



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

VIII WARMIŃSKO-MAZURSKIE FORUM DROGOWE

Tytuł prezentacji:

Właściwości destruktu betonowego

Wojciech Sas – Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
wojciech_sas@sggw.edu.pl

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Przynależności organizacyjne:

Centrum Badawcze - Centrum Wodne

International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
Polski Komitet Geotechniki – Przewodniczący Oddziału Stołecznego PKG
Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa

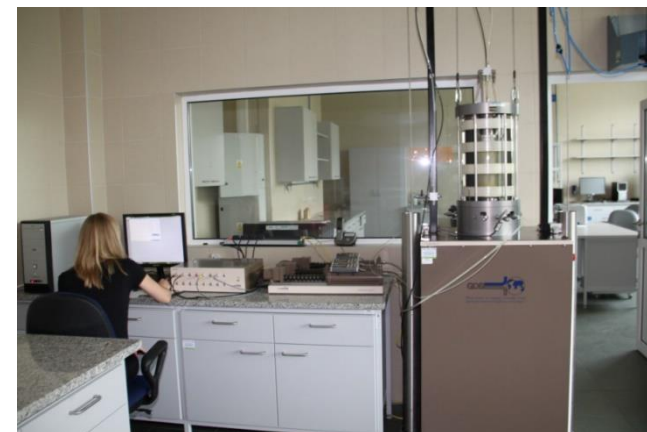
Absolwent Technikum Geodezyjno- Drogowego, 1979 Warszawa.
Technik Drogowy w specjalności Drogi i Mosty Kołowe

dr hab. inż. Wojciech Sas, prof. Uczelni. Dyrektor Centrum Wodnego SGGW w Warszawie

Centrum Badawcze - Centrum Wodne



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



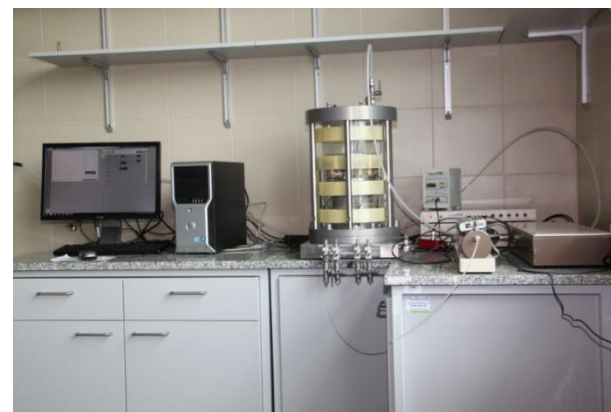
Dyscyplina naukowa Inżynieria Lądowa i Transport
Wyniki Ewaluacji Jednostek Naukowych – Kategoria B+

Zespół geotechników Centrum Wodnego: dr hab. inż. Wojciech Sas, prof. Uczelni; dr inż. Andrzej Głuchowski;
dr inż. Katarzyna Gabryś; dr inż. *Emil Soból*;
doktoranci: mgr inż. Justyna Dziecioł; mgr inż. Kamil Zająć; mgr inż. Luiza Rzepczyńska

Centrum Badawcze - Centrum Wodne



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

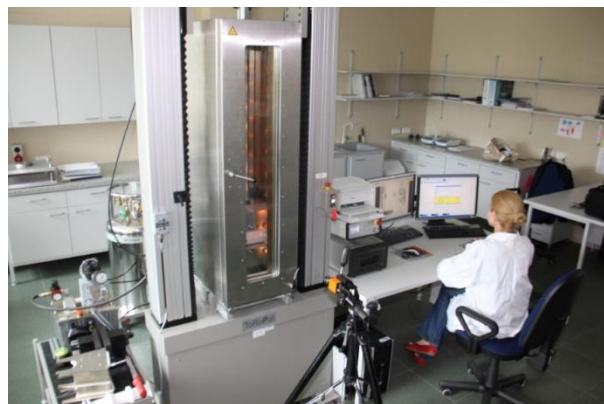


Zespół geotechników Centrum Wodnego: dr hab. inż. Wojciech Sas, prof. Uczelni; dr inż. Andrzej Głuchowski;
dr inż. Katarzyna Gabryś;
doktoranci: mgr inż. Justyna Dziecioł; mgr inż. Kamil Zając; mgr inż. Luiza Rzepczyńska

Centrum Badawcze - Centrum Wodne



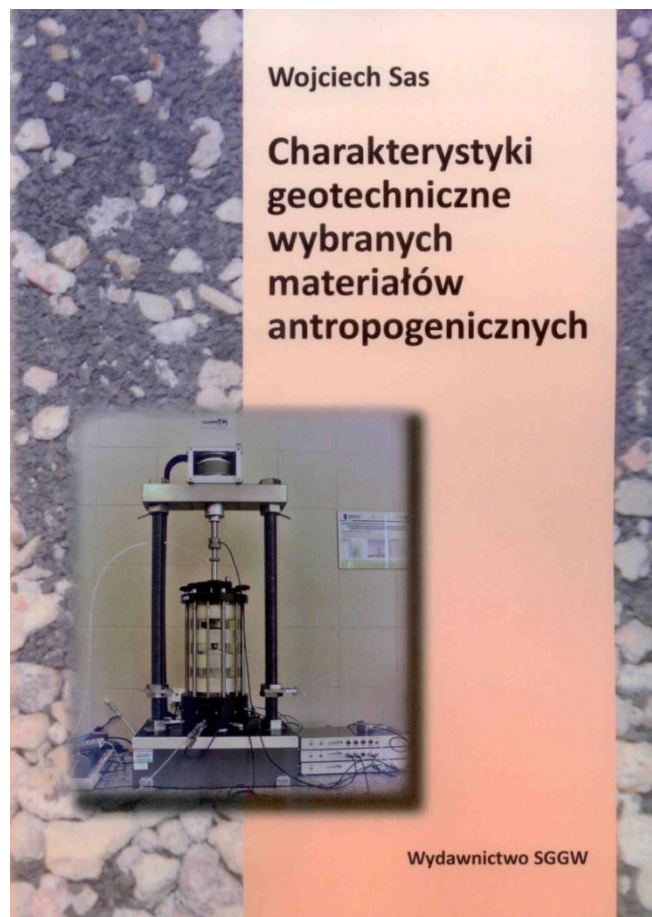
SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Literatura podstawowa do prezentacji właściwości kruszywa betonowego



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



**Wydawnictwo SGGW, 2018. Warszawa. ISBN
978-83-7583-788-9**

Recenzenci wydawniczy:

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Dembicki

prof. dr hab. inż. Kazimierz Garbulewski

Jednym z głównych odbiorców kruszyw naturalnych jest sektor budownictwa drogowego. Według biuletynu [UEPG – Annual Review 2016-2017](#) wydawanego przez European Aggregates Association (11.12.2017), w Unii Europejskiej i krajach należących do EFTA w latach 2016-2017 do powstania 1 km nowej drogi zużywano około 30 000 ton kruszyw. Były to głównie kruszywa naturalne, takie jak pokruszone skały, żwir i piasek, stanowiące łącznie około 88% zapotrzebowania rynku. W ciągu ostatnich 4 lat z 5 do 8% wzrosło zapotrzebowanie na kruszywa pochodzące z recyklingu, co stanowi znaczący wzrost w skali Unii Europejskiej i państw EFTA. Najwięcej kruszyw pochodzących z recyklingu produkuje się w Wielkiej Brytanii (52,3 mln ton) oraz we Francji (20,3 mln ton), dla porównania w Polsce było to 5 mln ton.

Według Polskiego Związku Producentów Kruszyw, w Polsce w latach 2012-2020 do wybudowania dróg publicznych oraz tras kolejowych potrzeba będzie około 180 mln ton kruszywa oraz 150 mln ton mas ziemnych, skalnych i innych materiałów na nasypy, dojazdy, podjazdy wchodzące w ich skład ([Kabziński 2012](#)).

Prognozy wskazują, że po 2025 roku nastąpią ograniczenia w dostępie do złóż i brak wystarczającej produkcji piasków i żwirów, a po 2050 roku kruszyw naturalnych łamanych ([Kabziński 2012](#)). Wobec istniejących już w różnych regionach kraju niedoborów kruszyw i gruntów naturalnych oraz wobec nieprzychylnych dla rynku prognoz, alternatywą staje się szersze wykorzystanie kruszyw pochodzących z recyklingu, a szczególnie destruktu betonowego.

Wstęp



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

O stosowaniu recyklingu w dużej mierze decydują względy prawne (Sas i Sobańska 2010). Poszanowania zasad ochrony środowiska wymagają zarówno akty prawne krajowe, jak i prawodawstwo Unii Europejskiej. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 09.12.2014 r., poz. 1923), odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych) zaliczono do grupy 17. Grupę tę stanowią odpady betonu oraz gruz betonowy z rozbiórek i remontów o kodzie 17 01 01. W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 30.04.2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. z 02.05.2013 r., poz. 523) odpady o kodzie 17 01 01 określono jako rodzaj odpadów obojętnych.

Kraje członkowskie UE zobligowane są do zapobiegania powstawaniu odpadów, ograniczania ich ilości i zmniejszania ich szkodliwego oddziaływania na środowisko (Dyrektywa 2006/12/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy). Muszą one także zachęcać do odzysku, w tym do wykorzystania odpadów jako materiału budowlanego.

Eurostat, 2017. Waste statistic in Europa. <http://ec.europa.eu/eurostat> (May, 2017).

Kabziński A. 2012. Prognoza potrzeb i produkcji kruszyw w Polsce w latach 2012-2020, <http://kruszipol.pl>

UEPG – Annual Review 2016-2017. A Sustainable Industry for Sustainable Europe. European Aggregates Association (11.12.2017).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 09.12.2014 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. z 09.09.2014 r., poz. 1923).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z 30.04.2013 r. w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. z 02.05.2013 r., poz. 523).

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z 5 kwietnia 2006 r. w sprawie odpadów (2006/12/WE) Dz.U. Nr 114 z 27.04.2006 r.

Wstęp



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

National Production by Country 2019 (mt)

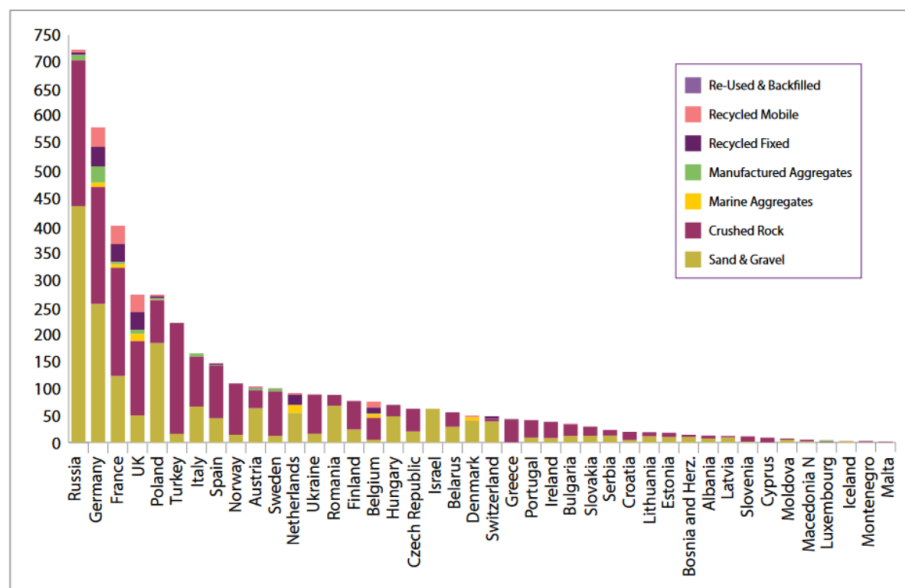


Figure 1 - Aggregates Production (in millions of tonnes by country and type)

National Production in Tonnes per Capita, 2019

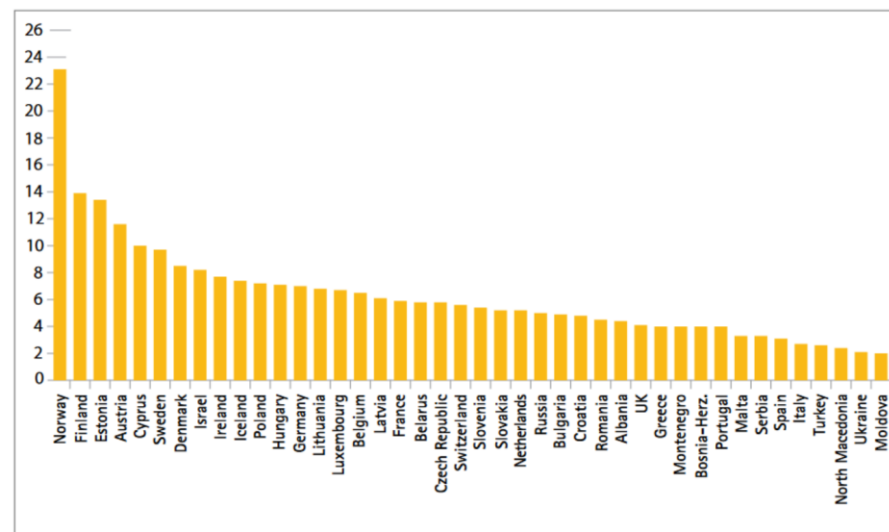


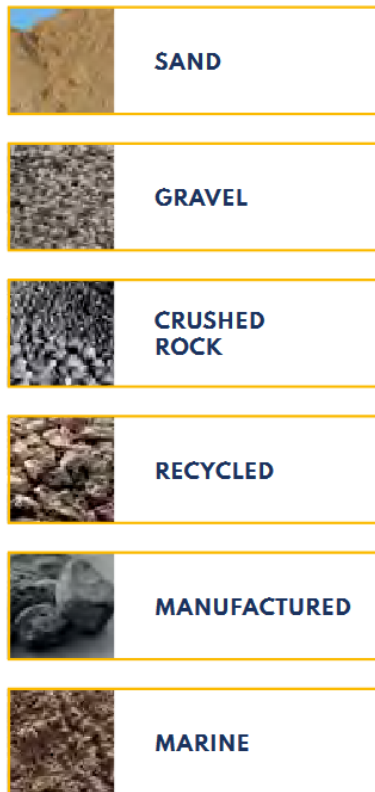
Figure 2 - National Production per country in Tonnes per Capita

Wstęp

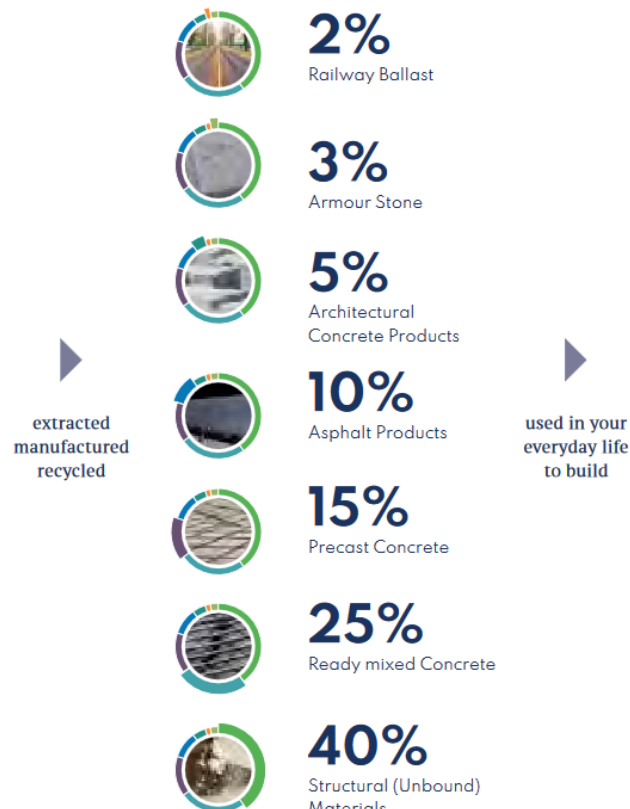


SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

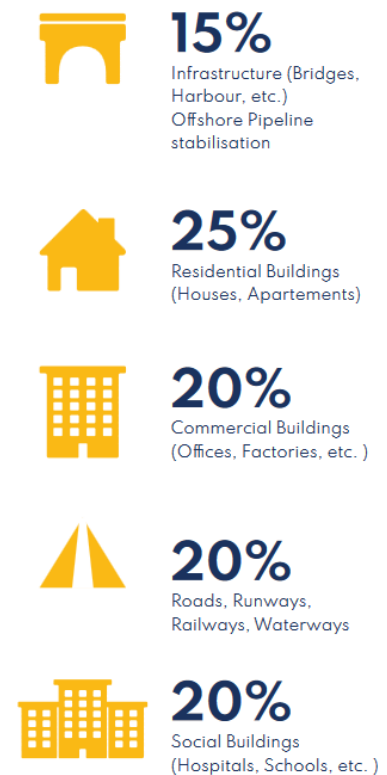
AGGREGATES



INTERMEDIATE USE



END USE



Trend in Production in Billions of Total Tonnes, EU+UK+EFTA

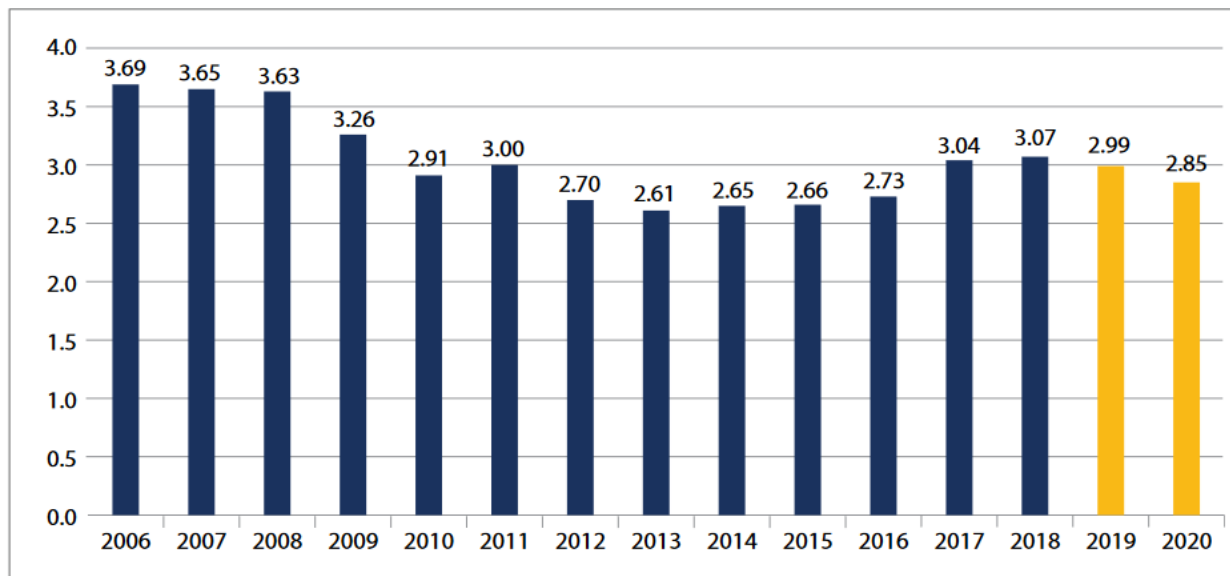


Figure 4 - Trend in EU27 + UK + EFTA Production (in billion of tonnes)

Plan prezentacji



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

- Klasyfikowanie kruszyw, gruntów i materiałów antropogenicznych
- Geneza materiału (antropogeniczny versus naturalny)
- Badania właściwości fizycznych materiału
 - a. Skład granulometryczny
 - b. Parametry zagęszczalności
 - c. Problematyka zmiany i kształtu uziarnienia
- Badania właściwości mechanicznych materiału
- Badania przepuszczalności materiału

Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Po wejściu Polski do Unii Europejskiej polskie normy dotyczące kruszyw przestały obowiązywać. W życie weszły ogólnoeuropejskie normy PN-EN. Oto dwie najważniejsze mówiące o kruszywach budowlanych:

- [PN-EN 13043:2004](#) „Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu”,
- [PN-EN 13242:2004](#) „Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym”.

Obecny podział kruszyw (wg [PN-EN 13043:2004](#)) jest następujący:

- Kruszywa naturalne – są to kruszywa pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostały poddane żadnej innej obróbce. Można podzielić je na żwirowe oraz łamane.
- Kruszywa sztuczne – kruszywa pochodzenia mineralnego, wyprodukowane w wyniku procesów przemysłowych obejmujących termiczną lub inną modyfikację.
- **Kruszywa z recyklingu** – są to kruszywa powstające w wyniku przeróbki materiałów nieorganicznych, zastosowanych uprzednio w budownictwie, w trakcie prowadzonych prac budowlanych, takich jak roboty wyburzeniowe i rozbiórkowe, przebudowa dróg, **np. kruszony beton, kruszony destrukta asfaltowy**.

Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Kruszywo - ziarnisty materiał budowlany o pochodzeniu mineralnym, organicznym albo przemysłowym (kruszywo sztuczne), stosowany głównie w budownictwie do produkcji zapraw i betonów oraz w **warstwach konstrukcyjnych nawierzchni drogowych** lub jako **podkład pod nawierzchnie drogowe** lub kolejowe - torowisk).

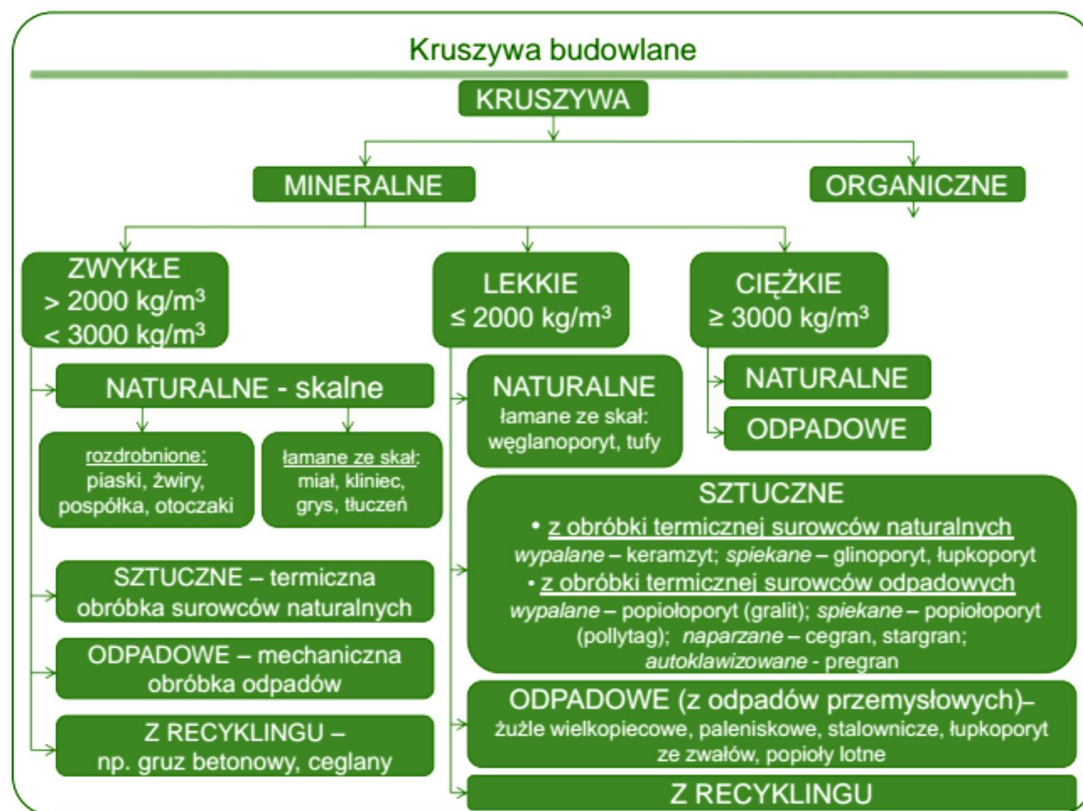
Kruszywo naturalne



Kruszywo sztuczne



Kruszywo odpadowe



Kruszywo z recyklingu - kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie, np. gruz ceglany (a), gruz betonowy (b).

Rodzaje kruszywa z recyklingu wg RILEM

RILEM Recommendation. Specifications for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures. 1994, nr 27, 557–559.

- Typ I – materiał pochodzący z elementów murowanych
- Typ II – materiał pochodzący z elementów betonowych
- Typ III – kruszywo mieszane składające się z co najmniej 80% kruszywa naturalnego i maksymalnie 10% kruszywa typu I

Zgodnie z zaleceniami RILEM TC 121-DRG TF1, gruz budowlany pochodzący z rozbiórki możemy sklasyfikować również ze względu na pochodzenie. Materiał pochodzący z elementów betonowych (RCAC II) zaliczono do II kategorii kruszyw. Kruszywo betonowe pochodzące z rozdrobnienia gruzu drugiej grupy składa się z pierwotnego kruszywa naturalnego oraz zaczynu cementowego, który powstał w wyniku reakcji cementu (oraz ewentualnie uzupełniających materiałów cementopodobnych, takich jak pucolany lub mielony, 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 (IBDiM 2004).

Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



POLSKA NORMA

ICS 13.080.05, 93.020

PN-EN ISO 14688-1

Wprowadza
EN ISO 14688-1:2018, IDT
ISO 14688-1:2017, IDT

Zastępuje
PN-EN ISO 14688-1:2006

Rozpoznanie i badania geotechniczne

Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów

Część 1: Oznaczanie i opis

Norma Europejska EN ISO 14688-1:2018 *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 1: Identification and description (ISO 14688-1:2017)* ma status Polskiej Normy

© Copyright by PKN, Warszawa 2019

nr ref. PN-EN ISO 14688-1:2018-05

Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być zwielokrotniana jakąkolwiek techniką bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego

Oznaczanie mineralnych gruntów bardzo gruboziarnistych oraz gruboziarnistych należy prowadzić na podstawie ich uziarnienia. Oznaczanie gruntów drobnoziarnistych należy prowadzić na podstawie ich plastyczności, niezależnie od tego, że ich uziarnienie jest także badane. W Tabelcy 1 przedstawiono terminy jakie należy stosować dla każdej z frakcji, łącznie z odpowiadającymi im zakresami wymiarów cząstek i ziaren.

EN ISO 14688-1:2018

Tabelca 1 – Frakcje, wymiary cząstek

Grupy gruntów	Frakcja (symbol)	Zakres wymiarów cząstek i ziaren (mm)
Bardzo gruboziarniste	Duży głaz (IBo)	>630
	Głaz (Bo)	>200 i ≤630
	Kamień (Co)	>63 i ≤200
Gruboziarniste	Żwir (Gr)	>2,0 i ≤63
	Żwir gruby (cGr)	>20 i ≤63
	Żwir średni (mGr)	>6,3 i ≤20
	Żwir drobny (fGr)	>2,0 i ≤6,3
	Piasek (Sa)	>0,063 i ≤2,0
	Piasek gruby (cSa)	>0,63 i ≤2,0
	Piasek średni (mSa)	>0,20 i ≤0,63
	Piasek drobny (fSa)	>0,063 i ≤0,20
Drobnoziarniste	Pył (Si)	>0,002 i ≤0,063
	Pył gruby (cSi)	>0,02 i ≤0,063
	Pył średni (mSi)	>0,0063 i ≤0,02
	Pył drobny (fSi)	>0,002 i ≤0,0063
	Il (Cl)	≤0,002

EN ISO 14688-1:2018

3.1
grunt antropogeniczny

grunt (3.17) powstały w wyniku działalności człowieka, który dzieli się na złożony z przerobionych gruntów naturalnych lub złożony z materiałów sztucznie wytworzonych

Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

EN ISO 14688-1:2018

5.1.2 Grunty wielofrakcyjne

5.1.2.1 Wymagania ogólne

Grunty jednofrakcyjne zbudowane są z pojedynczej frakcji jak pokazano w Tablicy 1. Większość gruntów jest mieszaniną cząstek i ziaren o różnych wymiarach (patrz Tablica 1) i składa się z frakcji głównej oraz jednej lub więcej frakcji drugorzędnych oraz trzeciorzędnych. Oznaczenie gruntu powinno polegać na nazwaniu go za pomocą rzeczownika określającego frakcję główną (zwykle pisanego dużymi literami) oraz jednego lub więcej przymiotników (pisanych małą literą) opisujących proporcje pomiędzy frakcjami drugo- i trzeciorzdnymi (np. ŻWIR z piaskiem, łt. ze żwirem).

Kolejność słów zastosowaną w opisie gruntu należy ustalić w każdym z krajów, tak aby określać jednoznacznie która frakcja jest główna, a które frakcje są drugo- i trzeciorzędne.

5.1.2.2 Frakcja główna

Frakcja główna w rozumieniu jej przeważającej masy w próbce (dla gruntów bardzo gruboziarnistych i/lub gruboziarnistych) lub zachowania plastycznego (dla gruntów drobnoziarnistych) określa właściwości inżynierskie gruntu. Oznaczanie gruntów na tej podstawie powinno być zgodne z procedurami opisanym w Załączniku A.

UWAGA Frakcje drobnoziarniste (pył i/lub il) uważa się za decydujące o właściwościach gruntów wielofrakcyjnych, jeżeli grunt nie rozpada się, gdy jest wilgotny i zachowuje się tak, jak przedstawiono na Rysunku 1.

W gruntach bardzo gruboziarnistych i gruboziarnistych, frakcją główną jest frakcja gruboziarnista lub bardzo gruboziarnista dominująca pod względem masy, jak podano w 5.1.2. Oznaczanie gruntów na tej podstawie należy przeprowadzać zgodnie z procedurami przedstawionymi w A.2. Frakcja bardzo gruboziarnista powinna być usunięta z próbki przed dokonaniem oznaczenia frakcji drobnoziarnistej i gruboziarnistej.

Jeżeli w gruntach gruboziarnistych dwie frakcje występują w podobnych proporcjach, w ich opisie należy zastosować ukośnik, np. ŻWIR/PIASEK.

Wielofrakcyjne grunty gruboziarniste mogą zawierać drobnoziarniste frakcje drugorzędne (pył i/lub il), które mogą mieć wpływ, ale nie warunkują właściwości inżynierskich tych gruntów.

5.1.2.3 Frakcje drugorzędne

Frakcje drugorzędne wpływają na właściwości inżynierskie frakcji głównej.

Proporcje zawartości drugorzędnej frakcji gruboziarnistej określa się na podstawie masy poszczególnych frakcji stosując określenie „z małą ilością” lub „z dużą ilością”, które powinno poprzedzać termin opisujący. Jeżeli frakcją drugorzędną jest frakcja drobnoziarnista, należy ją określić jako „z ilem” lub „z pyłem” na podstawie jej plastyczności zgodnie z 5.1.3.

Opis frakcji drugorzędnych ze spójnikiem „z” należy umieszczać za terminem opisującym frakcję główną w kolejności wzrastającej masy frakcji, jeśli mamy do czynienia z dwiema drugorzędnymi frakcjami gruboziarnistymi lub frakcją gruboziarnistą, a następnie drobnoziarnistą (jeśli określono każdą z nich), tak jak pokazano na poniższych przykładach:

- ŻWIR z piaskiem;
- ŻWIR drobny z piaskiem grubym;

6.1.2 Kształt ziaren

W przypadku żwiru, kamieni oraz głazów, opisuje się kształt ziaren w nawiązaniu do ich stopnia obtoczenia (który wskazuje na stopień zaokrąglenia krawędzi i naroży), ich ogólny kształt i charakter powierzchni. Terminy stosowane w opisach, wykorzystywane zwykle do żwiru lub grubszych frakcji, podano w Tablicy 3. W powszechnej praktyce określa się średni stopień ostrości krawędzi lub obtoczenia ziaren, wykorzystując standardowy zestaw tablic.

Tablica 3 – Terminy określające kształt ziarna

Parametr	Kształt ziarna
Stopień obtoczenia	Bardzo ostrokrawędzisty
	Ostrokrawędzisty
	Słabo ostrokrawędzisty
	Słabo obtoczony
	Obtoczony
Forma	Dobrze obtoczony
	Sześcienna
	Płaska
Charakter powierzchni (tekstura powierzchni)	Wydłużona
	Szorstki
	Gładki

Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

5.8 Grunty antropogeniczne

Oznaczenie gruntu antropogenicznego może opierać się na danych o jego pochodzeniu, strukturze i/lub obecności składników antropogenicznych jako składników głównych, drugorzędnych lub trzeciorzędnych; należy to wyraźnie określić w opisie.

Grunty antropogeniczne należy opisywać zgodnie z wymaganiami podanymi w 5.1, zwracając szczególną uwagę na strukturę oraz obecność innych elementów. Przykładem składników antropogenicznych są tworzywa sztuczne, papier, metal, szkło, cegły, fragmenty ceramiki lub żużel. W gruntach antropogenicznych, jeśli to możliwe, należy rozróżnić, materiał ułożony pod kontrolą inżynierską (nasyp kontrolowany) lub bez kontroli inżynierskiej (nasyp niekontrolowany). Kontrola inżynierska w tym przypadku oznacza układanie warstw o ściśle określonej miąższości, charakteryzujących się określonym stopniem zagęszczenia.

6.2.4 Grunty antropogeniczne

Grunty antropogeniczne zawierające wydobyte z podłoża i ponownie zdeponowane materiały naturalne, jak również te przetworzone i następnie zdeponowane, należy opisywać zgodnie z wymaganiami podanymi w 5.1. Grunty zawierające materiały sztuczne wymagają szeregu różnych podejść odpowiednich by opisać ich rozmiar, proporcje, stan i rodzaj obecnych w nich materiałów, które zwykle mają charakter heterogeniczny. W sytuacji, gdy nie można przeprowadzić opisu tych materiałów za pomocą procedur opisanych w niniejszym rozdziale, należy wyszczególnić występujące materiały oraz przedstawić ich charakterystykę.

Opis taki, powinien zawierać wszystkie odpowiednie informacje dotyczące następujących aspektów (lista ta nie jest zamknięta):

- pochodzenie materiału;
- obecność dużych elementów, jak beton, cegły, itp.;
- obecność pustek lub elementów pustych w środku, łatwo ulegających zniszczeniu;
- odpady chemiczne oraz substancje niebezpieczne i zagrażające;
- substancje organiczne z informacją o stopniu rozłożenia;
- nieprzyjemny zapach;
- wyraziste odcienie barw;

Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



POLSKA NORMA

ICS 13.080.05, 93.020

PN-EN ISO 14688-2

Wprowadza
EN ISO 14688-2:2018, IDT
ISO 14688-2:2017, IDT

Zastępuje
PN-EN ISO 14688-2:2006

Rozpoznanie i badania geotechniczne

Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów

Część 2: Zasady klasyfikowania

Norma Europejska EN ISO 14688-2:2018 *Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soil – Part 2: Principles for a classification (ISO 14688-2:2017)* ma status Polskiej Normy

© Copyright by PKN, Warszawa 2019

nr ref. PN-EN ISO 14688-2:2018-05

Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być wielokrotnie jakiegokolwiek techniką bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego

EN ISO 14688-2:2018

Tablica 1 – Zasady klasyfikowania gruntów

Grupa gruntów	Kwantyfikacja	Podział grupy gruntów			Dalszy podział, jeśli wymagane zgodnie z
		Fracja główna (symbol)	Pozostałe frakcje		
Bardzo gruboziarniste	> 50 % ziaren wagowo ≥ 200 mm	Glazy (Bo)	GŁAZY z kamieniami	GŁAZY z gruntami drobnoziarnistymi	Wymagają specjalnej oceny
	> 50 % cząstek i ziaren wagowo < 200 mm i ≥ 63 mm	Kamienie (Co)	KAMIENIE z glazami	KAMIENIE z gruntami drobnoziarnistymi	
Gruboziarniste	> 50 % cząstek i ziaren wagowo < 63 mm i ≥ 2 mm	Żwir (Gr)	ŻWIR z kamieniami ŻWIR ŻWIR z piaskiem i z kamieniami	ŻWIR z piaskiem ŻWIR z iłem i pyłem	Uziarnienie, Kształt krzywej uziarnienia, Zagęszczenie, Przepuszczalność
	> 50 % cząstek i ziaren wagowo < 2 mm i ≥ 0,063 mm	Piasek (Sa)	PIASEK ze żwirem PIASEK	PIASEK z iłem lub pyłem	Skład mineralny Kształt ziaren
Drobnoziarniste	brak plastyczności, mała plastyczność	Pył (Si)	PYŁ z piaskiem	PYŁ z piaskiem i żwirem PYŁ z piaskiem i iłem	Plastyczność, Wilgotność, Wytrzymałość, Wrażliwość, Odkształcalność, Szywność, Mineralogia ilów
			PYŁ z iłem, ił. z pyłem		
	Średnia plastyczność Duża plastyczność	Il (Cl)	Il z piaskiem i żwirem PYŁ z organiką Il z organiką		
Organiczne		TORF (Pt) GYTIA (Gy) DY (Dy) HUMUS (Hu)	TORF z piaskiem GYTIA z piaskiem i iłem		Wymagają specjalnej oceny
Grunty antropogeniczne		Nasyp niekontrolowany	Uformowany bez kontroli inżynierskiej	Materiał sztuczny lub przetworzony materiał naturalny (np. kruszony, sortowany lub płukany)	Wymagają specjalnej oceny
		Nasyp budowlany kontrolowany	Uformowany pod kontrolą inżynierską		Jak dla gruntów naturalnych

Przypadki wymagające specjalnej oceny powinny podlegać klasyfikowaniu zgodnie z wymaganiami krajowymi lub wymaganiami projektu (patrz na przykład normy z serii EN 16907).

Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

EN ISO 14688-2:2018

4.2 Frakcje

Grunt jest mieszaniną o różnych wymiarach cząstek i ziaren, które grupuje się we frakcje zgodnie z ISO 14688-1.

Klasyfikowanie gruntów gruboziarnistych i bardzo gruboziarnistych powinno być oparte wyłącznie na składzie granulometrycznym (patrz 4.3), gdy masa próbek gruntu jest wystarczająca do ich sklasyfikowania (patrz EN 1997-2:2007, Załącznik L).

Klasyfikowanie gruntów gruboziarnistych, drobnoziarnistych oraz wielofrakcyjnych, powinno być oparte na składzie granulometrycznym oraz plastyczności (patrz 4.4), chyba że, oznaczenie plastyczności nie jest możliwe do wykonania ani nie jest konieczne.

Klasyfikowanie gruntów drobnoziarnistych powinno być oparte na uziarnieniu (patrz 4.3) i/lub na plastyczności (patrz 4.4). Przyjęta metoda klasyfikowania powinna zostać opisana w sprawozdaniu.

4.3 Skład granulometryczny

Wymiary cząstek i ziaren i ich rozkład w gruncie należy określić na podstawie badań przeprowadzonych zgodnie z ISO 17892-4 i obejmujących:

- wydzielanie grubszych frakcji przez przesiewanie
- określanie frakcji drobniejszych za pomocą, na przykład, sedimentacji.

Wyniki przesiewania oraz sedimentacji przedstawia się w postaci krzywej uziarnienia, która pokazuje procentowo wagowy udział każdej z frakcji. Inne metody, jak na przykład optyczne, mogą być także stosowane na potrzeby analizy uziarnienia.

Przy oznaczaniu frakcji gruboziarnistych można wydzielić grunty: równomiernie, słabo, średnio, dobrze lub źle uziarnione. Wskaźniki krzywizny (C_u) i wskaźnik różnoziarnistości (C_c) opisują kształt krzywej uziarnienia. Jeżeli brakuje jakiegoś wymiaru cząstek i ziaren, używa się terminu grunt źle uziarniony (patrz Tablica 2). Do określania kształtu krzywej uziarnienia można wykorzystać medianę D_{50} krzywej uziarnienia wraz z C_u i C_c .

Tablica 2 – Kształt krzywej uziarnienia

Termin	C_u	C_c
Równomiernie uziarnione (jednofrakcyjne)	< 3	< 1
Słabo uziarnione	od 3 do 6	< 1
Średnio uziarnione (kilkufrakcyjne)	od 6 do 15	< 1
Dobrze uziarnione (wielofrakcyjne)	> 15	od 1 do 3
Źle uziarnione	> 15	< 0,5

EN ISO 14688-2:2018

Tablica 5 – Klasyfikacja zagęszczenia gruntu przy pomocy stopnia zagęszczenia

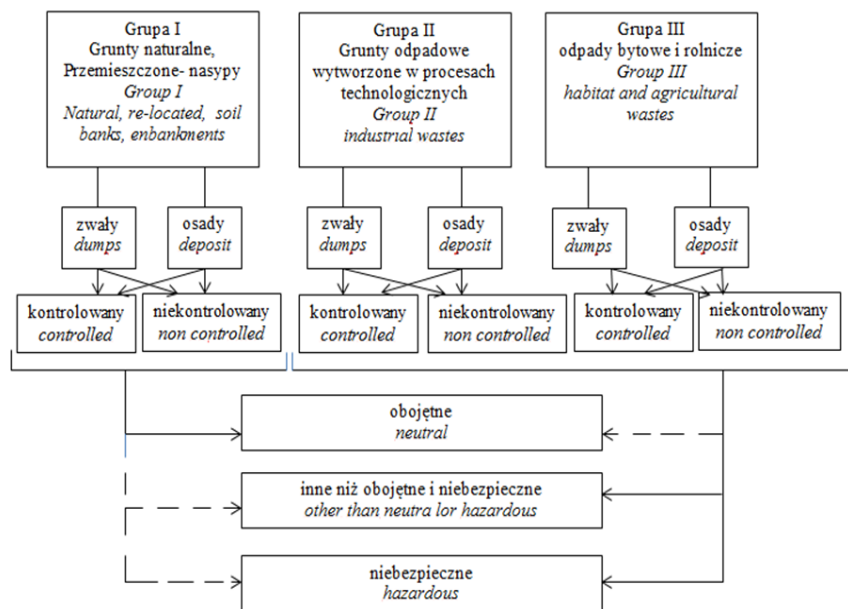
Termin w zależności od stopnia zagęszczenia	Stopień zagęszczenia I_p %
Bardzo luźny	od 0 do 15
Luźny	od 15 do 35
Średnio zagęszczony	od 35 do 65
Zagęszczony	od 65 do 85
Bardzo zagęszczony	od 85 do 100

Do oceny stopnia zagęszczenia można także wykorzystać badania terenowe (patrz EN 1997-2).

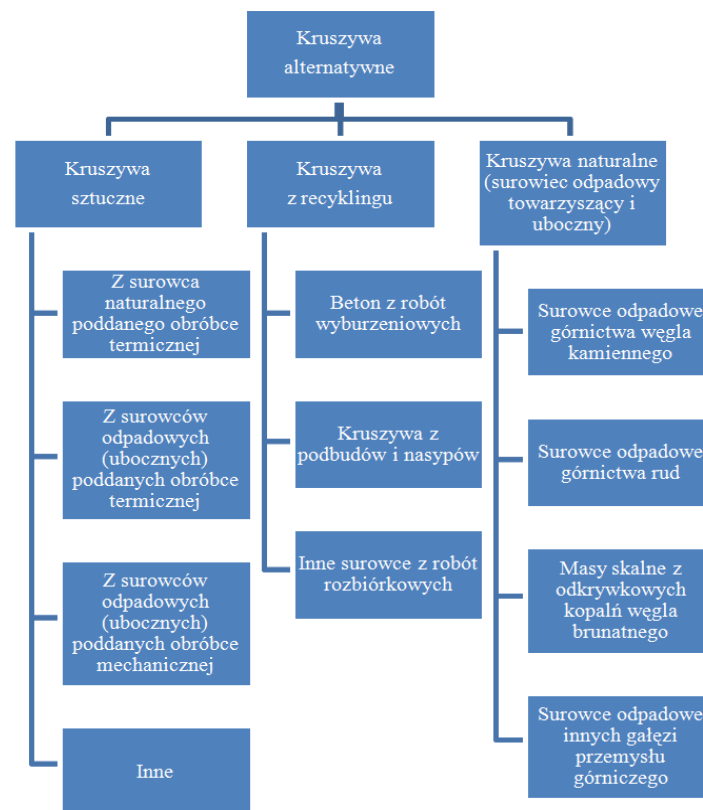
Klasyfikacje gruntów – naturalnych i antropogenicznych



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Podział gruntów antropogenicznych (Dragowski 2010)



Proponowany podział kruszyw innych niż naturalne (Kozioł i Kawalec 2008)

Geneza materiału antropogenicznego – kruszywa betonowego



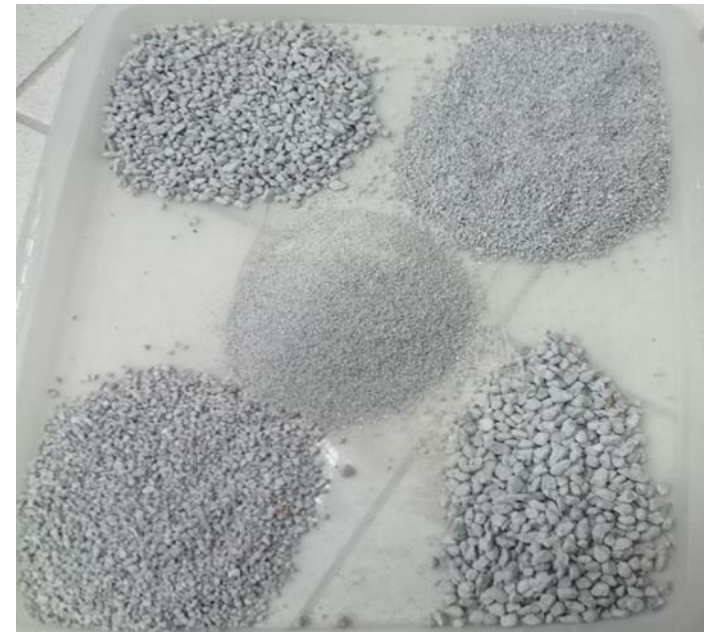
SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Geneza materiału antropogenicznego – kruszywa betonowego



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Przygotowanie kruszywa do badań



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



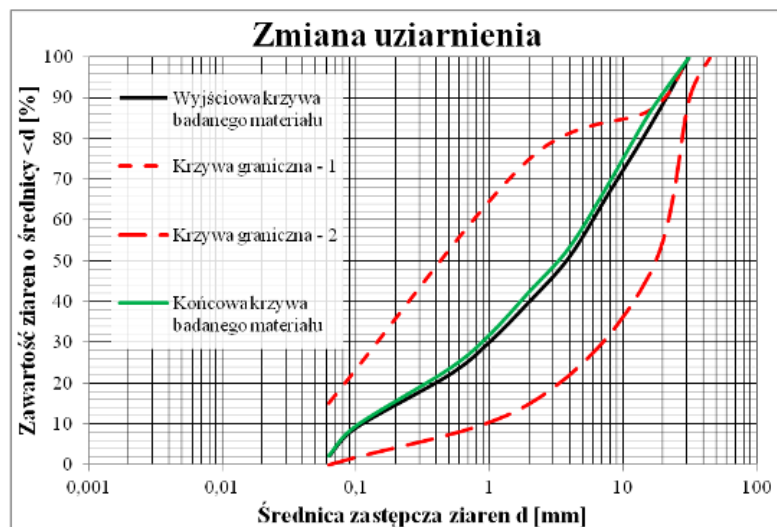
Klasy wytrzymałości na ściskanie wybranych klas betonu według PN-EN 206-1 i PN-88/B-06250

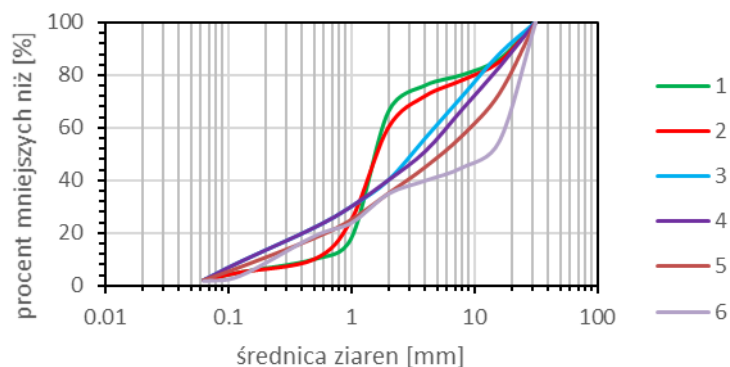
Norma PN-EN 206-1	Norma PN-88/B-06250	Wytrzymałość charakterystyczna [MPa]	Wytrzymałość średnia [MPa]
C12/15	B15	15	19,0–23,9
C16/20	B20	20	24,0–28,9
C20/25	B25	25	29,0–33,9
C25/30	B30	30	34,0–40,9
C30/37	B37	37	41,0–48,9

Przygotowanie kruszywa do badań

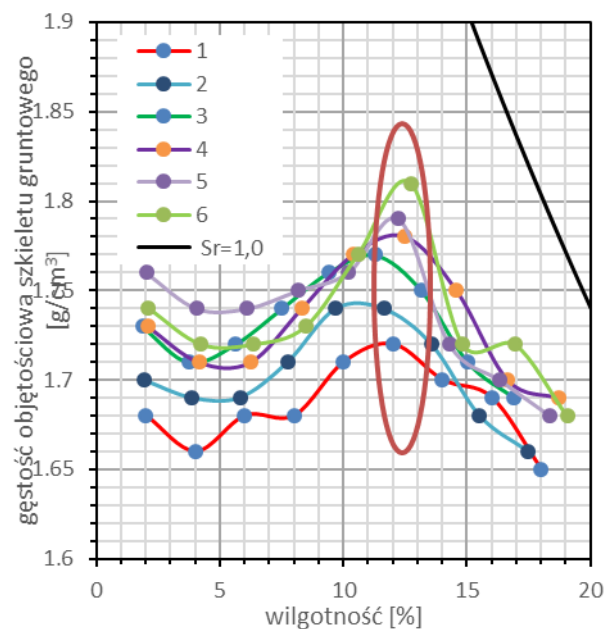


SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

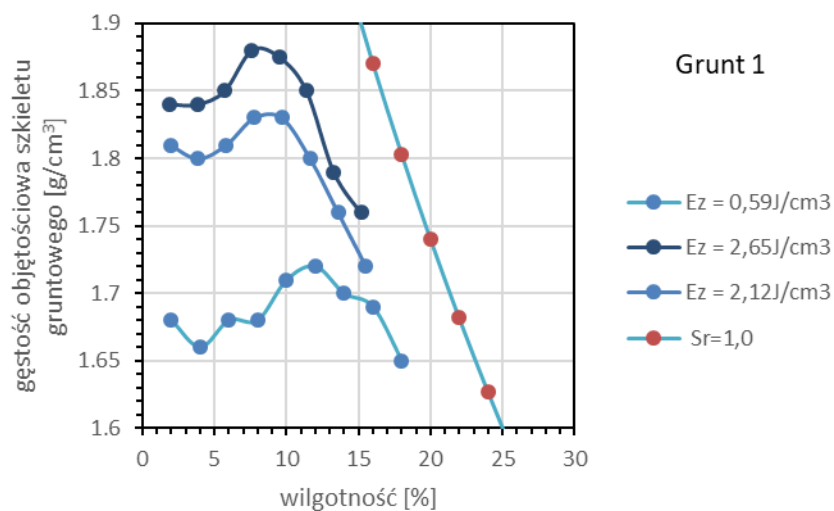




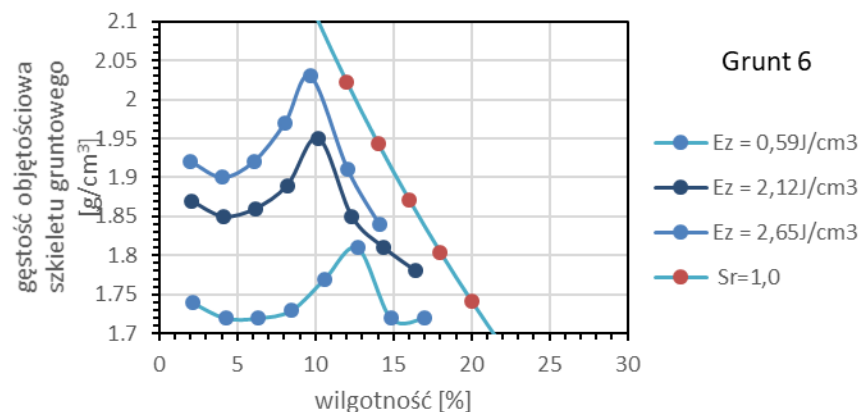
Skład granulometryczny gruntów antropogenicznych - destruktu betonowego wykorzystanych do badań wpływu składu uziarnienia na wartość wilgotności optymalnej.



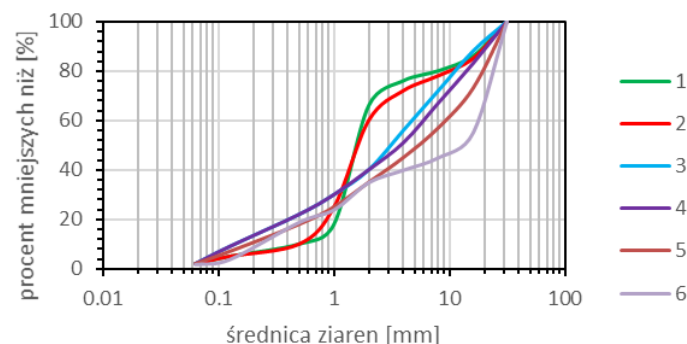
Wyniki badań zagęszczalności normalną metodą Proctora dla 6 mieszanek niezwiązanych o różnych charakterystykach uziarnienia.

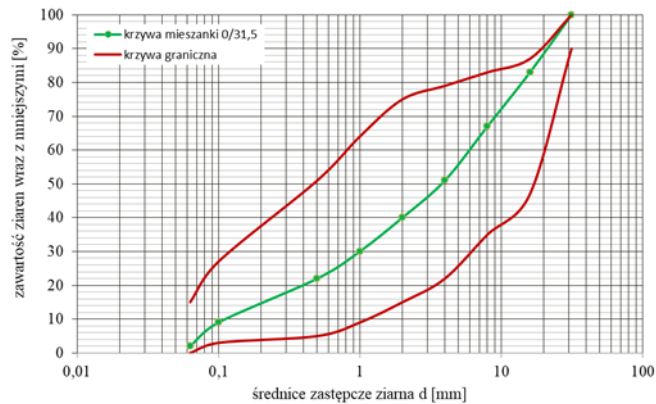


Charakterystyka gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności dla badanego destruktu betonowego w zależności od energii zagęszczania.

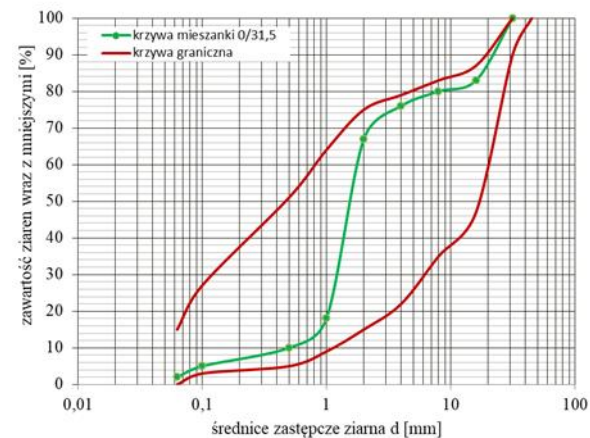


Charakterystyka gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności dla badanego destruktu betonowego w zależności od energii zagęszczania.





Krzywa uziarnienia dla mieszanki nr 1
o uziarnieniu 0/31,5mm do warstw
podbudowy zasadniczej wg. WT4.



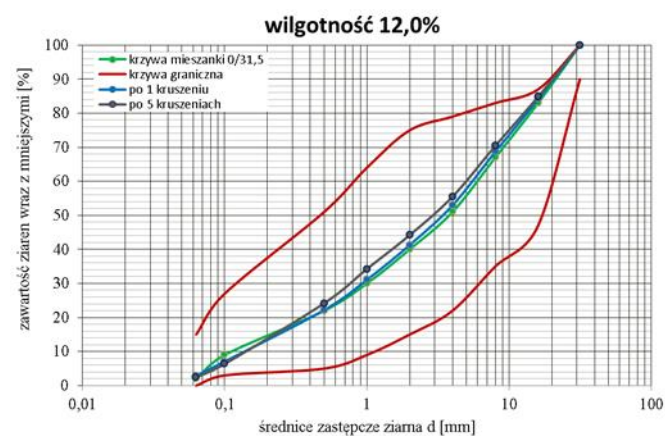
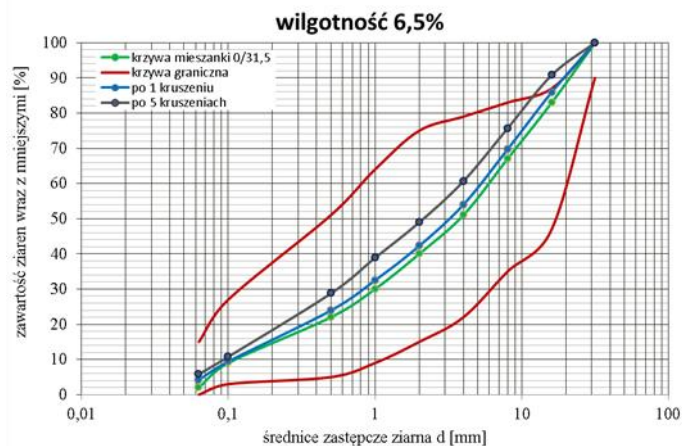
Krzywa uziarnienia dla mieszanki nr 2
o uziarnieniu 0/31,5mm do nawierzchni wg.
WT4.

Problematyka zagęszczalności kruszywa betonowego

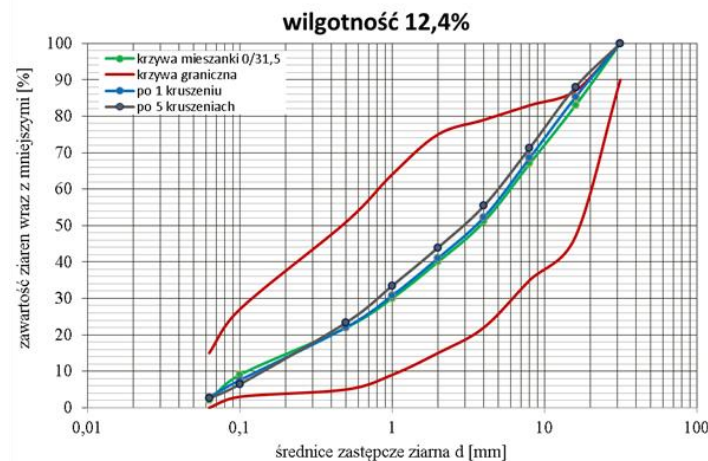
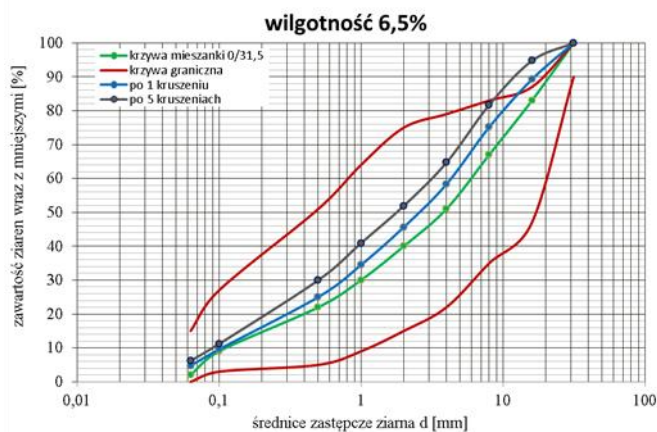
Zjawisko kruszenia się materiału



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Krzywa uziarnienia dla mieszanki nr 1 zagęszczanej normalną energią Proctora



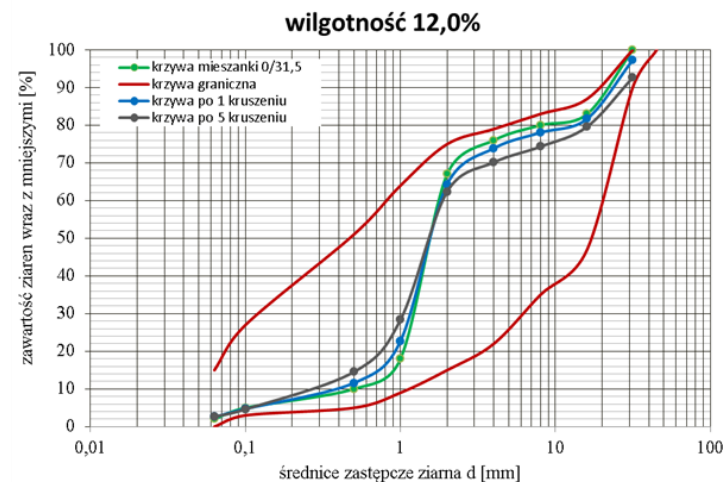
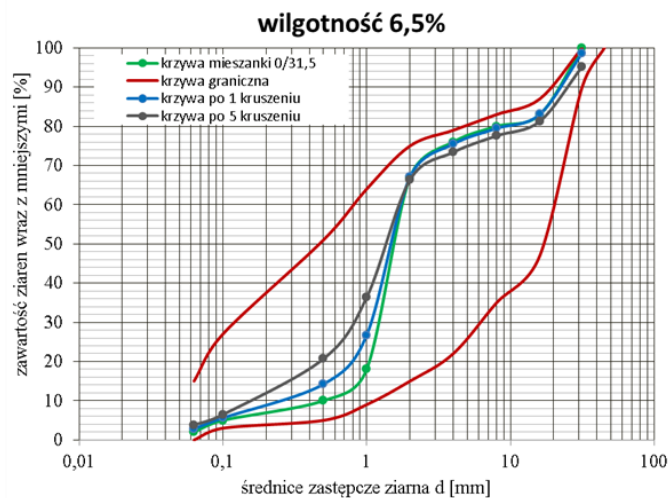
Krzywa uziarnienia dla mieszanki nr 1 zagęszczanej energią równą 85% normalnej energii Proctora

Problematyka zagęszczalności kruszywa betonowego

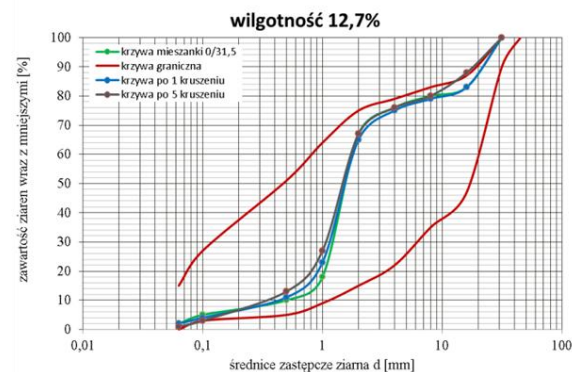
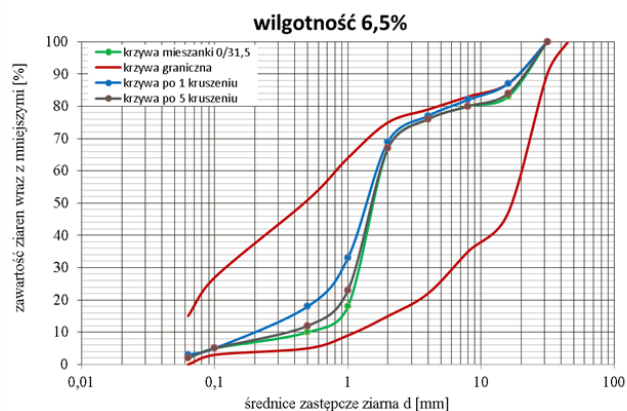
Zjawisko kruszenia się materiału



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Krzywa uziarnienia dla mieszanki nr 2 zagęszczanej normalną energią Proctora



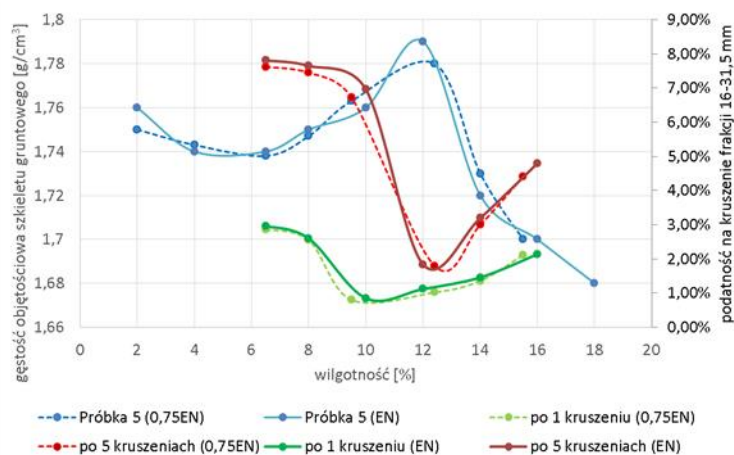
Krzywa uziarnienia dla mieszanki nr 2 zagęszczanej energią równą 85% normalnej energii Proctora

Problematyka zagęszczalności kruszywa betonowego

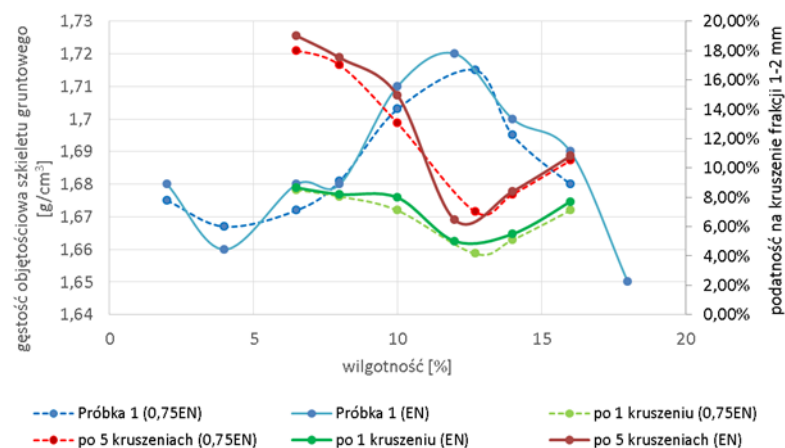
Zjawisko kruszenia się materiału



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Wykres zmian frakcji 16-31,5mm przy zastosowanych dwóch energiach zagęszczania.



Wykres zmian frakcji 1-2mm przy zastosowanych dwóch energiach zagęszczania.

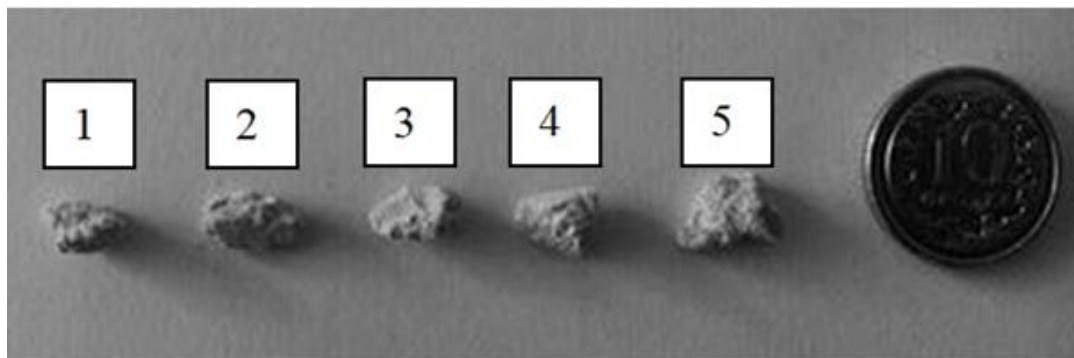
Geneza gruntu naturalnego



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Zjawisko zmiany kształtu ziaren w procesie pięciokrotnego kruszenia metodą Proctora. Określono kształt ziaren zgodnie z klasyfikacją podaną przez Zingga dla wybranych losowo 10 ziaren przed kruszeniem i po kruszeniu. Ziarna wybrano spośród frakcji stanowiącej 50% masy próbki, czyli frakcji 4–8 mm.

numer ziarna	stosunek długości osi ziarna a, b, c		kształt
	b/a	c/b	
1	0,70	0,50	dysk
2	0,50	0,45	klinga
3	0,50	0,60	klinga
4	0,65	0,70	walec
5	0,70	0,55	dysk



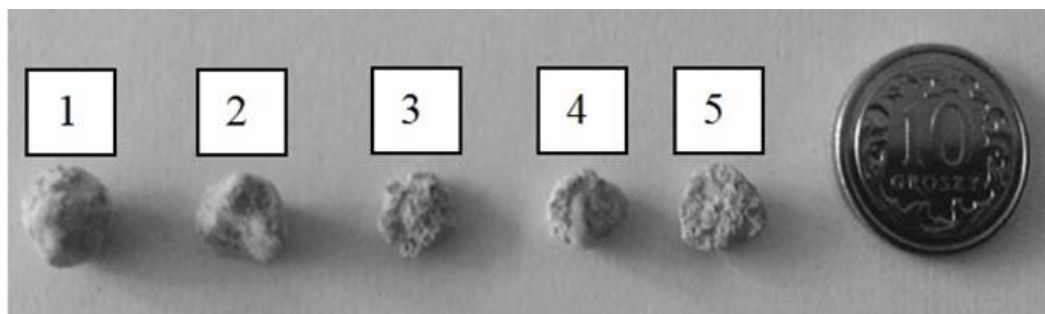
Geneza gruntu naturalnego



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Zjawisko zmiany kształtu ziaren w procesie pięciokrotnego kruszenia metodą Proctora. Określono kształt ziaren zgodnie z klasyfikacją podaną przez Zingga dla wybranych losowo 10 ziaren przed kruszeniem i **po kruszeniu**. Ziarna wybrano spośród frakcji stanowiącej 50% masy próbki, czyli frakcji 4–8 mm.

numer ziarna	stosunek długości osi ziarna a, b, c		kształt
	b/a	c/b	
1	1,00	1,00	kula
2	0,90	1,00	kula
3	1,00	0,95	kula
4	1,00	0,95	kula
5	1,00	1,00	kula



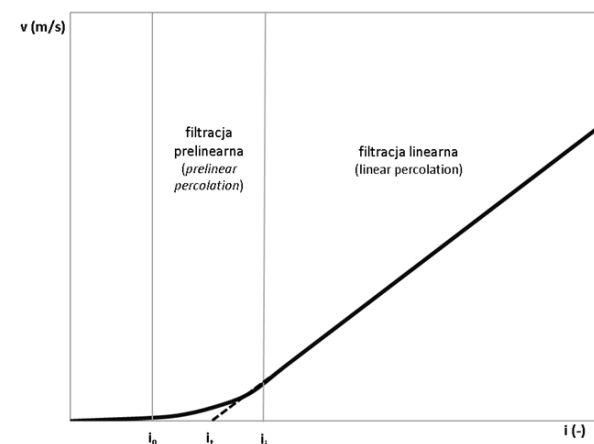
Przepuszczalność hydrauliczna oraz oddziaływanie destruktu betonowego na środowisko gruntowo- -wodne



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Wodoprzepuszczalność to zdolność gruntu do przepuszczania wody przez kanaliki utworzone z porów. Do jej określenia wykorzystuje się stałą k , zwaną także współczynnikiem przepuszczalności lub stałą filtracji Darcy'ego. Opisuje ona zależność między prędkością przepływu wody w gruncie a spadkiem hydraulicznym; $v = k \cdot i$; gdzie: v to prędkość przepływu wody w czasie (m/s), k – współczynnik filtracji równy prędkości przepływu (v) przy $i = 1$, i – spadek hydrauliczny. Współczynnik filtracji charakteryzuje dany ośrodek, zatem zależy od uziarnienia i porowatości gruntu oraz od temperatury przepływającej wody.

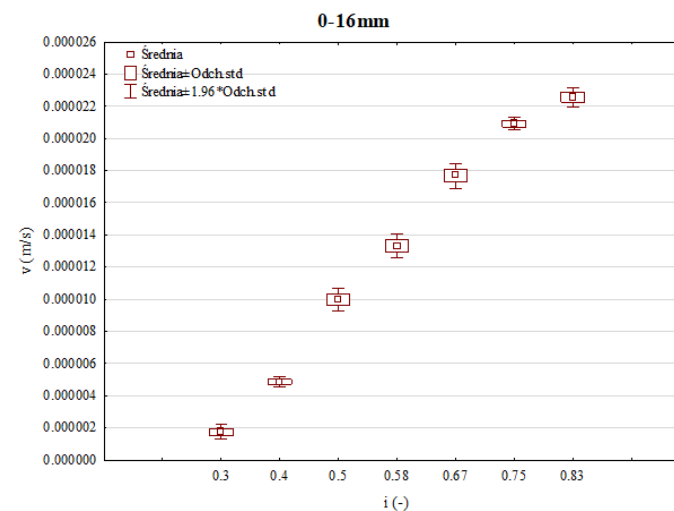
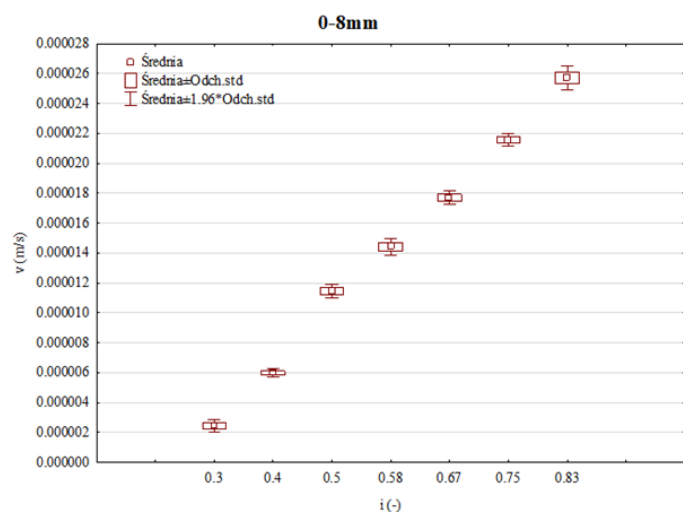
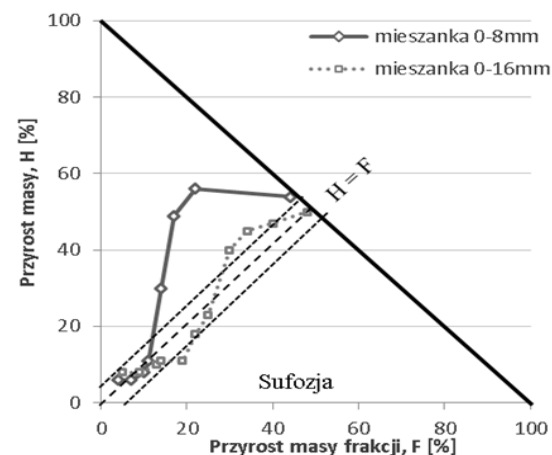
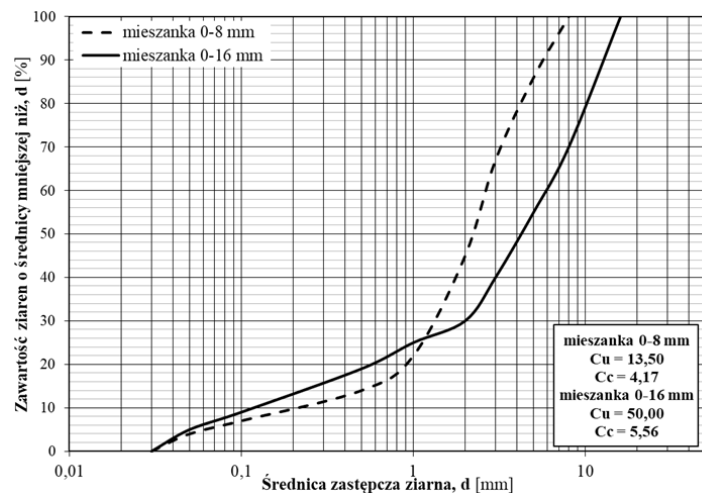
Badania przepuszczalności wykonano metodą stałogradientową z zastosowaniem siedmiu narastających gradientów (0,3; 0,4; 0,5; 0,58; 0,67; 0,75; 0,83) dla pięciu próbek każdego z uziarnień. Dobór gradientów wynikał z wymagań podanych w WT-4 (2010). Gradienty w podanym zakresie mają swoje uzasadnienie także w obliczeniach filtracji przez ziemne konstrukcje piętrzące (Wały przeciwpowodziowe – wytyczne instruktażowe projektowania 1982).



Przepuszczalność hydrauliczna oraz oddziaływanie destruktu betonowego na środowisko gruntowo- wodne



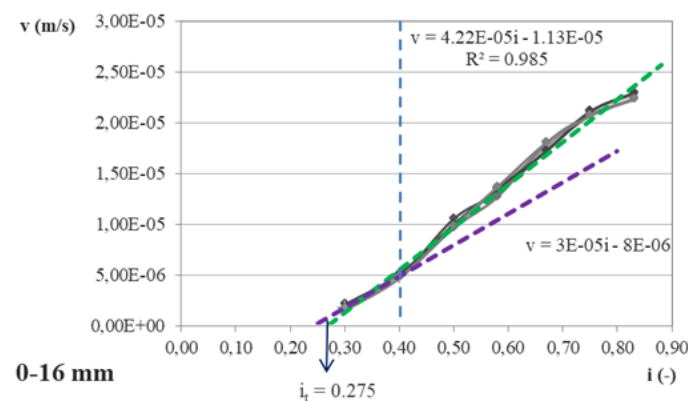
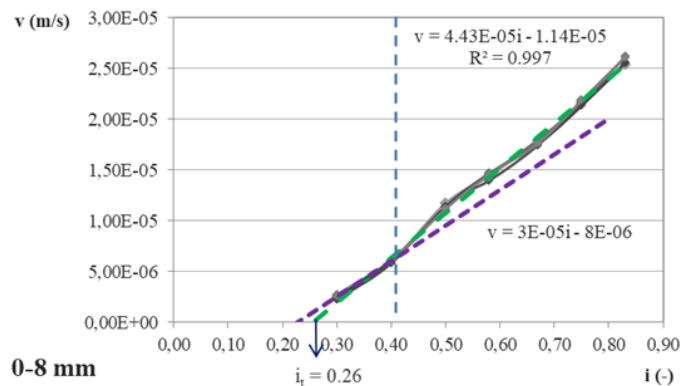
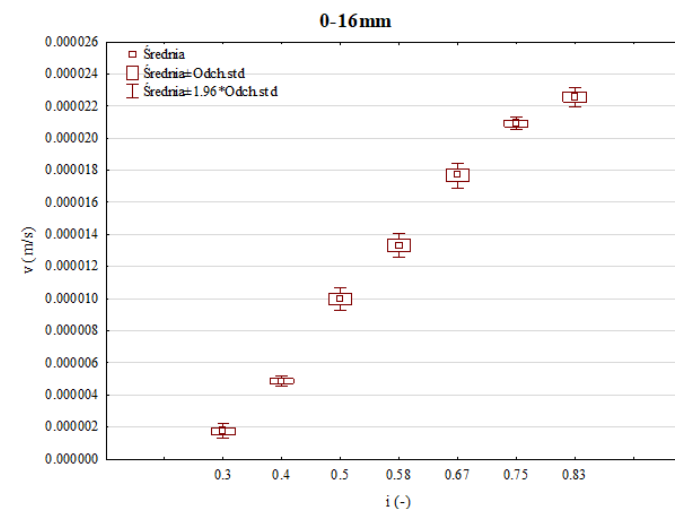
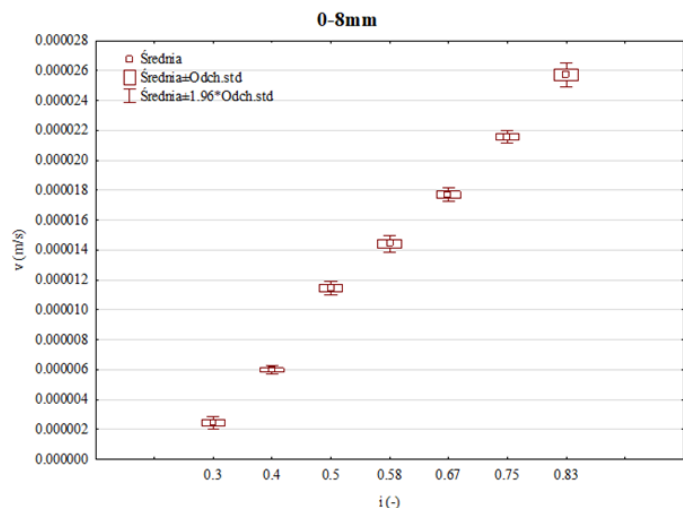
SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Przepuszczalność hydrauliczna oraz oddziaływanie destruktu betonowego na środowisko gruntowo- wodne



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Przepuszczalność hydrauliczna oraz oddziaływanie destruktu betonowego na środowisko gruntowo- -wodne



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Konstrukcja inżynierska, z której zostanie pozyskany beton, może być zanieczyszczona różnymi związkami chemicznymi, np. jonami chloru pochodzącymi z soli wykorzystywanej do usuwania lodu z nawierzchni oraz siarczanami pochodzącymi z kontaktu z olejami bogatymi w te związki (nawierzchnie parkingów, podbudowy betonowe, krawężniki, chodniki). Innymi substancjami, które w czasie eksploatacji zanieczyszczają beton, są metale ciężkie. Badania powinny obejmować wymywalność metali ciężkich, siarczanów i chlorków w kontakcie ze środowiskiem wodnym w kontekście możliwości zanieczyszczenia wód gruntowych i gleb. Potrzeba tych badań została podana w WT-4 (2010).

Badania wymywalności związków chemicznych ([Mertens 2013](#)) wykonano na dwóch rodzajach kruszywa betonowego pozyskanego z odmiennych konstrukcji budowlanych, które różniły się pod względem czasu ekspozycji oraz warunków eksploatacji. Pierwszy materiał reprezentuje materiał wyburzeniowy z konstrukcji betonowych ścian elewacyjnych budynków (EB), drugi pozyskano w wyniku przekruszenia krawężnika drogi miejskiej (KB). Na podstawie własnych badań wytrzymałościowych wykonanych na przygotowanych próbkach cylindrycznych określono klasę betonu EB jako C16/20–C25/30, a betonu KB jako C16/20–C20/25. Materiał został następnie przekruszony i rozfrakcjonowany.

Przepuszczalność hydrauliczna oraz oddziaływanie destruktu betonowego na środowisko gruntowo- wodne



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Zawartość metali ciężkich w badanym materiale stanowi niewielki procent dopuszczalnych stężeń zawartych w rozporządzeniu Ministra Środowiska przytoczonym powyżej. Ma to związek z tym, że beton jest jednym z najbardziej efektywnych materiałów do unieszkodliwiania odpadów nieorganicznych, niebezpiecznych, zawierających w swoim składzie metale ciężkie. Stwardniała matryca betonowa skutecznie immobilizuje metale ciężkie w złożonych procesach fizyko-chemicznych zachodzących w trakcie wiązania i twardnienia betonu (Król 2006). Poza tym pomiary odczynu (pH) wykazały, że roztwory wodne przygotowane na bazie destruktu betonowego wykazują odczyn alkaliczny, co dodatkowo ogranicza wymywalność metali ciężkich.

Podsumowując, należy stwierdzić, że badany destruktu betonowy nie wykazał przekroczeń wymywalności siarczanów, chlorków oraz metali ciężkich. Pod względem chemicznym jest on bezpieczny dla środowiska gruntowo-wodnego przy zastosowaniu w mieszankach niezwiązanych stosowanych do podbudów nawierzchni drogowych oraz w nasypach piętujących wodę. Bezpieczniejsze dla trwałości konstrukcji betonowej będzie zastosowanie destruktu pochodzącego z elewacji budynków. Wynika to z faktu, że zawiera on mniejsze ilości siarczanów oraz chlorków w porównaniu z destruktem z krawężnika chodnikowego. Większa zawartość tych związków może być zagrożeniem w postaci zjawiska korozji siarczanowej oraz chlorkowej. Również wielkość stosowanych frakcji ma istotne znaczenie, ponieważ w najmniejszych frakcjach występuje najwięcej związków siarki i chloru rozpuszczalnych w wodzie.

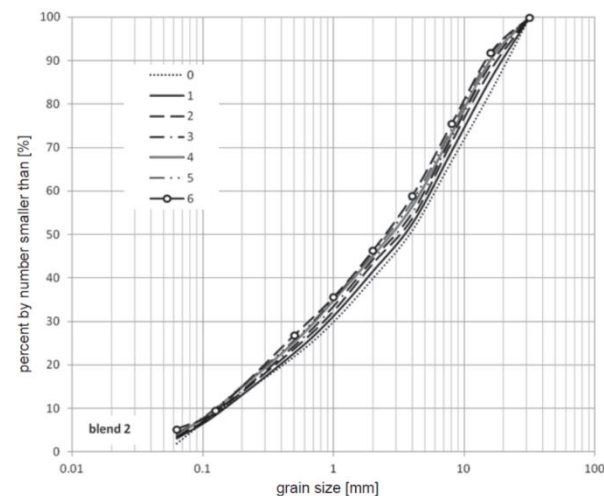


Pojęcie nośności podłoża pod konstrukcje drogowe związane jest z określeniem jego zdolności do przeniesienia obciążeń w zakresie akceptowalnych odkształceń. Parametrem opisującym tak zdefiniowaną nośność materiału jest wskaźnik nośności ($w_{\text{noś}}$), którego metodykę wyznaczania znajdujemy w PN-S-02205:1998. Jest on polskim odpowiednikiem kalifornijskiego wskaźnika nośności (California Bearing Ratio) zdefiniowanego w ASTM D1883-07 (2009). Wartość wskaźnika nośności (CBR) określona jest wzorem:

$$w_{\text{noś}} = \frac{p}{p_s} \cdot 100 [\%]$$

Badania przeprowadzone przez [Sasa i Głuchowskiego \(2014\)](#) dotyczyły badań nośności destruktu betonowego scharakteryzowanego za pomocą wskaźnika CBR. Materiałem użytym do badań był destruktu betonowy o klasie [C16/20](#). Kruszywo składało się w 100% z destruktu betonowego, a wyniki badań składu uziarnienia pozwoliły na sklasyfikowanie tego materiał jako [żwiru piaszczystego](#) (saGr). Badania zostały przeprowadzone dla destruktu betonowego zagęszczanego przy różnej energii zagęszczania oraz w różnych warunkach nasycenia próbek w trakcie badania wskaźnika CBR.

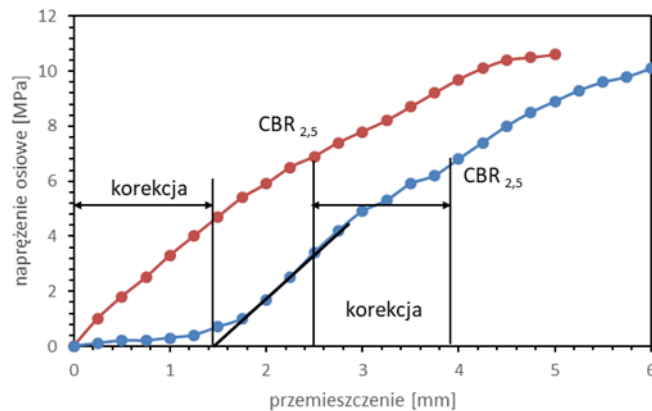
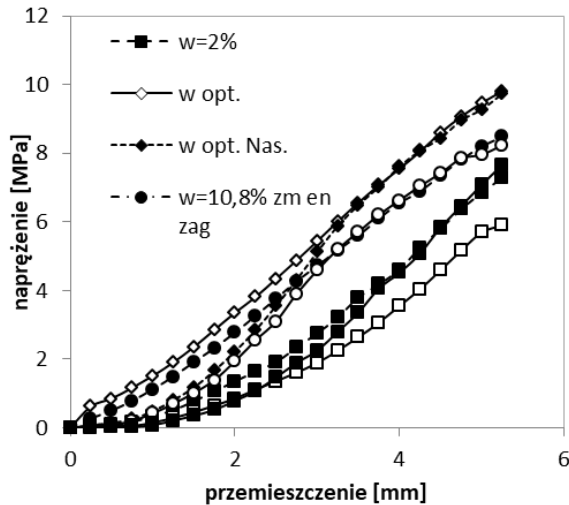
	wilgotność powietrzno- sucha $E_z = 2,65 \text{ J/cm}^3$	wilgotność optymalna $E_z = 2,65 \text{ J/cm}^3$	grunt w pełni nasycony $E_z = 2,65 \text{ J/cm}^3$	wilgotność optymalna $E_z = 2,12 \text{ J/cm}^3$
wilgotność w [%]	2,47	10,8	13,4	10,8
gęstość objętościowa $\rho \text{ [g/cm}^3\text{]}$	1,8	1,98	1,98	1,91
wskaźnik porowatości e [-]	0,58	0,44	0,44	0,49
porowatość n [-]	0,37	0,31	0,31	0,33
stopień wilgotności Sr [-]	0,12	0,70	1,00	0,63



Badania (Kalifornijskiego) Wskaźnika nośności CBR



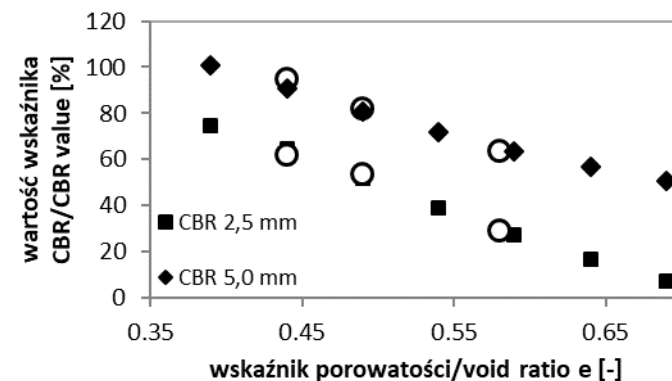
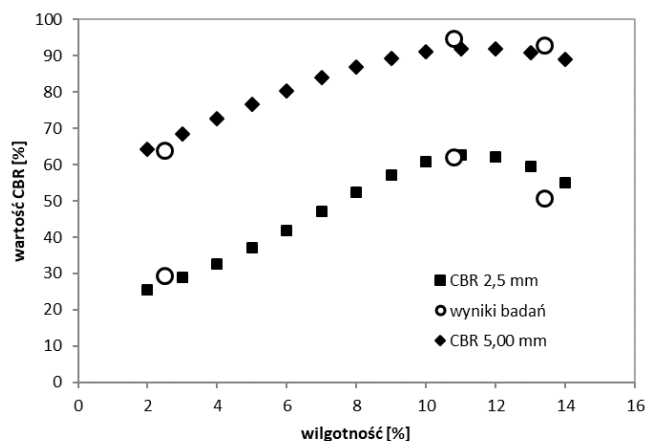
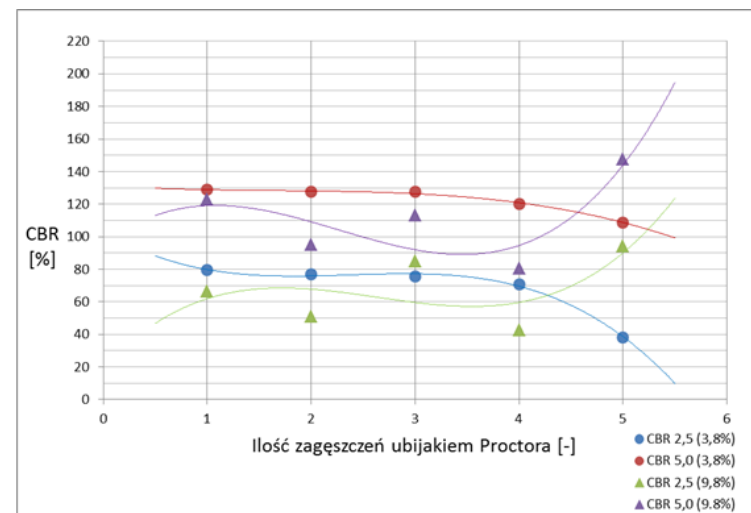
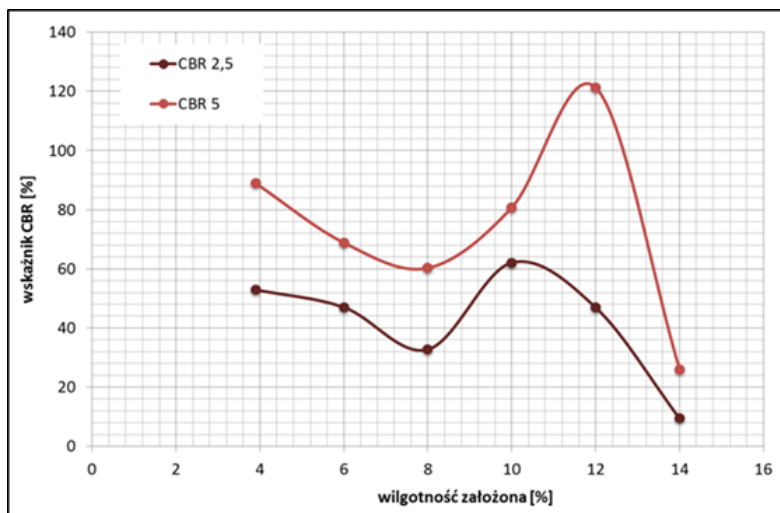
SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Badania (Kalifornijskiego) Wskaźnika nośności CBR



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Badania przeprowadzone przez [Sasa i in. \(2015a\)](#) dotyczyły wskaźnika nośności CBR destruktu betonowego scharakteryzowanego za pomocą uziarnienia jako żwir piaszczysty (saGr). Materiał do badań o uziarnieniu 0–31,5 mm zgodnie z wytycznymi WT-4 (2010) został przygotowany z mieszanki destruktu betonowego klas [C16/20–C30/37](#). Do badań CBR próbki przygotowano zgodnie z normą PN-EN 13286-2:2010, zagęszczając w cylindrze o wysokości $h = 178$ mm i średnicy $d = 150$ mm z zastosowaniem normalnej energii zagęszczania Proctora wynoszącej $E = 0,59$ J/cm³. Badania CBR zgodnie z PN-EN 13286-47:2012 przeprowadzono na próbkach o dwóch wilgotnościach: 3,8% oraz 9,8%, do momentu, gdy zagłębienie osiągało 7,5 mm lub gdy przez dłuższy czas zagłębienie nie postępowało, a siła osiągała 10–12 kN. Badanie CBR przy każdej z wilgotności wykonywano na pięciu próbkach. Próbki różniły się zwiększoną narastająco ilością przekruszeń od 1 do 5. Przed badaniem CBR próbki przechowywano 96 h w wodzie.

Nr badania	Przemieszczenie		Przemieszczenie	
	2,5 mm	5,0 mm	2,5 mm	5,0 mm
	CBR [%]		CBR [%]	
1	79,51	129,03	50,81	95,16
2	77,01	127,42	85,00	112,90
3	75,48	127,42	42,66	80,64
4	70,72	120,16	78,63	120,96
5	38,31	108,87	94,27	147,58

Badania (Kalifornijskiego) Wskaźnika nośności CBR



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

References	Type of the aggregate	CBR (%)	Standard used
Bennert and Maher [2008]	NA	182	Not mentioned
	RCA	169	
Jimenez et al. [2011]	NA	152	UNE 103502
	RCA	97-138	
Melbouci [2009]	RCA	128	NF 94-078
Poon et al. [2007]	NA	83	BS 1377-4
	RCA	66	
Sas et al. [2012]	RCA	78-91	PN-S-02205:1988
Sas et al. [2015b]	RCA	80-147	PN-EN 13286-47:2012

Wyniki badań ([Sas i Głuchowski 2014](#), [Sas 2015](#), [Sas i in. 2015a](#)) wskazują na zróżnicowanie uzyskanych wartości CBR, które znajdują się w przedziale od około 30 do 145%. Należy stwierdzić, że najwyższe wyniki CBR osiągnięto przy wilgotności zagęszczania zbliżonej do wilgotności optymalnej. Wynoszą one powyżej 50% przy zagłębieniu tłoka w próbkę na głębokość 2,5 mm oraz powyżej 80% przy zagłębieniu tłoka na głębokość 5,0 mm. Jako referencyjne należy przyjmować wartości większe zgodnie z PN-S-02205:1998. Wartości CBR powyżej 60% spełniają wymagania wobec mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie podbudowy pomocniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem KR1-KR6, wartości CBR powyżej 80% spełniają wymagania dla podbudowy zasadniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem KR1-KR6 (WT-4 2010). Należy także pamiętać, że mogą być one zaniżone ze względu na specyfikę badań materiału podatnego na kruszenie pod obciążeniem i o konieczności stosowania obliczeń korekcyjnych.

Wytrzymałość na ścinanie kruszywa betonowego w aparacie bezpośredniego ścinania



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Nr badania	L/D_{50} [-]	Wilgot- ność [%]	Naprężenie normalne [kPa]	ρ_d [g/cm ³]	I_d [-]
M1	545	2,21	48,73	1,881	0,665
M2		2,01	71,38	1,883	0,667
M3		2,13	85,42	1,887	0,669
M4		8,59	50,21	1,963	0,736
M5		8,71	70,87	1,972	0,742
M6		8,35	84,26	1,961	0,734
L1	1136	2,15	49,25	1,889	0,669
L2		2,02	69,14	1,882	0,662
L3		2,10	84,69	1,886	0,668
L4		8,56	49,91	1,968	0,735
L5		8,69	70,64	1,971	0,741
L6		8,43	83,75	1,961	0,731

Nr badania	Wilgotność [%]	Kąt tarcia wewnętrznego [°]
M1, M2, M3	2,01–2,13	41,5
M4, M5, M6	8,35–8,71	39,7
L1, L2, L3	2,0–2,15	40,3
L4, L5, L6	8,4–8,69	38,5



Wytrzymałość na ścinanie kruszywa betonowego w aparacie bezpośredniego ścinania



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

References	Soil type	Direct shear test (size of shear box in mm)	Triaxial test
Sas et al. 2016	RCA	(250x250x250) $\phi=39,5^\circ$ C=0 kPa	$\phi=53^\circ$ C=0 kPa
Soból et al. 2015	RCA	(250x250x250) $\phi=38,5-40,3^\circ$ C=0 kPa (120x120x120) $\phi=39,7-41,5^\circ$ C=0 kPa	
O'Mahony 1997	RCA	(300x300x179) $\phi=39,5-42^\circ$ C=0 kPa	
	Sand	(300x300x179) $\phi=33^\circ$ C=0 kPa	

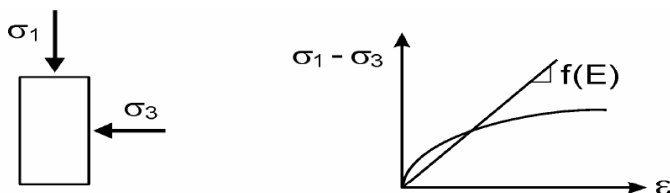
Wytrzymałość na ścinanie kruszywa betonowego w aparacie trójosiowego ściskania



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



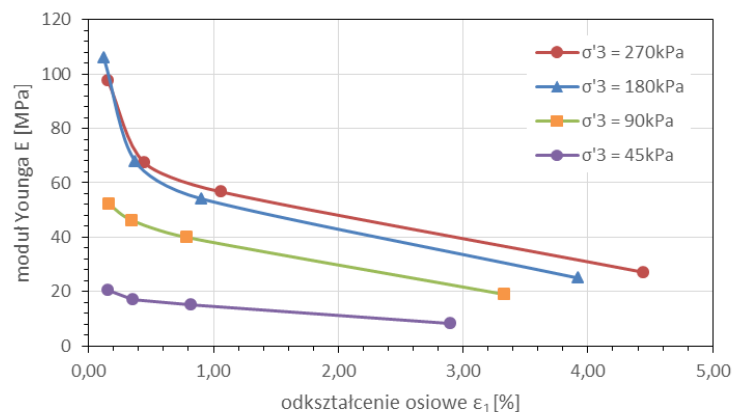
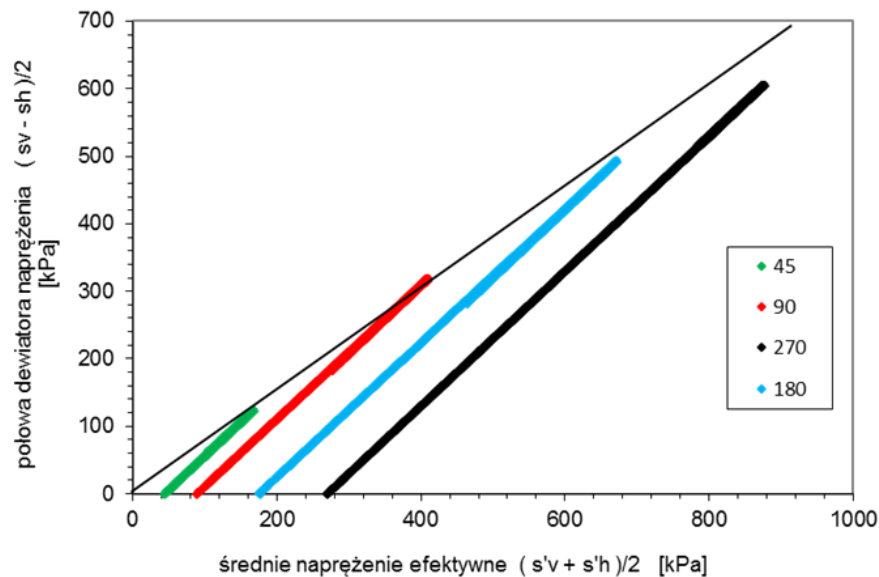
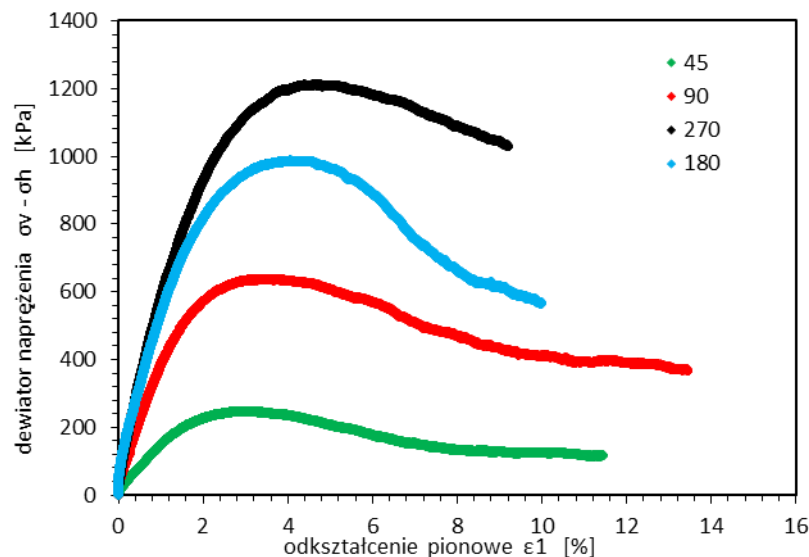
Badania destruktu betonowego przeprowadzono w warunkach statycznego obciążania z odpływem wody porowej (CD). Warunki odpływu wskazują na fakt, że grunt ten ma relatywnie wysoką wartość współczynnika filtracji, a co za tym idzie – przy obciążeniu statycznym nie przewiduje się wystąpienia nadwyżki ciśnienia wody w porach. Przed badaniem próbki nasączono do stopnia nasycenia $S_r = 1$. Następnie próbki zostały skonsolidowane do wartości wynikających z praktycznych obciążeń użytkowych. Procedura przygotowania próbek była zgodna z podaną przez Heada (1994, 1998). W trakcie badania zapisywano automatycznie: pomiar siły za pomocą czujnika zanurzeniowego, przemieszczenia, odciek wody z próbki, czas pomiaru.



Wytrzymałość na ścinanie kruszywa betonowego w aparacie trójosiowego ściskania



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



W wyniku przeprowadzonych badań destruktu betonowego otrzymano efektywny kąt tarcia φ' równy 45° . [Arulrajah i in. \(2012\)](#) podają, że destruktu betonowy o podobnym składzie uziarnienia charakteryzował się efektywnym kątem tarcia wewnętrznego równym $49-51^\circ$. Uzyskiwane duże wartości kąta tarcia wewnętrznego stanowią podstawę do szerokiego stosowania tego rodzaju materiału w budownictwie inżynierskim.

Badania Cyklicznego Modułu Sprężystości



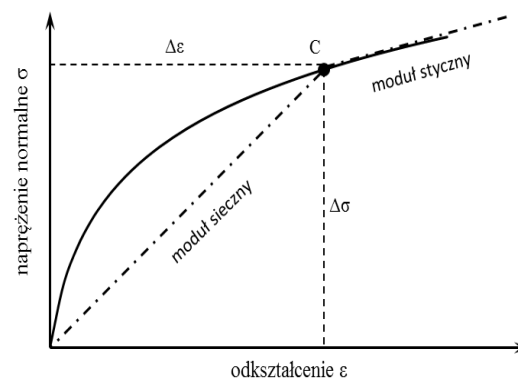
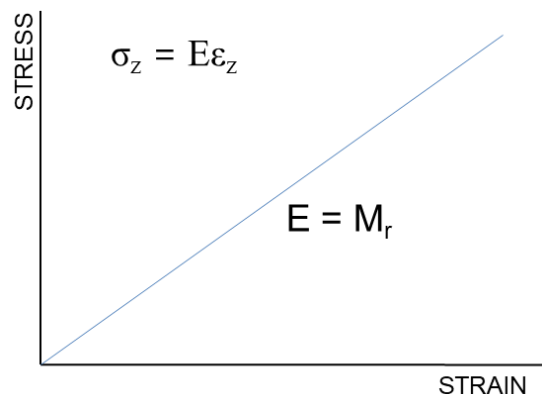
SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



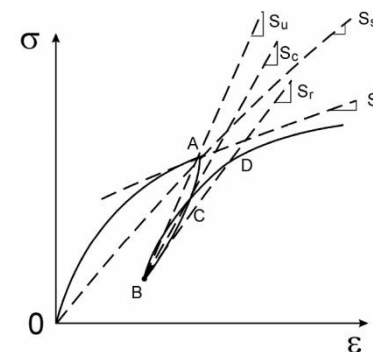
Cykliczny moduł sprężystości dla kruszyw niezwiązanych oraz podłoża gruntowego według zaleceń AASHTO 93 jest niezbędnym parametrem używanym do projektowania konstrukcji nawierzchni drogowej.

$$M_r = \frac{\Delta q}{\epsilon_r}$$

- Δq stress difference of cyclic stress
- ϵ_r resilient strain.



Badania cCBR



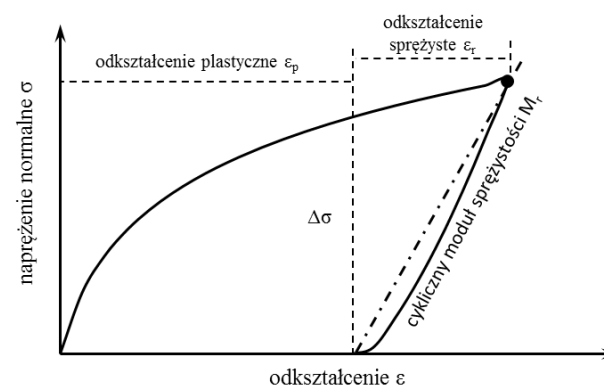
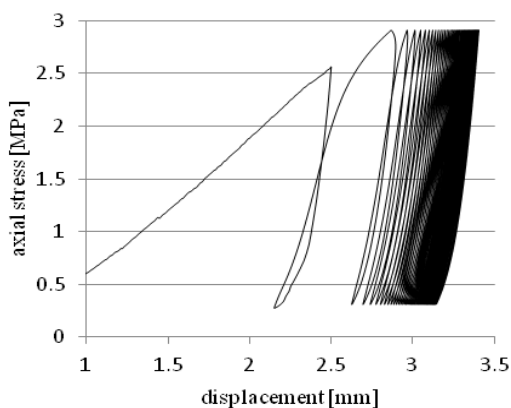
Badania Cyklicznego Modułu Sprężystości

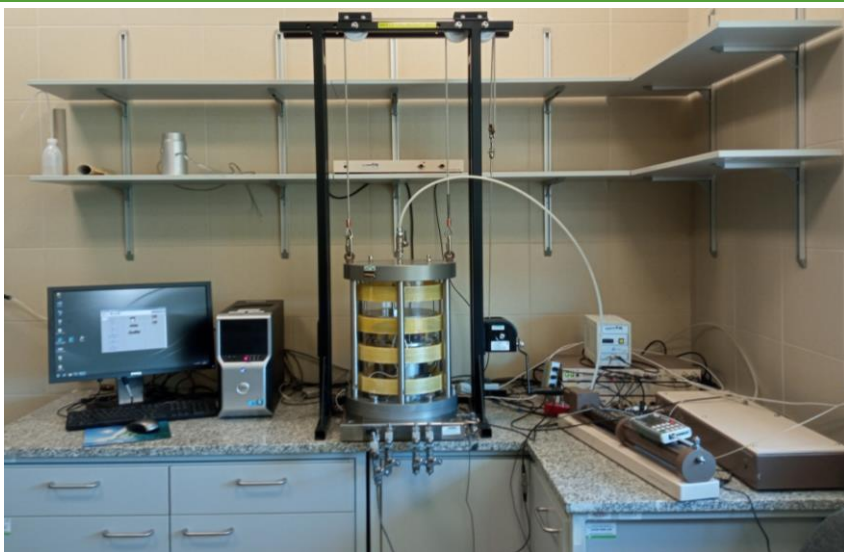


SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

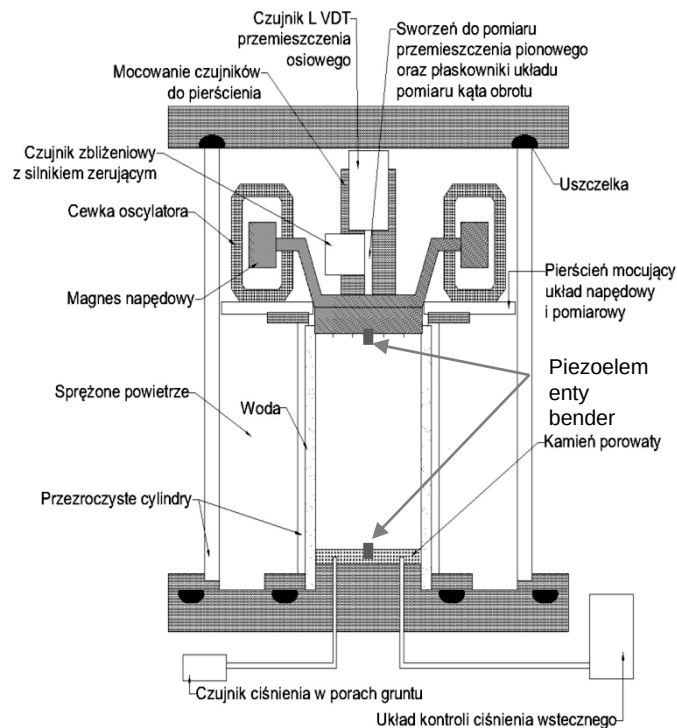
Δq /No. of Cycle	10	100	1000
25.85	790	812	744
129.39	808	823	758
178.54	618	652	621

Resilient modulus M_r (kPa) of RCA for selected cycles [Sas, [Głuchowski](#) et al. 2016].





Zmodyfikowana kolumna rezonansowa firmy GDS Instruments Ltd. Widok na stanowisko badawcze w Centrum Wodnym SGGW w Warszawie



Schemat zmodyfikowanej kolumny rezonansowej

WPŁYW FRAKCJI DROBNEJ < 0.063 mm NA WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE KRUSZYWA BETONOWEGO Z RECYKLINGU. [Gabryś K](#), Sas W. 67 Krynicka Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB. Kraków, 11-15.09. 2022 r.

Dynamiczną odpowiedź gruntu poddanego obciążeniu dynamicznemu (wstrząsy sejsmiczne i parasejsmiczne, prace z użyciem materiałów wybuchowych, pogrążanie pali prefabrykowanych, itp.) określają *dynamiczne właściwości gruntu*.

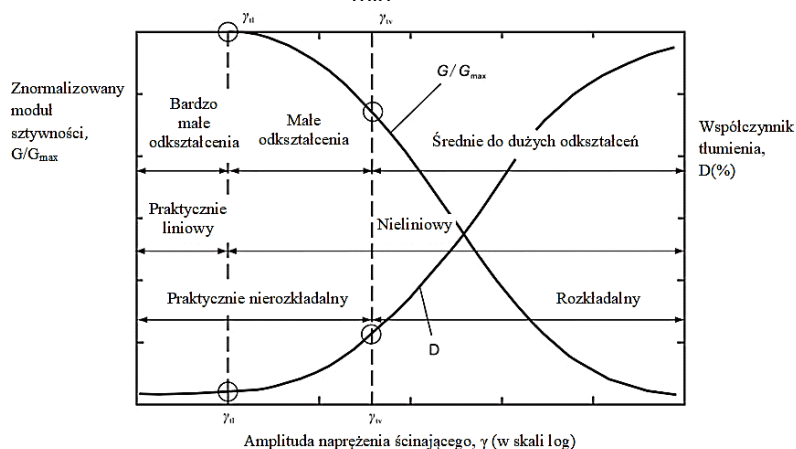
- Moduł ścinania (moduł odkształcenia postaciowego), G
- Początkowy moduł ścinania, G_0
- Redukcja modułu ścinania wraz z poziomem odkształcenia, $G/G_{max}=f(\gamma)$
- Współczynnik tłumienia, D
- Minimalny współczynnik tłumienia, D_{min}
- Zmiana tłumienia materiału w zależności od poziomu odkształcenia, $D/D_{min}=f(\gamma)$

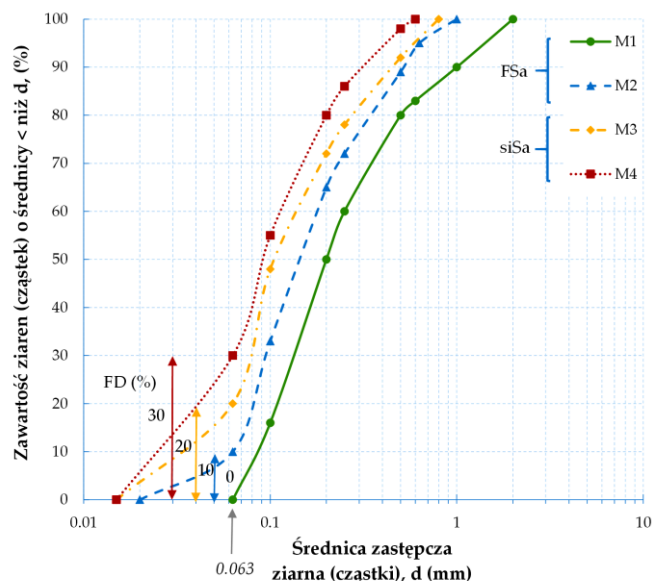
$$G = \frac{d\tau}{d\gamma}$$

$$G_0 = G_{max} = G_{dyn} = \rho \cdot V_S^2$$

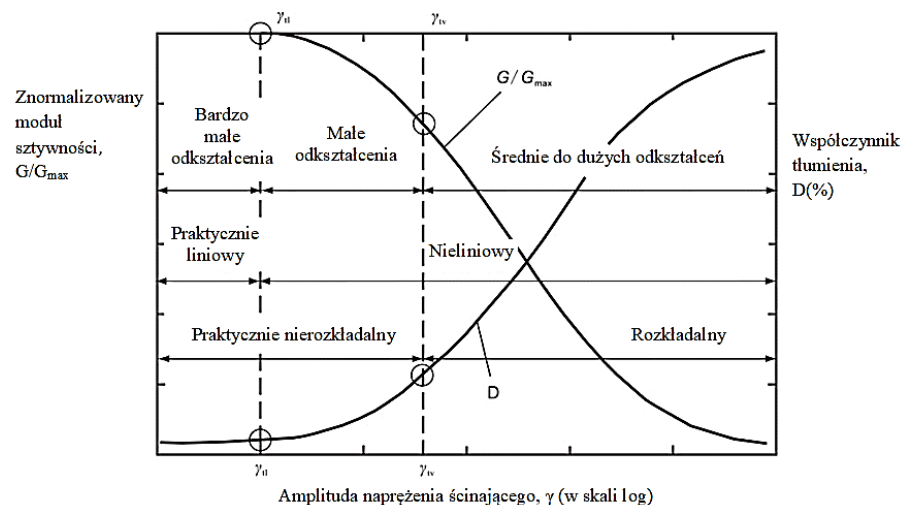
$$D = \sqrt{\frac{\delta}{4\pi^2 + \delta^2}}$$

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln\left(\frac{\theta_1}{\theta_{n+1}}\right)$$





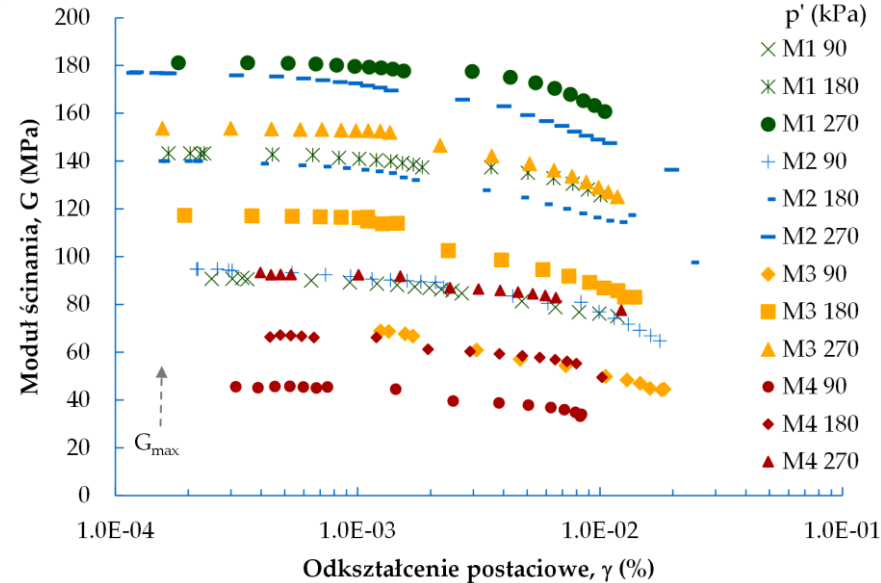
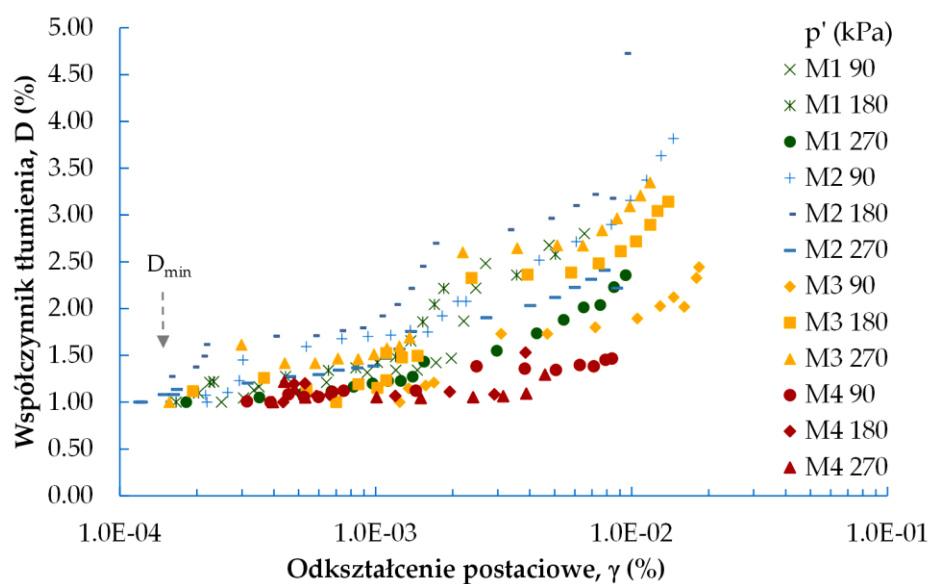
Kategoria zawartości pyłów



Nr	Kod mieszanki	Kompozycja	Zawartość frakcji drobnej FD (%)	ρ_s (g/cm ³)	d_{50} (mm)	C_u^a	C_c^b	$e_{min} (-)$	$e_{max} (-)$
1	M1	RCA_0FD	0	2.61	0.20	2.91	0.91	0.863	1.091
2	M2	RCA_10FD	10	2.61	0.16	2.86	1.27	0.719	1.077
3	M3	RCA_20FD	20	2.61	0.14	5.15	1.29	0.784	0.955
4	M4	RCA_30FD	30	2.61	0.12	5.60	1.17	0.699	0.882

^a $C_u = d_{60}/d_{10}$

^b $C_c = d_{30}^2 / (d_{60} \times d_{10})$





Dziękuję za uwagę

Właściwości destruktu betonowego

Zastosowanie kruszywa betonowego



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

PODBUDOWA Z KRUSZYWA BETONOWEGO Z POKRYCIEM EMULSJĄ ASFALTOWĄ – STARE BABICE



Przygotowanie kruszywa do badań



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

