

Podbudowy przepuszczalne z betonu cementowego



**INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW**
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

mgr inż. Danuta Bełtacz

IV FORUM BETON W DROGOWNICTWIE

Kraków, 23 października 2024

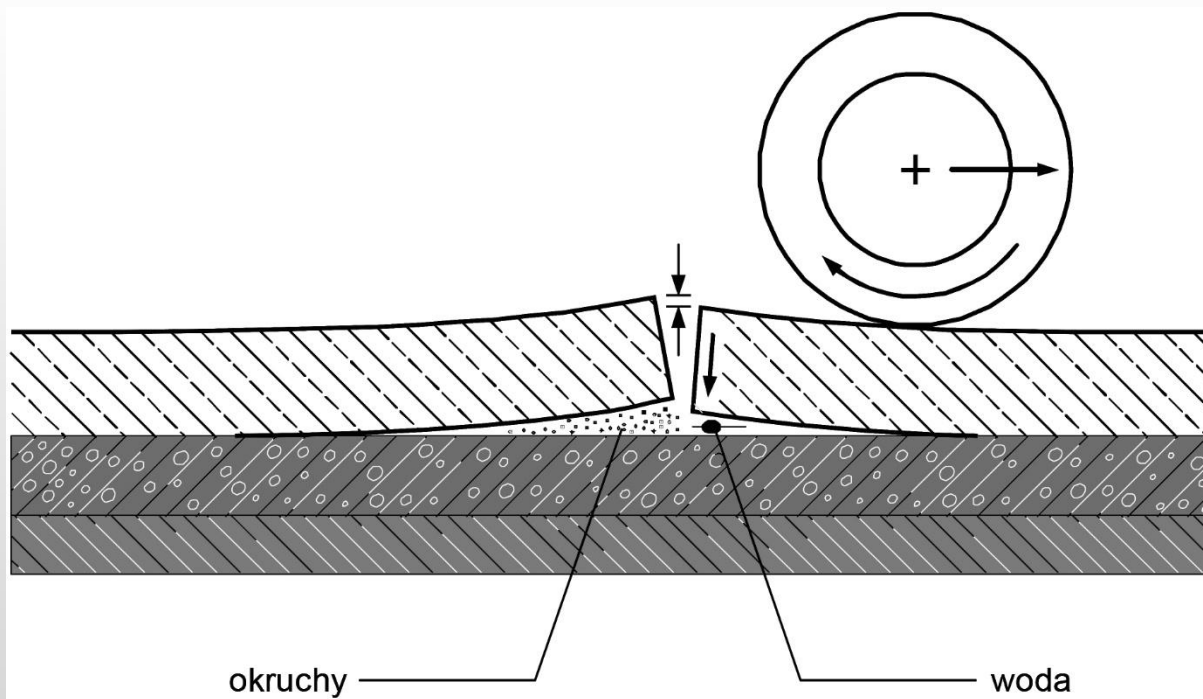
Konstrukcja nawierzchni sztywnej

Konstrukcja nawierzchni (nawierzchnia)	Warstwy górne konstrukcji nawierzchni	Warstwa nawierzchniowa (płyta niedyblowana, dyblowana i kotwiona, zbrojona)
		Warstwa poślizgowa
	Warstwy dolne konstrukcji	Podbudowa zasadnicza
		Podbudowa pomocnicza Warstwa mrozoochronna
Podłoże gruntowe nawierzchni	Warstwa ulepszonego podłoża o grupie nośności G1	
	Grunt rodzimy w wykopie lub grunt nasypowy w nasypie, zakwalifikowany do jednej z grup nośności podłoża od G1 do G4.	

Zadania podbudowy w konstrukcji nawierzchni sztywnej

- przejmuje i przenosi obciążenia od pojazdów na podłoże gruntowe, na którym spoczywa cała konstrukcja nawierzchni,
- tworzy jednorodne i jednolite podparcie płyt betonowych na całej powierzchni ich kontaktu,
- zwiększa nośność układu konstrukcyjnego nawierzchni traktowanego jako integralną całość,
- zabezpiecza nawierzchnię przed skutkami wysadzin i przełomów,
- tworzy warstwę odporną na działanie wody przenikającej przez szczeliny dylatacyjne, zapobiegając jednocześnie zjawiskom erozji i pompowania wody.

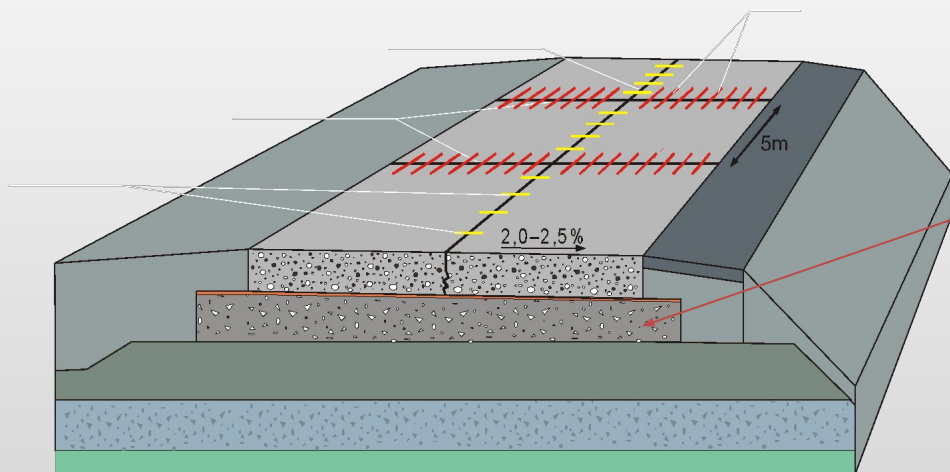
Mechanizm powstawania erozji podbudowy



(Źródło: A.Szydło „Nawierzchnie betonowe - Charakterystyka, rodzaje”, Seminarium, Poznań 2005 r.)

Sposoby na wyeliminowanie erozji

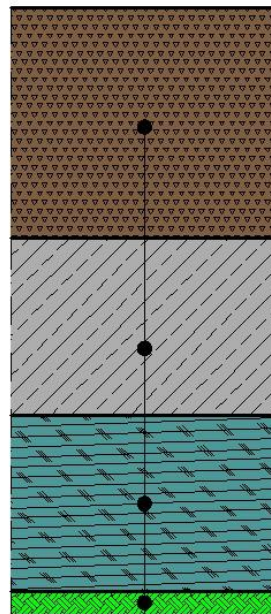
- podbudowa z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym o wytrzymałości powyżej 15 MPa lub z betonu asfaltowego o zawartości asfaltu powyżej 6 %
- geowłóknina między podbudową a nawierzchnią
- drenująca podbudowa z wodoprzepuszczalnego betonu cementowego (funkcja nośna i odwadniająca)



(Adaptacja: A.Szydło „Nawierzchnie betonowe - Charakterystyka, rodzaje”, Seminarium, Poznań 2005 r.)

Doświadczenia niemieckie

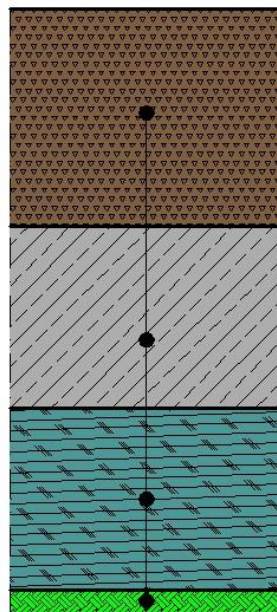
Podbudowa pod nawierzchnią
 betonową na Autostradzie A30 w
 Salzbergen (dwa pasy jezdni i pas
 postojowy)



26,0 cm	warstwa nawierzchniowa z betonu cementowego
20,0 cm	warstwa podbudowy zasadniczej z betonu jamistego
20,0 cm	warstwa gruntu stabilizowanego cementem
	grunt rodzimy

Doświadczenia niemieckie

Podbudowa pod nawierzchnią
 betonową na pasach postojowych
 autostrady A7 pomiędzy Hanowerem
 a Hildesheim



24,0 cm	warstwa nawierzchniowa z betonu cementowego
20,0 cm	warstwa podbudowy zasadniczej z betonu jamistego
20,0 cm	warstwa gruntu stabilizowanego cementem
	grunt rodzimy

Doświadczenia niemieckie

Składnik	Udział w % masy	Udział w kg/m ³
Cement	8÷12 % kruszywa	150 ÷ 220
Woda	3÷6 % cementu + kruszywa	60 ÷ 90
Piasek 0/1 lub 0/2 mm	10 % kruszywa	150 ÷ 180
Kruszywo łamane 8/22 mm lub 8/32 mm	90 % kruszywa	1500 ÷ 1600

(Źródło: Merkblatt für Dränbetontragschichten (DBT), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1996)

Uzyskiwane parametry betonu:

- przy porowatości pomiędzy 15 a 20 %, wytrzymałość na ściskanie ok. 12 MPa,
- przy porowatości ok. 15 %, współczynnik wodoprzepuszczalności ok. 10⁻³ m/s (beton bardzo przepuszczalny).

Doświadczenia niemieckie

Zastosowanie	Podbudowa na A30	Podbudowa na A7	Podbudowa pod kostką kamienną w Neubeuern
Składnik			
Cement	200 kg	195 kg	205 kg
Woda	90 kg	100 kg	82 kg
Piasek	naturalny 0/2 mm – 180 kg	naturalny 0/2 mm – 140 kg	naturalny 0/4 mm – 92 kg łamany 0/4 mm – 91 kg
Kruszywo grube	Kruszywo łamane 8/16 mm – 810 kg Kruszywo łamane 16/22 mm – 810 kg	Kruszywo z recyklingu 8/32 mm – 1460 kg	Kruszywo otoczkowe 4/8 mm – 186 kg Kruszywo otoczkowe 8/16 mm – 1480 kg

Doświadczenia francuskie

- W ramach prac naprawczych na lotnisku Charles de Gaulles w Paryżu pod nawierzchnią betonową zastosowano podbudowę z beton przepuszczalnego, aby łatwiej odprowadzić wodę powierzchniową wsiąkającą w szczeliny
- Pod nawierzchnią betonową w tunelu du Sinard w ciągu autostrady A51 we Francji, na odcinku o długości 980 m na wysokości 800 m n.p.m.

Doświadczenia francuskie

Składnik	Udział w m ³
Cement	200 kg
Woda	78 kg
Piasek 0/4 mm	550 kg
Żwir 12,5/20 mm	1450 kg
Domieszka uplastyczniająca	0,70 % m.c.

(Źródło: Chevalier C. i in.: Tunnel du Sinard. Une chaussée durable en béton sur l'A51, Routes 2007 nr 862)

Uzyskane parametry betonu:

- Porowatość 12 %

Podbudowy przepuszczalne - wykonanie

- Mieszanka betonu przepuszczalnego może być wytwarzana w wytwórni stacjonarnej (mixed-in-plant) lub na budowie w bezpośrednim procesie mieszania (mixed-in-place).
- Bezpośrednio na budowie dozuje się kolejno: kruszywo grube, piasek, cement.
- Składniki poddawane są procesowi mieszania (frezowanie) przy użyciu gruntofrezarki z jednoczesnym dozowaniem wody.

Podbudowy przepuszczalne - wykonanie

- Należy zwrócić uwagę na problem z efektywnym dostarczeniem wody do ułożonej suchej mieszanki.
- Zagęszczanie wstępne wykonuje się przy pomocy listwy wibracyjnej, a zagęszczenie właściwe walcem gładkim bez wibracji.
- Gotową mieszankę należy chronić przed wysuszeniem oraz przed wodą opadową.

Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

Brak jednoznacznych wymagań dla podbudów przepuszczalnych z betonu cementowego.

Krajowe wymagania dotyczące podbudów określone są w normach:

- PN-S-96013:1997 Drogi samochodowe - Podbudowa z chudego betonu - Wymagania i badania
- PN-S-96014:1997 Drogi samochodowe i lotniskowe - Podbudowa z betonu cementowego pod nawierzchnię ulepszoną - Wymagania i badania
- PN-EN 14227-1:2013-10 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym - Specyfikacje - Część 1: Mieszanki związane cementem

Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

Zgodnie z PN-S-96013:1997 wytrzymałość na ściskanie chudego betonu powinna wynosić:

- po 7 dniach – od 3,5 MPa do 5,5 MPa,
- po 28 dniach – od 6 MPa do 9 MPa.

Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

W normie PN-S-96014:1997 określono następujące wymagane właściwości podbudowy z betonu cementowego:

- wytrzymałość na ściskanie odpowiadająca klasie B15 (obecnie C12/15),
- nasiąkliwość – nie większą niż 7 %,
- odporność na działanie mrozu – stopień mrozoodporności min. F25.

Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

W „Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych” wskazano, że podbudowa zasadnicza konstrukcji nawierzchni kategorii ruchu KR4-KR7 może być wykonana z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym.

Dla kategorii ruchu KR4 wskazano mieszanki związane cementem wg PN-EN 14227-1:2013-10 klasy C5/6 z ograniczeniem wytrzymałości na ściskanie ≤ 10 MPa.

Z kolei dla kategorii ruchu KR5-KR7 wskazano mieszanki klasy C8/10 z ograniczeniem wytrzymałości na ściskanie ≤ 20 MPa.

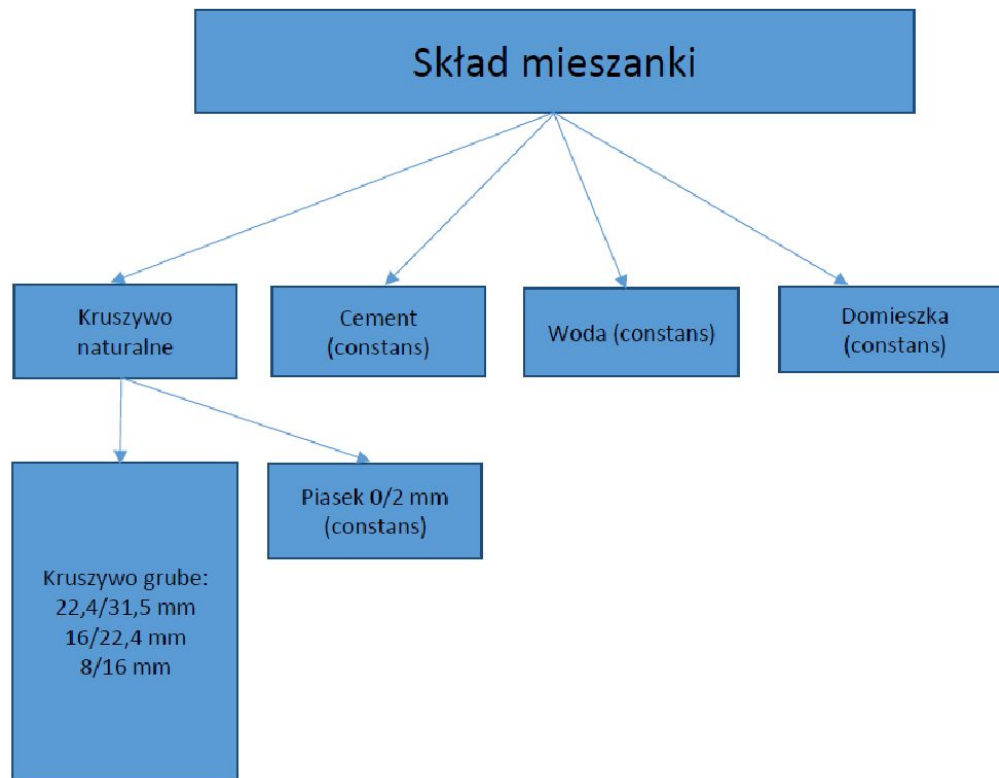
Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

Doświadczenia ze stosowania podbudów przepuszczalnych w Niemczech wskazały, że porowatość mieszanki powinna wynosić co najmniej **15%**, aby współczynnik wodoprzepuszczalności był nie mniejszy od **10^{-3} m/s**, przy wytrzymałości na ściskanie co najmniej **12 MPa**.

Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

Porowatość	≥ 15 %	
Wytrzymałość na ściskanie	≥ 6 MPa	≥ 10 MPa
Odporność na działanie mrozu	≥ F25	
Wytrzymałość na zginanie	≥ 0,6 MPa	≥ 1,0 MPa
Współczynnik filtracji	≥ 10 ⁻³ m/s	

Badania własne



Badania własne

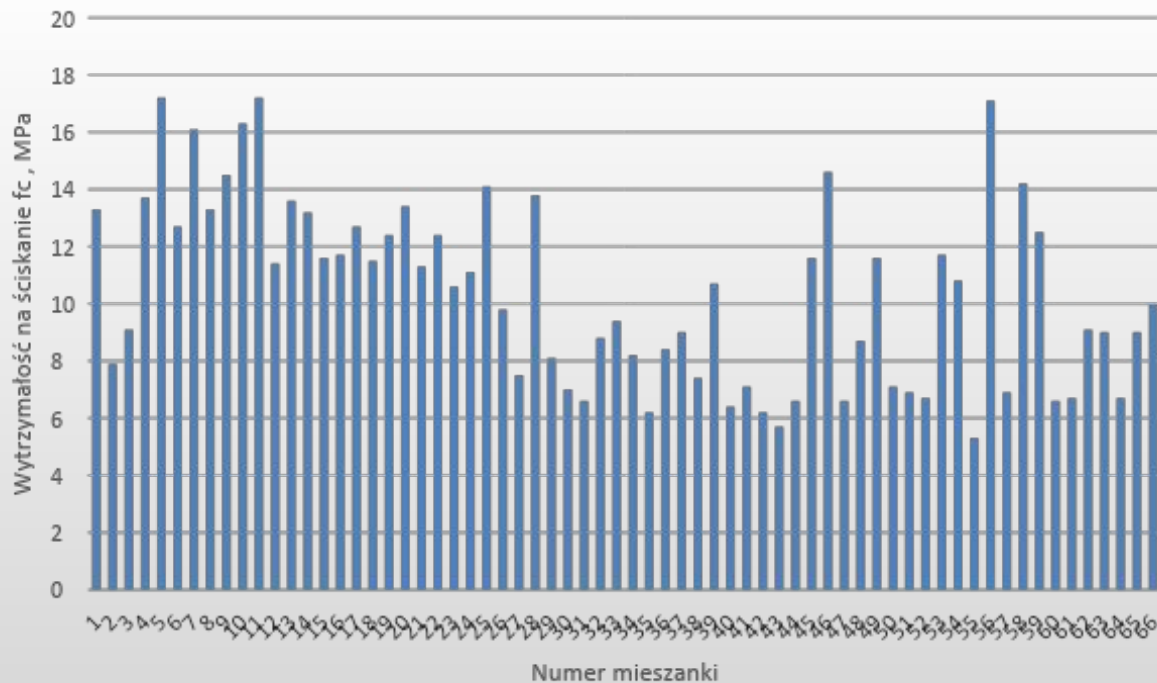
Składnik	Zawartość
cement CEM II/B-V 32,5 R	200 kg/m ³
piasek 0/2 mm	170 kg/m ³
żwir 8/16 mm, 16/22,4 mm, 22,4/31,5 mm ^{*)}	1600 kg/m ³
woda	90 kg/m ³
domieszka napowietrzająca na bazie żywic naturalnych	0,2% masy cementu

^{*)} zmienne proporcje masy frakcji – 66 składów

Badania własne

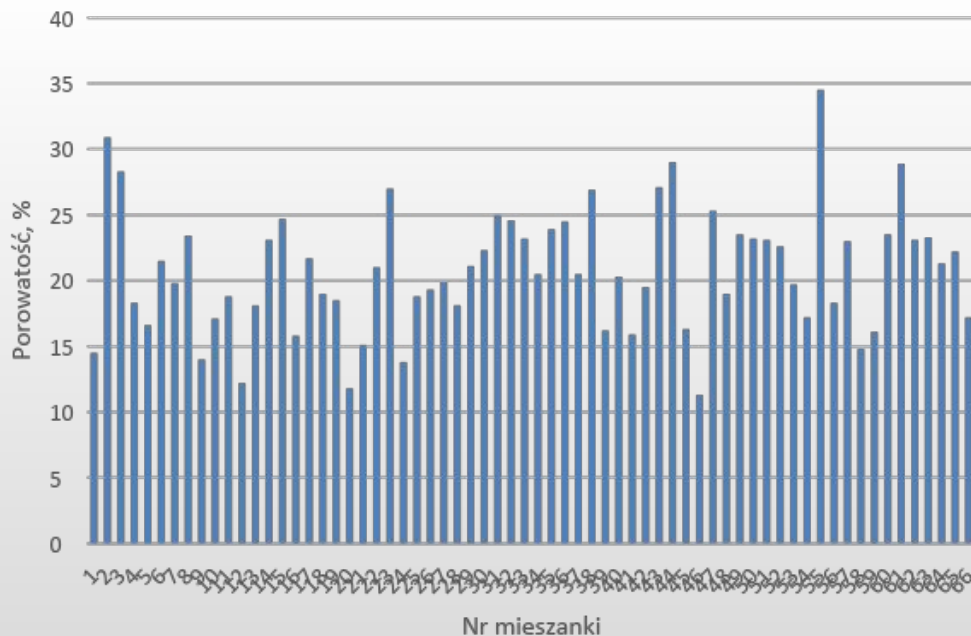
Badanie	Norma	Liczba próbek i ich rozmiar	Wiek betonu
Wytrzymałość na ściskanie	PN-EN 12390-3	66 serii po 6 próbek - próbki sześciennie o wymiarach 150x150x150 mm	28 dni
Porowatość – metoda analizy obrazu	oprogramowanie ImageJ	66 próbek - próbki sześciennie o wymiarach 150x150x150 mm	Powyżej 28 dni
Porowatość na podstawie gęstości	PN-EN 12390-7	66 serii po 6 próbek - próbki sześciennie o wymiarach 150x150x150 mm	28 dni
Odporność na działanie mrozu	PN-B-06265 Zał. 0	66 serii po 12 próbek - próbki sześciennie o wymiarach 100x100x100 mm	28 dni
Współczynnik filtracji	PN-B-04492:1955	10 serii po 3 próbki - próbki walcowe o średnicy 150 mm i wysokości 120 mm	28 dni
Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie	PN-EN 13286-43	10 serii po 13 próbek - próbki walcowe o średnicy 104 mm i wysokości 60 mm	28 dni
Moduł sprężystości	PN-EN 12697-26		

Wytrzymałość na ściskanie



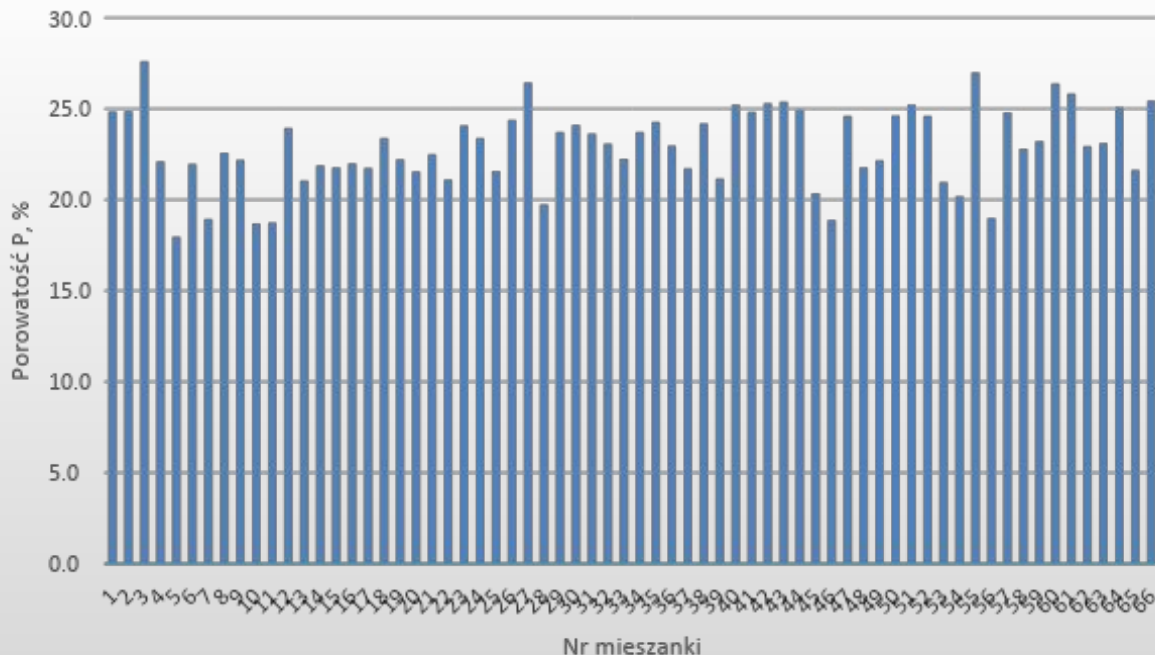
Próbki betonowe uzyskały wytrzymałość na ściskanie od 5,3 MPa do 17,2 MPa.

Porowatość



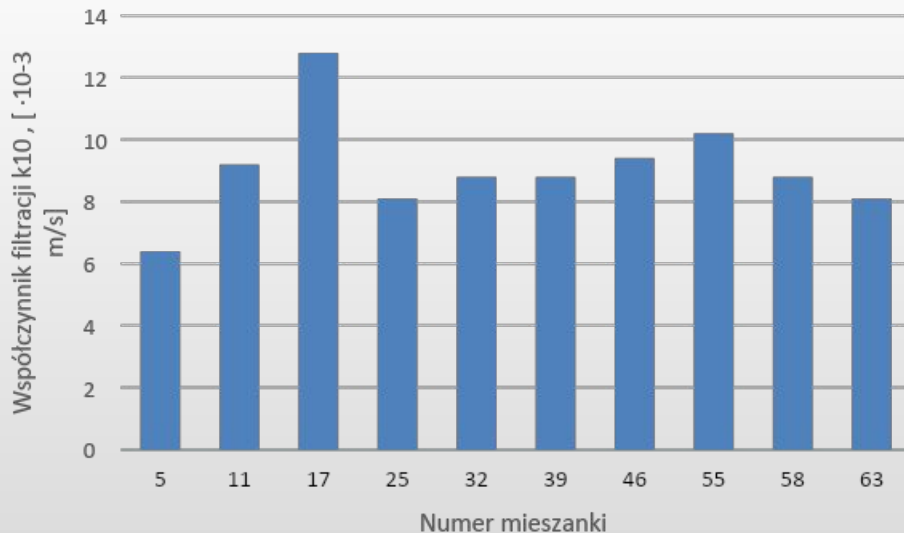
Próbki betonowe charakteryzowały się porowatością na podstawie analizy obrazu od 11,3 % do 34,5 %.

Porowatość



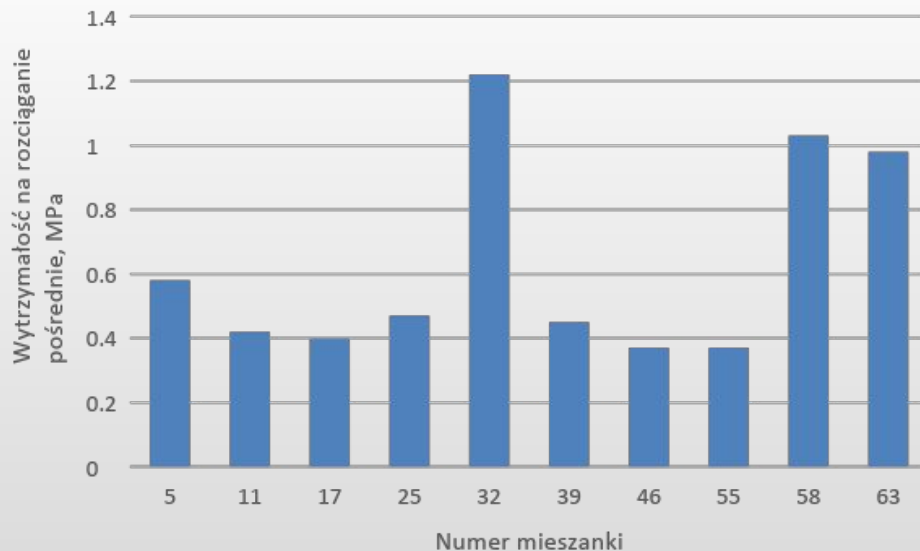
Próbkki betonowe charakteryzowały się porowatością obliczeniową od 18,0 % do 27,6 %.

Współczynnik filtracji



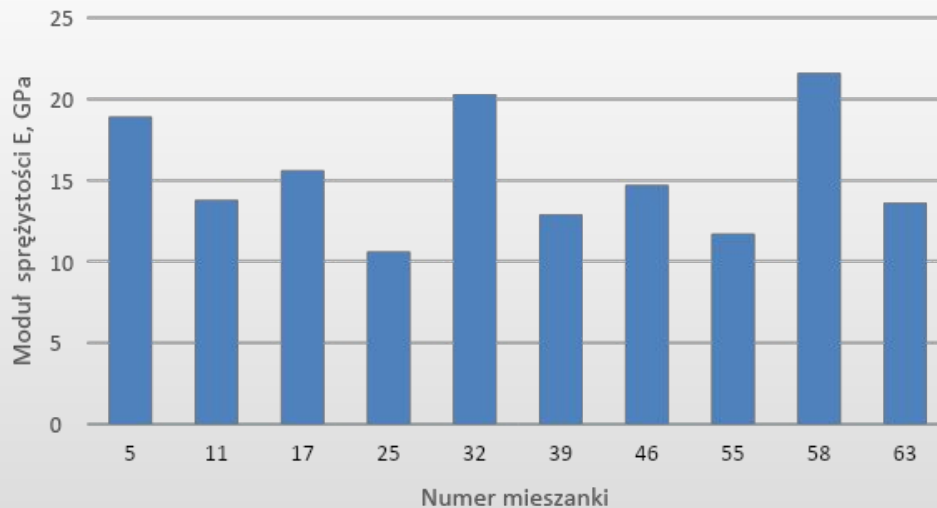
Współczynnik filtracji betonów, które uzyskały stopień mrozoodporności F25, wyniósł od $6,4 \cdot 10^{-3}$ m/s do $12,8 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie



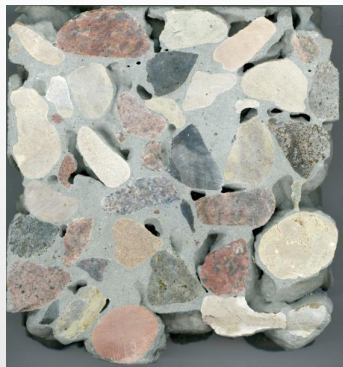
Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie betonów, które uzyskały stopień mrozodporności F25, wyniosła od 0,37 MPa do 1,22 MPa.

Moduł sprężystości



Moduł sprężystości betonów, które uzyskały stopień mrozodporności F25, wyniósł od 10,6 GPa do 21,6 GPa.

Betony przepuszczalne



- Spośród 66 betonów 47 betonów uzyskało stopień mrozoodporności F25.
- Moduły sprężystości zbadanych próbek betonów mrozoodpornych są zbliżone do mieszanek związanych hydraulicznie C5/6 i C8/10.
- Obliczone naprężenia rozciągające w podbudowie z betonu jamistego w konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego dla kategorii ruchu KR5 wyniosły 0,22 MPa i są mniejsze niż wytrzymałości na rozciąganie pośrednie uzyskane dla wybranych zbadanych betonów.

Kategoria ruchu: \leq KR3

- Wytrzymałość na ściskanie min. C5/6
- Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie $F_t \geq 0,2$ MPa
- Moduł sprężystości $E \geq 7200$ MPa
- Porowatość ≥ 15 %
- Stopień mrozoodporności min. F25

Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

- **Cement: ok. 200 kg,**
 - Rodzaj: CEM I, CEM II-A (S, V, LL, S-LL, S-V, V-LL), CEM II-B (S, V, LL, D, S-LL, S-V), CEM III-A, B klasy 32,5 (N, R)
- **Kruszywo: 1500-1700 kg**
 - Rodzaj: kruszywo naturalne, żwirowe
 - Uziarnienie:
 - Mieszanka kruszywowa skomponowana z trzech frakcji: 8/16 mm, 16/22,4 mm, 22,4/31,5 mm
 - Zawartość pojedynczej frakcji nie może przekraczać 80 %
 - Zawartość frakcji 8/16 mm \leq 50 %
 - Zawartość frakcji 16/22,4 mm \leq 40 %
- **Woda: ok. 200 kg**
- **Domieszka napowietrzająca: ok. 0,2 % masy cementu**

Kategoria ruchu: KR4 i KR5

- Wytrzymałość na ściskanie min. C8/10
- Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie $F_t \geq 0,3 \text{ MPa}$
- Moduł sprężystości $E \geq 15000 \text{ MPa}$
- Porowatość $\geq 15 \%$
- Stopień mrozodporności min. F25

Wymagania dla betonów do podbudów przepuszczalnych

- **Cement: ok. 200 kg,**
 - Rodzaj: CEM I, CEM II-A (S, V, LL, S-LL, S-V, V-LL), CEM II-B (S, V, LL, D, S-LL, S-V), CEM III-A, B klasy 32,5 (N, R)
- **Kruszywo: 1500-1700 kg**
 - Rodzaj: kruszywo naturalne, żwirowe
 - Uziarnienie:
 - Mieszanka kruszywowa skomponowana z trzech frakcji: 8/16 mm, 16/22,4 mm, 22,4/31,5 mm
 - Zawartość pojedynczej frakcji nie może przekraczać 80 %
 - Zawartość frakcji 8/16 mm \leq 50 %
 - Zawartość frakcji 22,4/31,5 mm \leq 50 %
- **Woda: ok. 200 kg**
- **Domieszka napowietrzająca: ok. 0,2 % masy cementu**

Możliwości stosowania podbudów przepuszczalnych z betonu cementowego

- nawierzchnie sportowe
- nawierzchnie sztywne dla kategorii ruchu do KR5
- nawierzchnie przepuszczalne (z prefabrykatów, z betonu cementowego)



**INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW**
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

mgr inż. Danuta Beblacz
mail: danuta.beblacz@ibdim.edu.pl