



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Technologia Materiałów Drogowych

prowadzący: dr inż. Marcin Bilski

**Zakład Budownictwa Drogowego
Instytut Inżynierii Lądowej
pok. 324B (bud. A2)
*marcin.bilski@put.poznan.pl
marcin.bilski.pracownik.put.poznan.pl***





WYKŁAD 3

Tematyka wykładu:

- kruszywa i wypełniacze do mieszanek mineralno-asfaltowych (normy, WT-1),
- mieszanki niezwiązane (WT-4),
- mieszanki związane spoiwami hydraulicznymi (WT-5),
- technologia budowy dolnych warstw nawierzchni drogowych.



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

KRUSZYWA I WYPEŁNIACZE DO MIESZANEK MINERALNO- ASFALTOWYCH



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

OKREŚLENIA WG:

- PN-EN 13043:2004
- WT-1





Kruszywo – ziarnisty materiał stosowany w budownictwie, który może być: naturalny, sztuczny lub z recyklingu

Kruszywo naturalne – kruszywo ze źróz naturalnych pochodzenia mineralnego, które może być poddane wyłącznie obróbce mechanicznej



Rys. 1. Przykładowe kruszywo do zastosowania w mieszance mineralno-asfaltowej (kruszywo łamane – kliniec)

Źródło: <http://www.wamax.pl/uploads/images/cc131c07ec84e512b4d0c8feb4f6e4b0.jpg>



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Kruszywo sztuczne – kruszywo pochodzenia mineralnego, uzyskiwane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego obróbkę termiczną lub inną modyfikację





Kruszywo z recyklingu – kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie

Wymiar kruszywa – wielkość ziaren kruszywa, określona przez dolny (d) i górny (D) wymiar sita



Kruszywo grube – kruszywo o wymiarach ziaren:
 $D \leq 45 \text{ mm}$ oraz $d \geq 2 \text{ mm}$

Kruszywo drobne – kruszywo o wymiarach ziaren
 $D \leq 2 \text{ mm}$, którego większa część pozostaje na sicie
 $0,063 \text{ mm}$

Pyły – kruszywo o wymiarach ziaren $< 0,063 \text{ mm}$

Wypełniacz – kruszywo, którego większa część
(min. 70%) przechodzi przez sito $0,063 \text{ mm}$



Uziarnienie – skład ziarnowy kruszywa, wyrażony w procentach masy ziaren przechodzących przez określony zestaw sit

Kruszywo o ciągłym uziarnieniu – kruszywo, które składa się z kruszywa grubego i drobnego, które może być uzyskiwane bez rozdzielania na kruszywo grube i drobne lub przez połączenie kruszywa grubego i drobnego



Rys. 2. Przykładowy wypełniacz do zastosowania w mieszance mineralno-asfaltowej (wypełniacz wapienny)

Źródło: <https://pl.all.biz/img/pl/catalog/137666.jpeg>



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

**WYBRANE WYMAGANIA I KATEGORIE
DLA KRUSZYW WG PN-EN 13043:2004**



Wymiary otworów sit do określania wymiarów ziarn kruszywa

Zestaw podstawowy mm	Zestaw podstawowy plus zestaw 1 mm	Zestaw podstawowy plus zestaw 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
—	5,6 (5)	—
8	—	6,3 (6)
—	8	8
—	—	10
—	11,2 (11)	—
—	—	12,5 (12)
16	—	14
—	16	16
—	—	20
31,5 (32)	22,4 (22)	—
—	31,5 (32)	31,5 (32)
—	—	40
—	45	—
63	63	63

UWAGA Wymiarów zaokrąglonych w nawiasach można używać przy uproszczonym opisie wymiarów kruszywa.

Podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia

Kruszywo	Wymiar mm	Procent przechodzącej masy					Kategoria G
		$2D$	$1,4D^a$	D^b	d	$d/2^a$	
Grube	$D > 2$	100	100	od 90 do 99	od 0 do 10	od 0 do 2	$G_C90/10$
		100	od 98 do 100	od 90 do 99	od 0 do 15	od 0 do 5	$G_C90/15$
		100	od 98 do 100	od 90 do 99	od 0 do 20	od 0 do 5	$G_C90/20$
		100	od 98 do 100	od 85 do 99 ^c	od 0 do 15	od 0 do 2	$G_C85/15$
		100	od 98 do 100	od 85 do 99 ^c	od 0 do 20	od 0 do 5	$G_C85/20$
		100	od 98 do 100	od 85 do 99 ^c	od 0 do 35	od 0 do 5	$G_C85/35$
Drobne	$D \leq 2$	100	–	od 85 do 99	–	–	G_F85
O ciągłym uziarnieniu	$D \leq 45$ mm i $d = 0$	100	od 98 do 100	od 90 do 99	–	–	G_A90
		100	od 98 do 100	od 85 do 99	–	–	G_A85

^a Gdy sита obliczone z $1,4D$ i $d/2$ nie są dokładnymi wymiarami sit wg ISO 565:1990, seria R20, należy przyjąć następny najbliższy wymiar sita.

^b Jeśli pozostałość na sicie D jest mniejsza niż 1 % masy, producent powinien udokumentować i deklorować uziarnienie typowe, w tym z wykorzystaniem sit D , d , $d/2$ oraz sit z zestawu podstawowego plus zestaw 1 lub zestawu podstawowego plus zestaw 2 dla wartości pośrednich pomiędzy d i D .

^c Dla poszczególnych wymiarów kruszyw grubych d/D , gdzie $D/d < 2$, o kategorii $G_C85/15$, $G_C85/20$ i $G_C85/35$, wartość masy przechodzącej przez D – zgodnie z danym zastosowaniem – może być zmniejszona o 5 %.



Kategorie maksymalnych wartości współczynnika Los Angeles

Współczynnik Los Angeles	Kategoria <i>LA</i>
≤ 15	<i>LA</i> ₁₅
≤ 20	<i>LA</i> ₂₀
≤ 25	<i>LA</i> ₂₅
≤ 30	<i>LA</i> ₃₀
≤ 40	<i>LA</i> ₄₀
≤ 50	<i>LA</i> ₅₀
> 50	<i>LA</i> _{Deklarowana}
Brak wymagania	<i>LA</i> _{NR}



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

PN-87 B-01100
KRYSZYWA MINERALNE – KRUSZYWA SKLANE –
PODZIAŁ, NAZWY I OKREŚLENIA
(norma nieaktualna)

OKREŚLENIA wg normy PN-87 B-01100

Rodzaj kruszywa	Wymiar ziaren wg oczek kwadratowych sit kontrolnych		Asortyment													
			Grupy													
			Kruszywa naturalne				Kruszywa łamane									
			Podgrupy													
	od	do	Naturalne niekruszone			Naturalne kruszone		Zwykłe		Granulowane						
Drobne	0,0	2,0	piasek zwykły	pospółka	mieszanka kruszywa naturalnego	piasek kruszony	mieszanka z otoczków	miął	niesort	piasek łamany	mieszanka kruszywa łamanego sortowana					
	2,0	4,0				grys z otoczków										
Grube	4,0	8,0	żwir							grys z otoczków		mieszanka z otoczków	kliniec	niesort	grys	mieszanka kruszywa łamanego sortowana
	8,0	16,0														
	16,0	31,5														
	31,5	63,0						tłuczeń								
Bardzo grube	63,0	250,0	otoczaki					kamień naturalny								



Kruszywo naturalne – materiał uzyskany ze skał luźnych

Kruszywo naturalne uszlachetnione – kruszywo uzyskane w wyniku przeróbki mechanicznej

Kruszywo naturalne kruszone – kruszywo otrzymane w wyniku kruszenia surowca skalnego luźnego, charakteryzuje się zawartością ziarn ostrokrawędzistych o powierzchniach szorstkich



Kruszywo łamane – materiał ziarnisty uzyskany przez mechaniczne rozdrobnienie skał litych

Kruszywo łamane zwykłe – kruszywo uzyskane w wyniku co najmniej jednokrotnego przekruszenia skał litych, charakteryzujące się ziarnami ostrokrawędzistymi o nieforemnych kształtach

Kruszywo łamane granulowane – kruszywo zwykłe poddane dodatkowemu uszlachetnieniu, charakteryzujące się przewagą ziarn o kształcie foremnym ze stępionymi krawędziami i narożami



Rys. 3. Pospółka

Źródło: https://img01-olxpl.akamaized.net/img-olxpl/370459675_3_644x461_pospolka-drogowa-kruszywo-na-zageszczenie-kruszywo-0-63-materialy-budowlane.jpg



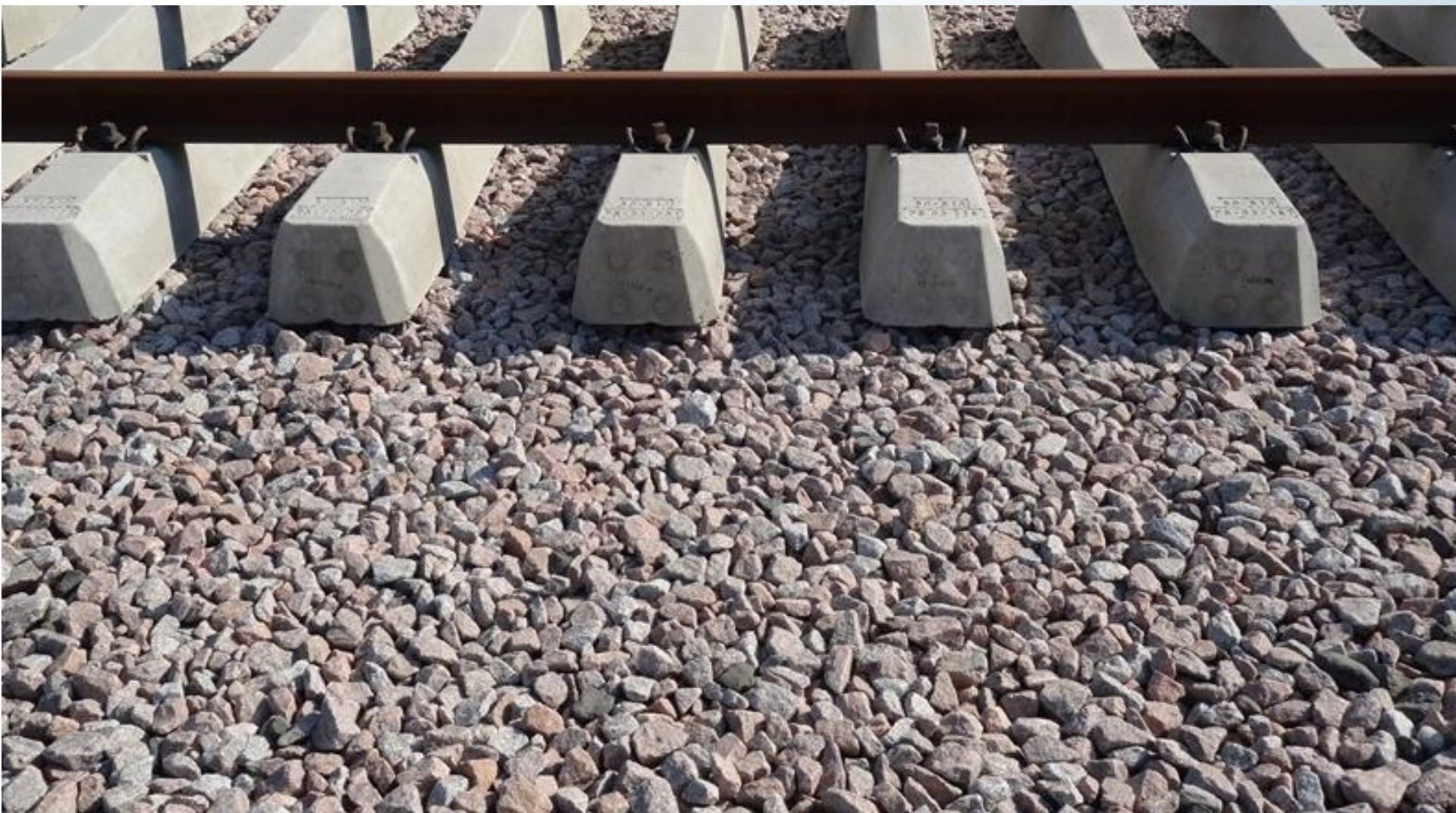
Rys. 4. Grys granitowy 8/16

Źródło: <https://herkam.pl/images/stories/virtuemart/product/grys-granitowy-8-16mm-04.jpg>



Rys. 5. Kliniec granitowy 8/31,5

Źródło: <https://6.allegroimg.com/s512/0196d7/187648aa456487e6ab1e57e0e9f6>



Rys. 6. Tłuczeń

Źródło: <http://yeoman-poland.com.pl/repository/images/pkm.JPG>



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

KRUSZYWA I WYPEŁNIACZE DO MIESZANEK MINERALNO- ASFALTOWYCH (WT-1)

5.2 KRSZYWA DO WARSTWY WIĄZĄCEJ, WYRÓWNAWCZEJ I WZMACNIAJĄCEJ Z BETONU ASFALTOWEGO

W tabelach 8÷11 podano wymagane właściwości kruszywa naturalnego lub sztucznego stosowanego do warstwy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej z betonu asfaltowego.

Tabela 8. Wymagane właściwości kruszywa grubego do warstwy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej z betonu asfaltowego

Właściwości kruszywa	Wymagania w zależności od kategorii ruchu		
	KR1÷KR2	KR3÷KR4	KR5÷KR7
Uziarnienie według PN-EN 933-1; kategoria nie niższa niż:	$G_{C85/20}$	$G_{C85/20}$	$G_{C90/20}$
Tolerancja uziarnienia; wymagane kategorie:	$G_{25/15}$, $G_{20/15}$, $G_{20/17,5}$	$G_{25/15}$, $G_{20/15}$, $G_{20/17,5}$	$G_{25/15}$, $G_{20/15}$, $G_{20/17,5}$
Zawartość pyłów według PN-EN 933-1; kategoria nie wyższa niż:	f_2		
Kształt kruszywa według PN-EN 933-3 lub według PN-EN 933-4; kategoria nie wyższa niż:	FI_{35} lub SI_{35}	FI_{25} lub SI_{25}	FI_{25} lub SI_{25}
Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej w kruszywie grubym według PN-EN 933-5; kategoria nie niższa niż:	$C_{Deklarowana}$	$C_{50/10}$	$C_{50/10}$
Odporność kruszywa na rozdrabnianie według normy PN-EN 1097-2, rozdział 5, badana na kruszywie o wymiarze 10/14; kategoria nie wyższa niż:	LA_{40}	LA_{30}	LA_{30}
Gęstość ziaren według PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9:	deklarowana przez producenta		
Nasiąkliwość według PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9:	deklarowana przez producenta		
Mrozoodporność według PN-EN 1367-1 badana na kruszywie o wymiarze 8/11, 11/16 lub 8/16; kategoria nie wyższa niż:	F_2		
„Zgorzel słoneczna” bazaltu według PN-EN 1367-3, wymagana kategoria:	SB_{LA}		
Skład chemiczny - uproszczony opis petrograficzny według PN-EN 932-3:	deklarowany przez producenta		
Grube zanieczyszczenia lekkie według PN-EN 1744-1 p. 14.2, kategoria nie wyższa niż:	$m_{LPC} 0,1$		
Rozpad krzemianu dwuwapniowego w kruszywie z żużla wielkopieczowego chłodzonego powietrzem według PN-EN 1744-1, p. 19.1:	wymagana odporność		
Rozpad związków żelaza w kruszywie z żużla wielkopieczowego chłodzonego powietrzem według PN-EN 1744-1, p. 19.2:	wymagana odporność		
Stalność objętości kruszywa z żużla stalowniczego według PN-EN 1744-1, p.19.3; kategoria nie wyższa niż:	$V_{3,5}$		

Tabela 1. Wymiary otworów sit do określania wymiaru kruszywa

Zestaw podstawowy sit plus zestaw 1, #, [mm]										
0	1	2	4	5,6 (5)	8	11,2 (11)	16	22,4 (22)	31,5	45
Do uproszczonego opisu wymiaru kruszywa mogą być używane wymiary otworów sit podane w nawiasach										

Wymiar kruszywa mniejszy niż 1 mm należy określać za pomocą sit #: 0,063 mm; 0,125 mm.

W tabeli 2 przedstawiono zestawy sit pośrednich do oznaczania uziarnienia kruszywa.

Tabela 2. Wymiary sit do oznaczania uziarnienia kruszywa

Sito #, [mm]	Sito #, [mm]			
<i>D</i> lub <i>d</i>	$2 D$	$1,4 D$	$D/1,4$	$D/2$ lub $d/2$
45	90	63	31,5	22,4
31,5	63	45	22,4	16
22,4	45	31,5	16	11,2
16	31,5	22,4	11,2	8
11,2	22,4	16	8	5,6
8	16	11,2	5,6	4
5,6	11,2	8	4	2
4	8	5,6	2	2
2	4	2	1	1
1	2	1,4	-	0,5



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

MIESZANKI NIEZWIĄZANE (WT-4)





POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Mieszanka niezwiązana – ziarnisty materiał, zazwyczaj o określonym składzie ziarnowym, który jest stosowany do wykonania ulepszonego podłoża gruntowego oraz warstw konstrukcji nawierzchni dróg



Stabilizacja mechaniczna gruntu - to zespół czynności prowadzących do uzyskania odpowiedniego zagęszczenia podłoża gruntowego zapewniającego trwałą wzrost jego wytrzymałości mechanicznej. Metoda polega na zaprojektowaniu składu granulometrycznego mieszanki (doziarnienia), a następnie in-situ jej odpowiedniego wyprofilowania i zagęszczenia przy wilgotności optymalnej

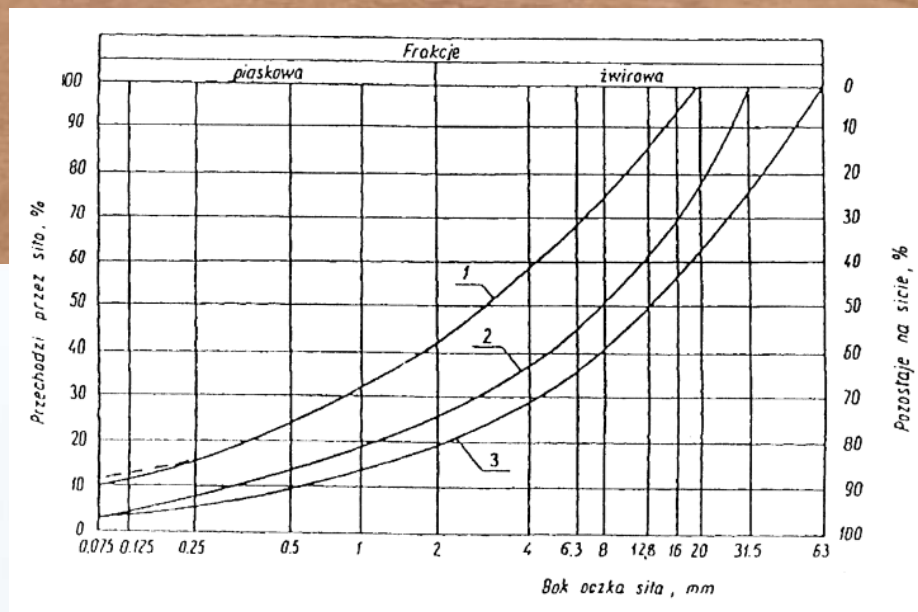
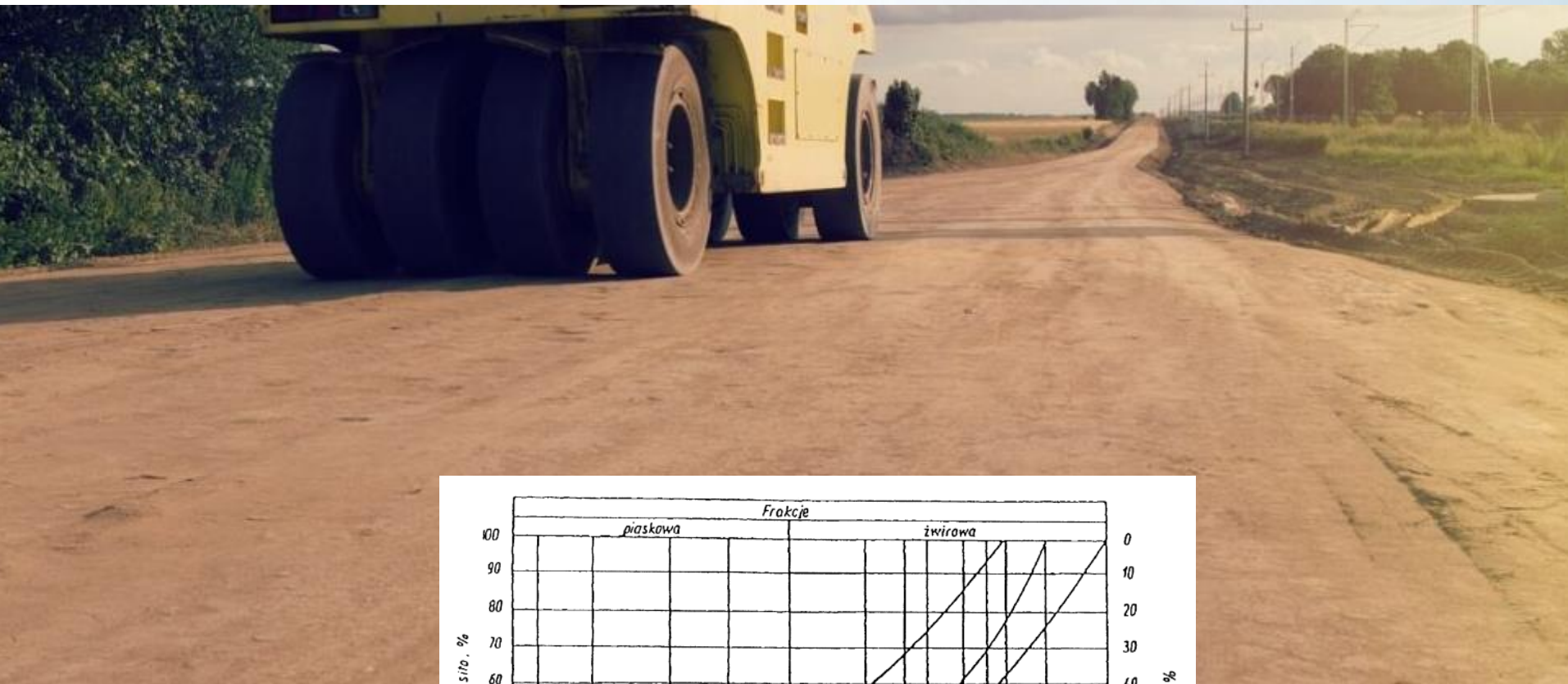


POLITECHNIKA POZNAŃSKA



Rys. 7. Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej

Źródło: http://s17-pulawy.pl/foto/zdjecia/listopad2016/P_11.jpg



Źródło: <https://www.nascon.pl/stabilizacja/stabilizacja-mechaniczna/>



Następujące mieszanki kruszyw mogą być stosowane:

- do warstw podłoża ulepszonego:
0/8; 0/11,2; 0/16; 0/22,4; 0/31,5; 0/45; 0/63,
- do warstw podbudowy:
0/31,5; 0/45; 0/63,
- do warstw podbudowy zasadniczej:
0/31,5; 0/45; 0/63,



- do wykonywania nawierzchni z kruszywa niezwiązanego:
 $0/8$; $0/11,2$; $0/16$; $0/22,4$; $0/31,5$; $0/45^*)$; $0/63^*)$.

***) Mieszanki $0/45$ i $0/63$ dopuszcza się tylko wyjątkowo, w przypadkach przewidywanego wykonania powierzchniowego utrwalenia na nawierzchni z tych mieszanek, w ciągu najbliższego sezonu budowlanego.**



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

MIESZANKI ZWIĄZANE SPOIWAMI HYDRAULICZNYMI (WT-5)





Mieszanka związana spoiwem hydraulicznym – mieszanka, w której następuje wiązanie twardnienie na skutek reakcji hydraulicznych. Może być wykonywana na miejscu (in-situ) lub w węźle stacjonarnym

Materiał hydrauliczny – materiał, który wiąże i twardnieje w obecności wody, tworząc stabilne i trwałe struktury



Materiał pucolanowy – materiał (np. popiół wulkaniczny, popiół z kotłowni), który zmieszany z wapnem [$\text{Ca}(\text{OH})_2$ lub CaO] w obecności wody wiąże i twardnieje, tworząc stabilne i trwałe struktury

Spoiwo drogowe – spoiwa hydrauliczne do podbudów są gotowymi wyrobami wytwarzanymi w zakładzie produkcyjnym i dostarczane w stanie gotowym do użycia



Wapno – wapno jest spoiwem powietrznym tzn., że wiąże i zachowuje swoje właściwości tylko w środowisku powietrznym; uzyskujemy je, gdy wapienie użyte do produkcji wapna zawierają do 8% frakcji iłowej; w przypadku, gdy zawartość frakcji iłowej przekracza 8% zaliczamy takie wapno, jako spoiwo hydrauliczne



Popiół lotny – drobny proszek powstały w wyniku spalania w elektrowniach energetycznych pyłu węglowego lub lignitu, uzyskany w trakcie mechanicznego lub elektrostatycznego procesu wytrącania



R_C – wytrzymałość na ściskanie, w megapaskalach (MPa).

R_C^{Z-O} – charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie próbek po wymaganym okresie pielęgnacji (w zależności od rodzaju mieszanki) i 14 cyklach zamrażania i odmrażania, w megapaskalach (MPa).



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



Źródło: <https://www.nascon.pl/stabilizacja/stabilizacja-chemiczna-gruntu/>



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

MIESZANKI ZWIĄZANE CEMENTEM

WT-5 Część 1





Ilość oraz rodzaj stosowanego cementu jest zależny od roli warstwy (umiejscawiania w konstrukcji), w którą ma być wbudowany grunt. Orientacyjne ilości dozowanego cementu to zwykle 2-10% w stosunku do masy suchego gruntu.



Mieszanka cementowo-gruntowa powinna przede wszystkim spełniać wymagania dotyczące wytrzymałości na ściskanie. Dodatkowym kryterium może być wskaźnik mrozoodporności próbek. Skład ilościowy mieszanki projektuje się każdorazowo dla konkretnego materiału gruntowego laboratoryjnie. Zaleca się zagęszczanie materiału in-situ w wilgotności optymalnej.

Tablica 1.2. Klasy wytrzymałości wg normy PN-EN 14227-1.

Kolumna	1	2	3
Wiersz	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach, MPa		Klasa wytrzymałości
	Wytrzymałość charakterystyczna R_c		
	Próbki walcowe $H/D^a=2,0$	Próbki walcowe $H/D^a=1,0^b$	
1	brak wymagań		C_0
2	1,5	2,0	$C_{1,5/2,0}$
3	3,0	4,0	$C_{3/4}$
4	5,0	6,0	$C_{5/6}$
5	8,0	10,0	$C_{8/10}$
6	12	15	$C_{12/15}$
7	16	20	$C_{16/20}$
8	20	25	$C_{20/25}$

^a H/D = stosunek wysokości do średnicy próbki
^b H/D = 0,8 do 1,21

Dopuszcza się podawanie wytrzymałości na ściskanie R_c z dodatkowym indeksem informującym o czasie pielęgnacji, np. R_{c7} , R_{c14} , R_{c28}



Tablica 1.3. Minimalna zawartość spoiwa w mieszance wg PN-EN 14227-1

Maksymalny nominalny wymiar kruszywa, mm	Minimalna zawartość spoiwa, % m/m
> 8,0 do 31,5	3
2,0 do 8,0	4
<2,0	5



Rys. 8. Podbudowa z gruntu stabilizowanego cementem

Źródło: http://www.rozbudowadw761.pl/wp-content/uploads/2017/06/DSC_0227.jpg



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

MIESZANKI ZWIĄZANE ŻUŻLEM

WT-5 Część 2





POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Najczęściej żużel jest stosowany jako dodatek do mieszanek stabilizowanych innymi spoiwami hydraulicznymi.





POLITECHNIKA POZNAŃSKA

MIESZANKI Z POPIOŁEM LOTNYM

WT-5 Część 3





Popioły lotne stosuje się przy stabilizacji cementem gruntów sypkich oraz spoistych, ale także samodzielnie jako spoiwo do stabilizacji gruntów spoistych i mało spoistych. Dla stabilizacji tylko popiołami lotnymi, orientacyjne dozowanie ilościowe to 5-10% w stosunku do suchej masy gruntu.



Rys. 9. Podbudowa z kruszywa stabilizowanego popiołem lotnym

Źródło: http://www.trans-kop.com.pl/Upload/0podbudowa_stabilizacja_TRANS-KOP_P%C5%82ock.jpg



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

MIESZANKI ZWIĄZANE SPOIWEM DROGOWYM

WT-5 Część 4





Spoiwo drogowe stanowi mieszaninę spoiw hydraulicznych z ewentualnymi dodatkami.

Celem zastosowania spoiwa drogowego jest możliwość osiągnięcia wymaganych parametrów stabilizowanego gruntu przy jednoczesnej redukcji kosztów w stosunku do stabilizacji cementem, czy wapnem.



Rys. 10. Podłoże ulepszone za pomocą spoiwa drogowego

Źródło: https://www.gorazdze.pl/sites/default/files/styles/header_slider/public/assets/images/20170224_114814.jpg?itok=s9NE25Up



Stabilizacja gruntu wapnem - stosowana jest w celu osuszania gruntów, a także do stabilizacji gruntów spoistych, kwaśnych czy humusowych. Wapno sucho gaszone (hydratyzowane) stosuje się przy stabilizacji gruntów średnio spoistych, lub jako dodatek ulepszający przy wykonywaniu stabilizacji cementem gruntów bardzo spoistych. Wapno palone niegaszone natomiast stosuje się w przypadku stabilizacji gruntów bardzo spoistych oraz takich, których wilgotność jest znacznie większa od optymalnej.



Silnie reaguje ono z wodą, czemu towarzyszy wydzielanie dużej ilości ciepła, która powoduje osuszenie gruntu. W przypadku gruntów spoistych obniżenie poziomu wilgotności wpływa na zmniejszenie wartości wskaźnika plastyczności gruntu. Orientacyjne wartości ilości dozowanego wapna to mniej więcej 3-8% w stosunku do masy suchego gruntu. Przy osuszaniu przyjmuje się, że każdy 1% wapna dodany do gruntu zmniejsza jego wilgotność o 1-5%.



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

INNE METODY - pianobeton





POLITECHNIKA POZNAŃSKA

INNE METODY - keramzyt





POLITECHNIKA POZNAŃSKA

TECHNOLOGIA BUDOWY DOLNYCH WARSTW NAWIERZCHNI DROGOWYCH



Metody in-situ:

- **stabilizacja mechaniczna**
- **stabilizacja spoiwami hydraulicznymi**
- **pianobeton/keramzyt**

Metody stacjonarne:

- **stabilizacja spoiwami hydraulicznymi**



POLITECHNIKA POZNAŃSKA

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

