

PODBUDOWY DROGOWE – KOMPENDIUM WIEDZY



 **HOLCIM**

Dawniej Lafarge

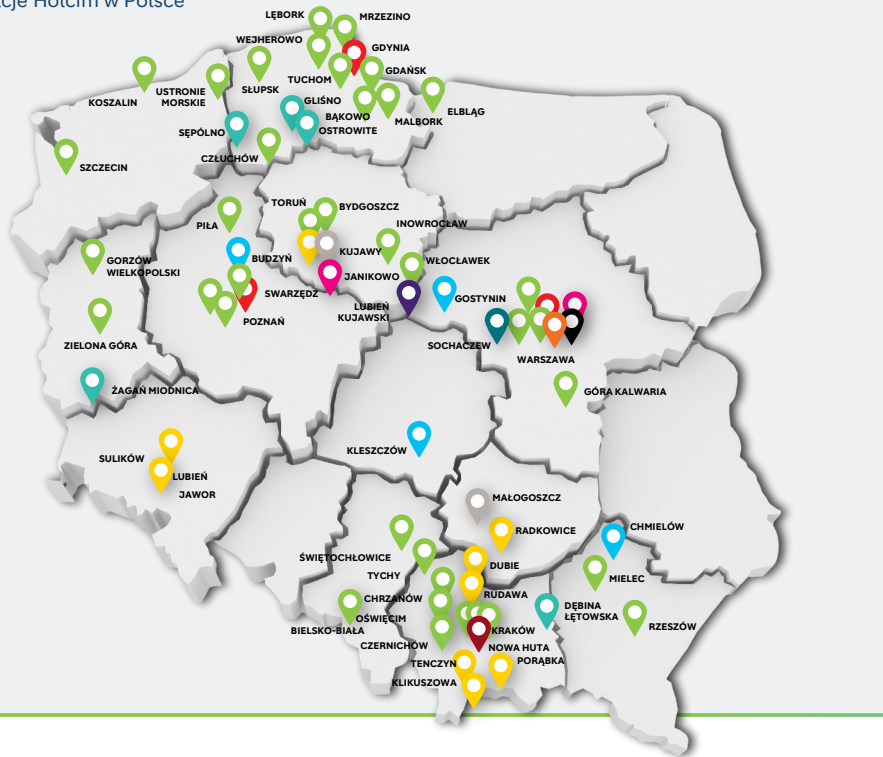
1. WSTĘP

Niniejsze opracowanie jest dokumentem opisującym zastosowania dla surowców przeznaczonych do infrastruktury drogowej. Skupiono się na warstwach pod nawierzchnią, czyli podbudowach zasadniczych i pomocniczych, stabilizacjach

oraz warstwach ulepszonych podłoża. Są to nie tylko konstrukcje, ale w szczególności surowce, które się na nie składają. Ważne jest, aby świadomie dobierać materiały do konstrukcji i wiedzieć, jakie rozwiązanie będzie najlepsze dla danej

inwestycji. Grupa ekspertów z firmy Holcim Polska S.A. przedstawia charakterystyki produkowanych materiałów, a także ich praktyczne wykorzystanie zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Lokalizacje Holcim w Polsce



- Wytwórnie Betonu
- Żwirownie
- Kopalnie
- Przetadownie
- Cementownie
- Zakład Gospodarki Popiołami
- Centralne Laboratorium
- Biuro Zarządu
- Zakład Produkcji Nawozów Wapniowych Polcalc
- Zakład Produkcji Chemii Budowlanej i Styropianu Izolbet
- Zakład Produkcji Nowa Huta
- Zakład Prefabrykacji HM Factory

2. TYPY KONSTRUKCJI DROGOWYCH - SPOSOBY DOBIERANIA ROZWIĄZAŃ MATERIAŁOWYCH DO KONSTRUKCJI

PODBUDOWY Z MIESZANEK NIEZWIĄZANYCH

Autorzy: Grzegorz Schmidt, Hubert Losik

Drogę definiuje [1] się jako wydzielony pas terenu składający z jezdni, pobocza, chodnika, drogi (ścieżki) dla pieszych lub drogi (ścieżki) dla rowerów, łącznie z torowiskiem pojazdów szynowych znajdującym się w obrębie tego pasa, przeznaczony do ruchu lub postoju pojazdów i ruchu pieszego. W skład

konstrukcji drogi wchodzi nawierzchnia wraz z podłożem gruntowym. Nawierzchnię stanowi warstwa lub kilka warstw, która ma za zadanie przyjmowanie i rozkładanie obciążeń od ruchu pojazdów na podłożu oraz zapewnienie bezpiecznych, komfortowych i dogodnych warunków dla użytkowników

ruchu. Występujący w konstrukcji nawierzchni układ warstw musi być ze sobą połączony w zależności od tego, jakie warstwy w nim występują. Współcześnie stosowane nawierzchnie drogowe to najczęściej konstrukcje warstwowe (rys. 1) [2].

Nawierzchnia		Nawierzchnia
Podbudowa zasadnicza	Podbudowa	
Podbudowa pomocnicza + warstwa mrozochronna		
Podłoże ulepszone – mieszanka związana cementem, stabilizacja		Podłoże
Podłoże gruntowe zakwalifikowana jako G1– G4		

Rysunek 1. Schemat konstrukcji drogi – wg WT-5 [1]



CIEKAWOSTKA

Należy pamiętać, że istnieje kilka różnych kryteriów podziału nawierzchni drogowych, z których najpopularniejsze jest kryterium konstrukcyjne, w którym nawierzchnie dzieli się ze względu na ich odcztałcalność [1].

Według tego kryterium wyróżnia się nawierzchnie: podatne, półsztywne i sztywne. W nawierzchni półsztywnej może również występować nawierzchnia półsztywna kompozytowa, w której można mówić o umiarkowanej sztywności warstwy podbudowy.

warstwy wierzchnie – lepko-sprężyste	warstwy wierzchnie – lepko-sprężyste	warstwa wierzchnia – sprężysta	warstwy wierzchnie – lepko-sprężyste
podbudowa – lepko-sprężysta	podbudowa – sprężysta*	warstwa podbudowy	podbudowa – sprężysta**
podłoże	podłoże	podłoże	podłoże
konstrukcja podatna	konstrukcja półsztywna	konstrukcja sztywna	konstrukcja półsztywna (kompozytowa)

* O wysokiej sztywności.

** O umiarkowanej sztywności.

Rysunek 2. Kryterium podziału nawierzchni ze względu na okształcalność [1]

We wszystkich rodzajach nawierzchni występują podbudowy. Podbudowy z mieszanek związanych w konstrukcji drogi należy rozumieć jako warstwy wykonane z materiału ziarnistego o dobranym uziarnieniu, zagęszczone do odpowiedniego poziomu i cechujące się oczekiwanymi właściwościami. Granica między mieszanką niezwiązaną z kruszywem a gruntem w niektórych przypadkach może nie być zbyt wyraźna, jednak główny składnik mieszanki, jakim jest kruszywo,

różni się istotnie od gruntu, przynajmniej z formalnego punktu widzenia. Mieszanki niezwiązane znajdują najszersze zastosowanie ze wszystkich materiałów konstrukcyjnych. Stosuje się je głównie w warstwach podbudowy zasadniczej i pomocniczej, ale można je spotkać również w warstwie ulepszonego podłoża, mrozochronnej, a także w pewnych przypadkach jako warstwę nawierzchniową, np. w drogach tymczasowych lub dojazdowych podczas

realizacji inwestycji i w drogach osiedlowych. Mieszanki niezwiązane w warstwach podbudowy mogą występować w konstrukcjach nawierzchni dla największego obciążenia ruchem, co potwierdza uwzględnienie ich w aktualnych katalogach konstrukcji nawierzchni, zarówno sztywnych [3], jak i podatnych i półsztywnych [4], dla najwyższej kategorii obciążenia ruchem – KR7. Tak samo szerokie spektrum zastosowań dotyczy mieszanek niezwiązanych w warstwach dolnych nawierzchni.

PODBUDOWY Z MIESZANEK ZWIĄZANYCH

Autor: Przemysław Stałowski

Kolejnym typem podbudów, które stanowią integralną część konstrukcji drogi, są podbudowy z mieszanek związanych. Podbudowy są odpowiedzialne za rozkład i przenoszenie obciążeń od poruszających się pojazdów. Mieszanki związane są to natomiast wszystkie materiały mineralne w konstrukcji drogowej, które zostały poddane zmianom

chemicznym i hydraulicznym. Wszystkie rodzaje stosuje się wg różnych instrukcji, jednak każdą z tych warstw można wykonać bezpośrednio na miejscu budowy lub z dowozu materiału z węzła stacjonarnego. Wyznacznikiem są przede wszystkim względy ekonomiczne i projektowe. Dobór odpowiedniego rodzaju rozwiązania jest sprawą

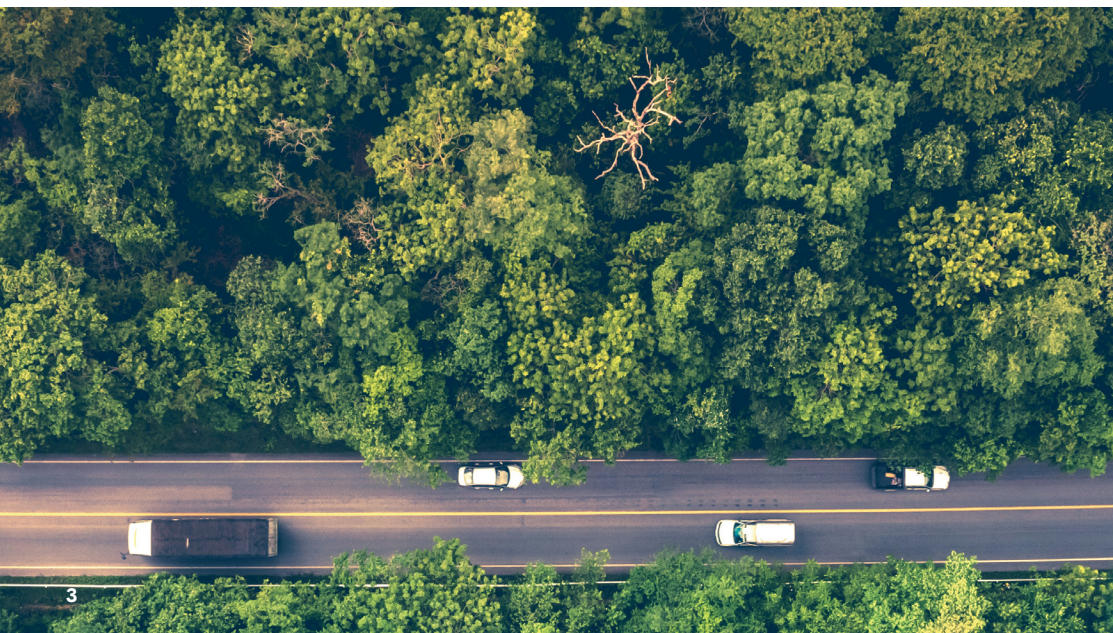
indywidualną, która musi być powiązana z odpowiednimi przepisami, m.in. Szczegółowymi Specyfikacjami Technicznymi, Warunkami Wykonania i Odbioru Robót, normami czy też Wytycznymi Technicznymi. Poniższy schemat doskonale pokazuje miejsce podbudów w konstrukcji drogowej (rys. 3 i 4).



Rysunek 3. Przekrój konstrukcji drogowej nawierzchni podatnej/półsztywnej



Rysunek 4. Przekrój konstrukcji drogowej nawierzchni sztywnej



Poczynając od najniższych warstw konstrukcji, można je plasować wg:



**ULEPSZENIA
I WZMACNIANIA
PODŁOŻY GRUNTOWYCH**

– są to głównie wzmocnienia gruntów spoistych, które np. są uplastycznione, lub inne grunty słabonośne, takie jednak, które poddają się ulepszeniu, czyli o odpowiednich parametrach fizykochemicznych. Działanie spoiw hydraulicznych jest wtedy dwójakie – osuszenie lub nadanie wytrzymałości. Jedne spoiwa są przeznaczone do osuszania (np. Gruntar HRB N1), inne – do nadawania wytrzymałości i osuszenia, aby zmienić stopień plastyczności gruntów spoistych (np. Gruntar HRB E3).



**PODBUDOWA
POMOCNICZA**

– jest to jedna z najniższych warstw budowy korpusu drogowego. Często pełni też funkcję warstwy mrozochronnej, czyli – jak sama nazwa wskazuje – odpowiada za zabezpieczenie konstrukcji drogowej przed mrozem. Oczywiście całość konstrukcji drogowej musi spełniać współczynnik przemarzania określony dla poszczególnych stref przemarzania, który wynosi 0,8–1,2 m [5]. Zamarzanie warstw konstrukcyjnych powoduje powstawanie wysadzin, które są szczególnie niebezpieczne dla górnych warstw drogowych (rys. 5). Zastosowanie stabilizacji lub mieszanki związanej o odpowiednich parametrach w podbudowie pomocniczej skutecznie zapobiega przemarzaniu. Spoiwami stosowanymi są przede wszystkim cementy, jak również spoiwa drogowe w zależności od projektowanej wytrzymałości końcowej warstwy. Dlatego do każdego rodzaju konstrukcji należy podchodzić indywidualnie, dobierając odpowiednie spoiwo.



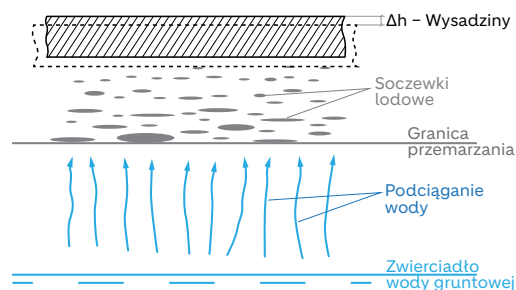
**PODBUDOWA
ZASADNICZA**

– jest najważniejszą z warstw konstrukcji, znajdującą się bezpośrednio pod nawierzchnią. Jest to również podbudowa najmocniejsza pod względem wytrzymałości w przypadku stosowania spoiw hydraulicznych. Do tej warstwy jako spoiwo wykorzystuje się cementy, aby przy minimalnym udziale materiałów uzyskać jak najwyższe wytrzymałości. Jest to oczywiście podyktowane względami ekonomicznymi. Ważne jest jednak, aby stosować odpowiednią klasę cementu. W przypadku stabilizacji jest to przede wszystkim klasa wytrzymałości 32,5, natomiast dla mieszanek związanych można stosować również cement klasy 42,5.



CIEKAWOSTKA

Działanie spoiw hydraulicznych to osuszenie i/lub nadanie właściwości wytrzymałościowych.



Rysunek 5. Zjawisko przemarzania warstw gruntu [5]

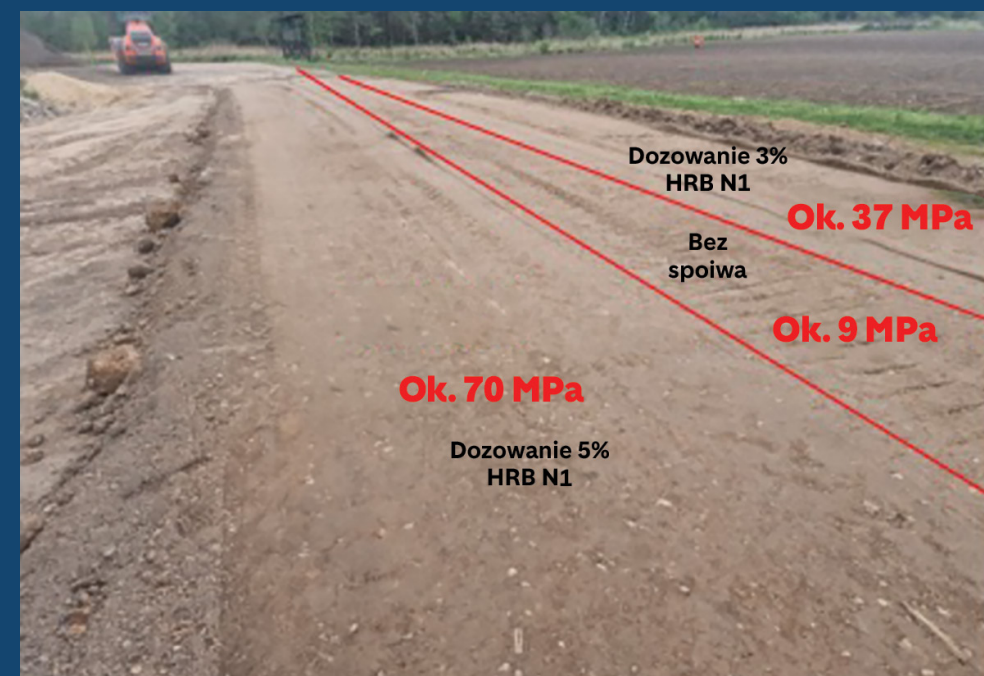
GRUNTAR 5 HRB N1



- Wysoka wodożądność spoiwa, która sprzyja osuszeniu gruntów
- Zapobiega pęcznieniu gruntów spoistych
- Umożliwia zagęszczenie gruntów o niskim wskaźniku różnoziarnistości

PARAMETRY TECHNICZNE PRODUKTU

PARAMETR TECHNICZNY	GRUNTAR 5 HRB N 1
Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach [MPa]	≥2,5
Wytrzymałość na ściskanie po 56 dniach [MPa]	≤22,5
Początek czasu wiązania [min]	≥150



Badania płytą dynamiczną po ok. 3 godz. od wymieszania spoiwa z gruntem przekraczającym wilgotność optymalną

3. NORMALIZACJA PRODUKTOWA – NORMY I KRAJOWE OCENY TECHNICZNE

KRUSZYWA

Autorzy: Grzegorz Schmidt i Hubert Losik

Kruszywa odgrywają niebagatelną rolę w budownictwie zarówno infrastrukturalnym, jak i drogowym i kolejowym.

Mają znaczący wpływ na trwałość budynków i budowli, oddziałując na właściwości wszelkich konstrukcji i wpływając na ich trwałość. Przepisy i dokumenty Unii Europejskiej wymagają, aby kruszywa jako „wyrób budowlany” były oznakowane znakiem CE przed wprowadzeniem ich do obrotu. Nakłada to na producenta wiele obowiązków, w tym opracowanie Deklaracji Właściwości Użytkowych. Takie wymagania narzuca Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. określające warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych

i uchylające Dyrektywę Rady 89/106/EWG.

Rozporządzenie to zobowiązuje producenta kruszyw do uzyskania Certyfikatu Zgodności Zakładowej Kontroli Produkcji (ZKP), który wydaje się bez ograniczeń czasowych, co oznacza, że pozostaje on ważny dopóki wymagania zharmonizowanej specyfikacji technicznej lub system zakładowej kontroli produkcji nie ulegną znaczącym zmianom lub modyfikacjom. Nadzór nad wydanym certyfikatem ma miejsce raz do roku przez jednostki certyfikujące mające w tym zakresie stosowne uprawnienia.

W przypadku kruszyw budowlanych obowiązują dwa systemy oceny zgodności: 2+ i 4. Przeważająca część producentów

decyduje się na system oceny zgodności 2+ z uwagi na specyfikę i zastosowanie konkretnego kruszywa. Oznacza to, że producent ma prawo wystawić deklarację zgodności, jeśli udowodnił przez wstępne Badanie Typu i ZKP, ewentualnie poprzez zbadanie, zgodnie z ustalonym harmonogramem badań, próbek pobranych w zakładzie produkcyjnym potwierdzającymi, że wyrób budowlany jest zgodny z tą specyfikacją. Ponadto notyfikowana jednostka certyfikująca winna potwierdzić, przez wydanie certyfikatu ZKP, że dokonano wstępnej inspekcji zakładu produkcyjnego i ZKP oraz że zapewniony został nieprzerwany nadzór w zakresie ZKP.



SPOIWA

Autor: Przemysław Stałowski

W Polsce zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 1 grudnia 2021 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym wraz z późniejszymi zmianami [6] wszelkie wyroby budowlane, w tym spoiwa hydrauliczne, muszą być dopuszczone do obrotu odpowiednimi przepisami. Można to zrobić poprzez wydanie Krajowej Deklaracji Właściwości Użytkowych. Oczywiście, aby taki dokument wydać, należy wyrób budowlany zadeklarować zgodnie z wymaganiami.

W przypadku spoiw hydraulicznych są to odpowiednie normy nadane, m.in. PN-EN 13282-1 Hydrauliczne spoiwa drogowe szybkowiązujące. Skład, wymagania i kryteria zgodności [7] oraz PN-EN 13282-2 Hydrauliczne spoiwa drogowe normalnie wiążące [8] lub Krajowe Oceny

Techniczne (KOT). Czym się różnią te dokumenty? Deklarowanie właściwości technicznych produktu na normę odbywa się normalnym sposobem, czyli producent takiego spoiwa wykonuje badania jakościowe wg norm i kategoryzuje parametry w Krajowej Deklaracji Właściwości Użytkowych. Natomiast cały Zakład Produkcyjny jest certyfikowany w systemie oceny zgodności 2+ lub 1+ przez zewnętrzne jednostki certyfikujące. W przypadku wydawania KOT droga jest nieco inna – jednak tak samo zakończona Krajową Deklaracją Właściwości Użytkowych. Większość spoiw hydraulicznych w Polsce, w tym Gruntar HRB N1 i Gruntar HRB E3, są produkowane zgodnie z KOT. Różnica między tym dokumentem a normami powołanymi polega przede wszystkim na szerszym wachlarzu stosowania surowców do produkcji spoiw. Błędne jest tutaj rozumowanie, że spoiwa hydrauliczne są robione

tylko z materiałów zbędnych, czy szkodliwych. Krajowa Ocena Techniczna pozwala na stosowanie surowców nieujętych w normie, a możliwych do stosowania. Każdy rodzaj surowca jest badany i dopuszczony również poprzez Kartę Charakterystyki Wyrobu zgodnie z Rozporządzeniem (WE) Nr 1907/2006 (REACH) wraz z późniejszymi zmianami [9]. Warto dodać, że karta charakterystyki jest niezbędnym dokumentem podczas zatwierdzania materiałów na potrzeby budowy. Produkt dopuszczony do sprzedaży przez KOT jest ściśle badany przez instytuty powołane i jest to dokument wydawany dla producenta przez taką instytucję. Procedura badawcza polega na odtworzeniu przez instytut składu takiego spoiwa i poddaniu go wielu badaniom zadeklarowanym przez wytwórcę. Główne parametry przedstawiono w tabeli 1.



ZAKRES CERTYFIKACJI ZKP KRUSZYW BUDOWLANYCH DOTYCZY NASTĘPUJĄCYCH NORM:

- PN-EN 12620 Kruszywa do betonu;
- PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń;
- PN-EN 13055-1 Kruszywa lekkie Część 1: Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i rzadkiej zaprawy;
- PN-EN 13139 Kruszywa do zaprawy;
- PN-EN 13383-1 Kamień do robót hydrotechnicznych Część 1: Wymagania;
- PN-EN 13242 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów;
- PN-EN 13450 Kruszywa na podsypkę kolejową.



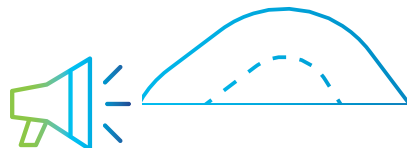
WWW.DOKUMENTYHOLCIM.PL

Nasza firma dla Klientów, którzy korzystają z naszych kruszyw, przygotowała stronę internetową www.dokumentyholcim.pl, na której udostępniła obowiązujące dokumenty dla określonych grup wyrobów budowlanych, takie jak:

- Deklaracje Właściwości Użytkowych;
- Certyfikaty zgodności Zakładowej Kontroli Produkcji.

	Jednostki miary	Wymagania
PARAMETRY CHEMICZNE		
Siarczany, SO ₃	%	≤4,0
PARAMETRY FIZYCZNE I MECHANICZNE		
Początek czasu wiązania	min	≥90
Stołość objętości	mm	≤10
Stopień zmielenia (masa pozostałości na sicie 90 μm)	%	≤15
Wytrzymałość na ściskanie		
po 7 dniach	MPa	≥10
po 56 dniach	MPa	≥22,5 ≤42,5

Tabela 1. Parametry deklarowane w KOT dla spoiwa Gruntar HRB E3 [10]



CO WAŻNE

Tabela 1 jest zbieżna z wymaganiami wg norm powołanych dla spoiw drogowych [7,8]. Analizując jednak normę w porównaniu ze składem różnych spoiw dostępnych w Polsce, mamy nieco mniej surowców dopuszczonych w składzie. Dlatego produkcja wg KOT jest uzasadniona ze względu na rejonizację surowców, np. popioły ze spalania paliw kopalnych czy popioły pochodzące ze skał mineralnych.



Hydrauliczne spoiwa drogowe podlegają nie tylko dopuszczeniu przez Krajową Ocenę Techniczną, ale również późniejszym badaniom zgodnie z systemem Zakładowej Kontroli Produkcji. Taka ocena, jak i częstotliwość badań jest uwzględniona w KOT, ale również może być wykonywana indywidualnie dla danego spoiwa.



<https://www.holcim.pl/spoiwa-hydrauliczne>

4. PRZEPISY STOSOWANIA

KRUSZYWA

Autorzy: Grzegorz Schmidt i Hubert Losik

Mieszanki niezwiązane bazują na obowiązującej normie PN-EN 13242+A1:2010 i to ona stanowi fundament tworzenia pozostałej dokumentacji technicznej [11]. Kolejnym dokumentem, który ułatwia opracowanie np. Szczegółowej Specyfikacji Technicznej (SST), jest wydany w roku 2010 przez Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad dokument o nazwie Wymagania Techniczne 4 (WT-4) [12] dla mieszanek niezwiązanych do dróg krajowych. W dokumencie tym można znaleźć bardziej

szczegółowe wymagania dotyczące kruszywa, które nie pojawiają się w normie. Podbudowa pomocnicza czy zasadnicza jest jedną z pierwszych warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej. Zarówno Warunki Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych (WWIORB), jak i WT-4 [12] dopuszczają stosowanie mieszanek o ciągłym uziarnieniu o frakcji 0–31,5 mm, 0–45 mm oraz 0–63 mm. W obydwu dokumentach pojawiają się tzw. krzywe graniczne dobrego uziarnienia oraz krzywa S,

która dodatkowo wymaga ciągłości uziarnienia produkowanej mieszanki, czego znajdzie się w zapisach normy PN-EN 13242 [11]. Dokumenty WWIORB i WT-4 [12] rozdzielają również wymagania co do mieszanek o ciągłym uziarnieniu ze względu na kategorię ruchu, jak również zastosowania mieszanki kruszywowej dla wykonania podbudowy pomocniczej lub zasadniczej [12,13]. Dokument WT-4 GDDKiA jest najbardziej szczegółowy.



CIEKAWOSTKA

Normy nie narzucają ściśle wymagań co do jakości stosowanego kruszywa, tylko dają możliwość przypisania kategorii danego parametru.

Punkt w normie PN-EN 13242	Właściwości	Wymagane właściwości kruszywa do mieszanek niezwiązanych (kategorie według PN-EN 13242)			Odniesienie do tablicy w PN-EN 13242
		Podbudowa pomocnicza	Podbudowa zasadnicza	Nawierzchnia	
		KR 3 – 7	KR 1 – 2	KR 3 – 7	KR 1 – 2

WWIORB fragment tablicy 2.1 [13]

Rozdział w PN-EN 13242: 2004	Właściwości	Wymagania wobec kruszywa do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie:					Odniesienie do tablicy w PN-EN 13242: 2004
		ulepszono podłoża	podbudowy pomocniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem	podbudowy zasadniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem	nawierzchni z kruszywa niezwiązanego obciążonej ruchem		
		KR1-KR6	KR1-KR2	KR3-KR6	KR1-KR2	KR3-KR6	KR1-KR2

WT-4 fragment tablicy 1 [12]



CIEKAWOSTKA

Ustawa – Prawo zamówień publicznych wyraźnie zawiera informacje o tym, że nie wolno eliminować stosowania kruszyw ze względu na ich pochodzenie geologiczne. Oczywiście i zrozumiałe jest to, że nie pochodzenie czy geneza danej skały definiuje możliwość jej stosowania, a jej parametry. Dopiero zbieżność parametrów kruszywa i wymagań specyfikacji dopuszcza wyrób do wbudowania.

Nawiązując do SST, często tworzonych w oparciu na WT-4 [12], można zauważyć, że wymagania dla mieszanek o ciągłym uziarnieniu w SST niejednokrotnie potrafią być sprzeczne z Prawem zamówień publicznych oraz niepotrzebnie zwiększają koszty wykonania danej inwestycji. Nie jest wskazane zaostrożenie wymagań zawartych w WT-4 [12]

dla klasycznych rozwiązań drogowych. Jest to nie tylko nierozsądne, ale przede wszystkim niegospodarne, a czasami zakrawa nawet o naruszenie dyscypliny finansów publicznych. Ustawa – Prawo zamówień publicznych wyraźnie mówi o tym, że nie wolno eliminować stosowania kruszyw ze względu na ich pochodzenie geologiczne.

Oczywiście i zrozumiałe jest to, że nie pochodzenie czy geneza danej skały definiuje możliwość jej stosowania, ale osiągnięte przez nią parametry, które są wymagane przy danej inwestycji i ściśle określone w dokumentacji. Przykładem jawnego eliminowania danego pochodzenia kruszywa jest poniższy cytat z SST:



Materiałem do wykonania podbudowy z mieszanki niezwiązanej jest kruszywo łamane, uzyskane w wyniku przekruszenia surowca skalnego, kamieni narzutowych i otoczków. Kruszywo powinno być jednorodne bez zanieczyszczeń obcych i bez domieszek gliny. Nie należy stosować kruszyw wapiennych jako materiału do podbudowy.

Taki zapis jest niezgodny z ustawą – Prawo zamówień publicznych [14]. Innym przypadkiem jest zawyżony parametr odporności na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles (LA). Można spotkać takie zapisy dla parametru odporności na rozdrabnianie, jak $\leq LA20$ na drodze gminnej dla wykonania podbudowy. Dla porównania dokument WT-4 wymaga $\leq LA40$ dla podbudowy pomocniczej, a $\leq LA35$ dla podbudowy zasadniczej przy inwestycjach dla dróg ekspresowych czy autostrad [12]. Tak wysoką odporność na rozdrabnianie

spełniają głównie bazalty. Najczęściej takie zapisy pojawiają się w SST w północnych regionach Polski, a żeby spełnić taki wymóg LA, trzeba kruszywa dowieźć wahadłem lub autami z południowego zachodu naszego kraju, bo tam występują naturalne złoża bazaltu. Nie jest to w żadnym wypadku uzasadnione ekonomicznie.

Innym przypadkiem są zawyżone parametry mrozoodporności i nasiąkliwości. Na rynku pojawiały się SST z wymaganiami dla

mieszanki o ciągłym uziarnieniu odnośnie do mrozoodporności np. F1, gdzie kolejny raz dla porównania dokument WT4 dla podbudów z kruszywa naturalnego wymaga F4. Również w tym przypadku bardzo mocno zawęża się możliwość stosowania różnego rodzaju mieszanek [12,14].



Przygotowanie kruszyw w żwirowni pod względem jakościowym



<https://www.holcim.pl/wapien>

SPOIWA

Autor: Przemysław Stałowski

Spoiva hydrauliczne, jak każde inne składniki występujące w konstrukcjach drogowych, są dopuszczone poprzez dokumenty stosowania. Jak już wcześniej wyjaśniono, większość spoiw jest sprzedawana zgodnie z wydaną na nie KOT, a normy powołania są pewnym wyznacznikiem dopuszczonych właściwości końcowych i charakteryzujących wyrób. Co zatem jest nadrzędnym dokumentem? W każdym przypadku na inwestycjach takim dokumentem jest SST wydana dla konkretnego zadania. Wzorcowe Warunki Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych oraz Specyfikacja Techniczna Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych nie są integralną częścią dokumentacji technicznej. Dokumenty te podają jednak w większości przypadków wytyczne stosowania dla spoiw, czyli gdzie i jakie spoiwa można zastosować.

W obowiązujących standardach wg wytycznych Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad na drogi ekspresowe i autostrady stosuje się spoiwa w wykonaniu na miejscu w podbudowie pomocniczej w gruntach dla kategorii ruchu KR1–KR4. Natomiast w wykonaniu w warstwie ulepszonego podłoża i wzmocnień gruntu można wykonywać spoiwami na miejscu dla wszystkich kategorii ruchu. Tak samo w przypadku stosowania spoiw hydraulicznych w mieszankach związanych wykonywanych na węzle – dobór do kategorii ruchu jest uzależniony tylko od osiągnięcia wymaganych parametrów. Bardzo dobry jest też zapis, zgodnie z którym ostateczną przydatność stosowania spoiwa sprawdza się poprzez uzyskanie wymaganych parametrów końcowych w produkcie dla danej konstrukcji. Daje to argumenty do stosowania

spoiw, które nie zostały wymienione w Specyfikacjach Technicznych, np. zostały wprowadzone do sprzedaży na innych zasadach – o czym mowa w następnym rozdziale. W przypadku spoiw rzadkim zjawiskiem jest wpisywanie konkretnych parametrów w Specyfikacjach. Czasami jest to spowodowane szczególnymi warunkami gruntowo-wodnymi i zaleceniami stosowania spoiw z dodatkowymi właściwościami, np. z wysokim parametrem wodozadržności dla terenów, gdzie woda gruntowa zagraża konstrukcji. Takie spoiwa skutecznie osuszają teren i pozwalają budować kolejne warstwy konstrukcji drogowej. Podsumowując, dopuszczenie spoiw hydraulicznych w użytku jest powszechne pod warunkiem, że takie produkty mają wymagane dokumenty stosowania wymienione wcześniej.



<https://www.holcim.pl/spoiwo-drogowe-gruntar-5-hrb-n-1>

CEMENTY

Autor: Przemysław Stałowski

Cementy stosowane w podbudowach deklaruje się zgodnie z normą PN-EN 197-1:2012 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku [15]. Normą ta jest punktem odniesienia do tworzenia Deklaracji Właściwości Użytkowych, która – jak wiadomo – jest niezbędna do legalnej sprzedaży produktu. Nie budzi wątpliwości również przywołanie tej normy w WT-5 [2] lub w przypadku stosowania cementów w mieszankach związanych, zgodnie z normą PN-EN 14227-1:2013-10 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Specyfikacje – Część 1: Mieszanki związane cementem [16]. W przypadku produkcji takich materiałów jak stabilizacje zgodnie z PN-S 96012:1997 Drogi samochodowe – Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem [17] wskazaniem normy do stosowania cementów jest PN-B 19701:1997 Cement – Cement powszechnego użytku – Skład, wymagania i ocena zgodności [18]. Jest to wiadome, ponieważ ta norma nie została zaktualizowana, chociaż nie jest też wycofana z użytku. Korzystanie z norm jest dowolne, nawet w przypadku norm wycofanych. Lepiej jednak używać produktów deklarowanych wg nowych wytycznych. Nowelizacja przepisów pojawia się

zwykle w SST na daną inwestycję. Branża producentów materiałów budowlanych dąży do coraz większego ograniczenia zużycia i produkcji CO₂, czyli zmniejszenia śladu węglowego. W związku z tym produkuje się cementy, które są certyfikowane takim dokumentem jak EPD – Environmental Product Declaration. Jest to nic innego jak potencjał globalnego ocieplenia (Global Warming Potential), inaczej ślad węglowy, czyli ekwiwalent CO₂ [kg] na tonę produktu. Takie cementy nie odstają parametrami od cementów bez deklaracji EPD, jednak ich przewagą jest to, że wiadomo, jakie konsekwencje dla środowiska powoduje ich produkcja. Doskonałym tego przykładem jest cement CEM II/C-M (V-LL) 32,5 R, który jest produkowany zgodnie z normą PN-EN 197-5:2021-07 Cement – Część 5: Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/C-M i cement wieloskładnikowy CEM VI [19]. W przypadku omawianego tematu, jakim są stabilizacje i mieszanki związane w infrastrukturze, cement oznaczony jako CEM II/C-M nie jest niestety powołany w żadnych dokumentach wzorcowych. Skutkiem jest to, że nie wpisuje się normy PN-EN 197-5:2021-07 [19] jako dokumentu odniesienia materiałowego. Należy jednak dodać, że ta norma jest przywołana w załączniku

krajowym PN-B-06265:2022-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08 [20] do normy betonowej PN-EN 206+A2:2021-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność. Zgodnie z załącznikiem krajowym można stosować cementy wg normy PN-EN 197-5:2021-07 [19] do betonów. Dlaczego zatem nie stosować tych cementów w stabilizacjach czy mieszankach związanych? Zgodnie z uproszczoną definicją beton to mieszanka kruszywa, wody oraz spoiwa i ewentualnych dodatków chemicznych. To samo dotyczy stabilizacji czy mieszanki związanej. Problem tkwi w nowelizacji wytycznych stosowania. Jak łatwo wydedukować – norma PN-S 96012:1997 [17] na pewno nie zostanie zaktualizowana, ale Wytyczne Techniczne nr 5 [2] dla mieszanek związanych już mogą. Proces ten jest jednak bardzo złożony i długotrwały. Tłumacząc zagadnienie, twórcy przepisów nie nadążają z aktualizowaniem wytycznych w konfrontacji z nowymi produktami. Czy te nowe produkty się różnią się jednak tak bardzo od innych? Tabela 2 przedstawia wymagania co do składu cementów typu CEM II/C-M.

Główne rodzaje	Nazwa wyrobu (rodzaj cementów)		Skład (w procentach masy ^a)											
			Składniki główne											Składniki drugorzędne
			Klinkier	Żużel wielkopiecowy	Pył krzemionkowy	Pucolana		Popiół lotny		Łupek palony	Wapień			
						naturalna	naturalna wypalana	krzemionkowy	wapienny					
Nazwa rodzaju	Oznaczenie rodzaju	K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L ^c	LL ^c			
CEM II	Cement portlandzki wieloskładnikowy ^d	CEM II/C-M	50-64	←----- 36-50 -----→								0-5		

Tabela 2. Skład cementów wieloskładnikowych wg PN-EN 197-5:2021-07 [19]

Głównym składnikiem jest wciąż klinkier i jest go aż 50–64%. Składnikiem drugorzędym jest w przypadku CEM II/C-M (V-LL) 32,5 R kamień wapienny. Jest to minerał, który nie tylko poprawia właściwości wiążące dla cementu, ale również zwiększa jego wodożądność.

W przypadku wykorzystania takiego cementu w stabilizacji, można bardzo łatwo zauważyć płynące z tego korzyści. Grunty, które przekraczają w nieznacznym stopniu wilgotność optymalną, nie muszą być wymieniane czy wstępnie osuszane, a wystarczy zastosować cement, który

bardzo dobrze sobie radzi z podwyższoną wilgotnością gruntu. Dodatkowe właściwości wynikające z zastosowania składników drugorzędnych oprócz klinkieru poprawiają cel wykorzystania takiego cementu.

CEM II/C-M (V-LL) 32,5 R

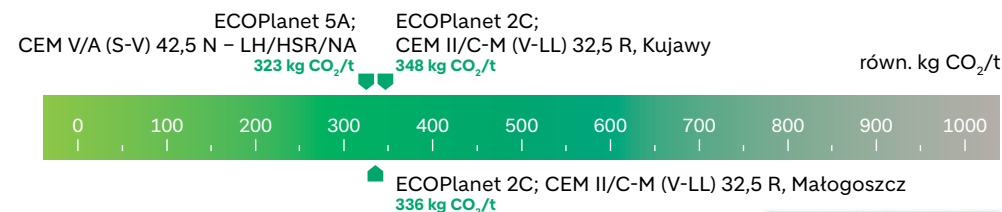


Oznaczenie normowe: **CEM II/C-M (V-LL) 32,5 R**

- Mniejsze obciążenie dla środowiska (mniejszy o min. 40% ślad węglowy cementu względem typowego cementu CEM I)
- Szybki przyrost wytrzymałości w początkowym okresie dojrzewania
- Stabilny przyrost wytrzymałości w długich okresach dojrzewania
- Wysoka powierzchnia właściwa
- Duża odporność na przedozowanie wody
- Dobrze działa w przypadku gruntów o dużej wilgotności
- Jasna barwa

PARAMETRY TECHNICZNE PRODUKTU (wartości średnie za 2023 r.)*	Kujawy	Małogoszcz
GPR (netto)	348 kg CO ₂ eq/t	336 kg CO ₂ eq/t
Powierzchnia właściwa wg Blaine'a [cm ² /g]	5780	5240
Początek czasu wiązania [min]	205	255
Koniec czasu wiązania [min]	265	320
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach [MPa]	19,6	19,3
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	41,0	45,1
Wodożądność [%]	29,6	30,0
Zawartość chlorków (jako Cl ⁻) [%]	0,06	0,05

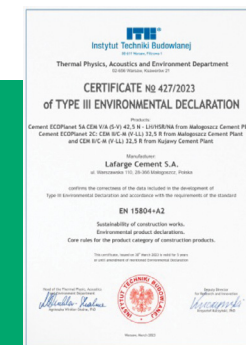
* Wartości te nie są gwarantowane przez producenta, nie stanowią oferty w rozumieniu przepisów Kodeksu cywilnego i nie mogą stanowić podstaw do jakichkolwiek roszczeń.



Potencjał globalnego ocieplenia – GWP (wartość netto)



<https://www.holcim.pl/cement-cem-iic-mv-ll-325-r-do-infrastruktury>



5. PODSTAWOWE ZASADY WYKONYWANIA PODBUDÓW

PROJEKTOWANIE MIESZANEK NIEZWIĄZANYCH

Autorzy: Grzegorz Schmidt i Hubert Losik

Pierwszy etap odpowiedniego zaprojektowania mieszanki niezwiązanej rozpoczyna się już w kopalni lub żwirowni. To producent kruszyw jest odpowiedzialny za odpowiedni dobór urobku skalnego i maszyn (kruszarki, przesiewacze itd.), aby finalnie mieszanka spełniała wymagania, które producent zadeklarował. Przed każdym pozyskaniem urobku

w kopalni dana część tzw. ściany jest badana poprzez wykonanie odwiertów lub zwiercin. Po zbadaniu próbek w laboratorium i ocenie ich wyników jakościowych producent ma możliwość doboru nadawy na wyprodukowanie mieszanki o ciągłym uziarnieniu. Kolejnym bardzo ważnym czynnikiem jest przestrzeganie rygoru tzw. krzywych dobrego uziarnienia,

które pojawiają się w dokumencie zarówno WT-4, jak i WWiORB. W normie PN-EN 13242 są zawarte m.in. tablice, które stawiają wymagania co do sit dla określenia wymiarów ziarn kruszywa, jak również podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia (tab. 3 i 4; rys. 6) [1–3].

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)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
-	56	-
63	63	63
-	-	80
-	90	-

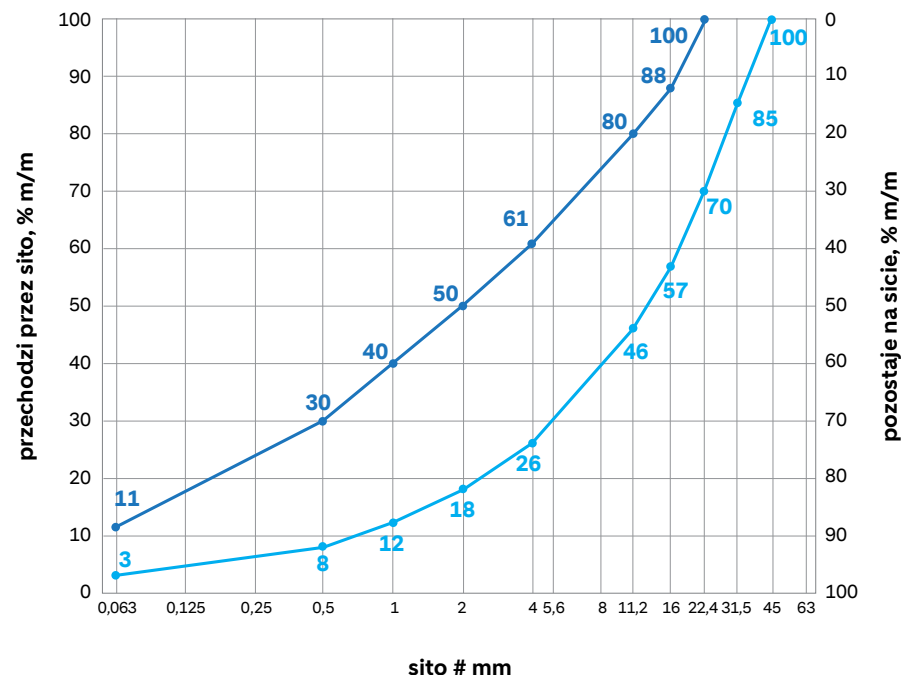
UWAGA 1. W szczególnych zastosowaniach mogą być stosowane sita o wymiarach większych niż 90 mm.
UWAGA 2. W uproszczonym opisie wymiarów kruszywa można stosować wymiary zaokrąglone podane w nawiasach.

Tabela 3. PN-EN 13242+A1:2010 [11]

Kruszywo	Wymiar mm	Procent przechodzącej masy					Kategoria G
		2 D ^a	1,4 D ^{bc}	D ^d	d ^{ca}	d/2 ^{bc}	
Grube	d ≥ 1	100	98 do 100	85 do 99	0 do 15	0 do 5	G _c 85–15
	oraz D > 2	100	98 do 100	80 do 99	0 do 20	0 do 5	G _c 80–20
Drobne	d = 0	100	98 do 100	85 do 99	-	-	G _i 85
	oraz D ≤ 6,3	100	98 do 100	80 do 99	-	-	G _i 80
O ciągłym uziarnieniu	d = 0	-	100	85 do 99	-	-	G _A 85
	-	100	98 do 100	80 do 99	-	-	G _A 80
	oraz D > 6,3	100	-	75 do 99	-	-	G _A 75

^a Dla kruszywo o wymiarach D większych niż 63 mm (np. 80 mm i 90 mm) mają zastosowanie jedynie wymagania dotyczące nadziarna odnoszące się do sita 1,4 D, gdyż sit serii ISO 565/R20 większych od 125 mm nie ma.
^b Gdy wartości obliczone z 1,4 D oraz d/2 nie są dokładnymi wymiarami sit serii ISO 565/R20, należy odpowiednio przyjąć następnny wyższy albo niższy wymiar sita.
^c W przypadku zastosowań specjalnych mogą być wprowadzone dodatkowe wymagania.
^d Procentowa zawartość ziaren przechodzących przez D może być większa niż 99% masy, ale w takich przypadkach producent powinien udokumentować i zadeklarować typowe uziarnienie, łącznie z sitami D, d, d/2 oraz sitami zestawu podstawowego plus zestaw 1 lub zestawu podstawowego plus zestaw 2 dla wartości pośrednich pomiędzy d i D. W przypadku sit o stosunku mniejszym niż 1,4, następnne niższe sito można wykluczyć.
^e Gdy trzeba zapewnić dobre uziarnienie, granica masy przechodzącej przez d w procentach, mogą być zmienione na 1 do 15 dla G_c 85–15 oraz na 1 do 20 dla G_c 80–20.

Tabela 4. PN-EN 13242+A1:2010 [11]



Rysunek 6. Przykładowy wykres uziarnienia i krzywych granicznych dla mieszanki niezwiązanych 0/31,5 mm [12]



Przesiewanie kruszyw na odpowiednie frakcje

ZAKRES BADAŃ

Podczas badań laboratoryjnych prowadzonych w ramach ZKP producent określa podstawowe parametry fizyko-mechaniczne

ujęte w normie PN-EN 13242. Dla metodyki badań są opracowane osobne normy, które dokładnie wskazują, jak badanie należy

wykonać i są one przywołane w normie PN-EN 13242 [11].

Poniżej przedstawiono przykłady określanych parametrów oraz wymaganej metody badawczej wg normy:

- kategoria uziarnienia dla mieszanek o ciągłym uziarnieniu np. GA85 oznaczać wg PN-EN 933-1,
- kategoria tolerancji np. GTA20 oznaczać wg PN-EN 933-1,
- wskaźnik płaskości np. FI20 oznaczać wg PN-EN 933-3,
- wskaźnik kształtu np. SI20 oznaczać wg PN-EN 933-4,
- kategorię zawartości ziarn o powierzchniach przekruszonych np. C90/3 oznaczać wg PN-EN 933-5,
- zawartość pyłów np. f9 oznaczać wg PN-EN 933-1,
- współczynnik odporności na rozdrabnianie (Los Angeles) np. LA35 oznaczać wg PN-EN 1097-2,
- odporność na ścieranie np. Mde30 oznaczać wg 1097-1,

Warto zaznaczyć, że norma nie narzuca obowiązku deklarowania wszystkich parametrów w niej ujętych. Producent może dokonać wyboru w odniesieniu do parametrów, jakie chce wpisać w Deklaracji Właściwości Użytkowych, ma w tym przypadku wolną rękę. Może zadeklarować

np. kształt, wymiar, gęstość ziarn, zanieczyszczenie, procent ziarn przekruszonych i taka mieszanka również będzie zgodna z wymaganiami normy. Pytanie brzmi, na jakie realizacje będzie się nadawała taka mieszanka? Co najwyżej na drogi dojazdowe, utwardzenia podłoża,

drogi leśne itd. Chociaż i przy takich realizacjach projektant świadomie dobiera parametry poszczególnych materiałów. Żeby mieszanka o ciągłym uziarnieniu spełniała wymagania WT-4, producent musi zadeklarować niższe kryteria jakościowe [12]:



CIEKAWOSTKA

Norma nie narzuca obowiązku deklarowania wszystkich parametrów w niej ujętych. Producent może dokonać wyboru w odniesieniu do parametrów, jakie chce wpisać w Deklaracji Właściwości Użytkowej, ma w tym przypadku wolną rękę.

Wymagania wobec mieszanek niezwiązanych do ulepszonego podłoża, warstw podbudowy i nawierzchni

Rozdział w PN-EN 13285	Właściwość	Wymagania wobec mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie:					Odniesienie do tablicy PN-EN 13285	
		ulepszonego podłoża	podbudowy pomocniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem		podbudowy zasadniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem			nawierzchni z kruszywa niezwiązanego obciążonej ruchem
			KR1-KR6	KR1-KR2	KR3-KR6	KR1-KR2		
4.3.1	Uziarnienie mieszanek	0/8, 0/11,2, 0/16, 0/22,4, 0/31,5, 0/45, 0/63	0/31,5, 0/45, 0/63		0/31,5, 0/45, 0/63		0/8, 0/11,2, 0/16, 0/31,5, 0/45*, 0/63*	Tab. 4
4.3.2	Maksymalna zawartość pyłów: kategoria UF	UF ₁₅			UF ₅		UF ₁₅	Tab. 2
4.3.2	Maksymalna zawartość pyłów: kategoria LF	LF _{NR}			LF _{NR}		LF ₅	Tab. 3
4.3.3	Zawartość nadziarna: kategoria OC	OC ₉₀			OC ₉₀		OC ₉₀	Tab. 4 i 6
4.4.1	Wymagania wobec uziarnienia	Krzywe uziarnienia wg rys. 2-8	Krzywe uziarnienia wg rys. 9-11		Krzywe uziarnienia wg rys. 12-14		Krzywe uziarnienia wg rys. 15-21	Tab. 5 i 6
4.4.2	Wymagania wobec jednorodności uziarnienia poszczególnych partii – porównanie z deklarowaną przez producenta wartością (S)	Brak wymagań	Wg tab. 2		Wg tab. 4		Brak wymagań	Tab. 7
4.4.2	Wymagania wobec jednorodności uziarnienia na sitach kontrolnych – różnice w przesiewach	Brak wymagań	Wg tab. 3		Wg tab. 5		Brak wymagań	Tab. 8
4.5	Wrażliwość na mróz: wskaźnik piaskowy SE**, co najmniej	35	40		45		35	-
	Odporność na rozdrabnianie (dotyczy frakcji 10/14 odsianej z mieszanki) wg PN-EN 1097-1. kategoria nie wyższa niż	LA _{NR}	LA ₄₀		LA ₃₅		LA ₄₀	-
	Odporność na ścieranie (dotyczy frakcji 10/14 odsianej z mieszanki) wg PN-EN 1097-1. kategoria M _{de}	deklarowana	deklarowana		deklarowana		deklarowana	-
	Mrozoodporność (dotyczy frakcji kruszywa 8/16 odsianej z mieszanki) wg PN-EN 1367-1	F10	F7		F4		F4	-
	Wartość CBR po zagęszczeniu do wskaźnika zagęszczenia I _s = 1,0 i moczeniu w wodzie 96 h, co najmniej	Warstwa mrozoochronna, odsączająca i odcinająca: ≥35; warstwa wzmacniająca: ≥40	≥60		≥80		Brak wymagań	-
4.5	Wodoprzepuszczalność mieszanki w warstwie odsączającej po zagęszczeniu wg metody Proctora do wskaźnika zagęszczenia I _s = 1,0; współczynnik filtracji k, co najmniej cm/s	≥0,0093	Brak wymagań		Brak wymagań		Brak wymagań	-
	Zawartość wody w mieszanke zagęszczonej, % (m/m) wilgotności optymalnej wg metody Proctora	70-100	80-100		80-100		80-100	-
4.5	Inne cechy środowiskowe	Większość substancji niebezpiecznych określonych w dyrektywie Rady 76/769/EWG zazwyczaj nie występuje w źródłach kruszywa pochodzenia mineralnego. Jednak w odniesieniu do kruszywa sztucznych i odpadowych należy badać czy zawartość substancji niebezpiecznych nie przekracza wartości dopuszczalnych wg odrębnych przepisów					-	

* Mieszanki 0/45 i 0/63 dopuszcza się tylko wyjątkowo, w przypadkach przewidzianego wykonania powierzchniowego utwardzenia, na nawierzchni z tych mieszanek, w ciągu najbliższego sezonu budowlanego

** Badanie wskaźnika piaskowego SE należy wykonać na mieszanke po pięciokrotnym zagęszczeniu metodą Proctora wg PN-EN 13286-2

Tabela 5. Wymagania wobec mieszanek niezwiązanych do ulepszonego podłoża warstw podbudowy i nawierzchni [12]

Bardzo ważnymi parametrami dla mieszanki niezwiązanej są również dwa pojęcia, takie jak wskaźnik piaskowy SE oraz kalifornijski wskaźnik nośności CBR. Wskaźnik piaskowy SE jest to procentowy stosunek objętości ziaren frakcji piaskowej i częściowo żwirowej do objętości tych frakcji gruntu lub kruszywa wraz z cząstkami występującymi

w postaci zawiesiny. Jest to jedno z kryteriów, które ocenia wrażliwość mieszanki na działanie mrozu. Wartość tego parametru jest głównie uzależniona od składu ziarnowego mieszanki kruszywowej. Inaczej mówiąc, wskaźnik piaskowy definiuje jakość pyłów. Kruszywa dobrze się zagęszczają, gdy wskaźnik piaskowy SE = 40–70.

Wskaźnik CBR (California Bearing Ratio), czyli kalifornijski wskaźnik nośności, odgrywa kluczową rolę w projektowaniu i ocenie nośności podbudowy drogowej. Jest to istotny parametr stosowany w inżynierii drogowej, który mierzy zdolność podłoża do przenoszenia obciążeń.

Oto kilka powodów, dla których wskaźnik CBR jest ważny dla podbudów drogowych:

- Projektowanie grubości nawierzchni – wartość CBR jest używana do określenia odpowiedniej grubości warstwy nawierzchni i podbudowy drogowej. Im niższa wartość CBR, tym większa grubość warstw może być wymagana, aby zapewnić odpowiednią nośność drogi.

- Ocena nośności podłoża – wskaźnik CBR umożliwia ocenę zdolności podłoża do przenoszenia obciążeń od pojazdów. Wysoka wartość CBR oznacza, że podłoże jest względnie silne, podczas gdy niska wartość sygnalizuje słabszą nośność.
- Kontrola jakości materiałów – wskaźnik CBR służy do oceny jakości różnych rodzajów podłoża i kruszyw, które mogą

być używane w konstrukcji podbudowy drogowej. Pomaga w selekcji i ocenie odpowiednich materiałów.

- Planowanie trwałego projektu drogowego – poprzez uwzględnienie wskaźnika CBR w projektowaniu drogi, inżynierowie mogą planować bardziej trwałe i efektywne konstrukcje, dostosowane do warunków lokalnych.



Wygląd kruszywa z recyklingu z czystego betonu

W praktyce analiza wskaźnika CBR jest kluczowa w fazie projektowania infrastruktury drogowej, pomagając inżynierom dostosować specyfikacje do konkretnych warunków gruntowych i obciążeń drogowych. Bardzo duży wpływ na wynik zarówno wskaźnika piaskowego, jak i CBR mają frakcje pylaste, czyli te poniżej 0,063 mm. Na podstawie wieloletnich badań przeprowadzanych

w firmie Holcim S.A. zauważono, że niska zawartość frakcji pylastej w mieszance podnosi wskaźnik piaskowy, lecz obniża wynik nośności podłoża CBR, i odwrotnie. Jeśli mamy zawartość pyłów w mieszance na poziomie 8–9 %, wyniki nośności są wysokie, CBR 90–110%, natomiast uzyskanie wyniku wskaźnika piaskowego na poziomie 55–65% jest znikome. Trudnym zadaniem w fazie projektowania od strony

producenta jest dobór takiego składu ziarnowego, aby spełnić wymagania co do wartości wskaźnika piaskowego oraz CBR dla warstw ulepszonego podłoża (SE ≥ 35 ; CBR ≥ 40), podbudowy pomocniczej (SE ≥ 40 ; CBR ≥ 60) oraz zasadniczej (SE ≥ 45 ; CBR ≥ 80). Kryteria te zostały uwzględnione w dokumencie WT-4 GDDKiA, które są przenoszone następnie do Szczegółowych Specyfikacji Technicznych [12].

KRUSZYWA Z RECYKLINGU

Warto wspomnieć o alternatywie, która w ostatnim czasie mocno rozwija się na polskim rynku, a przede wszystkim w świecie. Chodzi mianowicie o stosowanie kruszyw z recyklingu. Bardzo ważnym aspektem jest to, aby

ponownie wykorzystywać odpady budowlane. Przy tym tempie eksploatacji złóż naturalnych Ziemia nie jest w stanie ich odtworzyć, a odpadów, które produkujemy, wchłonać, co jest spowodowane wysoką

konsumpcją. Dlatego w dobie narastającego kryzysu musimy spowolnić eksploatację złóż naturalnych. Dla kruszyw rozwiązaniem proponowanym przez Holcim jest ECOSource (tab. 6).



CIEKAWOSTKA

To producent kruszyw jest odpowiedzialny za odpowiedni dobór urobku skalnego i maszyn (kruszarki, przesiewacze itd.), aby finalnie mieszanka spełniała wymagania, które zostały zadeklarowane.

ECOSOURCE HOLCIM – KRUSZYWO 0/31,5 mm Z RECYKLINGU

1. Niepowtarzalny kod identyfikacyjny typu wyrobu: **Kruszywo o ciągłym uziarnieniu 0/31,5 mm – Aggneo-P327-15583552.**
2. Zamierzone zastosowanie lub zastosowania: **Niezwiązane i związane hydraulicznie materiały stosowane w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.**
3. Producent: **Holcim Kruszywa i Beton Sp. z o.o., Grodziska 31, 01-255 Warszawa.**
4. Systemy oceny właściwości użytkowych wyrobu: **System 4.**
5. Norma zharmonizowana: **EN 12620:2002+A1:2007.**
6. Jednostka notyfikowana: **Nie dotyczy.**
7. Deklarowane właściwości użytkowe:

Zasadnicze charakterystyki	Deklarowane właściwości użytkowe	
Kształt, wymiar i gęstość ziarn	Wymiar kruszywa d/D, mm	0/31,5
	Uziarnienie	G ₈₅
	Przesiew przez sito D	95
	Przesiew przez sito pośrednie D/2	70
	Przesiew przez sito 0,063	8
	Tolerancja uziarnienia	GT _A 20
	Kształt kruszywa grubego: Wskaźnik kształtu, SI Wskaźnik płaskości, FI	SI ₄₀ FI ₃₅
	Gęstość objętościowa ziarn, Mg/m ³ , pa	0/4–2,45 (+/- 0,1) 4/31,5–2,76 (+/- 0,1)
	Gęstość ziarn wysuszonych w suszarce, Mg/m ³ , prd	0/4–2,32 (+/- 0,1) 4/31,5–2,70 (+/- 0,1)
	Gęstość ziarn nasyconych i powierzchniowo osuszonych, Mg/m ³ , pssd	0/4–2,38 (+/- 0,1) 4/31,5–2,73 (+/- 0,1)
Zanieczyszczenie	Zawartość pyłów, f%	f ₃
	Jakość pyłów: Błękit metylenowy, MB Wskaźnik piaskowy, SE	MB 10 SE ₃₅
	Procent ziarn przekruszonych	Procentowa zawartość ziarn o powierzchni przekruszonej i tamanej oraz całkowicie zaokrąglonych w kruszywach grubym, C%
Odporność na rozdrabnianie/kruszenie	Odporność na rozdrabnianie, LA	LA ₃₅
Nasiąkliwość/podciąganie	Nasiąkliwość, WA24	NPD
Skład/zawartość		RC _{NR} Rcu950 Rb ₃₀ Ra _{NR} Rg _{NR} X ₁ FL ₅
	Siarczany rozpuszczalne w kwasie, AS	AS _{0,2}
	Siarka całkowita, S	S1
	Składniki, które wpływają na szybkość wiązania i twardnienia mieszanek związanych hydraulicznie	spełnia wartość progową
	Odporność na ścieranie	Odporność na ścieranie, MDE
Trwałość a wietrzenie	Zgorzel stoneczna, SBLA	NPD
Trwałość a zamrażanie/rozmarzanie	Mrozoodporność, F %	F ₄

Właściwości użytkowe wyżej określonego wyboru są zgodne z zestawem deklarowanych właściwości użytkowych. Niniejsza deklaracja właściwości użytkowych wydana zostaje zgodnie z rozporządzeniem (UE) nr 305/2011 na wyłączną odpowiedzialność producenta określonego powyżej.

Tabela 6. Deklarowane właściwości dla wymagań stosowania ECOSource Holcim, zgodne z WT-4 [12]

Pełna zgodność na konstrukcje:

- warstwy ulepszonego podłoża – KR1-KR6
- podbudowy pomocnicze – KR1-KR6
- podbudowy zasadnicze – KR-KR6
- nawierzchnie z kruszywa obciążone ruchem KR1-KR2



<https://www.holcim.pl/kruszywa-z-recyklingu-ecosource>



Przesiewacz do frakcjonowania kruszyw podczas produkcji



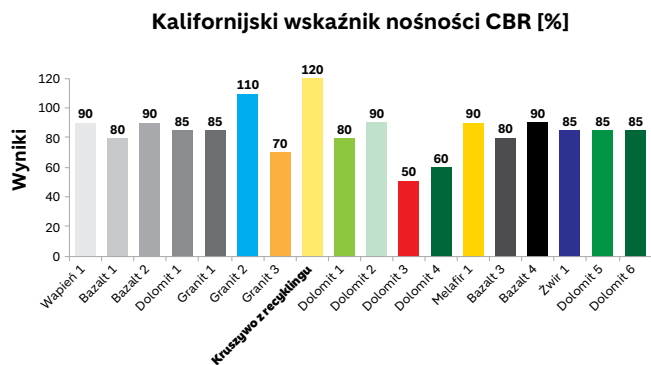
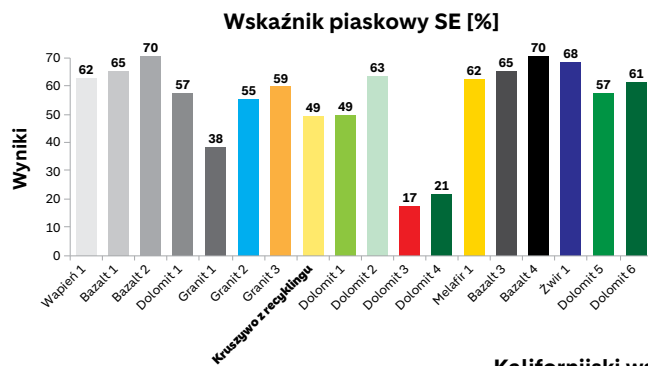
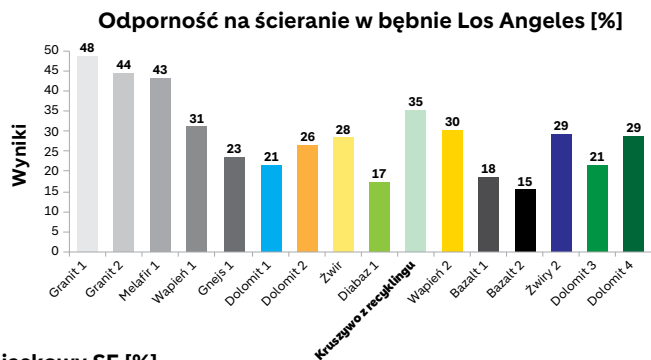
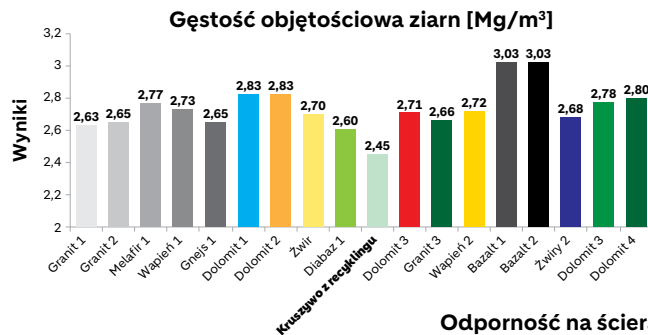
CIEKAWOSTKA

Kruszywa z recyklingu nie odbiegają jakością od kruszyw naturalnych. Mieszanki powstałe z recyklingu betonu osiągają bardzo wysokie parametry fizyko-mechaniczne.

Na podstawie wieloletnich badań przedstawiono porównanie kilku parametrów mieszanek o ciągłym uziarnieniu frakcji 0–31,5 mm uzyskanych z rynku. Warto zwrócić uwagę,

jak duży rozrzut potrafi być między wynikami pochodzącymi z różnych lokalizacji kruszyw w Polsce. Natomiast warto zauważyć, że dobrze dobrane i wyselekcjonowane kruszywa

z recyklingu charakteryzują się parametrami zapewniającymi ich swobodne stosowanie w warstwach podbudowy, ponieważ spełniają wytyczne zarówno WT-4, jak i SST.



Rysunek 7. Porównanie kilku parametrów mieszank

PROJEKTOWANIE MIESZANEK ZWIĄZANYCH

Autor: Przemysław Stałowski

Projektując mieszanki związane spoiwami hydraulicznymi, należy wziąć pod uwagę przede wszystkim miejsce ich zastosowania. W Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych [4] oraz Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych [3] są miejsca wskazania zastosowania mieszank związanych. Same mieszanki projektuje się jednak wg PN-EN PN-EN 14227-1:2013-10 Mieszanki związane spoiwem

hydraulicznym – Specyfikacje – Część 1: Mieszanki związane cementem [16]. Mimo że ta norma nie jest zharmonizowana, to jest normą odniesienia do certyfikacji mieszanki związanej jako wyrobu budowlanego zgodnie z rozporządzeniem [6]. Często stosuje się jednak wytyczne dla mieszank związanych wg polskich przepisów, czyli Wytycznych Technicznych nr 5 [2]. Co istotne – normy z serii PN-EN nie są instrukcjami stosowania danych

rozwiązań konstrukcyjnych, jak to było z polskimi normami branżowymi, np. z serii PN-S-..., a są formami kategoryzowania wyrobów. Warto zwrócić uwagę, że w wymienionych Katalogach [3,4] nie stosuje się w ogóle konstrukcji ze stabilizacji grunto-cementowych wg PN-S 96012:1997 [9]. Co istotne – takie konstrukcje nie są wykluczone. Istnieją bardzo ważne różnice między tymi typami konstrukcji (tab. 7).

PN-S 96012:1997

- Pełna instrukcja wykonywania stabilizacji na miejscu oraz w mieszarkach stacjonarnych;
- Wytyczne dla materiałów wsadowych do stabilizacji i jasne kryterium oceny prawidłowości wykonanej stabilizacji;
- Tańsza w produkcji – nie wymaga wyselekcjonowanych surowców mineralnych;
- Tylko trzy klasy stabilizacji.

PN-EN 14227-1:2013-10

- Norma podaje sposób klasyfikowania i sposoby oceny mieszanki związanej;
- Mieszanki związane wymagają selekcjonowanych materiałów wsadowych pod względem uziarnienia;
- Większe pole doboru wytrzymałości mieszanki związanej cementem oraz gotowe rozwiązanie w KTKN PiP oraz KTKNS;
- Droga w produkcji ze względu na określenie krzywych granicznych dla produktu;
- Szeroki wachlarz rodzajów i typów wg wytrzymałości i uziarnienia.

Tabela 7. Podstawowe różnice wg wytycznych normowych

PROJEKTOWANIE STABILIZACJI WG PN-S 96012:1997

W pierwszej kolejności ważne jest, aby wiedzieć, z jakim gruntem ma się do czynienia. Grunty dzieli się na spoisłe i niespoisłe. Grunty niespoisłe to inaczej grunty sypkie, które w ocenie makroskopowej uwzględniają poszczególne

ziarna mineralne. Rozróżnia się różne typy grunty niespoisłych, a do najpowszechniej spotykanych należą: żwiry, pospółki i piaski grubo-, średnio- i drobnoziarniste [5] (tab. 8). Grunty spoisłe są to grunty, które w stanie suchym są zbrylone

i cechują się takim parametrem jak wskaźnik plastyczności, który charakteryzuje wrażliwość gruntu na działanie wody [5]. Grunty spoisłe to m.in. gliny piaszczyste, pylaste bądź ilaste oraz piaski glińaste, pylaste bądź ilaste [21].



CIEKAWOSTKA

Ostatecznym kryterium przydatności spoiwa i gruntu w stabilizacji jest osiągnięcie jej parametrów wytrzymałościowych.

Sam rodzaj gruntu nie jest wyznacznikiem możliwości jego zastosowania. Ważne są też jego parametry fizykochemiczne.

Stabilizacje wykonywane zgodnie z normą PN-S 96012:1997 [17] stosuje się głównie technologię

mieszania na miejscu, dlatego też nie ma możliwości wpływu na to, w jakim stanie jest grunt stabilizowany lub co w nim jest. Nie zwalnia to jednak wykonawcy z obowiązku jego dokładnej analizy. Pomoc w tym może ww.

norma, w której zawarta jest pełna instrukcja projektowania stabilizacji. Począwszy od parametrów kruszyw, zgodnie z tabelą 7.

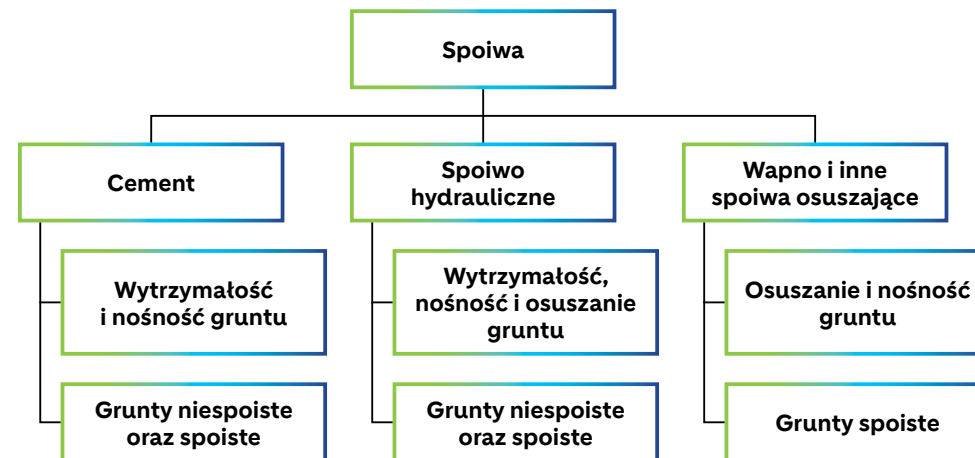
Lp.	Właściwości	Jednostki	Wymagania
1	2	3	4
1	Uziarnienie:		
	- zawartość ziarn przechodzących przez sito # 50 mm,	% (m/m)	100
	- zawartość ziarn przechodzących przez sito # 25 mm,	% (m/m)	85-100
	- zawartość ziarn przechodzących przez sito # 4 mm,	% (m/m)	50-100
	- zawartość ziarn przechodzących przez sito # 0,25 mm,	% (m/m)	10-100
	- zawartość ziarn przechodzących przez sito # 0,05 mm,	% (m/m)	0-100
- zawartość części mniejszych od 0,002 mm, nie więcej niż	% (m/m)	20	
2	Granica płynności, nie więcej niż	% (m/m)	40
3	Wskaźnik plastyczności, nie więcej niż	% (m/m)	15
4	Odczyn pH	-	od 5 do 8
5	Zawartość części organicznych, nie więcej niż	% (m/m)	2,0
6	Zawartość siarczanów, przeliczonych na SO ₃ , nie więcej niż	% (m/m)	1,0

Tabela 8. Tablica 1 z PN-S 96012:1997 Wymagania stosowanych kruszyw [17]

W tabeli 8 pierwsze, co się rzuca w oczy, to określenie składu ziarnowego – wymienione sита nie są już stosowane zgodnie z obowiązującymi normami w Polsce – PN-EN 933-1:2012. Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczanie składu ziarnowego – Metoda przesiewania [22]. Pozostałe parametry są natomiast jak najbardziej aktualne i stosowane. Najważniejszymi z nich są jednak parametry warunkujące możliwość wiązania cementów. W przypadku gruntów zbyt kwaśnych lub zawierających

zbyt dużo części organicznych (tab. 8) nie zwiążą się one z cementem lub w znacznym stopniu takie wiązanie będzie ograniczone. Pozostałe parametry, np. wskaźnik plastyczności czy wskaźnik piaskowy, nie wpływają na to, czy grunty mogą zostać zastabilizowane. Norma PN-S 96012:1997 przywołuje natomiast pewien rodzaj furtki, czyli ostateczne kryterium przydatności gruntu do stabilizacji to spełnienie założonych wytrzymałości i mrozoodporności projektowanej warstwy [17].

Rozpoznanie gruntów – jak wspomniano wcześniej – jest pierwszym krokiem doboru odpowiedniego spoiwa. W praktyce projektowanie stabilizacji wykonuje się metodą prób i błędów w laboratorium i nie ma innego sposobu doboru odpowiedniej ilości i odpowiedniego rodzaju spoiwa do tej procedury. Najpowszechniej stosuje się dodatek spoiwa w ilościach do 2% wagowych w stosunku do suchej masy gruntu. Dobór spoiwa można dobrać wg schematu (rys. 8).



Rysunek 8. Schemat doboru spoiwa w zależności od rodzaju gruntu

Kolejnym krokiem doboru spoiwa jest wykonanie próbek w liczbie 9 sztuk i oznaczenie ich wytrzymałości po 7 i 28 dniach dojrzewania oraz wytrzymałości na działanie mrozu po 14 cyklach. W każdym z tych przypadków bada się po 3 próbki. Próbkę są wykonywane w formach walcowych o wymiarach 80 × 80 mm, ubijając każdą z nich zgodnie z energią zagęszczania

Proctora, czyli 0,59 J/cm² [23]. Oznacza to nic innego, jak wykonanie odpowiedniej liczby uderzeń ubijakiem o określonej masie z określoną wysokością spadu. Ubijak można dobrać indywidualnie, ważne jest natomiast, aby obliczona energia wynosiła 0,59 J/cm². Jak wiadomo, stabilizacja to mieszanka gruntu, spoiwa i wody. Mając już dobrany grunt,

wybrane spoiwo i określoną metodę badania, czyli wielkość próbek i energię zagęszczenia, należałoby wyznaczyć, jaka ma być odpowiednia ilość wody w takiej mieszance. Wykonuje się to za pomocą badania Proctora [23], wyznaczając wilgotność optymalną gruntu. Jest to wielkość charakteryzująca ilość wody, przy której grunt osiąga największą gęstość objętościową.



Doprowadzenie gruntu do wilgotności optymalnej, wysiew cementu, mieszanie gruntu

GRUNTAR 22,5 HRB E 3



GRUNTAR 22,5 HRB E 3 to hydrauliczne spoiwo drogowe na bazie klinkieru portlandzkiego oraz odpowiednio dobranych dodatków mineralnych.

GLÓWNE ZASTOSOWANIA



Warstwy ulepszonego podłoża



W budowie nasypów z gruntów spoiwstych



Warstwy podbudowy pomocniczej i zasadniczej



W budowie nasypów z gruntów przekraczających wilgotność optymalną



W budowie nasypów z materiałów trudnych do zagęszczenia



Osuszenie z jednoczesną poprawą parametrów fizykochemicznych gruntu

KORZYŚCI Z ZASTOSOWANIA PRODUKTU



Wysoka skuteczność w zastosowaniu do gruntów przekraczających wilgotność optymalną



Obniżenie kosztów w odniesieniu do warstw konstrukcyjnych



Natychmiastowe polepszenie parametrów nośności gruntu

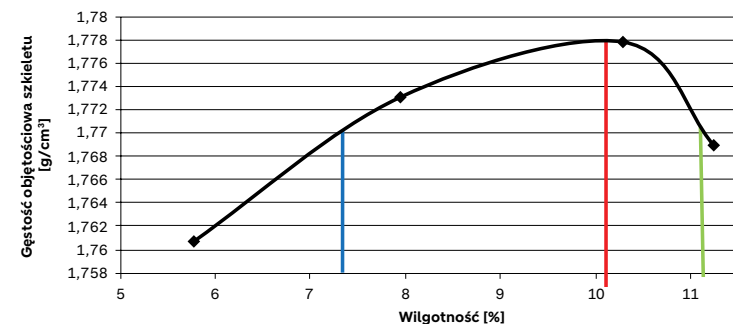


Jednoczesne osuszenie i nadanie wytrzymałości oraz nośności gruntem spoiwstym i niespoiwstym

Produkt zgodny z KOT – dopuszczenie do użytku w całym kraju zgodnie z przeznaczeniem



Dodatek – 3% HRB E3



Rysunek 9. Wykres wyniku badań Proctora



CIEKAWOSTKA

Badanie Proctora jest podstawowym badaniem przy projektowaniu stabilizacji i mieszanek związanych. Bez znajomości gęstości gruntu niemożliwe jest dobranie konkretnej ilości spoiwa.

Rysunek 9 przedstawia wykres zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od ilości wody. Czerwona linia pokazuje maksymalną gęstość przy danej wilgotności – jest to punkt wilgotności optymalnej (ok. 10,1%). Niebieska linia wskazuje taką samą gęstość jak zielona linia – patrząc na oś pionową. Co to oznacza? Nadmiar wody

powyżej wartości granicznej, jaką może przyjąć grunt, czyli powyżej wilgotności optymalnej, sprawia, że taki materiał zagęszcza się w trudny sposób, a wręcz występuje zjawisko „niedogęszczenia”. W normie PN-S 96012:1997 [9] oraz wszelkich zapisach w SST dopuszcza się odchyłki od wartości optymalnej zawartości wody –2% i +1%.

Wyraźnie jednak widać, że nadmiar ilości wody niekoniecznie może być dopuszczony. Podsumowując, samo projektowanie polega na wyznaczeniu kilku badań laboratoryjnych w celu osiągnięcia wymaganych właściwości wg tabeli 9.

- Badanie Proctora w celu określenia wilgotności optymalnej niezbędnej do sporządzenia próbek. Odpowiednio dobrana ilość wody zapewnia 100% zagęszczenie oraz jest niezbędna do procesu hydratacji cementu [23].
- Analiza sitowa – określenie rodzaju gruntu [22].
- Wyznaczenie wskaźnika plastyczności gruntu IL – parametr wskazujący, jak łatwo można upłynnić grunty spoiwstych. Im niższa wartość wskaźnika plastyczności, tym mniej wody wymaga się do uplastycznienia gruntu [23].
- Wyznaczenie wskaźnika piaskowego SE badanego gruntu – jest to inaczej parametr mówiący o jakości części pylastych w gruncie, które odpowiadają za jego możliwość uplastyczniania. Im niższy wskaźnik piaskowy, tym grunt wykazuje tendencję do uplastyczniania się, a co za tym idzie – wykazuje również niższą odporność na przemarzanie [23].
- Sporządzenie 3 próbek i określenie ich wytrzymałości po 7 dniach dojrzewania przy przechowywaniu ich w komorze wilgotnościowej (min. 96%) lub w wilgotnym piasku w temperaturze laboratoryjnej 20 ± 2°C [17].
- Sporządzenie 3 próbek i określenie ich wytrzymałości po 28 dniach dojrzewania przy przechowywaniu ich przez 14 dni w komorze (96%) lub wilgotnym piasku po czym zanurzenie próbek całkowicie w wodzie przez okres kolejnych 14 dni – temperatura laboratoryjna 20 ± 2°C [9].
- Sporządzenie 3 próbek i określenie ich mrozoodporności po 14 cyklach – 8 godzin zamrażania w temperaturze –23°C i 16 godzin odmarzania w temperaturze laboratoryjnej 20 ± 2°C. Pielęgnacja odbywa się poprzez przechowywanie próbek w komorze (96%) lub wilgotnym piasku przez okres 13 dni, następnie zanurzenie tych próbek na 1 dobę na wysokość ok. 1 cm, po upływie doby, całkowite zanurzenie i poddanie cyklom zamrażania i odmarzania [9].
- Wykonanie badań wytrzymałościowych – prędkość posuwu tłoka prasy musi wynosić 0,2–0,4 mm/s [9]. W praktyce – im niższa prędkość posuwu tłoka, tym uzyskuje się wyższy wynik.



CIEKAWOSTKA

Stabilizacja to nie to samo, co mieszanka związana. Różnice są nie tylko w nazwie, ale w badaniach wytrzymałościowych, wielkości i przechowywaniu próbek oraz ich pielęgnacji.

Lp.	Rodzaj warstwy w konstrukcji nawierzchni drogowej	Wytrzymałość na ściskanie próbek nasyconych wodą		Wskaźnik mrozoodporności
		R7	R28	
		MPa		
		3	4	5
1	Podbudowa zasadnicza nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR1 lub podbudowa pomocnicza nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR2 od 2 do 6	od 1,6 do 2,2	od 2,5 do 5,0	0,7
2	Górna część warstwy ulepszonego podłoża gruntowego o grubości co najmniej 10 cm w przypadku budowy nawierzchni dróg obciążonych ruchem kategorii KR5 i KR6 lub górna część warstwy ulepszenia słabego podłoża z gruntów wrażliwych oraz wysadzinowych	od 1,0 do 1,6	od 1,5 do 2,5	0,6
3	Dolna część warstwy ulepszonego podłoża gruntowego w przypadku posadowienia konstrukcji nawierzchni na podłożu z gruntów wrażliwych na działanie mrozu i wody (wrażliwych i wysadzinowych)	-	od 0,5 do 1,5	0,6

Tabela 9. Wymagania dla stabilizacji wg PN-S 96012:1997 [17]

PROJEKTOWANIE MIESZANEK ZWIĄZANYCH

Norma PN-EN 14227-1:2013-10 parametryzuje określone właściwości dla mieszanek związanych. Jest to jedna z podstawowych różnic w porównaniu z normą branżową [17], w której zawarty jest przepis wykonania wszystkich badań wraz ze wzorami niezbędnymi

do obliczenia. W przypadku mieszanek związanych należy skupić się na nieco innej strukturze. Ważny jest przede wszystkim dobór kruszywa, ponieważ zwykle mieszanki związane wykonuje się na węźle betoniarskim. Ideą projektowania jest taki dobór

stosu okruszowego, aby dodać jak najniższą ilość spoiwa w celu uzyskania wymaganej wytrzymałości (tab. 9). Klas wytrzymałości wg normy jest 20, z otwartą możliwością zadeklarowania dodatkowej klasy przez producenta – C_{DV} .

L.p.	Minimalne R_c dla cylindrów o smukłości równej 2 MPa ^a	Minimalne R_c dla cylindrów o smukłości równej 1 ^a oraz dla sześciątów MPa	Klasa R_c
1	0,4	0,5	$C_{0,4/0,5}$
2	0,8	1	$C_{0,8/1}$
3	1,5	2	$C_{1,5/2}$
4	2,3	3	$C_{2,3/3}$
5	3	4	$C_{3/4}$
6	4	5	$C_{4/5}$
7	5	6	$C_{5/6}$
8	6	8	$C_{6/8}$
9	8	10	$C_{8/10}$
10	9	12	$C_{9/12}$
11	12	16	$C_{12/16}$
12	15	20	$C_{15/20}$
13	18	24	$C_{18/24}$
14	21	28	$C_{21/28}$
15	24	32	$C_{24/32}$
16	27	36	$C_{27/36}$
17	30	40	$C_{30/40}$
18	33	44	$C_{33/44}$
19	36	48	$C_{36/48}$
20	Deklarowana wartość	Deklarowana wartość	C_{DV}

^a Jeśli używane są cylindry o smukłości innej niż 1 lub 2, należy przed użyciem ustalić korelację z cylindrami o smukłości równej 1 lub 2.

Tabela 10. Klasy wytrzymałości mieszanek związanych wg PN-EN 14227-1:2013-10 [16].



CIEKAWOSTKA

WT-5 i norma PN-EN 14227-1:2013-10 to dwa bardzo różniące się od siebie dokumenty.

Samo projektowanie rozpoczyna się doбором kruszywa. W normie nie ma wskazania, jakie właściwości kruszywa należy spełnić, aby było ono przydatne do wbudowania jako mieszanina ze spoiwem. Dlatego GDDKiA wydała dokument techniczny WT-5 [2] po to, aby

ułatwić projektowanie i dobór parametrów, celem uzyskania odpowiednich klas mieszanki związanej. W niniejszym opracowaniu skupiono się na analizie dokumentu WT-5 [2] ze względu na jego powszechność i wykorzystanie w przypadku większości

inwestycji w Polsce. Różnica polega przede wszystkim na mniejszej liczbie rodzajów mieszanek związanych (tab. 11).

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	$C_{3,0/4,0}$
4	5,0	6,0	$C_{5,0/6,0}$
5	8,0	10,0	$C_{8,0/10,0}$
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 1,2 l

Tabela 11. Klasy wytrzymałości mieszanek związanych wg WT-5 [2]

Dobór kruszywa odbywa się natomiast na zasadzie jego kategoryzowania i deklarowania wg normy PN-EN 13242+A1:2010. Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym [12]. Większość parametrów kruszywa jest deklarowanych przez producenta lub nie są one wymagane przy projektowaniu mieszanki – mogą mieć dowolne wartości. Tak jak w przypadku normy PN-S 96012:1997 [17] pewne parametry muszą być jednak spełnione po to, aby

nastąpiło poprawne wiązanie cementu i aby mieszanka nie ulegała korozji (tab. 12). Zwracając uwagę na parametr siarczanów rozpuszczalnych w kwasie kat. $AS_{0,2}$, można zaobserwować, że jest on bardziej restrykcyjny niż w przypadku kruszyw stosowanych w betonie, tj. wymagane $AS_{0,8}$. Jest to nic innego, jak próba zapobieżenia wystąpieniu korozji siarczanowej, na którą podatniejsze są mieszanki związane występujące nisko w konstrukcji drogowej. Korozja siarczanowa może wystąpić na obszarach spływu np. wód po nawożeniu pól lub

w przypadku zanieczyszczonych wód gruntowych o wysokim poziomie w stosunku do terenu. Dlatego warto w takich przypadkach stosować cementy, które są odporne na działanie siarczanów, np. CEM II B-V 32,5 R-HSR. Należy jednak pamiętać, że aby wystąpiła korozja siarczanowa, muszą być spełnione jednocześnie trzy warunki (rys. 10). Zwykle mieszanki związane stanowią podbudowę pomocniczą bądź zasadniczą, czyli warstwy odcięte od dopływu jakiegokolwiek wody – czy to spływowej, gruntowej lub opadowej.

Siarczany rozpuszczalne w kwasie	PN-EN 1744-1	6.2	Kruszywo kamienne: kat. $AS_{0,2}$ Żużel kawałkowy wielkopieczowy: kat. $AS_{1,0}$
Całkowita zawartość siarki	PN-EN 1744-1	6.3	Kruszywo kamienne: kat. S_{NR} Żużel kawałkowy wielkopieczowy: kat. S_2

Tabela 12. Fragment tabeli 1 z WT-5 [2]



Rysunek 10. Czynniki wywołujące zjawisko korozji. Niekorzystne warunki atmosferyczne – środowisko bardzo wilgotne

W WT-5 podaje się wytyczne końcowego uziarnienia dla kruszywa. Jest to o tyle wygodne, o ile dobór parametru uziarnienia jest dobierany dowolnie, a uzależnia to jedynie warstwa konstrukcyjna, w której dana mieszanka będzie zastosowana. Z wyłączeniem jednak najniższej kategorii uziarnienia 0/8 mm, gdzie

można go stosować jedynie dla konstrukcji w kategoriach ruchu KR1–KR2 dla klasy nie wyższej niż $C_{1,5/2,0}$. Dlaczego to jest tak ważne? Z założenia mieszanki związane mają być konstrukcjami, które bardzo dobrze przenoszą nośności i prawie w każdym wypadku będzie spełniona mrozoodporność takiej warstwy

przy doborze odpowiedniego uziarnienia. Ponadto stos okruszowy mieszanek charakteryzuje się również bardzo dobrym parametrem szczelności, który definiuje się jako stosunek objętości ziaren do objętości mieszanki zawierającej ziarna i wolne przestrzenie. Parametr ten oblicza się zgodnie z [24]:

$$C = (ym/100) \times (a/yA + b/yB + c/yC...)$$

gdzie:

C – szczelność
ym – maksymalna gęstość objętościowa mieszanki w stanie suchym (Mg/m^3)
yA – gęstość objętościowa ziaren składnika A (Mg/m^3)
yB – gęstość objętościowa ziaren składnika B (Mg/m^3)

yC – gęstość objętościowa ziaren składnika C (Mg/m^3)
a – zawartość składnika A w masie mieszanki (%)
b – zawartość składnika B w masie mieszanki (%)
c – zawartość składnika C w masie mieszanki (%)



<https://www.holcim.pl/cement-cem-iib-v-325-r-hsr-0>



<https://www.holcim.pl/cement-cem-iib-v-325-r-hsrna>



CIEKAWOSTKA

Odpowiednia zawartość frakcji pyłastej w mieszance związanej poprawia wytrzymałość danej mieszanki.

Co bardzo istotne – maksymalną gęstość objętościową mieszanki w stanie suchym określa się za pomocą zmodyfikowanej metody Proctora zgodnie z PN-EN 13286-2:2010.

Mieszanki niezwiązane i związane hydraulicznie – Część 2: Metody badań laboratoryjnych gęstości na sucho i zawartości wody – Zagęszczanie metodą Proktora. Oznacza to, że należy do próbek dostarczyć wyższą energię zagęszczania, tj. ok. 2,60 MJ/m³ [25], a następnie podstawić uzyskane wartości do wzoru C. Zawartości poszczególnych składników

odczytuje się na podstawie ich dodatku procentowego, a nie na podstawie np. zawartości frakcji. Parametr szczelności deklaruje się dla mieszanek związanych w klasach C3/4 i wyższych, zgodnie z polskimi SST. Skoro wiadomo, czemu służy ciągotność i dobór odpowiedniego uziarnienia, należy takie uziarnienie dobrać do odpowiedniej warstwy w podbudowie. Pomoc w tym może dokument WT-5 (tab. 13), w kooperacji z Katalogami Typowych Konstrukcji Nawierzchni (tab. 14) [3,4]. Mając odpowiednią kategorię ruchu, np. KR5–KR6,

można zastosować mieszanki związane o uziarnieniach 0/11,2 mm, 0/16 mm, 0/22,4 mm oraz 0/31,5 mm w klasie wytrzymałości C5/6 (tab. 13). Ta klasa wytrzymałości ma natomiast ograniczenia w uzyskanych wynikach między 6 MPa a 10 MPa (tab. 13). Tak analizując, można z powodzeniem zaprojektować mieszankę związaną dla konkretnego zapytania handlowego, nie popetniając przy tym błędów przy doborze odpowiednich frakcji.

Lp.	Właściwości	Wymagania			Uwagi
		KR1-KR2	KR3-KR4	KR5-KR6	
1.0	Składniki				
1.1	Cement	wg PN-EN 197-1	wg PN-EN 197-1	wg PN-EN 197-1	
1.2	Kruszywo	tablica 1.1	tablica 1.1	tablica 1.1	
1.3	Woda zarobowa	p. 1.1.3	p. 1.1.3	p. 1.1.3	
1.4	Dodatki	p. 1.1.4	p. 1.1.4	p. 1.1.4	
2.0	Mieszanka				
2.1	Uziarnienie	krzywe graniczne uziarnienia			
	- mieszanka CBGM 0/8 mm	rys. 1.5	-	-	
	- mieszanka CBGM 0/11,2 mm	rys. 1.4	rys. 1.4	rys. 1.4	
	- mieszanka CBGM 0/16 mm	rys. 1.3	rys. 1.3	rys. 1.3	
	- mieszanka CBGM 0/22,4 mm	rys. 1.2	rys. 1.2	rys. 1.2	
	- mieszanka CBGM 0/31,5 mm	rys. 1.1	rys. 1.1	rys. 1.1	
2.2	Minimalna zawartość cementu	wg tablicy 1.3	wg tablicy 1.3	wg tablicy 1.3	
2.3	Zawartość wody	wg projektu	wg projektu	wg projektu	Ustalenie na podstawie PN-EN13286-2
2.4	Wytrzymałość na ściskanie (system I) – klasa wytrzymałości R _c wg tablicy 1.2	klasa C 1,5/2,0 (nie więcej niż 4,0 MPa)	klasa C 3/4 (nie więcej niż 6,0 MPa)	klasa C 5/6 (nie więcej niż 10,0 MPa)	Badanie wg PN-EN13286-41 po 28 dniach pielęgnacji
2.5	Mrozoodporność	≥0,6	≥0,6	≥0,6	Badanie wg p. 1.2.8

Tabela 13. Graniczne krzywe uziarnienia dla mieszanek związanych wg WT-5 [2]

Lp.	Rodzaj warstwy	Mieszanki związane spoiwami hydraulicznymi						
		Podbudowa zasadnicza			Podbudowa pomocnicza			Warstwa mrozo-ochronna
		KR1-KR2 ^{*)}	KR3-KR4 ^{*)}	KR5-KR7	KR1-KR2	KR3-KR4	KR5-KR7	
1.	Mieszanki związane cementem wg PN-EN 14227-1	C3/4 ≤ 6 MPa	C5/6 ≤ 10 MPa	C8/10 ≤ 20 MPa	Warstwa podbudowy pomocniczej nie występuje w rozwiązaniach zaproponowanych w Katalogu dla kategorii ruchu KR1-KR2	C3/4 ≤ 6 MPa	C5/6 ≤ 10 MPa	C1,5/2 ≤ 4 MPa

* W typowych konstrukcjach nawierzchni sztywnych – nie stosuje się dla kategorii KR1-KR3
Uwaga: Określenie „nie stosuje się” oznacza, że materiał ten nie występuje w rozwiązaniach zaproponowanych w Katalogu dla danej warstwy.

Tabela 14. Dobór klasy wytrzymałości mieszanki związanej w podbudowie [4]



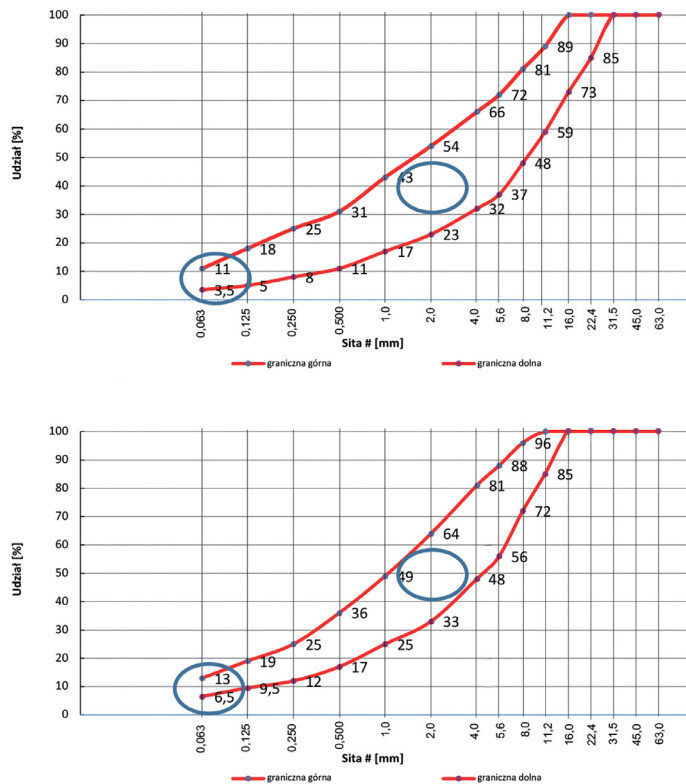
CIEKAWOSTKA

Projektując mieszankę związaną, najpierw dobieramy frakcje mineralne. Ani cement, ani popiół nie wchodzi do krzywej projektowej.

Przyglądając się samym krzywym uziarnienia, warto spojrzeć m.in. na aspekt ekonomiczny, który determinuje to, jak drogi będzie końcowy produkt. Zależy to przede wszystkim od kategorii uziarnienia. Mylnie jednak jest to, że kategoria uziarnienia 0/11,2 mm będzie tańsza w doborze niż kategoria np. 0/22,4 mm. Jest to spowodowane dwoma czynnikami – doбором odpowiedniej ilości frakcji

powyżej 2 mm oraz frakcji pyłastej poniżej 0,063 mm. Jak w przypadku frakcji grubych, które są łatwo dostępne na węźle betoniarskim, nie ma problemu, tak kruszywo zapyłone ciężko spotkać. Zwykle wykorzystuje się kruszywa czyste o niskim wskaźniku f [11]. Do produkcji betonów wysokie zapylenie kruszywa jest niesprzyjające, natomiast dla mieszanek związanych

wymagane do odpowiednich wartości. W przypadku uziarnienia 0/11,2 mm wymaga się zapylenia na minimalnym poziomie 6,5%, a dla uziarnienia 0/22,4 mm – już tylko 3,5%, co jest prawie dwukrotną różnicą. Analizując dobór frakcji grubych – zawartość powyżej sita # 2 mm jest na bardzo zbliżonym poziomie – ok. 50%. Ważne jest, aby dobrana krzywa była o ciągłym uziarnieniu (rys. 11).



Rysunek 11. Wykresy uziarnienia 0/11,2 mm oraz 0/22,4 mm



CIEKAWOSTKA

Im niższa kategoria uziarnienia, tym większy udział frakcji pyłastej jest wymagany.

Mając już uwzględnione parametry projektowe mieszanki związanej, czyli klasę uziarnienia, wytrzymałości i wymagania szczelności, należy przystąpić do wyboru spoiwa. W przypadku niskich klas wytrzymałości, tj. do C5/6, dobrym rozwiązaniem jest np. CEM II/C-M (V-LL) 32,5 R lub CEM II B-V 32,5R HSR. Cementy te nie odbiegają

od siebie parametrami, obydwa są stosowane w tożsamej klasie, przy czym – jak wcześniej wspomniano – jeden z nich dobrze sobie radzi z materiałem nieznacznie przekraczającym wartość wilgotności optymalnej, a drugi – może być wykorzystywany wszędzie tam, gdzie istnieje zjawisko występowania korozji siarczanowej. Po doborze

odpowiedniego rodzaju cementu należy wykonać serię próbek do badania wytrzymałości i mrozoodporności. W odróżnieniu od normy PN-S 96012:1997 [17] próbki bada się tylko po 28 dniach pod względem wytrzymałości, przy przechowywaniu ich przez 14 dni w komorze wilgotnościowej (95–100%) lub w wilgotnym

piasku, a po tym czasie należy je zanurzyć w wodzie o temperaturze pokojowej, tj. $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Do badania mrozoodporności przystępuje się, pielęgnując próbki przez 28 dni w komorze wilgotnościowej (95–100%) lub w wilgotnym piasku, a następnie poddaje 14 cyklom zamrażania w temperaturze $-23 \pm 2^\circ\text{C}$ przez 8 godzin i odmrażania w temperaturze $+18 \pm 2^\circ\text{C}$ przez 16 godzin. Próbkę poddaje się ścisnaniu wg PN-EN 13286-41:2022-04. Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem

hydraulicznym – Część 41: Metoda badania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych hydraulicznie [23]. Kolejnym ważnym elementem jest dobór odpowiednich form do produkcji próbek. Uzależnione jest to od uziarnienia. Do uziarnienia 0/22,4 mm włącznie używa się form mniejszych, tj. zgodnie z powszechnym użyciem o wymiarach $100 \times 120 \text{ mm}$ (D/H), natomiast dla uziarnienia 0/31,5 mm używa się form większych $120 \times 150 \text{ mm}$ (D/H). Wymiary te nie są obligatoryjne

i można je stosować zgodnie z [26]. Jako ciekawostkę, warto zaznaczyć, że wartości mrozoodporności wychodzą wyższe w przypadku korzystania z próbek o większym rozmiarze. Podsumowując, projektowanie mieszanek związanych jest nieco odmienne od projektowania stabilizacji. Obejmuje ono jednak również analizę sitową kruszywa, wykonanie badania wskaźnika piaskowego, badania Proctora, badania wytrzymałości i mrozoodporności wg innych kryteriów oraz – dodatkowo – oznaczenia szczelności.

PRODUKCJA MIESZANEK ZWIĄZANYCH

Autor: Przemysław Stałowski

Produkcja mieszanek związanych, jak i stabilizacji dzieli się na produkcję w miejscu wbudowania oraz w mieszarkach stacjonarnych typu węzeł betoniarSKI. Od tego typu konstrukcji wymaga się, aby można je było bardzo szybko ułożyć na dużych obszarach, dlatego wspomniane metody

są skuteczne dla konkretnych warunków budowy. Jak wiadomo, wykonanie połowe na miejscu wiąże się z konkretnymi zasobami sprzętowym, o czym w kolejnych rozdziałach, tak w przypadku rozwiązań stacjonarnych drogi są dwie – albo tradycyjny węzeł betoniarSKI o dużej wydajności, albo mieszarki typu produkcji

ciągłej. Czym się różni dobór odpowiedniego sprzętu? Mieszarki produkcji ciągłej są maszynami, w których zestaw wag pracuje na zasadzie mierzenia ciągłego przepływu surowców, które następnie trafiają do mieszalnika – zwykle ślimakowego (jedno lub dwuwatowego) – i do tego



miejsca dozowany jest cement wraz z wodą i następnie całość trafia bezpośrednio na samochody samowyładowcze. Poza tym, że ta metoda pozwala wyprodukować bardzo duże ilości – nawet 500–600 m³ podczas 8-godzinnej zmiany roboczej, to jest bardzo niedokładna w porównaniu z węzłem betoniarskim.

Często też na takich maszynach brakuje wydruku z czynności naważania surowców, dlatego niemożliwe jest ponowne skontrolowanie np. mieszanki, która jest rozsegregowana lub niejednorodna. Produkcja z takich mieszarek jest jednak bardziej ekonomiczna, ponieważ pochłania dużo mniej energii niż tradycyjny węzeł betoniarski.

Ponadto taką maszynę można bardzo łatwo i szybko rozstawić na budowie, przez co znacznie zmniejsza się koszty logistyki. Warto się jednak zastanowić, czy ilość oznacza również jakość. Wymaga to bezpodstawnie dużego nadzoru i kontroli odpowiednich osób, które biorą udział w procesie budowy.

WYKONYWANIE KONSTRUKCJI DROGOWYCH Z MIESZANEK NIEZWIĄZANYCH

Autorzy: Grzegorz Schmidt i Hubert Losik

Grupą, która w pierwszej kolejności styka się jednak z tematem zapewnienia odpowiedniej nośności i trwałości warstwy z kruszywa niezwiązanego, a co za tym idzie spełnienia wymagań i oczekiwań

związanych z okresem jak najdłuższego użytkowania konstrukcji nawierzchni przy zapewnieniu jej bezpiecznej eksploatacji, są przede wszystkim wykonawcy robót. To na nich spoczywa obowiązek właściwej

realizacji robót zgodnie z projektem budowlano-wykonawczym i specyfikacją techniczną, stanowiącą jego integralną część.

- Opady atmosferyczne nigdy nie były sprzymierzeńcem w realizacji, czy to robót liniowych, czy kubaturowych. Układając podbudowę z kruszywa, należy zabezpieczyć przede wszystkim teren przed ulewami lub podtopieniami spowodowanymi często złym odwodnieniem terenu budowy. W przeciwnym wypadku badania terenowe takiej warstwy mogą nie spełnić wymagań poprzez przekroczenie wilgotności optymalnej danego kruszywa. Należy wtedy wymienić przemoczony materiał na świeży i nie dopuścić do jego ponownego przewilgocenia.
- Przeciwnieństwem jest tutaj pogoda sucha i wietrzna, która sprzyja pracom drogowym przy układaniu kruszywa, natomiast wymaga zwiększonej ilości dostarczonej wody

do mieszanki w celu jej poprawnego zagęszczenia. Temperatura jest również czynnikiem niesprzyjającym, ponieważ – jak wcześniej wspomniano – do poprawnego zagęszczenia wykorzystuje się wodę. W przypadku ujemnych temperatur lub niedokończenia prac w nieodpowiednim momencie należy poczekać na pogodę powodującą rozmarzanie podbudowy w celu poprawnego zagęszczenia warstwy. Nie ma możliwości zagęszczenia kruszywa łamanego o ciągłym uziarnieniu bez dostatecznej ilości wody w odpowiednich warunkach. W tej kwestii każdy rodzaj materiału – czy to mieszanka związana, czy też niezwiązana podlega badaniu Proctora, czyli doprowadzeniu do wilgotności optymalnej.

- W przypadku zagęszczania dużych obszarów, niezbędne do tego jest wykorzystanie odpowiedniego sprzętu, czyli ciężkich walców drogowych. Zależnie od grubości warstw konstrukcyjnych, dobór walca musi być indywidualny. Tak samo liczba przejazdów na każdym pasie roboczym powinna być dobrana w zależności od grubości i rodzaju kruszywa (tab. 15).
- Układanie kruszywa wiąże się również z zastosowaniem odpowiednich odsadzek i geometrii danej warstwy. Podbudowa jest fundamentem dla warstw górnych nawierzchni, dlatego warstwy muszą być odpowiednio stateczne i bezpieczne dla wykonywania wysokich nasypów.

KRUSZYWA ŁAMANE Z KOPALNI HOLCIM

Zasadnicze charakterystyki	Deklarowane właściwości użytkowe	
Kształt, wymiar i gęstość ziarn	Wymiar kruszywa d/D, mm	0/31,5
	Uziarnienie	G _A 85
	Przesiew przez sito D	95
	Przesiew przez sito pośrednie D/2	70
	Przesiew przez sito 0,063	6
	Tolerancja uziarnienia	GT _A 20
	Kształt kruszywa grubego: Wskaźnik kształtu, SI Wskaźnik płaskości, FI	SI ₁₀₀ FI ₃₅
	Gęstość objętościowa ziarn, Mg/m ³ , pa	0/4–2,66 (+/- 0,1) 4/31,5–2,70 (+/- 0,1)
	Gęstość ziarn wysuszonych w suszarce, Mg/m ³ , prd	0/4–2,55 (+/- 0,1) 4/31,5–2,60 (+/- 0,1)
	Gęstość ziarn nasyconych i powierzchniowo osuszonych, Mg/m ³ , pssd	0/4–2,61 (+/- 0,1) 4/31,5–2,64 (+/- 0,1)
Zanieczyszczenie	Zawartość pyłów, f%	f ₃
	Jakość pyłów: Błękit metylenowy, MB Wskaźnik piaskowy, SE	MB 10 SE ₄₅
Procent ziarn przekruszonych	Procentowa zawartość ziarn o powierzchni przekruszonej i łamanej oraz całkowicie zaokrąglonych w kruszywach grubym, C%	
Odporność na rozdrabnianie/kruszenie	Odporność na rozdrabnianie, LA	LA ₃₅
Nasiąkliwość/podciąganie	Nasiąkliwość, WA24	0/4-WA ₂₄ 2 4/31,5-WA ₂₄ 2
	Siarczany rozpuszczalne w kwasie, AS	AS ₁₀ 2
	Siarka całkowita, S	S ₁
Odporność na ścieranie	Składniki, które wpływają na szybkość wiązania i twardnienia mieszanki związanych hydraulicznie	spełnia wartość progową
	Odporność na ścieranie, MDE	M _{DE} 25
Substancje niebezpieczne	Uwalniane substancje niebezpieczne, mg/l	Al <0,040 As <0,050 Ba <0,050 Cd <0,0005 Co <0,005 Cr <0,005 Cu <0,009 Mo <0,005 Ni <0,005 Pb <0,010 V <0,005 Zn <0,050
Trwałość a wietrzenie Trwałość a zamrażanie/ rozmarzanie	Zgorzel stoneczna, SBLA	NPD
	Mrozoodporność, F %	F ₄

Właściwości użytkowe wyżej określonego wyboru są zgodne z zestawem deklaratywnych właściwości użytkowych. Niniejsza deklaracja właściwości użytkowych wydana zostaje zgodnie z rozporządzeniem (UE) nr 305/2011 na wyłączną odpowiedzialność producenta określonego powyżej.

Pełna zgodność na konstrukcje:

- warstwy ulepszonego podłoża – KR1-KR6
- podbudowy pomocnicze – KR1-KR6
- podbudowy zasadnicze – KR-KR6
- nawierzchnie z kruszywa obciążone ruchem KR1-KR2



<https://www.holcim.pl/bazalt>



Rodzaje sprzętu zagęszczającego	Rodzaje gruntu													
	zwały kamieniste		rumosze		żwiry i pospółki		piaski		rumosze gliniaste		żwiry i pospółki gliniaste		iły, gliny, piaski gliniaste	
	h	n	h	n	h	n	h	n	h	n	h	n	h	n
Samobieżne walce statyczne gładkie	-	-	0,20-0,30	3-5	0,20-0,30	3-5	0,20-0,30	4-5	0,15-0,20	4-5	0,15-0,25	4-5	-	-
Samobieżne walce statyczne szerokokółkowe	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25-0,30	4-6	0,25-0,30	4-6	0,30-0,40	4-6
Stacyjne walce przyczepne okółkowane	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15-0,20	7-9
Stacyjne walce przyczepne ogumione	-	-	-	-	-	-	0,20-0,25	6-8	0,20-0,30	4-5	0,20-0,30	4-5	0,20-0,30	4-5
Spycharki gąsienicowe	-	-	-	-	-	-	0,15-0,25	10-15	0,15-0,25	7-9	0,15-0,25	7-9	0,15-0,25	6-10
Zgarniarki ciężkie samobieżne	-	-	-	-	-	-	0,20-0,30	8-12	0,30-0,40	6-8	0,30-0,40	6-8	0,20-0,30	6-8

Tabela 15. Orientacyjna liczba przejazdów i rodzajów walców na materiałach niezwiązanych [27]

się poprzez kontrolę właściwej ilości wody, np. sprawdzając wilgotność takiej mieszanki przy zgodności z recepturą. W przypadku stabilizacji wykonywanej na miejscu kontroluje się również wilgotność poprzez polewanie stabilizowanego obszaru wodą

• Przed przystąpieniem do robót należy odebrać warstwę poniżej zaplanowanej konstrukcji. Tylko badania nośności i/lub wskaźnika zagęszczenia I_p zapewniają prawidłowość wykonanych warstw. Wskaźnik zagęszczenia jest to stosunek zbadanej

gęstości szkieletu gruntowego do tejszej gęstości zbadanej laboratoryjnie. Wyraża się go w zakresie do 1,03 [5]. Prawidłowa i pożądana wartość wskaźnika zagęszczenia wynosi 1,00. Oczywiście jest to wartość dobierana indywidualnie do każdej warstwy.



CIEKAWOSTKA

Temperatura sprzyjająca wiązaniu cementu to minimum 5°C. Nie należy wykonywać robót stabilizacyjnych przy temperaturach niższych bez odpowiedniego zabezpieczenia warstwy.

WYKONYWANIE KONSTRUKCJI DROGOWYCH Z MIESZANEK ZWIĄZANYCH

Autor: Przemysław Stałowski

Układanie warstw z mieszanek związanych i stabilizacji zawsze jest poprzedzone pracami w laboratorium. Stamtąd

pochodzi recepta na dobranie odpowiednich składników końcowego produktu. Aby poprawnie je jednak ułożyć,

należy trzymać się zaleceń zawartych w SST. Poniżej wymieniono 6 podstawowych zasad prawidłowego wykonania:

- Komplet dokumentów – przed przystąpieniem do robót, każdy Wykonawca powinien przedstawić Zamawiającemu, czy też Inwestorowi lub Inspektorowi dokumentację na mieszanki związane bądź stabilizacje, która zostanie zaakceptowana.
- Wykonanie odcinka próbnego – podstawowe działanie bez którego nie powinno się podejmować dalszych działań na budowie. W praktyce niestety często pomija się ten element wykonawstwa. W przypadku dużych inwestycji, gdzie ryzyko popełnienia błędu podczas wykonania niesie za sobą potężne konsekwencje finansowe, poletko próbne jest niezbędne. Wiele laboratoriów, które sporządzają recepty na stabilizacje czy też

mieszanki związane, podkreśla w swoich dokumentach, że należy potwierdzić receptę w warunkach budowy. Często dlatego, że są zmienne warunki gruntowo-wodne w przypadku wykonania na miejscu lub materiał, który trafia do mieszanek związanych jest np. w innych tolerancjach uziarnienia

- Mieszanki związane oraz stabilizacje zawierają w swoim składzie wodę, która – jak wiadomo – zamarza w temperaturach ujemnych. Oprócz wody obecne jest także spoiwo, które do prawidłowego działania, czyli zapoczątkowania reakcji hydratacji, wymaga prawidłowej temperatury otoczenia, która jest określona jako 5°C. Co zrobić w przypadku wykonania warstwy, gdy

temperatura w dzień jest powyżej dopuszczalnej, a w nocy spada nawet kilka stopni poniżej zera? Należy taką warstwę zabezpieczyć, np. przysypując piaskiem, materiałem z recyklingu, np. jako tymczasowa droga dla pojazdów budowy, czy też mniej popularne maty słomiane. Oczywiście każde z tych rozwiązań musi być dopuszczone przez nadzór budowy.

- W przypadku wysokich temperatur istotne jest, aby nie dopuścić do przeschnięcia wykonanej warstwy. Taką warstwę należy pielęgnować w zależności od warunków. W wysokim następcznieniu pielęgnacja jest wymagana natychmiast po wbudowaniu.
- Badanie parametrów mieszanki związanej powinno odbywać



BADANIE POŁOWE DLA MIESZANEK NIEZWIĄZANYCH

Autorzy: Grzegorz Schmidt i Hubert Losik

Częstotliwość i zakres badań określają specyfikacje techniczne. Oprócz podstawowych badań, takich jak uziarnienie mieszanki i zawartość wody w mieszance, czyli badanie Proctora, nie można zapominać o wymaganiach cech geometrycznych warstw podbudowy, do których należą:

- szerokość,
- równość podłużna,
- równość poprzeczna,
- spadki poprzeczne,
- grubość warstwy,
- ukształtowanie osi w planie.

Dla podbudowy wykonanej z mieszanki niezwiązanej głównym badaniem odbiorowym jest badanie płytą statyczną VSS. Przywołuje się badanie wskaźnika zagęszczenia, jednak jest ono wykonywane tylko w sytuacjach spornych lub w przypadku materiału, który jest np. słabonośny, czego nie wykazano w badaniach laboratoryjnych, np. badaniu LA lub CBR. Jednym ze sposobów oceny jakości wykonania warstwy podbudowy jest badanie płytą obciążoną statycznie wg [28], które

obejmuje określenie pierwotnego E_1 i wtórnego E_2 modułu odkształcenia oraz wskaźnika odkształcenia I_0 . W badaniu kilkakrotnie obciąża się i odciąża płytę urządzenia pomiarowego za pomocą cylindra hydraulicznego. Dokonuje się przy tym pomiaru przemieszczenia płyty w ułożonej warstwie kruszywa (gruntu). Na podstawie dokonanych pomiarów określa się moduły nośności.

$$E_1, E_2 = 0,75D \times \frac{\Delta p}{\Delta s}$$

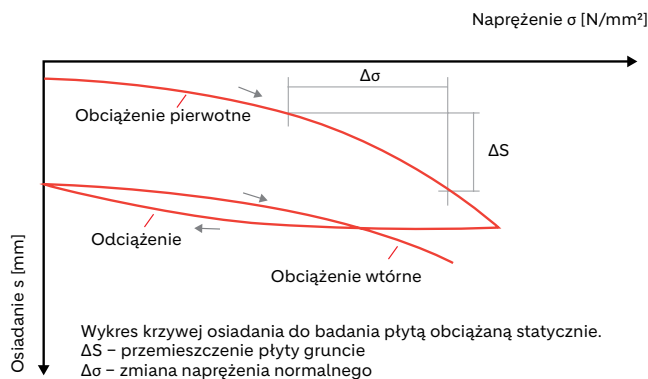
w którym:

- D – średnica płyty w mm,
- Δp – różnica nacisków w kPa,
- Δs – przyrost osiadań odpowiadający przyrostowi nacisków Δp w mm.

Stosunek modułów pełni natomiast funkcję wyznacznika prawidłowości zagęszczenia warstwy. W celu przeprowadzenia badania płytą obciążoną statycznie konieczny jest opór obciążeniowy, którego funkcje mogą pełnić na przykład samochód ciężarowy

z ładunkiem lub walec. Do badań możemy wykorzystywać aparaturę VSS z jedno- lub trzypunktowym pomiarem przemieszczenia płyty. Opracowanie [29] zawiera załącznik B3, który opisuje procedurę wykonania badania modułu odkształcenia warstw konstrukcyjnych podatnych

i podłoża przez obciążenie płytą VSS. Czas trwania badania to zazwyczaj ok. 30–60 min w zależności od rodzaju badanej warstwy.



Rysunek 12. VSS pomiar statyczny – wykres krzywej osiadania [30]

Wykorzystywana w badaniach aparatura badawcza podlega kontroli metrologicznej przynajmniej raz w roku lub po każdej naprawie. Podlega ona również przeglądowi technicznemu, które powinny być przeprowadzane przynajmniej raz w roku w odpowiednim specjalistycznym zakładzie określonym przez producenta. Do badania nośności

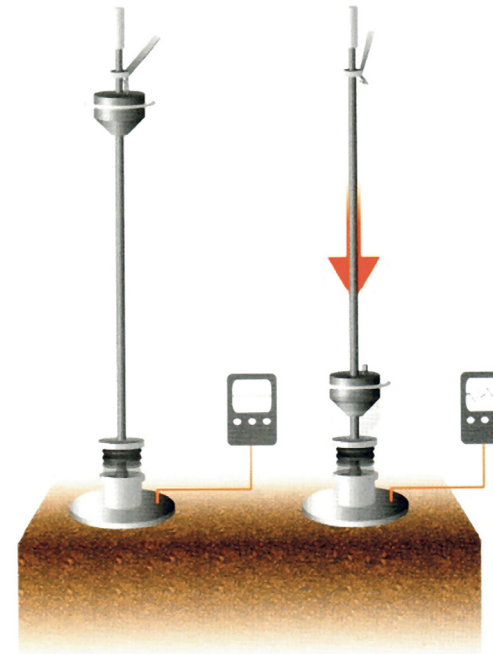
i zagęszczenia warstwy wykorzystać możemy również lekką płytę obciążoną dynamicznie, która pozwala na ustalenie dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} , a więc tym samym nośności i zagęszczenia. W porównaniu z badaniem płytą obciążaną statycznie w badaniu płytą dynamiczną możemy zauważyć dość dużą różnicę, ponieważ

w przypadku płyty obciążonej dynamicznie obciążenie nie jest wywierane przez stały nacisk, lecz przez zamortyzowane uderzenie, a czas tego obciążenia wynosi ok. 18 ms [6]. Dynamiczny moduł odkształcenia podłoża jest obliczany według wzoru [31]:

$$E_{vd} = \frac{1,5 \times r \times \sigma}{s} \quad [\text{N/m}^2]$$

gdzie:

- r – promień płyty naciskowej w m,
- σ – naprężenie w podłożu w N/m²,
- s – amplituda odkształcenia podłoża pod płytą w mm (wartość średnia z trzech pomiarów badawczych następujących po trzech pomiarach wstępnych).



Rysunek 13. Pomiar nośności i zagęszczenia przy użyciu dynamicznego zestawu VSS [30]

Przywołany Katalog [32] w załączniku B4 opisuje procedurę wykonania badania dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą dynamiczną na podstawie ZTVE – StB 941, ZTVA – StB 972, ZTVT – StB 953, NGT 394. Trzeba pamiętać, że otrzymywany w wyniku badania moduł odkształcenia E_{vd} nie jest równoważny z modułem odkształcenia E_2 . W wyniku prac badawczych i analiz porównawczych opracowano zależności korelacyjne [33], pozwalające przeliczyć otrzymywany w badaniu płytą dynamiczną moduł E_{vd} na wtórny moduł odkształcenia E_2 i wskaźnik zagęszczenia I_p .

W przypadku płyty dynamicznej dopuszcza się prowadzenia badań na powierzchniach o maks. pochyleniu do 6%. Tutaj badanie płytą dynamiczną jest bezwzględnie uprzywilejowane w stosunku do badania płytą statyczną, bo – tak jak wcześniej wspomniano – nie wymagany jest opór obciążeniowy. Badanie płytą statyczną z uwagi na zasięg oddziaływania pozwala na uzyskanie wiedzy o tym, czy warstwy niżej położone stanowią dobry fundament pod wykonywaną warstwę podbudowy. Zdarza się często, że mimo naszych prób i starań o dogęszczenia wykonywanej warstwy w zakresie nośności zgodnych z ST jest to dość trudne,

albo wręcz niemożliwe. Materiał mamy zgodny z wymaganiami ST, zaangażowaliśmy profesjonalny sprzęt, a musimy zderzyć się z problemem. Badanie płytą statyczną daje szerszy pogląd na jakość wykonania warstw niżej położonych i ewentualne braki zagęszczenia i nośności dają o sobie znać w momencie użycia tej metody kontroli jakości wykonania robót. W przypadkach, kiedy zależy na sprawdzeniu zagęszczenia warstwy lub warstw położonych poniżej 1 m od badanej warstwy, można użyć sondy lekkiej SD-10. Ważne jest jednak, że nie ma dotychczas określonych korelacji płyty dynamicznej i statycznej dla kruszyw.



CIEKAWOSTKA

Głębokość oddziaływania lekkiej płyty dynamicznej jest równa średnicy płyty, dlatego nie zaleca się badania warstw o grubości większej niż 30 cm.



CIEKAWOSTKA

Wymagania dla parametru CBR dla mieszanek niezwiązanych to od 60 do 100% w zależności od rodzaju kruszywa, konstrukcji i drogi.

KRUSZYWO WAPIENNE HOLCIM KUJAWY

Zasadnicze charakterystyki	Deklarowane właściwości użytkowe	
Kształt, wymiar i gęstość ziarn	Wymiar kruszywa d/D, mm	0/31,5
	Uziarnienie	G _A 85
	Przesiew przez sito D	96
	Przesiew przez sito pośrednie D/2	70
	Przesiew przez sito 0,063	6
	Tolerancja uziarnienia	GT _A 20
	Kształt kruszywa grubego: Wskaźnik kształtu, SI Wskaźnik płaskości, FI	SI ₂₀ FI ₂₀
	Gęstość objętościowa ziarn, Mg/m ³ , pa	0/4-2,70 (+/- 0,1) 4/31,5-2,70 (+/- 0,1)
	Gęstość ziarn wysuszonych w suszarce, Mg/m ³ , prd	0/4-2,60 (+/- 0,1) 4/31,5-2,59 (+/- 0,1)
	Gęstość ziarn nasyconych i powierzchniowo osuszonych, Mg/m ³ , pssd	0/4-2,65 (+/- 0,1) 4/31,5-2,63 (+/- 0,1)
Zanieczyszczenie	Zawartość pyłów, f%	f _s
	Jakość pyłów: Błękit metylenowy, MB Wskaźnik piaskowy, SE	MB 10 SE ₄₅
Procent ziarn przekruszonych	Procentowa zawartość ziarn o powierzchni przekruszonej i łamanej oraz całkowicie zaokrąglonych w kruszywach grubym, C%	
Odporność na rozdrabnianie/kruszenie	Odporność na rozdrabnianie, LA	LA ₃₅
Nasiąkliwość/podciąganie	Nasiąkliwość, WA24	0/4-WA ₂₄ 2 4/31,5-WA ₂₄ 2
	Siarczany rozpuszczalne w kwasie, AS	AS _{0,2}
Odporność na ścieranie	Siarka całkowita, S	S ₁
	Składniki, które wpyływają na szybkość wiązania i twardnienia mieszanek związanych hydraulicznie	spełnia wartość progową
	Odporność na ścieranie, MDE	M _{DE} 40
Substancje niebezpieczne	Uwalniane substancje niebezpieczne, mg/l	Al <0,094
		As <0,050
		Ba <0,050
		Cd <0,0005
		Co <0,005
		Cr <0,005
		Cu <0,009
		Mo <0,005
		Ni <0,005
		Pb <0,010
V <0,012		
Zn <0,050		
Trwałość a wietrzenie Trwałość a zamrażanie/ rozmarzanie	Zgorzel stoneczna, SBLA	NPD
	Mrozoodporność, F %	F ₄

Właściwości użytkowe wyżej określonego wyboru są zgodne z zestawem deklarowanych właściwości użytkowych. Niniejsza deklaracja właściwości użytkowych wydana zostaje zgodnie z rozporządzeniem (UE) nr 305/2011 na wyłączną odpowiedzialność producenta określonego powyżej.

Pełna zgodność na konstrukcje:

- warstwy ulepszonego podłoża – KR1-KR6
- podbudowy pomocnicze – KR1-KR6
- podbudowy zasadnicze – KR-KR6
- nawierzchnie z kruszywa obciążone ruchem KR1-KR2



BADANIA POŁOWE DLA MIESZANEK ZWIĄZANYCH

Autor: Przemysław Stałowski

Oprócz wymienionych w poprzednich rozdziałach badań laboratoryjnych w miejscu wbudowania mieszanek związanych i stabilizacji wykonuje się badania polowe. W celu uproszczenia opisu, należałoby wydzielić zakresy badań wspólnie wykonywanych dla danego materiału i oddzielnie.

Co ciekawe, wymienione badania z tabeli 16 zostały wprost zaczerpnięte i zaaplikowane z normy PN-S 96012 [17] do warstw z mieszanek związanych. Istotną różnicą jest brak przeprowadzania badania nośności płytą VSS na mieszankach związanych w podbudowach pomocniczych

czy zasadniczych. Jest tego powód – mieszanki związane w ww. warstwach są o wyższych klasach wytrzymałości, gdzie badanie nośności nie ma większego sensu. Częstotliwość wykonywanych badań jest natomiast zmienna dla poszczególnych warstw.

Badanie	Rodzaj/metoda badania	Stabilizacja	Mieszanka związana
Nośność warstwy przed przystąpieniem do robót	Określenie nośności za pomocą płyty dynamicznej lub statycznej VSS	×	×
Wytrzymałość	Standardowe badanie wytrzymałości	×	×
Mrozoodporność	Badanie wg wytycznych dla warstwy	Przy projektowaniu i w przypadkach wątpliwych	Przy projektowaniu i w przypadkach wątpliwych
Badanie zagęszczenia warstwy	Zbadanie wskaźnika zagęszczenia I_s metodą cylindra wbijanego lub objętościomierza wodnego Haasa	×	×
Badanie nośności warstwy związanej	Badanie płytą dynamiczną lub VSS	×	Tylko w przypadku warstw do $C_{1,5/2,0}$ wykonywanych jako ulepszenie lub wzmocnienie podłoża
Sprawdzenie grubości warstwy	Metoda miernicza	×	×
Inne pomiary geometryczne, równość, szerokość, spadki, rzędne wysokościowe	Metoda miernicza	×	×
Uziarnienie mieszanki	Badania przesiewu	×	×
Sprawdzenie jednorodności	Metoda wizualna	×	Spotykana w przypadku warstw wykonywanych na miejscu

Tabela 16. Badania wykonywane na warstwach stabilizacji i mieszanek związanych



CIEKAWOSTKA

Częstotliwość badań dla mieszanek związanych jest ustalana indywidualnie dla każdej inwestycji. Badania są niezbędnym elementem prawidłowego wykonania i odbioru warstwy.

6. NAJCZĘŚCIEJ POPEŁNIANE BŁĘDY W PROCESIE BUDOWLANYM

MIESZANKI NIEZWIĄZANE

Autorzy: Grzegorz Schmidt i Hubert Losik

PRZYGOTOWANIE MIEJSCA SKŁADOWANIA MATERIAŁÓW

Ważnym etapem podczas inwestycji jest należyte przygotowanie placu/składowiska materiałów kruszywowych. Wykonawca powinien zadbać o to, aby podłoże było utwardzone i nie występowała możliwość

mieszania się innych materiałów (jeżeli są składowane w pobliżu). Kolejnym ważnym elementem jest przygotowanie odpowiedniego wyprofilowania podłoża w miejscu składowania materiałów, zapewniając odpowiednie spadki,

aby uniknąć występowania ewentualnych zastoiśk wodnych przy występujących opadach atmosferycznych.

SPOSÓB SKŁADOWANIA MATERIAŁÓW

Składowanie materiałów powinno być realizowane w hałdach o wysokościach ograniczających do minimum konieczność używania ciężkiego sprzętu typu ładowarka/spychacz w celu przyzmozowania

materiału, co powinno pozwolić uniknąć negatywnych skutków wywołanych dodatkowym ciężarem sprzętu budowlanego. Najprościej mówiąc, powinniśmy unikać jeżdżenia ciężkim sprzętem po zmagazynowanym

materiale. Konsekwencjami tego typu działań mogą być:

- zmiana składu ziarnowego mieszanki,
- wtórne zapylenie,
- rozsegregowanie materiału.

KULTURA ZAŁADUNKU I TRANSPORTU MATERIAŁU

Ważnym czynnikiem w trakcie realizacji dostaw materiału na budowę jest m.in. dbałość o czystość naczepej i skrzyń ładunkowych. To pierwszy etap kontroli jakości dostarczanego na budowę materiału od strony wykonawcy. Często zdarza się, że pojazd ma zabrudzoną naczepę w związku z dostarczaniem innych materiałów poprzedzających kolejne dostawy. Podczas realizacji danej inwestycji, standardem jest to, że trzeba czasem zrobić porządek na placu magazynowym. Dotyczy one

m.in. czyszczenia powierzchni placu składowego. Należy przy tych pracach przeszkolić operatorów ładowarek, którzy mają bardzo duży wpływ na finalną jakość składowanej mieszanki kruszywowej. Ważne jest, aby unikali oni podczas hałdowania sytuacji, w której poprzez zbyt niskie prowadzenie lemiesza dochodzi do nagarniania na hałdy składowanej mieszanki materiału z podłoża, w którym z reguły podczas eksploatacji placu wytwarzają się frakcje pylaste. Przy wysokich temperaturach

– zwłaszcza w okresie letnim – ważne jest również polewanie placu magazynowego, aby ograniczyć powstawanie pyłów/kurzu. Ten częsty błąd przyczynia się do pogorszenia parametrów mieszanki, przede wszystkim w kwestii jakości uziarnienia i zawartości pyłów. Pozostałości materiału z mieszanki po hałdowaniu powinny być nagarnięte w jedno miejsce i składowane osobno w celu uniknięcia niepożądanych problemów jakościowych.

KONTROLA JAKOŚCI

Patrząc od strony producenta, ważne jest przestrzeganie reżimu produkcyjnego zgodnie z obowiązującymi przepisami i procedurami wynikającymi z Zakładowej Kontroli Produkcji. Bardzo ważnym elementem

od strony producenta jest odpowiednia częstotliwość przeglądu sprzętu produkcyjnego, m.in. kruszarek, przesiewaczy, płuczek wodnych, aby unikać awarii, które mają wpływ na uzyskany końcowy wynik

jakościowy produktu. Bardzo duży wpływ ma tutaj zapewnienie odpowiedniego nadzoru laboratoryjnego, który będzie realizował badania kontrolne zgodnie z obowiązującymi normami.

MIESZANKI ZWIĄZANE I STABILIZACJE

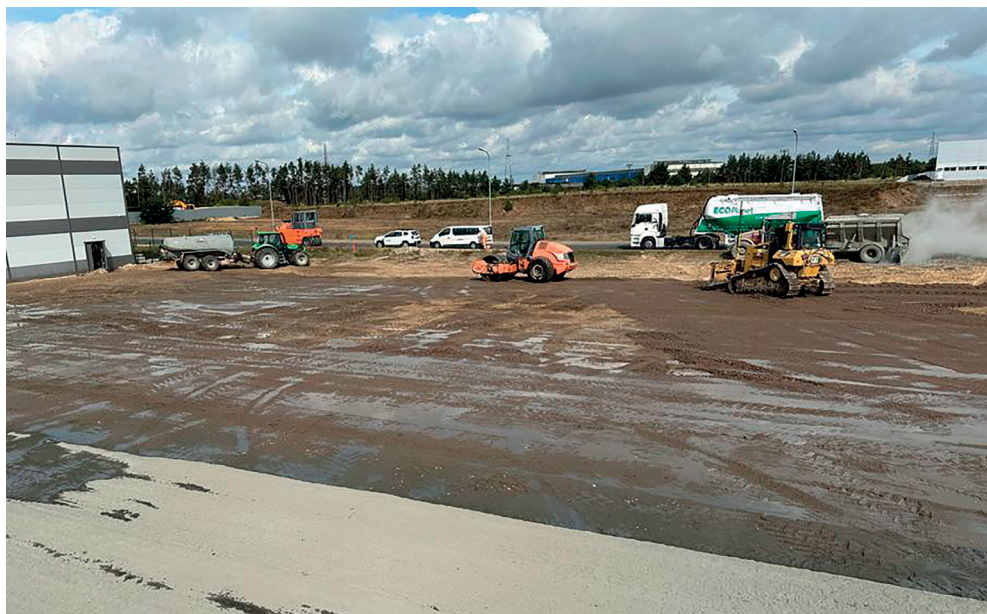
Autor: Przemysław Stałowski

DOZOWANIE SPOIWA

Jednym z bardzo ważnych aspektów w przypadku wykonywania stabilizacji na miejscu jest dozowanie spoiwa. Odbywa się to za pomocą siewnika, w którym jest regulowana przestona dozująca. Zwykle jest to proces w pełni zautomatyzowany, ale bywają przypadki, że ilość spoiwa reguluje się za pomocą szybkości przejazdu ciągnika. Ilość tę sprawdza się z wykorzystaniem tacy podkładanej pod siewnik

i ważonej za pomocą ręcznej wagi. Wagi powinny być kalibrowane i sprawdzane w sposób umożliwiający wykluczenie błędów pomiarowych. W praktyce bardzo często używa się wag stosowanych np. w rybotófstwie. Jeśli taka waga jest sprawdzona legalizowanym obciążnikiem, to nie jest to wykluczone. W przypadku np. zapchanych ślimaków siewnika lub niesprawnego układu dozowania ilość dozowanego spoiwa może być zmienna, co wpływa

na jakość stabilizacji. Aby jednak znać dokładną ilość dozowanego spoiwa, należy sporządzić receptę laboratoryjną. Zgodnie z wszelkimi zapisami w SST powinno wykonywać się poletko próbne, aby sprawdzić poprawność receptury, zbadać materiał stabilizowany bez spoiwa w celu stwierdzenia zgodności.



Dozowanie spoiwa w warunkach budowy

- Pasy robocze – przy wykonywaniu stabilizacji często jest obliczana ilość dozowanego spoiwa, wyznaczając ilość przejazdów na każdy pas roboczy. W tym wypadku najczęstszym błędem popełnianym podczas wysiewania spoiwa jest nierówna ilość materiału

- Ważenie – powinno się ważyć spoiwo przy każdym napełnieniu rozsypywacza na początku rozsiewania i w razie potrzeby na końcu pasa roboczego;
- Stan techniczny siewnika – pas siania cementu po szerokości

musi zawierać taką samą ilość cementu w każdym miejscu. Najprostszą metodą sprawdzenia jest ocena wizualna. Jednorodność wymieszania jest oceniana metodą makroskopową – widok jednorodności warstwy z odległości ok. 2,0 m.

GRUBOŚĆ WYMIESZANIA STABILIZACJI

Zgodnie z normą PN-S 96012 wymaga się, aby sprawdzać miąższość wykonanej warstwy stabilizacji. Często ten krok pomija się w wykonaniu, polegając tylko i wyłącznie na automatycznych ustawieniach zagłębienia bębna recyklera czy

innego układu mieszającego grunt ze spoiwem. Dlatego bardzo ważne jest, aby sprawdzać grubość warstwy, a ilość dozowanego spoiwa obliczać w sposób uwzględniający faktyczną grubość mieszania. Niekiedy do uzyskania warstwy

30 cm stabilizacji potrzeba jest wymieszania na grubość większą – 32–33 cm. Wiąże się to z koniecznością „przycięcia” stabilizacji. Dlatego to jest ważne?

$$C = C_{osg/max} \times h \times X$$

gdzie:

$C_{osg/max}$ – ciężar obj. szkieletu gruntowego [kg/m^3],
 h – grubość warstwy [m]
 X – dodatek spoiwa [ułamek dziesiętny]

Za pomocą powyższego wzoru można określić ilość dozowanego spoiwa na $1 m^2$ warstwy. Na przykładzie można go z łatwością wyjaśnić: Piasek drobny waży $1727 kg/m^3$ – aby osiągnąć daną wytrzymałość stabilizacji należy dodać 8% spoiwa na $1 m^3$, czyli $128 kg$ i wymieszać na $30 cm$. Zatem licząc z ww. wzoru, otrzymuje się ilość spoiwa równą $41,4 kg/m^2$. Licząc na skrót (wydawać się może, że to jest

to samo, ale tak nie jest), otrzymuje się: $128 \times 0,3 = 38,4 kg/m^2$. Teraz, odwracając ww. wzór: $X = C / (C_{osg/max} \times H) = 38,4 / (1727 \times 0,3) = 0,074$, $C_{osg/max}$, czyli 7,4%. W tym momencie traci się 0,6% spoiwa w stosunku do masy gruntu. Idąc tym tokiem dalej. Recyler zagłębienia się niekiedy na 32–33 cm, aby było miejsce na przycięcie stabilizacji. Czy uwzględniono ilość cementu wg wzoru? Zatem: $C = 1727 \times 0,33 \times 0,08 = 45,6 kg/m^2$

– tyle powinno być. A gdy ilość cementu, mimo że przeliczona do docelowej grubości stabilizacji, nie zostanie dostosowana do faktycznej głębokości mieszania, to znów „uciekają” kolejne procenty spoiwa. Przeliczając faktyczną głębokość mieszania, przy zachowaniu ilości cementu w odniesieniu do docelowej grubości stabilizacji, otrzymuje się:

$$X = C / (C_{osg/max} \times H) = 41,4 / (1727 \times 0,33) = 7,3\% \text{ dodatku spoiwa, czyli znów } 0,7\%.$$

Łącząc powyższe szczegóły, traci się już ponad 1% dodatku spoiwa na stabilizacji. A co za tym

idzie, otrzymuje się niższą wytrzymałość i niezgodność z recepturą (tab. 17–19).

Zawartość CEM II BV 32,5 [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			Średnia	Wymagania
7,0	0,85	0,95	0,77	0,86	1,0÷1,6
8,0	1,15	1,25	1,11	1,17	
9,0	1,42	1,32	1,34	1,36	

Tabela 17. Piasek drobny

Zawartość CEM II BV 32,5 [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			Średnia	Wymagania
8,0 (125 kg/m ³)	0,85	0,88	0,74	0,82	1,0÷1,6
9,0 (140 kg/m ³)	1,24	1,23	1,35	1,27	
10,0 (154 kg/m ³)	1,65	1,72	1,69	1,69	

Tabela 18. Piasek drobny

Zawartość CEM II B-V 32,5R [%]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			Średnia	Wymagania
6,0	0,36	0,58	0,64	0,53	-
7,0	0,75	0,68	0,79	0,74	
8,0	1,02	0,89	0,96	0,96	

Tabela 19. Piasek pylasty

ZAGĘSZCZENIE STABILIZACJI

Zagęszczenie stabilizacji to nic innego jak upakowanie pewnej masy w określonej objętości. Parametr zagęszczenia stabilizacji jest wartością, która jest badana podczas wykonywania warstwy podbudowy lub ulepszonego podłoża. Wskaźnik zagęszczenia I_s to jedna z wartości, która przyczynia się do prawidłowości

wykonania i jest parametrem odbiorowym warstwy. Aby wystrzec się problemu przegęszczenia warstwy gruntu albo niedogęszczenia, należałoby przede wszystkim zbadać dany teren, a podczas zagęszczania zachować stały reżim sposobu i czasu zagęszczania. Liczbą przejazdów

roboczych walca reguluje się prawidłowość i powtarzalność materiału. Zagęszczenie terenu przed dodaniem spoiwa jest bardzo ważne, ponieważ ilość dozowanego spoiwa oblicza się w odniesieniu do faktycznie zagęszczonego gruntu.



Zagęszczanie stabilizacji – walec stalowy i gumowy

WILGOTNOŚĆ GRUNTU

Grunt jest ośrodkiem rozdrobnionym, w którym wyróżnia się kilka odrębnych faz:

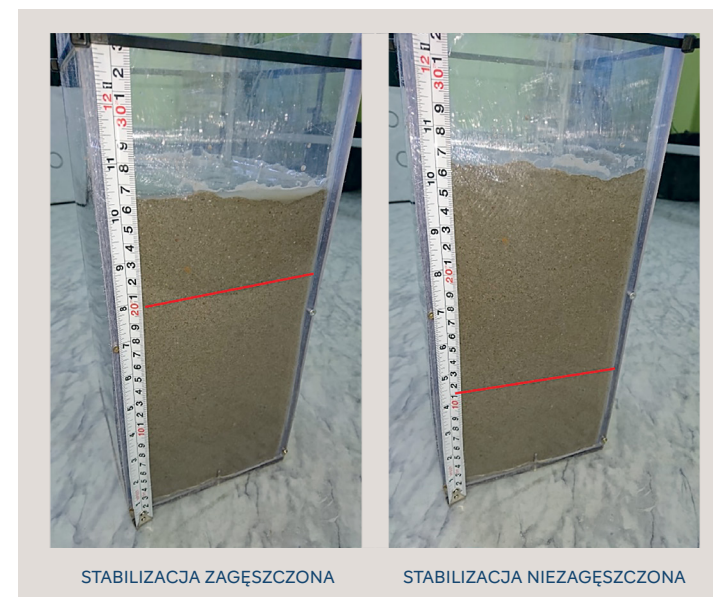
1. fazę stałą – którą stanowią ziarna mineralne;
2. fazę ciekłą – składa się głównie z wody, w której mogą być rozpuszczone sole;
3. fazę gazową – zawiera powietrze, parę wodną i gazy [34].

Zagęszczenie gruntu jest ściśle związane z zawartością wody w tym gruncie i ilością wody,

którą ten grunt może przyjąć. Maksymalne zagęszczenie uzyskuje się przy takiej ilości wody, która wypełnia pory w gruncie, ale ich nie przesyca [34]. W przypadku przesylenia porów w gruncie, grunt się uplastycznia i występują problemy z zagęszczeniem, m.in. koleinowanie pod ruchem maszyn. Na budowie wilgotność gruntu można sprawdzić za pomocą wagosuszarki albo odpowiednio skalibrowanymi

wilgotnościomierzami. Dlaczego jest to ważne? Ponieważ woda bierze udział w procesie hydratacji spoiwa oraz – jak wiadomo z wykresu Proctora – w zagęszczeniu.

Często popełnianym błędem jest brak doprowadzenia gruntu do wilgotności optymalnej przed mieszaniem już gotowej stabilizacji. Nie da się doprowadzić odpowiedniej ilości wody do zagęszczonego już materiału (rys. 14).



Rysunek 14. Fotografia przenikania wody przez zagęszczoną stabilizację. Zagęszczono piasek zawierający 7% dodatku cementu w wilgotności naturalnej (ok. 4,5%). Po czym dodano kolejne 4% wody do uzyskania wilgotności optymalnej dla badanego materiału. Zdjęcie z lewej strony przedstawia filtrację wody po ok. 2 minutach. Zdjęcie z prawej przedstawia filtrację po 30 minutach (dalszy postęp czasu nie powodował wyraźnego przenikania wody w głąb materiału). Catkowita miąższość materiału wynosiła 26 cm. Woda przefiltrowała na głębokość ok. 16 cm, czyli ok. 2/3 grubości całej warstwy [35]



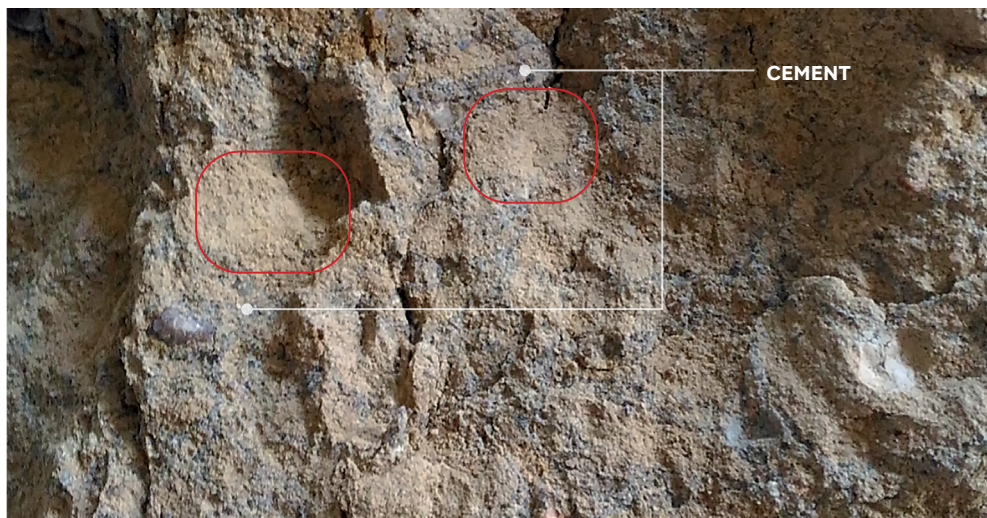
Skuteczność osuszenia gruntu spoiwem hydraulicznym Gruntar HRB E3 – dodatek 2,8% w stosunku do suchej masy gruntu

JEDNORODNOŚĆ STABILIZACJI

Stabilizacja powinna być wymieszana w sposób zapewniający jej jednorodność. Natomiast ocena jednorodności odbywa się w sposób wizualny po barwie lub strukturze uzyskanej warstwy. W przypadku gruntów

niespoistych, zwykle uzyskuje się jednorodną warstwę po 1–2 przejazdach recyklera. Inaczej ma się sytuacja w gruntach spoistych (rys. 15) [35]. Takie zjawisko sprawia, że w przypadku dojrzewania

próbek w wodzie – agregaty gliny rozmakają się i tam właśnie jest najstarszy punkt w próbce. Często są to małe próbki – 80 × 80 cm – które bardzo szybko przemakają.



Rysunek 15. Agregaty gliny (oznaczone na czerwono) oraz związane spoiwo [35]

CZAS WYKONYWANIA STABILIZACJI

Według najbardziej aktualnych wytycznych zawartych w specyfikacjach technicznych i przepisów czas wykonywania stabilizacji od momentu dodania cementu do zakończenia jej zagęszczania nie powinien przekraczać 2 godzin. Jak jednak wiadomo, różne rodzaje spoiw i cementów mają różne początki czasu wiązania – niekiedy 3 godziny i więcej. Takie przypadki należy rozpatrywać indywidualnie, np. podczas wykonywania poletki próbnego i dostosować

maksymalny czas wykonania stabilizacji do zastosowanego rodzaju spoiwa [35]. Należy jednak pamiętać, aby nie wjeżdżać ciężkim sprzętem – np. walcem – na stabilizację, która już zaczyna wiązać. Jest to bardzo częsty błąd, ponieważ już wytworzone wiązania się zrywają i taka stabilizacja nie osiągnie założonej nośności. Na podstawie analizy wyników wytrzymałości, należy zauważyć, że stabilizacja zagęszczona po ok. 6 godzinach traci ok. 25% swojej

wytrzymałości. Jak wiadomo, jest to uzależnione od rodzaju materiału stabilizowanego, a także rodzaju i ilości spoiwa. Co ciekawe – stabilizacja zagęszczona na drugi dzień, przechowywana w warunkach bez utraty jej wilgotności, osiągnęła wyniki ok. 50% gorsze od stabilizacji zagęszczanej natychmiast po wykonaniu. Test został przeprowadzony na gruncie spoistym [35].

Czas	Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach [MPa]			Średnia [MPa]:
0 h	1,22	1,18	1,27	1,22
3 h	0,98	1,10	1,05	1,04
6 h	0,78	0,98	0,99	0,92

Tabela 20. Wyniki wytrzymałości po różnym czasie zagęszczania stabilizacji od kontaktu stabilizacji ze spoiwem [35]

7. PODSUMOWANIE

Budownictwo infrastrukturalne to wiele złożonych procesów, które mają dać ostateczny efekt, jakim jest nowa droga, podbudowa pod halę czy wzmocnienie terenu pod ruch kotłowy. Opisane materiały, rozwiązania i sposób postępowania z każdą warstwą podbudowy to zbiór doświadczeń praktycznych i przedstawienie problemów napotykanym przez lata spędzone na budowach. Ważna jest świadomość, że podbudowa to jest warstwa stanowiąca fundament drogi, mimo że jej nie widać już w finalnym efekcie. To od jakości wykonania, zastosowanych materiałów i prawidłowości realizacji zależy, czy ten fundament spełnia wymagania projektowe i jakościowe. Należy także zaznaczyć, że ilość materiałów, które są stosowane w tych warstwach, niejednokrotnie przekracza ilości materiałów w obiektach, np. wiaduktach, kładkach, przejściach dla pieszych

czy też nawet ilości materiałów dla warstw nawierzchni drogowej. Wykonując podbudowy z mieszanki niezwiązanej, ważne jest, aby zachować ścisły reżim technologiczny. Niezmiernie istotne jest zagęszczanie materiału, tj. określona liczba przejazdów walca, doprowadzenie do wilgotności optymalnej, ale także dobór odpowiedniego materiału do warunków środowiskowych i trwałościowych danego obiektu. Ponadto sam transport mieszanki kruszywowej, jej składowanie na placu budowy wymaga odpowiedniego podejścia i trzymania się określonych zasad, jak np. niedopuszczenie do zabrudzenia mieszanki czy jej wtórnego zapylenia. Te i inne problemy, które zostały przedstawione w niniejszym opracowaniu, wynikają z opisu doświadczeń w branży budownictwa firmy HOLCIM. Mieszanki związane to co innego niż

stabilizację, co zmusza do pewnych przemyśleń pod względem stosowania odpowiedniego rodzaju produktu w odpowiedniej warstwie i konstrukcji. Bardzo istotne są względy ekonomiczne, ale również względy jakościowe i trwałościowe. Więcej rozwiązań i materiałów jest dla mieszanek związanych, ale stabilizacje były i są również uniwersalnym produktem, który można stosować praktycznie wszędzie. W każdym przypadku stosowania należy odpowiednio dobrać ilość spoiwa hydraulicznego, rodzaj odpowiedniego podejścia i nie można zapominać o wodzie, bez której nie będzie odpowiedniego zagęszczenia warstwy ani zainicjowania i przejścia procesu hydratacji spoiwa. Podsumowując opracowanie, wysuwa się pewien wniosek – stosujemy rozsądnie, dobierajmy pewnie, a wykonamy dobrze, budując lepiej.

BIBLIOGRAFIA

1. PN-87/S-02201 Drogi samochodowe, nawierzchnie drogowe. Podział, nazwy, określenia.
2. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Wymagania Techniczne WT-5 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych 2010.
3. Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych – Załącznik do zarządzenia Nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r. opracowano w Katedrze Dróg i Lotnisk Politechniki Wrocławskiej.
4. Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych – Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r. opracowano w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej.
5. Zarys Geotechniki, Z. Wiłun, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2024.
6. Rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 1 grudnia 2021 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym wraz z późniejszymi zmianami.
7. EN 13282-1 Hydrauliczne spoiwa drogowe szybkowiązające. Skład, wymagania i kryteria zgodności.
8. PN-EN 13282-2 Hydrauliczne spoiwa drogowe normalnie wiążące.
9. Rozporządzeniem (WE) Nr 1907/2006 (REACH) wraz z późniejszymi zmianami.
10. Krajowa Ocena Techniczna – Nr IBDiM-KOT-2021/0700, wydanie 5.
11. PN-EN 13242+A1:2010 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.
12. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Wymagania Techniczne WT-4 Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych 2010.
13. Warunki Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych D-04.04.02 v03 Podbudowa pomocnicza i zasadnicza z mieszanki niezwiązanej, Warszawa 18 luty 2021.
14. Ustawa Prawo Zamówień Publicznych, 11 listopad 2019.
15. PN-EN 197-1:2012 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku PN-EN 14227-1:2013-10.
16. PN-EN 14227-1:2013-10 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Specyfikacje – Część 1: Mieszanki związane cementem.
17. PN-S 96012:1997 Drogi samochodowe – Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
18. PN-B 19701:1997 Cement – Cement powszechnego użytku – Skład, wymagania i ocena zgodności.
19. PN-EN 197-5:2021-07 Cement – Część 5: Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/C-M i cement wieloskładnikowy CEM VI.
20. PN-B-06265:2022-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08.
21. PN-B-02480:1986 Grunty budowlane – Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
22. PN-EN 933-1:2012 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Część 1: Oznaczenie składu ziarnowego – Metoda przesiewania.
23. PN-B-04481:1988 Grunty budowlane – Badania próbek gruntu.
24. Warunki Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych D.04.05.01-v03 Podbudowa i warstwa mrozochronna z mieszanki związanej, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa 22 luty 2021.
25. PN-EN 13286-2:2010 Mieszanki niezwiązane i związane hydraulicznie – Część 2: Metody badań laboratoryjnych gęstości na sucho i zawartości wody – Zagęszczanie metodą Proktora.
26. PN-EN 13286-41:2022-04 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – Część 41: Metoda badania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych hydraulicznie.
27. <https://inzynieriasrodowiska.com.pl/encyklopedia/zageszczanie---metody-i-maszyny> – autor Piotr Jeromołowicz, 14.01.2021 r.
28. PN-S – 02205:1998 „Drogi samochodowe. Roboty Ziemne. Wymagania i badania”.
29. Załącznik B3 do KPRNPP-2014 Procedura wykonania badania modułu odkształcenia warstw konstrukcyjnych podatnych i podłoża przez obciążenie płytą VSS.
30. COMAPTION. Zagęszczanie konstrukcji asfaltowych i ziemnych. Ralf Schröder, wyd. I 2019.
31. Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badań. S. Pisarczyk, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993 r.
32. Załącznik B3 do KPRNPP-2014 Procedura wykonania badania modułu odkształcenia warstw konstrukcyjnych podatnych i podłoża przez obciążenie płytą VSS.
33. Badanie i ustalenie zależności korelacyjnych dla oceny stanu zagęszczenia i nośności gruntów niespoistych płytą dynamiczną, IBDiM, Warszawa 2005.
34. Glazer Z., Mechanika Gruntów, Wydawnictwa Geologiczne, str. 19.
35. Drogi Gminne i Powiatowe, ISSN 2084-5197, Styczeń – Luty (54) 2021, Stabilizacja gruntu na miejscu, str. 14. Przemysław Stałowski.

Handwritten notes on page 57, including a large green bracket on the right side of the page.

Blank lined writing area on page 58.

AUTORZY



Przemysław Stałowski

Kierownik Produktu –
Spoiwa do Infrastruktury

tel. 781 797 879

e-mail:

przemyslaw.stalowski@holcim.com



Grzegorz Schmidt

Kierownik Produktu Kruszywa

tel. 502 786 037

e-mail:

grzegorz.schmidt@holcim.com



Hubert Losik

Kierownik Jakości i Rozwoju
Recyklingu Materiałów
Budowlanych

tel. 608 419 192

e-mail:

hubert.losik@holcim.com

HOLCIM POLSKA S.A.

Biuro Zarządu: Al. Jerozolimskie 142B

02-305 Warszawa

tel.: 22 324 60 00

faks: 22 324 60 05

www.holcim.pl



Dawniej Lafarge
