C/l	1,1	40,0	-	1,1	pon. 200
Siarczany, mg SO ₄ /l	25	500,0	150	27	pon. 1000
Siarczki, mg S/l	n.w. (<0,04)	0,2	n.w.	n.w. (<0,04)	-
Zawiesina og., mg/l	n.w. (<10)	50,0	20,0	n.w. (<10)	-
Benzo(a) piren, µg/l	n.w. (<0,004)	2,0	0,2	n.w. (<0,004)	-

suma
pon.
5,0

3.6.3 KLASYFIKACJA ODPADU

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r. [20] w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. nr 112, poz. 1206) wprowadza katalog odpadów, który określa:

- grupy odpadów w zależności od źródła ich powstawania,
- podgrupy i rodzaje odpadów oraz ich kody,
- listę odpadów niebezpiecznych,
- sposób klasyfikowania odpadów.

Zgodnie z ww. Rozporządzeniem mieszaninę popioły i żużle ze spalania węgla w kotłach konwencjonalnych zaliczyć należy do:

grupy o kodzie identyfikacyjnym **10** Odpady z procesów termicznych,

podgrupy **10 01** Odpady z elektrowni i innych zakładów energetycznego spalania paliw (z wyłączeniem grupy 19),

rodzaju **10 01 80** Mieszanki popiołowo-żużłowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych, lub

rodzaju **10 01 02** Popioły lotne z węgla, lub

rodzaju **10 01 01** Żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów (z wyłączeniem pyłów z kotłów wymienionych w 10 01 04)

4. POPIOŁY I PRODUKTY Z FLUIDALNEGO SPALANIA WĘGLA ORAZ Z ODSIARCZANIA SPALIN

4.1. WPROWADZENIE

Wdrożenie Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów naturalnych i Leśnictwa z 1998 r. wpłynęło na pojawienie się ubocznych produktów spalania z oczyszczania gazów spalinowych z jednoczesnym zwiększeniem ilości wychwytywanych popiołów lotnych. Instalacje oczyszczania spalin (odsiarczania) zwiększają o około 20-30 % ilość ubocznych produktów spalania, uzyskiwanych metodami tradycyjnymi.

Regulacje prawne obowiązujące już od 1998 r. wymuszają oczyszczanie spalin w zakładach energetycznych, limitując poziomy emisji gazów szkodliwych w postaci tlenków siarki – SO_2 , tlenków azotu – NO_x i tlenku węgla CaO .

Z zakresu tych działań polska firma RAFAKO S.A. od ponad 10 lat rozwija następujące kierunki: kotły fluidalne, instalacje odsiarczania spalin, paleniska niskoemisyjne i modernizacje obiektów energetycznych.

O ilości ubocznych produktów powstających w kotłach fluidalnych decydują elektrociepłownie w Czechowicach-Dziedzicach (około 80 tys. ton/rok) i w Katowicach (120 tys. ton/rok), wymiana kotłów na 6 blokach w Elektrowni Turów, na 2 blokach w Elektrowni Siersza oraz 2 kotłów w Elektrociepłowni Żerań i przygotowywana wymiana kotłów w Elektrowni Pątnów.

Na ilość ubocznych produktów spalania, powstających z suchych i półsuchych instalacji odsiarczania spalin, decydujący wpływ mają elektrownie Turów i Rybnik. Po roku 2005 planuje się sukcesywne wycofywanie bloków energetycznych wyposażonych w instalacje suche.

Produkcja gipsu z instalacji odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną jest lub będzie efektem pracy instalacji w elektrowniach: Konin-Gosławice, Bełchatów, Opole, Jaworzno III, Łaziska, Połaniec, Kozienice i Dolna Odra.

Nowe uboczne produkty spalania, powstające przy oczyszczaniu spalin różnymi metodami (piece fluidalne, odsiarczanie metodą mokrą, półsuchą i suchą) wymagają głębszego przebadania i opracowania na podstawie badań laboratoryjnych i doświadczeń terenowych odpowiednich technologii, zasługujących na wdrażanie do praktyki inżynierskiej w pełnej skali. Jest to zadanie na najbliższe lata.

Jako przykłady badań i wdrożeń ubocznych produktów nowych odmian odsiarczania spalin służyć może działalność firm WARTUR i ELTUR-WAPORE – Turów w zakresie popiołów ze spalania fluidalnego oraz firmy PPH UTEX-Rybnik w zakresie popiołów i żużli pozyskiwanych z odsiarczania metodą półsuchą.

4.2. POPIOŁY I PRODUKTY Z FLUIDALNEGO SPALANIA WĘGLA [23,24,25,26]

Popiół fluidalny – jest produktem powstającym podczas spalania węgla kamiennego lub brunatnego w kotłach energetycznych z cyrkulacyjną warstwą fluidalną. Rozdrobniony węgiel wraz z dodatkiem sorbentu wdmuchiwany jest do paleniska kotła i spalany w temperaturze 780 – 900°C. Obniżenie temperatury wpływa na ograniczenie emisji tlenków azotu oraz utleniania się cząstek sodu i wanadu. Wprowadzony do złoża dodatek sorbentu,

23 Pachowski J., Wileński P. Badania przydatności kruszywa ze złoża kotła fluidalnego spalania węgla kamiennego w EC Żerań dla celów drogowych. IBDiM, Kielce 2000.

24 Glinicki M., Ładyżyński K. Aktywowany popiół lotny z kotłów o spalaniu fluidalnym – nowy dodatek do betonów. Warszawa 2002.

25 Ziarkowska K. Raport o powstawaniu popiołów z fluidalnego spalania węgla oraz o produktach wytwarzanych na bazie tych popiołów (maszynopis), WARTUR 2003.

26 Kabała J., Brzozowski B., Listkiewicz J. Zastosowanie spoiwa STABILIZER wytworzonego na bazie produktów spalania węgla i odsiarczania spalin z kotłów fluidalnych EL. Turów S.A. do stabilizacji gruntów i budowy nasypów w budownictwie drogowym. ELTUR-WAPORE Sp. z o.o., Bogatynia 2003/

w postaci odpowiednio zmielonego kamienia wapiennego, dolomitu lub wapna, wiąże związki siarki, a skuteczność odsiarczania może osiągnąć nawet 97 %. Stosunkowo niska temperatura spalania wpływa na stabilność wiązania gipsu, który odprowadza się z popiołem do urządzeń odpylających (w wyższych temperaturach, np. jak w metodzie suchej, następuje wtórny rozkład CaSO_4). Spalanie fluidalne pozwala na zmniejszenie emisji SO_2 do atmosfery: przy stosunku molowym Ca/S równym 1,5 o 80 %, a przy 2,5 nawet do 97 %. Emisja tlenków azotu ogranicza się o 50 - 80%.

Stałymi produktami spalania paliw w kotłach fluidalnych są uboczne produkty spalania, wychwytywane w postaci popiołu lotnego – w elektrofiltrach i popiołu dennego, zwanego też żużlem – odprowadzanego ze złoża. Z dolnej części kotła w niewielkich ilościach odprowadzany jest żużel gruboziarnisty. Inne warunki spalania oraz dodatek sorbentu wpływają na odmienny charakter produktów spalania fluidalnego, w porównaniu do odpadów z palenisk konwencjonalnych. W skład produktów spalania fluidalnego wchodzi:

- niepalne minerały pozostałe po spaleniu węgla,
- produkty odsiarczania spalin - bezwodny siarczan wapniowy i ślady siarczynu wapnia,
- wolny, nieprzereagowany tlenek wapnia,
- nadmiar sorbentu,
- niespalony węgiel w postaci koksiku,
- substancje mineralne, stanowiące domieszkę sorbentu.

Własności ich zależą od jakości węgla, warunków spalania, rodzaju, własności i ilości dodanego sorbentu oraz sposobu odprowadzenia odpadów.

Cechy wyróżniające produkty spalania fluidalnego, w porównaniu do popiołów i żużli z palenisk tradycyjnych, to:

- podwyższona zawartość związków wapnia, oznaczonych jako CaO, wynosząca dla popiołów ze spalania węgla kamiennego od kilkunastu do ponad 20% CaO, w tym wolny tlenek wapnia stanowi kilka procent,
- podwyższona ilość związków siarki w postaci: siarczanów, stanowiących kilka procent masy składu, czasami w postaci niewielkiej ilości siarczynów,
- podwyższona wartość zmiany masy przy prażeniu, wynosząca od kilku do kilkunastu procent, wywołana obecnością węgla elementarnego i nadmiaru sorbentu,
- odpowiednio niższa zawartość pozostałych składników charakterystycznych dla składu chemicznego popiołów i żużli ze spalania węgla,
- niższe stężenie pierwiastków naturalnie promieniotwórczych,
- odmienna budowa krystalograficzna – brak spieków i faz szklistych,
- niższa gęstość nasypowa i rozbudowana powierzchnia właściwa popiołu lotnego.

Wyniki badań własności fizyko – chemicznych produktów spalania fluidalnego wskazują na ich następujące cechy charakterystyczne:

- zawartość związków wapnia jako CaO mieszcząca się w zakresie od 5,61 do 28,91 % mas., w tym zawartość aktywnego CaO od 0,0 do 16,76%,
- zawartość związków siarki:
- w postaci siarczanów od 2,12 do 11,81%,
- w postaci siarczynów od 0,0 do 0,8%,
- w postaci siarczków od 0,00 do 0,5%,
- straty prażenia w temp. 900°C wynoszące od 0,79 do 27,53%, w tym zawartość części palnych od 0,50 do 22,93%.

Badania wymywalności produktów spalania fluidalnego wskazują na:

- wysoką rozpuszczalność do ok. 5% mas.

- mineralizację ekstraktów wodnych spowodowaną głównie obecnością siarczanów oznaczanych w ilości kilku tysięcy mg/dm³, wodorotlenków i chlorków, jako związków wapnia, oznaczanego w ilościach kilkudziesięciu części mg/dm³,
- silną alkalizację ekstraktów – pH ok. 12 – 13,
- obecność siarczynów i siarczków na poziomie kilku - kilkudziesięciu mg/dm³,
- niską zawartość pierwiastków śladowych.

Z uwagi na wysoką alkalizację, rozpuszczalność i mineralizację ekstraktów wodnych decyzje o lokowaniu produktów spalania fluidalnego w środowisku powinny być podejmowane przy uwzględnieniu stężeń zanieczyszczeń, charakterystycznych dla tych odpadów i lokalnych warunków hydrogeologicznych.

W świetle dotychczasowych badań stwierdzić należy, że stosowanie surowych popiołów fluidalnych powinno być poparte każdorazowo badaniami pozwalającymi na zatwierdzenie danego zastosowania.

Skład chemiczny popiołów i żużli ze spalania fluidalnego przedstawiono w tablicy 15.

Tablica 15. Skład chemiczny popiołów i żużli ze spalania fluidalnego

Składnik	Zawartość, % m/m							
	Spalanie w kotle doświadczalnym				Spalanie w kotłach energetycznych			
	Węgiel kamienny		Węgiel brunatny		Węgiel kamienny		Węgiel brunatny	
	popiół	żużel	popiół	żużel	popiół	żużel	popiół	żużel
SiO ₂	30,71 – 55,35	55,54 – 59,86	29,89	51,00	33,20 – 42,50	31,00 – 46,00	39,00 – 40,30	47,50 – 52,00
Al ₂ O ₃	12,32 – 18,00	17,90 – 28,78	15,83	18,29	17,85 – 21,69	7,92 – 16,19	27,10 – 28,3	22,10 – 23,60
Fe ₂ O ₃	6,30 – 8,92	3,88 – 7,78	7,46	5,44	7,97 – 9,75	3,37 – 3,73	3,70 – 4,00	6,20 – 8,50
CaO	4,67 – 23,35	0,02 – 15,90	23,35	15,90	5,60 – 28,90	4,20 – 48,20	9,94-43,30	6,30 – 33,80
MgO	1,47 – 3,32	0,80 – 1,26	nb	nb	1,30 – 2,70	1,00 – 3,10	1,10 – 2,90	0,70-2,30
Siarka całkowita jako SO ₃	1,08 – 5,95	0,31 – 2,85	1,08	0,25	2,10 – 11,80	0,30 – 27,70	1,70-7,30	1,10-9,10
Siarka siarczynowa jako SO ₂	nb	nb	nb	nb	0,00 – 0,80	0,15 – 1,24	0,00 – 0,05	0,18 – 0,25
Siarka siarczkowa jako S	nb	nb	nb	nb	0,000 – 0,500	0,030 – 1,120	0,000 – 0,100	0,036 – 0,086
Zmiany masy przy prażeniu w temp. 900°C	7,04 – 18,83	1,31 – 6,05	15,03	6,05	0,79 – 25,73	1,16 – 2,96	1,79 – 2,90	0,32 – 0,88
Węglany	15,33	nb	nb	nb	0,30 – 17,00	0,35 – 3,80	0,60-16,80	0,20- 2,00
Części palne	0,19	nb	nb	nb	0,50 – 22,93	0,40 – 1,90	0,20-2,30	0,10 – 1,60
Wolne CaO + MgO	2,80 – 6,72	1,12 – 2,13	1,11	7,77	0,80 – 16,80	1,00 – 24,10	3,40 – 25,10	3,40-22,10

nb- nie badano

Istnieją dwa kierunki wykorzystania popiołów fluidalnych: jako spoiwo i jako kruszywo (po wstępnym przetworzeniu).

a) Granulat STARGRAN

Firma Energopomiar z Gliwic, w latach 95 – 96 opracowała sposób przetwarzania popiołu z kotłów fluidalnych na kruszywo granulowane dla potrzeb elektrociepłowni Zakładów Farmaceutycznych „POLPHARMA” w Starogardzie Gdańskim. Badania kruszywa STARGRAN wyprodukowanego w wytwórni pozwoliły na dopuszczenie go do stosowania w następujących kierunkach:

- jako kruszywa budowlanego do betonów lekkich,
- do ulepszania nawierzchni dróg gruntowych,
- do makroniwelacji i rekultywacji terenu.

Granulat poddany badaniom aprobowym spełnił wymagania stawiane kruszywom budowlanym do betonów lekkich. Kruszywo STARGRAN w klasach ziarnowych 4–8 i 8–16mm charakteryzuje się gęstością nasypową ok. 930 kg/m³, wytrzymałością, odpowiadającą marce 15. Betony wykonane z jego udziałem zakwalifikowano do klas:

≤ 25 – betony zwarte, ≤ 15 – betony półzwarte i ≤ 5 – betony jamiste. Gęstości betonów odpowiednio wynoszą do 1,8, do 1,6 i do 1,4 kg/dm³, nasiąkliwość określana dla betonu zwanego jest niższa od 25%, a mrozoodporność F25. Kruszywo uzyskało atest higieniczny Państwowego Zakładu Higieny i aprobatę techniczną Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie nr AT-15-4091/99, dopuszczającą kruszywo STARGRAN do wykonywania betonów lekkich.

Przydatność kruszywa STARGRAN do ulepszania nawierzchni dróg gruntowych – polepszenia ich stabilności – została potwierdzona badaniami prowadzonymi w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie. Przy 30%-to procentowym dodatku kruszywa o uziarnieniu od 4 do 32 mm stabilność gruntu o charakterze piasku równoziarnistego wzrosła czterokrotnie. Aprobata techniczną nr AT/99/04/0540 kruszywo z popiołu fluidalnego STARGRAN zostało dopuszczone do stosowania, jako składnik doziarniający, do ulepszania nawierzchni gruntów piaszczystych.

b) STABILIZAT (spoiwo alternatywne z popiołów ulepszanych)

Aktualnie trwają badania nad przetworzeniem popiołu ze spalania fluidalnego w El. Turów na stabilizat, przydatny do makroniwelacji i rekultywacji terenu. Szczegółowe wyniki tych badań będą możliwe do zaprezentowania po ich zakończeniu. Ogólne cechy stabilizatu uzyskiwanego na bazie produktów odsiarczania to przede wszystkim:

- znaczna wytrzymałość na ściskanie, rzędu 0,8 do 6 MPa,
- niska wodoprzepuszczalność, na poziomie 10^{-5} do 10^{-6} m/s,
- podatność na zagęszczanie,
- odporność na rozmakanie,
- wysoka odporność na erozję wietrzną.

Mieszanki z dodatkiem stabilizatu mogą być wykorzystywane do makroniwelacji terenów zdegradowanych, np. wypełniania wyrobisk po eksploatacji węgla i innych surowców mineralnych. Mogą także być wykorzystywane w budowie nasypów, do izolacji i stabilizacji gruntów. Uśrednione wartości składu chemicznego popiołów fluidalnych ze spalania węgla brunatnego KWB Turów S.A. przedstawiono w tablicy 16.

Tablica 16. Analiza chemiczna klasyczna. Średnia zawartość poszczególnych składników w popiołach fluidalnych z węgla brunatnego KWB Turów S.A.

Składnik	Zawartość, % wag.
Straty prażenia, 1000 °C	3,91
SiO ₂	29,72
Fe ₂ O ₃	2,59
Al ₂ O ₃	19,91
TiO ₂	1,40
CaO	30,77
MgO	1,82
SO ₃	5,21
SO ₂	0,016
Na ₂ O	2,85
K ₂ O	1,25
S ⁻²	0
Cl ⁻	0,025
Wolny tlenek wapnia	8,67

Wstępne wnioski z dotychczasowych badań

- 1) Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwalają stwierdzić, że odpowiednio przygotowane produkty spalania węgla i odsiarczania spalin z kotłów fluidalnych Elektrowni Turów S.A. stają się cennymi surowcami do produkcji spoiwa hydraulicznego pod nazwą Stabilizer.
- 2) Badania polowe przeprowadzone na terenie Niemiec potwierdziły w praktyce przydatność nowego spoiwa do ulepszania podłoża i budowy nasypów
- 3) Oznaczanie składu chemicznego potwierdziło przydatność popiołów jako alternatywnego spoiwa do stabilizacji gruntów.
- 4) Zawartość STABILIZER-a w gruncie jest istotna z uwagi na rozwój nośności w czasie. Próbkę piasku gliniastego ulepszoną STABILIZER-em po 7-mio dniowym okresie twardnienia w warunkach powietrzno-wilgotnych wykazują znaczną rozpiętość wyników w zależności od % dodatku spoiwa. Dla dodatku w ilości 2 % otrzymano $CBR=61$ %, dla dodatku 4 % otrzymano $CBR=159$ % i dla dodatku 6 % $CBR=239$ %. Świadczy to o hydraulicznym działaniu spoiwa. Badania porównawcze przy zastosowaniu takich samych dodatków wapna palonego wykazały porównywalne wyniki.
- 5) Badania skuteczności osuszania przeprowadzone na próbkach gruntów przewilgoconych i bardzo przewilgoconych wykazały nieznaczny spadek wilgotności gruntu o ok. 1% bezpośrednio po dodaniu popiołów w ilości 4-8 %. Natomiast efekt osuszania jest wyraźny w czasie. Po 2 godzinach spadek wilgotności wynosi około 3 % a po 6-ciu 5 %. Oznacza to, że rozpoczęcie procesu zagęszczania jest uzależnione od stopnia przewilgocenia gruntu.
- 6) Przeprowadzenie szerokich badań w terenie pozwoli na ustalenie właściwej technologii wykonania i odbioru robót.
- 7) Wykonano również wstępne badania wytrzymałości i mrozoodporności kompozycji stabilizera z gruntami niespoistymi (piaski grube). Otrzymano mrozoodporne materiały o

wytrzymałości $R_m=1,5$ MPa i $R_m=2,5$ MPa. Przewiduje się rozszerzenie badań w tym kierunku.

- 8) Stosowanie tanich spoiw alternatywnych jest szansą na poprawę stanu środowiska naturalnego, a także zwiększenie konkurencyjności polskiej gospodarki. Powinniśmy brać przykład z krajów Unii Europejskiej, gdzie odpowiednio przygotowane popioły w coraz większej części są wykorzystywane gospodarczo.

c) Spoiwo – FLUBET®

Kolejnym sposobem, który pozwala na wykorzystanie lotnego popiołu fluidalnego jako spoiwa jest aktywacja mechaniczna. Aktywacja popiołu jest przeprowadzana z zastosowaniem Elektrostatycznego Mechanicznego Dezintegratora Cząstek (w skrócie EMDC) **bez dodatków chemicznych**.

Właścicielem patentu nr 180380 dotyczącego technologii przetwarzania lotnego popiołu fluidalnego jest firma Energomar-Nord.

Materiał poddany procesowi aktywacji nosi nazwę handlową Flubet®. Aktualny stan badań i zdobytych doświadczeń pozwala na następujące zastosowania dla aktywowanego lotnego popiołu fluidalnego:

- jako dodatek do betonów klas B10 do B40 dla nawierzchni dróg kategorii KR1 do KR4,
- do chudych betonów,
- do stabilizacji kruszyw na podbudowy i ulepszone podłoża z gruntu,
- do zaczynów cementowych przy pracach geotechnicznych.

Flubet® można stosować w ilości 20% masy spoiwa w przypadku betonów. W przypadku zaczynów cementowych Flubet® może zastępować nawet do 70% masy cementu, a domieszka stosowana jest tylko celem przyspieszenia czasu wiązania.

Flubet® posiada Aprobaty Techniczne Instytutu Badawczego Dróg i Mostów dopuszczające do stosowania go w budownictwie drogowym:

- Nr AT/2002-04-1249 (wydanie II) *Zestaw materiałów: dodatek Flubet B i domieszka uplastyczniająco-napowietrzająca do modyfikacji betonu i stabilizacji kruszyw cementem*
- AT/2003-04-1536 *Zestaw wyrobów: Dodatek Flubet® i domieszka uplastyczniająco-napowietrzająca do modyfikacji betonu i stabilizacji kruszyw cementem oraz modyfikacji zaczynów cementowych*

Na podstawie badań aprobowanych określone zostały wymagania odnośnie cech Flubetu®. Wymagania odnośnie Flubetu® podano w tablicy 17.

Tablica 17 – Charakterystyka spoiwa FLUBET®

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wymagania	Metodyka badań według
1.	Postać	-	proszek	ocena wizualna
2.	Barwa	-	szara do ciemnobrazowej	ocena wizualna
3.	Gęstość nasypowa	g/cm ³	od 0,65 do 0,80	PN-EN 1097-3:2000
4.	Miałość	%	≤ 40	PN-EN 451-2:1998
5.	Zawartość chlorków	%	≤ 0,3	PN-EN 196-21:1997
6.	Zawartość bezwodnika kwasu siarkowego	%	≤ 9,0	PN-EN 196-2:1996
7.	Zawartość wolnego tlenku wapnia	%	≤ 9,0	PN-EN 451-1:1998
8.	Całkowita zawartość tlenku wapnia	%	≤ 21	PN-EN 459-2:1998
9.	Strata prażenia	%	≤ 16	PN-EN 196-2:1996
10.	Stalność objętości	mm	≤ 10	PN-EN 196-3:1996
11.	Wskaźnik aktywności pucolanowej - k ₂₈ - k ₉₀	- -	≥ 75 ≥ 85	PN-EN 450:1998
12.	Stężenie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, współczynniki kwalifikujące: - f ₁ - f ₂	- Bq/kg	≤ 2,0 ⁾ ≤ 400 ⁾	Instrukcja ITB Nr 234

⁾ Rozporządzenie RM z dnia 03.12.2002 Dz. U. Nr 220 poz. 1850

Wymagania odnośnie cech betonu kontrolnego z dodatkiem Flubetu® i domieszką napowietrzająco-uplastyczniającą podano w tablicy nr 18.

Tablica 18 – Właściwości betonu kontrolnego z dodatkiem FLUBETU®

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wymagania	Metodyka badań według
1.	Zmiana objętości cementu z zestawem	mm	≤ 10	PN-EN-196-3:1996
2.	Wytrzymałość na ściskanie: - po 28 dniach - po 90 dniach	%	≥ 100 ≥ 110 wartości betonu kontrolnego	PN-88/B-06250
3.	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	%	nie mniej niż 100 % wartości betonu kontrolnego	PN-EN 12390-5:2001
1	2	3	4	5
4.	Nasiąkliwość betonu	%	≤ 5 %	PN-B-06250:1988
5.	Odporność betonu na działanie mrozu dla betonu klasy B 30 i wyżej	-	F150	PN-88/B-06250
6.	Skurcz betonu		≤ 0,6	PN-84/B-06714.23
7.	Oddziaływanie korozyjne na zbrojenie betonu	-	stan zbrojenia pasywny	PN-86/B-01810

W przypadku piasków stabilizowanych cementem (Sprawozdanie z badań Nr TB-1/26/2001-1) stosowanie Flubetu® przedstawione zostało w Tablicy nr 19.

Tablica 19 – Przykładowe składy mieszanek zawierających FLUBET®

Lp.	Ilość zastosowanego spoiwa	Zastosowana ilość cementu i ilość Flubetu®	Zastosowanie wg wymagań PN-S-96012:1997
1	6% masy piasku	cement – 75% masy spoiwa Flubet – 25% masy spoiwa	Górne warstwy ulepszonego podłoża gruntowego pod drogi obciążone ruchem kategorii KR5 i KR6
		cement – 65% masy spoiwa Flubet – 35% masy spoiwa	
		cement – 55% masy spoiwa Flubet – 45% masy spoiwa	
2	7,5% masy piasku	cement – 75% masy spoiwa Flubet – 25% masy spoiwa	Wykonywanie podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR1 lub podbudowy pomocniczej nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR od 2 do 6.
		cement – 65% masy spoiwa Flubet – 35% masy spoiwa	
		cement – 55% masy spoiwa Flubet – 45% masy spoiwa	
3	9,0% masy piasku	cement – 75% masy spoiwa Flubet – 25% masy spoiwa	Wykonywanie podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR1 lub podbudowy pomocniczej nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR od 2 do 6.
		cement – 65% masy spoiwa Flubet – 35% masy spoiwa	
		cement – 55% masy spoiwa Flubet – 45% masy spoiwa	
Mieszanki cementowo-piaskowe z dodatkiem Flubetu uzyskały wysokie wskaźniki mrozoodporności spełniające wymagania normowe. Mieszanki te zostały wykonane z dodatkiem piasku „Wysoka”.			

Przy zastosowaniu Flubetu® do modyfikacji zaczynów cementowych należy każdorazowo doświadczalnie ustalić ilość dozowanych składników. Wymagania w przypadku tego zastosowania to stałość objętości ≤ 10 mm.

Wnioski z badań przedstawionych w niniejszym opracowaniu są następujące:

Skład chemiczny popiołów lotnych ze spalania węgla w kotłach fluidalnych nie spełnia wymagań normy EN 450 m.in. pod względem zawartości bezwodnika kwasu siarkowego i wolnego tlenku wapnia. Mimo to, prowadzona w skali przemysłowej mechaniczna aktywacja popiołów fluidalnych pozwala uzyskać wartościowy dodatek do betonów, z tym że zastosowanie tego dodatku wymaga użycia właściwej domieszki i przestrzegania określonych wymogów technologicznych.

Przy zastosowaniu Flubetu® wraz z domieszką Betostatu stwierdzono znaczny wzrost wytrzymałości betonu na ściskanie i na rozciąganie przy rozpywaniu. Wytrzymałość na ściskanie betonów z Flubetem® w ilości od 14 do 20 % masy spoiwa była po 28 dniach o 19-34 % wyższa niż wytrzymałość betonów wzorcowych. Wzrost ten zwiększał się z upływem czasu, po dwóch latach sięgając 39 %. Betony z Flubetem® w ilości od 14 do 20 % wykazały dobrą mrozoodporność: po 100 cyklach zamrażania i odmrażania spadek wytrzymałości na ściskanie wynosił tylko 5-11 %. Głębokość wsiąkania wody w beton z Flubetem® przy badaniu wodoszczelności stopnia W 8 wynosiła o 18 % mniej niż w przypadku betonu wzorcowego. Zastąpienie Flubetem® 20 % masy cementu nie wpłynęło na właściwości ochronnych zapraw cementowych w stosunku do zbrojenia stalowego – nie stwierdzono przeciwwskazań do stosowania podanej ilości dodatku do betonów zbrojonych.

Przy wyższych zawartościach Flubetu®, sięgających 50 %, stwierdzono zwolnione narastanie wytrzymałości betonu w ciągu pierwszych 28 dni, z tym że po 1 roku i po 2 latach wytrzymałość przewyższała wytrzymałość betonu bez tego dodatku. Wyniki

dotychczasowych obserwacji prototypowych elementów betonowych są pozytywne, ale stosowanie Flubetu w ilościach większych niż 20 % wymaga dalszych badań.

Dotychczasowe doświadczenia z praktycznych zastosowań są następujące:

Na podstawie zbadanych w laboratorium receptur wykonany został próbny odcinek drogi o długości 400 m przy Elektrowni Turów (Sprawozdanie z badań nr TB-1/27/2001-1). W okresie jesieni 2000 roku wykonano dolne warstwy konstrukcji drogi z chudego betonu $R_m = 2,5 \div 5,0$ oraz betonu klasy B 10. Nawierzchnia wykonana została w marcu 2001 roku z betonu klasy B 35, przy nadzorze Instytutu Badawczego Dróg i Mostów. W każdym z betonów zastosowano dodatek Flubetu z domieszką uplastyczniająco-napowietrzającą.

Badania kontrolne wykonane na budowie przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów wykazały, że po 28 dniach dojrzewania beton o klasie projektowanej B 35 z dodatkiem Flubetu osiągnął wytrzymałość na ściskanie równą 53,6 MPa oraz zgodną z normą mrozoodporność. Receptury wykorzystane w przypadku tego zastosowania były następujące:

a) Beton – B 35, ilość składników na 1 m³

Cement CEM I 32,5R Strzelce Opolskie	320 kg
Piasek kopalny 0 – 2 mm	640 kg
Żwir 2 – 8 mm	450 kg
Żwir 8 – 16 mm	700 kg
Woda	165 l
Flubet®	80 kg
Domieszka Betostat	1,8 kg

Uwagi: Wyniki badań wykazały, że zgodnie z PN-88/B-06250 beton spełnia wymagania dla klasy B 40, konsystencja – plastyczna K-3, stopień mrozoodporności F 150, nasiąkliwość średnia 4,9%.

Badania na próbkach pobranych z placu budowy potwierdziły parametry uzyskane w laboratorium dla klasy betonu i stopnia mrozoodporności.

b) Beton – B 10, ilość składników na 1 m³

Cement CEM I 32,5 Strzelce Opolskie	132 kg
Piasek kopalny 0 – 2 mm	912 kg
Mieszanka żwirowo-piaskowa	1128 kg
Woda	172 l
Flubet®	33 kg
Domieszka Betostat	0,66 kg

Uwagi: Wyniki badań wykazały, że zgodnie z PN-88/B-06250 beton spełnia wymagania dla klasy B 10, konsystencja – gęstoplastyczna K-2, stopień mrozoodporności F 25.

c) Podbudowa $R_m 2,5-5,0$ MPa, ilość składników na 1 m³

Cement CEM I 32,5 Strzelce Opolskie	88 kg
Mieszanka żwirowo-piaskowa	1963 kg
Woda	175 l
Flubet®	59 kg
Domieszka Betostat	0,58 kg

Uwagi: Wyniki badań wykazały, że zgodnie z PN-S-96012:1997 receptura spełnia wymagania dla podbudowy zasadniczej nawierzchni o kategorii ruchu KR1 lub podbudowy pomocniczej o kategorii ruchu KR od 2 do 6, konsystencja – gęstoplastyczna K-2.

d) Podbudowa $R_m 7,5$ MPa, ilość składników na 1 m³

Cement CEM I 32,5 Strzelce Opolskie	128 kg
Piasek kopalniany	922 kg
Mieszanka żwirowo-piaskowa	1148 kg
Woda	165 l
Flubet®	32 kg

Domieszka Betostat

0,64 kg

Uwagi: Wyniki badań wykazały, że zgodnie z PN-88/B-06250 receptura spełnia wymagania klasy B 7,5, stopień mrozoodporności F 25, konsystencja – gęstoplastyczna K-2.

d) Spoiwo LIPIDUR

Spoiwo LIPIDUR® jest mineralnym spoiwem hydraulicznym barwy szarej, złożonym z popiołów fluidalnych z węgla kamiennego, klinkieru cementowego, wapna palonego.

Spoiwo LIPIDUR® występuje w dwóch odmianach: LIPIDUR D (D1 i D2) do ulepszania przewilgoconych gruntów bez wymagań wytrzymałościowych i LIPIDUR DF przy podwyższonych wymaganiach wytrzymałościowych.

Spoiwo LIPIDUR® charakteryzuje się następującymi cechami fizycznymi:

Gęstość nasypowa: $0,7 \div 1,1 \text{ g/cm}^3$

Ciężar właściwy: $2,7 \div 2,9 \text{ g/cm}^3$

Powierzchnia właściwa: $> 4000 \text{ cm}^2/\text{g}$

pH: $> 11,5$

Spoiwo LIPIDUR® przeznaczone jest do ulepszania i stabilizacji gruntów w inżynierii komunikacyjnej, przede wszystkim przewilgoconych gruntów spoistych i małospoistych o niskiej nośności. Zalecany dodatek spoiwa LIPIDUR® wynosi od 2 ÷ 10% wagowo w stosunku do masy suchej gruntu zagęszczonego wg I lub II metody Proctora zgodnie z PN-88/B-04481. W praktyce firmy wykonawcze najczęściej stosują dodatek 2 – 4% spoiwa LIPIDUR®. Spoiwo LIPIDUR D można stosować do ulepszania gruntów w celu polepszenia ich zagęszczalności i nośności przy budowie nasypów drogowych oraz wykonywaniu warstw ulepszanego podłoża. Spoiwo LIPIDUR DF można stosować w warstwach wzmacniających lub dolnych warstwach nośnych o marce wytrzymałościowej $R_m=1.5 \text{ MPa}$ lub $R_m=2.5 \text{ MPa}$.

Spoiwo LIPIDUR® posiada aprobatę techniczną IBDiM nr AT/2002-04-1296

NA podstawie badań aprobowanych określone zostały wymagania, które przedstawiono w tablicy 20

Tablica 20 – Charakterystyka spoiwa LIPIDUR®

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wymagania			Metody badań według
1	2	3	4			5
1	Rodzaj		D		DF	
			D1	D2		
2	Postać	-	proszek			ocena wizualna
3	Barwa	-	szara			ocena wizualna
4	Wytrzymałość na ściskanie - po 7 dniach - po 28 dniach	MPa	≥ 7,5 ≥ 20	≥ 3 ≥ 10	≥ 15 ≥ 30	PN-EN 196-1:1996 (w/c: 0,6)
5	Wytrzymałość na zginanie - po 7 dniach - po 28 dniach	MPa	≥ 1,5 ≥ 4	≥ 0,5 ≥ 1,5	≥ 3,5 ≥ 6	PN-EN 196-1:1996 (w/c: 0,6)
6	Czas wiązania - początek wiązania - koniec wiązania	min h	≥ 120 ≤ 12			PN-EN 196-3:1996
7	Zawartość siarczanów (jako SO ₃)	% (m/m)	≤ 7,5			PN-EN 196-2:1996
8	Wodozność	%	≥ 40	≥ 45	≥ 30	PN-EN 196-3:1996
9	Strata prażenia	% (m/m)	≤ 10			PN-EN 196-2:1996
10	Gęstość nasypowa	g/cm ³	od 0,7 do 1,1			PN-EN 1097-3:2000
11	Stożność objętości	mm	≤ 10	-	≤ 10	PN-EN 196-3:1996
12	Stężenie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, współczynniki kwalifikujące: - f ₁ - f ₂	- -	≤ 1,0 ≤ 185			Instrukcja ITB Nr 234

Dotychczas na terenie Polski zastosowano z powodzeniem spoiwo LIPIDUR® m.in. przy budowie:

- autostrady A2 w okolicach Poznania (warstwy ulepszonego podłoża),
- centrum logistycznego w Teresinie k/Warszawy – ulepszenie podłoża,
- obwodnicy Barcikowa k/Dobrego Miasta na drodze krajowej nr 50 – ulepszenie podłoża pod nasyp drogowy,
- przejścia granicznego Bezledy,
- obwodnicy Olsztyna na trasie krajowej nr 50,
- modernizowanej trasy kolejowej Berlin – Moskwa na odcinku Mrozy Terespol – wzmocnienie podłoża kolejowego.

4.2.1 EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO

Zgodnie z ustawą o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. i Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001r. w sprawie klasyfikacji odpadów produkty spalania fluidalnego zostały zakwalifikowane do:

- grupy **10** – odpadów z procesów termicznych,
- podgrupy **10 01** – odpadów z elektrowni i innych zakładów energetycznego spalania paliw,
- rodzaju **10 01 82** – mieszanin popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych (metody suche i półsuche odsiarczania spalin oraz spalanie w złożu fluidalnym).

Odpady te nie należą do niebezpiecznych.

4.3 POPIOŁY Z PRODUKTAMI Z ODSIARCZANIA SPALIN W ELEKTROWNI RYBNIK [27,28,29,30]

Elektrownia Rybnik wytwarza popioły lotne zawierające produkty odsiarczania spalin metodą półsuchą. Zgodnie z wyżej cytowanym zapisem nie jest to materiał normowy, który jednak posiada wiele cech aktywnych popiołów, na przykład chętnie stosowanych popiołów konińskich. Zawiera wolne wapno oraz fazy siarczanowe, głównie anhydryt i półhydrat. Taka kompozycja wraz z fazą szklistą pochodzącą ze spalania węgla powoduje powstanie kompleksowego materiału wiążącego o własnościach hydraulicznych. Dla celów technologicznych potrzebny jest udział żużla paleniskowego, który pozwala na utworzenie szkieletu ziarnowego umożliwiającego uzyskanie wstępnej nośności zaraz po ułożeniu i zagęszczeniu mieszanek.

Przykładowy skład chemiczny popiołu lotnego po odsiarczaniu spalin z El. Rybnik przedstawiono w tablicy 21.

Tablica 21. Przykładowy skład chemiczny popiołu lotnego po odsiarczaniu spalin z Elektrowni Rybnik

Składnik	Zawartość, % wag.
SiO ₂	41,04
Al ₂ O ₃	21,25
Fe ₂ O ₃	4,55
CaO	14,36 w tym wolne CaO 5,62
MgO	1,96
Na ₂ O	0,58
K ₂ O	2,59
SO ₃	4,18
TiO ₂	0,82
P ₂ O ₅	0,65
Mn ₃ O ₄	0,054
BaO	0,15
SrO	0,065
straty prażenia	7,25

Dokładniejsze dane o popiołach i żużlu z El. Rybnik przedstawiono w aprobacie technicznej [29]. Popiół i żużel z El. Rybnik posiadają kod identyfikacyjny 100101 i 100105 i nie znajdują się na liście odpadów niebezpiecznych dla środowiska oraz zdrowia i życia ludzi.

Pierwszym znaczącym zastosowaniem tych popiołów była budowa dróg w kompleksie leśnym Kuźnia Raciborska. Po pamiętnym pożarze w 1992 roku, kiedy spłonęło ok. 10 000 ha lasów, powstała potrzeba wybudowania sieci dróg usprawniającą gospodarkę leśną, a także ułatwiającą ewentualne przeciwdziałanie pożarom. Do tego celu wykorzystano mieszaniny popiołowo – żużłowe, których wytwarzanie i układanie organizowała i finansowała Elektrownia Rybnik. Mieszanki nie zawierały żadnych dodatkowych spoiw mineralnych. Drogi leśne wykonane w tej technologii były sukcesem, a na szczególną uwagę zasługuje fakt, że udało się wykonać drogi przejezdne dla ciężkich samochodów przez tereny podmokłe i torfowiskowe.

27 Sprawozdanie z realizacji zlecenia „Określenie przydatności popiołów lotnych z instalacji półsuchego i suchego odsiarczania spalin oraz żużli z El. Rybnik do robót drogowych. Energopomiar, Cz. I/2001 i Cz. II/2002.

28 Kanafek J., Wykorzystanie UPS z produktami odsiarczania spalin w budownictwie drogowym. „Szare na złote” Nr 10/październik 2003.

29 Aprobata techniczna IBDiM Nr AT/2002-04-1388 Beton popiołowo-żużłowy do konstrukcji drogowych dla Elektrowni Rybnik S.A.

30 Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni z wykorzystaniem UPS. Rybnik 2003.

Równolegle Elektrownia Rybnik wybudowała sieć ścieżek rowerowych łączących rybnickie osiedla z terenami rekreacyjnymi w okolicach Jeziora Rybnickiego i Parku Krajobrazowego "Cysterskie Kompozycje Krajobrazowe Rud Wielkich". Program budowy tras rowerowych jest zgodny z europejskim programem „Rowerem po Europie”.

Kolejnym wdrożeniem była budowa pilotowych odcinków dróg osiedlowych w Zwonowicach koło Rybnika. Pierwotnie projekt techniczny przewidywał zastosowanie kruszywa z łupków przepalonych stabilizowanych mechanicznie, lecz po rozmowach z inwestorami i projektantami wykonano projekt zastępczy z zastosowaniem betonu popiołowo – żużlowego wykonanego z UPS z Elektrowni Rybnik. Nadzór technologiczny prowadziła Katedra Komunikacji Lądowej z Politechniki Śląskiej. Na podstawie badań laboratoryjnych - przy spełnieniu warunku ochrony przeciwmrozowej konstrukcji nawierzchni przyjęto następującą konstrukcję:

8 cm warstwy ścieralnej - kostka betonowa Utex
5 cm podsypka piaskowa dobrze zagęszczona
10 cm mieszanka popiołowo-żużłowa o $R_m=5,0$ MPa
25 cm mieszanka popiołowo-żużłowa o $R_m=2,5$ MPa.
Grubość łączna 48 cm.

Mieszanki charakteryzowały się następującymi faktycznymi właściwościami:

- żużel (70 % wag.) + popiół (30 %), wilgotność ok. 30%
 R_c po 7 dniach - 0,6 MPa, R_c po 42 dniach – 3,9 MPa,
- żużel (50 % wag.) + popiół (50 %), wilgotność ok. 25%
 R_c po 7 dniach - 0,6 MPa, R_c po 42 dniach – 6,5 MPa,

Uzyskana nośność podbudowy z mieszanki popiołowo-żużłowej (określona wtórnym modułem odkształcenia – przy koniecznej minimalnej wartości 120 MPa):

- po 3 dniach 80 MPa,
- po 6 tygodniach 195 MPa,
- po 5 miesiącach (po okresie zimowym) 250 MPa.

Kierując się zachęcającymi prognozami i doświadczeniami na budowach pilotowych przeprowadzono szereg prób laboratoryjnych i praktycznych nad stworzeniem mieszanek o powtarzalnych parametrach, pozwalających na wykorzystanie tradycyjnych maszyn drogowych. Celem tych prac było również uzyskanie aprobaty technicznej, pozwalającej na szerokie wejście na rynek. Zakres prac prowadzonych przez Elektrownię Rybnik, Energopomiar Gliwice, Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie, Politechnikę Śląską i Utex był następujący:

- badania laboratoryjne próbek podbudów z odcinków próbnych,
- badania odcinków próbnych,
- sprawdzenie jednorodności popiołu i żużla,
- określenie własności fizycznych i chemicznych reprezentatywnych próbek popiołu i żużla,
- testy ekstrakcji próbek materiałów konstrukcyjnych,
- kontrola odcinków doświadczalnych.

Badania te zaowocowały uzyskaniem przez Elektrownię Rybnik Aprobaty Technicznej IBDiM Nr AT/2002-04-1388 pt.: „Beton popiołowo – żużłowy do konstrukcji drogowych” Powyższa aprobata niewątpliwie pomogła w wejściu na trudny rynek materiałów budowlanych, czyniąc beton popiołowo - żużłowy konkurencją dla tradycyjnych podbudów drogowych, a co najważniejsze - stosowanie betonu z UPS z Elektrowni Rybnik w drogownictwie nie stwarza już przeszkód prawnych.

W ślad za uzyskaniem aprobaty Utex opracował przy dużym udziale naukowców z Politechniki Śląskiej i Politechniki Wrocławskiej „Katalog typowych nawierzchni z wykorzystaniem ubocznych produktów spalania”, który jest czymś w rodzaju podręcznika dla projektantów i wykonawców konstrukcji drogowych. Opracowanie to zostało szeroko rozpowszechnione, co skutkuje już zainteresowaniem rynku oraz kolejnymi zastosowaniami w praktyce. Od czerwca do września 2003 r. wyprodukowano, sprzedano i wbudowano 20 tysięcy ton mieszanki popiołowo - żużlowej.

Poniżej przedstawiono kilka inwestycji:

- Droga lokalna o długości 200m w Pogwizdowie koło Cieszyna, gdzie zamiast projektowanego chudego betonu zastosowano beton popiołowo – żużłowy i po raz pierwszy wykorzystano dla tego materiału rozścielacz. Maszyna ta znacznie przyspieszyła proces wbudowywania przy zachowaniu zaprojektowanych profili spadków poprzecznych i podłużnych. Ponadto w czasie budowy zachowano stałą grubość warstwy z dokładnością do 1 cm. Warstwę ścieralną tej drogi stanowi beton asfaltowy.
- Parking przy lotnisku Aeroklubu ROW w Rybniku o powierzchni 2000 m².
- Parking przy centrum handlowym OUTLET CENTER Sosnowiec o pow. 33 000 m²
- Poszerzenie drogi krajowej w Krzyżanowicach na odcinku 1500 m o 2 m, gdzie w ramach pasa drogowego wybudowano ścieżkę rowerową.

Wytwarzanie mieszanki betonowej odbywało się w dwóch miejscach. Jedno z nich było na terenie Elektrowni Rybnik gdzie zorganizowano mieszanie w pobliżu składowiska żużla, a drugie na terenie firmy Utex w węźle betoniarskim nieczynnej wytwórni kostek brukowych. Z uwagi na małą wydajność mieszania powzięto decyzję o wybudowaniu przez Utex mieszalni o wydajności około 90 ton na godzinę. Jest to urządzenie wyposażone w zasobniki żużla i popiołu, mieszalnik łopatkowy poziomy oraz zbiornik gotowej mieszanki betonowej. Procesy technologiczne są sterowane z kabiny operatorskiej wyposażonej w pulpit sterowniczy z wizualnym podglądem procesu technologicznego.

Dotychczasowe doświadczenia pozwalają sformułować następujące wnioski:

1. Popiół lotny zawierający produkty odsiarczania spalin z Elektrowni Rybnik można stosować w budownictwie drogowym.
2. Dzięki własnościom UPS z Elektrowni Rybnik opracowana technologia wytwarzania betonu popiołowo – żużłowego nie wymaga dodatków spoiw budowlanych.
3. Dotychczasowe doświadczenia pozwalają na uruchomienie przemysłowej produkcji betonów popiołowo – żużłowych.

5. PODSUMOWANIE ORAZ PROGRAM BADAŃ I PRZEDSIĘWZIĘĆ NA 2004 R.

Przedstawione opracowanie dotyczy etapu I, którego plan pracy na 2003 r. przewidywał:

- 1) Analizę i przegląd publikacji i przepisów dotyczących wykorzystania materiałów odpadowych w budownictwie drogowym z uwzględnieniem aspektu ochrony środowiska.
- 2) Podział i klasyfikację odpadów przemysłowych oraz główne kierunki wykorzystania w budownictwie.
- 3) Opracowanie programu uzupełniających badań laboratoryjnych odpadów przemysłowych na lata 2003-2004.

Uwaga: Na podstawie przeglądu stanu wiedzy i analizy dostępności odpadów wykorzystane zostaną produkty najistotniejsze i wymagające badań uzupełniających z uwzględnieniem przewidzianych zastosowań.

- 4) Badania laboratoryjne wybranych odpadów przemysłowych do szerokiego wykorzystania w drogownictwie na podstawie analizy p. 1, 2 i 3 realizacja I i II etap.

Etap II – 2004 r.

- 5) Badania laboratoryjne wybranych odpadów przemysłowych, kontynuacja badań z I etapu.
- 6) Opracowanie sprawozdania zawierającego właściwości wybranych odpadów przemysłowych do stosowania w drogownictwie.

W opracowaniu I etapu omówiono stan zagadnień w Polsce w zakresie popiołu i żużli konwencjonalnych, które są już dość dobrze rozpoznane i znormalizowane, oraz nową generację popiołów i żużli z fluidalnego spalania oraz z odsiarczania spalin stanowiących nowe odpady jeszcze nie ujęte w normach. Popioły i żużle konwencjonalne znajdują zastosowanie w budownictwie drogowym ale traktowane są jako odpady przemysłowe podobnie jak i żużle z fluidalnego spalania oraz z odsiarczania spalin przyjmowane są z dużymi zastrzeżeniami. Dlatego kierunek polegający na modyfikacji odpadów elektrownianych i wprowadzania ich na rynek budowlany jako produkt (homogenizacja, modyfikacja i ulepszanie popiołów oraz gotowe mieszanki popiołowo-żużłowo-spoiwowe) czyli pełnowartościowy materiał drogowy jest perspektywicznym rozwiązaniem dla szerokich wdrożeń odpadów elektrownianych.

Odpady z fluidalnego spalania węgla oraz z odsiarczania spalin charakteryzują się znacznie większą zmiennością składu chemicznego niż ma to miejsce w popiołach i żużlach konwencjonalnych.

Obecnie pojawia się w energetyce światowej tendencja spalania węgla z dodatkami paliw alternatywnych, do których zalicza się szlam i osady ściekowe, odpady drewnopochodne, łupiny od orzechów, pestki od śliwek, mączka kostna i odpady pozwierzęce, opony samochodowe oraz biomasa. Popioły i żużle przy spalaniu węgla z paliwami alternatywnymi mogą być jeszcze bardziej niejednorodne niż dotychczasowe odpady pochodzące z fluidalnego spalania tylko węgla i odsiarczania spalin.

Dla opracowania technologii ulepszania i modyfikowania popiołów i żużli nowych generacji niezbędne jest szczegółowe monitorowanie i ujednorodnienie lub modyfikowanie ich cech chemicznych i fizycznych.

W zakresie badań popiołów konwencjonalnych z węgla kamiennego charakteryzujących się nadmiernym pęcznieniem i niskimi wskaźnikami nośności przy nasycaniu wodą stwierdzono, że ulepszenie ich zaledwie 1 % dodatkiem aktywnego wapnia (CaO) redukuje pęcznienie popiołów nawet do zera i znacznie zwiększa wskaźniki nośności ($\text{CBR} > 25$) nawet przy ciągłym kontakcie z wodą.

Modyfikowane tradycyjne popioły z węgla kamiennego 1 % dodatkiem wapna palonego mielonego, lub wapna hydratyzowanego są traktowane jako produkt odpowiadający pełnowartościowym materiałom do budowy nasypów drogowych. Do modyfikowania tradycyjnych popiołów z węgla kamiennego stosować można aktywne popioły konińskie, niektóre popioły z fluidalnego spalania węgla oraz z odsiarczania spalin pod warunkiem każdorazowego sprawdzania badaniami laboratoryjnymi i dozowania ich w ograniczonej ilości uzależnionej od zawartości CaO i SO_3 .

Na podstawie dotychczasowych badań popioły lotne z EI. Pątnów wykazują podobną lub nawet wyższą zawartość wolnego CaO co pozwala zaliczyć je do popiołów aktywnych przy zbliżonej do dawnych popiołów Elektrowni Konin zawartości SO_3 ale z uwagi na grubsze uziarnienie oscylują one na granicy aktywnych i mało aktywnych.

Dla poprawienia jednorodności i aktywności popiołów lotnych odprowadzanych do zbiornika retencyjnego w El. Pątnów (podgrupy A, B i C) celowym jest wyłączyć doprowadzanie najgrubszej frakcji popiołów tj. podgrupę A.

Popioły z El. Pątnów pod względem stężenia promieniotwórczości są całkowicie bezpieczne, gdyż zawartości współczynników $f_1 \leq 0,55 < f_{1 \text{ dop}} = 1,0 \text{ Bq/kg}$ oraz $f_2 \leq 84 < f_{2 \text{ dop}} = 185 \text{ Bq/kg}$.

Celowe jest prowadzenie dalszych badań nad ustaleniem receptur dla ulepszania i stabilizacji nieaktywnych popiołów lotnych konwencjonalnych i różnych rodzajów gruntów popiołami aktywnymi z El. Pątnów dla celów drogowych.

Należy sprawdzać przydatność dla celów drogowych aktualnie uzyskiwanych popiołów lotnych w El. Konin w Gosławicach po odsiarczaniu ich metodą mokrą, czyli po wytrąceniu gipsu.

Przy El. Pątnów powinno powstać przedsiębiorstwo dystrybucji popiołów dysponujące odpowiednimi środkami przewozowymi.

Budowy muszą być przygotowane na przyjmowanie popiołów dostarczanych luzem, oraz wyposażone w urządzenia umożliwiające bezkurzowe przeładunki i rozkładanie lub dozowanie popiołów na robotach realizowanych metodą mix in place lub mix in plant.

Należy kontynuować badania popiołów i żużli uzyskiwanych z fluidalnego spalania węgla oraz z odsiarczania gazów.

Mając na uwadze dużą niejednorodność i zmienność składu chemicznego tych popiołów powinno się dążyć do ich homogenizacji i ewentualnej modyfikacji uziarnienia i uzupełnienia zawartości aktywnego tlenu wapnia. Dozowanie popiołów aktywnych przy podwyższonych zawartościach SO_3 do popiołów nieaktywnych lub gruntów naturalnych powinno być ograniczane tak ażeby w wytwarzanych mieszankach zawartość SO_3 nie przekraczała wartości dopuszczalnych oraz ażeby mieszanki te po zagęszczeniu nie wykazywały nadmiernego pęcznienia przy nasycaniu wodą lub spękań skurczowych przy wysychaniu.

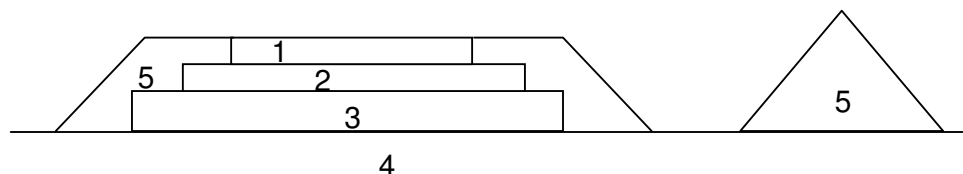
Aktywne popioły lotne z fluidalnego spalania węgla mogą spełniać rolę samodzielnych spoiw alternatywnych lub dodatków do cementów (Flubet, Stabilizat bądź granulaty Stargran) zwłaszcza po ich homogenizacji i modyfikacji.

Popioły lotne i żużel z odsiarczania spalin w El. Rybnik metodą półsuchą znajdują zastosowanie do wytwarzania drogowych betonów popiołowo-żużlowych bez użycia spoiw tradycyjnych, gdyż popioły uzyskiwane w odsiarczaniu w El. Rybnik są aktywne i pełnią funkcję kruszywa i spoiwa alternatywnego.

Należy podkreślić, że żużel uzyskiwany w tej elektrowni stanowi alternatywne kruszywo zawierające aktywne CaO.

Ponadto wytwarzane są popioło-betony z mieszanek popiołowo-kruszywowo-cementowych.

Przydatność popiołów i żużli konwencjonalnych, fluidalnych lub zawierających produkty odsiarczania spalin w konstrukcjach drogowych przedstawiono poniżej.



Schemat konstrukcji nawierzchni

- 1) warstwa ścieralna
- 2) warstwa wiążąca
- 3) podbudowa
- 4) podłoże (w tym podłoże ulepszone)
- 5) skarpy, nasypy, niwelacja terenu

Możliwości wykorzystania odpadów elekrownianych w konstrukcjach drogowych

Rodzaj warstwy drogowej	Możliwe wykorzystanie
warstwa ścieralna w przypadku nawierzchni z płyt betonowych lub z kostki betonowej	+
warstwa wiążąca	+
podbudowa	+
podłoże (w tym podłoże ulepszone)	+
skarpy, nasypy, niwelacja terenu	+

Załącznik 5

Odpady chemiczne

1. WSTĘP

W rozdziale tym opisane są odpady przemysłowe przyporządkowane do grupy określonej jako: „odpady pochodzenia chemicznego”. Są to produkty powstające w trakcie produkcji opierającej się na wieloetapowych procesach chemicznych, są one produktami finalnymi lub ubocznymi stosowanej technologii. W ramach niniejszej pracy wydzielono dwie grupy odpadów, które na podstawie dzisiejszej wiedzy technicznej i naukowej można wykorzystać (zutylizować) przy budowie dróg, są to: osady porafineryjne oraz odpady gumowe.

Grupa 1 – osady porafineryjne

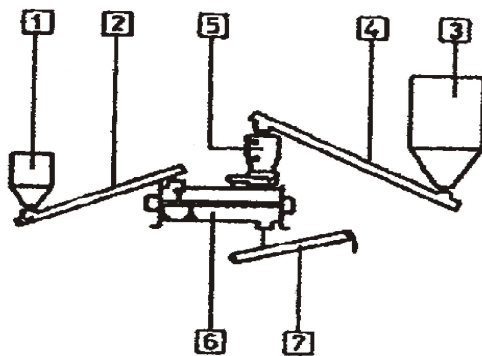
2 OSADY PORAFINERYJNE PRZETWORZONE WAPNEM PALONYM - POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Rozwinięty przemysł rafineryjny produkuje coraz większe ilości odpadów, których utylizacja jest zbyt mała stwarzając niebezpieczeństwo zwiększenia się rezerw materiałów stanowiących zagrożenie dla środowiska naturalnego. Przeróbka ropy naftowej wiąże się z wytworzeniem dużej ilości odpadów porafineryjnych. Na przykład, rocznie w PKN ORLEN w Płocku w Zakładowej Oczyszczalni Ścieków powstaje ponad 12 tys. ton zagęszczonych osadów, a więc jest to ilość znacząca, stwarzająca problem ze składowaniem. Poprodukcyjne osady ściekowe charakteryzują się bardzo dużą zawartością wody i suchą pozostałością 2÷15% wagowych substancji mineralnych oraz węglowodorów.

Z uwagi na zawartość w osadach pozostałości ropopochodnych i metali ciężkich, niezestalone osady petrochemiczne kwalifikuje się jako odpady uciążliwe i niebezpieczne. Sposób zestalania uwodnionych osadów (emulsji olejowo-wodnych) ropopochodnych wapnem palonym w zastępczej instalacji ORTWED przedstawiono na rys.1.

Proces technologiczny polega na zestaleniu osadów porafineryjnych tlenkiem wapnia CaO . W czasie mieszania uwodnionych osadów porafineryjnych z aktywnym wapnem palonym mielonym zachodzi reakcja egzotermiczna czego rezultatem jest wzrost temperatury w zamkniętym mieszalniku (reaktorze) do $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ powodujący wyparowanie części wody zawartej w osadach oraz przejście tlenku wapnia w wodorotlenek wapnia $[(\text{CaO} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2)]$ z jednoczesnym wiązaniem CaO z cząstkami stałymi zawartymi w osadach porafineryjnych (cząstki mineralne, organiczne i metale ciężkie).

Proces modyfikacji osadów przy użyciu wapna palonego w urządzeniu ORTWED powoduje, że po wymieszaniu składników następuje odparowanie znacznej części wody i przemiana wapna palonego na hydratyzowane.



Rys 1 - Schemat instalacji ORTWED do przetwarzania osadów porafineryjnych wapnem palonym

gdzie:

- 1 - Zbiornik osadów
- 2 - Podajnik osadów
- 3 - Zbiornik na wapno palone
- 4 - Podajnik do transportu wapna palonego
- 5 - Urządzenie dozujące wapno
- 6 - Mieszalnik (reaktor lemieszowy)
- 7 - Transporter granulatu

2.1 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA – PARAMETRY

Zestawiony osad porafineryjny może przybierać różne formy postaciowe, od granulatu o małej zawartości wapna do proszku o większej zawartości wapna. Próbki przedstawiające postać przetworzonych osadów o różnej zawartości CaO przedstawiono na rys. 2. Do stabilizacji gruntów nadaje się osad w postaci proszku o zawartości wapna min. 25%.

Wyniki badań przetworzonych osadów w IBDiM jak również przetworzonych osadów pobranych w różnych okresach z wytwórni w Płocku przedstawiono w tablicach 1 i 2.



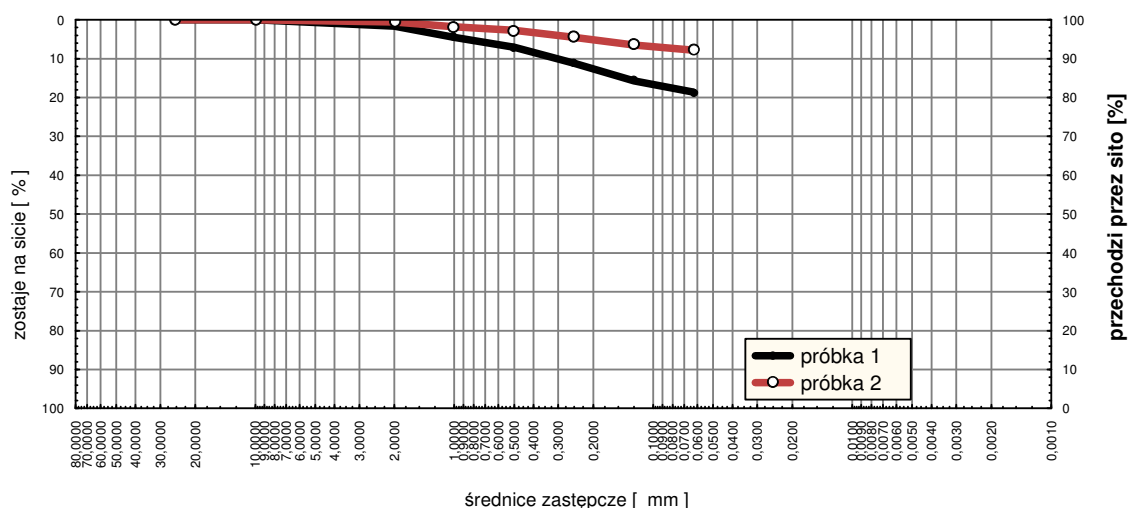
Rys. 2 - Przetworzone osady o różnej zawartości CaO wykonane w Laboratorium IBDiM dla porównywania z produktem uzyskiwanym w Płocku

Tablica 1 - Wyniki badań osadów zaolejonych z Płocka zestalonych różnymi dodatkami wapna palonego.

L.p	Osady Porafineryjne w %	Wapno palone mielone w %	Uzyskany wynik badania				
			Po 6 godz. od wymieszania	Po 24 godz. od wymieszania	Aktywność Δt °C	Barwa	konsystencja
			Wilgotność w %	Wilgotność w %			
1	100	0	104,9	-	-	czarna	półpłynna
2	85	15	48,3	35,5	23	c. brązowa	granulat
3	80	20	35,2	24,2	25	brązowa	granulat
4	75	25	20,8	14,9	28	c. szara	proszek
5	70	30	16,3	9,9	32	szara	proszek
6	65	35	12,2	7,4	34	szara	proszek
7	60	40	10,6	4,5	37	j. szara	proszek
8	0	100	3,4	-	-	biała	proszek

Tablica 2 - Zestawienie cech fizyko – mechanicznych 2 próbek produktu pobranego z instalacji ORTWED w różnych okresach produkcji

Lp.	Badana cecha	Produkt pobrany z instalacji	
		Próbka 1	Próbka 2
1.	Wilgotność optymalna W_{opt} [%]	20,8	41,8
2.	Gęstość objętościowa w stanie luźnym $[g/cm^3]$	0.765	0.737
3.	Maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego ρ_{ds} $[g/cm^3]$	1,129	1,012
4.	Wilgotność próbek W [%]	38,28	30,48
5.	Zawartość wody w [%]	27,68	23,36
6.	Aktywność produktu Δt [$^{\circ}C$]	23	24
7.	Analiza sitowa (na mokro) pozostaje na sicie # w % masy		
	4,00 mm	0,00	0,00
	2,00 mm	1,60	0,52
	1,00 mm	2,86	1,26
	0,50 mm	2,62	0,94
	0,25 mm	4,13	1,82
	0,125 mm	4,45	1,93
	0,075 mm	2,93	1,33
	Przechodzi przez sito # 0,075 mm	81,41	92,20
8.	Wskaźnik nośności CBR		
	bezpośrednio po zagęszczeniu	12/12	13/12
	po 7 dniach moczenia w wodzie	11/10	10/9
	po 28 dniach w tym 7 dni moczenia w wodzie	13/14	16/15
9.	Wytrzymałość na ściskanie w MPa		
	R_7^P	0,4	0,6
	R_{14}^P	0.35	0.58
	R_{28}^m	0.23	0.49



Rys. 3 - Wykres uziarnienia osadu po przetworzeniu otrzymanego w różnych okresach

Osady przetworzone do postaci stałej pod względem uziarnienia wg klasyfikacji geotechnicznej [1] odpowiadają pyłom. Skład ziarnowy zależy od ilości zastosowanego wapna palonego do zestalenia osadu. Czy większa ilość wapna tym otrzymywany produkt jest drobniejszy. Przy małych dodatkach wapna uzyskuje się granulaty natomiast przy większych proszek. Proszek posiada zabarwienie szaro brązowe i charakteryzuje się zapachem typowym dla węglowodorów. Zaobserwowane zmiany uziarnienia na przedstawionym wykresie nie należą do dużych. Zawartość frakcji drobnych przechodzących przez sito 0.075mm waha się w granicach od 82÷92%.

Przetworzony osad jest materiałem niewysadzinowym i nie pęczniejącym. Charakteryzuje się wskaźnikiem nośności bezpośrednio po ubiciu $CBR=12-13\%$ która utrzymuje się na tym poziomie podczas 28 dniowej pielęgnacji w tym 7 dni moczenia.

Przetworzony osad charakteryzuje się gęstością w stanie zagęszczonym od 1.01 t/m^3 do 1.13 t/m^3 . Niższa gęstość jest charakterystyczna dla osadów zestalonych większą ilością wapna. Gęstość w stanie luźnym dla badanych odmian zestalonych osadów wynosi odpowiednio 0.737 t/m^3 dla odmiany o większej zawartości wapna i 0.765 t/m^3 dla odmiany zawierającej mniej wapna. Pod względem aktywności materiał obu badanych próbek wg klasyfikacji zgodnej z PN-S-96035:1997 [2] był nieaktywny lub bardzo mało aktywny. Stwierdzenie to wymaga wyjaśnienia, gdyż wg wzorców wykonanych w IBDiM (rys. 2, tab. 1) i porównaniu ich parametrów ustalono, że zawartość wapnia w badanym produkcie wynosi od 15 do 25 %.

Przetworzony osad porafineryjny wykazuje cechy wiązania przejawiające się niewielką wytrzymałością na ściskanie osiowe. Wytrzymałość jest uzależniona od zawartości związków wapnia (CaO i Ca(OH)_2) w przetworzonym osadzie i następuje jej rozwój w czasie. Znaczna zawartość związków wapnia w przetworzonych osadach może wpłynąć korzystnie na zmianę właściwości gruntów mineralnych i antropogenicznych. W tablicy 3 przedstawiono wymagane właściwości przetworzonych osadów.

Tablica 3 - Wymagane właściwości przetworzonego osadu porafineryjnego

Lp.	Badana cecha	Wartość
1.	Wilgotność naturalna w_{nt} [%]	≤ 10
2.	Gęstość objętościowa w stanie luźnym $[\text{g/cm}^3]$	$0.7 \div 0.8$
3.	Maksymalny ciężar objętościowy szkieletu ρ_{ds} $[\text{g/cm}^3]$	$1.0 \div 1.1$
4.	Aktywność produktu Δt $[\text{°C}]$	> 20
5.	Przechodzi przez sito # 0,075 mm [%]	> 80
6.	Zawartość wolnego CaO %	> 20
7.	Barwa	jasnoszara

1 PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów
2 PN-S-96035:1977 Drogi samochodowe. Popioły lotne

2.2 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

Przetworzone osady porafineryjne były zastosowane jako spoiwo do stabilizacji gruntów na trzech odcinkach doświadczalnych.

Pierwszy odcinek to wzmocnienie nawierzchni gruntowej drogi dojazdowej do pola. Wyniki badań laboratoryjnych wykazały pozytywny wpływ przetworzonych osadów na zmianę właściwości gruntów pylastych co przedstawiono w tablicy 4

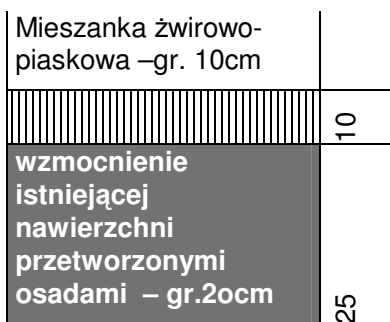
– Wyniki badań cech fizycznych gruntów ulepszonych przetworzonymi osadami

L.p	Rodzaj gruntu	Dodatek produktu w %	Wskaźnik nośności CBR			Pęcznienie w %	Wskaźnik piaskowy	Kapilarność bierna
			Bezpośrednio	po 4 dobach	po 7 dobach			
1	Pył piaszczysty	0	25/26	16/14		0,09	19	160
		6	26/28	19/20	25/27	0,0	33	-
		8	30/32	28/30	29/31	0,0	36	-

¹⁾ CBR 35/24 oznacza CBR=35% przy penetracji tłka 2.5cm i CBR=24% przy penetracji 5.0cm

W październiku 2002 r. wykonano odcinek próbny drogi gruntowej o podłożu z pyłów piaszczystych w gospodarstwie rolnym w miejscowości Plecka Dąbrowa k. Łowicza. W podłożu drogi zalegają w górnej warstwie do 1÷1.5 m pyły piaszczyste i głębiej do głębokości 2.5 m p.p.t gliny piaszczyste wg [3]. Wody gruntowej na badanym odcinku nie stwierdzono. Droga gruntowa po opadach atmosferycznych traciła nośność uniemożliwiając jej przejezdność.

Na podstawie badań laboratoryjnych zaprojektowano podbudowę z gruntu podłoża stabilizowanego 8% dodatkiem przetworzonych osadów w stosunku do masy szkieletu gruntowego z warstwą jezdnią o z pospółki. Przekrój wykonanej konstrukcji nawierzchni przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 - Przekrój konstrukcji nawierzchni odcinka doświadczalnego

Przeznaczony do badań odcinek drogi jest częścią drogi dojazdowej do pól uprawnych. Otoczenie drogi z jednej strony stanowią pola uprawne z drugiej drzewostan przy ogrodzeniu posesji. Widok wykonanego odcinka przedstawiono na fot. 1.

Odcinek zaprojektowano w technologii mieszania gruntu na miejscu. Do mieszania gruntu zastosowano sprzęt rolniczy, który umożliwiał mieszanie gruntu na założoną grubość. „Produkt” dostarczony przyczepą ciągnikową został rozłożony ręcznie. Po wymieszanu gruntu z przetworzonymi osadami warstwę gruntu zagęszczono walcem drogowym.

3. Sprawozdanie z badań przydatności gruntów do stabilizacji zestalonym produktem z osadów porafineryjnych na terenie powiatu Płockiego, IBDiM 2002 r.,

Wykonany odcinek stanowić miał poligon do badań nośności i wpływu na środowisko naturalne w 2 letnim okresie obserwacji.

Przed rozpoczęciem robót zostały założone piezometry w celu zbadania „tła” – stanu ekologicznego wód gruntowych. Badania prób wody gruntowej miały na celu określenie wpływu przetworzonych osadów na zanieczyszczenie wód w zakresie wskaźników istotnych przy odprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi zgodnie z [20] Badania w tym zakresie były prowadzone przez Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Politechniki Warszawskiej.



Fot. 1 – widok odcinka po wykonaniu przed przykryciem pospółką (październik 2002 r.)

W czasie budowy odcinka były prowadzone badania stopnia wymieszania, zagęszczenia warstwy i nośności. Do badań nośności zastosowano metody dynamiczne – płytę dynamiczną [12,13,14,15,16] i tester Clegga (impact soil tester) wg [4]. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tablicy 5.

Tablica 5 - Zestawienie wyników badań wskaźnika nośności *CBR* i dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} warstwy gruntu stabilizowanej 8% dodatkiem przetworzonych osadów – badania wykonane w październiku 2002 r.

Punkt badawczy	Płyta dynamiczna		Tester Clegga	
	Osiadanie s /mm/	Dynamiczny moduł odkształcenia E_{vd} /MN/m ² /	<i>CBR</i> /%/	
			W punkcie bad.	Wartość średnia
1	1,12	20,03	6,93 36,67	21,80
2	0,94	24,72	5,16 8,99	7,07
3	1,23	18,29	5,16 8,99	7,07
4	0,66	33,93	14,01 6,93	10,47
5	1,06	21,22	11,35 8,99	10,17
6	0,95	23,62	14,18 8,99	11,58
7	1,56	14,55	14,01 16,98	15,49
8	0,78	28,84	16,98 20,27	18,62

cd. tablicy 5

9	1,80	12,69	20,27 8,99	14,63
10	0,92	24,29	16,98	18,62
11	0,80	28,42	20,27 6,93 14,01	10,47
Wartości średnie na badanym odcinku				
Osiadanie	1,07			
Moduł dynamiczny		22,78		
			CBR	12,99

II odcinkiem, gdzie wykonano poligon badawczy było targowisko miejskie w Piasecznie.

Targowisko Miejskie zlokalizowane jest przy ul. Jana Pawła II nr 59 w Piasecznie. Dokumentacja techniczna, oraz badania własne IBDiM [5] dotyczące stanu i rodzaju gruntów występujących na tym terenie wykazały, że podłoże pod projektowane targowisko stanowi nasyp niekontrolowany z gruntów małośpoistych i spoistych (pyły, pyły piaszczyste, piaski gliniaste, gliny piaszczyste) przemieszanych z gruzem budowlanym. W górnej warstwie podłoża bezpośrednio pod projektowaną konstrukcję nawierzchni wydzielono następujące rodzaje gruntów:

Gliny piaszczyste – na obszarze części handlowej targowiska,

Piaski gliniaste – na obszarze dróg komunikacyjnych.

Wg klasyfikacji geotechnicznej [6] grunty powyższe zalicza się do gruntów wysadzinowych lub bardzo wysadzinowych. Wykonane wiercenia w podłożu do głębokości 2.0m nie wykazały występowania wody gruntowej, co upoważnia do przyjęcia warunków wodnych jako dobrych. Przyjmując powyższe założenia - grunty wasadzinowe i warunki wodne dobre otrzymamy zgodnie z [7] grupę nośności podłoża G3. Ponadto, podłoże charakteryzowało się niską nośnością o wartości wtórnego modułu odkształcenia $E_2=9\div36$ MPa oraz laboratoryjnym wskaźnikiem $CBR=4\div8\%$.

Rozpatrując przydatność podłoża w stanie naturalnym do posadowienia konstrukcji drogowej nawet o małym obciążeniu ruchem należy stwierdzić, że podłoże wymaga wzmocnienia. Założono zgodnie z [8 i 9], że podłoże powinno charakteryzować się minimalnym modułem $E_2\geq 60$ MPa lub $CBR>10\%$.

Wyniki badań laboratoryjnych gruntów stabilizowanych różnymi dodatkami przetworzonych osadów przedstawiono w tablicy 6.

5. Sprawozdanie z badań przydatności gruntu do stabilizacji zestaloną produktem z osadów porafineryjnych na terenie nawierzchni Targowiska Miejskiego w Piasecznie wraz z badaniami terenowymi odcinków doświadczalnych – załącznik nr 1 A, IBDiM, 2002; Laboratorium Geotechniki; praca zespołowa

6 PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.

7 Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych; Instytut Badawczy Dróg i Mostów, GDDP, Warszawa 1997,

8 PN-S-02205: 1998 „Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania”,

9 Mieczysław PRZYGODA Laboratorium Geotechniki IBDiM - Technologia ulepszenia położa gruntowego pod konstrukcję nawierzchni placu handlowego oraz jezdni głównych na terenie Targowiska Miejskiego w Piasecznie przy ul. Jana Pawła II.

Tablica 6 - Właściwości gruntów przeznaczonych do stabilizacji przetworzonymi osadami

Lp.	Rodzaj gruntu	Dodatek produktu w %	Wskaźnik nośności <i>CBR</i>			Wskaźnik piaskowy	Kapilarność bierna	<i>R</i> ₇	<i>R</i> ₂₈
			bezpośred- nio	po 4 dobach	po 7 dobach				
1.	Pył piaszczysty	0	3/4	-	2/2	11	190		
		2	27/30	-	43/42	17	125	0.05	0.05
		6	24/27	-	48/52	26	100	0.10	0.10
2.	Piasek gliniasty	0	7/9	-	5/4	12	195		
		3	15/18	-	50/46	20	130	0.35	0.40
		6	23/25	-	47/43	24	95	0.40	0.50
		9	24/25	-	47/45	27	65	0.50	0.50

¹⁾ pierwsza wartość oznacza *CBR* określony przy penetracji 2.5mm, druga wartość *CBR* przy penetracji 5 mm

Przekrój zaprojektowanej i wykonanej konstrukcji nawierzchni przedstawiono na rys.5

	kostka betonowa –gr. 8 cm
	podsyпка cementowo-piaskowa - gr. 4 cm
	podbudowa z kruszywa łamanego – gr. 25 cm – drogi gr. 15 cm – plac handlowy
	warstwa mrozoochronna z pospółki - gr. 15 cm
	ulepszone podłoże gruntowe z dodatkiem przetworzonych osadów - gr. 25 cm 6% produktu – drogi 3% produktu – plac handlowy
	naturalne podłoże gruntowe

Rys. 5 – konstrukcja nawierzchni placu targowego w Piasecznie

Wyniki badań gruntów ulepszonych spoiwem w postaci przetworzonych osadów przedstawiono w tablicy 7.

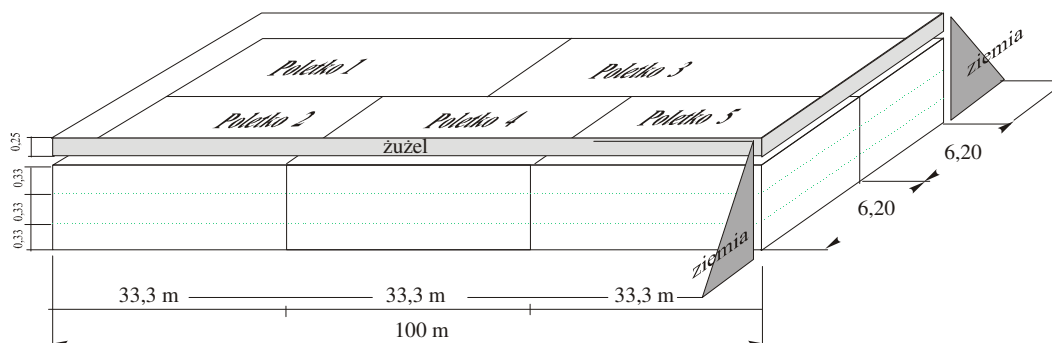
Tablica 7 – wyniki badań nośności podłoża po ulepszeniu produktem

stanowisko badawcze	RODZAJ BADANIA		
	CBR [%]	E1 / E2 [MPa]	E _{vd} [MPa]
Część handlowa targowiska (3% przetworzonego osadu)			
1	22	26 / 59	27
2	19	34 / 72	34
3	21	32 / 65	30
4	27	25 / 56	26
5	29	34 / 75	38
6	33	28 / 61	27
7	26	30 / 62	28
Wartość średnia	25	30 / 64	30
Drogi komunikacyjne (6% przetworzonego osadu)			
8	37	38 / 82	39
9	30	28 / 63	32
10	26	28 / 58	27
11	28	32 / 68	31
12	23	29 / 64	34
Wartość średnia	29	31 / 67	33

III odcinek doświadczalny wykonano z użyciem popiołów ulepszonych przetworzonymi osadami porafineryjnymi oraz jako tło porównawcze użyto spoiwa tradycyjne.

W ramach projektu wykonano nasyp o wysokości 1.0m wyniesiony ponad teren. Nasyp o wymiarach dł. 100 m i szerokość 17 m u podstawy, został zlokalizowany na składowisku popiołów Zawady należącym do E.C. Siekierki. Plan odcinka (rys.6) przewidywał zastosowanie przetworzonych osadów i spoiw porównawczych: cementu, wapna hydratyzowanego i wapna rolniczego do ulepszenia popiołów lotnych zdeponowanych na składowisku. Zastosowano następujące dodatki spoiw:

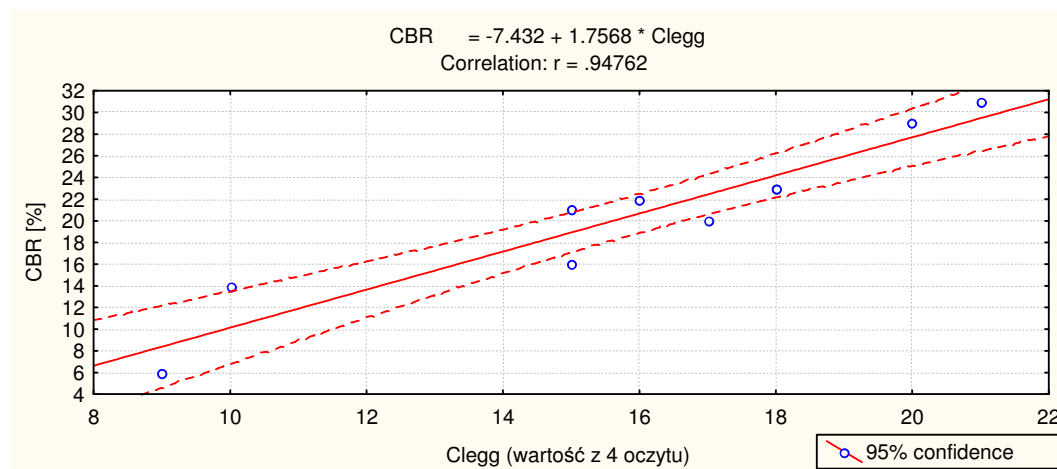
- Popiół modyfikowany przetworzonymi osadami w ilości 4 i 6%
- Popiół modyfikowany wapnem rolniczym w ilości 2%
- Popiół modyfikowany cementem w ilości 3%
- Mieszanek popiołowo-piaskowa o składzie 1/1 v/v ulepszona przetworzonymi osadami w ilości 2%.



Rys. 6 – schemat odcinka doświadczalnego na składowisku popiołów E.C. Siekierki

Badania wskaźnika *CBR* przeprowadzono przy pomocy dwóch urządzeń: impact soil tester zwany dalej testerem Clegga oraz sonda DCP. Tester Clegga [10] jest urządzeniem działającym na zasadzie dynamicznego uderzenia ciężarka o wymiarach tłoka standardowej prasy *CBR*. Uderzenie wywołuje impuls w gruncie, który jest odczytywany na skali przyrządu jako wartość uderzenia. Wg instrukcji obsługi czwarte uderzenie jest miarodajne.

Tester Clegga został wycechowany w laboratorium wg zależności korelacyjnych ze standardową metodą *CBR*. Uzyskano dobrą korelację ($r=0.95$) między danymi co upoważniło zastosowanie tej metody w terenie jako miarodajnej. Badania w terenie przeprowadzono w kilku punktach na każdej warstwie wkrótce po jej wykonaniu.



Rys. 7 - Korelacja wyników badania *CBR* i testerem Clegga dla popiołu ulepszanego przetworzonymi osadami

Sonda DCP umożliwiającą określenie wskaźnika *CBR* na różnych głębokościach posłużyła do zbadania nośności nasypu po jego wykonaniu. Na każdym poletku wykonano 1 sondowanie przez całą wysokość nasypu. Jedno badanie na poletku wynikało z faktu, że jest to metoda dość praco i czasochłonna. Wykonane sondowania dają obraz przebiegu wskaźnika *CBR* całego przekroju nasypu. Jest to istotne z uwagi na to, że nasyp poddany będzie wpływom czynników atmosferycznych, a w szczególności działaniu mrozu i wody. Czynniki te działają szczególnie destrukcyjnie na popioły.

Zastosowana metoda badania pozwoli na określenie skali wpływu tych czynników na nasyp oraz jego zachowanie w różnych okresach w czasie badań, które będą prowadzone w latach 2003 i 2004.

Pomiar wskaźnika nośności *CBR* sondą DCP opiera się na założeniu zachowania zależności pomiędzy określoną ilością uderzeń bijaka (o masie 8 kg) i wpędem żerdzi penetrującej (zakończony stożkiem o średnicy 20 mm i kącie nachylenia 60°) wg [11].

Ideą pomiaru jest zlokalizowanie (np. w nasypie) warstw podłoża charakteryzujących się zbliżonymi wartościami DCP (wpęd [mm] / 1 uderzenie) pozwalającymi na obliczenie dla każdej z nich wartości wskaźnika nośności *CBR* (z wykorzystaniem przedstawionych poniżej zależności):

metoda Kleyn and Heerden - $\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = 2.632 - 1.28 \text{ Log}_{10} \text{ DCP}$

metoda Smith and Pratt - $\text{Log}_{10}(\text{CBR}) = 2.555 - 1.145 \text{ Log}_{10} \text{ DCP}$

10 CONTROLS - Instruction manual. Impact soil tester. Cat 34-T0168/A

11Dynamic Cone Penetrometr model A2465 – Operating Instructions; Leonard Farnell & Co. Ltd. England

metoda TRRL - $\text{Log}_{10}(CBR) = 2.48 - 1.057 \text{ Log}_{10} \text{ DCP}$

Równolegle z badaniami CBR testerem Clegga prowadzono również badania nośności płytą dynamiczną $\phi=300\text{mm}$ pozwalającą na określenie dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} [12, 13, 14, 15, 16]. Zasada pomiaru polega na wygenerowaniu impulsu siłowego ciężarkiem o masie 10kg, który wywołuje naprężenie na grunt i odkształcenie. Znając wartości naprężenia i odkształcenia możliwe jest obliczenie modułu odkształcenia wg wzoru:

$$E_D = 1,5 \frac{r \cdot \sigma_D}{u_D} = \frac{22,5}{u_D}, \text{MPa}$$

gdzie:

r – promień płyty

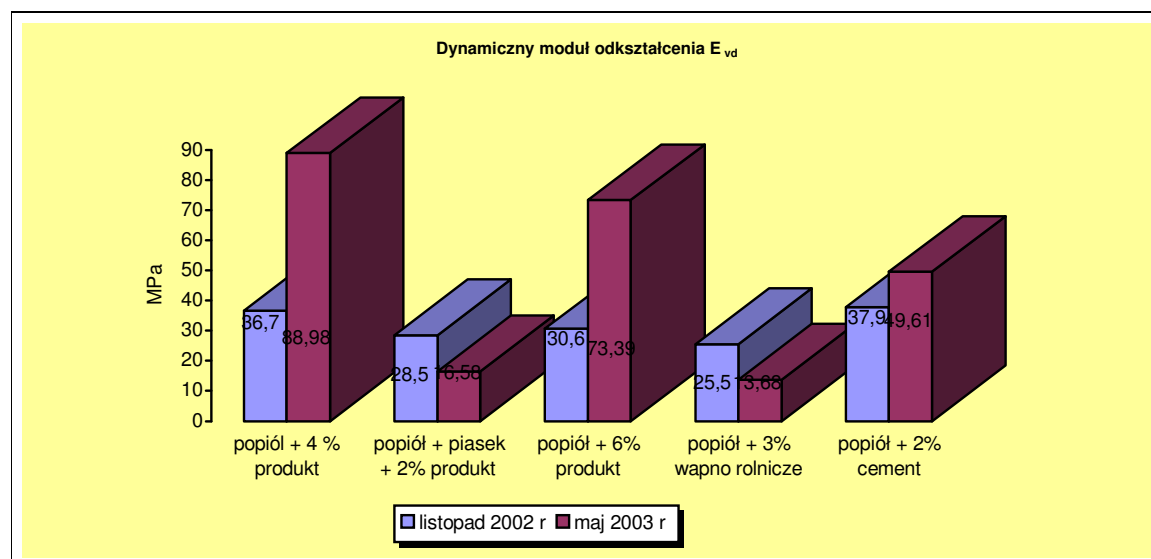
E_{vd} – dynamiczny moduł odkształcenia

σ_D – naprężenie dynamiczne pod płytą

u_D – średnie osiadanie płyty naciskowej z trzech uderzeń.

Wynik pomiaru jest podawany na wyświetlaczu przyrządu w MPa.

Poniżej na diagramach przedstawiono rozwój parametrów wytrzymałościowych w czasie.



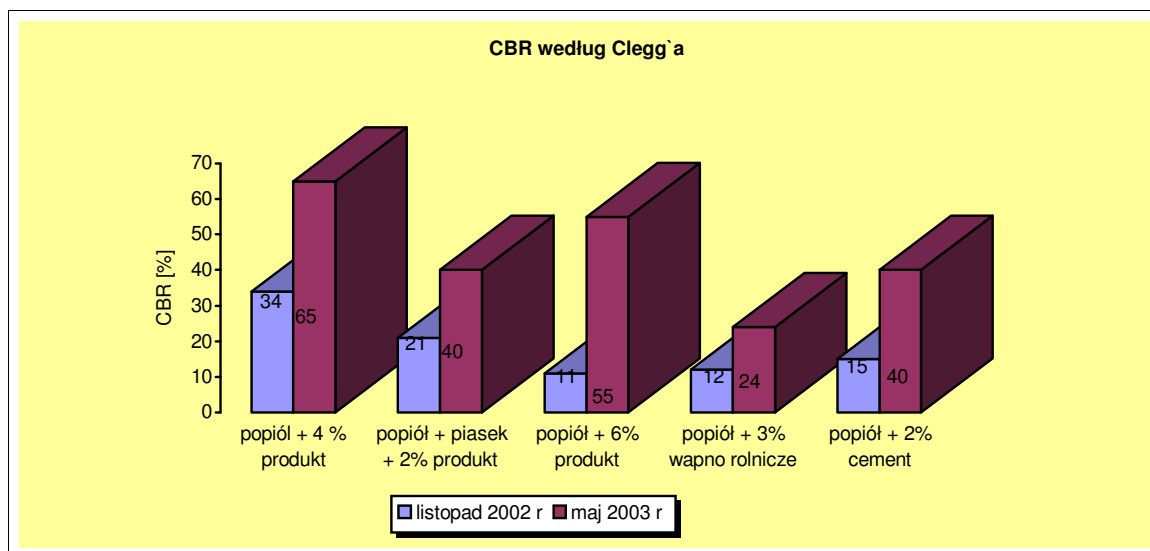
Rys. 8 - Wyniki badań dynamicznego modułu odkształcenia w różnych okresach

12 Dynamischer Platendruckversuch – Schnellprüfverfahren für die Qualitätssicherung von ungebundenen Schichten-Kudla, Floss, Trautmann – 1987,

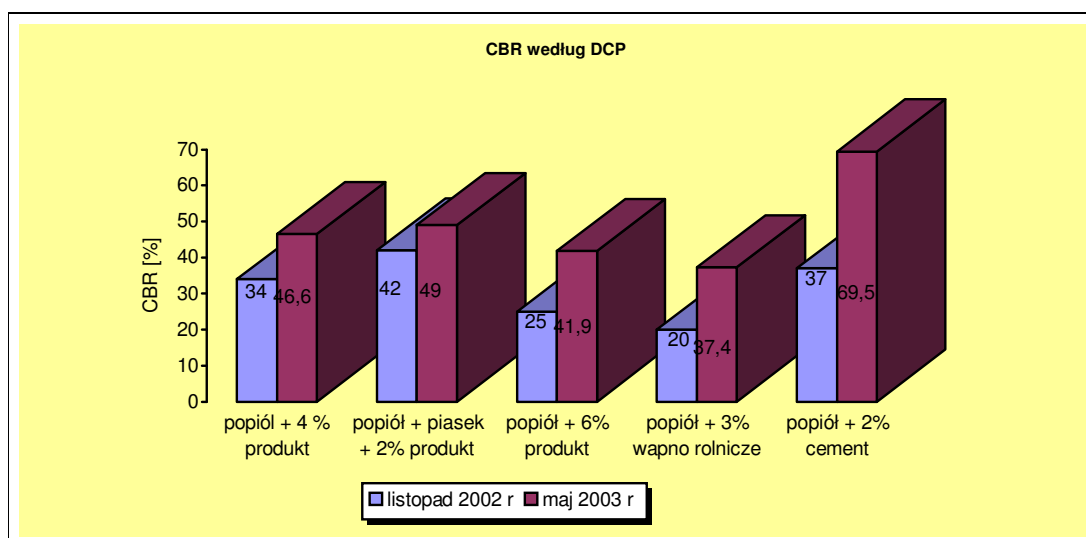
13 Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau TP BF –StB Teil B 8.3;Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des Leichten Fallgewichtsgesetzes, Ausgabe 1997

14 Metoda badania zagęszczenia podtorza za pomocą płyty obciążanej dynamicznie, L. Rafalski – Prace IBDiM zeszyt 3/1985,
15 M.J. Sulewska - „Lekki ugięciomierz dynamiczny do określania modułu odkształcenia gruntu” Zeszyty naukowe Politechniki Białostockiej”1993,

16 S.P. Glinicki, M.J. Sulewska - “Stan zagęszczenia nasypów oznaczony za pomocą ugięciomierza udarowego, XLI Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Kraków-Krynica 1995,



Rys. 9 - Wyniki badań wskaźnika *CBR* testerem Clegg'a w różnych okresach



Rys. 10 - Wyniki badań wskaźnika *CBR* sondą DCP w różnych okresach

Z powyższych analiz wynika, że przetworzony osad stanowi spoiwo do stabilizacji popiołów z węgla kamiennego i może być zamiennikiem spoiw tradycyjnych.

Badania gruntów ulepszonych dodatkami przetworzonych osadów wykazują wzrost nośności podobną jak uzyskuje się przy stabilizacji gruntów wapnem hydratyzowanym. Przeprowadzone badania wykazały skuteczność działania w gruntach spoiwych i popiołach z węgla kamiennego. Osady przetworzone wapnem palonym nie wykazują właściwości wiążących w gruntach niespoistych.

2.3 OCHRONA ŚRODOWISKA

Z uwagi na zawartość w osadach pozostałości ropopochodnych i metali ciężkich, nieprzetworzone, uwodnione osady petrochemiczne kwalifikuje się jako odpady uciążliwe i niebezpieczne.

Przy klasyfikacji odpadów należy stosować Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r. w sprawie katalogu odpadów [17,18] które wprowadza katalog odpadów i podaje metodykę ustalania kodu odpadu.

Rozporządzenie podaje:

grupy odpadów w zależności od źródła ich powstawania,

podgrupy i rodzaje odpadów oraz ich kody,

listę odpadów niebezpiecznych,

sposób klasyfikowania odpadów.

Zgodnie z ww. Rozporządzeniem nieprzetworzone osady porafineryjne zaliczyć należy do grupy odpadów niebezpiecznych o kodzie identyfikacyjnym uzależnionym od zawartości związków ropopochodnych:

05 01 09* - osady z zakładowych oczyszczalni ścieków zawierające substancje niebezpieczne i zawartości ropopochodnych do 12%,

19 08 10* - tłuszcze i mieszaniny olejów z oczyszczania ścieków o zawartości ropopochodnych do 5%.

Badania w zakresie oddziaływania przetworzonych osadów na środowisko prowadzone są przez Wydział Inżynierii Środowiska Instytutu Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Politechniki Warszawskiej. Wstępne badania [19] wykazały, że parametry wyciągu wodnego z samego produktu nie spełniają wymogów określonych w [20]. Wynika z tego wniosek, że osady przetworzone nie mogą stanowić samodzielnego materiału do zastosowań geotechnicznych, np. do budowy nasypów.

Znacznie korzystniejsze wyniki badań uzyskuje się po wymieszaniu produktu z gruntem lub popiołami z węgla kamiennego. Występuje wtedy zmniejszenie się koncentracji szkodliwych składników. Wyniki badań laboratoryjnych wymywalności wykazały, że 6 % dodatek do gruntów nie stanowi zagrożenia dla środowiska. Badania próbek wody pobranej z piezometrów zlokalizowanych w pobliżu odcinków próbnych nie wykazały zagrożenia dla środowiska nawet przy większych dodatkach przetworzonych osadów do gruntów.

2.4 PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA PRZETWORZONYCH OSADÓW PORAFINERYJNYCH W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

Powyższe wyniki badań wykazują, że przetworzony wapnem osad porafineryjny stanowić może samodzielne **spoiwo do ulepszania gruntów mineralnych i antropogenicznych**. Uzyskuje się znaczny wzrost nośności gruntów stabilizowanych przetworzonymi i trwały jej wzrost w czasie. Przetworzony osad daje porównywalne wyniki jak spoiwo tradycyjne –

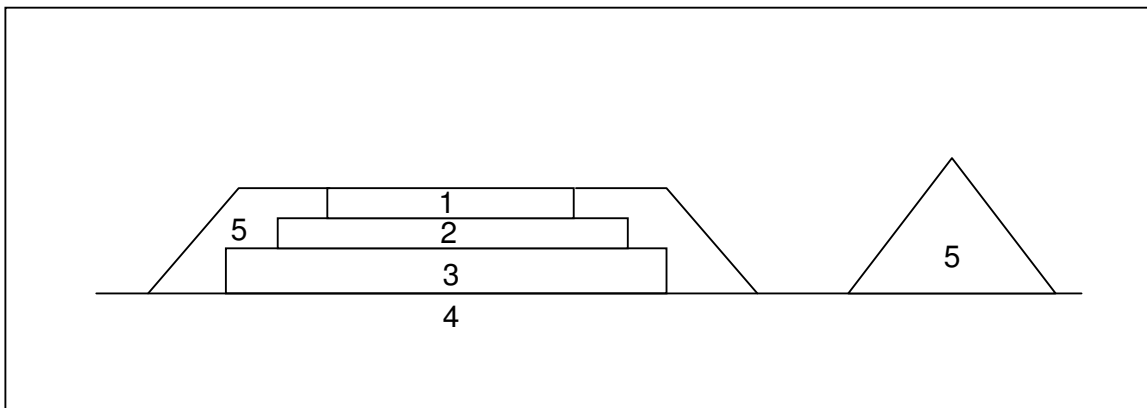
17 Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. Dz. U. Nr 62, poz. 628.

18 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206)

19 Bartkiewicz B., Obierak I. „Wstępne badania chemiczne zastosowania produktu ORTWED w budownictwie drogowym w aspekcie oddziaływania na środowisko” praca niepublikowana Politechnika Warszawska Wydział Inżynierii Środowiska 2001 r

20 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. Nr 212, poz. 1799)

wapno hydratyzowane. Z uwagi na oddziaływanie na środowisko przetworzonego osadu jego dodatek limitowany jest do max.. 10% w stosunku do masy gruntu.



Rys. 11 - Schemat konstrukcji drogowej

- 1 - warstwa ścieralna
- 2 - warstwa wiążąca
- 3 - podbudowa
- 4 - podłoże (w tym podłoże ulepszone)
- 5 - skarpy, nasypy, niwelacja terenu

Rodzaj warstwy drogowej	Możliwe wykorzystanie przetworzonych osadów porafineryjnych
warstwa ścieralna	-
warstwa wiążąca	-
Podbudowa	-
podłoże (w tym podłoże ulepszone)	+ ^{*)}
skarpy, nasypy, niwelacja terenu	+ ^{*)}

^{*)} jako stabilizator gruntów

2.5 PROPOZYCJA BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Z uwagi na możliwość zmian właściwości surowca – zaolejonych osadów porafineryjnych pochodzących z różnych rafinerii każdorazowo należy przeprowadzać rutynowe badania na mieszkankach gruntów ze spoiwem, takie jakie prowadzi się dla spoiw tradycyjnych. Równolegle należy prowadzić badania pod kątem wymywalności składników szkodliwych dla środowiska.

Jako program badawczy w kierunku zwiększenia wykorzystania przetworzonych osadów można zaproponować badania wpływu stabilizatorów chemicznych jako czynnika zmniejszającego wymywalność substancji szkodliwych, co zostało przeprowadzone i przedstawione w cz. II niniejszego opracowania.

Grupa 2 – odpady gumowe

3. ODPADY GUMOWE - POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Guma jest produktem szeroko rozpowszechnionym w naszym codziennym życiu, według danych zawartych w referacie [21], przedstawionych na Konferencji „Techniczne i ekonomiczne możliwości recyklingu gumy.” Warszawa 1999r., można wyróżnić dwie grupy złomu gumowego (odpadów gumowych). Pierwsza grupa stanowiąca ponad 70% ogólnej ilości odpadów to zużyte opony samochodowe, druga to odpady przemysłowe i taśmy przenośnikowe. Odpady te trudno zagospodarować gdyż są to kompozyty zawierające poza gumą włókno i/lub stal.

W niniejszym opracowaniu ze względu na przedstawioną wcześniej proporcje, a co za tym idzie uciążliwość dla środowiska i koszty utylizacji skupiono się głównie na możliwościach wykorzystania odpadów gumowych z opon samochodowych. Szybki rozwój motoryzacji w Polsce i innych krajach europejskich sprawia, że z ekologicznego punktu widzenia największym problemem jest zagospodarowanie zużytych opon, każdego roku w Polsce powstają do zagospodarowania odpady w postaci tysięcy zużytych opon samochodowych. Z tej ogromnej masy wartościowego materiału tylko niewielka część jest właściwie zagospodarowana. Większość zużytych opon jest magazynowana w nieekologicznych warunkach, najczęściej w stertach przysypywanych ziemią.

Bilans ilości złomu gumowego w Polsce i przewidywanej jego ilości w latach 2000 do 2005 przedstawiono w tablicy

Tablica 8 - Bilans złomu gumowego w Polsce

Rodzaj złomu gumowego	1995 r.		2000 r.		2005 r.	
	t	%	t	%	t	%
1. Zużyte opony	100336	74	114832	73	131209	72
2. Zużyte artykuły gumowe inne niż taśmy przenośnikowe i pasy pędne	13465	10	16305	10	19666	11
3. Zużyte taśmy przenośnikowe i pasy pędne	9000	7	10000	6	11000	6
4. Zużyte wyroby gumowe inne niż opony odzyskiwane przy recyklingu złomowanych samochodów	663	0,5	1326	1	1989	1
5. Odpady produkcyjne	11712	8,5	15623	10	17633	10
Razem:	135176	100	158086	100	181497	100

Na podstawie przedstawionych informacji (tablica 8) można przyjąć, że w Polsce rocznie powstaje ok. 120 000 ton zużytych opon. Należy się jednak liczyć z większym niż przewidywano wzrostem ilości zużytych opon spowodowanym dynamicznym rozwojem motoryzacji w Polsce.

Zużyte opony gumowe można poddać procesowi recyklingu materiałowemu lub wykorzystać w całości. W ramach niniejszego opracowania nie porusza się zagadnienie recyklingu energetycznego, gdyż w ramach tego procesu nie powstają produkty możliwe do wykorzystania w budownictwie drogowym. Recykling materiałowy polega na wykorzystaniu odpadów i zużytych wyrobów gumowych bezpośrednio bądź po ich odpowiednim przystosowaniu, np. poprzez sprasowanie, rozdrobnienie, regenerację, roztworzenie itp. Do tej kategorii zalicza się również metody przerobu gumy, mające na celu odzyskanie zawartych w niej surowców. [22]:

21 W. Parasiewicz, L. Pyskło, L. Ślusarski: Zagospodarowanie złomu gumowego w świetle prac wykonanych w ramach PBZ-03008. Międzynarodowa Konferencja ECO-GUMA 99 „Techniczne i ekonomiczne możliwości recyklingu gumy.” Warszawa 1999r.

22 W. Parasiewicz, L. Ślusarski: Recykling złomu gumowego w Polsce. Kongres Technologii Chemicznej. Wrocław, wrzesień 1997

1. Bieżnikowanie opon

Metoda polega na usunięciu zewnętrzną warstwę zużytej gumy a następnie nałożeniu i przywulkanizowaniu świeżej mieszanki. Uzyskany w procesie miął gumowy może być stosowany jako rozdrobniona guma do modyfikacji asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych. Istnieją dwie metody bieżnikowania „na gorąco” (starsza) i nowsza „na zimno”.

2. Rozdrobnienie zużytych wyrobów gumowych

W wyniku procesu rozdrabniania opon lub taśm przenośnikowych otrzymuje się produkt zawierający gumę, tkaninę czasami metal. Aby dalej użytkować ten produkt należy oddzielić frakcję gumową, rozsiać i ewentualnie dodatkowo rozdrabniać.

Proces rozdrabniania polega na mechanicznym cięciu i rozcieraniu. Można prowadzić go w temperaturze pokojowej lub metodą kriogeniczną z zastosowaniem ciekłego azotu.

3. Metoda kriogeniczna

Sposób zagospodarowania zużytych opon samochodowych w dużej mierze zależy od efektywności procesu rozdzielania głównych części składowych opony, t.j. gumy, stali i włókien. W temperaturze ujemnej opona zachowuje się jak kruche szkło. Łatwo można ją rozdrobnić poddając działaniu sił uderzeniowych. Następuje przy tym rozdzielanie materiału opony na gumę, włókna i stal. Taki proces rozdrabniania zwany jest kriogenicznym. Rozróżnia się dwie metody, którymi uzyskuje się granulaty o różnych wielkościach: I - granulaty uzyskuje się w temperaturze od -80 do -120 °C, II - proces przebiega w temperaturze poniżej -120 °C.

Miał gumowy pochodzący z recyklingu dodany do mieszanek gumowych na ogół pogarsza ich właściwości, dlatego trzeba stosować różne metody modyfikacji miału. Duży potencjał ma technologia dodawania miału gumowego do asfaltu i zagospodarowania w ten sposób dużej ilości odpadów gumowych.

3.1 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA – PARAMETRY

Opony i produkty odzyskane w procesie recyklingu opon różnicuje się z zachowaniem standardów użytkowych lub jakościowych, opisywanych lub identyfikowanych przez instytuty i placówki badawcze, producentów i handlowców bądź izby gospodarcze i stowarzyszenia ich grupujące. Podstawą tego rodzaju klasyfikacji są normy zwyczajowo stosowane przez te podmioty na wybranych geograficznie rynkach tych wyrobów.

Wg Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie frakcje odzyskiwane w procesie recyklingu opon, w zależności od wielkości cząstek i możliwości wykorzystania można podzielić na 4 rodzaje:

3. pył gumowy < 0,2 mm
4. miął gumowy od 0,2 do 1,0 mm
5. granulaty od 1,0 do 10 mm
6. grys > 10 mm

Guma o odpowiednim stopniu rozdrobnienia stanowi wartościowy surowiec wtórny do zagospodarowania. Jego właściwości i przydatność zależą od wielu czynników, m.in.: rodzaju gumy, metody rozdrobnienia, rozmiarów i kształtów cząstek, wielkości powierzchni właściwej, gęstości usieciowania, sposobu modyfikacji.

Innym system klasyfikacji tych produktów posługuje się Instytut Przemysłu Gumowego „STOMIL” w Piastowie. Według tej jednostki badawczej, gumę z rozdrobnionych opon dzieli się na:

7. miął gumowy /powder/ < 1,0 mm,
8. granulaty /crumb lub granulate/ od 1,0 do 15 mm,

9. grys /shred/ od 15 do 100 mm,
10. ścinki /cuts/ od 100 do 300 mm.

W obrocie handlowym istotnego znaczenia nabiera identyfikowanie rozdrobnionych opon z zachowaniem kryterium wielkości cząsteczek odzyskanych frakcji i ich możliwych zastosowań. European Tire Recycling Association – używając tego kryterium, produkt ten klasyfikuje w sposób opisany w tablicy 9.

Tablica 9 - Wielkości cząstek granulatu używanego do produkcji wybranych wyrobów.

Produkt	Wielkość cząsteczek granulatu /w mm/
Okładziny hamulców	0 – 0,6/0,8
Podkłady dywanowe i chodnikowe	0,8/0,8 - 1,6
Wykładziny	0,6 – 2,00
Formy przemysłowe	0,5 – 5
Nawierzchnie placów do gier i zabaw	1,6 – 2,5
Płyty chodnikowe i krawężniki	0 – 0,8
Ścieżki spacerowe	1,6
Podeszwy butów	0,4 – 1,6
Pola golfowe	1,6
Podkłady kolejowe, tramwajowe i pod tory metra	0,4 – 1,6

Na światowym rynku surowców odzyskanych w procesie recyklingu opon stosuje się normy, określające ich jakość, z zachowaniem kryterium wielkości cząsteczek i stopnia ich czystości. W tablicy 10 zestawiono najpowszechniej na świecie stosowane frakcje i klasy tych produktów.

Tablica 10 - Normy określające rozmiary frakcji rozdrobnionych opon [23].

Frakcja		Międzynarodowa (milimetry/mikrony)	Amerykańska (inch /mesh)	Brytyjska (milimetry/mikrony)	Francuska (milimetry/mikrony)	Niemiecka (milimetry)
-		ISO 565 (TABL 2) z 1987 r.	U.S. STD/ASTM E 11 z 1995 r.	BS 410 z 1986 r.	AFNOR NFX11-501 z 1987 r.	DIN 4188 z 1977 r.
Klasy grys	1	26,50 mm	1,06"	26,50 mm	25,00 mm	25,00 mm
	2	25,00 mm	1"	-	22,40 mm	22,40 mm
	3	22,40 mm	7/8"	22,40 mm	20,0 mm	20,00 mm
	4	19,00 mm	3/4"	19,00 mm	18,00 mm	18,00 mm
	5	16,00 mm	5/8"	16,00 mm	16,00 mm	16,00 mm
	6	13,20 mm	.530"	13,20 mm	14,00 mm	14,00 mm
	7	12,50 mm	1/2"	-	12,50 mm	12,50 mm
	8	11,20 mm	7/16"	11,20 mm	11,20 mm	11,20 mm
	9	9,50 mm	3/8"	9,50 mm	10,00 mm	10,00 mm
	10	-	-	-	9,00 mm	9,00 mm
Klasy granulatu	1	8,00 mm	5/16"	8,00 mm	8,00 mm	8,00 mm
	2	6,70 mm	.265"	6,70 mm	7,10 mm	7,10 mm
	3	6,30 mm	1/4"	-	6,30 mm	6,30 mm
	4	5,60 mm	3-1/2	5,60 mm	5,600 mm	5,60 mm
	5	4,75 mm	przesiew	4,75 mm	5,00 mm	5,00 mm
	6	-	4 przesiew	-	4,50 mm	4,50 mm
	7	4,00 mm	-	4,00 mm	4,00 mm	4,00 mm
	8	3,35 mm	5 przesiew	3,35 mm	3,55 mm	3,55 mm
	9	-	6 przesiew	-	3,15 mm	3,15 mm
	10	2,80 mm	-	2,80 mm	2,80 mm	2,80 mm
	11	2,36 mm	7 przesiew	2,36 mm	2,50 mm	2,50 mm
	12	-	8 przesiew	-	2,24 mm	2,24 mm
	13	2,00 mm	-	2,00 mm	2,00 mm	2,00 mm
	14	1,70 mm	10 przesiew	1,7 mm	1,80 mm	1,80 mm
	15	-	12 przesiew	-	1,60 mm	1,60 mm
	16	-	-	-	-	1,50 mm
	17	1,40 mm	-	1,40 mm	-	1,40 mm
	18	1,18 mm	14 przesiew	1,18 mm	1,25 mm	1,25 mm
	19	-	16 przesiew	-	-	1,20 mm
	20	-	-	-	1,12 mm	1,12 mm
	21	1,00 mm	-	1,00 mm	1,00 mm	1,00 mm
Klasy mialu gumowego	1	850 µm	20 przesiew	850 µm	900 µm	0,900
	2	-	-	-	800 µm	0,800
	3	-	-	-	-	0,750
	5	710 µm	25 przesiew	710 µm	710 µm	0,710
	6	-	-	-	630 µm	0,630
	7	600 µm	30 przesiew	600 µm	-	0,600
	8	-	-	-	560 µm	0,560
	9	500 µm	35 przesiew	500 µm	500 µm	0,500
	10	-	-	-	450 µm	0,450
	11	425 µm	40 przesiew	425 µm	-	0,430
	12	-	-	-	400 µm	0,400
	13	355 µm	45 przesiew	355 µm	355 µm	0,355
	14	-	-	-	-	0,340
	15	-	-	-	315 µm	0,315
	16	300 µm	50 przesiew	300 µm	-	0,300
	17	-	-	-	280 µm	0,280
	18	250 µm	60 przesiew	250 µm	250 µm	0,250
	19	212 µm	70 przesiew	212 µm	224 µm	0,224
	20	-	-	-	200 µm	0,200

cd. tablicy 10

Klasy pyłu gumowego	1	180 µm	80 przesiew	180 µm	180 µm	0,180
	2	-	-	-	-	0,170
	3	-	-	-	160 µm	0,160
	4	150 µm	100 przesiew	150 µm	-	0,150
	5	-	-	-	140 µm	0,140
	6	125	120 przesiew	125 µm	125 µm	0,125
	7	-	-	-	-	0,120
	8	106 µm	140 przesiew	106 µm	112 µm	0,112
	9	-	-	-	100 µm	0,100
	10	90 µm	170 przesiew	90 µm	90 µm	0,090
	11	-	-	-	80 µm	0,080
	12	75 µm	200 przesiew	75 µm	-	0,075
	13	-	-	-	71 µm	0,071
	14	-	-	-	-	0,067
	15	63 µm	230 przesiew	63 µm	63 µm	0,063
	14	53	270 przesiew	53 µm	56 µm	0,056
	15	-	-	-	50 µm	0,050
	16	45 µm	325 przesiew	53 µm	45 µm	0,045
	20	38 µm	400 przesiew	38 µm	40 µm	0,040
	21	-	-	-	36 µm	0,036
	22	32 µm	450 przesiew	32 µm	32 µm	0,032
	23	25 µm	500 przesiew	25 µm	25 µm	0,025
	24	20 µm	635 przesiew	20 µm	20 µm	0,020
	25	16 µm	-	-	-	0,016
	26	10 µm	-	-	-	0,010

3.2 IDENTYFIKACJA HANDLOWA – ASORTYMENT

Odpady powstałe z opon wycofanych z eksploatacji, dla celów handlowych, statystycznych i skarbowych, w Polsce identyfikowane są według symboli przyporządkowanym oponom nowym i importowanym wprowadzanym na krajowy rynek. Klasyfikacji tych produktów dokonuje się na podstawie i z zachowaniem zasad określonych w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 18 marca 1997 r. w sprawie Polskiej Klasyfikacji Wyrobów i Usług (Dz. U. Nr 42, poz. 264 z późn. zm.). Akt ten jest zbiorem przepisów wykonawczych do art. 40 ust. 2 ustawy z dnia 29 czerwca 1995 r. o statystyce publicznej (Dz. U. nr 88, poz. 439, z 1996 r. Nr 156, poz. 775, z 1997 r. Nr 88, poz. 554 i Nr 121, poz. 769 oraz z 1998 r. Nr 99, poz. 632 i Nr 106, poz. 668), w którym ustawodawca zobowiązał Radę Ministrów do wprowadzenia standardowych klasyfikacji i nomenklatury produktów, które są przedmiotem obrotu gospodarczego.

Opony identyfikuje się jako wyroby z sekcji D /produkty przetwórstwa przemysłowego/; podsekcji DH /wyroby z gumy i tworzyw sztucznych/; działu 25 /wyroby z gumy i tworzyw sztucznych/, grupy 25.1 /wyroby z gumy/, klasy 25.11 /opony i dętki gumowe/, kategori 25.11.1 /opony/. W ramach kategorii, wyróżnia się ich następujące podkategorie: 25.11.11 - opony nowe pneumatyczne w rodzaju stosowanych w samochodach osobowych; 25.11.12 - opony nowe pneumatyczne w rodzaju stosowanych w motocyklach i rowerach; 25.11.13 - opony nowe pneumatyczne w rodzaju stosowanych w autobusach i ciężarówkach oraz samolotach; 25.11.14 - opony do zastosowań rolniczych, inne nowe opony pneumatyczne; 25.11.15 – dętki opony pełne lub poduszkowe, wymienne bieżniki opon i ochraniacze dętek; 25.11.16 - taśmy bieżnikowe do bieżnikowania opon; 25.12.10 - opony bieżnikowane. Odrębna kategorię opon stanowią opony używane pneumatyczne o symbolu 25.11.2.

Opony w poszczególnych podkategoriach, poza klasyfikacją PKWiU, różnicuje się na następujące rodzaje: diagonalne i radialne z opasaniem tekstylnymi lub stalowym.

Opony, które importerzy oraz wytwórcy, po ich wycofaniu z eksploatacji mają obowiązek poddać odzyskowi, a w szczególności recyklingowi, ustawodawca wskazał w poz. 18 załącznika nr 4 do ustawy z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie

gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej /Dz.U. nr 63, poz. 639 ze zmianami/.

Na marginesie zasadniczego problemu należy zauważyć, że jednostkami miary opon, używanymi dla celów handlowych są sztuki /szt./, podczas, gdy producenci i importerzy oraz podmioty zajmujące się ich utylizacją, z obowiązku odzysku i recyklingu rozliczają w kilogramach /kg/.

W tablicy 11 określa się symbole identyfikacji opon stosowane w Polsce, odnosząc je do oznaczeń powiązanych z Polską Scaloną Nomenklaturą Towarową Handlu Zagranicznego /PCN/, Scaloną Nomenklaturą Towarową Handlu Zagranicznego /Combined Nomenclature – CN/, Systematycznym Wykazem WYROBÓW /SWW/, Klasyfikacją Usług /KU/ i Produktów Wspólnoty /Products of the Community – PRODCOM/.

Tablica 11- Klasyfikacja opony wg PKWiU, PCN/CPC, SWW/KU i PRODCOM.

Kategoria	Podkategoria	Nazwa grupowania	Powiązania z:		
25.11.1		Opony nowe pneumatyczne	PCN/CPC	SWW/KU	PRODCOM
	25.11.11	Opony nowe pneumatyczne w rodzaju stosowanych w samochodach osobowych	4011 10	1371-1	25.11.11.00
	25.11.13 -55.00	Opony nowe pneumatyczne używane w małych ciężarówkach o współczynniku obciążenia ≤ 121	4011 20	1372-2	25.11.13.55
	25.11.13-57.00	Opony nowe pneumatyczne używane w dużych ciężarówkach o współczynniku obciążenia ≥ 121	4011 30	1371-2x	25.11.13.57
	25.11.14 - 04	Opony nowe do kół napędzanych i sterowanych używanych w pojazdach rolniczych, leśniczych i podobnych	4011 91 10	1371-3x	25.11.14.04
	25.11.14 - 05	Opony nowe w rodzaju używanych w maszynach do robót ziemnych	4011 91 30	1371-22x	25.11.14.05
	25.11.14 - 07	Opony nowe w rodzaju stosowanych w przemyśle	4011 91 90	1371-71	25.11.14.07
	25.11.14 - 09	Opony inne nowe, gdzie indziej nie wymienione /włączając minitraktory i kultywatory napędzane silnikami/	4011 99 90	1371-79	25.11.14.09
25.11.2		Opony używane pneumatyczne	-	-	-
	25.11.20	Opony używane pneumatyczne	4006 20 10	1371x	25.11.20.00
25.12.1		Opony bieżnikowane	-	-	-
	25.12.10-30.00	Opony bieżnikowane w rodzaju używanych w samochodach osobowych	4012 10 30	1371-91	25.12.10.30
	25.12.10-50	Opony bieżnikowane w rodzaju używanych w autobusach i samochodach ciężarowych	4012 10 50	1371-92	25.12.10.50
	25.12.10-90	Opony bieżnikowane w rodzaju używanych w lotnictwie i pozostałe	4012 10 10	1371-72x	25.12.10.95B

W procesie recyklingu opon odzyskuje się granulát gumowy, któremu dla celów handlowych, w Polskiej Klasyfikacji WYROBÓW i Usług (PKWiU) przypisuje się symbol 25.13.80 – 00.00, w Polskiej Scalonej Nomenklaturze Towarowej Handlu Zagranicznego (PCN/CPC) kod 4004 00 00 0, a w Systematycznym Wykazie WYROBÓW (SWW/KU) numer porządkowy 1381 (2) – 1x.

Odpady, złom i proszek z kauczuku utwardzonego, produkty uboczne recyklingu materiałowego opon, dla tych samych celów, identyfikuje się z zachowaniem następujących symboli, kodów lub numerów porządkowych: w PKWiU symbolem 25.13.73-75.00, w PCN /CPC kodem 4017 00 19 0, w SWW/KU numerem porządkowym 1382-21 oraz w PRODCOM kodem 25.13.73.75

3.3 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ

Problem wykorzystania zużytych opon samochodowych występuje we wszystkich krajach, pierwsze historyczne zastosowanie gumy (kauczuku w postaci lateksu) miało miejsce w Cannes w 1902 rok. Pierwsze zastosowania rozdrobnionych opon samochodowych miały miejsce w latach 60-tych ubiegłego wieku, granulāt stosowano jako dodatek modyfikujący do asfaltu. Opracowano dwie technologie wprowadzania rozdrobnionej gumy do mieszanek MMA[24]: proces „na sucho” (guma zastępuje część wypełniacza w MMA oraz proces „na mokro”, w którym guma modyfikuje asfalt wykorzystywany przy produkcji MMA.

Lepszą technologią pod względem właściwości wyprodukowanej mieszanki jest technologia „na mokro”, gdyż uzyskane lepiszcze gumowo - asfaltowe umożliwia wykonanie MMA o bardzo dobrych parametrach użytkowych. Stosuje się je ponadto do powierzchniowych utrwaleń i specjalnych warstw przeciwdziałających powstawaniu spękań odbitych. Technologia ta jest niestety droższa w porównaniu z technologią „na sucho”.

Przekrój literatury światowej dotyczącej zastosowania odpadów gumowych jest bardzo szeroki, dlatego w niniejszym opracowaniu skupiono się na doświadczeniach Polskich, badania w tym kierunku prowadzili Kalabińska i Piłat [25,26], Stefańczyk i Zieliński [27] oraz Radziszewski [28].

W praktyce w ramach tematu badawczego realizowanego na zlecenie KBN wykonano dwa odcinki doświadczałne. Prace te wykonano przy współpracy z Rejonem Dróg Miejskich w Pile.

Jeden odcinek wykonano metodą „na mokro” z użyciem mieszanki typu SMA 0/12,8 mm z granulatem gumowym GM o uziarnieniu 0,1mm, z asfaltem D70 Am=4,8%. Podczas produkcji wg metody „na mokro” pobierano próbki lepiszcza gumowo-asfaltowego, badając:

- penetrację w 25, 15⁰ C,
- temperaturę mięknięcia wg PiK,
- temperaturę łamliwości wg Fraassa,
- stabilność (test tubowy 72 godz., 180°C),

Ustalono na tej podstawie, że optymalny czas modyfikacji lepiszcza gumą wg stosowanej technologii wynosi 3h, po tym okresie właściwości lepiszcza stabilizują się (wzrasta temperatura mięknięcia i obniża się penetracja).

Mieszankę SMA wykonano wg Zeszytu 49 informacje, instrukcje, IBDiM „Zasady wykonania nawierzchni z mieszanki SMA”. Wykonany odcinek miał 300 m długości i 6 m szerokości, a warstwa 4 cm grubości

Na fotografiach 2 i 3 przedstawiono prace przy wykonaniu odcinka doświadczałnego SMA. Wyniki [29] badań próbek mieszanki pobranej na wytwórni oraz z nawierzchni potwierdziły, że została ona wykonana prawidłowo. Zawartość lepiszcza asfaltowo – gumowego wynosiła około 4,8 %. Wyniki badań stabilności i odkształcenia próbek SMA metodą Marshalla oraz wyniki badań modułu sztywności pełzania zestawiono w tablicy 12[29] i 13[29].

24 Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P. - Zastosowanie gumy ze zużytych opon samochodowych do modyfikacji asfaltów drogowych, referat na Konferencję Krynica 1995,

25 Kalabińska M., Piłat J. - Reologia asfaltów i mas mineralno - asfaltowych, WKŁ, Warszawa 1982,

26 Kalabińska M., Piłat J., Smarzyńska M., Wyszyński K. - Propozycja nawierzchni na płytę ortotropową Mostu Toruńskiego w Warszawie, Przegląd Budowlany nr 12, 1981,

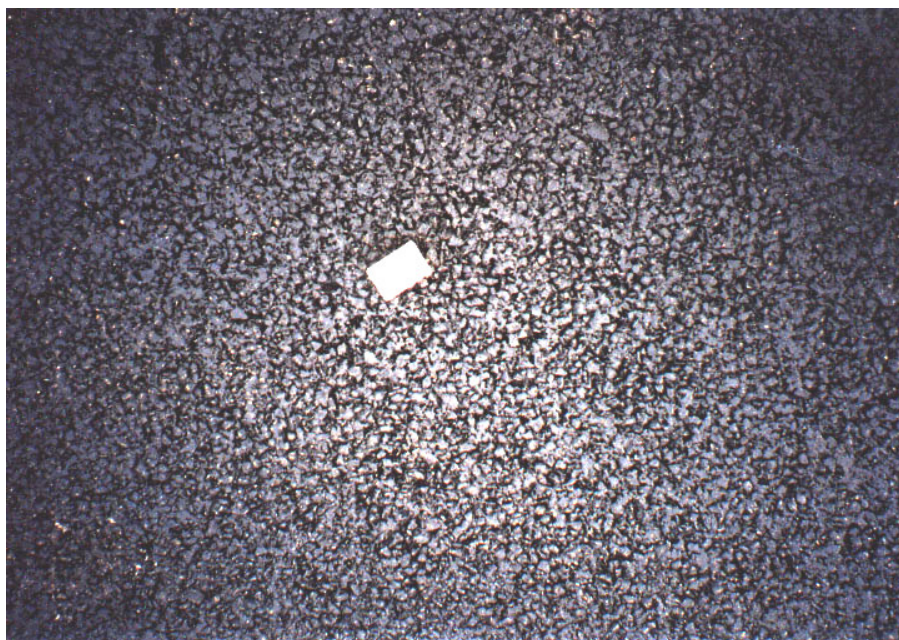
27 Stefańczyk B., Zieliński Z. - Możliwość modyfikacji asfaltu dodatkami gumy w masach zabezpieczających skarpy dużych pochyłości. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, Instytut Inżynierii Lądowej nr 46, 1975,

28 Radziszewski P. - Modyfikacja lepiszczy asfaltowych miazem gumowym, Drogownictwo nr 2, 1995,

29 Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D. – Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym, Studia i Materiały, Zeszyt 54, IBDiM, Warszawa 2002,



Fot 2. Układanie mieszanki SMA 0/12,8 mm z granulatem gumowym 0,1 mm



Fot 3. Mieszanka SMA 0/12,8 mm z granulatem gumowym 0,1 mm

Tablica 12 - Wyniki badań mieszanki SMA0/12,8 (próbka pobrana z odcinka doświadczalnego)

Lp.	Właściwość	Wynik
1.	Gęstość mieszanki mineralnej, g/cm ³	2,921
2.	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej, g/cm ³	2,600
3.	Gęstość strukturalna, g/cm ³	2,489
4.	Zawartość wolnej przestrzeni, % v/v	4,1
5.	Wolna przestrzeń wypełniona lepiszczem, %	78,5
6.	Stabilność wg Marshalla kN	5,8
7.	Odkształcenie wg Marshalla mm	3,3
8.	Sztywność kN/mm	1,8

Tablica 13 - Wyniki badania modułu sztywności (SMA z odcinka doświadczalnego)

Mieszanka	Moduł sztywności pelzania statyczne, 40°C, MPa	
	Oznaczenia	średnia
SMA0/12,8	6,5	9,6
	8,8	
	13,4	

Wyniki badań przedstawione w tablicy 12 pokazują, że próbka spełnia wymagania dla SMA 0/12,8 mm.

Drugi odcinek doświadczalny został wykonany metodą „na sucho” to fragment ścieżki rowerowej. Do jego budowy wykorzystano mieszankę o nieciągłym uziarnieniu MNU 0/6 mm z granulatem gumowym 2/7 mm 2,8% m/m, oraz z asfaltem D70 Am=6,5%.

Wykonanie odcinka doświadczalnego, metodą „na sucho” ilustrują fotografie 4 i 5. Długość odcinka wyniosła 1760 m, szerokość 2,5 m, grubość warstwy asfaltowej wyniosła 3 cm, została ona ułożona na podbudowie mineralno-asfaltowej.



Fot 4. Układanie mieszanki MNU 0/6 mm z granulatem gumowym 2/7 mm



Fot 5. Mieszanka MNU 0/6 mm z granulatem gumowym 2/7 mm

Badania laboratoryjne mieszanki o nieciągłym uziarnieniu MNU 0/6 zostały wykonane na próbkach pobranych w czasie budowy odcinka. Badanie miało na celu sprawdzenie zgodności składu wykonanej mieszanki MNU 0/6 z receptą laboratoryjną.

Wyniki badań mieszanek MNU 0/6 przeprowadzone w laboratorium IBDiM i RDM Piła wykazały zgodność mieszanki z receptą. Odcinki wykonano we współpracy IBDiM z RDM Piła: Drwasko - Szczecinek i Złotów –Święte (bardzo cienka warstwa na zniszczonej nawierzchni).

Firma Maldrobud Sp. z o. o. przy współpracy z IBDiM wykonała w listopadzie 2003 r. kolejne dwa odcinki z wykorzystaniem mieszanki z dodatkiem granulatu gumowego. Wykorzystano mieszankę o nieciągłym uziarnieniu MNU 0/6 mm z 3% granulatu gumowego frakcji 5/8 mm oraz z włóknem polimerowym, pierwszy odcinek znajduje się na ulicy 1-ego Maja, ma powierzchnię 2200 m², drugi na ulicy Gdańskiej o powierzchni 1923 m². Oba te odcinki zostały położone w cienkiej warstwie o grubości 3 cm na bardzo zniszczonej, wykazującej spękania istniejącej nawierzchni. Nawierzchnia ta stanowi warstwę zapobiegającą propagacji spękań oraz polepsza akustyczne właściwości nawierzchni.

Na podstawie przeprowadzonych badań, analiz i odcinków doświadczalnych można stwierdzić jednoznacznie, że zastosowanie mialu gumowego w drogownictwie jest możliwe i przynosi dobre efekty przy wprowadzeniu odpowiednich technologii. Stosowanie odpadów gumowych w drogownictwie powinno być częściowo współfinansowane ze środków przeznaczonych na ochronę środowiska. Można też przyjąć, że ze względów finansowych oraz problemów technologicznych łatwiejsza do wdrożenia jest metoda „na sucho”. Jest ona zalecana do ogólnego wykorzystania w zastosowaniach specjalnych np. place zabaw, ścieżki rowerowe, boiska, itd. oraz dla dróg o kategorii ruchu KR1 lub KR2 wg "Katalogu nawierzchni podatnych" [30]. Metoda „na mokro” może być zalecana do stosowania przez wybrane przedsiębiorstwa dla dróg o kategorii ruchu KR3 i niższych wg "Katalogu nawierzchni podatnych". Połączenie dodatku granulatu gumowego z np. włóknami polimerowymi pozwala zaprojektować mieszanki odpowiednie do każdej kategorii ruchu.

3.4 OCHRONA ŚRODOWISKA

3.4.1 KLASYFIKACJA ODPADÓW Z OPON

Opony, jako odpady powstałe po ich wycofaniu z eksploatacji, identyfikuje się z zachowaniem zasad i kryteriów określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. (Dz.U. nr 112, poz. 1206), akcie wykonawczym do art. 4 ust. 1 pkt 1 ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz. U. Nr 62, poz. 628 z późn. zm.). Opony zużyte zalicza się do grupy odpadów o kodzie 16 (nie ujętych w innych grupach), podgrupy 16 01 (zużytych lub nie nadających się do użytkowania pojazdów /włączając maszyny pozadrogowe/ odpady z demontażu, przeglądu i konserwacji pojazdów /z wyłączeniem grup 13 i 14 oraz podgrup 16 06 i 16 08/); rodzaju 16 01 03 (zużytych opon).

W procesie recyklingu opon, odzyskiwane są tekstylia o kodzie rodzajowym 19 12 08 (pochodzące z kordu wzmacniającego osnowę opon) i złom metali żelaznych o k. 19 12 02 (odzyskany z opasania stalowego opon). Odpady te zaliczane są do grupy 19 (odpadów z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz uzdatniania wody pitnej i wody do innych celów), podgrupy 16 12 (odpadów z mechanicznej obróbki odpadów np. obróbki ręcznej, sortowania, zgniatania, granulowania/ nie ujęte w innych grupach).

3.4.2 WPŁYW NA ŚRODOWISKO

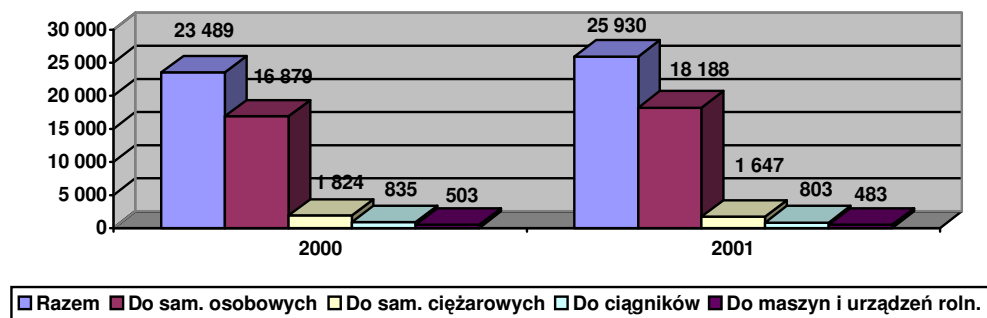
Pierwsza zasada Deklaracji Sztokholmskiej stanowi, że: Człowiek ma niepodważalne prawo do wolności, równości i odpowiednich warunków życia w środowisku [31]. Zasadę tę zwaną także zasadą ekorozwoju należy rozumieć, jako prawo i obowiązek każdego człowieka do życia i działalności w harmonii z przyrodą, nie powodującego w środowisku

30 Grupa robocza pod kierownictwem Sybilskiego D. Katalog typowych nawierzchni podatnych i półsztywnych, wydanie II, GDDP, Warszawa 1997,

31 Pod redakcją Tadeusza Borysa. Wskaźniki ekorozwoju. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. Białystok 1999 r., str. 64.

zmian zagrażających zdrowiu i życiu jakiejkolwiek formie życia na ziemi. W relacji opony a ochrona środowiska, znaczy to, iż każdy organizm żyjący na ziemi powinien bytować w środowisku, które jest także wolne od odpadów powstałych z opon wycofanych z eksploatacji.

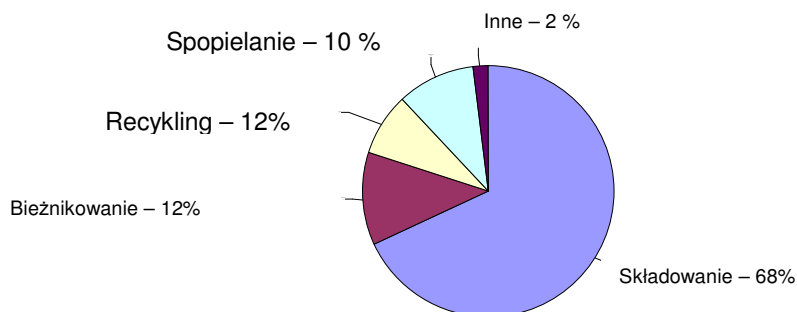
W Polsce w latach 2000/01 produkowano 23-26 mln. szt. opon. Rozmiary i strukturę wytwórczości tego rodzaju wyrobów ilustruje Rys. 12.



Rys. 12 Produkcja opon w Polsce w latach 2001 i 2002 /w tys. szt./ [32].

W tym czasie w Polsce, gospodarka odpadami powstałymi z opon, w głównej mierze polegała na ich składowaniu (obecnie jest to prawnie zabronione). Szczegółowy rozkład metod odzysku opon wycofanych z eksploatacji ilustruje Rys. 13.

Rys. 13 Udział metod odzysku opon w ich utylizacji w 2000 r w Polsce [33].



Treść Rys. 13 opisuje trendy dotyczące metod utylizacji opon użytkowych i zarazem umożliwia przewidzenie implikacji systemu zarządzania ich strumieniami dla ochrony środowiska. Dowodzi ona, że w Polsce dominującą do niedawna metodą odzysku tego rodzaju odpadów było składowanie, które, gdy jest wykonywane bez wymaganych standardów, stanowi poważne źródło zanieczyszczenia środowiska i niszczenia krajobrazu oponami beładnie pozostawionymi na skrajach lasów, parków narodowych, pól i łąk oraz zatopionymi w zbiornikach wodnych, co ilustrują niżej zamieszczone fotografie.

32 Główny Urząd Statystyczny. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2002 r., str. 383, tab. 6 (407).

33 Wyliczenia własne na podstawie danych zawartych w tab. 1.



Fot.6 Składowanie opon gumowych „na dziko” oraz w składowiskach

Destrukcyjne działanie opon na środowisko, w głównej mierze dotyczy powierzchni ziemi, zaś w mniejszym zakresie, powietrza i wody oraz ich otoczenia[343536].

Bezpośrednia destrukcja środowiska naturalnego na powierzchni ziemi dokonuje się poprzez składowanie opon wycofanych z eksploatacji na legalnych i nielegalnych składowiskach, zajmujących powierzchnię ziemi /dobra rzadkiego/. Składowanie tego rodzaju odpadów na obszarach do tego nie wyznaczonych powoduje zaśmiecanie otoczenia człowieka, w tym jego szczególnie chronione elementy: przyrodę i krajobraz.

W okresie przed wejściem w życie ustawy recyklingowi poddawano jedynie około 6-8 % opon. W czasie po wejściu w życie ustawy z dnia 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz o opłacie produktowej i opłacie depozytowej, w Polsce zaszły istotne zmiany, co do sposobów zagospodarowania odpadów powstałych z opon użytkowych. Znacząco uległy zwiększeniu moce do recyklingu i spalania opon. Zdolności do odzysku materiałowego wynoszą obecnie 27 tys. ton opon rocznie, zaś do spalania nieco ponad 30 tys. ton. Odzysk energetyczny, z jednej strony sprzyja czystości krajobrazu - z drugiej zaś, powoduje degradację środowiska naturalnego poprzez emisje do atmosfery pyłów, gazów /CO, NO_x, TOC, SO₂/ rakotwórczych dioksyn i furanów (należy zaznaczyć, że emisja wartości liczbowe emisji pyłowo gazowej są poniżej wartości dopuszczalnych) oraz nadmiaru energii, znane jako „efekt pików cieplnych” [37]. Upowszechnianie spalania opon z i bez odzysku energii, przyczynia się do wzrostu zapotrzebowania różnych gałęzi przemysłu na rzadkie zasoby natury. Szacuje się, że po upływie kolejnych 10 lat, o około 20-30% rocznie wzrośnie produkcja i zużycie opon nowych. Przyrost podaży tych wyrobów na rynek może wymuszać coraz większą ingerencję człowieka w ginące drzewostany drzew kauczukowych, źródło kauczuku naturalnego, surowca używanego do produkcji opon. Substytucja kauczuku naturalnego, kauczukiem syntetycznym jest jedynie narzędziem a nie sposobem rozwiązania tego problemu.

Degradacja powietrza powiązana jest z gospodarką oponami użytkowymi w ten sposób, że im więcej opon będzie poddawanych odzyskowi energetycznemu, a mniej recyklingowi, tym więcej gazów, pyłów, szkodliwych substancji i ciepła będzie emitowana do ekosfery. Spowoduje to, co oczywiste i obecnie powszechnie zauważalne, zmiany w świecie roślin i zwierząt.

Znane są w Polsce w otoczeniu cementowni przypadki zachwiania ekosystemów, wyginięcia wielu gatunków roślin /mikro i makro flory/ i zwierząt lub ich melanizacji.

W tym stanie rzeczy wydaje się być oczywistym, że w celu zapobiegania degradacji środowiska, należy wspierać upowszechnianie w praktyce gospodarczej bardziej proekologicznej metody odzysku opon użytkowych, którą bez wątpliwości jest recykling.

34 CEN Workshop: post-consumer tyre materials and applications REVISED 10.2.02, Appendix C: Representative examples of applications and products that utilise post-consumer tyre materials, pp 11-12

35 Berger, T.L. (1993) Artificial reef bibliography, a reference guide. > Artificial Reef Development center, 1010 Massachusetts Avenue, NW, > Washington, DC 2001.

36 Collins, K.J., Jensen, A.C., Mallinson, J.J., Mudge, S.M., Russel, A. > and Smith, I.P. (2001) Scrap tyres for marine construction: environmental > impact. In Dhir, R.K., Limbachiya, M.C. and Paine, K.A. (eds) Recycling > and Reuse of Used Tyres. Thomas Telford, London, pp 149-162.

37 Paliwa alternatywne w cementowniach należących do Górażdże Cement S.A. Opole 200 r., str.

Upowszechnianie tego rodzaju technik i technologii utylizacji opon będzie zapobiegać degradacji ograniczonych zasobów przyrody. Co ważne, zastosowanie granulatu odzyskanego w procesie recyklingu opon w budownictwie drogowym, jako surowca do produkcji asfaltów modyfikowanych gumą - Asfalt Mix, zwanego także asfaltem modyfikowanym gumą lub osuszającym, umożliwi osiągnięcie co najmniej następujących korzyści ekologicznych i ekonomicznych poprzez:

- 1) poprawę lepkości budulca, większą trwałość nawierzchni bitumiczno-gumowych od jednorodnie asfaltowych,
- 2) utrzymanie wyższej temperatury nawierzchni, ograniczenie zużycia środków chemicznych, stosowanych zimą do usuwania gołolodzie i śniegu,
- 3) zmniejszenie o 5÷7 decybeli emisji hałasu powodowanej przez pojazdy poruszające się po nawierzchni bitumiczno-gumowej,
- 4) zmniejszenie podatności na powstawanie kolein i odkształceń oraz pękanie, co powoduje, że koszty utrzymania dróg pokrytych tego rodzaju powłoką ulegną kilku/kilkunastokrotnemu obniżeniu,
- 5) zapobieganie gromadzeniu się wody poopadowej na powierzchni jezdni przez co, redukuje się rozprysk wody pod kołami pojazdów i eliminuje refleksje świetlne, oślepiające kierowców podczas jazdy w czasie i po opadach deszczu o zmroku i nocą,
- 6) większą przyczepność kół środków transportu do nawierzchni suchej i mokrej co, w znakomitej większości przypadków zapobiega poślizgowi pojazdów, poprawia bezpieczeństwo trakcyjne dróg i powoduje znaczne oszczędności w zużyciu paliwa,
- 7) redukcję emisji dwutlenku węgla przez pojazdy poruszające się po nawierzchni z dodatkiem granulatu,
- 8) zdolność do absorpcji dużych ilości granulatu odzyskanego podczas recyklingu opon.

Upowszechnienie produkcji i zastosowania mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych w budownictwie drogowym, jest pragmatycznym, w długim okresie czasu opłacalnym i efektywnym sposobem utylizacji opon użytkowych. Świadczą o tym doświadczenia tego rodzaju, wykonane na skalę przemysłową w Arizonie, zilustrowane danymi zamieszczonymi w tabelicy 14.

Tablica 14 - Korzyści finansowe i eksploatacyjne inwestycji drogowych w Arizonie [38].

Lokalizacja inwestycji	Rok realizacji	Natężenie ruchu pojazdów/roczn-ie	Roczne koszty konserwacji (USD/rocznie)		% powierzchni uszkodzonej /popękanej/	
			nawierzchni przed inwe-stycją	nawierzchni nowej/asfalto-wo gumowej	nawierzchni przed inwe-stycją	nawierzchni nowej/asfaltowo gumowej
Bullhead City	1990	220 000	1500	150	55	1
Tucson	1988	900 000	857	50	6	1
Flogstaff	1990	2 500 000	6 227	872	9	0
Pinetop	1991	190 000	2 500	650	2	1
L.House Valley	1988	90 000	4 900	980	21	6
Devil Dog	1990	1 700 000	3 667	645	2	3
Glob Us 60	1990	220 000	1 709	750	6	6
Polacca Wash	1988	43 000	2 100	510	10	2
Keams Canyon	1991	25 000	4 488	125	17	2
Stanfield	1995	500 000	1 146	40	18	0
Perryville	1995	3 200 000	2 085	0	8	0
Sedona	1995	-	8 446	150	13	0
Williams	1994	2 000 000	4 041	70	2	0
Holbrook	1996	1 900 000	3 144	400	5	0

38 Opracowanie własne na podstawie prezentacji projektów wykonanych przez Pana Georga B. Way z Arizona Department of Transport.

W latach od 1990 do 2000 dynamicznie rosła w Polsce masa odpadów wytworzonych z opon wycofanych z eksploatacji: od 57 tys. ton w 1990 r. do 114,8 tys. ton w 2000 r. W 2002 r. na rynek krajowy wprowadzono i odzyskano ich masę, ujawnioną w tablicy 15.

Tablica 15 - Masa opon wprowadzonych na rynek krajowy i odzyskanych w 2002 r.[39]

Lp.	Rodzaj produktu, z którego powstały odpady	Symbol PKWiU	Jednostka miary	Wielkość opon wprowadzonych na rynek	Poddane odzyskowi
1	opony nowe pneumatyczne w rodzaju stosowanych w samochodach osobowych	25.11.11	kg	39174558	12555854
2	opony nowe pneumatyczne używane w małych ciężarówkach o współczynniku obciążenia mniejszym lub równym 121	25.11.13-55	kg	8684219	2454001
3	opony nowe pneumatyczne używane w dużych ciężarówkach o współczynniku obciążenia większym od 121	25.11.13-57	kg	30080621	7724052
4	opony nowe do kół napędzanych i sterowanych używane w pojazdach rolniczych, leśniczych i podobnych	25.11.14-04	kg	11874302	624060
5	opony nowe w rodzaju używanych w maszynach do robót ziemnych	25.11.14-05	kg	1832061	179887
6	opony używane regenerowane (bieżnikowane) w rodzaju używanych w samochodach osobowych, bieżnikowane poza krajem	25.12.10-30.00	kg	226075	33319
7	opony używane regenerowane (bieżnikowane) w rodzaju używanych w samochodach osobowych, bieżnikowane w kraju	25.12.10-30.00	kg	686585	176237
8	opony używane regenerowane (bieżnikowane) w rodzaju używanych w autobusach i samochodach ciężarowych, bieżnikowane poza krajem	25.12.10-50	kg	836182	214527
9	opony używane regenerowane (bieżnikowane) w rodzaju używanych w autobusach i samochodach ciężarowych, bieżnikowane w kraju	25.12.10-50	kg	291638	245020
10	opony używane regenerowane (bieżnikowane) w rodzaju używanych w lotnictwie i pozostałe, bieżnikowane poza krajem	25.12.10-90	kg	41808	67538
11	opony używane regenerowane (bieżnikowane) w rodzaju używanych w lotnictwie i pozostałe, bieżnikowane w kraju	25.12.10-90	kg	6270	1584
12	opony używane nieregenerowane (niebieżnikowane) - opony używane pneumatyczne	25.11.20	kg	4916081	2349171
13	R A Z E M: opony klasyfikowane do odzysku/	-	kg	98 650 400	26 625 250
	opony (bez podziału)	bez względu na symbol PKWiU	kg	2056338	1116579
14	R A Z E M /poz. od 34 do 46/	X	kg	100 706 738	27 741 829

39 Zestawianie opracowano na podstawie danych Ministerstwa Środowiska, opublikowanych na stronach internetowych tego resortu /www.mos.gov.pl/.

Szacuje się, że w 2007 r. masa odpadów powstałych z opon użytkowych wyniesie ok. 139 tys. ton [40]. Dane statystyczne wskazują, że w 2001 r. masa odpadów powstałych z ogumienia do środków transportu, nagromadzonych na składowiskach legalnych i tzw. dzikich /hałdach, stawach osadowych, nie eksploatowanych sztolniach, pokopalnianych wyrobiskach itp./ osiągnęła 742,4 tys. ton [41]. Uwzględniając długoterminowy trend przyrostu odpadów tego rodzaju, zweryfikowany na przykładzie krajów wysoko rozwiniętych, przyjąć należy, że niebawem każdy Polak będzie corocznie wytwarzać odpad równoważny jednej oponie [42]. Jeżeli tak, to łatwo wyliczyć, że w Polsce na przełomie drugiej i trzeciej dekady bieżącego stulecia będziemy wytwarzać ponad 200 tys. ton rocznie odpadów z opon użytkowych [43].

Masa opon zużytych znacząco wzrośnie w czasie po II połowie 2003 r., od kiedy to wejdą w życie w Polsce i Unii Europejskiej przepisy o zakazie składowania opon całych, oraz po II połowie 2006 r., gdy także zostanie zakazane składowanie opon rozdrobnionych [44,45].

W stanie rzeczy przedstawionym powyżej, sprawą zasadniczą dla degradacji i ochrony środowiska staje się problem zagospodarowania „góry” odpadów powstałych z opon użytkowych. Wydaje się być oczywistym, że w Polsce i Unii Europejskiej, będzie trzeba zrewidować politykę ekologiczną i prawne instrumenty regulujące dysponowanie odpadami powstałymi z opon wycofanych z eksploatacji. Mając to na uwadze, staje się oczywistym, że nowe instrumenty zarządzania odpadami wytworzonymi z opon prowadzić powinny do osiągnięcia następujących co najmniej celów:

- unikanie degradacji środowiska naturalnego: w czasie produkcji, użytkowania i po zakończeniu cyklu życia opon, poprzez ograniczanie użycia rzadkich zasobów natury /kauczuku/, ochronę przyrody, krajobrazu, ekosfery i ekosystemu poprzez upowszechnianie takich metod ich odzysku, które będą powodować likwidację lub co najmniej ograniczenie emisji substancji, pyłów, hałasu i ciepła,
- powodowanie zachowań uczestników rynku opon w Polsce, które będzie prowadzić do upowszechniania i przyjmowania nowych standardów ekologicznych, formułowanych przez potrzeby konsumentów, prawodawstwo krajowe i wspólnotowe,
- upowszechnienia nowego podejścia do zarządzania strumieniami odpadów w Polsce, ogłoszonego w tzw. Szóstym Programie Działania Komisji Europejskiej w Zakresie Ochrony Środowiska,
- integracji Rzeczypospolitej Polskiej z Unią Europejską i przyjęcia przez nasz kraj wspólnotowych standardów ochrony środowiska,

3.5 PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADÓW GUMOWYCH Z OPON SAMOCHODOWYCH W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH

Odpady gumowe w postaci miazgi i granulatu gumowego o odpowiednim uziarnieniu można dodawać do różnych typów mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych. Warstwa wykonana z takiej mieszanki charakteryzuje się dobrymi parametrami użytkowymi. Granulat gumowy stosuje się również do wzmocnienia podłoża gruntowego, jeżeli nie istotne jest zwiększone osiadanie. Całe opony znajdują również zastosowanie przy kształtowaniu terenu (stabilizacji skarp i nasypów). Biorąc to pod uwagę można stosować odpady gumowe do:

40 Szacunki własne na podstawie danych statystycznych i trendów z nich wynikających.

41 Główny Urząd Statystyczny. Ochrona środowiska w 2002 r., str. 316, poz. 25.1.

42 Irena Gawęł. Ludomir Ślusarski. Wykorzystanie gumy z recyklingu opon do modyfikacji asfaltów. Polimery 1998, nr 5 str. 280.

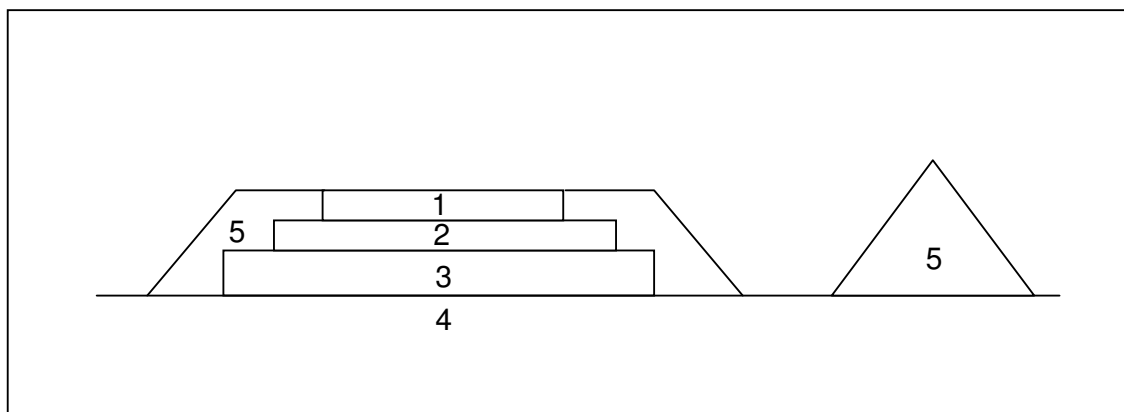
43 Wyliczenia własne.

44 Art. 43 ust 1 ustawy z dnia 27 lipca 2001 r. o wprowadzeniu ustawy – Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz o zmianie niektórych ustaw /Dz.U. nr 100, poz. 1085/ wprowadza zakaz składowania opon całych, o którym mowa w art. 55 ust. 1 pkt 5 ustawy o odpadach, od dnia 1 lipca 2003 r., natomiast art. 43 ust 2 tego aktu prawnego, zakazuje składowania części opon, o którym mowa w art. 55 ust. 1 pkt 5 ustawy o odpadach, od dnia 1 lipca 2006 r.

45 Council Directive 199/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste /OJ L 182,05/11/1999 p. 0016/.

warstw bitumicznych (1*, 2*, 3*), podłoża gruntowego (4*) oraz do utrwalania skarp i nasypów (5*).

* Oznaczenia według Rysunku 14.



Rys 14 Przyjęty schemat konstrukcji drogowej

3.6 PROPOZYCJA BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowe zostały szeroko przebadane w ramach licznych programów badawczych na całym świecie. Jako badania uzupełniające ze względu na specyfikę polskiego klimatu można zaproponować badania trwałości odporności mieszanki z dodatkiem gumy (z ukierunkowaniem na oddziaływanie wody i niskiej temperatury), oraz porównawcze badania akustyczne nowej nawierzchni wykonanej w listopadzie 2003 przez firmę Maldrobud Sp. z o. o przy współpracy z IBDiM w Myśliborzu.

Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie

**OCENA I BADANIA WYBRANYCH ODPADÓW
PRZEMYSŁOWYCH DO WYKORZYSTANIA
W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH**

**ETAP II
BADANIA UZUPEŁNIAJĄCE**

Zespół autorski:

Kierownik tematu: prof. dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI

Autor prowadzący: mgr inż. Cezary KRASZEWSKI

**oraz grupy robocze z udziałem przedstawicieli przemysłu
w składzie:**

Odpady hutnicze,

autor prowadzący: dr inż. Andrzej DUSZYŃSKI

Odpady górnicze,

autor prowadzący: inż. Piotr WILEŃSKI

Odpady budowlane,

autor prowadzący: mgr inż. Cezary KRASZEWSKI

Odpady elektryczne i ciepłownicze,

autor prowadzący: prof. dr inż. Jan PACHOWSKI

Odpady chemiczne,

autor prowadzący: mgr inż. Krzysztof MIRSKI

Warszawa, listopad 2004

1. WSTĘP

Z analiz przeprowadzonych dla każdej grupy Ubocznych Produktów Przemysłowych (UPP), co zostało przedstawione w pierwszej części opracowania zaprogramowano wykonanie badań uzupełniających w celu szerszego rozpoznania materiału i ewentualnej weryfikacji zastosowań pod względem przydatności w inżynierii komunikacyjnej.

Badania przeprowadzono dla każdej grupy odpadów oddzielnie wg poniższego programu badań:

Odpady hutnicze

Badania wyciągów wodnych; opracowanie procedur badawczych pod kątem oddziaływania odpadu na środowisko w konstrukcji drogowej. Konieczność opracowania procedury wymywalności wynika z braku istnienia metody uwzględniającej pracę materiału w konstrukcji drogowej. Zatem opracowana procedura powinna uwzględniać ten aspekt oraz powinna podawać dopuszczalne zawartości wymywalności substancji szkodliwych przy uwzględnieniu pracy materiału odpadowego w konstrukcji nawierzchni.

Odpady powęglowe

Ze względu na to, że odpady przywęglowe, zwłaszcza łupki nieprzepalone i przepalone należą do materiałów słabych pod względem mechanicznym, zmieniają one swoje właściwości podczas wbudowywania w konstrukcje drogowe. Powstaje w związku z tym pytanie, jakie właściwości w specyfikacjach technicznych powinno się przyjmować dla tego typu materiałów, przed wbudowaniem czy po wbudowaniu. W tym celu przeprowadzone zostały badania poligonowe określające zmiany cech geotechnicznych podczas zagęszczania w skali poligonowej na odcinkach doświadczalnych. Badania doświadczalne wykonano na budowie autostrady A4 w Zabrzu węzeł Sośnica i Wirek oraz na obszarze makroniwelacji terenu pod centrum handlowe w Katowicach z wykorzystaniem surowego łupka przywęglowego z KWK Kleofas.

Odpady budowlane

Dotychczas wykonane badania kruszywa betonowego wykazały, że jest to materiał mniej odporny na działanie cykli zamrażania i odmrażania w porównaniu do kruszyw naturalnych stosując standardową metodykę badań. W ramach tematu wykonano badania porównawcze cech odporności na czynniki klimatyczne – mrozoodporność kruszywa betonowego dwiema metodami wg. dotychczasowej PN oraz EN. Dodatkowo przeprowadzone będą badania wskaźnika nośności *CBR* oraz zmian uziarnienia mieszanek kruszywa betonowego poddanych cykлом zamrażania wg PN i EN co miało dać odpowiedź na pytanie, czy mniejsza odporność na mróz badana metodami tradycyjnymi dla kruszyw mineralnych wpływa niekorzystnie na właściwości mieszanki. Fakt ten wynikał z tego, że w konstrukcjach drogowych częściej stosowane są mieszanki kruszyw niż kruszywa jednofrakcyjne.

Odpady elektrowniane

Z uwagi na to, że popioły fluidalne stanowią coraz większą grupę odpadów elektrownianych, a ich udział w wykorzystaniu w budownictwie drogowym jak na razie jest marginalny przeprowadzono badania nad stosowaniem popiołów fluidalnych z E.C. Żerań jako dodatku ulepszającego grunty. Z uwagi na dotychczasowe doświadczenia popiół może stanowić jedynie dodatek a nie może być samodzielnym materiałem do zastosowań geotechnicznych w budownictwie ziemnym. Właściwości popiołów fluidalnych wskazują, że posiadają one właściwości wiążące, co można wykorzystać w stabilizacji małonośnych gruntów w budownictwie drogowym. Popiół fluidalny z E.C. Żerań został zastosowany jako stabilizator do ulepszania pęczniejącej gliny oraz pęczniejących popiołów siekierskich.

Badania przeprowadzono się pod kątem zmian wskaźnika *CBR* oraz wytrzymałości na ściskanie.

Odpady chemiczne

Popioły fluidalne ze względu na skład chemiczny wykazują właściwości pęczniejące, co ogranicza ich stosowanie jako samodzielnego materiału budowlanego. Przeprowadzono badania przetworzonego osadu porafineryjnego jako stabilizatora popiołów fluidalnych w celu zmniejszenia zmian objętościowych (pęcznienia) jakie zachodzą w procesie twardnienia.

Odpady porafineryjne przetworzone wapnem palonym mogą być stosowane w ograniczonej ilości (do 10%) ze względu wymywalność szkodliwych składników do środowiska. Dodatkowo przeprowadzono badania mające na celu zmniejszenie koncentracji szkodliwych substancji przy pomocy chemicznych stabilizatorów dostępnych na rynku wspomagających stabilizację gruntów.

2. WYNIKI BADAŃ

Wyniki przeprowadzonych badań wraz z wynikającymi z nich wnioskami przedstawiono w dalszej części opracowania.

3. ODPADY HUTNICZE - POSTĘPOWANIE DOTYCZĄCE USTALANIA WYMYWALNOŚCI SUBSTANCJI SZKODLIWYCH Z MATERIAŁÓW ODPADOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ICH PRACY W KONSTRUKCJI DROGOWEJ.

Zawarte w tym rozdziale uwagi i wymagania odnoszą się do ochrony środowiska dla odpadów pohutniczych, kruszyw sztucznych, kruszyw z recyklingu gruzu betonowego i murowego, itd. - nazywane dalej mineralnymi kruszywami z odpadów i nie dotyczą przydatności fizycznej, technicznej i chemicznej związanej z zastosowaniem kruszyw uzyskanych z tych odpadów. Nie dotyczą również składowania w odniesieniu do składowisk, dla których obowiązują odrębne przepisy.

W tej procedurze wyróżniono następujące określenia:

- mineralne kruszywa z odpadów – to kruszywa sztuczne, z żużli pohutniczych, z recyklingu gruzu betonowego i murowego, itd., które nie zawierają substancji organicznych z typu związków polimerowych i węglowodanów aromatycznych.
- przepisy ważne w miejscu stosowania kruszyw, to przepisy w sprawie ochrony środowiska naturalnego: krajowe, regionalne lub/i zgodne z załącznikiem III do dyrektywy Rady 91/689/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r.

3.1 WPROWADZENIE

W budownictwie drogowym w określonych warunkach mogą być stosowane mineralne kruszywa z odpadów. Stosowanie w budownictwie drogowym mineralnych kruszyw z odpadów wymaga następujących określeń związanych z ochroną środowiska naturalnego:

- stwierdzenia obecności niebezpiecznych substancji, tak by ich zawartości nie przekraczały granic ustalonych w postanowieniach ważnych w miejscu stosowania kruszywa,
- klasyfikacji zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych dla określonego zastosowania,
- potwierdzenia zachowania warunków recyklowalności po zakończeniu eksploatacji obiektu, w którym wbudowane są te kruszywa.

Zgodnie z *ustawą o wyrobach budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 r. (Dz. U. Nr 92, poz.881)* wraz z *późniejszymi zmianami* odpowiedzialnym za wyrób, jakimi są kruszywa jest ich producent. Producent kruszyw powinien prowadzić:

- odpowiednie badania do wykorzystywanych do produkcji kruszyw surowców,
- klasyfikację wyników badań w odniesieniu do postanowień ważnych w miejscu stosowania,
- dokumentację badań, klasyfikacji i informować klienta, gdy zawartość któregoś ze składników kruszywa przekracza granice określone w w/w postanowieniach.

Szczególnie odpowiednie postępowanie do zamierzonego zastosowania, powinno być przeprowadzane w celu sprawdzenia zgodności z wyspecyfikowanymi wymaganiami w następujących przypadkach:

- a) wykorzystywane jest nowe źródło kruszyw;
- b) wystąpiły większe zmiany w charakterystyce surowców lub procesie przeróbki, mogące wpłynąć na właściwości kruszyw.

3.2 SUBSTANCJE NIEBEZPIECZNE

Mineralne kruszywa z odpadów jako materiały pochodzenia mineralnego zawierają substancje nieorganiczne. Większość niebezpiecznych substancji określonych w przepisach polskich zazwyczaj nie występuje w kruszywach pochodzenia mineralnego stosowanych w budownictwie drogowym, poza przypadkami utylizacji substancji niebezpiecznych jako dodatku do tych kruszyw.

Jednak z uwagi na to, że odpowiedzialnym za wprowadzenie niebezpiecznych substancji jest producent kruszywa powinien on przeprowadzić stosowne badania dla swojego kruszywa. W przypadku przekroczenia zawartości substancji niebezpiecznych powinien on dołączyć odpowiednie informacje zgodne z wymaganymi przepisami krajowymi lub z załącznikiem III do dyrektywy Rady 91/689/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. w sprawie odpadów niebezpiecznych. Informacja ta, na zasadzie deklaracji, powinna zawierać rodzaj i zawartość materiałów i substancji podstawowych oraz innych niż uznane jako obojętne. Ogólnie, wytwórca odpadów, lub w domyśle, osoba odpowiedzialna za zarządzanie nimi, jest odpowiedzialna za zapewnienie poprawności takiej informacji.

3.3 PRZEKROCZENIE ZANIECZYSZCZEŃ W WYCIĄGACH WODNYCH

3.3.1 WYCIĄGI WODNE

Mineralne kruszywa z odpadów pod względem zawartości zanieczyszczeń w wyciągach wodnych powinny spełniać wymagania zawarte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz.U. 02.212.1799 z dnia 16 grudnia 2002 r.). W przypadku przekroczenia zawartości zanieczyszczeń w wyciągach wodnych producent kruszywa powinien dołączyć odpowiednie informację dotyczące zastosowania, które gwarantuje spełnienie wymagań w/w rozporządzenia zgodnie z opinią techniczną lub aprobatą techniczną.

Budownictwo drogowe pozwala na stosowanie odpadów bez ryzyka zanieczyszczenia środowiska. Uzasadnieniem tego stwierdzenia jest przede wszystkim to, że droga składa się z zagęszczonych, ulepszonych lub wzmocnionych warstw, które znajdują się w warunkach dobrego odwodnienia. Odwodnienie konstrukcji drogowej jest jednym z podstawowych warunków projektu drogi.

Ogólnie, w przypadkach przekroczeń postanowień ważnych w miejscu stosowania kruszyw, właściwe przeznaczenie oraz warunki stosowania dla oznakowania znakiem B powinna ujmować Aprobata Techniczna (AT) lub opinia techniczna dla określonego zastosowania. I wtedy kruszywo podlega systemowi oceny polegającej na deklarowaniu przez producenta zgodności z Aprobata Techniczną IBDiM lub jednostkowym dopuszczeniem do stosowania - zgodnie z powyższą ustawą o wyrobach budowlanych.

Jako jeden z elementów dla określenia zastosowania kruszyw budownictwie odpadów w budownictwie komunikacyjnym, które obejmuje budownictwo drogowe przyjmuje się opinię Państwowego Zakładu Higieny w Warszawie.

3.3.2 PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA

Szczegółowo i wyczerpująco wymagania dla promieniotwórczości naturalnej dla zastosowania kruszyw w budownictwie nie tylko drogowym ujmuje Rozporządzenie RM Dz.U.02.220.1850 z dnia 03 grudnia 2002 – w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów.

3.4 ZARZĄDZANIE PRODUKCJĄ

W przypadku występowania w mineralnych kruszywach z odpadów substancji niebezpiecznych i przekroczenia zanieczyszczeń, właściwym dla ochrony klienta jest system fabrycznej kontroli produkcji, który powinien spełniać następujące wymagania:

- a) powinien zawierać procedury dotyczące identyfikowania i kontrolowania materiałów,
- b) powinien zawierać procedury dotyczące identyfikacji i kontroli różnych materiałów niebezpiecznych (w przypadku ich występowania), mające na celu zapewnienie, że ich zawartości nie przekracza granic ustalonych w postanowieniach ważnych w miejscu stosowania kruszyw,
- c) powinien zawierać procedury kontroli prawidłowości składowania materiału oraz identyfikacji lokalizacji i zawartości składowisk,
- d) powinien zawierać procedury zapewniające, że jakość materiału pobieranego ze składowiska nie pogarsza się w takim stopniu, że jego przydatność staje się problematyczna,
- e) wyrób powinien być możliwy do zidentyfikowania pod względem pochodzenia i rodzaju aż do miejsca jego sprzedaży i wbudowania w konstrukcję.

4. ODPADY POWĘGLOWE - BADANIA ZMIAN CECH GEOTECHNICZNYCH ODPADÓW POWĘGLOWYCH PODCZAS ZAGĘSZCZANIA W SKALI POLIGONOWEJ NA ODCINKACH DOŚWIADCZALNYCH

4.1 CEL, OPIS I WYNIKI BADAŃ.

Łupki przywęglowe nieprzepsalone zwane potocznie czarnymi stanowią ilościowo największą grupę odpadów górniczych powstających w wyniku prowadzonych prac eksploatacyjnych i przeróbczych w kopalniach węgla kamiennego. Łupek surowy pobrany bezpośrednio z kopalni charakteryzuje się gruboziarnistym uziarnieniem (w którym frakcja 20-200 mm stanowi około 80% materiału) i różnym (przeważnie dużym) stopniem podatności na rozkruszenie pod wpływem czynników atmosferycznych (wody i mrozu) oraz stosowanych procesów technologicznych umożliwiających jego wykorzystanie w robotach ziemnych. Bezpośrednie zastosowanie surowych nieprzetworzonych odpadów gruboziarnistych do budowy nasypów jest znacznie utrudnione, ponieważ materiał bez wypełnienia przestrzeni międzyziarnowych jest trudny do zagęszczenia i wymaga rozdrobnienia lub zastosowania odpowiednio dobranego drobnego doziarnienia. W praktyce wystarczającym sposobem uzyskania wymaganego rozdrobnienia surowego materiału stanowić może odpowiednio przeprowadzony proces formowania poszczególnych warstw nasypu. W zależności od podatności odpadów na mechaniczne rozdrobnienie do formowania i zagęszczania nasypów mogą być stosowane alternatywne zestawy sprzętu:

- spychacz z lemieszem (podczas przemieszczania materiału w wyniku dużych oporów tarcia następuje znaczne zwiększenie zawartości frakcji żwirowej i piaskowej)
- Frezy mieszające (możliwość rozdrobnienia większych okruchów, nawilżenia i uzyskania jednorodnego pod względem uziarnienia materiału na całej grubości formowanej warstwy)
- walec okołkowany (możliwość rozdrobnienia większych okruchów oraz po włączeniu wibracji uzyskania dobrego zagęszczenia spodu formowanej warstwy i górnej części warstwy położonej pod nią)
- walec gładki (przy zastosowaniu wibracji dobre zagęszczenie szczególnie w dolnej i środkowej części zagęszczanej warstwy ale również możliwość uzyskania nadmiernego rozdrobnienia i rozgęszczenia jej powierzchni co powoduje konieczność dogęszczenia warstwy przypowierzchniowej bez wibracji)

W celu określenia zakresu możliwych do uzyskania zmian uziarnienia łupka oraz jego skutków w wyniku stosowania typowego zestawu sprzętu (walec okołkowany z wibracją oraz spycharka z lemieszem) przeprowadzono próby poligonowe. Próby zostały wykonane w czasie prowadzonych robót ziemnych (makroniwelacja terenu pod centrum handlowe w Katowicach) z wykorzystaniem surowego łupka przywęglowego z KWK Kleofas.

Przeprowadzone badania laboratoryjne i poligonowe pozwoliły na ustalenie następujących cech materiału:

- a) uziarnienie, wskaźnik różnoziarnistości, wskaźnik piaskowy i kapilarność bierna dla materiałów:
 - łupek surowy w stanie naturalnym
 - łupek po uformowaniu warstwy z użyciem spychacza (2 cykle przemieszczenia materiału)
 - łupek po wstępnym zagęszczeniu warstwy walcem wibracyjnym okołkowanym
- b) wskaźnik *CBR* i pęcznienia po nasączeniu wodą dla materiału wstępnie rozdrobnionego w warunkach laboratoryjnych po 1, 5 lub 6 cyklach zagęszczenia w cylindrze Proctora przy wilgotności optymalnej i mniejszej o 2% od optymalnej

- c) moduł odkształcenia, wskaźnik odkształcenia i wskaźnik zagęszczenia CBR pomierzone na warstwie uformowanej z zastosowaniem 2 przejść spychacza a następnie zagęszczonej 2, 4 i 6 przejściami walca VV110.

Uzyskane wyniki z badań przedstawiono w tabelach 1, 2, 3, 4 oraz na rysunku 1.

Tablica 1- Wyniki badań laboratoryjnych dla materiału w stanie naturalnym oraz rozdrobnionym na poligonie.

Stan materiału	Badana cecha				
	Wskaźnik różnoziarnistości [-]	Wskaźnik piaskowy SE [-]	Kapilarność bierna H_{kB} [m]	Zawartość węgla [%]	Energia aktywacji [kJ/mol]
Naturalny	106,5	27,6	0,09	8,6	75
Po 2 przejściach spycharki	71,0	21,5	0,28	-	-
Po zagęszczeniu przejściem walca wibracyjnego VV 110	50,1	18,4	0,57	-	-

Tablica 2 - Wyniki badań wskaźnika nośności CBR i pęcznienia dla materiału o różnej wilgotności i warunkach zagęszczenia.

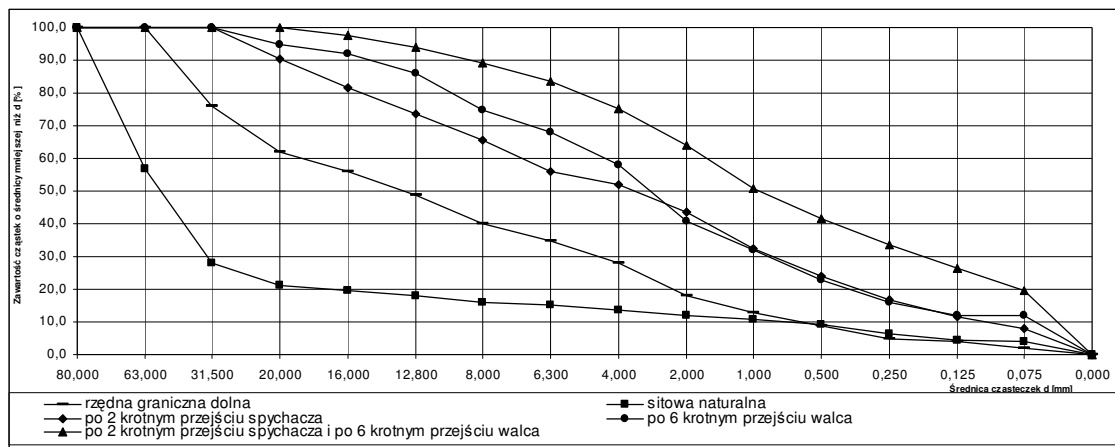
Stan materiału	CBR przy wilgotności				Pęcznienie [%]	
	2% poniżej w_{opt}		w_{opt}		Bez obciążenia	Z obciążeniem
	Bez obciążenia	Z obciążeniem	Bez obciążenia	Z obciążeniem		
Po 1 krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora	12,0	14,1	9,1	11,2	2,60	0,80
Po 5 krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora	17,6	21,4	13,9	17,7	0,90	0,72
Po 6 krotnym zagęszczeniu w aparacie Proctora	22,3	24,5	14,8	20,4	0,71	0,64

Tablica 3 - Wyniki badań polowych przeprowadzonych na uformowanej warstwie nasypu.

Stan materiału	Badana cecha				
	E_1 [MPa]	E_2 [MPa]	I_o [-]	I_s [-]	CBR (In situ) [%]
Po 2 przejściach spycharki	8	31	3,9	0,94	10,1
Po 2 przejściach spycharki + 2 przejścia walca	12	34	2,8	0,97	13,7
Po 2 przejściach spycharki + 4 przejścia walca	19	42	2,2	1,02	20,2
Po 2 przejściach spycharki + 6 przejścia walca	26	51	2,0	1,04	22,7
Po 2 przejściach spycharki + 6 przejścia walca (po 2 dniach od zagęszczenia)	35	67	1,9	-	24,6

Tablica 4 - Zmiana uziarnienia łupka z KWK Kleofas uzyskane w czasie formowania warstwy nasypu.

Wymiar sita d [mm]	Zawartość cząstek o średnicy mniejszej niż d [mm]									
	Krzywa graniczna dolna		uziarnienie naturalne		po 2 krotnym przejściu spycharki		po 2 krotnym przejściu spycharki i 6 krotnym przejściu walca wibracyjnego okołowanego		po 6 krotnym przejściu walca wibracyjnego okołowanego	
	Pozostaje	Rzędna	Pozostaje	Rzędna	Pozostaje	Rzędna	Pozostaje	Rzędna	Pozostaje	Rzędna
80,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
63,0	0,0	100,0	43,1	56,9	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
31,5	24,0	76,0	29,0	27,9	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
20,0	14,0	62,0	6,6	21,3	9,7	90,3	0,0	100,0	5,0	95,0
16,0	6,0	56,0	1,6	19,7	8,6	81,7	2,6	97,4	3,0	92,0
12,8	7,0	49,0	1,7	18,0	8,2	73,5	3,4	94,0	6,0	86,0
8,0	9,0	40,0	1,9	16,1	7,9	65,6	4,8	89,2	11,0	75,0
6,3	5,0	35,0	1,0	15,1	9,7	55,9	5,7	83,5	7,0	68,0
4,0	7,0	28,0	1,5	13,6	3,8	52,1	8,2	75,3	10,0	58,0
2,0	10,0	18,0	1,4	12,2	8,4	43,7	11,2	64,1	17,0	41,0
1,0	5,0	13,0	1,3	10,9	11,3	32,4	13,2	50,9	9,0	32,0
0,500	4,0	9,0	1,7	9,2	8,3	24,1	9,3	41,6	9,0	23,0
0,250	4,0	5,0	2,8	6,4	7,4	16,7	8,1	33,5	7,0	16,0
0,125	1,0	4,0	1,8	4,6	5,2	11,5	7,1	26,4	4,0	12,0
0,075	2,0	2,0	0,7	3,9	3,4	8,1	6,7	19,7	0,0	12,0
0,000	2,0	0,0	3,9	0,0	8,1	0,0	19,7	0,0	12,0	0,0



Rys.1 Zmiany uziarnienia łupka z KWK Kleofas uzyskana przy formowaniu nasypu.

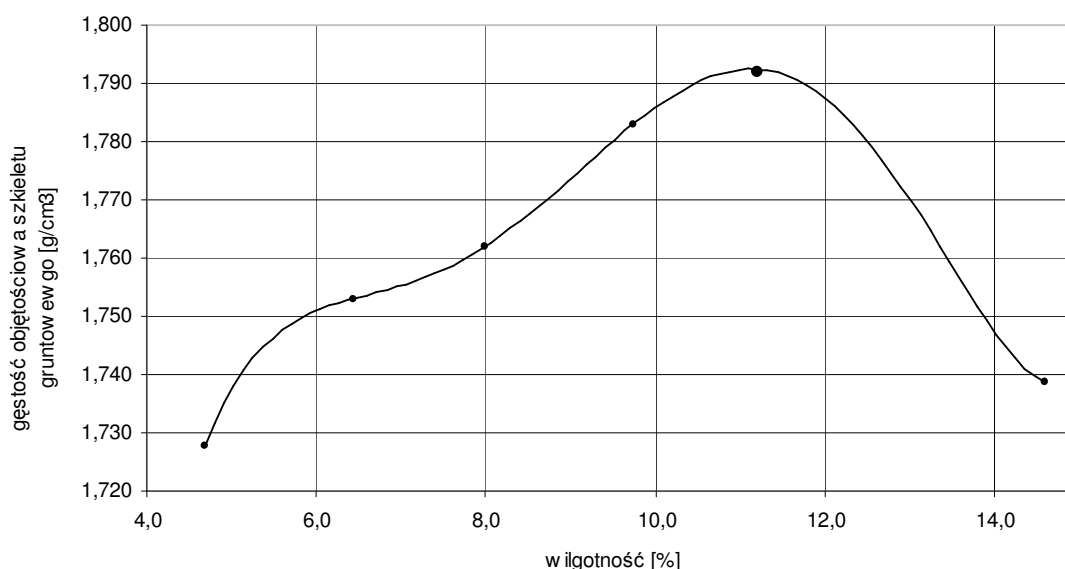
Wykorzystany do badań poligonowych łupek surowy z KWK Kleofas charakteryzował się również następującymi właściwościami:

- maksymalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego 1,792 g/cm³ i wilgotnością optymalną 11,2% rys.2
- zawartością węgla 8,6% oraz tzw. Energią Aktywacji 75 kJ/mol, co pozwala zaliczyć go do I grupy o bardzo małej skłonności do samozapłonu wg PN-G-04558 [1]

1 PN-G-04558 „Węgiel kamienny. Oznaczanie wskaźnika samozapalności”.

Tablica 5 - Podział węgla wg skłonności do samozapalenia wg PN-G-04558.

Wskaźnik samozapalności S_z^n °C/min	Energia aktywacji A kJ/mol	Grupa samozapalności	Ocena skłonności węgla do samozapalenia
Do 80	Powyżej 67	I	Węgiel o bardzo małej skłonności do samozapalenia
	Powyżej 47 do 67	II	Węgiel o małej skłonności do samozapalenia
	Poniżej 47	III	Węgiel o średniej skłonności do samozapalenia
Powyżej 80 do 100	Powyżej 42	IV	Węgiel o dużej skłonności do samozapalenia
	42 lub poniżej		
Powyżej 100 do 120	Powyżej 34	V	Węgiel o bardzo dużej skłonności do samozapalenia
	34 lub poniżej		
Powyżej 120	Nie normalizuje się		



Maksymalna gęstość szkieletu gruntowego pds [g/cm³]	1,792
Wilgotność optymalna w_{opt} [%]	11,2
Sprzęt pomiarowy: aparat Proctor'a - KOD G/14/S	

Rys.2 Badanie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego gęstość
wilgotności optymalnej łupka surowego gęstość KWK Kleofas.

Wykonane badania laboratoryjne i poligonowe z zastosowaniem różnych kombinacji pracy sprzętu wykorzystywanego do formowania warstw nasypu z łupka Kleofas wskazują na praktyczną możliwość uzyskania różnego stopnia rozdrobnienia materiału w tym również zbliżonego do optymalnego. Uzyskanie w warunkach jw. korzystnego uziarnienia w wyniku zastosowania właściwego sprzętu i sposobu jego pracy powinno umożliwić:

- dobre wypełnienie przestrzeni międzyziarnowych wynikające z ciągłego (dobrze ze stopniowanego) uziarnienia,
- uzyskanie dobrego i trwałego zagęszczenia.

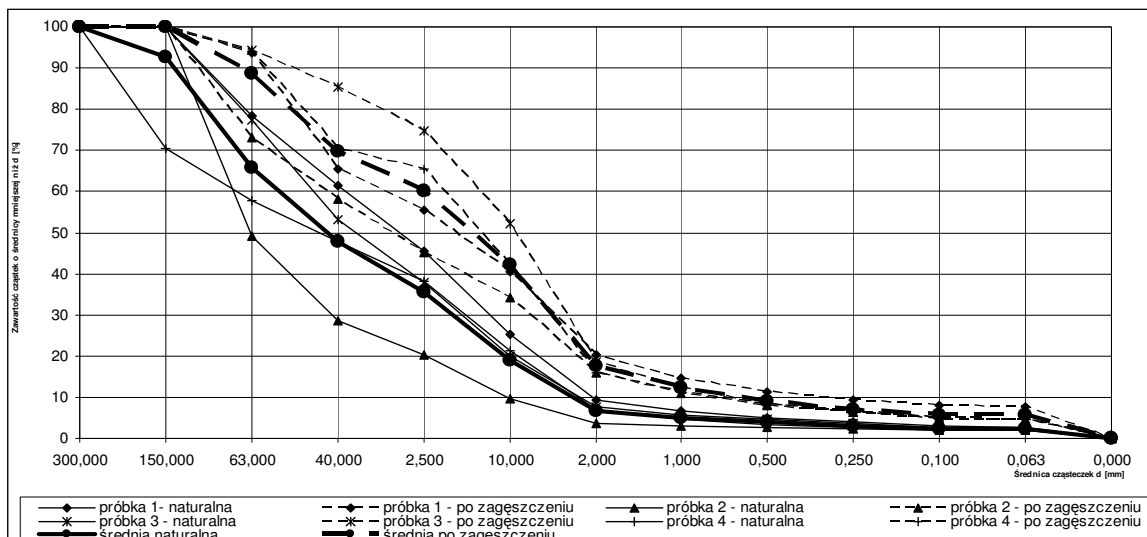
Spełnienie warunków przedstawionych powyżej pozwala na uzyskanie warstwy konstrukcyjnej nasypu o:

- zwiększonej odporności na odkształcenia spowodowane obciążeniami statycznymi i dynamicznymi oraz zmniejszenie skutków postępującej z biegiem czasu degradacji uziarnienia odpadów
- podniesionej szczelności konstrukcji, sprzyjającej zmniejszeniu infiltracji wody powodującej erozję odpadów, zwiększenie stateczności skarp i korpusu nasypu, zmniejszenie wypłukiwania i migracji szkodliwych zanieczyszczeń jak również ograniczenia możliwości samozapalenia odpadów zawierających znaczne ilości węgla

Podobne możliwości zmiany uziarnienia w czasie formowania i zagęszczania nasypów z łupka przywęglowego uzyskano również w wyniku doraźnie wykonanych badań dla potrzeb budowy autostrady A-4 odcinek Węzeł „Sośnica” – Węzeł „Wirek” realizowanego przez JV Strabag - Kirchner. Łupki nieprzepalone dostarczane były z następujących kopalni: Pokój, Sośnica, Halemba, Makoszowy i Bielszowice. Wyniki przedstawiono w tabeli 5 i na rysunku 3.

Tablica 6 - Zmiana uziarnienia łupka nieprzepalonnego z kopalni: Pokój, Sośnica, Halemba, Makoszowy i Bielszowice po zagęszczeniu uzyskana w czasie formowania nasypu na A-4.

Sita d [mm]	Numer próbki															
	1				2				3				4			
	Stan Naturalny		Po zagęszczeniu		Stan Naturalny		Po zagęszczeniu		Stan Naturalny		Po zagęszczeniu		Stan Naturalny		Po zagęszczeniu	
	pozostaje	rzędna	pozostaje	rzędna	pozostaje	rzędna	pozostaje	rzędna	pozostaje	rzędna	pozostaje	rzędna	pozostaje	rzędna	pozostaje	rzędna
300	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100
150	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	29,6	70,4	0,0	100
63,0	21,7	78,3	6,4	93,6	50,6	49,4	26,8	73,2	22,7	77,3	5,5	94,5	12,6	87,4	6,0	94
40,0	16,9	83,1	28,3	71,7	20,8	79,2	15,0	85,0	24,3	75,7	9,1	90,9	10,1	89,9	23,5	76,5
25,0	16,0	84,0	9,8	90,2	8,4	91,6	13,1	86,9	15,0	85,0	10,7	89,3	9,6	90,4	5,2	94,8
10,0	20,2	79,8	14,9	85,1	10,6	89,4	9,6	90,4	18,2	81,8	22,6	77,4	17,0	83,0	21,1	78,9
2,0	15,9	84,1	20,1	79,9	5,9	94,1	3,7	96,3	12,3	87,7	33,5	66,5	14,1	85,9	7,0	93,0
1,0	2,6	97,4	5,5	94,5	0,7	99,3	3,0	97,0	1,7	98,3	6,3	93,7	2,4	97,6	4,6	95,4
0,500	1,6	98,4	3,3	96,7	0,4	99,6	2,7	97,3	1,3	98,7	3,9	96,1	1,2	98,8	3,1	96,9
0,250	1,2	98,8	1,9	98,1	0,3	99,7	1,7	98,3	1,0	99,0	2,1	97,9	0,8	99,2	1,8	98,2
0,100	1,0	99,0	1,5	98,5	0,3	99,7	1,4	98,6	0,8	99,2	1,5	98,5	0,6	99,4	1,5	98,5
0,063	0,4	99,6	0,2	99,8	0,1	99,9	0,2	99,8	0,2	99,8	0,1	99,9	0,1	99,9	0,2	99,8
<0,063	2,5	97,5	7,7	92,3	1,9	98,1	4,8	95,2	2,5	97,5	4,7	95,3	1,9	98,1	4,8	95,2
suma	100		100		100		100		100		100		100		100	



Rys. 3 Zmiana uziarnienia łupka nieprzepalonnego z kopalni: Pokój, Sośnica, Halemba, Makoszowy i Bielszowice po zagęszczeniu uzyskana w czasie formowania nasypu na A-4 wraz ze średnią dla 4 próbek.

4.2 WNIOSKI OGÓLNE.

Wykorzystanie łupków surowych lub częściowo (niewystarczająco) przepalonych do budowy dolnych partii nasypów drogowych jest możliwe przy zastosowaniu materiału o odpowiednim uziarnieniu spełniającym warunek wypełnienia przestrzeni międzyziarnowych.

1. Kopalnie węgla kierując się rachunkiem ekonomicznym proponują do odbioru w pierwszej kolejności łupki przywęgłowy o uziarnieniu do 250 mm pochodzący bezpośrednio z płuczki węglowej pozbawiony praktycznie części drobnych. Utylizacja tego rodzaju materiału pozwala na zmniejszenie kosztów funkcjonowania kopalń związanych z transportem, formowaniem i kosztownym (opłaty ekologiczne) składowaniem materiałów na hałdach, utrudnia jednak ich gospodarcze wykorzystanie.
2. Poprawę uziarnienia łupka jw. umożliwiające jego wykorzystanie do budowy nasypów uzyskać można w wyniku zastosowania:
 - a) Wstępnego przesezonowania niezagęszczonych odpadów na wolnym powietrzu, podczas którego w wyniku naturalnego lub celowo stosowanego nawilgocenia występuje przyspieszona erozja składowanych odpadów i degradacja ich uziarnienia.
 - b) Mechanicznego rozdrobnienia odpadów z wykorzystaniem:
 - Zestawu maszyn kruszarka sortownik.
 - Frezu mieszającego i rozdrabniającego stosowanego in situ do stabilizacji gruntów i recyklingu nawierzchni.
 - Zestawu typowego sprzętu do formowania (spychacza) i zagęszczania nasypów (walec okółkowy i gładki).
 - c) Doziarnienia odpadów odpowiednio dobranym pod względem rodzaju i ilości materiałem z gruntów mineralnych.
3. Wybór odpowiedniego sposobu ulepszenia odpadów umożliwiającego ich wykorzystanie powinien zależeć od właściwie przeprowadzonej oceny efektywności uzyskanego rozdrobnienia w stosunku do zastosowanego rodzaju odpadu.
4. Wybór i ocena rozwiązania umożliwiającego wykorzystanie poszczególnych rodzajów odpadów powinny być oparte o przeprowadzone z ich udziałem badania laboratoryjne jak i poligonowe.

Sposób wykonania badań i oceny wyników powinien być ustalony najlepiej w formie instrukcji lub wytycznych technicznych i uwzględniony przy opracowaniu specyfikacji ogólnych lub szczegółowych dla danego zakresu robót przewidywanych do wykonania w Projekcie Technicznym.

4.3 ZALECENIA OGÓLNE ODNOŚNIE SPOSOBU I ZAKRESU BADAŃ PRZY USTALANIU PRZYDATNOŚCI ŁUPKÓW SUROWYCH DO BUDOWY NASYPÓW DROGOWYCH.

W zależności od przewidywanych warunków wykorzystania odpadów jako substytutów gruntów mineralnych w nasypach lub podłożu drogowym istnieje potrzeba ustalenia wybranych cech materiału oraz zachodzących w nim zmian pod wpływem zagęszczenia, rozmakania w wodzie oraz ewentualnie działania wody i mrozu.

Badania laboratoryjne powinny dotyczyć następujących cech materiału:

- uziarnienie, wg PN-B-04481:1988 [2]
- wskaźnik różnoziarnistości, wg PN-B-04481:1988
- wskaźnik piaskowy, wg PN-EN 933-8:2001 [3]

² PN-B-04481:1988 „Grunty budowlane. Badania próbek gruntu”.

³ PN-EN 933-8:2001 „Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Część 8: Ocena zawartości drobnych cząstek. Badanie wskaźnika piaskowego”.

- kapilarność bierna, wg PN-B-04493:1988 [4]
- maksymalny ciężar szkieletu gruntowego, wg PN-B-04481:1988
- wilgotność optymalna, wg PN-B-04481:1988
- współczynnik filtracji, wg metodyki przedstawionej w PN-55/B-04492 (badanie prowadzone w dużym cylindrze przy zagęszczeniu $I_s \geq 1,00$) [5]
- kąt tarcia wewnętrznego, wg PN-B-04481:1988
- spójność, wg PN-B-04481:1988
- straty prażenia, wg PN-B-04481:1988
- wskaźnik nośności CBR, wg PN-S-02205:1998 Załącznik A [6]
- pęczniecie, wg PN-S-02205:1998 Załącznik A

W przypadku odpadów gruboziarnistych badania laboratoryjne cech fizyko-mechanicznych powinny być przeprowadzone w miarę możliwości z zastosowaniem aparatury wielkogabarytowej. Sposób przygotowania próbek do badań powinien uwzględniać możliwość poboru materiału świeżego lub z poletek doświadczalnych z wykorzystaniem materiału częściowo zdegradowanego w wyniku erozji (spowodowanej warunkami atmosferycznymi po różnym okresie sezonowania na wolnym powietrzu) lub rozdrobnionego w wyniku zastosowania typowych warunków załadunku, transportu, wyładunku, formowania warstwy nasypu i jej zagęszczenia.

Materiał, który będzie zabudowany w partiach nasypu narażonych na stały lub okresowy kontakt z wodą (tereny zalewowe) lub podmokłe, na działanie wody i mrozu (np. skarpy) powinien mieć również sprawdzone podstawowe cechy (np. uziarnienie, kapilarność bierną, wskaźnik piaskowy, CBR) po 1, 10, 20 i 40 dniach moczenia w wodzie ewentualnie 25 cyklach moczenia i zamrażania (spójność i kąt tarcia wewnętrznego).

4.4 PRZEWIDYWANE KIERUNKI DALSZYCH PRAC.

Opracowanie Instrukcji, Wytocznych technicznych lub Specyfikacji Technicznych określających sposób ustalania przydatności odpadów przywęglowych i warunków ich wykorzystania do budowy nasypów i podłoża drogowego.

⁴ PN-B-04493 „Grunty budowlane. Oznaczanie kapilarności biernej”.

⁵ PN-55/B-04492 „Grunty budowlane. Badanie właściwości fizycznych. Oznaczanie wskaźnika wodoprzepuszczalności”.

⁶ PN-S-02205:1998 Załącznik A "Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania".

5. ODPADY BUDOWLANE - BADANIA ODPORNOŚCI NA CZYNNIKI KLIMATYCZNE KRUSZYWA BETONOWEGO WG METODYKI STARYCH NORM PN I NOWYCH EN.

Dokonane analizy właściwości kruszywa betonowego przedstawione w cz. I sprawozdania [1] wykazały, że materiał ten jest słabszy w odniesieniu do kruszyw naturalnych przyjmując standardową metodykę badań wg dotychczasowych norm PN. Badania miały na celu ustalenie, czy w odniesieniu do kruszywa betonowego przyjmować surowe kryteria jak dla kruszyw naturalnych, czy też nie. Parametrami, które wpływają na ten stan rzeczy to przede wszystkim mniejsza mrozoodporność i większa nasiąkliwość kruszyw betonowych. Dotychczasowa metodyka badania kruszyw zakłada badania poszczególnych frakcji.

W praktyce drogowej stosuje się mieszanki kruszyw, które zdecydowanie inaczej się zachowują i wpływ czynników zewnętrznych jest inny niż w przypadku kruszyw jedno frakcyjnych. Dlatego w celach porównawczych do badań standardowych przeprowadzono badania mieszanki kruszyw poddanej cyklowi zamrażania i odmrażania.

Dodatkowo przeprowadzono badania porównawcze badań mrozoodporności wg dotychczasowej normy PN-78/B-06714/19 [2] oraz nowej PN-EN 1367-1:2001 [3]. Podjęcie badań porównawczych wynika z faktu wprowadzenia ostatnio nowych norm w Polsce dotyczących klasyfikacji kruszyw do celów drogowych. W roku 2004 wprowadzono następujące normy:

PN-EN 13043:2004 [4] oraz PN-EN 13242:2004 [5], co powoduje konieczność opracowania nowych wymagań. Nowo wprowadzone normy, to normy typowo klasyfikacyjne, nie podające wymagań jakie powinny spełniać kruszywa, tylko sposób ich klasyfikacji. Bardzo ważnym krokiem zaproponowanym w normach jest wprowadzenie kruszyw sztucznych oraz kruszyw z recyklingu, czego dotychczas w Polsce nie było. Pozwala to na traktowanie tych materiałów na równi z materiałami naturalnymi, a szeroki zakres kategorii umożliwia klasyfikację kruszyw zarówno dobrych jak również o słabszych właściwościach. Także normy dopuszczają oznaczenia poza klasowe, o parametrach deklarowanych. To projektant na podstawie klasyfikacji kruszywa dobiera, gdzie dane kruszywo może być zastosowane.

Nowe normy opierają się na normach badawczych serii EN 1097, 932, 933 oraz 1367, co oznacza konieczność stosowania nowych metod badawczych. Zatem stan aktualny jest taki, że są nowe normy dotyczące klasyfikacji kruszyw, natomiast brak jest norm podających wymagania. Z uwagi na to, że dotychczasowe wymagania opierały się na starych normach dotyczących badań kruszyw serii PN 06714, wprowadzenie nowej klasyfikacji powoduje konieczność prowadzenia badań porównawczych.

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono badania porównawcze mrozoodporności kruszywa betonowego wg dotychczasowych norm PN oraz PN-EN. Stara metoda i nowa badania mrozoodporności różnią się znacząco. Badanie wg starej metody zgodnie z PN polegało na wykonaniu 25 cykli zamrażania wilgotnego kruszywa i odmrażania w wodzie. Po zakończeniu cykli zamrażania kruszywo było odsiewane przez sito o boku oczka równemu wymiarowi dolnej frakcji badanego kruszywa, oznaczając ubytek masy.

Nowa norma PN-EN przewiduje zamiast 25 cykli zamrażania tylko 10 cykli. Dodatkowa różnica polega na tym, że kruszywo jest zamrażane i odmrażane w wodzie. Po zakończeniu zamrażania norma zaleca przesiewanie przez sito o połowę mniejsze niż wymiar dolnej frakcji badanego kruszywa. Jak widać jest to zupełnie inna metoda badawcza w stosunku do dotychczas stosowanej, a jej wyniki nie można przełożyć na dotychczasowe wymagania.

1 Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych. Etap I. Praca zespołowa, IBDiM listopad 2003 r.

2 PN-78/B-06714/19 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie mrozoodporności metodą bezpośrednią.

3 PN-EN 1367-1:2001 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1: Oznaczanie mrozoodporności.

4 PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwardzeń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu

5 PN-EN 13242:2004 Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.

Program badań kruszywa betonowego w ramach niniejszej pracy przewidywał:

- Badania mrozoodporności kruszywa betonowego na poszczególnych frakcjach wg starej normy i nowej,
- Badania zmian wskaźnika piaskowego SE [6] mieszanki kruszyw betonowych po cyklach zamrażania wg starej i nowej normy,
- Badania zmian wskaźnika nośności w_{nos} (CBR [7]) mieszanki kruszyw przed i po cyklach zamrażania wg starej i nowej normy,
- Badania nasiąkliwości kruszywa wg starej i nowej normy,
- Badania zmian uziarnienia (rozpadu ziaren w mrozie) mieszanki poddanej cyklom zamrażania.

Zaprogramowano przeprowadzenie badań mrozoodporności na poszczególnych frakcjach, jak również na mieszance kruszyw symulując pracę kruszywa w podbudowie. Parametrami decydującymi przy ocenie kruszywa betonowego są odporność na czynniki klimatyczne, czyli nasiąkliwość i mrozoodporność, które badane wg analogicznej metodyki jak dla kruszyw naturalnych wypadają niekorzystnie dla kruszywa betonowego.

5.1 CHARAKTERYSTYKA KRUSZYWA BETONOWEGO UŻYTEGO DO BADAŃ.

Kruszywo dostarczone do badań powstaje w wyniku mechanicznej przeróbki elementów betonowych takich jak: krawężniki, elementy nawierzchniowe (kostka, trelinka) oraz elementy konstrukcji budowlanych pochodzące rozbiórki. Surowiec do produkcji kruszywa betonowego jest dość zmienny i charakteryzuje się klasą wytrzymałościową od B15÷B40. Elementy betonowe są kruszone kruszarką szczękową na bazie producenta kruszywa. W procesie produkcji uzyskuje się kruszywo o uziarnieniu ciągłym frakcji 0/63mm. Materiał do badań pochodził z produkcji firmy DELTA S.A.

5.3 WYNIKI BADAŃ

Tablica 1 - Zestawienie wyników badań mrozoodporności kruszywa betonowego

Frakcja [mm]	Wynik badania	
	Badanie wg EN F [%]	Badanie wy PN M_{25} [%]
31.5/63	10.37	21.47
16/31.5	9.60	26.29
8/16	10.70	23.57
4/8	9.50	22.64
Cała mieszanka (Średnia ważona)	10.17	23.04

Tablica 2 - Zestawienie wyników badań nasiąkliwości kruszywa betonowego

Frakcja [mm]	Wynik badania	
	Badanie wg EN WA_{24} [%]	Badanie wy PN nk [%]
31.5/63	6.45	6.05
16/31.5	6.27	6.26
8/16	6.96	6.35
4/8	8.14	8.36
Cała mieszanka (Średnia ważona)	6.69	7.42

6 PN-EN 933-8 Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Część 8: Ocena zawartości drobnych cząstek. Badanie wskaźnika piaskowego.

7 PN-S-06102:1997 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.

Tablica 3 – Wyniki badania wskaźnika piaskowego mieszanki 0/63mm w stanie naturalnym oraz po cyklach zamrażania wg PN i EN

Rodzaj pielęgnacji mieszanki	Wskaźnik piaskowy <i>SE</i>
W stanie naturalnym	79
Po 10 cyklach zamrażania wg EN	81
Po 25 cyklach zamrażania wg PN	74

Tablica 4 – Wyniki badań wskaźnika nośności *CBR* mieszanki 0/31.5mm w stanie naturalnym oraz po oraz po cyklach zamrażania wg PN i EN

Rodzaj pielęgnacji mieszanki	Wskaźnik nośności <i>CBR</i> [%]	Wilgotność próbki w czasie badania [%]	Gęstość objętościowa szkieletu [g/cm ³]
W stanie naturalnym	31	8.47	1.613
Po 10 cyklach zamrażania wg EN	36	12.81	1.610
Po 25 cyklach zamrażania wg PN	37	13.37	1.615

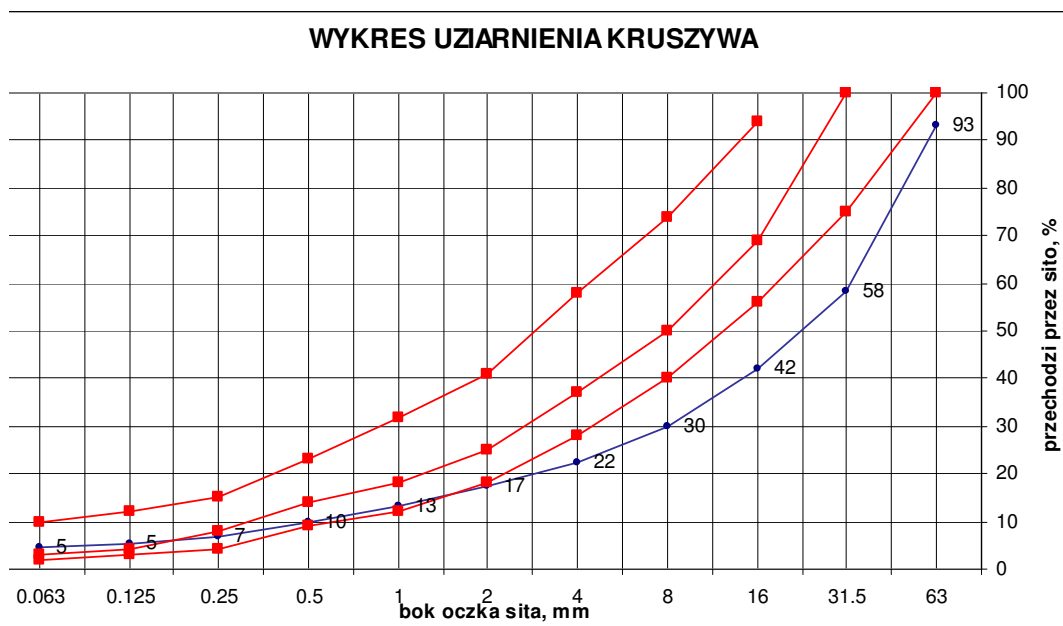
Wyniki badania uziarnienia – kruszywo betonowe 0/63mm w stanie naturalnym

Frakcja 0-63

M1 - całkowita masa sucha [kg]	45.772
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [kg]	44.232
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [kg]	1.540
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [kg]	0.0791

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Suma mas przechodzących $100 - [(Ri/M1)*100]$	Suma mas pozostających $[(Ri/M1)*100]$
[mm]	[kg]			[%]	[%]
125	0				
63	3.13	6.838	7	93	7
31.5	16.228	35.454	35	58	42
16	7.347	16.051	16	42	58
8	5.511	12.040	12	30	70
4	3.586	7.834	8	22	78
2	2.192	4.789	5	17	83
1	1.941	4.241	4	13	87
0.5	1.601	3.498	3	10	90
0.25	1.263	2.759	3	7	93
0.125	0.730	1.595	2	5	95
0.063	0.3759	0.821	1	5	95.5
suma	43.905	95.921			
P - denko	0.0791	0.173	0.2	100.0	99.0

procentowa zawartość pyłów [f]	3.5
błąd pomiaru [b%]	0.5607
	1.00



Wyniki badania uziarnienia – kruszywo betonowe 0/31.5 po odsianiu frakcji powyżej 31.5mm przed zagęszczeniem

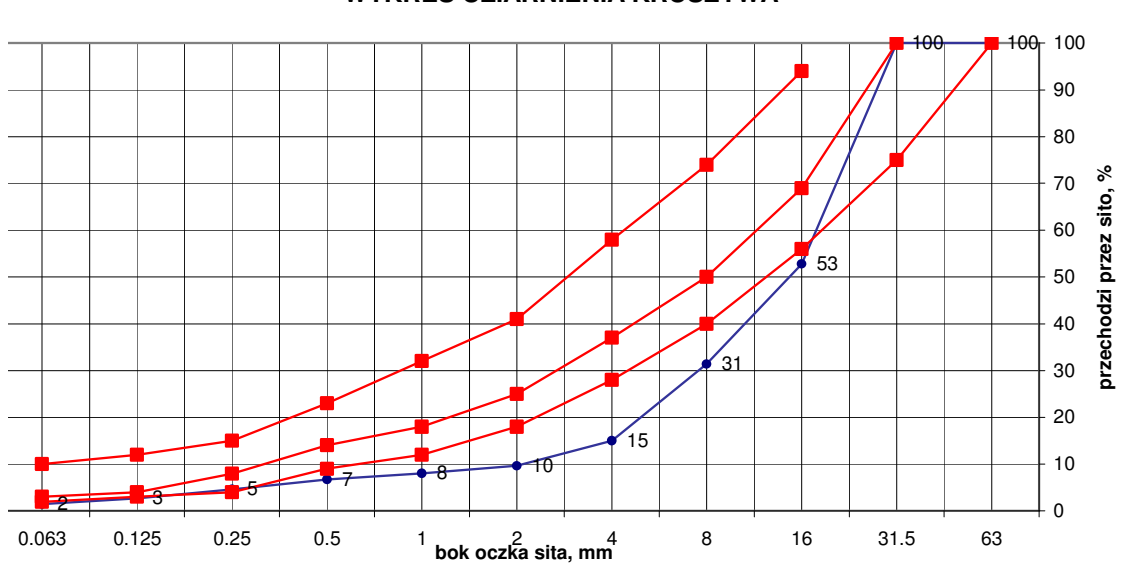
Frakcja 0-31,5

M1 - całkowita masa sucha [kg]	7.840
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [kg]	7.739
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [kg]	0.101
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [kg]	0.0104

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego $R_i / M1 \cdot 100$	Procent materiału pozostającego $R_i / M1 \cdot 100$	Suma mas przechodzących $100 - [(R_i/M1) \cdot 100]$	Suma mas pozostających $[(R_i/M1) \cdot 100]$
[mm]	[kg]			[%]	[%]
125	0				
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0	0.000	0	100	0
16	3.7	47.194	47	53	47
8	1.678	21.403	21	31	69
4	1.286	16.403	16	15	85
2	0.421	5.370	5	10	90
1	0.123	1.569	2	8	92
0.5	0.105	1.339	1	7	93
0.25	0.165	2.105	2	5	95
0.125	0.148	1.888	2	3	97
0.063	0.0959	1.223	1	2	98.5
suma	7.722	98.494			
P - denko	0.0104	0.133	0.1	100.0	100.0

procentowa zawartość pyłów [f]	1.4
błąd pomiaru [b%]	0.0866
	1.00

WYKRES UZIARNIENIA KRUSZYWA



Wyniki badania uziarnienia – kruszywo betonowe 0/31.5mm po zagęszczeniu energią normalną wg Proctora

Frakcja 0-31,5

M1 - całkowita masa sucha [kg] 3.800

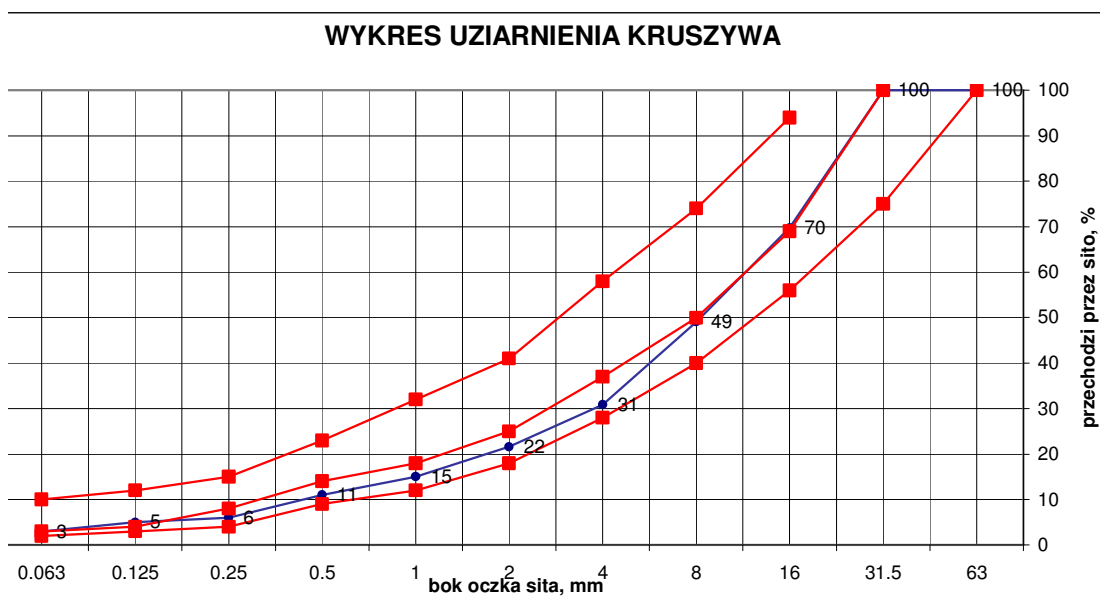
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [kg] 3.728

M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [kg] 0.072

P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [kg] 0.0420

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Suma mas przechodzących $100 - [(Ri/M1)*100]$	Suma mas pozostających $[(Ri/M1)*100]$
[mm]	[kg]			[%]	[%]
125	0				
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0	0.000	0	100	0
16	1.15	30.263	30	70	30
8	0.784	20.632	21	49	51
4	0.692	18.211	18	31	69
2	0.354	9.316	9	22	78
1	0.25	6.579	7	15	85
0.5	0.152	4.000	4	11	89
0.25	0.19	5.000	5	6	94
0.125	0.037	0.974	1	5	95
0.063	0.076	2.000	2	3	97.0
suma	3.685	96.974			
P - denko	0.0420	1.105	1.1	100.0	101.0

procentowa zawartość pyłów [f]	3.0		
błąd pomiaru [b%]	0.0268		1.00



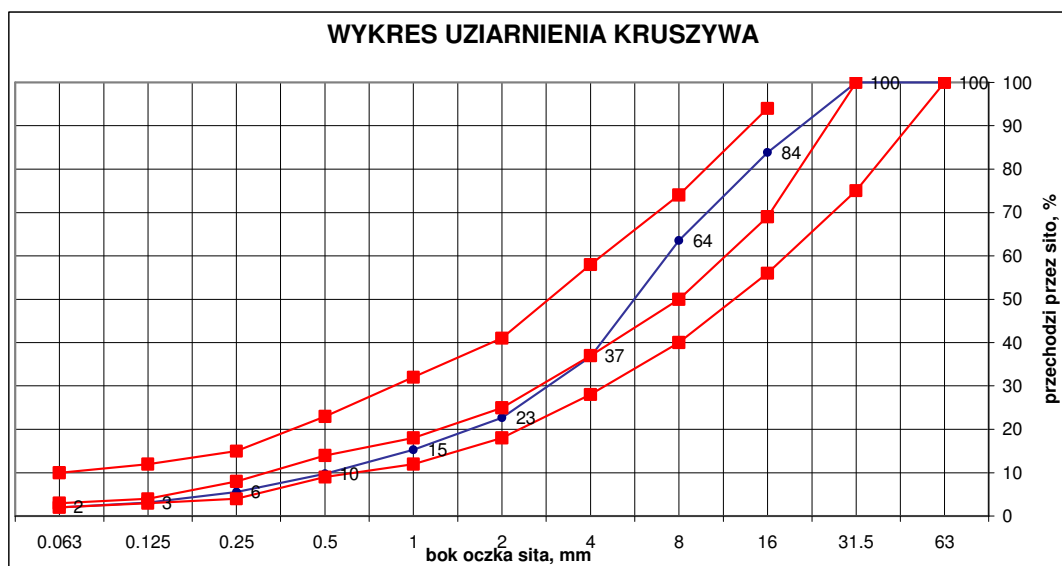
Wyniki badania uziarnienia – kruszywo betonowe 0/31.5mm po zagęszczeniu energią normalną wg Proctora i po 10 cyklach zamrażania wg normy EN

Oznaczenie próbki	
Data badania	2004-07-09

M1 - całkowita masa sucha [kg]	3.890
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [kg]	3.810
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [kg]	0.080
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [kg]	0.0038

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100]
[mm]	[kg]			[%]	[%]
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0	0.000	0	100	0
16	0.628	16.144	16	84	16
8	0.79	20.308	20	64	36
4	1.04	26.735	27	37	63
2	0.549	14.113	14	23	77
1	0.289	7.429	7	15	85
0.5	0.215	5.527	6	10	90
0.25	0.164	4.216	4	6	94
0.125	0.095	2.442	2	3	97
0.063	0.0396	1.018	1	2	97.9
suma	3.810	97.933			
P - denko	0.0038	0.098	0.1	100.0	100.0

procentowa zawartość pyłów [f]		2.2	
błąd pomiaru [b%]		-0.0892	1.00



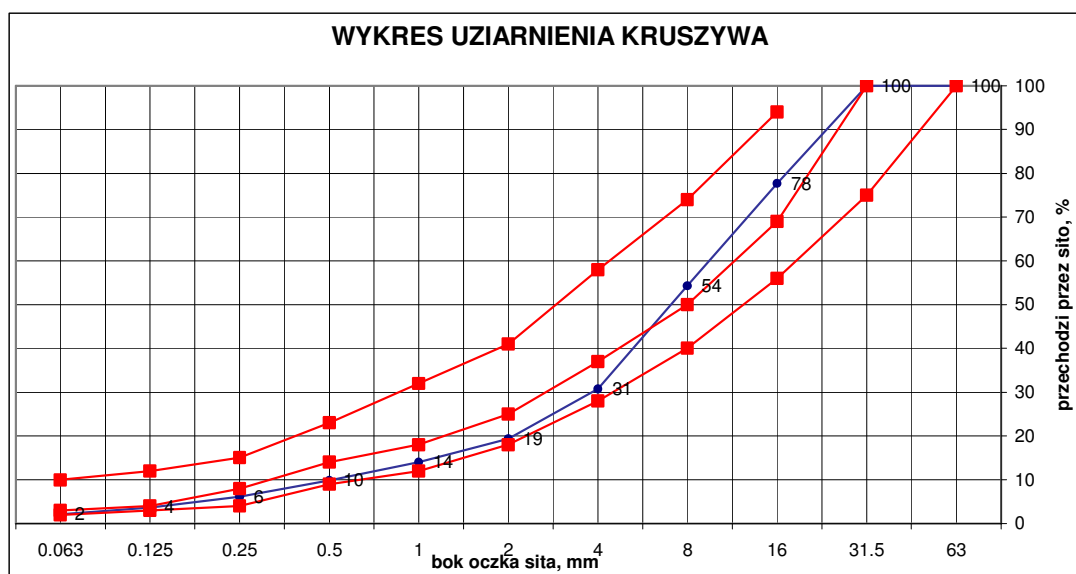
Wyniki badania uziarnienia – kruszywo betonowe 0/31.5mm po zagęszczeniu energią normalną wg Proctora i po 25 cyklach zamrażania wg normy PN

Oznaczenie próbki	
Data badania	2004-07-09

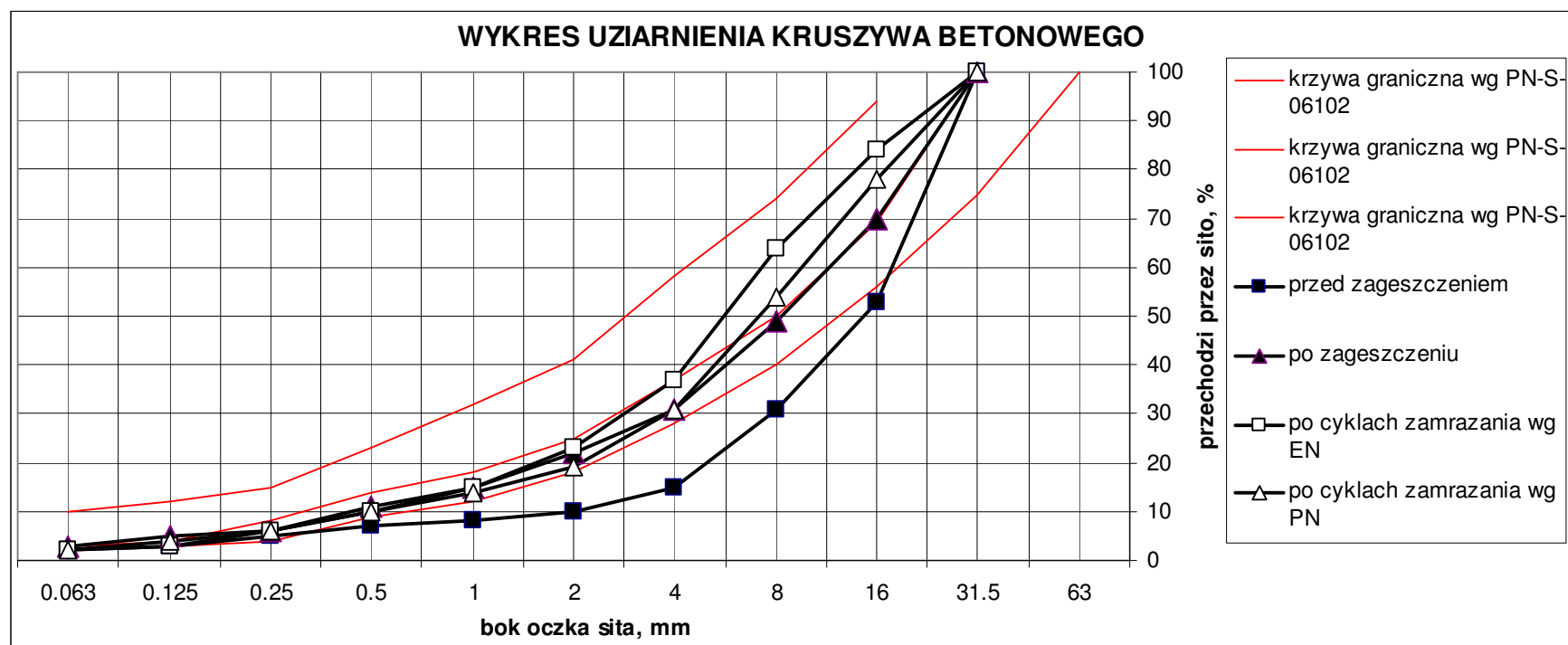
M1 - całkowita masa sucha [kg]	3.706
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [kg]	3.636
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [kg]	0.070
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [kg]	0.0073

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100]
[mm]	[kg]			[%]	[%]
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0	0.000	0	100	0
16	0.827	22.315	22	78	22
8	0.867	23.394	23	54	46
4	0.873	23.556	24	31	69
2	0.42	11.333	11	19	81
1	0.2	5.397	5	14	86
0.5	0.155	4.182	4	10	90
0.25	0.138	3.724	4	6	94
0.125	0.090	2.428	2	4	96
0.063	0.0572	1.543	2	2	97.9
suma	3.627	97.874			
P - denko	0.0073	0.197	0.2	100.0	100.0

procentowa zawartość pyłów [f]	2.1
błąd pomiaru [b%]	0.0413
	1.00



Analiza zmian uziarnienia kruszywa betonowego poddanego cykлом zamrażania i odmrażania



5.3 ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ ORAZ WNIOSKI

Analizując uziarnienie poszczególnych mieszanek kruszywa betonowego zauważa się, że jest to kruszywo słabe pod względem mechanicznym, wykazujące znaczne rozdrobnienie podczas zagęszczania. Przedstawiają to wykresy zmian uziarnienia materiału przed i po zagęszczeniu w aparacie Proctora. Potwierdza to, że w skład mieszanki wchodzi kruszywa powstałe z betonów niskich marek.

Celem badań było ustalenie zachowania się kruszywa oraz mieszanki kruszyw podczas cykli zamrażania i odmrażania stosując metodę dotychczasową wg PN oraz nową wg EN.

Jak wykazały badania mrozoodporności kruszywa uzyskano bardzo rozbieżne wyniki. Rozbieżność wynika z różnej metodyki zastosowanych metod badawczych. Ogólnie wykonując badanie wg normy EN (10 cykli zamrażania) uzyskujemy lepszą mrozoodporność (mniejsze straty o ok. 50%) niż w przypadku stosowania metodyki wg normy PN (25 cykli). Badanie wg EN wykazało mrozoodporność na poziomie 9÷11%, natomiast badanie wg PN na poziomie 21÷24%. Przyjmując dotychczas stosowane kryteria mrozoodporności oparte na normie PN, strata masy po zamrażaniu powyżej 10% oznacza dyskwalifikację kruszywa do stosowania w konstrukcjach drogowych. Otrzymujemy zatem rozbieżne wyniki z czego wynika potrzeba weryfikacji wymagań pod względem mrozoodporności kruszyw.

Mieszanka kruszywa w podbudowie zachowuje się zupełnie inaczej. Jaki wpływ mają cykle zamrażania i odmrażania na mieszankę przedstawiają badania zmian uziarnienia przed i po cyklach zamrażania oraz wskaźnik nośności CBR. Z analizy zmian uziarnienia wynika, że wpływ cykli zamrażania wg normy PN czy EN jest do siebie zbliżony. Nieznacznie większy wpływ na zmiany uziarnienia uzyskujemy przy badaniu wg metodyki EN, co zaprzecza badaniom na poszczególnych frakcjach. Należy pamiętać, że badania zmian uziarnienia w przypadku mieszanki polegają na faktycznym pomiarze rozkładu uziarnienia, a nie ubytku masy jak w przypadku badania mrozoodporności.

Przeprowadzone badania mrozoodporności dowodzą, że zmiany jakie następują w uziarnieniu mieszanki, nawet słabej, o niskiej mrozoodporności nie należą do dużych. Zmiany uziarnienia mieszczą się w zakresie zalecanego uziarnienia dla mieszanek z kruszyw stabilizowanych mechanicznie [8] Należy jednak podchodzić ostrożnie do wyników mrozoodporności przeprowadzanych wg normy EN, gdyż stosując tą metodykę badawczą uzyskujemy znacznie korzystniejsze wyniki badań. Wynika stąd wniosek, że muszą być opracowane nowe kryteria.

Cykle zamrażania i odmrażania nie wpływają na zmniejszenie nośności mieszanki, a nawet stwierdza się nawet nieznaczny jej wzrost. Oznacza to, że w czasie następuje rozwój nośności, co potwierdza występowanie szczątkowego wiązania, czyli karbonatyzacji wolnego wapnia CaO oraz hydratacji niezhydratyzowanego cementu, co opisano w [1]. Jest to zjawisko zaobserwowane w wielu badaniach [1], a rozwój nośności występuje w czasie do 2 lat.

Obserwuje się, że badane kruszywo betonowe wykazuje większe zmiany uziarnienia podczas procesu zagęszczania niż podczas cykli zamrażania i odmrażania. Wpływ mrozu nie jest tak destrukcyjny, nawet w przypadku kruszywa o niskiej mrozoodporności jakie poddano badaniom. Wynika z tego, że w przypadku mieszanek kruszyw betonowych można kryteria przyjąć mniej rygorystyczne kryteria pod względem mrozoodporności. Jakże, to należy ustalić. Występujące wiązania hydrauliczne rekompensują zmiany w uziarnieniu mieszanki. Także nowe normy dotyczące klasyfikacji kruszyw [4,5] wprowadzają szeroki zakres klas kruszywa, co pozwala na znalezienie odpowiedniego miejsca do zabudowy w konstrukcji drogowej. To projektant na podstawie cech kruszywa ustala czy dane kruszywo może być i gdzie zastosowane. Jednak na dzień dzisiejszy nie jest możliwe określenie dopuszczalnych kryteriów dotyczących mrozoodporności, co wymaga przeprowadzenia badań porównawczych wg dotychczasowych i nowych metod badawczych.

8 PN-S-06102 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.

Wpływ procesu zamrażania i odmrażania mieszanki kruszywa był badany także pod względem zmian stopnia wysadzinowości tj. badano wskaźnik piaskowy SE. Jak wykazały badania brak jest wpływu oddziaływania mrozu na zmiany wskaźnika piaskowego. Oznacza to, że materiał po cyklach zamrażania nadal jest materiałem odpornym na powstawanie wysadzin mrozowych. Jest to rezultatem tego, że podczas zamrażania nie następuje rozpad drobnych cząstek kruszywa, które wpływają na wysadzinowość materiału. Nie stwierdza się przyrostu drobnej frakcji poniżej 4 mm, natomiast obserwuje się rozpady grubszych ziaren materiału powyżej 4 mm. Jest to także niezgodne z wcześniejszymi badaniami [1], które w wielu przypadkach potwierdzały, że ziarna drobniejsze są bardziej podatne na rozdrobnienie niż grubsze podczas badania mrozoodporności na poszczególnych frakcjach. Potwierdza to, że mieszanka podczas badania zachowuje się zupełnie inaczej niż kruszywo jednofrakcyjne.

Badania nasiąkliwości kruszywa przeprowadzone wg metody zgodnej z PN i EN nie wykazały istotnych różnic. Wyniki badań nasiąkliwości są tego samego rzędu. Wynika to z tego, że w metodach badawczych nie występują różnice, poza tym, że prowadzi się badania na innych masach próbek badawczych.

6. ODPADY ENERGETYCZNE - BADANIA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH JAKO STABILIZATORA GRUNTÓW NATURALNYCH I POPIOŁÓW LOTNYCH.

6.1. WSTĘP

Rozdział 4 części I opracowania z 2003 r. dotyczący popiołów i produktów z fluidalnego spalania węgla zgodnie z planem pracy na 2004 r. uzupełnia się dodatkowymi materiałami i wynikami badań popiołów fluidalnych ze spalania węgla brunatnego (El. Turów) i z węgla kamiennego (El. Żerań).

6.1.1. CHARAKTERYSTYKA WŁASNOŚCI WIAŻĄCYCH POPIOŁÓW FLUIDALNYCH EL. TURÓW I POPIOŁÓW TRADYCYJNYCH (BEZ ODSIARCZANIA) Z WĘGLA BRUNATNEGO

Tablica 1 - Skład chemiczny popiołów fluidalnych z El. Turów

Składnik	Straty prażenia	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO*	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Zawartość w %	4,46	29,29	2,72	21,81	1,21	29,55	2,0	4,47	2,86	4,16

* w tym CaO wolnego 10,6 % co powoduje przy dodatku wody ich aktywność samowiążącą.

Tablica 2 - Skład chemiczny popiołów tradycyjnych (bez odsiarczania) z El. Turów

Składnik	Straty prażenia	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃ *	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
Zawartość w %	2,36	50,00	6,83	33,80	0,05	1,07	1,71	0,96	0,70	0,13	0,68	1,97

* brak wolnego CaO powoduje brak aktywności samowiążącej tych popiołów.

Próbki uformowane z popiołów fluidalnych (w 100 %) z El. Turów przy wilgotności optymalnej (43,6 %) zagęszczane do gęstości odpowiadającej normalnej próbie Proctora i po odpowiedniej pielęgnacji wykazały następujące wytrzymałości na ściskanie po nasyceniu wodą R_m i po 15 cyklach zamrażania i odmrażania R^{z-o} w MPa (Tablica 3). Badania prowadzono we współpracy z firmą ELTUR WAPORE Sp. z o.o.¹

Tablica 3 – Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie popiołów lotnych fluidalnych z E. Turów

R_7	R_{28}^m	R_{28}^{z-o}	R_{28}^{z-o}/R_{28}^m	R_{42}^m	R_{42}^{z-o}	R_{42}^{z-o}/R_{42}^m	R_{90}^m	R_{90}^{z-o}	R_{90}^{z-o}/R_{90}^m	R_{180}^m	R_{180}^{z-o}	R_{180}^{z-o}/R_{180}^m
5,85	10,0	9,85	0,99	12,7	7,45	0,59	13,40	7,36	0,55	13,6	6,32	0,46

Wobec wyraźnego wzrostu wytrzymałości na ściskanie, ale malejącej mrozoodporności popiołów fluidalnych w miarę upływu czasu należy wykluczyć ich stosowanie w pełnej masie, ale postanowiono przebadać je w charakterze spoiwa zastępczego do ulepszania bądź stabilizacji popiołów tradycyjnych lub gruntów naturalnych przy dodatkach od 2 do 10 %, tj. tak ażeby w mieszance zawartość SO₃ nie przekraczała 1-2 %.

¹ C. KRASZEWSKI, J. PACHOWSKI Badania fluidalnych popiołów lotnych z węgla brunatnego z El. Turów jako spoiwa do stabilizacji i ulepszania gruntów w budownictwie komunikacyjnym, IBDiM 2002 r.

6.1.2. CHARAKTERYSTYKA WŁASNOŚCI WIAŻĄCYCH POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO (EC. ŻERAŃ) ORAZ POPIOŁÓW TRADYCYJNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO

Tablica 4 - Skład chemiczny popiołów fluidalnych z węgla kamiennego (El. Żerań)

Składnik	Straty prażenia	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	CaO*	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
Zawartość w %	10,0	35,2	7,4	17,8	0,08	0,73	15,0	3,10	7,17	0,16	1,06	1,70

* zawartość wolnego CaO≈7 %, co powoduje, że przy dodatku wody popioły te są samowiążące.

Wg pomiarów laboratorium chemicznego Elektrociepłowni Żerań z 30.12.2003 r. wartości wskaźnika aktywności radiologicznej wynoszą $f_1=0,89$ i $f_2=101,03$ Bq/kg.

Tablica 5 - Skład chemiczny popiołów tradycyjnych (bez odsiarczania) z węgla kamiennego (El. Żerań)

Składnik	Straty prażenia	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	CaO*	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
Zawartość w %	5,90	50,2	8,0	22,9	0,09	0,99	4,44	3,11	0,43	0,24	1,18	2,29

* brak wolnego CaO powoduje brak aktywności samowiążącej tych popiołów.

Tablica 6 - Skład chemiczny popiołów tradycyjnych (bez odsiarczania) z węgla kamiennego (El. Siekierki)

Składnik	Straty prażenia	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	CaO*	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O
Zawartość w %	3,26	48,2	6,7	27,1	0,11	1,19	3,84	3,02	0,75	0,71	1,26	2,95

* brak wolnego CaO powoduje brak aktywności samowiążącej tych popiołów.

Wyniki badań promieniotwórczości naturalnej popiołów lotnych pochodzących ze spalania węgla kamiennego w EC. Siekierki średnio kształtowały się następująco:

$$f_{1\text{ śr}}=1,09 \quad f_{2\text{ śr}}=162,35 \quad \text{przy dopuszczalnych wartościach:}$$

$$f_{1\text{ max}}=1 + 20 \% = 1,2$$

$$f_{2\text{ max}}=185 + 20 \% = 222 \text{ Bq/kg}$$

Próbki uformowane w 100 % z popiołów fluidalnych z węgla kamiennego (El. Żerań) przy wilgotności optymalnej (45 %) i zagęszczanych wg normalnej próby Proctora i po odpowiedniej pielęgnacji wykazały wytrzymałości na ściskanie R_m i R^{z-o} w MPa jak w tablicy 7.

Tablica 7 – Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek popiołu fluidalnego z E. Żerań

R_7^m	R_{14}^m	R_{28}^m	R_{28}^{z-o}	R_{42}^m	R_{42}^{z-o}	R_{90}^m	R_{90}^{z-o}
1,20	1,50	6,40	rozpad po 8 cyklach	5,48	rozpad po 6 cyklach	5,65	rozpad po 5 cyklach

Uzyskane wyniki przedstawione w tablicy 7 dla popiołów fluidalnych z węgla kamiennego (El. Żerań) wykazały niższe wartości wytrzymałości i mrozoodporności od przedstawionych w tablicy 3 dla popiołów fluidalnych z węgla brunatnego (El. Turów).

Również popioły fluidalne z węgla kamiennego nie mogą być stosowane w całej masie do robót drogowych i postanowiono sprawdzić ich przydatność jako dodatków stabilizujących bądź ulepszających grunty naturalne (mineralne) i popioły lotne tradycyjne.

6.2. MIESZANKI POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA BRUNATNEGO (EL. TURÓW) Z POPIOŁAMI TRADYCYJNYMI ORAZ Z GRUNTAMI NATURALNYMI

Tablica 8 - Wytrzymałość (R) na ściskanie próbek popiołu konwencjonalnego z El. Turów, ulepszanego dodatkiem popiołu fluidalnego z El. Turów po „n” dniach pielęgnacji

Wytrzymałość R po „n” dobach pielęgnacji MPa	Dodatek popiołu fluidalnego w %		
	2	6	10
R_7	0.0	0.40	0.80
R_{28}^m	0.0	0.35	0.80
R_{28}^{z-o}	0.0	0.0	0.0
Wskaźnik mrozoodporności R_{28}^{z-o} / R_{28}^m	0.0	0.0	0.0
R_{42}^m	0.0	0.20	0.75
R_{42}^{z-o}	0.0	0.0	0.0
Wskaźnik mrozoodporności R_{42}^{z-o} / R_{42}^m	0.0	0.0	0.0
R_{90}^m	0.0	0.40	0.95
R_{90}^{z-o}	0.0	0.0	0.0
Wskaźnik mrozoodporności R_{90}^{z-o} / R_{90}^m	0.0 rozpad po 6 godz.	0.0 rozpad po 1 cyklu	0.0 rozpad po 3 cyklach
R_{180}^m	0	0	0
R_{180}^{z-o}	0 rozpad po 1 cyklu	0 rozpad po 2 cyklu	0 rozpad po 3 cyklu

Tablica 9 - Wyniki badań wskaźnika CBR popiołu konwencjonalnego z El. Turów
ulepszono popiołem fluidalnym z El. Turów

Popioły tradycyjne przy $w_n=36.68\%$, ulepszone popiołem fluidalnym w ilości 4%					
1	Wskaźnik nośności popiołu w następujących warunkach pielęgnacji:	$w_{noś} (CBR)$			PN-S-02205:1998
	– Bezpośrednio po zagęszczeniu		%	59	
	– Po 6 godzinach twardnienia		%	64	
	– Po 24 godzinach twardnienia		%	79	
	– Po 7 dniach twardnienia		%	124	
	– Po 14 dniach, w tym 7 dni moczenia w wodzie		%	80	
	– Pęcznienie liniowe po 14 dniach (w tym 7 dni moczenia)	p	%	0	
Popioły tradycyjne przy $w_n=36.68\%$, ulepszone popiołem fluidalnym w ilości 6%					
2	Wskaźnik nośności popiołu w następujących warunkach pielęgnacji:	$w_{noś} (CBR)$			PN-S-02205:1998
	– Bezpośrednio po zagęszczeniu		%	64	
	– Po 6 godzinach twardnienia		%	81	
	– Po 24 godzinach twardnienia		%	102	
	– Po 7 dniach twardnienia		%	146	
	– Po 14 dniach, w tym 7 dni moczenia w wodzie		%	92	
	– Pęcznienie liniowe po 14 dniach (w tym 7 dni moczenia)	p	%	0	

Tablica 10 - Wytrzymałość (R) na ściskanie próbek gruntu (piasek gliniasty)
ulepszono dodatkiem popiołu fluidalnego z El. Turów po „n” dniach pielęgnacji w MPa

Wytrzymałość R po „n” dobach pielęgnacji MPa	Dodatek popiołu fluidalnego w %					
	2	4	6	8	10	20
R_7	0,0	0,85	1,15	2,20	2,70	1,95
R_{28}^m	0,50	0,80	1,35	2,65	3,10	2,90
R_{28}^{z-o}	0,0	0,0	0,0	0,45	0,73	1,25
Wskaźnik mrozoodporności R_{28}^{z-o} / R_{28}^m	0,0	0,0	0,0	0,17	0,24	0,43
R_{42}^m	0,55	1,05	1,55	1,85	2,25	3,40
R_{42}^{z-o}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,80	1,60
Wskaźnik mrozoodporności R_{42}^{z-o} / R_{42}^m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,36	0,47
R_{90}^m	0.60	1.25	1.75	1.95	2.40	4.00
R_{90}^{z-o}	0.0 rozpad po 1 cyklu	0.0 rozpad po 3 cyklu	0.0 rozpad po 6 cyklu	0.0 rozpad po 8 cyklu	0.0 rozpad po 10 cyklu	1.75
Wskaźnik mrozoodporności R_{90}^{z-o} / R_{90}^m	0	0	0	0	0	0.44
R_{180}^m	0	0.60	1.45	1.85	2.20	3.00
R_{180}^{z-o}	0 rozpad po 1 cyklu	0 rozpad po 2 cyklu	0 rozpad po 4 cyklu	0 rozpad po 6 cyklu	0 rozpad po 8 cyklu	0 rozpad po 10 cyklu

**Tablica 11 - Wyniki badań wskaźnika CBR piasku gliniastego
ulepszanego popiołem fluidalnym z El. Turów**

Grunt (piasek gliniasty o $w_n=12.85\%$) ulepszony popiołem w ilości 2%					
1	Wskaźnik nośności gruntu o wilgotności naturalnej w_n w następujących warunkach pielęgnacji: – Bezpośrednio po zagęszczeniu – Po 6 godzinach twardnienia – Po 24 godzinach twardnienia – Po 7 dniach twardnienia – Po 14 dniach, w tym 7 dni moczenia w wodzie – Pęcznienie liniowe po 14 dniach (w tym 7 dni moczenia)	$w_{noś} (CBR)$			PN-S-02205:1998
			%	32	
			%	40	
			%	51	
			%	61	
			%	48	
		p	%	0	
Grunt (piasek gliniasty o $w_n=12.85\%$) ulepszony popiołem w ilości 4%					
2	Wskaźnik nośności gruntu o wilgotności naturalnej w_n w następujących warunkach pielęgnacji: – Bezpośrednio po zagęszczeniu – Po 6 godzinach twardnienia – Po 24 godzinach twardnienia – Po 7 dniach twardnienia – Po 14 dniach, w tym 7 dni moczenia w wodzie – Pęcznienie liniowe po 14 dniach (w tym 7 dni moczenia)	$w_{noś} (CBR)$			PN-S-02205:1998
			%	34	
			%	49	
			%	78	
			%	159	
			%	102	
		p	%	0	
Grunt (piasek gliniasty o $w_n=12.85\%$) ulepszony popiołem w ilości 6%					
3	Wskaźnik nośności gruntu o wilgotności naturalnej w_n w następujących warunkach pielęgnacji: – Bezpośrednio po zagęszczeniu – Po 6 godzinach twardnienia – Po 24 godzinach twardnienia – Po 7 dniach twardnienia – Po 14 dniach, w tym 7 dni moczenia w wodzie – Pęcznienie liniowe po 14 dniach (w tym 7 dni moczenia)	$w_{noś} (CBR)$			PN-S-02205:1998
			%	35	
			%	51	
			%	84	
			%	239	
			%	143	
		p	%	0	

**Tablica 12 - Wytrzymałość (R) na ściskanie próbek gruntu (piasek gruby)
ulepszanego dodatkiem popiołu fluidalnego z El. Turów i cementu portlandzkiego CEM I
po „n” dniach pielęgnacji**

Dodatek spoiwa		Wytrzymałość po dniach pielęgnacji						
Cement portl.32,5 w %	Popiół fluidalny w %	R_7	R_{28}^m	R_{28}^{z-o}	Wskaźnik mrozoodporności R_{28}^{z-o} / R_{28}^m	R_{42}^m	R_{42}^{z-o}	Wskaźnik mrozoodporności R_{42}^{z-o} / R_{42}^m
-	6	0,35	0,90	0,20	0,22	0.95	0.45	0.47
-	8	0,90	1,65	0,90	0,55	1.85	1.20	0.65
-	10	1,25	2,05	1,53	0,75	2.40	1.92	0.80
4	-	0,75	1,20	0,65	0,54	1.30	0.75	0.58
6	-	2,05	2,20	1,25	0,57	2.65	1.80	0.68
8	-	3,70	4,40	2,50	0,57	4.80	3.40	0.71

W tym przypadku wyniki stabilizacji piasku uzyskane przy zastosowaniu jako spoiwa popiołów fluidalnych z El. Turów są porównywalne z wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu cementu.

6.3. MIESZANKI POPIÓŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO Z POPIÓŁAMI TRADYCYJNYMI Z WĘGLA KAMIENNEGO ORAZ Z GRUNTAMI NATURALNYMI

Wyniki badań przeprowadzonych dla popiołów i mieszanek popiołów tradycyjnych z EI. Siekierki oraz gruntu naturalnego (głina żwirzła) z popiołami fluidalnymi z EC. Żerań jako stabilizatorem zestawiono w tablicach 13-22.

Tablica 13 - Wyniki badań popiołów i mieszanek materiałów z popiołem fluidalnym EC. Żerań
(SE , w_{opt} , ρ_o , CBR , p , w_p , w_L , Δt , H_{kb} , pH)

Badana cecha	Popiół fluidalny z EC. Żerań	Popiół z EC. Siekierki			Głina		
		100%	z 3% dodatkiem popiołów fluidalnych	z 6% dodatkiem popiołów fluidalnych	100%	z 3% dodatkiem popiołów fluidalnych	z 6% dodatkiem popiołów fluidalnych
Wskaźnik piaskowy (SE)	5	9	8	14	4	8	8
Wilgotność optymalna [%] (w_{opt})	45,20	31,50	-	-	15,50	-	-
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [g/cm^3] (ρ_o)	0,989	1,093	-	-	1,750	-	-
Wskaźnik nośności bezpośrednio po zagęszczeniu (CBR)	14	26	20	29	21	13	17
Wskaźnik nośności po 4 dniach moczenia w wodzie (CBR)	-	9	16	24	2	13	12
Wskaźnik nośności po 7 dniach cieplegnacji w tym 4 dni moczenia w wodzie (CBR)	102	9	16	36	-	12	14
Pęcznienie liniowe po 4 dobach moczenia w wodzie [%] (p)	-	6,55	0,18	0,032	3,68	0	0,94
Pęcznienie liniowe po 7 dniach cieplegnacji w tym 4 dniach moczenia w wodzie [%] (p)	0	-	0	0	-	0	0,44
Granica plastyczności [%] (w_p)					26,72	20,20	24,58
Granica płynności [%] (w_L)					49,90	38,20	44,30
Aktywność [°C] (Δt)	40						
Ĳapilarność bierna H_{KB} po 7 dniach [m]	> 2,00	> 2,00	>2,00	>2,00	>2,00	>2,00	>2,00
pH	12,87	-	-	-	-	-	-

KARTA BADANIA

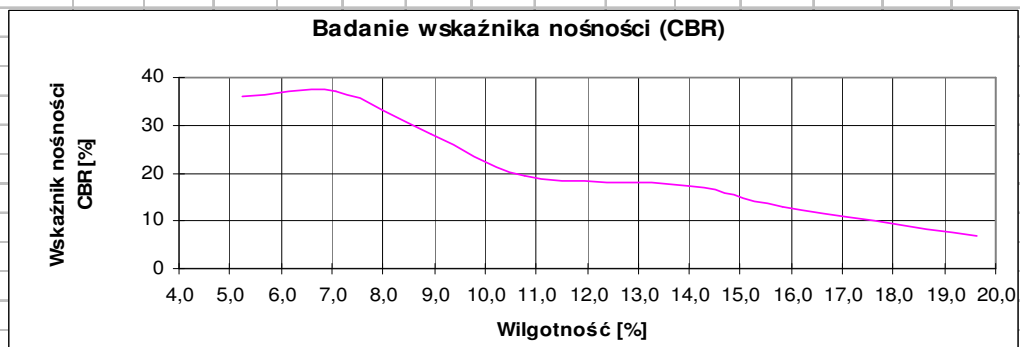
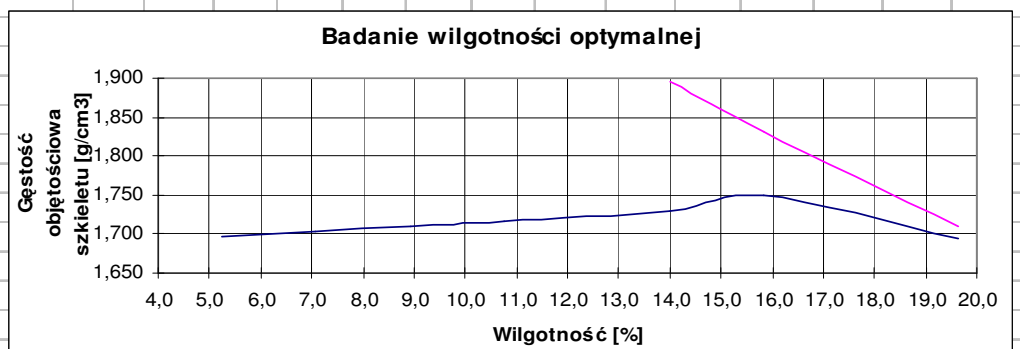
Badanie wilgotności



MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = 1,143..... g/cm³

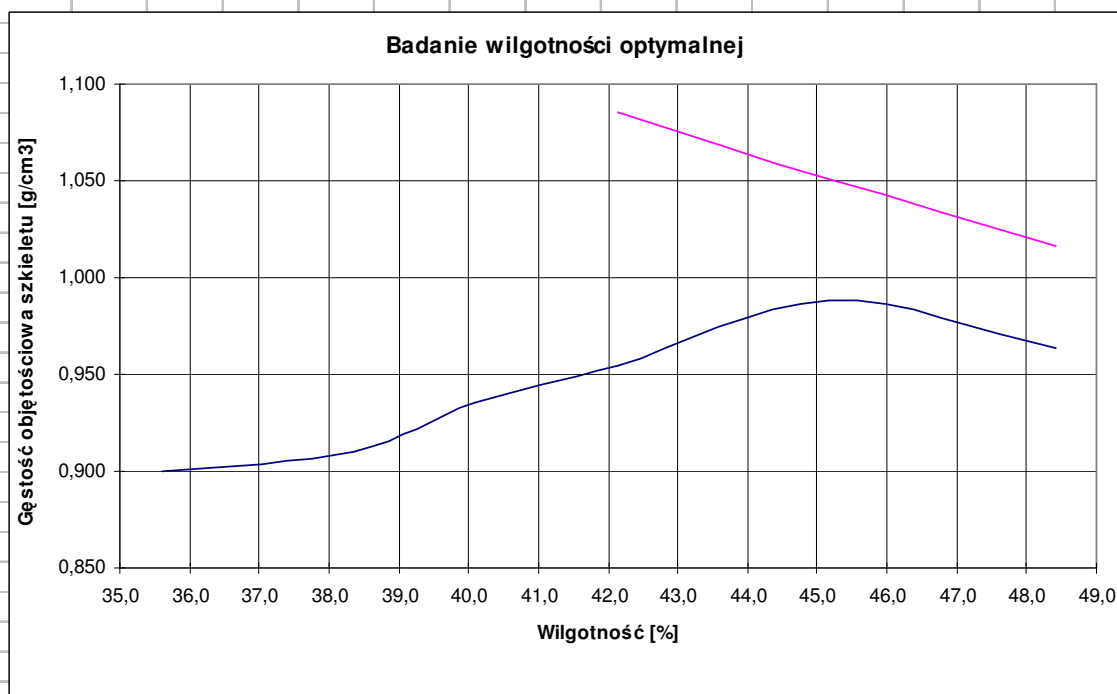
Tablica 15 – Wyniki badania wskaźnika nośności, gęstości objętościowej i wilgotności
gliny związanej zastosowanej do ulepszenia popiołem fluidalnym

Badanie wilgotności optymalnej i max. gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ,wskaźnika CBR														
		Badania makroskopowe					Wyniki badań laboratoryjnych							
		grunt -głina zwięzła					Wopt =		15,50%		ρdmax =		1,75 g/cm³	
Badanie wilgotności														
Nr par.	214	9	7	251	D-39	28	19	2-P	30	22	204	215	21	64
m+t	224,74	231,73	269,17	221,97	236,77	253,17	256,75	249,34	229,41	211,27	234,35	235,63	291,57	298,3
ms+t	216,41	223,55	256,66	211,63	222,42	238,05	237,61	231,46	209,14	191,86	208,61	213,59	259,69	268,64
m-ms	8,33	8,18	12,51	10,34	14,35	15,12	19,14	17,88	20,27	19,41	25,74	22,04	31,88	29,66
t	58,24	67,52	80,32	64,66	59,91	70,89	59,47	65,68	63,06	54,43	49,10	71,58	103,63	111,21
ms	158,17	156,03	176,34	146,97	162,51	167,16	178,14	165,78	146,08	137,43	159,51	142,01	156,06	157,43
WI WII	5,27	5,24	7,09	7,04	8,83	9,05	10,74	10,79	13,88	14,12	16,14	15,52	20,43	18,84
Wśr	5,25		7,06		8,94		10,76		14,00		15,83		19,63	
m+t	8986		9072		9167		9252		9416		9537		9540	
t	4879		4879		4879		4879		4879		4879		4879	
m	4107		4193		4288		4373		4537		4658		4661	
V	2300		2300		2300		2300		2300		2300		2300	
ρ	1,786		1,823		1,864		1,901		1,973		2,025		2,027	
ρd	1,697		1,703		1,710		1,717		1,730		1,748		1,694	
ρs							2,6		2,6		2,6		2,6	
ρd przy Sr = 1							2,023		1,896		1,832		1,710	
0,62	42		63		49		36		35		27		10	
1,25	75		89		68		48		44		36		18	
1,86	98		108		82		57		52		41		22	
2,5	117	35	124	37	94	28	65	19	59	18	46	14	25	7
3,75	150		152		115		81		70		52		27	
5	177	37	177	37	134	28	94	20	80	17	58	12	29	6
6,25	201		199		152		106		90		62		31	
7,5	223		219		167		116		97		66		33	
8,25	244		237		181		127		104		69		35	
10	264		256		194		136		110		71		36	
Srednia	36		37		28		20		17		13		7	



Tablica 16 – Wyniki badania gęstości objętościowej i wilgotności optymalnej
popiołów fluidalnych z E.C. Żerań

KARTA BADANIA													
BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ w_{opt} I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ													
SZKIELETU GRUNTOWEGO ρ_{ds} wg. PN - 88 / B - 04481, pkt.8													
Badanie wilgotności													
Nr par.	3	99	115	29	203	208	722	68	18	8	74	45	
m+t	235,64	224,73	251,54	247,48	260,12	241,23	295,30	269,62	269,67	240,84	289,91	275,57	
ms+t	193,78	192,15	209,80	207,30	205,68	197,90	237,81	218,51	211,84	191,34	231,08	215,86	
m-ms	41,86	32,58	41,74	40,18	54,44	43,33	57,49	51,11	57,83	49,50	58,83	59,71	
t	76,78	100,24	101,11	102,45	70,11	89,65	100,91	97,60	85,82	79,95	109,58	92,51	
ms	117,00	91,91	108,69	104,85	135,57	108,25	136,90	120,91	126,02	111,39	121,50	123,35	
WI Wil	35,78	35,45	38,40	38,32	40,16	40,03	41,99	42,27	45,89	44,44	48,42	48,41	
Wśr	35,61		38,36		40,09		42,13		45,16		48,41		
m+t	7290		7329		7381		7427		7505		7500		
t	6070		6070		6070		6070		6070		6070		
m	1220		1259		1311		1357		1435		1430		
V	1000		1000		1000		1000		1000		1000		
ρ_d	0,900		0,910		0,936		0,955		0,989		0,964		
ρ_{ds}							2		2		2		
ρ_d przy Sr = 1							1,09		1,05		1,02		



WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA =45,2... %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = 0,989..... g/cm³

Tablica 17 – Wyniki badania wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego gęstości
popiołów fluidalnych z E.C. Żerań

KARTA BADANIA											
BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI Wnoś wg. PN - S - 02205:1998, zał. A											
Badanie wilgotności											
	bezpośrednio po zagęszczeniu				7dni w tym 4 dni nasycania wodą				po zakończeniu pęcznienia		
Nr par.	15	53	4	20	215	204	251	19			
m+t	275,12	256,52	261,96	274,52	205,69	193,90	210,18	198,79			
ms+t	219,97	214,02	208,47	225,47	152,01	136,81	163,44	144,09			
m-ms	55,15	42,50	53,49	49,05	53,68	57,09	46,74	54,70			
t	96	117,70	87,91	114,82	87,91	70,12	106,00	79,96			
ms	123,97	96,32	120,56	110,65	64,1	66,69	57,44	64,13			
W	44,49	44,12	44,37	44,33	83,74	85,61	81,37	85,30			
Wśr	44,33				84,00						
Badanie gęści objętościowej											
	bezpośrednio po zagęszczeniu				7dni w tym 4 dni nasycania wodą				po zakończeniu pęcznienia		
m+t	13705				14608						
t	10423				10423						
m	3282				4185						
V	2300				2300						
ρ	1,427				1,820						
ρd	0,989				0,989						
Badanie wskaźnika nośności											
	bezpośrednio po zagęszczeniu			7dni w tym 4 dni nasycania wodą			po zakończeniu pęcznienia				
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		
0,62	0,67	16		9,11	218		0,00				
1,25	1,21	29		11,41	273		0,00				
1,86	1,63	39		13,29	318		0,00				
2,5	1,92	46	14	14,63	350	105	0,00			0	
3,75	2,38	57		17,39	416		0,00				
5	2,80	67	14	19,86	475	99	0,00			0	
6,25	3,18	76		22,15	530		0,00				
7,5	3,55	85		24,33	582		0,00				
8,75	3,89	93		26,54	635		0,00				
10	4,22	101		28,76	688		0,00				
Średnia			14			102					0
1 punkt z czujnika = 0.002 mm											
Pomiar pęcznienia											
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04		
ustawienie zegara	1		1		1		1		1		
odczyt	0		0		0		0		0		
pęcznienie [%]			0		0		0		0		

Tablica 18 – Wyniki badania wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego i gęstości popiołów „Siekierskich” ulepszonych 3% dodatkiem popiołów fluidalnych z E.C. Żerań

KARTA BADANIA												
BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI Wnoś wg. PN - S - 02205:1998, zał. A												
Badanie wilgotności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodą				7dni w tym 4 dni nasycania w wodą			
Nr par.	30	9	215	204	39	2	24	15	66	3	6	62
m+t	182,31	195,39	192,28	163,83	199,22	201,21	211,40	238,99	296,11	291,16	280,77	286,74
ms+t	151,25	162,53	161,05	134,25	157,08	159,93	179,64	202,45	241,43	227,51	224,24	233,12
m-ms	31,06	32,86	31,23	29,58	42,14	41,28	31,76	36,54	54,68	63,65	56,53	53,62
t	63,04	67,55	71,59	49,10	60,01	65,75	103,84	116,71	110,13	76,81	92,64	106,86
ms	88,21	94,98	89,46	85,15	97,07	94,18	75,8	85,74	131,3	150,7	131,6	126,26
W	35,21	34,60	34,91	34,74	43,41	43,83	41,90	42,62	41,65	42,24	42,96	42,47
Wśr	34,86				42,94				42,33			
Badanie gęstości objętościowej												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodą				7dni w tym 4 dni nasycania w wodą			
m+t	13657				13866				13924			
t	10205				10205				10283			
m	3452				3661				3641			
V	2300				2300				2300			
ρ	1,501				1,592				1,583			
ρd	1,113				1,114				1,112			
Badanie wskaźnika nośności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodą				7dni w tym 4 dni nasycania w wodą			
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	
0,62	0,71	17			0,33	8			0,50	12		
1,25	1,59	38			0,92	22			1,30	31		
1,86	2,34	56			1,55	37			1,84	44		
2,5	2,80	67	20		2,26	54	16		2,30	55	16	
3,75	3,47	83			2,84	68			2,88	69		
5	4,05	97	20		3,30	79	17		3,30	79	17	
6,25	4,64	111			3,72	89			3,68	88		
7,5	5,18	124			3,93	94			4,01	96		
8,75	5,68	136			4,22	101			4,35	104		
10	6,14	147			4,51	108			4,64	111		
Średnia			20				16					16
1 punkt z czujnika = 0.002 mm												
Pomiar pęcznienia - po 4 dobach moczenia w wodzie												
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04			
ustawienie zegara	1		1		1		1		1			
odczyt	0		1,05		1,11		1,19		1,22			
pęcznienie [%]			0,04		0,09		0,15		0,18			
Pomiar pęcznienia - po 7 dniach w tym 4 dni moczenia w wodzie												
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04			
ustawienie zegara	1		1		1		1		1			
odczyt	0		0		0		0		0			
pęcznienie [%]			0		0		0		0			

Tablica 19 – Wyniki badania wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego i gęstości popiołów „Siekierskich” ulepszonych 6% dodatkiem popiołów fluidalnych z E.C. Żerań

KARTA BADANIA												
BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI Wnoś wg. PN - S - 02205:1998, zał. A												
Badanie wilgotności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodę				7dni w tym 4 dni nasycania w wodę			
Nr par.	251	39	2	214	99	18	613	208	65	20	115	17
m+t	194,54	215,57	194,49	203,87	246,51	209,24	230,69	202,18	279,74	269,79	279,56	274,60
ms+t	161,6	176,12	161,79	166,86	201,62	171,16	190,78	167,28	228,09	221,72	226,20	226,03
m-ms	32,94	39,45	32,70	37,01	44,89	38,08	39,91	34,90	51,65	48,07	53,36	48,57
t	64,62	59,92	65,66	58,24	100,24	85,85	100,58	89,69	107,85	111,75	101,12	112,74
ms	96,98	116,2	96,13	108,62	101,38	85,31	90,2	77,59	120,24	109,97	125,08	113,29
W	33,97	33,95	34,02	34,07	44,28	44,64	44,25	44,98	42,96	43,71	42,66	42,87
Wśr	34,00				44,54				43,05			
Badanie gęstości objętościowej												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodę				7dni w tym 4 dni nasycania w wodę			
m+t	13631				13891				14150			
t	10354				10354				10649			
m	3277				3537				3501			
V	2300				2300				2300			
ρ	1,425				1,538				1,522			
ρd	1,063				1,064				1,064			
Badanie wskaźnika nośności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodę				7dni w tym 4 dni nasycania w wodę			
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	
0,62	1,59	38			1,50	36			2,59	62		
1,25	2,76	66			2,68	64			4,10	98		
1,86	3,51	84			3,30	79			4,93	118		
2,5	4,05	97	29		3,68	88	26		5,48	131	39	
3,75	4,97	119			4,05	97			6,19	148		
5	5,77	138	29		4,47	107	22		6,40	153	32	
6,25	6,52	156			4,77	114			6,44	154		
7,5	7,19	172			5,06	121			6,60	158		
8,75	7,90	189			5,14	123			6,98	167		
10	8,53	204			5,23	125			7,36	176		
Średnia			29				24					36
1 punkt z czujnika = 0.002 mm												
Pomiar pęcznienia - po 4 dobach moczenia w wodzie												
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04			
ustawienie zegara	1		1		1		1		1			
odczyt	0		1,01		1,02		1,03		1,04			
pęcznienie [%]			0,008		0,016		0,024		0,032			
Pomiar pęcznienia - po 7 dniach w tym 4 dni moczenia w wodzie												
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04			
ustawienie zegara	1		1		1		1		1			
odczyt	0		0		0		0		0			
pęcznienie [%]			0		0		0		0			

Tablica 20 – Wyniki badania wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego i gęstości
gliny związłej ulepszonej 3% dodatkiem popiołów fluidalnych z E.C. Żerań

KARTA BADANIA												
BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI Wnoś wg. PN - S - 02205:1998, zał. A												
Badanie wilgotności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w odą				7dni w tym 4 dni nasycania w odą			
Nr par.	7	28	24	99	28	251	7	214	23	66	14	2
m+t	243,41	215,44	275,79	240,55	201,14	195,62	238,10	202,74	282,25	288,80	281,60	283,30
ms+t	219,84	194,53	251,2	220,12	181,23	176,07	214,23	180,78	256,48	259,37	251,48	255,97
m-ms	23,57	20,91	24,59	20,43	19,91	19,55	23,87	21,96	25,77	29,43	30,12	27,33
t	80,31	70,88	109,82	100,22	70,89	64,76	80,32	58,30	114,82	97,62	90,08	106,89
ms	139,53	123,65	141,38	119,9	110,34	111,31	133,91	122,48	141,66	161,75	161,4	149,08
W	16,89	16,91	17,39	17,04	18,04	17,56	17,83	17,93	18,19	18,19	18,66	18,33
Wśr	17,06				17,84				18,35			
Badanie gęstości objętościowej												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w odą				7dni w tym 4 dni nasycania w odą			
m+t	15115				15150				15190			
t	10405				10405				10423			
m	4710				4745				4767			
V	2300				2300				2300			
ρ	2,048				2,063				2,073			
ρd	1,749				1,751				1,751			
Badanie wskaźnika nośności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w odą				7dni w tym 4 dni nasycania w odą			
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	
0,62	0,79	19			1,05	25			0,96	23		
1,25	1,21	29			1,42	34			1,34	32		
1,86	1,55	37			1,71	41			1,59	38		
2,5	1,80	43	13		1,96	47	14		1,80	43	13	
3,75	2,26	54			2,22	53			2,09	50		
5	2,59	62	13		2,42	58	12		2,34	56	12	
6,25	2,88	69			2,59	62			2,55	61		
7,5	3,09	74			2,76	66			2,76	66		
8,75	3,43	82			2,93	70			2,93	70		
10	3,68	88			3,09	74			3,09	74		
Średnia			13				13					12
1 punkt z czujnika = 0.002 mm												
Pomiar pęcznienia												
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04			
ustawienie zegara	1		1		1		1		1			
odczyt	0		0		0		0		0			
pęcznienie [%]			0		0		0		0			

Tablica 21 – Wyniki badania wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego i gęstości
gliny związłej ulepszonej 6% dodatkiem popiołów fluidalnych z E.C. Żerań

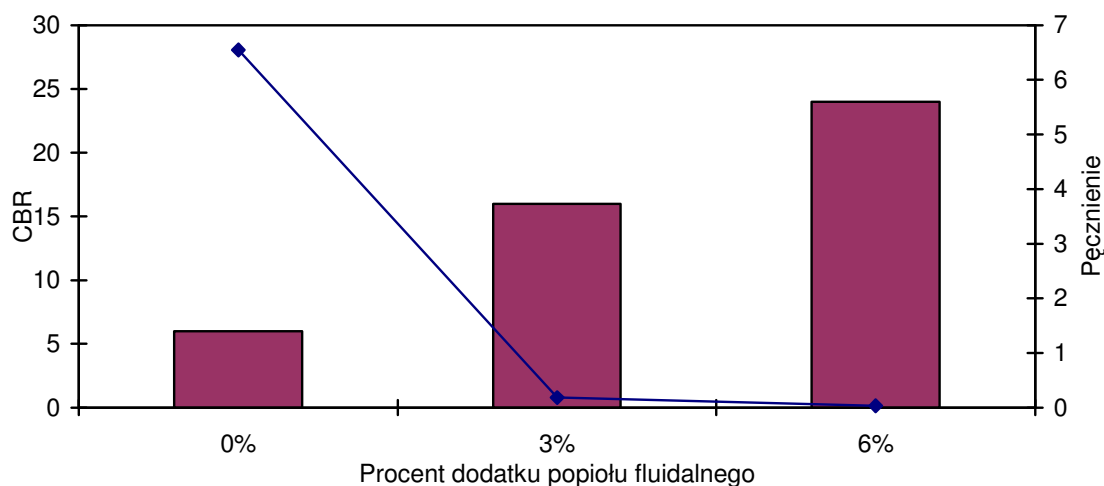
KARTA BADANIA												
BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI Wnoś wg. PN - S - 02205:1998, zał. A												
Badanie wilgotności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodą				7dni w tym 4 dni nasycania w wodą			
Nr par.	208	613	15	18	215	20	30	9	61	4	53	60
m+t	259,35	271,21	292,25	261,11	224,14	221,46	232,97	226,74	299,91	266,59	280,00	263,74
ms+t	233,72	245,30	265,24	234,01	196,04	191,04	201,02	197,75	263,99	236,78	247,08	235,66
m-ms	25,63	25,91	27,01	27,10	28,10	30,42	31,95	28,99	35,92	29,81	32,92	28,08
t	89,65	100,56	116,76	85,83	71,63	49,17	63,16	67,57	97,06	97,54	96,85	107,47
ms	144,07	144,74	148,48	148,18	124,41	141,87	137,86	130,18	166,93	139,24	150,23	128,19
W	17,79	17,90	18,19	18,29	22,59	21,44	23,18	22,27	21,52	21,41	21,91	21,90
Wśr	18,04				22,37				21,69			
Badanie gęstości objętościowej												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodą				7dni w tym 4 dni nasycania w wodą			
m+t	15215				15377				14510			
t	10688				10688				9845			
m	4527				4689				4665			
V	2300				2300				2300			
ρ	1,968				2,039				2,028			
ρd	1,667				1,666				1,667			
Badanie wskaźnika nośności												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				4 dni nasycania w wodą				7dni w tym 4 dni nasycania w wodą			
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	
0,62	1,17	28			1,05	25			1,05	25		
1,25	1,67	40			1,46	35			1,59	38		
1,86	2,05	49			1,63	39			1,92	46		
2,5	2,34	56	17		1,76	42	13		2,09	50	15	
3,75	2,84	68			2,01	48			2,26	54		
5	3,26	78	16		2,13	51	11		2,42	58	12	
6,25	3,68	88			2,30	55			2,55	61		
7,5	3,97	95			2,47	59			2,68	64		
8,75	4,31	103			2,55	61			2,84	68		
10	4,60	110			2,68	64			3,01	72		
Średnia			17				12					14
1 punkt z czujnika = 0.002 mm												
Pomiar pęcznienia - po 4 dobach moczenia w wodzie												
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04			
ustawienie zegara	1		1		1		1		1			
odczyt	0		1,52		1,93		2,06		2,17			
pęcznienie [%]			0,42		0,74		0,85		0,94			
Pomiar pęcznienia - po 7 dniach w tym 4 dni moczenia w wodzie												
Data	08.06.04		09.06.04		10.06.04		11.06.04		12.06.04			
ustawienie zegara	1		1		1		1		1			
odczyt	0		1,1		1,28		1,46		1,55			
pęcznienie [%]			0,08		0,22		0,37		0,44			

Tablica 21 - Zestawienie wyników wskaźnika piaskowego SE materiałów zastosowanych w badaniach.

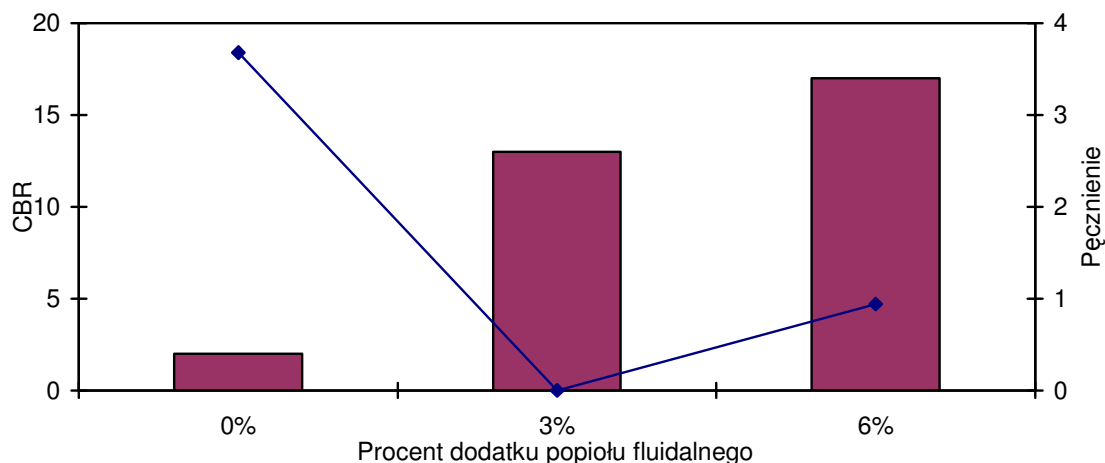
Lp.	Rodzaj mieszanki	Wskaźnik piaskowy SE
1	Popiół fluidalny E.C. Żerań	5
2	Popiół „siekierski”	9
3	Popiół „siekierski” + 3 % popiołu fluidalnego	8
4	Popiół „siekierski” + 6 % popiołu fluidalnego	14
5	Gлина zwięzła	4
6	Gлина zwięzła + 3 % popiołu fluidalnego	8
7	Gлина zwięzła + 6 % popiołu fluidalnego	8

Tablica 22 - Oznaczenie w_p i w_l metodą Casagrande’a.

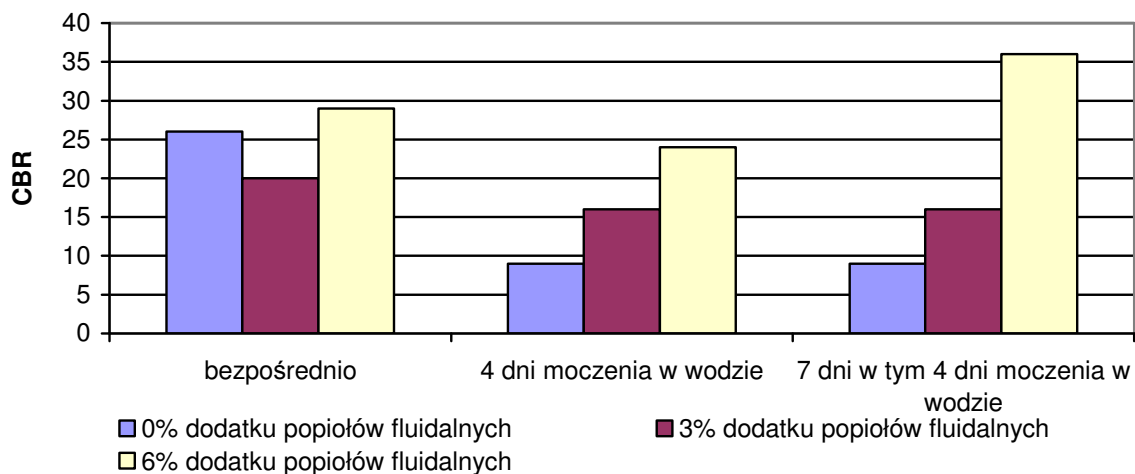
Lp.	Rodzaj mieszanki	w_p	w_l
1	Gлина zwięzła	26,72 %	49,90 %
2	Gлина zwięzła + 3 % popiołu fluidalnego	20,20 %	38,20 %
3	Gлина zwięzła + 6 % popiołu fluidalnego	24,58 %	44,30 %



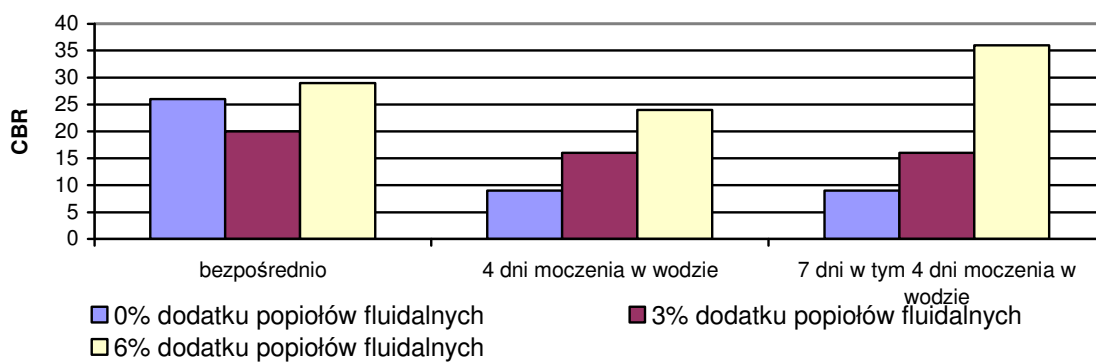
Rys. 1 Wykres nośności i pęcznienia dla popiołów siekierskich modyfikowanych popiołami fluidalnymi po 4 dobach moczenia w wodzie.



Rys. 2 Wykres nośności i pęcznienia dla gliny modyfikowanej popiołami fluidalnymi po 4 dobach moczenia w wodzie.



Rys. 3 Zmienność nośności w czasie dla popiołów siekierskich modyfikowanych popiołami fluidalnymi.



Rys. 4 Zmienność nośności w czasie dla popiołów siekierskich modyfikowanych popiołami fluidalnymi.

6.4 WNIOSKI

1. Popioły lotne z fluidalnego spalania zarówno węgla brunatnego (El. Turów) jak i węgla kamiennego (EC. Żerań) w odróżnieniu od popiołów tradycyjnych charakteryzują się znaczną zawartością tlenku wapnia (CaO) jak i związków siarki (SO_3) i w związku z tym przy dodatku wody wykazują dużą aktywność samowiążącą i mogą być stosowane jako zastępcze spoiwo przy ograniczonym ich stosowaniu (2- 10 %) do ulepszania bądź stabilizacji gruntów lub popiołów tradycyjnych na warstwy nasypu i w warstwy podłoża drogowego.
2. Popioły lotne z fluidalnego spalania węgla w całej swojej masie wobec obecnej wiedzy nie nadają się do robót drogowych z uwagi na początkową wysoką ich wytrzymałość, lecz w dłuższym okresie czasu postępującą degradacją ich struktury i malejącą odporność na cykle zamrażania – odmrażania.
3. Popioły lotne z fluidalnego spalania węgla nadają się do osuszania przewilgoconych popiołów tradycyjnych i gruntów mineralnych oraz do zwiększania ich wskaźników nośności (CBR) przy dozowaniu popiołów fluidalnych w ilości 4-10 %.
4. Trwałość struktury gruntów lub popiołów lotnych tradycyjnych stabilizowanych popiołami fluidalnymi (samodzielnie) lub popiołami fluidalnymi z dodatkiem cementu portlandzkiego może być zachowana jeżeli w mieszance zawartość SO_3 nie przekroczy 2 %.
5. W dalszych badaniach celowym jest przeprowadzić długoletnie (min. 3 letnie) testy sprawdzające trwałość przy dodatkach popiołów fluidalnych > 10 %.
6. Przy dozowaniu do popiołów tradycyjnych lub gruntów mineralnych popiołów fluidalnych w ilości > 10 % należy zbadać ich trwałość w okresach kilkuletnich, oraz skuteczność dodatków specjalnych hamujących degradację strukturalną otrzymywanych tworzyw.

7. ODPADY CHEMICZNE

7.1 BADANIA WPŁYWU CHEMICZNYCH MODYFIKATORÓW NA WYMYWALNOŚĆ SUBSTANCJI Z GRUNTÓW STABILIZOWANYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM.

7.1.1 WSTĘP

Dokonane analizy właściwości przetworzonych osadów porafineryjnych przedstawione w cz. I sprawozdania [1] wykazały, że mogą być one stosowane jako stabilizator spoistych gruntów naturalnych oraz odpadów elektrownianych. Osady porafineryjne mogą być wykorzystywane w ograniczonych ilościach (do 10%) ze względu na wymywalność szkodliwych substancji w nich zawartych [1,2]. W tym etapie badań założono przeprowadzenie dwóch kierunków badań. Pierwszy kierunek obejmował próby immobilizacji składników przy pomocy dostępnych na rynku chemicznych modyfikatorów-jonowymiennych środków ulepszających. Przeprowadzono badania wymywalności próbek gruntów naturalnych oraz popiołów lotnych stabilizowanych przetworzonymi osadami porafineryjnymi z dodatkami następujących chemicznych modyfikatorów: Roadbound EN1, Urrichem, Geosta K1 oraz Lipidu DP. Dla porównania poddano badaniom próbki bez chemicznej modyfikacji.

Drugi kierunek badań zakładał stabilizację popiołów fluidalnych przetworzonym osadem. Popioły fluidalne ze względu na znaczne zawartości związków siarki oraz wapnia posiadają właściwości wiążące oraz wykazują cechy pęcznienia, które wpływa na spadki wytrzymałości w czasie. W celu wyeliminowania tej niekorzystnej cechy jako stabilizator zastosowano przetworzony osad porafineryjny.

7.1.2 ANALIZA WPŁYWU CHEMICZNYCH ŚRODKÓW ULEPSZAJĄCYCH NA ZMIANĘ PARAMETRÓW CHEMICZNYCH WYCIĄGÓW WODNYCH SPORZĄDZONYCH Z PRÓBEK GLINY ZWIĘZŁEJ I POPIOŁU LOTNEGO STABILIZOWANYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM [3]

Na podstawie uprzednio wykonanych badań stwierdzono, że już niewielkie dodatki przetworzonego osadu porafineryjnego 2÷9% powodują, iż sporządzone z takich próbek wyciągi wodne charakteryzują się wysokim odczynem, który przekracza wartości dopuszczalne. Stwierdzono, że o ile zmniejszenie koncentracji przetworzonego osadu porafineryjnego w próbkach gruntu jest skuteczną metodą, jeżeli chodzi o ograniczenie przenikania do środowiska nadmiernych ilości zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych w tym metali ciężkich, o tyle metoda ta nie pozwala wyeliminować nadmiernej alkalizacji środowiska wodnego. Dlatego podjęto próby ograniczenia niekorzystnego oddziaływania produktu, związanego przede wszystkim z nadmierną alkalizacją środowiska wodnego. W tym celu do stabilizacji gruntów: gliny związanej i popiołu lotnego zastosowano oprócz osadu porafineryjnego, chemiczne środki ulepszające, które miały wspomóc stabilizację a tym samym przyczynić się do wzrostu immobilizacji uwalniających się zanieczyszczeń. Zastosowanie chemicznych środków ulepszających, wspomagających stabilizację miało przede wszystkim na celu ograniczenie wymywalności

1 C. Kraszewski, J. Pachowski, Osady porafineryjne z PKN Orlen S.A. w Płocku przetwarzane metodą ORTWED jako spoiwo do wzmocnienia gruntów w budownictwie drogowym, VI Konferencja Naukowo – Techniczna „Aktualne problemy naukowo – badawcze budownictwa”, Olsztyn – Kortowo, 2003;

2 C. Kraszewski, J. Pachowski, Możliwości ulepszania i stabilizacji gruntów mineralnych i popiołów z węgla kamiennego produktem otrzymywanym w wyniku zestalenia uwodnionych osadów porafineryjnych z PKN Orlen S.A. wapnem palonym, IX Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce, 2003;

3 B. Bartkiewicz, I. Obierak, „Analiza wpływu środków ulepszających na zmianę parametrów chemicznych wyciągów wodnych z próbek gruntów stabilizowanych przetworzonymi osadami z PKN ORLEN” praca wykonana przez Politechnikę Warszawską, Wydział Inżynierii Środowiska na zlecenie IBDiM

solu wapnia, w głównej mierze odpowiedzialnych za wysokie pH sporządzanych wyciągów wodnych.

Do stabilizacji próbek gliny i popiołu lotnego zastosowano dodatki przetworzonego osadu porafineryjnego oraz jeden z czterech środków ulepszających: EN1, URRICHEM, LIPIDUR DP i Geosta K1, wspomagających stabilizację gruntów. W przypadku Geosty K1, w celu zbadania wpływu środka ulepszającego na immobilizację zanieczyszczeń uwalniających się z produktu, zastosowano różne dodatki przetworzonego osadu porafineryjnego (0%, 4%, 6% i 8%). Sposób przygotowania i odpowiednia ilość dodawanego środka ulepszającego, w stosunku do ilości stabilizowanego gruntu podany został w „Specyfikacji Technicznej”, dołączonej przez producentów tych stabilizatorów.

W „Specyfikacji Technicznej”, dołączonej do stabilizatorów nie został podany jednakże skład chemiczny środków. Ze Specyfikacji URRICHEM-u wiadomo, że jest to nietoksyczna, jasno – brązowa ciecz o $pH=8\div 9$ i gęstości $1,28\text{g/cm}^3$. Odczynnik URRICHEM zwiększa lepkość mieszaniny, działa jako skuteczny międzycząsteczkowy „smar” ułatwiający uformowanie jednolitej mieszaniny stabilizowanych materiałów i przyspieszający powstanie jednorodnej struktury drobnokrystalicznej, wewnątrz której w procesie krzepnięcia szkodliwe substancje zarówno organiczne jak i nieorganiczne są chemicznie wiązane lub też fizycznie otaczane i zamykane. Otrzymany zestalony i częściowo zestabilizowany produkt z dodatkiem odczynnika URRICHEM posiada większą trwałość i wytrzymałość mechaniczną.

Stabilizator Roadbond EN-1 jest płynem barwy ciemno – bursztynowej o $pH \geq 1$ i gęstości $1,7\text{g/cm}^3$ produkowany w stanie stężonym (sulfonowy „D – Limonen” rozpuszczony w kwasie siarkowym). Zawiera utleniacz, rozpuszczalnik i naturalny dyspergator.

Według informacji producenta Geosta K1 jest substancją w formie proszku złożonego z elementów alkalicznych i ziem alkalicznych oraz związków kompleksowych. Geosta jest produktem przeznaczonym do stabilizacji gleby w połączeniu z cementem. Stosowanie Geosty, wg producenta powoduje szybkie wiązanie utwardzanego podłoża i prowadzi do podwyższenia jego nośności. Ponadto, Geosta pozwala na stabilizację gruntów o wysokiej zawartości składników organicznych np. bogatych w humus.

Do sporządzenia próbek zastosowano następujące dozowanie stabilizatorów chemicznych:

- EN1 – rozcieńczono w wodzie w wodzie 1:400 objętościowo. Ilość koncentratu 0.15l/m^3 stabilizowanego gruntu tj. 60 litrów rozcieńczonego środka na 1m^3 gruntu.
- URRICHEM – rozcieńczono w wodzie 1:50 objętościowo. Na 1 tonę stabilizowanego materiału należy stosować 1.5% tj. 15 kg stężonego środka. Po rozcieńczeniu na 1 tonę materiału otrzymamy 570 l rozcieńczonego środka.
- LIPIDUR DP – 20 % wagowych w stosunku do masy suchej przetworzonego osadu w próbce gruntu.
- Geosta K1 – preparat zastosowano w ilości $1\text{kg} / \text{m}^3$ gruntu tj. 1g środka Geosta na ok. 1.8kg gruntu i 1g środka Geosta na 1.2kg popiołu. Środek Geosta K1 rozpuszczono w wodzie zarobowej. W obliczeniach ilości środka uwzględniono wilgotność naturalną gruntu.

7.1.3 ANALIZA I OCENA JAKOŚCI WYCIĄGÓW WODNYCH Z PRÓBEK GRUNTÓW STABILIZOWANYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM I CHEMICZNYMI ŚRODKAMI ULEPSZAJĄCYMI

Badaniom wymywalności poddano glinę oraz popiół lotny z E.C. Siekierki. Materiały te zostały ulepszone dodatkiem lub dodatkami przetworzonego osadu porafineryjnego oraz jednym ze środków chemicznych.

Składy poszczególnych próbek poddanych badaniom były następujące:

- G6** – Gлина zwięzła + 6% przetworzony osad
- GEN6** – Gлина zwięzła + 6% przetworzony osad + 0,72 g środka EN1
- GU6** – Gлина zwięzła + 6% przetworzony osad + 13,5 g środka URRICHEM
- GL6** – Gлина zwięzła + 6% przetworzony osad + 10,8 g środka LIPIDUR DP
- GG0** – Gлина zwięzła + 0% przetworzony osad + GEOSTA K1
- GG4** – Gлина zwięzła + 4% przetworzony osad + GEOSTA K1
- GG6** – Gлина zwięzła + 6% przetworzony osad + GEOSTA K1
- GG8** – Gлина zwięzła + 8% przetworzony osad + GEOSTA K1
- P6** – Popiół + 6% przetworzony osad
- PE6** – Popiół + 6% przetworzony osad + 0,13 g środka EN1
- PU6** – Popiół + 6% przetworzony osad + 9,0 g środka URRICHEM
- PL6** – Popiół + 6% przetworzony osad + 7,2 g środka LIPIDUR DP
- PG0** – Popiół + 0% przetworzony osad + GEOSTA K1
- PG4** – Popiół + 4% przetworzony osad + GEOSTA K1
- PG6** – Popiół + 6% przetworzony osad + GEOSTA K1
- PG8** – Popiół + 8% przetworzony osad + GEOSTA K1

Obserwując wygląd próbek po dwudziestoosmiodniowym okresie ich kontaktu z wodą zauważono, że o ile wszystkie próbki popiołu zachowały swoją walcowatą formę i nie powstały żadne widoczne ślady oddziaływania środowiska wodnego na próbki, o tyle zaznaczył się wyraźny wpływ oddziaływania wody na próbki gliny. Na próbce gliny stabilizowanej jedynie 6% dodatkiem przetworzonego osadu oraz próbkach stabilizowanych przetworzonym osadem i środkami EN-1 oraz URRICHEM powstały drobne spękania. Próbki gliny z udziałem Geosty K1 stabilizowanej 0% - 6% dodatkiem przetworzonego osadu rozsypały się na bryły różnej wielkości, zaś na próbce stabilizowanej 8% dodatkiem przetworzonego osadu powstały wyraźne, głębokie spękania. Jedynie próbka gliny stabilizowana 6% dodatkiem przetworzonego osadu i LIPIDUR-em DP zachowała swoją pierwotną formę i nie powstały na niej żadne spękania i szczeliny.

W poniższej tabeli (Tablica 1) została przedstawiona analiza wyciągów wodnych z próbek gliny zwięzłej stabilizowanej przetworzonym osadem i odpowiednim dodatkiem chemicznych środków ulepszających. Tabela zawiera skład wyciągów wodnych po 28 dniach kontaktu próbek z wodą, sporządzonych w warunkach statycznych.

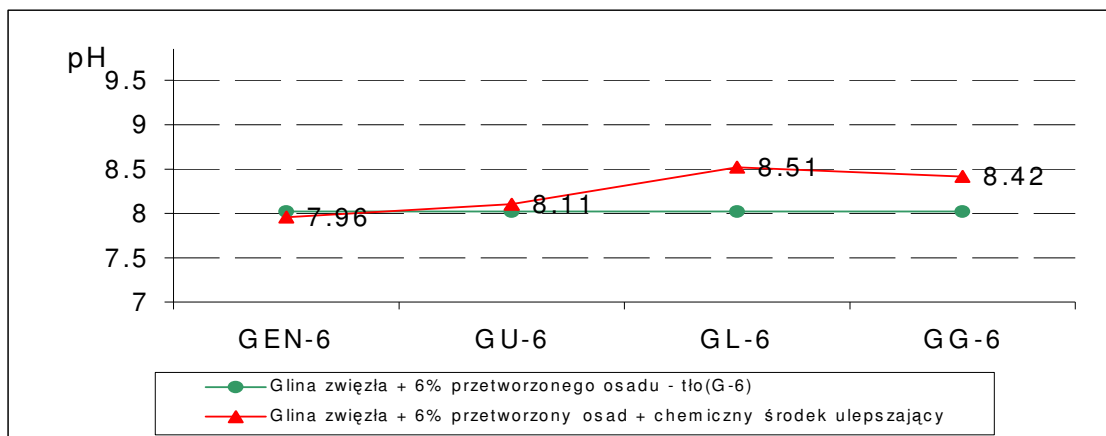
Tablica 1 - Zestawienie wyników badań wyciągów wodnych z próbek gliny zwięzłej stabilizowanej produktem i chemicznymi środkami ulepszającymi, po 28-dniowym okresie ekstrakcji wodnej w warunkach statycznych.

Oznaczenie	Jednostka	Glina zwięzła + 6% przetworzonego osadu				Glina zwięzła + Geosta K1			
		-	EN1	URRI-CHEM	LIPIDUR DP	Dodatek przetworzonego osadu			
						0%	4%	6%	8%
pH		8,02	7,96	8,11	8,51	7,24	7,58	8,42	7,48
Przewodność elektrolityczna	μS/cm	260	272	560	202	199	272	298	335
CHZT	mgO ₂ /dm ³	91,29	68,86	80,94	56,00	38,90	62,59	69,80	77,49
SO ₄ ²⁻	mgSO ₄ /dm ³	60	48	38	33	23	48	64	76
Cl ⁻	mgCl/dm ³	19,53	23,08	115,38	14,20	35,50	39,05	26,63	42,60
Fe _{og.}	mgFe/dm ³	0,086	0,084	0,062	0,073	0,071	0,076	0,088	0,079
Zn	mgZn/dm ³	0,067	0,082	0,050	0,063	0,111	0,052	0,114	0,070
Ni	mgNi/dm ³	0,023	0,018	0,015	0,021	0,000	0,000	0,013	0,021
Pb	mgPb/dm ³	0,250	1,321	2,250	0,677	0,471	0,580	0,279	1,052
Cr	mgCr/dm ³	0,000	0,000	n.w.	0,000	n.w.	n.w.	0,000	n.w.
Cu	mgCu/dm ³	0,141	0,125	0,138	0,125	0,077	0,126	0,095	0,116
Cd	mgCd/dm ³	0,00	0,00	0,00	n.w.	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	mgCa/dm ³	4,69	5,65	17,28	3,53	3,85	5,57	5,77	5,39

Na podstawie wyników badań zestawionych w powyższej tabeli można wyciągnąć następujące wnioski:

Odczyn badanych wyciągów wodnych ze wszystkich próbek mieści się w określonym Rozporządzeniem [4] zakresie (pH 6,5-8,5). Przy czym odczyn wyciągu wodnego, z próbki gliny stabilizowanej jedynie 6% dodatkiem przetworzonego osadu oscyluje w okolicy pH 8. Dodatek środków ulepszających, wspomagających stabilizację nie wpływa istotnie na zmiany odczynu, co przedstawiono na rys. 1.

4 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. (Dz. U. Nr 212, poz. 1799)

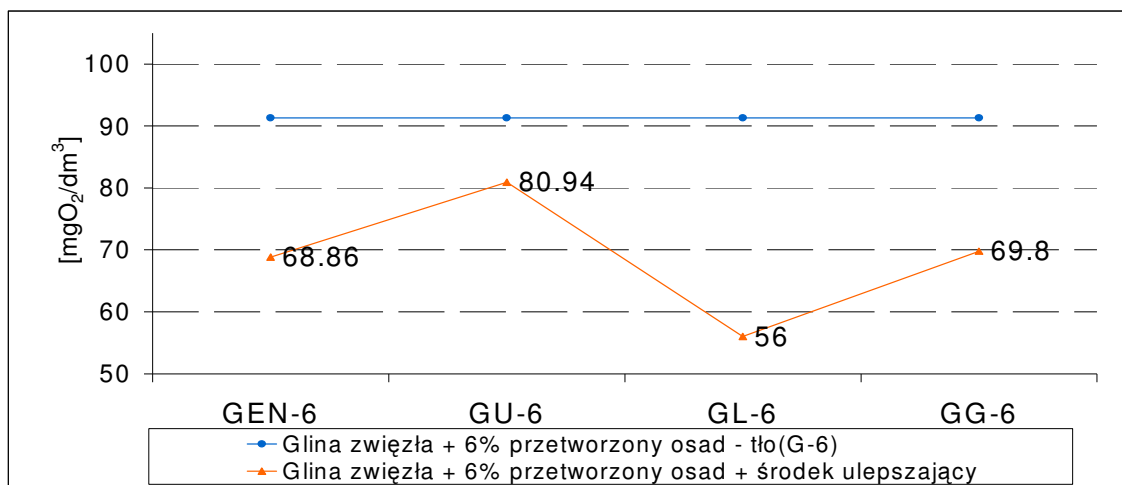


Rys. 1. Wpływ chemicznych środków ulepszających na pH wyciągu wodnego próbek gliny związanej stabilizowanej 6% przetworzonego osadu

Środek EN1 praktycznie nie ma żadnego wpływu na zmianę pH wyciągu wodnego z próbki gliny stabilizowanej przetworzonym osadem mimo, że jest preparatem o odczynie kwaśnym, w odróżnieniu od pozostałych, które są zasadowe. Natomiast środki: URRICHEM, LIPIDUR DP i Geosta K1 nawet nieznacznie podwyższają odczyn badanych wyciągów wodnych co jest niewątpliwie wpływem ich alkalicznego odczynu.

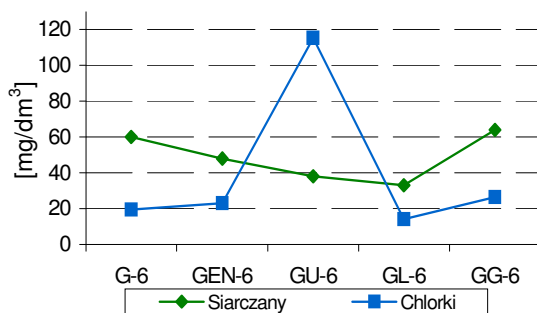
Dodatkowe badania wyciągów wodnych z próbek gliny z dodatkiem Geosty K1, stabilizowanych różnym dodatkiem przetworzonego osadu wskazują, iż wraz ze wzrostem do 6% przetworzonego osadu wzrasta alkaliczny odczyn wyciągów wodnych. Natomiast odczyn wyciągu wodnego z próbki gliny z dodatkiem Geosty K1 stabilizowanej 8% dodatkiem przetworzonego osadu jest niższy niż wyciągów z próbek zawierających 4% i 6% stabilizatora. Biorąc pod uwagę fakt, iż próbki gliny z udziałem Geosty K1 stabilizowane 0% ÷ 6% dodatkiem produktu rozpadły się w czasie 28-dniowej ekstrakcji wodnej, natomiast na próbce stabilizowanej 8% dodatkiem produktu powstały jedynie głębokie spękania, można przypuszczać, iż niska wartość odczynu wodnego z tej ostatniej próbki utrzymała się głównie dzięki silniejszemu efektowi stabilizacji, osiągniętemu przy większym udziale przetworzonego osadu w próbce. Dzięki temu, iż próbka nie rozpadła się, woda miała ograniczoną możliwość penetracji próbki, mniejsza powierzchnia próbki była narażona na bezpośrednie oddziaływanie wody, a w związku z tym i mniej zanieczyszczeń, głównie soli wapnia w przeważającej mierze odpowiadających za alkalizację środowiska, zostało wymytych do środowiska wodnego.

Zaznacza się wyraźny wpływ chemicznych środków ulepszających, na ograniczenie zanieczyszczeń organicznych uwalnianych do środowiska wodnego. Jest to ważne zjawisko, korzystne przy immobilizacji zanieczyszczeń. Stwierdzono, że największą immobilizację zanieczyszczeń organicznych osiąga się dla środka LIPIDUR DP, który redukuje ilość wymywających się zanieczyszczeń organicznych o blisko 40%. Środki EN1 i Geosta K1 redukują ilość uwalniających się zanieczyszczeń organicznych o około 25% a najmniejszy efekt immobilizacji daje URRICHEM, spadek wymywalności wyniósł nieco ponad 10%. Graficznie, ilość zanieczyszczeń organicznych oznaczanych jako CHZT w wyciągach wodnych z próbek stabilizowanych 6% dodatkiem produktu i środkami handlowymi oraz próbki gliny stabilizowanej jedynie 6% dodatkiem produktu, traktowanej jako odniesienie dla próbek z udziałem preparatów chemicznych przedstawiono na rys. 2.

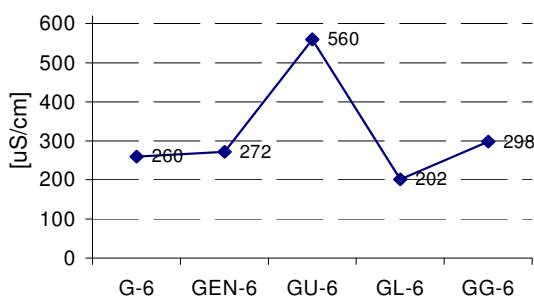


Rys. 2. Wpływ chemicznych środków ulepszących na zmianę wymywalności zanieczyszczeń organicznych z próbki gliny związanej stabilizowanej 6% dodatkiem przetworzonego osadu

Wyniki badań przewodności elektrolitycznej właściwej wskazują, że następuje wymywanie soli z próbek gruntu stabilizowanego przetworzonym osadem porafineryjnym i chemicznymi środkami ulepszącymi. Z zastosowanych środków ulepszących jedynie LIPIDUR DP wpływa pozytywnie na ograniczenie zasolenia wyciągu wodnego z próbki gruntu stabilizowanej 6% dodatkiem przetworzonego osadu - rys.3. W przypadku środka EN1, URRICHEM-u i Geosty K1 zaobserwowano natomiast wzrost zasolenia. Biorąc pod uwagę wyniki wymywalności chlorków i siarczanów oraz porównując graficzne zestawienie tych wyników - rys.4 z wynikami przewodności elektrolitycznej można przypuszczać iż najprawdopodobniej zasolenie spowodowane jest w głównej mierze uwalnianiem się do środowiska wodnego soli chlorkowych. Analizując wpływ środków chemicznych na wymywalność siarczanów stwierdzono, że wszystkie środki, z wyjątkiem Geosty K1 ograniczają ilość siarczanów uwalnianych do środowiska. W przypadku chlorków zaś ich wymywalność wzrasta, tylko LIPIDUR DP hamuje ich mobilność, zaś w przypadku zastosowania URRICHEM-u jako środka ulepszącego następuje wyraźny, bo około sześciokrotny ich wzrost.



Rys. 3. Wymywalność soli z próbek gliny związanej stabilizowanej 6% dodatkiem produktu oraz odpowiednim dodatkiem handlowych środków ulepszących



Rys. 4. Wymywalność zanieczyszczeń z próbek gliny związanej stabilizowanej 6% dodatkiem przetworzonego osadu oraz odpowiednim dodatkiem chemicznych środków ulepszących

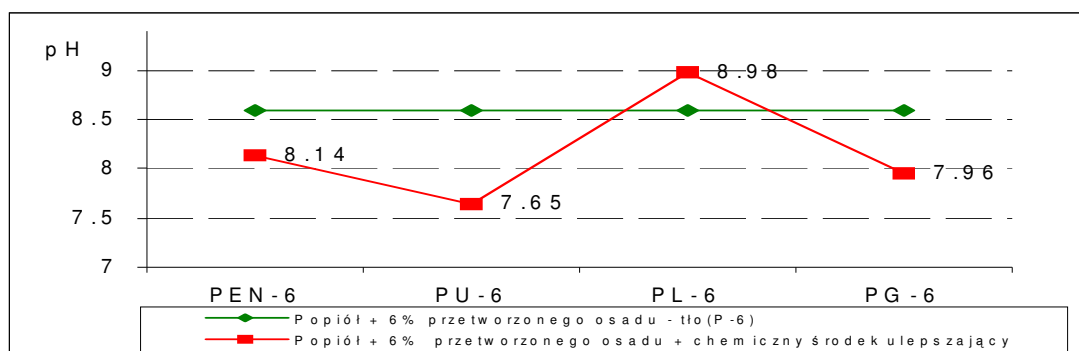
Kolejna seria badań dotyczyła analiz wyciągów wodnych z próbek popiołu lotnego ze składowiska „Zawady” przy EC Siekierki, stabilizowanego przetworzonym osadem porafineryjnym i odpowiednim dodatkiem chemicznych środków ulepszających. Wyniki analizy wyciągów wodnych sporządzonych w warunkach statycznych dla próbek po 28 dniowym czasie pielęgnacji w komorze wilgotnościowej zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2 - Zestawienie wyników badań wyciągów wodnych z próbek popiołu lotnego z EC Siekierki stabilizowanych produktem i handlowymi środkami ulepszającymi, po 28-dniowym okresie ekstrakcji wodnej w warunkach statycznych

Oznaczenie	Jednostka	Popiół lotny + 6% przetworzonego osadu				Popiół lotny + Geosta K1			
		-	EN1	URRI-CHEM	LIPIDUR DP	Dodatek przetworzonego osadu			
						0%	4%	6%	8%
pH		8,60	8,14	7,65	8,98	8,33	8,13	7,95	7,98
Przewodność elektrolityczna	μS/cm	303	340	680	314	769	785	696	800
CHZT	mgO ₂ /dm ³	14,34	12,08	40,78	19,14	27,68	34,48	19,57	23,03
SO ₄ ²⁻	mgSO ₄ /dm ³	68	80	35	67,5	310	400	275	365
Cl ⁻	mgCl/dm ³	15,98	15,98	163,30	17,75	17,75	31,95	35,50	35,50
Fe _{og.}	mgFe/dm ³	0,147	0,073	0,036	0,044	1,78	0,219	0,099	0,059
Zn	mgZn/dm ³	0,062	0,042	0,057	0,012	0,123	0,090	0,097	0,110
Ni	mgNi/dm ³	0,000	0,000	0,000	0,011	n.w.	0,000	0,000	n.w.
Pb	mgPb/dm ³	0,238	0,206	0,176	0,218	1,349	0,794	0,695	0,968
Cr	mgCr/dm ³	0,018	0,019	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
Cu	mgCu/dm ³	0,100	0,041	0,050	0,106	0,059	0,070	0,125	0,083
Cd	mgCd/dm ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	n.w.	0,00	0,00
Ca	mgCa/dm ³	1,18	1,24	11,98	0,45	4,78	5,81	3,75	5,69

Na podstawie wyników badań zestawionych w tablicy 2 można wyciągnąć następujące wnioski:

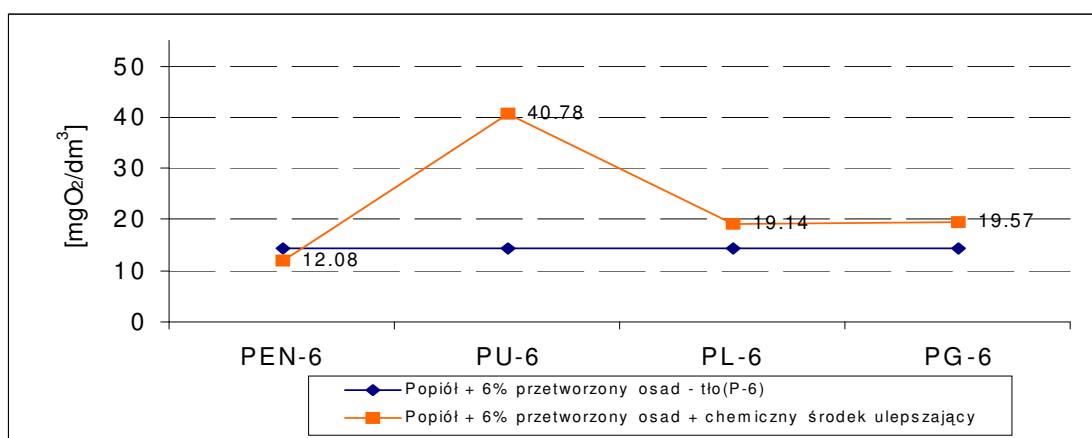
Odczyn wyciągu wodnego z próbki popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu jest na granicy dopuszczalnego zakresu i wynosi 8,6 jednostek pH. Analizując wyniki badanych wyciągów wodnych z próbki popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu i odpowiednim, w stosunku do ilości stabilizowanego materiału, dodatkiem różnych środków ulepszających, wspomagających stabilizację osiągnięto pożądany efekt czyli nastąpiło obniżenie odczynu pH (Rys. 5). Jedynie środek LIPIDUR DP powoduje niewielki wzrost pH wyciągu wodnego, na co prawdopodobnie ma wpływ skład samego środka, który zawiera cement portlandzki. Odczyn badanych wyciągów wodnych z pozostałych próbek z udziałem środka EN1, URRI-CHEM i Geosta K1 mieści się w określonym Rozporządzeniem [4] zakresie (pH 6,5÷8,5).



Rys. 5 Wpływ chemicznych środków ulepszących na pH wyciągu wodnego próbki popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu porafineryjnego

Dodatkowe badania wyciągów wodnych z próbek popiołu z dodatkiem Geosty K1, stabilizowanych różnym dodatkiem przetworzonego osadu wskazują, iż wraz ze wzrostem dodatku osadu nieznacznie spada alkaliczny odczyn wyciągów wodnych. Można przypuszczać, iż przy większym udziale przetworzonego osadu w próbce popiołu osiąga się silniejszy efekt stabilizacji. Dzięki temu mniej zanieczyszczeń, głównie soli wapnia w przeważającej mierze odpowiadających za alkalizację środowiska, zostało uwolnionych do środowiska wodnego.

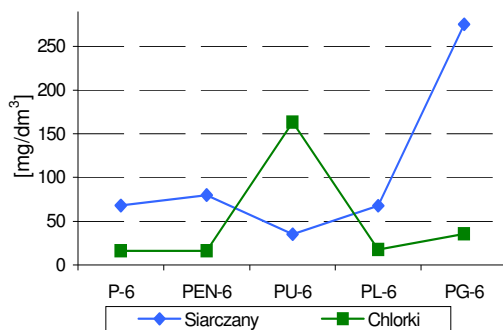
Wpływ chemicznych środków ulepszących, na zmianę ilości zanieczyszczeń organicznych uwalnianych do środowiska wodnego z próbek popiołu stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu, jest w większości niekorzystny. Jedynie środek EN1 nieznacznie wpływa na immobilizację zanieczyszczeń organicznych, a osiągnięta redukcja CHZT wynosi 15%. Środki LIPIDUR DP i Geosta K1 powodują wzrost ilości uwalnianych się zanieczyszczeń organicznych o około 25%, a największy bo wynoszący 65% wzrost wymywalności zanieczyszczeń organicznych powoduje URRICHEM. Graficznie, ilość zanieczyszczeń organicznych oznaczanych jako CHZT w wyciągach wodnych przedstawiono na rys. 6.



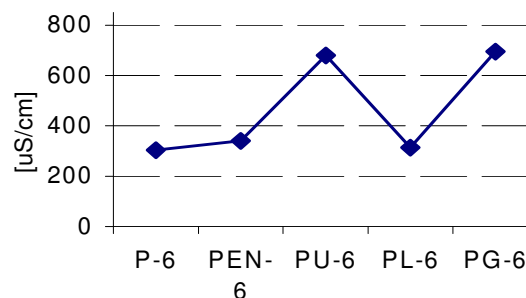
Rys. 6. Wpływ chemicznych środków ulepszących na wymywalność zanieczyszczeń organicznych oznaczanych jako CHZT z próbek popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu porafineryjnego.

Wyniki badań przewodności elektrolitycznej wskazują, że następuje wymywanie soli z próbek popiołu stabilizowanego przetworzonym osadem porafineryjnym i chemicznymi środkami ulepszającymi. Żaden z zastosowanych środków nie wpływa na ograniczenie zasolenia wyciągu wodnego z próbki gruntu stabilizowanej 6% dodatkiem przetworzonego osadu (rys. 7, 8), a niekiedy nawet zwiększa wymywalność. W przypadku LIPIDUR-u DP i środka EN1 wzrost zasolenia jest bardzo nieznaczny natomiast dla URRICHEM-u i Geosty K1 stwierdza się ponad dwukrotny wzrost zasolenia.

Można przypuszczać iż najprawdopodobniej, że za tak znaczny wzrost zasolenia w tych dwóch przypadkach, tzn. w przypadku URRICHEM-u i Geosty K1 odpowiedzialne są sole chlorkowe dla wyciągu wodnego z próbki popiołu z udziałem URRICHEM-u i siarczany dla wyciągu wodnego z próbki z udziałem Geosty K1. Analizując wpływ środków chemicznych na wymywalność siarczanów stwierdzono, że środek EN1 i LIPIDUR DP powodują nieznaczny wzrost wymywalności siarczanów, Geosta K1 powoduje zaś czterokrotny wzrost ilości siarczanów w środowisku wodnym a jedynie URRICHEM powoduje dwukrotny spadek wymywalności siarczanów. W przypadku chlorków środek EN1 i LIPIDUR DP nie wpływają na zmianę ich wymywalności zaś Geosta K1 powoduje dwukrotny a URRICHEM aż dziesięciokrotny wzrost ich ilości w środowisku wodnym. Biorąc pod uwagę fakt, iż w wyciągu wodnym z próbki gliny z udziałem URRICHEM-u również obserwowano znaczny wzrost ilości chlorków w stosunku do pozostałych badanych wyciągów można przypuszczać, iż ma to związek ze składem chemicznym samego środka.



Rys. 7. Wymywalność soli z próbek popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu oraz odpowiednim dodatkiem chemicznych środków ulepszających



Rys. 8 Wymywalność zanieczyszczeń z próbek popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu oraz odpowiednim dodatkiem chemicznych środków ulepszających

Stopień wymywania badanych metali ciężkich z próbki popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem produktu, nie stanowi zagrożenia dla środowiska. Ponadto, handlowe środki ulepszające nie wpływają w dość istotny sposób na redukcję ilości metali uwalnianych do środowiska wodnego.

Analizując wyniki badań wyciągów wodnych w warunkach statycznych nasuwają się następujące wnioski:

Nie można jednoznacznie twierdzić, iż chemiczne środki modyfikujące pozwoliły osiągnąć istotną poprawę parametrów chemicznych sporządzonych wyciągów wodnych.

Wpływ poszczególnych stabilizatorów chemicznych na parametry wyciągu wodnego z próbek gruntów (gliny i popiołu) stabilizowanych 6% dodatkiem przetworzonego osadu porafineryjnego był różny. Niektóre środki wpływały korzystnie, choć ten sam środek mógł poprawiać jeden z oznaczanych parametrów, inny pogarszać a na kolejny nie mieć istotnego wpływu. Ponadto, w zależności od stabilizowanego gruntu, wpływ jednego środka mógł być różny biorąc pod uwagę te same parametry. Ponieważ producenci nie podają składu chemicznego stabilizatorów, można jedynie przypuszczać iż pogorszenie określonych parametrów wyciągów wodnych z próbek z udziałem środków handlowych, w stosunku do próbek gruntów stabilizowanych tylko przetworzonym osadem jest spowodowane albo wzrostem mobilności niektórych zanieczyszczeń, do której przyczyniają się środki chemiczne, bądź też związane jest to z ich składem chemicznym i same stanowią źródło dodatkowego zanieczyszczenia.

Szczegółowo sytuacja wygląda następująco:

a) Po 28-dniowej statycznej ekstrakcji wodnej odczyn wyciągu wodnego z próbki gliny związanej stabilizowanej 6% dodatkiem przetworzonego osadu, pielęgnowanej 28 dni w komorze wilgotnościowej wynosi 8,0 pH i mieści się w dopuszczalnym zakresie. Zastosowanie chemicznych stabilizatorów bądź nie wpływa na zmianę pH jak w przypadku środka EN-1, bądź powoduje nieznaczny wzrost pH, w przypadku trzech pozostałych stabilizatorów.

Odczyn wyciągu wodnego z próbki popiołu lotnego stabilizowanego 6% dodatkiem przetworzonego osadu, po 28-dniowym okresie kontaktu próbki z wodą w warunkach statycznych, wynosi 8,6 czyli jest na granicy dopuszczalnej normy. W przypadku popiołu, wpływ większości stabilizatorów handlowych na zmianę odczynu wyciągu wodnego jest pozytywny, tzn. następuje spadek wartości pH, jedynie LIPIDUR DP powoduje wzrost pH do 9. Biorąc pod uwagę fakt, iż z czasem w wyniku karbonizacji następuje spadek pH, należy przypuszczać iż pozostaje jedynie kwestią czasu, kiedy to przekroczenie zaniknie.

b) Zaznacza się wyraźnie pozytywny wpływ środków chemicznych na ograniczenie wymywalności zanieczyszczeń organicznych z próbki gliny stabilizowanej przetworzonym osadem. Dla LIPIDUR-u DP spadek ten wynosi blisko 40%. Dla popiołu lotnego stabilizowanego przetworzonym osadem obserwuje się sytuację odwrotną, tzn. środki chemiczne powodują wzrost ilości zanieczyszczeń organicznych w środowisku wodnym, dla URRICHEM-u wzrost ten wynosi nawet 65%. Stabilizator EN-1 w bardzo nieznacznym stopniu ogranicza uwalnianie się zanieczyszczeń organicznych.

c) Z analizy wyników przewodności elektrolitycznej wynika, iż dodatek stabilizatorów chemicznych przyczynia się do wzrostu zasolenia środowiska wodnego, tylko LIPIDUR DP w przypadku gliny powoduje spadek zasolenia o około 20%, a w przypadku popiołu nie wpływa w istotny sposób na zmianę tego parametru.

d) W przypadku wyciągu wodnego z próbki gliny jak i popiołu z udziałem URRICHEM-u obserwuje się znaczny wzrost ilości chlorków w stosunku do wszystkich pozostałych próbek, choć poziom ich jest dużo poniżej dopuszczalnej normy.

e) Znacząco wysoki jest poziom siarczanów w wyciągach wodnych z próbek popiołu stabilizowanego Geostą K1.

f) Ilość metali wymywających się z próbki gliny czy popiołu stabilizowanych 6% dodatkiem przetworzonego osadu nie stanowi zagrożenia dla środowiska wodnego i żaden z badanych metali w wyciągach wodnych nie przekracza wartości określonej Rozporządzeniem [4].

Biorąc pod uwagę fakt iż parametry chemiczne wyciągów wodnych po 28-dniowym okresie statycznej ekstrakcji wodnej próbek gruntów stabilizowanych 6% dodatkiem przetworzonego osadu i pielęgnowanych w komorze wilgotnościowej 28 dni mieszczą się w określonych Rozporządzeniem zakresach, a dodatek badanych stabilizatorów chemicznych nie wpływa zdecydowanie na poprawę parametrów wyciągów wodnych a niekiedy wręcz je pogarsza, ich

stosowanie ze środowiskowego i ekonomicznego (dodatkowy koszt preparatu) punktu widzenia jest nie uzasadnione.

Mając na uwadze fakt, iż celem zastosowania stabilizatorów handlowych była próba zredukowania niekorzystnego efektu oddziaływania przetworzonego osadu porafineryjnego na środowisko wodne związanego z nadmierną alkalizacją tego środowiska, co udało się osiągnąć dla trzech z czterech zastosowanych w badaniach laboratoryjnych środków chemicznych wykorzystanych do stabilizacji próbek popiołu z udziałem produktu, można rozważyć dalszą możliwość badań stabilizacji popiołów większymi dodatkami przetworzonego osadu i jednym z preparatów chemicznych. Biorąc pod uwagę to, iż z trzech preparatów dla których udało się osiągnąć obniżenie odczynu wyciągów wodnych Geosta K1 powoduje bardzo znaczny wzrost ilości siarczanów w środowisku wodnym, wydaje się że najodpowiedniejszymi środkami do ewentualnych dalszych badań są EN-1 i URRICHEM, który co prawda powoduje kilkukrotny wzrost ilości chlorków w środowisku wodnym, ale ich poziom jest dużo poniżej dopuszczalnego. Jednak badania technologiczne wykazały, iż do stabilizacji popiołów produktem najlepiej stosować 2% ÷ 8% dodatek przetworzonego osadu a optymalnie 4÷6%, co przy takim udziale w stabilizowanym gruncie, jak wynika z badań, parametry wyciągu wodnego nie stanowią problemu środowiskowego gdyż nie przekraczają dopuszczalnych norm określonych Rozporządzeniem.

7.2 BADANIA PRZETWORZONEGO OSADU PORAFINERYJNEGO JAKO STABILIZATORA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH

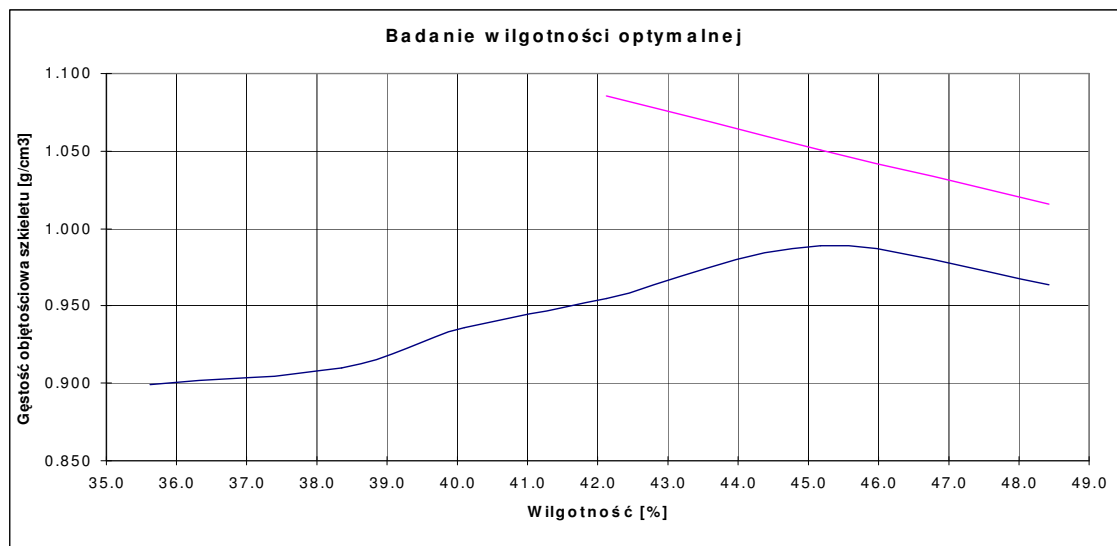
Popioły fluidalne zawierają znaczne ilości związków siarki oraz wapnia dzięki czemu posiadają właściwości wiążące lecz wykazują cechy pęcznienia, które wpływają na zmiany objętościowe w dłuższym czasie pielęgnacji. W celu wyeliminowania tej niekorzystnej cechy jako stabilizator popiołu fluidalnego zastosowano przetworzony wapnem palonym osad porafineryjny.

7.2.1 CHARAKTERYSTYKA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z E.C. ŻERAŃ.

Popioły fluidalne do badań zostały pobrane z elektrociepłowni Żerań i poddane podstawowym badaniom podstawowych cech geotechnicznych. Poniżej przedstawiono uzyskane wyniki:

Tablica 3 - Badanie wilgotności optymalnej w_{opt} i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{ds} wg. PN - 88 / B - 04481, pkt.8

Badanie wilgotności												
Nr par.	3	99	115	29	203	208	722	68	18	8	74	45
m + t	235.64	224.73	251.54	247.48	260.12	241.23	295.30	269.62	269.67	240.84	289.91	275.57
m s + t	193.78	192.15	209.80	207.30	205.68	197.90	237.81	218.51	211.84	191.34	231.08	215.86
m - m s	41.86	32.58	41.74	40.18	54.44	43.33	57.49	51.11	57.83	49.50	58.83	59.71
t	76.78	100.24	101.11	102.45	70.11	89.65	100.91	97.60	85.82	79.95	109.58	92.51
m s	117.00	91.91	108.69	104.85	135.57	108.25	136.90	120.91	126.02	111.39	121.50	123.35
W I W II	35.78	35.45	38.40	38.32	40.16	40.03	41.99	42.27	45.89	44.44	48.42	48.41
W ś r	35.61		38.36		40.09		42.13		45.16		48.41	
m + t	7290		7329		7381		7427		7505		7500	
t	6070		6070		6070		6070		6070		6070	
m	1220		1259		1311		1357		1435		1430	
V	1000		1000		1000		1000		1000		1000	
ρ_d	0.900		0.910		0.936		0.955		0.989		0.964	
ρ_{ds}							2		2		2	
ρ_d przy $S_r = 1$							1.09		1.05		1.02	



WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA =45,2... %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = 0,989..... g/cm³

Jak widać popioły te charakteryzują się wysoką wilgotnością optymalną i małą maksymalną gęstością objętościową szkieletu gruntowego. Wysoka wilgotność oznacza wysoką wodorządność, która może być wykorzystana w procesie ulepszania przewilgoconych gruntów mineralnych.

Następnym krokiem było badanie wskaźnika nośności popiołu fluidalnego bezpośrednio po zagęszczeniu i po 7 dniach pielęgnacji. Wyniki badań przedstawiono w tablicy 4.

Tablica 4 - Badanie wskaźnika nośności $w_{noś}$ wg. PN-S-0205:1998, zał. 2

Badanie wilgotności											
	bezpośrednio po zagęszczeniu				7 dni w tym 4 dni nasycania wodą				po zakończeniu pęcznienia		
Nr par.	15	53	4	20	215	204	251	19			
m+t	275.12	256.52	261.96	274.52	205.69	193.90	210.18	198.79			
ms+t	219.97	214.02	208.47	225.47	152.01	136.81	163.44	144.09			
m-ms	55.15	42.50	53.49	49.05	53.68	57.09	46.74	54.70			
t	96	117.70	87.91	114.82	87.91	70.12	106.00	79.96			
ms	123.97	96.32	120.56	110.65	64.1	66.69	57.44	64.13			
W	44.49	44.12	44.37	44.33	83.74	85.61	81.37	85.30			
Wśr	44.33				84.00						

Badanie gęstości objętościowej											
	bezpośrednio po zagęszczeniu				7 dni w tym 4 dni nasycania wodą				po zakończeniu pęcznienia		
m+t	13705				14608						
t	10423				10423						
m	3282				4185						
V	2300				2300						
ρ	1.427				1.820						
pd	0.989				0.989						

Badanie wskaźnika nośności											
	bezpośrednio po zagęszczeniu				7 dni w tym 4 dni nasycania wodą				po zakończeniu pęcznienia		
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]		siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]
0.62	0.67	16			9.11	218			0.00		
1.25	1.21	29			11.41	273			0.00		
1.86	1.63	39			13.29	318			0.00		
2.5	1.92	46	14		14.63	350	105		0.00		0
3.75	2.38	57			17.39	416			0.00		
5	2.80	67	14		19.86	475	99		0.00		0
6.25	3.18	76			22.15	530			0.00		
7.5	3.55	85			24.33	582			0.00		
8.75	3.89	93			26.54	635			0.00		
10	4.22	101			28.76	688			0.00		
Srednia			14				102				0

1 punkt z czujnika = 0.002 mm

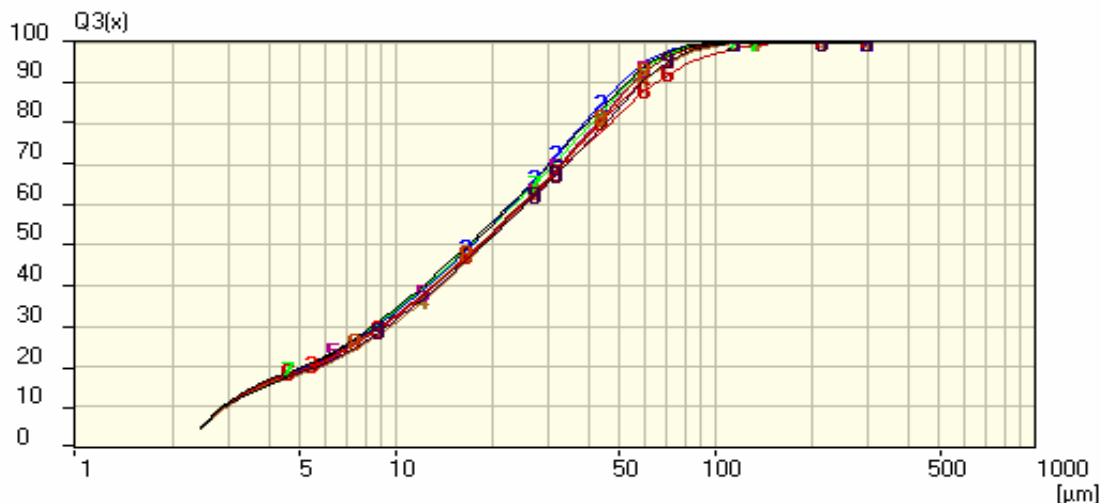
Pomiar pęcznienia					
Data	08.06.04	09.06.04	10.06.04	11.06.04	12.06.04
ustawienie zegara	1	1	1	1	1
odczyt	0	0	0	0	0
pęcznienie [%]		0	0	0	0

Oprócz przedstawionych powyżej cech zbadano także wskaźnik piaskowy SE , kapilarność bierną H_{kB} , pH , aktywność popiołów Δt , a także wykonano przesiewy na analizatorze laserowym wyniki przedstawiono w tabeli 5 i rysunku 9 i 10.

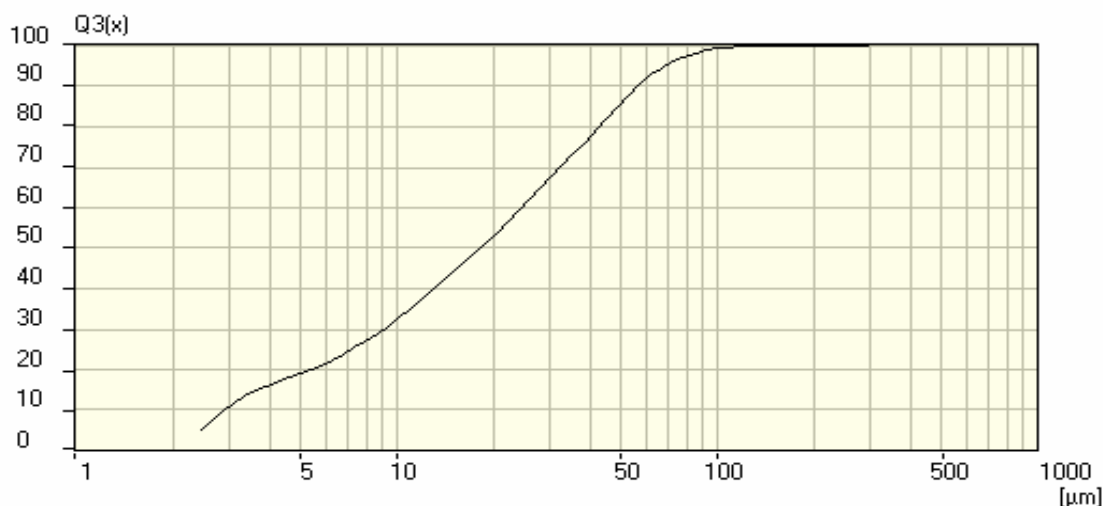
Tablica 5. Wskaźnik piaskowy, kapilarność bierna, pH i aktywność popiołów fluidalnych.

Badana cecha	Uzyskany wynik
Wskaźnik piaskowy SE [-]	5
Kapilarność bierna H_{KB} [m]	> 2,0
pH	12,87
Aktywność Δt [°C]	40

Wykonano 9 przesiewów na analizatorze laserowym, które zestawiono następnie na jednym wykresie, następnym krokiem było stworzenie przesiewu średniego, na poniższych rysunkach przedstawiono wykres zbiorczy dla 9 przesiewów i wykres średni obliczony metodą najmniejszych kwadratów.



Rys. 9. Wykres przesiewu 9 próbek popiołów fluidalnych z E.C. Żerań.



Rys. 10. Wykres przesiewu średniego dla 9 próbek popiołów fluidalnych z E.C. Żerań (metoda najmniejszych kwadratów).

Jak widać popioły fluidalne charakteryzują się niskim wskaźnikiem piaskowym ($SE=5$) i wysoką kapilarnością bierną, nie są to wyniki które mogłyby sklasyfikować popioły fluidalne jako dobry materiał w budownictwie drogowym. Dotychczas popioły fluidalne stanowiły

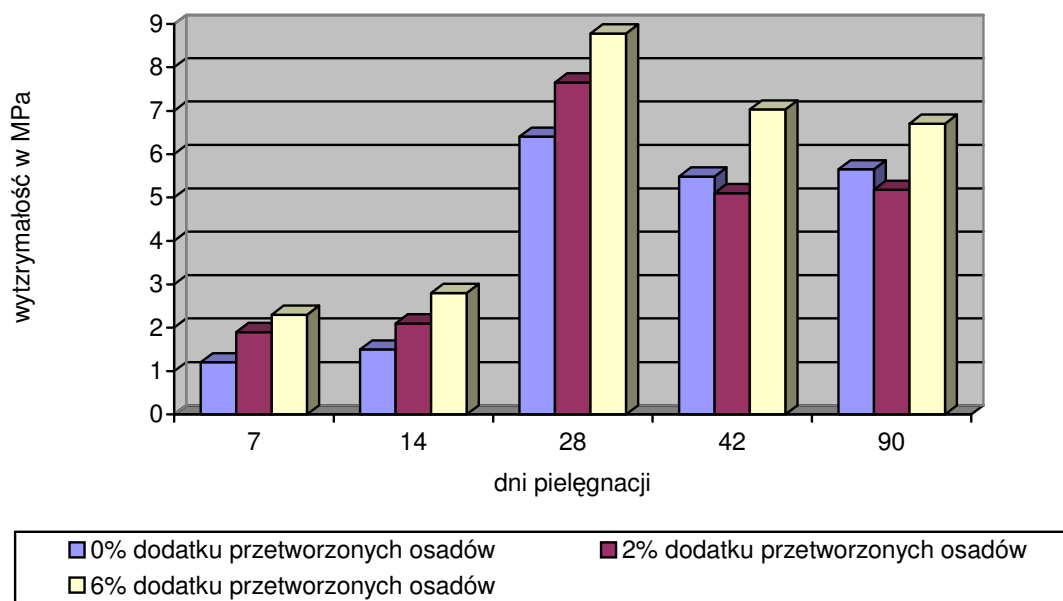
dodatek do ulepszania małośnych przewilgoconych gruntów, zwłaszcza spoistych, natomiast ich właściwości nie pozwalają na wykorzystanie ich samodzielnie do budowy nasypów. W celu określenia wpływu dodatku do popiołów lotnych fluidalnych wykonano badania wytrzymałościowe próbek bez dodatku i z różnymi dodatkami przetworzonego osadu porafineryjnego.

7.2.2 WYNIKI BADAŃ POPIOŁÓW FLUIDALNYCH ULEPSZONYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM.

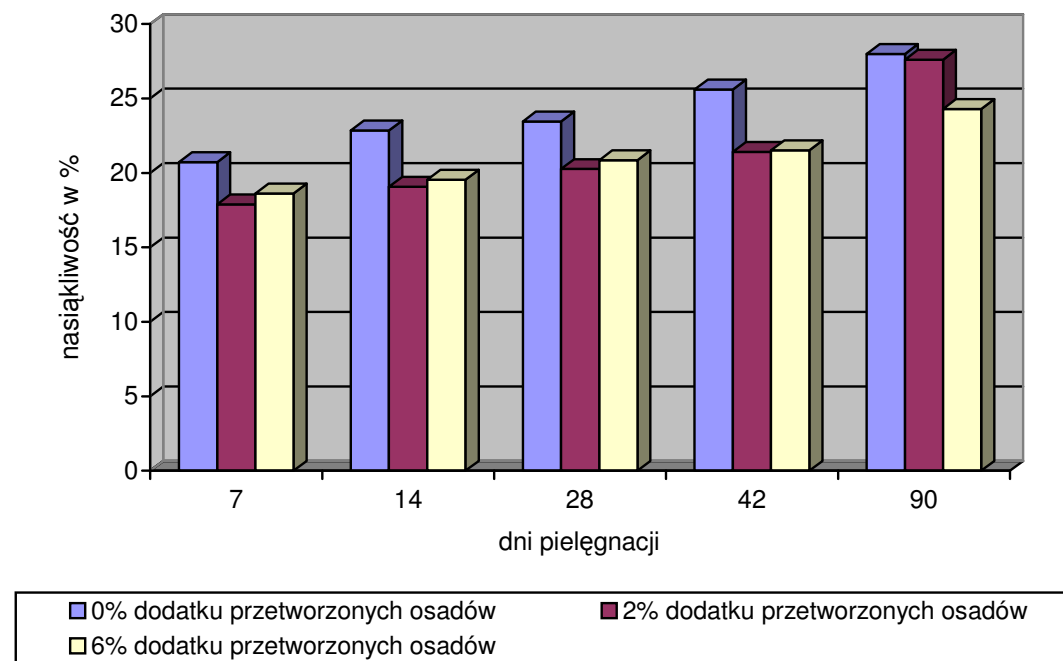
Po badaniach podstawowych dla popiołów fluidalnych postanowiono dodać do nich 2 i 6% przetworzonych osadów porafineryjnych w celu zapobiegnięcia pękaniu próbek wytrzymałościowych, co w znaczący sposób obniżało ich wytrzymałość i powodowało rozpad podczas cykli zamrażania i rozmrażania.

Tablica 6 - Zestawienie wyników badań popiołów fluidalnych stabilizowanych przetworzonymi osadami porafineryjnymi.

Wytrzymałość na ściskanie po dniach.		Skład mieszanek		
		Popiół fluidalny	Popiół fluidalny + 2% przetworzonych osadów	Popiół fluidalny + 6% przetworzonych osadów
R_7	Wytrzymałość [MPa]	1,20	1,90	2,30
	Nasiąkliwość [%]	20,73	17,89	18,63
R_{14}	Wytrzymałość [MPa]	1,50	2,10	2,80
	Nasiąkliwość [%]	22,85	19,06	19,54
R_{28}^m	Wytrzymałość [MPa]	6,40	7,65	8,78
	Nasiąkliwość [%]	23,45	20,27	20,84
R_{28}^{zo}	Wytrzymałość [MPa]	Rozpad po 8 cyklach	Rozpad po 10 cyklach	Rozpad po 12 cyklach
	Nasiąkliwość [%]	-	-	-
$\frac{R_{28}^{zo}}{R_{28}^m}$	Wskaźnik mrozoodporności	-	-	-
R_{42}^m	Wytrzymałość [MPa]	5,48	5,10	7,03
	Nasiąkliwość [%]	25,60	21,41	21,51
R_{42}^{zo}	Wytrzymałość [MPa]	Rozpad po 6 cyklach	Rozpad po 8 cyklach	Rozpad po 10 cyklach
	Nasiąkliwość [%]	-	-	-
$\frac{R_{42}^{zo}}{R_{42}^m}$	Wskaźnik mrozoodporności	-	-	-
R_{90}^m	Wytrzymałość [MPa]	5,65	5,18	6,70
	Nasiąkliwość [%]	27,99	27,60	24,30
R_{90}^{zo}	Wytrzymałość [MPa]	Rozpad po 5 cyklach	Rozpad po 7 cyklach	Rozpad po 9 cyklach
	Nasiąkliwość [%]	-	-	-
$\frac{R_{90}^{zo}}{R_{90}^m}$	Wskaźnik mrozoodporności	-	-	-



Rys. 11. Wykres wytrzymałości na ściskanie próbek popiołów fluidalnych stabilizowanych przetworzonymi osadami porafineryjnymi.



Rys. 12. Wykres zmian nasiąkliwości próbek popiołów fluidalnych stabilizowanych przetworzonymi osadami porafineryjnymi

Analizując otrzymane wyniki badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. dodatek przetworzonych osadów porafineryjnych zwiększa wytrzymałość próbek na ściskanie, jednak po 28 dniach we wszystkich próbkach zaobserwowano spadek wytrzymałości.
2. przetworzony osad z uwagi na zawartość węglowodorów zmniejsza nasiąkliwość popiołu co wpływa na większą wytrzymałość,
3. nawet 6% dodatek przetworzonych osadów nie spowodowały wzmocnienia próbek na tyle aby wytrzymały 14 cykli zamrażania i rozmrażania, powoduje zwiększenie tej wytrzymałości o 2 cykle jednak żadna próbka nie przetrwała wszystkich 14 cykli.
4. dodatek przetworzonych osadów powoduje także zmniejszenie ilości wchłanianej przez próbki wody, średnio o 2-3%, jednak pomimo tego na wszystkich próbkach zaobserwowano spękania które obniżają ich wytrzymałość,
5. spadki wytrzymałości w czasie próbek stabilizowanych potwierdzają, że przetworzony osad nie eliminuje zmian objętościowych w popiołach fluidalnych i dalsze kontynuowanie badań w tym kierunku jest niewskazane,
6. Przetworzony osad porafineryjny nie stanowi modyfikatora popiołów fluidalnych z węgla kamiennego.

7.3 BADANIA UZUPEŁNIAJĄCE MIESZANKI MINERALNO - BITUMICZNO-GUMOWEJ

W ramach opracowania pierwszego etapu niniejszego opracowania przewidziano wykonanie badań trwałości mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem granulatu gumowego z ukierunkowaniem na badania odporności na działanie wody i niskiej temperatury. Mieszanki mineralno-bitumiczne z dodatkiem granulatu gumowego charakteryzują się zwiększoną zawartością wolnej przestrzeni w nawierzchni w porównaniu do warstw wykonanych z tradycyjnych mieszanek mineralno-bitumicznych. Biorąc to pod uwagę, a także specyficzne warunki klimatyczne panujące na obszarze Polski (bardzo częste przechodzenie temperatury przez punkt 0 °C) określenie odporności mieszanki mineralno-bitumicznej z dodatkiem granulatu gumowego na działanie wody i niskiej temperatury jest bardzo istotnym zagadnieniem.

7.3.1 PROCEDURA BADANIA

Niszczące działanie wody i mrozu zostało ocenione na podstawie wskaźnika odporności TSR w oparciu o procedurę IBDiM opracowaną na podstawie normy AASHTO T-283 [5]. Metoda badania polega na oznaczeniu wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek z MMA pielęgnowanych w ustalony sposób oraz próbek z MMA nie pielęgnowanych (próbki porównawcze) i obliczeniu ilorazu tych wyników, który pomnożony przez 100 % jest wskaźnikiem pozostałej wytrzymałości na rozciąganie pośrednie TSR. Próbki nie pielęgnowane (porównawcze) zagęszcza się w taki sam sposób jak i próbki pielęgnowane (badawcze). MMA przed zagęszczeniem próbek nie pielęgnowanych i pielęgnowanych jest przetrzymywana w stanie gorącym w ustalonych warunkach. Pielęgnacja próbek polega na nasyceniu ich wodą, zamrażaniu i moczeniu w gorącej wodzie.

7.3.2 ZASADA METODY

Poniżej podano skrócony opis przeprowadzenia badania odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na działania czynników atmosferycznych:

Przygotowanie próbek:

- a wyłożenie wymieszanej MMA w cienkiej warstwie na tacy aluminiowej i ochłodzenie jej w temperaturze pokojowej,
- b naczynie z ochłodzoną mieszanką przetrzymywanie w suszarce w temperaturze 60 ± 2 °C przez 16 h,
- c naczynie z mieszanką wygrzewanie w suszarce w temperaturze 135 ± 2 °C przez 2 h,
- d termostatowanie w temperaturze zagęszczania MMA,
- e zagęszczenie MMA do wolnej przestrzeni 7 ± 1 % (V/V). Energię zagęszczania wyrażoną np. liczbą uderzeń ubijaka, należy ustalić doświadczalnie dla każdej nowej mieszanki przed jej zagęszczaniem,
- f przetrzymywane przez 72-96 h próbki MMA w pokojowej temperaturze. W tym czasie należy określić: wysokość i średnicę próbek; gęstość objętościową, strukturalną metodą hydrostatyczną i wolną przestrzeń; podzielić próbki na dwie grupy po 3 próbki w każdej w taki sposób, aby wartości średniej wolnej przestrzeni tych dwóch grup nie różniły się więcej niż o 0,2 % (V/V).

Pielęgnacja próbek:

Grupę próbek porównawczych do czasu ich zbadania przechowuje się w temperaturze pokojowej. Przed badaniem próbki umieszcza się w łaźni wodnej w temperaturze $+25$ °C przez $2 \pm 0,5$ h.

Druga grupa próbek badawczych poddana jest pielęgnacji:

- a nasycenie wodą próbek w komorze próżniowej do stopnia nasycenia pomiędzy 55-80 %; stopień nasycenia wodą N_w oblicza się wg równania 4:

$$N_w = \frac{(B - A)}{V(B - C)} * 100 \% \text{ [m/m]} \quad \text{Równanie 1}$$

gdzie:

- N_w – stopień nasycenia, % (m/m)
- A – ciężar próbki suchej w powietrzu, g
- B – ciężar próbki nasyconej w powietrzu, g
- C – ciężar próbki nasyconej w wodzie, g
- V – zawartość wolnych przestrzeni w próbce, wyrażona liczbą dziesiętną
- b zamrożenie próbek MMA w temperaturze -18 ± 3 °C przez 16 ± 18 h,
- c rozmrożenie próbek MMA w łaźni z wodą o temperaturze 60 ± 1 °C i przetrzymywanie ich przez 24 ± 1 h,
- d przetrzymywanie próbek MMA w łaźni z wodą o temperaturze $25 \pm 0,5$ °C przez $2 \pm 0,5$ h,
- e właściwe oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek pielęgnowanych i nie pielęgnowanych.

Wynik badania:

Wytrzymałość pojedynczej próbki na rozciąganie pośrednie oblicza się wg równania 5:

$$S_r = \frac{2 P}{\pi h d} \text{ [MPa]} \quad \text{Równanie 2}$$

gdzie:

- S_r – wytrzymałość na rozciąganie pośrednie, MPa
- P – maksymalna siła niszcząca próbkę, MN
- h – wysokość próbki, m
- d – średnica próbki, m

Wskaźnik odporności TSR oblicza się na podstawie średniej wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek porównawczych (S_{r-2}) i średniej wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek badawczych pielęgnowanych (S_{r-1}) wg równania 6:

$$TSR = \frac{S_{r-1}}{S_{r-2}} * 100 \% \quad \text{Równanie 3}$$

gdzie:

- S_{r-1} – średnia wytrzymałość na rozciąganie próbek pielęgnowanych, MPa
- S_{r-2} – średnia wytrzymałość na rozciąganie próbek porównawczych, MPa.

Obliczony wskaźnik TSR powinien być ≥ 80 %. Im jest on bliższy wartości 100 % tym mieszanka jest bardziej odporna na wpływ czynników zewnętrznych.

7.3.3 MIESZANKA BADAWCZA

Do badań wykorzystano mieszankę mineralno bitumiczną z dodatkiem granulatu gumowego typu MNU przeznaczoną na warstwę ścieralną, a więc najbardziej narażoną na niekorzystne oddziaływanie czynników środowiska naturalnego. Mieszanka została wykonana w technologii „na sucho”. W tablicy 1 przedstawiony został skład mieszanki

mineralnej z dodatkiem granulatu gumowego frakcji 0/4mm oraz skład mieszanki mineralno-gumowo-asfaltowej.

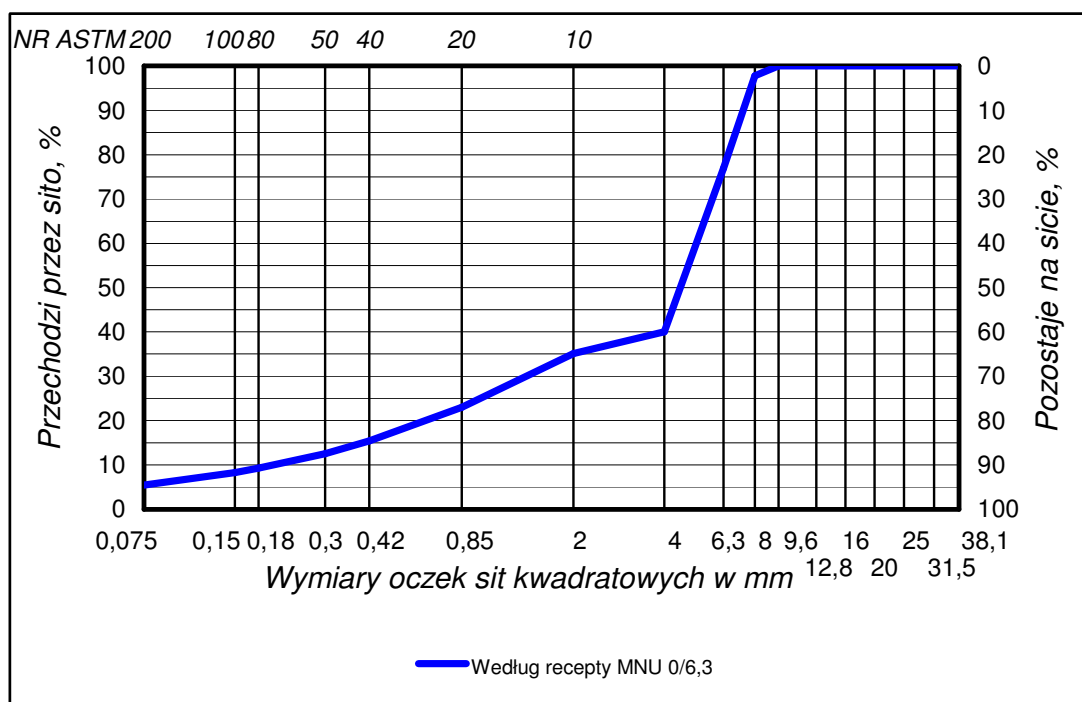
Tablica 1 - Skład mieszanki mineralnej mineralno-gumowo asfaltowej typu MNU6,3

Lp.	Składniki	Mieszanka mineralna % m/m	Mieszanka mineralno-asfaltowa % m/m
1	Bazalt 5/8 mm	64,0	59,9
2	Gabro 0/2 mm	32,5	30,5
3	Mączka wapienna	3,5	0,9
4	Granulat gumowy	-	1,4
5	Asfalt modyfikowany 80B	-	7,0
	Razem	100,0	100,0

Inne dodatki:

- środek adhezyjny
- stabilizator.

Na rysunku poniżej przedstawiono krzywą uziarnienia badanej mieszanki.



Rys. 1. Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej MNU6,3 do warstwy ścieralnej

Mieszanka MNU6,3 wykonana w laboratorium charakteryzowała się cechami, które zostały przedstawione w tablicy 2.

Tablica 2 Zbadane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej z granulatem gumowym, o składzie optymalnym i zawartość asfaltu $A_m=7,0$

Lp.	Właściwości	Jednostki	Wyniki
1	Gęstość objętościowa mieszanki-mineralnej	g/cm ³	3,041
2	Gęstość objętościowa mieszanki mineralno-asfaltowej	g/cm ³	2,608
3	Gęstość strukturalna mieszanki mineralno-asfaltowej *)	g/cm ³	2,410
4	Wolna przestrzeń w mieszanke mineralno-asfaltowej	% v/v	7,6
5	Wypełnienie asfaltem wolnej przestrzeni	% v/v	67,0
6	Spływność wg Schellenberga	% m/m	0,2

*) zagęszczanie próbek 2x75 uderzeń ubijaka Marshalla

W oparciu o powyższe dane wykonano mieszankę w wytwórni RDM Piła Sp. z o.o. Pracownicy IBDiM pobrali próbkę tej mieszanki, posłużyła ona do wykonania w laboratorium IBDiM próbek przeznaczonych do badania w ramach niniejszego tematu odporności na działanie wody i mrozu mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem granulatu gumowego.

7.3.4 WYNIKI BADANIA

Poniżej zostały przedstawione wyniki badań mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem granulatu gumowego typu MNU6,3, wykonanej metodą „na sucho” o uziarnieniu zgodnym z opisaną wyżej receptą. W tablicach 3 i 4 przedstawione zostały odpowiednio cechy wykonanych w laboratorium próbek z grupy porównawczej i poddanej pielęgnacji badanej mieszanki typu MNU6,3.

Tablica 3 Podstawowe cechy próbek niepielęgnowanych z MNU6,3 z dodatkiem granulatu gumowego

Próbka Cecha	1	2	3
Gęstość strukturalna, g/cm ³	2,562	2,560	2,559
Zawartość wolnej przestrzeni, % (v/v)	7,0	7,1	7,1
Wypełnienie wolnej przestrzeni, % (v/v)	64,4	64,2	64,1

Tablica 4 Podstawowe cechy próbek poddanych pielęgnacji z MNU6,3 z dodatkiem granulatu gumowego

Próbka Cecha	3	4	5
Gęstość strukturalna, g/cm ³	2,552	2,563	2,574
Zawartość wolnej przestrzeni, % (v/v)	7,4	7,0	6,6
Wypełnienie wolnej przestrzeni, % (v/v)	63,2	64,6	66,0

Próbki pielęgnowane nasycano w komorze próżniowej uzyskując następujące stopnie nasycenia.

Tablica 5 Stopień nasycenia wodą próbek poddanych pielęgnacji

Próbka	Stopień nasycenia [%]
4	58
5	65
6	65

Po przeprowadzeniu przewidzianej procedurą badawczą pielęgnacji połowy próbek wykonano badania rozciągania pośredniego wszystkich próbek w aparacie Marshalla. W tablicy 6 przedstawione są otrzymane wartości siły niszczącej oraz wytrzymałość na rozciąganie obliczona wg wzoru nr 2.

Tablica 6 Wyniki badania rozciągania pośredniego badanej mieszanki MNU6,3 z dodatkiem granulatu gumowego

Próbki nie- pielęgnowane	Siła niszcząca próbkę [kN]	Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie [MPa]
nr 1	7,8	0,80
nr 2	7,1	0,71
nr 3	7,6	0,76
Próbki poddane pielęgnacji		
nr 4	7,4	0,74
nr 5	6,9	0,68
nr 6	7,4	0,73

Na podstawie otrzymanych wyników, obliczono średnią wytrzymałość na rozciąganie próbek niepielęgnowanych i grupy porównawczej.

Wyniosła ona 0,75 MPa dla grupy próbek niepielęgnowanych oraz 0,72 MPa dla próbek poddanych pielęgnacji.

Następnie korzystając z wzoru nr 3 obliczono wskaźnik pozostałej wytrzymałości na rozciąganie TSR.

Wskaźnik TSR dla zbadanej mieszanki mineralno-asfaltowej MNU6,3 z dodatkiem granulatu gumowego wynosi 95,3 %, a więc spełniony został warunek mówiący, że nie powinien być mniejszy niż 80 %.

Dokonano również wizualnej oceny przełomu próbek, nie stwierdzając popękanych ziaren kruszywa, co świadczy o odporności kruszywa na działanie niskiej temperatury.

7.3.5 WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić co następuje:

- mieszanka mineralno-asfaltowa z dodatkiem granulatu gumowego typu MNU6,3 wykazała wysoką odporność na działanie wody i niskiej temperatury, wskaźnik pozostałej wytrzymałości na rozciąganie TSR wyniósł 95,3 %, można wnioskować, że mieszanka mineralno-asfaltowa z granuletem gumowym będzie charakteryzować się dużą trwałością,
- wysoka odporność na działanie wody i niskiej temperatury pozwala wnioskować, że taka mieszanka będzie odporna na spękania i dzięki temu może spełniać rolę np.: membrany przeciwspekaniowej, zarówno w warstwie ścieralnej jak i pośredniej,
- z uwagi na rodzaj i specyfikę mieszanki z granuletem gumowym wskazane jest zastosowanie mieszanek typu MNU lub SMA,

- tekstura i wygląd przełomu próbek wykazują cechy pęknięcia kohezyjnego. Mieszanka taka może odznaczać się dobrą przyczepnością do różnego rodzaju podłoża,
- przebadana mieszanka charakteryzowała się wytrzymałością na rozciąganie pośrednie na poziomie 0,75 MPa, zbliżonym do wytrzymałości oznaczonej dla mieszanek typu SMA, a nieco niższym niż w przypadku mieszanek z betonu asfaltowego,
- cechy wytrzymałościowe są wystarczające z uwagi na fakt, że przewidziano stosowanie takich mieszanek, w warstwach, które powinny być przede wszystkim trwałe, elastyczne i stanowić zabezpieczenie przeciwspekaniowe lub wygłuszające.

Spis treści

1. WPROWADZENIE	3
2. WSTĘP	5
3. PRZEGLĄD PRZEPISÓW PRAWNYCH.....	6
4. PRZEGLĄD DOŚWIADCZEŃ ZAGRANICZNYCH.....	8
5. GŁÓWNE RODZAJE ODPADÓW PRZEMYSŁOWYH PRZYDATNYCH W DROGOWNICTWIE.....	13
5.1 PRZYKŁADOWE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI Z WYKORZYSTANIEM UBOCZNYCH PRODUKTÓW PRZEMYSŁOWYCH.....	19
5.1.1 ODPADY BUDOWLANE	20
5.1.2 ODPADY POWĘGŁOWE	21
5.1.3 ODPADY ELEKTROWNIANE	23
5.1.4 ODPADY CHEMICZNE.....	25
5.1.5 ODPADY HUTNICZE.....	26
6. BADANIE STANU TECHNIKI NA PODSTAWIE POLSKICH OPISÓW ZGŁOSZENIOWYCH I PATENTOWYCH W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH W DROGOWNICTWIE	29
6.1 TEMAT BADANIA.....	29
6.2 CEL I RODZAJ BADANIA	29
6.3 METODA BADANIA	29
6.4 CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH POLSKICH OPISÓW PATENTOWYCH DOT. BADANEGO TEMATU	29
6.5 OMÓWIENIE REZULTATÓW BADAŃ	29
ZAŁĄCZNIK 1 ODPADY HUTNICZE	36
1. WSTĘP. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GRUPY ODPADÓW HUTNICZYCH	37
2. PODZIAŁ GRUPY ODPADÓW HUTNICZYCH NA PODGRUPY.....	37
2.1. ŻUŻEL WIELKOPIECOWY - KAWĄLKOWY	38
2.1.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA	38
2.1.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	38
2.1.3. IDENTYFIKACJA HANDŁOWA - ASORTYMENT	39
2.1.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	39
2.1.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO ...	39
2.1.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH.....	39
2.1.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	39
2.2. ŻUŻEL WIELKOPIECOWY - GRANULOWANY	39
2.2.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA	39
2.2.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	40
2.2.3. IDENTYFIKACJA HANDŁOWA - ASORTYMENT	40
2.2.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	40
2.2.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO ...	40
2.2.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH.....	40

2.2.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	40
2.3. ŻUŻEL STALOWNICZY	41
2.3.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA	41
2.3.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	41
2.3.3. IDENTYFIKACJA HANDŁOWA - ASORTYMENT	42
2.3.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	42
2.3.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO ...	42
2.3.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH.....	42
2.3.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	42
2.4. ŻUŻLE METALI KOLOROWYCH	42
2.4.1. ŻUŻEL POMIEDZIOWY.....	42
2.4.1.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA	42
2.4.1.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	43
2.4.1.3. IDENTYFIKACJA HANDŁOWA - ASORTYMENT	43
2.4.1.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	43
2.4.1.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO ...	43
2.4.1.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH.....	43
2.4.1.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	44
2.4.2. ŻUŻEL PONIKŁOWY.....	44
2.4.2.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA	44
2.4.2.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	44
2.4.2.3. IDENTYFIKACJA HANDŁOWA -ASORTYMENT	44
2.4.2.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	44
2.4.2.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO ...	44
2.4.2.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH.....	45
2.4.2.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	45
2.4.3. ŻUŻEL POŁOWIOWY I POCYNKOWY.....	45
2.4.3.1. DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA	45
2.4.3.2. IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	45
2.4.3.3. IDENTYFIKACJA HANDŁOWA	45
2.4.3.4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	45
2.4.3.5. EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO	46
2.4.3.6. PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADU W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH.....	46
2.4.3.7. PROPOZYCJA PROGRAMU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	46
ZAŁĄCZNIK 2 ODPADY POWĘGŁOWE.....	47

1. WSTĘP.....	49
2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW Z GÓRNICTWA WĘGLA KAMIENNEGO.	49
2.1 ŁUPKI PRZYWĘGŁOWE NIEPRZEPALONE.....	49
2.2 ŁUPKI ODWĘGLANE Z WTÓRNEJ PRZERÓBKII MECHANICZNEJ ŁUPKA SUROWEGO.....	50
2.3 ŁUPKI PRZYWĘGŁOWE PRZEPALONE.....	50
2.4 ODPADY Z ROBÓT PRZYGOTOWAWCZYCH.....	50
3. CECHY I WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE ODPADÓW NIEPRZEPALONYCH.	51
3.1 SKŁAD PETROGRAFICZNY.	51
3.2 SKŁAD MINERALNY.....	51
3.3 SKŁAD CHEMICZNY.....	51
3.4 WŁAŚCIWOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE.....	52
4. DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ.....	59
4.1 NASYPY Z ODPADÓW POGÓRNICZYCH.	59
4.2 WARSTWY WZMOCNIONEGO PODŁOŻA I PODBUDOWA POMOCNICZA NAWIERZCHNI DROGOWEJ Z ODPADÓW POGÓRNICZYCH.....	60
5. OCENA ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA.	61
6. POTENCJALNE ZASTOSOWANIE ODPADÓW POGÓRNICZYCH.	61
7. PROPOZYCJA PROGRAMU I ZAKRESU NIEZBĘDNYCH BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	62
8. PROPONOWANA METODYKA BADAŃ KLASYFIKACYJNYCH DLA ODPADÓW Z GÓRNICTWA WĘGLA KAMIENNEGO - PRZYKŁAD	63
8.1 POCHODZENIE I OPIS PRÓBEK.	63
9. BADANIA LABORATORYJNE.	63
9.1 PROGRAM BADAŃ.....	63
9.2 BADANIE UZIARNIENIA I JEGO ZMIENNOŚCI.....	64
9.3 OZNACZENIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ.	65
9.4 OZNACZENIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI.....	65
9.5 OZNACZENIE ODPORNOŚCI NA ŚCIERANIE.....	66
9.6 OZNACZENIE MROZOODPORNOŚCI I NASIĄKLIWOŚCI.	66
9.7 OZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI.	67
9.8 OKREŚLENIE KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO.....	67
9.9 OZNACZENIE ZAWARTOŚCI SIARCZANÓW I CHLORKÓW.....	67
9.10 OKREŚLENIE ZAWARTOŚCI CZĘŚCI ORGANICZNYCH.....	68
10. WNIOSKI I ZALECENIA.	68
ZAŁĄCZNIK 3 ODPADY BUDOWLANE.....	82
1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW BUDOWLANYCH.	83
2. PODZIAŁ ODPADÓW BUDOWLANYCH.....	84
3. KRUSZYWO BETONOWE – DEFINICJA, POCHODZENIE,OGÓLNACHARAKTERYSTYKA.....	85
3.1 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	87
3.2 IDENTYFIKACJA HANDLOWA – ASORTYMENT.....	92
3.3 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ KRUSZYWA BETONOWEGO.....	92

3.3.1	KRUSZYWO Z NAWIERZCHNI LOTNISKOWEJ BEMOWO W WARSZAWIE PRODUKCJI MPRD S.A.	92
	TABLICA 5 – CHARAKTERYSTYKA KRUSZYWA BETONOWEGO POWSTAŁEGO Z PRZEKRUSZENIA NAWIERZCHNI LOTNISKA BEMOWO W WARSZAWIE	93
3.3.2	KRUSZYWO POWSTAŁE Z PRZEKRUSZENIA DROGOWYCH DROBNOWYMIAROWYCH ELEMENTÓW BETONOWYCH PRODUKCJI FAL-BRUK.....	94
3.3.3	KRUSZYWO POWSTAŁE Z PRZEKRUSZENIA DROGOWYCH DROBNOWYMIAROWYCH ELEMENTÓW BETONOWYCH – DELTA S.A.	97
3.3.4	KRUSZYWO POWSTAŁE Z PRZEKRUSZENIA DROGOWYCH DROBNOWYMIAROWYCH ELEMENTÓW BETONOWYCH - LABOTEST	100
3.3.5	KRUSZYWO BETONOWE POWSTAŁE Z PRZEKRUSZENIA NAWIERZCHNI LOTNISKOWEJ - WPRD S.A	106
3.3.6	BADANIA KRUSZYW BETONOWYCH W PROJEKCIE ALTMAT.....	107
3.4	OCHRONA ŚRODOWISKA	111
3.5	POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ODPADÓW BUDOWLANYCH W DROGOWNICTWIE.....	113
3.5.1	ZASTOSOWANIE KRUSZYW BETONOWYCH Z RECYKLINGU DO WYKORZYSTANIA W DROGOWYCH BETONACH CEMENTOWYCH.....	117
3.6	PROGRAM BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH.....	118
4.	GRUZ BUDOWLANY (PRODUKTY UBOCZNE Z ROZBIÓRKI BUDYNKÓW)– DEFINICJA, POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA	120
4.1	IDENTYFIKACJA TECHNICZNA.....	120
	TABLICA 25 - SKŁAD PETROGRAFICZNY GRUZU BETONOWEGO ZASTOSOWANEGO NA ODCINKU DOŚWIADCZALNYM	121
4.2	IDENTYFIKACJA HANDŁOWA - ASORTYMENT	122
4.3	OCHRONA ŚRODOWISKA	123
4.4	POTENCJALNE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA GRUZU BUDOWLANEGO	124
ZAŁĄCZNIK 4	ODPADY ELEKTROWNIANE	126
1.	WSTĘP.....	127
2.	AKTUALNY STAN NORMALIZACJI W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA UPS W DROGOWNICTWIE.....	129
2.1.	AKTUALNY STAN NORMALIZACJI POLSKIEJ W OMAWIANYM ZAKRESIE	129
2.2.	AKTUALNY STAN NORMALIZACJI EUROPEJSKIEJ W ZAKRESIE WYKORZYSTANIA UPS W DROGOWNICTWIE	132
3.	POPIOŁY I ŻUŻŁE KONWENCJONALNE	133
3.1.	POWSTAWANIE ODPADÓW PALENISKOWYCH.....	133
3.2.	KLASYFIKACJA	133
3.3.	WYKORZYSTANIE	135
3.3.1	MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA POPIOŁÓW LOTNYCH	135
3.3.2.	NASYPY	135
3.3.3.	PODBUDOWA Z BETONU POPIOŁOWEGO	138
3.3.4.	PODBUDOWA Z POPIOŁÓW STABILIZOWANYCH CEMENTEM	140
3.3.5.	MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE	141

3.4. NORMY I OGÓLNE SPECYFIKACJE TECHNICZNE POLECANE PRZY PROJEKTOWANIU I WYKONYWANIU ROBÓT DROGOWYCH Z WYKORZYSTANIEM KONWENCJONALNYCH POPIOŁÓW LOTNYCH LUB MIESZANIN POPIOŁOWO-ŻUŻŁOWYCH	142
3.4.1. NORMY	142
3.4.2. OGÓLNE SPECYFIKACJE TECHNICZNE	142
3.5. POPIOŁY KONWENCJONALNE W KONSTRUKCJACH NAWIERZCHNI DROGOWYCH.....	143
3.5.1. WAŻNIEJSZE OKREŚLENIA	143
3.5.2 PRZYKŁADOWE RECEPTY NA ULEPSZONE PODŁOŻE ORAZ.....	144
PODBUDOWĘ Z POPIOŁO-ŻUŻŁA Z EL. KOZIENICE	144
3.5.3. ULEPSZANIE (MODYFIKOWANIE) JAKOŚCI POPIOŁÓW LOTNYCH.....	145
3.5.4. KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI DROGOWYCH.....	149
3.5.4.1 PRZYKŁADOWE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI NA PODŁOŻU G1 Z ZASTOSOWANIEM PODBUDÓW Z ZASTOSOWANIEM POPIOŁÓW ZWIĄZANYCH HYDRAULICZNIE PRZEDSTAWIONO	150
3.6. ZAGADNIENIA EKOLOGICZNE DOTYCZĄCE KONWENCJONALNYCH UBOCZNYCH PRODUKTÓW SPALANIA	151
3.6.1. PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE	151
NIE MOGĄ PRZEKRACZAĆ O WIĘCEJ NIŻ 20 % WARTOŚCI:.....	153
3.6.2. WYMYWALNOŚĆ Z POPIOŁÓW SZKODLIWYCH DLA ŚRODOWISKA ZWIĄZKÓW CHEMICZNYCH ORAZ METALI CIĘŻKICH.....	154
3.6.3 KLASYFIKACJA ODPADU	158
4. POPIOŁY I PRODUKTY Z FLUIDALNEGO SPALANIA WĘGLA ORAZ Z ODSIARCZANIA SPALIN.....	159
4.1. WPROWADZENIE	159
4.2. POPIOŁY I PRODUKTY Z FLUIDALNEGO SPALANIA WĘGLA	159
4.2.1 EKOLOGIA – KOD ODPADU, ODDZIAŁYWANIE NA ŚRODOWISKO ..	169
4.3 POPIOŁY Z PRODUKTAMI Z ODSIARCZANIA SPALIN W ELEKTROWNI RYBNIK.....	170
5. PODSUMOWANIE ORAZ PROGRAM BADAŃ I PRZEDSIĘWZIĘĆ NA 2004 R.	172
ZAŁĄCZNIK 5 ODPADY CHEMICZNE	176
1. WSTĘP.....	177
2 OSADY PORAFINERYJNE PRZETWORZONE WAPNEM PALONYM - POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA.....	177
2.1 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA – PARAMETRY.....	178
2.2 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	181
2.3 OCHRONA ŚRODOWISKA	189
2.4 PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA PRZETWORZONYCH OSADÓW PORAFINERYJNYCH W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH	189
2.5 PROPOZYCJA BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH	190
3. ODPADY GUMOWE - POCHODZENIE, OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA..	191
3.1 IDENTYFIKACJA TECHNICZNA – PARAMETRY.....	192
3.2 IDENTYFIKACJA HANDŁOWA – ASORTYMENT.....	195
3.3 DOTYCHCZASOWE DOŚWIADCZENIA Z PRAKTYCZNYCH ZASTOSOWAŃ	197

3.4	OCHRONA ŚRODOWISKA	201
3.4.1	KLASYFIKACJA ODPADÓW Z OPON	201
3.4.2	WPŁYW NA ŚRODOWISKO	201
3.5	PROPOZYCJA WYKORZYSTANIA ODPADÓW GUMOWYCH Z OPON SAMOCHODOWYCH W KONSTRUKCJACH DROGOWYCH	206
3.6	PROPOZYCJA BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH	207
ETAP II BADANIA UZUPEŁNIAJĄCE		208
1.	WSTĘP	209
2.	WYNIKI BADAŃ	210
3.	ODPADY HUTNICZE - POSTĘPOWANIE DOTYCZĄCE USTALANIA WYMYWALNOŚCI SUBSTANCJI SZKODLIWYCH Z MATERIAŁÓW ODPADOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ICH PRACY W KONSTRUKCJI DROGOWEJ.	211
3.1	WPROWADZENIE	211
3.2	SUBSTANCJE NIEBEZPIECZNE	212
3.3	PRZEKROCZENIE ZANIECZYSZCZEŃ W WYCIĄGACH WODNYCH	212
3.3.1	WYCIĄGI WODNE	212
3.3.2	PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA	212
3.4	ZARZĄDZANIE PRODUKCJĄ	213
4.	ODPADY POWĘGŁOWE - BADANIA ZMIAN CECH GEOTECHNICZNYCH ODPADÓW POWĘGŁOWYCH PODCZAS ZAGĘSZCZANIA W SKALI POLIGONOWEJ NA ODCINKACH DOŚWIADCZALNYCH	214
4.1	CEL, OPIS I WYNIKI BADAŃ	214
4.2	WNIOSKI OGÓLNE	219
4.3	ZALECENIA OGÓLNE ODNOŚNIE SPOSOBU I ZAKRESU BADAŃ PRZY USTALANIU PRZYDATNOŚCI ŁUPKÓW SUROWYCH DO BUDOWY NASYPÓW DROGOWYCH.	219
4.4	PRZEWIDYWANE KIERUNKI DALSZYCH PRAC	220
5.	ODPADY BUDOWLANE - BADANIA ODPORNOŚCI NA CZYNNIKI KLIMATYCZNE KRUSZYWA BETONOWEGO WG METODYKI STARYCH NORM PN I NOWYCH EN	221
5.1	CHARAKTERYSTYKA KRUSZYWA BETONOWEGO UŻYTEGO DO BADAŃ	222
5.3	WYNIKI BADAŃ	222
5.3	ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ ORAZ WNIOSKI	230
6.	ODPADY ENERGETYCZNE - BADANIA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH JAKO STABILIZATORA GRUNTÓW NATURALNYCH I POPIOŁÓW LOTNYCH.	232
6.1.1.	CHARAKTERYSTYKA WŁASNOŚCI WIĄŻĄCYCH POPIOŁÓW FLUIDALNYCH EL. TURÓW I POPIOŁÓW TRADYCYJNYCH (BEZ ODSIARCZANIA) Z WĘGLA BRUNATNEGO	232
6.1.2.	CHARAKTERYSTYKA WŁASNOŚCI WIĄŻĄCYCH POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO (EC. ŻERAŃ) ORAZ POPIOŁÓW TRADYCYJNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO	233
6.2.	MIESZANKI POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA BRUNATNEGO (EL.TURÓW) Z POPIOŁAMI TRADYCYJNYMI ORAZ Z GRUNTAMI NATURALNYMI	234

6.3. MIESZANKI POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z WĘGLA KAMIENNEGO Z POPIOŁAMI TRADYCYJNYMI Z WĘGLA KAMIENNEGO ORAZ Z GRUNTAMI NATURALNYMI	237
6.4 WNIOSKI	248
7. ODPADY CHEMICZNE.....	249
7.1 BADANIA WPŁYWU CHEMICZNYCH MODYFIKATORÓW NA WYMYWALNOŚĆ SUBSTANCJI Z GRUNTÓW STABILIZOWANYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM.....	249
7.1.1 WSTĘP.....	249
7.1.2 ANALIZA WPŁYWU CHEMICZNYCH ŚRODKÓW ULEPSZAJĄCYCH NA ZMIANĘ PARAMETRÓW CHEMICZNYCH WYCIĄGÓW WODNYCH SPORZĄDZONYCH Z PRÓBEK GLINY ZWIĘZŁEJ I POPIOŁU LOTNEGO STABILIZOWANYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM	249
7.1.3 ANALIZA I OCENA JAKOŚCI WYCIĄGÓW WODNYCH Z PRÓBEK GRUNTÓW STABILIZOWANYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM I CHEMICZNYMI ŚRODKAMI ULEPSZAJĄCYMI.....	251
7.2 BADANIA PRZETWORZONEGO OSADU PORAFINERYJNEGO JAKO STABILIZATORA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH	260
7.2.1 CHARAKTERYSTYKA POPIOŁÓW FLUIDALNYCH Z E.C. ŻERAŃ....	260
7.2.2 WYNIKI BADAŃ POPIOŁÓW FLUIDALNYCH ULEPSZONYCH PRZETWORZONYM OSADEM PORAFINERYJNYM.....	263
7.3 BADANIA UZUPEŁNIAJĄCE MIESZANKI MINERALNO - BITUMICZNO-GUMOWEJ	266
7.3.1 PROCEDURA BADANIA.....	266
7.3.2 ZASADA METODY	266
7.3.3 MIESZANKA BADAWCZA.....	267
7.3.4 WYNIKI BADANIA	269
7.3.5 WNIOSKI	270