

Mgr inż. Dorota Gatkowska-Jeleńska

WS Atkins – Polska Sp z o.o.

Mgr inż. Józef Jeleński

Ove Arup and Partners Ltd., Polska

Formalne i obiektywne bariery adekwatnego składu betonu

Formal and objective obstacles of adequate concrete composition

Streszczenie

Poszukiwanie optymalnego składu mieszanki betonowej zawiera celowy dobór jej składników dla uzyskania pożądanych własności mieszanki betonowej i betonu stwardniałego. W polskiej praktyce zauważa się wiele formalnych zakazów w obowiązujących przepisach branżowych uniemożliwiających dobór właściwego rodzaju i rozmiaru kruszywa czy rodzaju cementu. Granica pomiędzy drobnym a grubym kruszywem ustanowiona w Polsce jako średnica ziarna 2mm (zamiast zwykle na świecie przyjmowanej około 5mm) dopasowana jest raczej do zasobów licznych kopalni piasku niż do roli, jaką w mieszance betonowej spełniać powinien naturalny piasek. W wyniku wymagania i powszechnego stosowania zbyt drobnego uziarnienia kruszyw łamanych staje się konieczne stosowanie nadmiernych ilości wody, spoiwa i napowietrzenia w przeciętnych zastosowaniach, skutkujące wytwarzaniem betonów wrażliwych na skurcze i zarysowania. Brak umiejętności określenia nasiąkliwości kruszywa drobnego oraz uwzględnienia nasiąkliwości kruszyw w bilansowaniu objętości składników i proporcji mieszanki betonowej utrudnia lub uniemożliwia zastosowanie wielu rodzajów kruszyw, które mogłyby być z powodzeniem użyte.

Dalszą praktyczną barierę stanowi fakt oferowania przez wykonawcę mieszanki o składzie preferowanym przez miejscowego dostawcę, dla którego priorytetem staje się minimalizowanie kosztów produkcji poprzez ograniczenie ilości składników betonu i domieszek.

Artykuł przedstawia przykłady z praktyki nadzoru wykonywanego przez autorów, w którym dzięki przełamaniu występujących barier udało się zastosować betony o pożądanych właściwościach, takich jak mrozoodporny beton o zwiększonej odporności na skurcze i zarysowania do zastosowań w zbiornikach na ścieki, czy lekki beton mostowy całkowicie na kruszywie lekkim o nieciągłym uziarnieniu.

Abstract

A search for optimum composition of concrete mix includes intentional selection of its components to achieve desired properties of mix and concrete. In Polish practice many formal interdictions can be found in obligatory trade codes, which make the choice of adequate aggregate size or kind of cement impossible. The border between the fine and coarse aggregate set in Poland as grain diameter 2mm (instead of usually adopted everywhere about 5mm) is adjusted rather to plentiful sand pit resources than to the part, which in concrete mix the natural sand plays. As a result of requirement and widespread application of too fine crushed aggregate it is necessary to apply excessive amount of water, cement and entrained air in average applications, which in turn results in production of concrete sensitive to shrinkage and cracks evolution. The lack of skill in determination of fine aggregate absorption and in employing the aggregate absorption into mix volume proportioning, makes it difficult or impossible to employ many kinds of aggregate, which could otherwise be successfully used.

Further practical obstacle is in fact of offering by the contractor a concrete mix preferred by local supplier, for whom the priority is in minimizing cost production by limiting the number of concrete constituents and additives.

The paper presents examples from Authors' engineering practice, in which it was possible to produce concrete mixes of desired properties due to overcoming the existing obstacles, such as frost resistant and low shrinkage concrete used in sewage tanks or low density concrete employing exclusively light gap-graded aggregate.

1. Beton i mieszanka betonowa o pożądanym właściwościach

Teoretycznie cechy betonu (jakość typu) określa projektant poprzez żądanie jego właściwości i trwałości w budowlu. W ten sposób formułuje w języku technicznym interes inwestora, dla którego budowlu jest zamawiana. Określenie to jest zawarte w specyfikacji technicznej, która zawiera ponadto wymagania dla składników betonu, ich proporcji, sposobu mieszania, transportu, układania i pielęgnacji. Projekt budowlu i zawarta w nim specyfikacja techniczna jest więc decydująca o właściwościach betonu i mieszanki betonowej, a projektant najważniejszą osobą ustalającą technologię produkcji i wbudowania mieszanki betonowej stosownie do swego doświadczenia zawodowego. Istnieją ponadto wymagania branżowe, mające charakter zapewnienia bezpieczeństwa odpowiedzialnych budowli publicznych (np. betony mostowe), a także zestawy przykładowych specyfikacji szczegółowych, które ułatwiają projektantom napisanie specyfikacji w pewnym sensie wpływają na właściwości betonu i jego składników. Międzynarodowe firmy konsultingowe miewają własne specyfikacje szczegółowe oparte na firmowych doświadczeniach i w ten sposób są w stanie dokonywać transgranicznego transferu technologii.

Praktycznie jakość betonu powstaje w wyniku działania wykonawcy, najczęściej zresztą poprzez zamówienie dostępnej na rynku mieszanki w centralnej wytwórni w pobliżu budowlu (jakość wykonania). Proporcje i skład betonu ustala technolog wytwórni, czasem we współpracy z technologiem wykonawcy. Stosując się do specyfikacji oczekują, że nadzór inwestorski zatwierdzi przewidywane kontraktem mieszanki. Działa tu również czynnik ekonomiczny: tańsze materiały miejscowe są chętniej używane niż droższe i wytwarzane z dala od miejsca wbudowania. Dużą rolę w procesie proponowania technologii betonu przez wykonawcę spełniają dostawcy cementu i domieszek do betonu.

W Polsce weszła w życie nowa norma europejska, która pozwala na kształtowanie właściwości betonu i mieszanki betonowej z wykorzystaniem światowych doświadczeń w tym względzie [1]. Stara norma betonowa ciągle jednak kształtuje przekonania zarówno wykonawców jak i projektantów, co niekoniecznie służy uzyskiwaniu pożądanym właściwości mieszanki betonowej i betonu. Widać to szczególnie poprzez pryzmat międzynarodowych doświadczeń jednego z autorów niniejszego referatu, które z pewnymi trudnościami udaje się realizować w pracy nadzoru inwestorskiego. Oprócz naturalnych ograniczeń takiej pracy nie pozwalającej na bezpośredni wpływ na jakość betonu, a polegającej raczej na „reżyserowaniu” tej jakości poprzez proces zatwierdzania materiałów i programów zapewnienia jakości, zauważyć można wiele formalnych i obiektywnych barier stanowiących o niemożności swobodnego kształtowania pożądanym właściwości betonu.

Obiektywna barierę wykonania dobrego betonu stanowi niewątpliwie brak dobrej tradycji w realizacji. Okres ok. 50 lat do początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku nie sprzyjał trosce o dobrą jakość budowli betonowych. Priorytetem wówczas było tempo realizacji. Brak odpowiednich środków oraz braki materiałowe na rynku również hamowały dobór odpowiedniego betonu do danej budowlu. Do dnia dzisiejszego powoduje to brak staranności w odpowiednim projektowaniu, doborze i wykonaniu betonu w budowlu. Młodsza kadra technologiczna zdaje się również nie dążyć do nowego podejścia w procesie budowlanym. Zdarzają się ciągle przypadki beztroskiej zamiany u dostawcy raz uzgodnionej

receptury bez powiadomienia kierownictwa budowy. Przykładem z budowy jest dostarczenie do pali wielkośrednicowych betonu na grysie dolomitowym zamiast zatwierdzonego i zwykle używanego betonu żwirowego.

2. Działania celowe, oportunistyczne i pozorne

Za inżynierskie kształtowanie właściwości betonu uważamy celowy dobór składników i proporcji betonu dla uzyskania zestawu cech mieszanki betonowej i betonu jak najbardziej spełniających zdefiniowane w specyfikacji funkcje. Czasem jednak pierwszą barierą w ustaleniu właściwych proporcji składników mieszanki betonowej jest właśnie sama specyfikacja szczegółowa oparta o przepisy branżowe lub tradycje zamawiającego. Zdarza się też, że zamiast być sformułowana poprzez wyznaczenie celów przez projektanta, bywa zlecana do skompilowania ze specyfikacji ogólnej, zbioru używanego przez biuro lub z opracowań dostępnych na rynku.

Od momentu wydania specyfikacji szczegółowej ani nadzór ani wykonawca nie mogą jej zmienić bez konsekwencji kontraktowych. Najczęściej pozostaje im **postawa oportunistyczna polegająca na realizowaniu wymagań specyfikacji, bez względu na ich wagę w uzyskaniu pożądanych cech betonu w konstrukcji.** Przykładowo, jeśli w specyfikacji znajduje się wymóg stosowania w wielkowymiarowych fundamentach kruszywa o uziarnieniu do 16mm pochodzącego z przekruszenia skał magmowych i cementu portlandzkiego, to będą zmuszeni taki beton produkować, dostarczać, zatwierdzać i odbierać, mimo że obiektywnie rzecz biorąc pod względem technicznym użycie takiego betonu nie jest właściwe (lub konieczne). **Kontrola jakości procesu budowlanego zawierającego elementy technicznie nieuzasadnione szybko przeradza się w działania pozorne,** gdzie mieszanka betonowa odbierana jest na budowie na podstawie konsystencji, beton na podstawie jego wytrzymałości, a zarysowań elementów konstrukcji albo się nie zauważa, albo uznaje za nieuniknione.

Jakie działania należy podjąć dla uzyskania właściwego betonu? Po pierwsze, technolog (np. konsultant) powinien docierać do projektanta i zamawiającego dostatecznie wcześnie, żeby specyfikacja szczegółowa mogła opisywać realnie pożądane cechy mieszanki betonowej i celowo stawiała wymagania dla betonu, wobec jego cech wytrzymałościowych, w dostosowaniu do elementu konstrukcyjnego i sposobu transportowania mieszanki, a także do przewidywanej ekspozycji. Taka fachowa weryfikacja specyfikacji przed ogłoszeniem przetargu byłaby z korzyścią dla jakości betonu. Po drugie, doradzanie wykonawcy może być skuteczne w wielu przypadkach szczególnie dlatego, że dobry beton bywa tańszy od źle urabialnej i gorzej pompowalnej mieszanki, spękanych konstrukcji i straconego na naprawy czasu. Po trzecie, należy sygnalizować na szerokim forum niedoskonałości procesu projektowania, produkcji, wbudowywania i pielęgnacji mieszanek betonowych, które powodują, że mimo przyjęcia dobrych norm europejskich i mimo dobrych właściwości składników betonu tak rzadko w przeciętnych warunkach można spotkać w pełni satysfakcjonujące betony.

3. Bariery tkwiące w składnikach betonu

3.1. Cement

Szeroka gama produkowanych w Polsce cementów nie stanowi w jakimkolwiek stopniu ograniczenia jakości produkowanego betonu. Istnieją jednak w doborze cementu bariery formalne, na przykład wymaganie stosowania określonego typu i klasy cementu w

Rozporządzeniu¹ określającym warunki techniczne ochrony betonu obiektów drogowych. Duży fragment rynku budowlanego jest zobowiązany do stosowania nisko alkalicznych cementów portlandzkich o wysokich klasach, bez względu na techniczną konieczność stosowania czy przydatność takich cementów w jednostkowych zastosowaniach. O ile nam wiadomo, Rozporządzenie to jest omijane na wiele różnych sposobów szczególnie po to, aby uniknąć konieczności stosowania cementów klasy 42,5 NA i 52,5 NA ze względu na ich duże ciepło hydratacji i stosunkowo krótki czas wiązania

Możliwość stosowania dodatków w postaci pyłów dymnicowych bezpośrednio przy produkcji betonu stwarza niebezpieczeństwo niezachowania minimalnej ilości cementu i maksymalnego stosunku w/c wymaganych normą PN- EN 206-1 dla poszczególnych klas ekspozycji, szczególnie w przypadku stosowania cementów CEM II. Trzeba tu także zauważyć, że w normie europejskiej minimalne ilości dotyczą betonów na kruszywie o maksymalnym wymiarze kruszywa 20 do 32mm. Wobec powszechnego stosowania drobniejszych kruszyw do polskich betonów powinno się to brać pod uwagę i odpowiednio zwiększać minimalną ilość cementu pochodzącego z przemiału klinkieru cementowego lub cementu hutniczego dla betonu z takich kruszyw, których nominalny maksymalny wymiar D_{max} określony zgodnie z PN-EN 12620 jest mniejszy od 20mm.

Cement jest najmniej szkodliwym składnikiem betonu, ale zbyt duża ilość cementu wraz z dodatkami pylastymi w mieszance betonowej jest niekorzystna ze względu na powstawanie pęknięć termicznych, szczególnie w elementach wielkowymiarowych. Duża ilość zaprawy cementowej w betonie narażonym na ścieranie także nie jest wskazana. Dawna norma niemiecka DIN 1045 ograniczała łącznie ilość cementu, pyłów i drobnego kruszywa przechodzącego przez sito 0,250mm do 450-500 kg/m³, co wydaje się być rozsądną granicą.

3.2. Woda

Woda w nadmiernych ilościach jest składnikiem szkodliwym w mieszance betonowej i rzeczywiście od stosunku ilości niezaabsorbowanej przez kruszywo wody (wody efektywnej) do ilości cementu zależy wytrzymałość betonu i jego odporność na czynniki środowiskowe. Nie wszyscy jednak zdają sobie sprawę z tego, że to od efektywnej ilości wody w betonie, a nie od stosunku w/c zależy skurcz wysychania betonu odpowiedzialny za większość zarysowań w późniejszych okresach eksploatacji konstrukcji. A więc nie tylko należy utrzymywać niski stosunek w/c, ale także dążyć do zmniejszania efektywnej ilości wody. Można to uzyskać poprzez stosowanie kruszywa otoczkowego lub przekruszonych skał o kubicznych ziarnach o możliwie jak największej maksymalnej średnicy ziarna. W masowych betonach hydrotechnicznych nie powinno dziwić kruszywo do 150mm, w wielkowymiarowych fundamentach do 63mm. Podstawowy wymiar ziaren pompownego betonu do konstrukcji zbrojonych i sprężonych w Niemczech wynosi 32mm, w Anglii 20mm, a w Polsce 16mm. Polskie przekonanie o wyższości przekruszonych skał nad otoczkami powoduje, że przeciętna zawartość wody w polskich betonach jest największa w Europie.

Poprzez znaczne zmniejszenie ilości wody zarobowej w mieszance betonowej można też znacząco zmniejszyć ilość cementu, a przez to ciepło wiązania betonu odpowiedzialne za rysy betonu spowodowane różnicami temperatur powierzchni i wnętrza betonu. Łączne zmniejszanie ilości wody i cementu wraz ze zwiększaniem rozmiaru kruszywa prowadzi w końcu do utraty pompowności mieszanki, cechy bardzo pożądanej na budowie, ale przecież niekoniecznej podczas betonowania wielkowymiarowych fundamentów. Dla zobrazowania skutków przyjęcia rodzaju kruszywa w mieszance betonowej na ilość wody zarobowej można

¹ Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (Dz. U. nr 63 z dnia 3 sierpnia 2000 r.)

podać, że w stosunku do betonu żwirowego o maksymalnym wymiarze ziarna 32mm zmniejszenie tego wymiaru do 16mm powoduje konieczność dolania około 1 wiadra wody do 1m³ mieszanki betonowej dla utrzymania tej samej konsystencji, a wymiana żwirowego kruszywa grubego na grysy – jeszcze jednego wiadra wody.

Powszechna jest nieumiejętność właściwego obliczenia efektywnej zawartości wody w mieszance betonowej² oraz kontroli tej ilości w trakcie produkcji mieszanki w zmiennych warunkach klimatycznych. Dla właściwej prezentacji i kontroli tej wielkości konieczne jest:

- stosowanie do obliczenia objętości betonu gęstości pozornej kruszywa nasyczonego powierzchniowo osuszonego (saturated surface dry, *ssd*),
- określenie wolnej wody wynikającej z założonego stosunku $w/c < w/c_{max}$, na którą składa się woda dozowana pomniejszona o ilość wody wynikającej z różnicy wilgotności i nasiąkliwości kruszywa, oraz zawartej w domieszkach,
- stosowanie tak ustalonej dozowanej wody na podstawie codziennych badań wilgotności kruszywa w stosunku do jego nasiąkliwości lub ustalonego algorytmu postępowania wynikającego z takich badań. Może to oznaczać zarówno redukcję dozowanej wody dla kruszyw bardzo wilgotnych, jak i zwiększenie ilości dozowanej wody dla kruszyw suchych bardziej niż ich nasiąkliwość.

Alternatywnie, można ustalić proporcje betonu dla suchych kruszyw (*oven dry*), ale wtedy trzeba odróżnić wodę zaabsorbowaną przez kruszywo, która nie daje dodatkowej objętości mieszance, od wody zarobowej, która liczy się do objętości. Przy kontroli ilości wody wystarczy później uwzględnić wilgotność kruszywa bez konieczności porównywania z jego nasiąkliwością.

Powszechną praktyką wytwórni betonowych jest regulowanie konsystencji mieszanki betonowej poprzez regulowanie ilości naważanej wody, a nie ilości stosowanych plastyfikatorów. Powoduje to wysyłanie w ramach tej samej receptury betonów znacznie różniących się pod względem ilości efektywnej wody i zmiennym stosunku w/c , co zdaniem autorów nie powinno mieć miejsca gdyż utrudnia ocenę procesu produkcji mieszanki i pogarsza wyniki statystycznej oceny jakości. Jest też przyczyną utraty pompowności mieszanek w okresie jesiennym i spadku wytrzymałości próbek betonowych na początku lata.

3.3 Kruszywo

Zgodnie z normami amerykańskimi czy brytyjskimi kruszywo do betonu rozpatruje się osobno jako drobne i grube, po czym specyfikuje się proporcje ilości drobnego i grubego kruszywa. Publikowane krzywe graniczne uziarnienia skombinowanego stosu okrucowego mieszanki betonowej nie doczekały się włączenia do zbiorów standardowych specyfikacji. Wyjątkiem jest betonowa norma niemiecka (DIN 1045) skąd zaczerpnięte zostały krzywe do normy polskiej (PN B-06250), jednak już bez krzywych o nieciągłym uziarnieniu. Wygoda stosowania krzywych granicznych powoduje, że zapomina się o roli jaką w betonie spełnia grube a jaką drobne kruszywo. Pozwalają one bowiem na stosowanie kruszyw o dowolnym uziarnieniu, byle skombinowana krzywa leżała w polu dobrego uziarnienia. Wszędzie tam, gdzie znalezienie właściwie uziarnionych piasków było problemem, posługiwanie się granicznymi krzywymi uziarnienia DIN 1045 pozwalało na czytelne przedstawienie nadzorowi rozwiązań zastępczych, polegających na doziarnieniu drobnego piasku pochodzenia wydmowego czy plażowego drobnymi frakcjami kruszywa grubego. Wpisywanie się w pola właściwego uziarnienia piasków według norm brytyjskich (BS 882) czy Rozporządzenia¹ już niekoniecznie okazywało się tak proste i klarowne.

Warto tutaj nadmienić, że stosowanie przekruszonych ziaren kruszywa grubego i drobnego zwiększa wytrzymałość na rozciąganie betonu bezwzględnie i w stosunku do jego

² PN-EN 206-1, 3.1.30, 3.1.31

wytrzymałości na ściskanie. Nie ma więc obiektywnej przeszkody w stosowaniu ziaren żwirowych w betonie ściskanym, czyli w większości jego zastosowań w konstrukcjach zbrojonych i sprężonych. Wyjątkiem są betony nawierzchni drogowych i lotniskowych, dla których wytrzymałość na rozciąganie jest podstawową cechą kwalifikującą przydatność betonu.

W powszechnym przekonaniu inżynierskim wysoka nasiąkliwość wiąże się z niską mrozoodpornością kruszyw i betonu. W rzeczywistości wysokie wymagania dotyczące nasiąkliwości kruszyw naturalnych i sztucznych eliminowały kruszywa mrozoodporne, ale o nasiąkliwości większej niż zwykle specyfikowana wartość poniżej 1,5%, czyli na przykład kruszywa lekkie czy dolomitowe. Polska norma europejska nie stawia obecnie wymagań nasiąkliwości ani dla kruszyw, ani dla betonu, co nie oznacza, że warto jednak zachować ostrożność w stosowaniu kruszyw do betonu o nasiąkliwości powyżej 3%, granicy znajdowanej w wielu standardowych specyfikacjach zagranicznych. Jest oczywiste, że stosując kruszywa o średniej czy dużej nasiąkliwości jest konieczne uwzględnienie tego faktu w obliczaniu ilości wody efektywnej w mieszance betonowej. Oznacza to, że czasem całkowita ilość wody w mieszance musi być zwiększona w wytwórni betonu o kilkadziesiąt procent dla nasączenia przesuszonych kruszyw.

W niektórych rejonach Polski występują piaski i żwiry zawierające reaktywną krzemionkę w stopniu mogącym wpływać na uszkodzenia betonu podczas eksploatacji w ciepłym i wilgotnym środowisku (np. oczyszczalnie ścieków). Śladów reakcji alkalicznej warto poszukiwać w miejscach, gdzie widoczny jest stary, kilkudziesięcioletni beton dla wstępnego określenia prawdopodobieństwa zagrożenia reakcją alkaliczną stosowania miejscowych kruszyw.

3.3.1. Kruszywo grube

Podaż dostępnego w Polsce grubego kruszywa do betonu pochodzącego z przekruszenia skał cechuje się niekorzystnym kształtem ziarn, co szczególnie dla frakcji powyżej 20mm utrudnia lub uniemożliwia pompowanie betonu. Jest to wynikiem stosowania w kamieniołomach kruszarek szczękowych i granulatorów stożkowych, które nie zużywają się nadmiernie przy kruszeniu twardych skał bazaltowych, andezytów czy kwarcytów w porównaniu do kruszarek udarowych. Mimo to, w niektórych kamieniołomach bazaltu granulatory udarowe są stosowane w końcowym etapie kruszenia z korzyścią dla kształtu grysów i urabialności betonu z nich wykonywanych. Nie jest natomiast dla nas zrozumiałe, dlaczego nie stosuje się granulatorów młotkowych w żwirowniach i w kopalniach porfiru, gabra, granitu, wapienia czy dolomitu dla uzyskania jak najbardziej kubicznych ziaren.

Podaż grubych frakcji kruszywa żwirowego (16/32mm, 32/64mm) jest mała a ich cena wygórowana w stosunku do frakcji 2/8, 8/16 i 2/16, szczególnie w północnej Polsce. W niektórych regionach Polski naturalnie występujących pokładów żwiru nie ma, a tylko w południowej Polsce nie brak żwiru dobrej jakości, szczególnie z dorzecza Odry i Dunajca.

Jedynym znanym nam przepisem wagi państwowej uzależniającym maksymalny wymiar kruszywa grubego i jego rodzaj (grys) od klasy betonu jest Rozporządzenie¹, a cel takiego unormowania nie tylko jest niejasny, ale stanowi w niektórych przypadkach wyjątkowo szkodliwą barierę uzyskania właściwych cech betonu.

3.3.2. Kruszywo drobne

Rola kruszywa drobnego w betonie jest bardzo odpowiedzialna. Podczas gdy kruszywo grube nie powinno być niczym innym niż nieuciążliwym balastem w mieszance betonowej i w betonie, to kruszywo drobne wraz z wodą, cementem z dodatkami i napowietrzeniem (zaprawa) stanowią o ich jakości. W większości krajów świata za piasek uważa się kruszywo przechodzące przez sito 4 do 5mm, z dopuszczeniem niewielkiej ilości

nadziarna nawet do 14mm. W piasku preferowane jest ciągle uziarnienie od najdrobniejszych frakcji (0,1/0,3mm) odpowiedzialnych za pompowalność betonu, jego właściwe napowietrzenie i kohezję zaprawy, aż do frakcji 2/5mm odpowiedzialnej za uzyskiwanie przez mieszanke betonową urabialności. Kształt ziaren frakcji 2/5mm ma zasadniczy wpływ na ilość koniecznej zaprawy i wody w betonie, a skoro nie może podlegać łatwej ocenie pod tym względem, preferowane są piaski naturalne, zawierające duże ilości okrągłych ziaren tego kalibru.

Polska jest szczególnie bogata w złoża bardzo dobrych i dobrych piasków. Gorzej jest z podażą dobrze uziarnionych piasków. W zasadzie należałoby piaski kombinować poprzez mieszanie kopalin z trzech źródeł:

- piasek kopany o zasadniczej frakcji 0,1 do 0,3mm,
- piasek płukany 0,3 do 2mm oraz
- drobny żwir 2/5mm.

Polska betonowa norma europejska nie stanowi bariery w stosowaniu właściwie uziarnionych piasków, ani nie wymaga stosowania się do krzywych granicznych łącznego dobrego uziarnienia mieszanki kruszyw. Bariera tkwi raczej w przyzwyczajeniach technologów, braku właściwej ilości zasobników w wytwórniach betonu oraz w formalnych wymaganiach branżowych przekładających się na nabyte doświadczenia środowiska. Bagatelizowanie dobrego uziarnienia piasku jest widoczne w nagminnym niedotrzymywaniu przestrzegania krzywych granicznych piasku unormowanych w Rozporządzeniu¹, usprawiedliwiane niemożnością uzyskania odpowiednio uziarnionego piasku z jednego źródła i równoczesną niemożnością rozbudowy węzła betonowego o następne zasobniki dozatora kruszyw.

Mały popyt na stosowanie piasku z lekkiego kruszywa do betonu prowadzi do sytuacji, że piasek ten składa się z pokruszonych ziaren lekkiego kruszywa grubego, a nie z celowej produkcji ziaren o średnicy 0,3/5mm o zamkniętej powierzchni i okrągłym kształcie. Posiada więc cechy piasku kruszonego, który w zaprawie powoduje zmniejszenie urabialności. Może to być jedną z barier stosowania pompowalnych betonów lekkich.

Większość naturalnych polskich piasków ma pomijalnie małą nasiąkliwość i dopiero od niedawna istnieje polska norma na badanie nasiąkliwości kruszywa drobnego (PN-EN 1097-6). Brak umiejętności uwzględnienia nasiąkliwości kruszywa drobnego w receptach betonowych powodował na przykład niemożność zastosowania piasku lekkiego w betonie lekkim. Nawet jednak nasiąkliwości piasków naturalnych mogą być znacząco różne, od 0,1% dla kwarcytowych piasków wydmych do 2% dla piasków rzecznych płukanych, zawierających ziarna skał osadowych, co musi być uwzględnione w procesie wytwarzania betonu.

3.4. Napowietrzenie

Najbardziej niedocenianym składnikiem betonu w wykonawstwie jest właściwe napowietrzenie zaprawy betonowej. Decyduje ono o mrozoodporności betonu, ale także wpływa pośrednio na wiele innych cech betonu. Na przykład związane jest ze zmniejszeniem stosunku w/c, zmniejsza masę i ilość kruszywa w betonie, zmniejsza zjawisko odsączonej wody z betonu (bleeding) i wywołane nim powstawanie nieestetycznych uszkodzeń powierzchni betonu przy powierzchni szalunków (sand streaks). Zastępuje w zaprawie piasek, a więc można zmniejszyć ilość piasku w zaprawie o ilość napowietrzenia, a rozmiar powietrznych porów uzupełnia często krzywą uziarnienia piasku. Ilość pożądanego napowietrzenia porami powietrznymi właściwej wielkości (mniejszymi od około 0,3mm) jest mniejsza od ilości napowietrzenia ogółem, którą daje się pomierzyć za pomocą szeroko dostępnych prostych metod. Wymagane granice dla napowietrzenia odnoszą się do tej

ostatniej wielkości, ale trzeba pamiętać, że pory powietrzne powinny mieć właściwą, jak najmniejszą wielkość i powinny być rozmieszczone w zaprawie stosunkowo blisko siebie. Im więcej zaprawy w betonie, tym większa powinna być ilość napowietrzenia ogółem aby ten warunek był zachowany. Im większy rozmiar kruszywa w betonie, tym mniej w nim zaprawy. Stąd potrzeba zwiększenia napowietrzenia w betonach o maksymalnym wymiarze kruszywa mniejszym niż 20 do 32mm w stosunku do minimum podanego w tablicy F1 w PN-EN 206-1. Istnieje możliwość pomiaru średnicy i rozstawu porów powietrznych w betonie stwardniałym, a także w świeżym betonie. Nie są to badania ani łatwe ani tanie i jako takie nie nadają się do bieżącej kontroli jakości mieszanki betonowej i betonu. Pomiar ilości napowietrzenia metodą ciśnieniowego piknometra powietrznego nie jest możliwy dla bardzo porowatych kruszyw, w tym kruszyw lekkich, a wtedy należy zastosować metodę piknometra wodnego (ASTM C 173 lub inną podobną).

Napowietrzenie ogółem wpływa na wytrzymałość betonu i bez znaczenia jest fakt, czy pochodzi ono z zastosowania właściwych domieszek rozpraszających odpowiednio rozmieszczone kuliste pory powietrzne, czy są to pory powietrzne o wielkości powyżej 0,3mm „załapane” podczas mieszania składników betonu i nie usunięte, albo niemożliwe do usunięcia z betonu podczas zagęszczania. Przyjmuje się, że każdy procent powietrza w betonie zmniejsza jego wytrzymałość o około 5%. Kontrola jakości na budowie mieszanki betonowej nie może więc być oparta wyłącznie na badaniu wytrzymałości na ściskanie próbek betonowych, bowiem wytrzymałość ta będzie tym większa im mniejsze (gorsze) napowietrzenie próbek i betonu. Dlatego dla betonów mrozoodpornych bezwzględnie konieczne jest badanie napowietrzenia mieszanki betonowej na budowie, sprawdzone określeniem gęstości badanych próbek na ściskanie.

4. Bariery tkwiące w procesie wytwarzania betonu w centralnej wytwórni

Pierwszym ograniczeniem możliwości wytworzenia właściwego składu betonu jest **ograniczona powierzchnia składowisk kruszywa i ilości silosów systemu naważania kruszywa**. Jeśli weźmie się pod uwagę fakt, że do wytworzenia betonu grysowego „mostowego” konieczne jest stosowanie co najmniej dwóch rodzajów piasku (kopany drobnoziarnisty i płukany gruboziarnisty) oraz dwóch frakcji grysów (2/8 i 8/16), to wykorzystane są już 4 dozatory kruszyw. Jeśli wytwórnia ma produkować równocześnie beton żwirowy, to konieczne stają się następane trzy dozatory (frakcja 2/8, 8/16 i 16/32). W międzyczasie napływają zamówienia na „zwykły” beton od niewielkich kontrahentów, na potrzeby których używa się tańsze grysy ze skał osadowych, czyli potrzebne stają się następane dwa dozatory. Jak więc dostarczać beton lekki zawierający następane dwie lub trzy frakcje kruszywa lekkiego? Kierownicy wytwórni bronią się więc przed różnorodnością kruszyw, frakcji i rodzajów kruszywa, a najczęściej nie godzą się na zajmowanie dwóch czy trzech dozatorów na sam piasek. Wolą kompensację nieprawidłowego składu betonu zwiększonymi ilościami cementu, dodatkami popiołów czy domieszek. W końcu zmuszeni do realizacji innych recept niż przeciętne zmuszeni są do ponoszenia strat czasu i częściowo materiału przeładowując go z dozatorów z powrotem na składowiska. Podobnie jest z możliwością dobrania cementu, gdzie **barierą jest ilość i pojemność silosów na cement w wytwórni**. Zazwyczaj nie ma możliwości stosowania kilku różnych cementów mieszanych do różnych betonów, bo kierownicy wytwórni zwykle mają miejsce tylko na cement portlandzki, czasem cement hutniczy i popioły. Ogólnie brakuje zestawów do dozowania mikrokrzemionki pylastej i w zawieszynie.

Nie zawsze rozwiązaniem może być stosowanie własnych wytwórni wykonawcy, chyba że taka wytwórnia tylko wspomaga inną w wytwarzaniu specjalnych betonów potrzebnych na kontrakcie. Na mniejszej wytwórni problemy ze składowaniem i dozowaniem wcale nie stają się mniejsze. Pewnym rozwiązaniem stosowanym w wytwórniach jest wstępne

mieszanie frakcji i łączne dozowanie przez jeden dozator. Takie rozwiązanie jest możliwe dla piasku, który mógłby być wstępnie mieszany objętościowo w wytwórniach mieszanek mineralnych do podbudów drogowych, a następnie dozowany przez jeden dozator w wytwórni betonu. Dobrym pomysłem jest także produkcja gryków frakcji 2/8mm jako mieszanka wysokiej jakości żwiru 2/5mm z grysem 5/8mm, co radykalnie poprawia urabialność każdej wytworzonej później mieszanki betonowej. Produkcja taka nie może jednak być prowadzona jako mieszanie składników ładowarką na placu, gdyż wyniki nie będą zadowalające.

5. Beton bez barier: przykład betonu według specyfikacji brytyjskiej

W oczyszczalni ścieków „Płaszów II” w Krakowie specyfikacja techniczna przygotowana przez brytyjskiego konsultanta była realizowana w latach 2003-2007 przez polskiego wykonawcę pod nadzorem innego brytyjskiego konsultanta. Było więc możliwe zastosowanie się do wymagań podobnych do obecnie obowiązujących pod rządami normy PN-EN-206-1. Do realizacji konstrukcji olbrzymich reaktorów i osadników żelbetonowych stosowano jeden rodzaj betonu konstrukcyjnego (łącznie około 100 000 m³ betonu), produkowanego w czterech wytwórniach. Największe elementy betonowane jednorazowo miały objętość 900 do 1000 m³, fragmenty konstrukcji nie miały elementów węższych niż 30cm, a otulina zbrojenia wynosiła minimum 50mm. Beton³ musiał być pompowalny, mrozoodporny (XF3), szczelny i odporny na karbonatyzację (XC4), ale ze względów wytrzymałościowych beton miał mieć tylko wytrzymałość gwarantowaną 25 MPa.

Wykonawca zaproponował beton żwirowy o następującym składzie:

- żwir płukany 16/32, z nadziarnem nawet do 50mm, oraz żwir płukany 2/16 z rejonu Raciborza (ok. 1 % nasiąkliwości), potem z rejonu Tarnowa (ok. 2% nasiąkliwości),
- piasek płukany z rejonu Bochni o wątpliwej odporności na reakcję alkaliczną,
- piasek kopany ze Szczakowej,
- cement hutniczy CEM III 32,5N NA Góraźdze (330 kg), który w warunkach zimowych był zastępowany CEM III 42,5 lub CEM II BS 32,5R dla zapewnienia nieco większego ciepła hydratacji,
- domieszki uplastyczniające i napowietrzające (minimum 4% napowietrzenia, konsystencja S3),
- woda ze studni lub z wodociągu miejskiego, w/c= 0,44 (specyfikowane w/c_{max}=0,50).

³ W strefie wahań poziomu ścieków beton był zabezpieczony zaprawami PCC, a wszystkie powierzchnie zewnętrzne elementów betonowych ponad poziomem gruntu były malowane.



Fot. 1. Płyty fundamentowe, ściany i kierownice reaktorów oczyszczalni ścieków „Płaszów II” w Krakowie z pompowalnego betonu C25/30 na cemencie hutniczym i naturalnym żwirze o uziarnieniu do 32mm

Wymagana normą dla założonych warunków ekspozycji minimalna zawartość cementu wynosiła 320kg/m^3 , w/c maksimum 0,50. Proponowany skład betonu został zatwierdzony, ale kontrola jego wykonania oparta była nie tylko na sprawdzaniu wytrzymałości na ściskanie, która formalnie powinna być większa niż 25MPa^4 , lecz także na udokumentowanym składzie betonu. Określano to na podstawie analizy wydruków komputerowych naważania składników betonu i wilgotności kruszywa dla wszystkich dostarczanych na budowę betonozów. Przykładowo, w miesiącu kwietniu 2004 rzeczywista zmienność wielkości decydujących o możliwości ekspozycji betonu na środowisko były zawarte w następujących przedziałach:

- ilość cementu: 325 do 332 kg/m^3 ,
- wskaźnik w/c: 0,38 do 0,47
- 28-dniowa wytrzymałość na ściskanie: 28,0 do $40,9\text{ MPa}$,
- napowietrzenie: 3,5 do 5,8%.

⁴ Projektant opisał beton jako B25 F150 W8 według normy PN-B 06250.



Fot. 2. Przekrój próbki żwirowego betonu C25/30, cement hutniczy, zastosowanego w oczyszczalni ścieków do betonowania całości konstrukcji: wielkowymiarowych fundamentów i ścian reaktorów, ale także stosunkowo cienkich płyt fundamentowych, ścian, komór i kierownic w osadnikach.

W trakcie zatwierdzania betonu powstała wątpliwość, czy warunki eksploatacji betonu sprzyjające reakcji alkalicznej krzemionki z kruszyw są w wystarczający sposób skompensowane poprzez zastosowanie cementu hutniczego niskoalkalicznego. Toteż zażądano zbadania tego zjawiska zarówno dla samych kruszyw jak i dla betonu zrobionego według przedłożonej recepty. Wątpliwości wzbudzone zostały przez występowanie w przeszłości reakcji alkalicznej w okolicy miejsca budowania oczyszczalni, ewidentne z obserwacji śladów tej reakcji na przyczółkach niektórych wiaduktów z lat 60-tych XX wieku, murach oporowych z lat 80-tych XIX wieku oraz betonowych i lastrykowych grobowcach z XIX i XX wieku. Miejscowe pospółki zawierały duże ilości krzemieni, a piaski wykazywały stosunkowo duże ilości rozpuszczalnej krzemionki, nie były więc brane pod uwagę jako surowce do produkcji betonu. Wykonawca przedłożył badania proponowanych przez siebie materiałów. Syntezę wyników zamieszczono w poniższej tabeli. Upewniły one nadzór, że beton nie będzie ekspansywny z powodu reakcji krzemionkowo-alkalicznej nawet dla cementów portlandzkich oraz że zastosowanie cementu hutniczego znacząco zmniejsza ryzyko wystąpienia takiej reakcji w najbardziej wątpliwym pod tym względem piasku „R”.

Material:	Własność:	Badanie:	Wynik:	Wymagane:
Piasek „R”	Wydłużenie beleczek	PN-92/B-06714/34	0,078% po 6 miesiącach	≤ 0,10%
Piasek „R” jako zaprawa z cementem CEM III	Wydłużenie beleczek	ASTM C227a, ASTM C33	0,017% po 3 miesiącach 0,029% po 6 miesiącach	≤ 0,05% ≤ 0,10%
Żwir „R”	Wydłużenie beleczek	PN-92/B-06714/34	0,008% po 6 miesiącach	≤ 0,10%
Beton CEM III, piasek „R”, żwir „R”	Wydłużenie beleczek	ASTM C227a, ASTM C33	0,010% po 3 miesiącach 0,013% po 6 miesiącach	≤ 0,05% ≤ 0,10%
Żwir „T” 2/4mm 4/8mm 8/16mm 16/32mm	Ubytek masy pod działaniem NaOH [%]	PN-92/B-06714/46	0,44 0,08 0,10 0,18	≤ 0,5

Betony na cementach hutniczych napowietrzają się w taki sposób, że duża część wprowadzonego do mieszanki betonowej powietrza łączy się ze sobą w bąble o średnicy 1 do 5mm, a nawet więcej w warunkach niskich temperatur zewnętrznych. Większość tych bąbli daje się wyprowadzić z układanych elementów poprzez właściwe zagęszczanie betonu. Ale pod skośnymi powierzchniami szalunków zbierały się i łączyły ze sobą bąble o średnicy nawet do 2, 3cm, a wynikowa powierzchnia betonu była wysoce nieestetyczna. Powstała równocześnie wątpliwość, czy zwarta ilość napowietrzenia w mieszance wystarcza do zapewnienia jej mrozoodporności. Przeprowadzono eksperyment⁵, który wykazał, że jakkolwiek wszystkie badane mieszanki betonowe były napowietrzone w stopniu wystarczającym, uciążenie uziarnienia piasku drobnoziarnistym piaskiem kopanym (piasek S) daje największy wzrost ilości odpowiedniej wielkości porów powietrza określonych w ASTM C457 (patrz zestawienie poniżej), większy niż wymiana cementu na portlandzki żużlowy CEM II BS. Lepiej uziarniony piasek skutkuje w przypadku obydwu cementów mniejszą relatywną ilością szkodliwych porów powietrza.

Skład betonu:		Napowietrzenie betonu:	Ilość porów pomocnych w betonie (D≤300µm), wymagane wg. ASTM C457 >1,5%	Współczynnik odległości pomiędzy porami SF, wymagane wg. ASTM C457 <0,24mm	Ilość porów szkodliwych w betonie > 0,3mm
CEM III	Żwir P, Piasek P	4,2%	2,1%	0,214mm	2,1 (50%)
CEM III	Żwir P Piasek P+S	4,4%	2,6%	0,160mm	1,8 (41%)
CEM II BS	Żwir P, Piasek P	4,9%	2,3%	0,187mm	2,6 (53%)
CEM II BS	Żwir P Piasek P+S	3,5%	2,4%	0,170mm	1,1 (31%)

⁵ Sprzęt do badania dostarczyli i badanie przeprowadzili pracownicy firmy Woermann, później Degussa, obecnie BASF.

Transportowanie, pompowanie, wbudowanie, zgęszczanie i wykańczanie betonu nie sprawiło żadnych kłopotów, mimo że elementy bywały stosunkowo gęsto zbrojone. Wykonawca stosował wyjątkowo staranną pielęgnację, a najbardziej masywne elementy płyt fundamentowych (30x40x0,9m) betonowane były w zimie. Nie wykazywały one najmniejszych rys skurczowych, tak samo jak płyty fundamentów osadników o średnicy 40m i grubości zaledwie 0,3m. Wykonawca udowodnił, że stosując technologię wydłużonej pielęgnacji (ponding), którą nazywał „technologią białej wanny” i cement hutniczy można skutecznie uniknąć spękań termicznych i skurczowych.

5. Beton przelamujący bariery: mostowy beton lekki

Projektant przewidział przy remoncie obiektów mostowych w celu odciążenia konstrukcji zastosowanie betonu lekkiego klasy gęstości D1,8. Stare kapy chodnikowe z betonu zwykłego miały być zastąpione przez mrozoodporny beton lekki LC35/38, przez co zyskiwało się odciążenie fundamentów o około 40 do 150 ton w zależności od obiektu.. Wykonawca zaproponował beton lekki na kruszywie popiołowoporytowym 12mm z piaskiem płukany pochodzenia aluwialnego (kwarcyty, granitoidy), który spełniał wymagania wytrzymałościowe ale nie gęstości około 2000 kg/m³. Był to beton nie napowietrzany o zbyt małej średnicy kruszywa grubego i w związku z tym wzbudził zastrzeżenia nadzoru. Projektant utrzymywał, że według jego uprzednich doświadczeń jest możliwe wykonanie betonu na wyłącznie lekkim kruszywie (czyli bez użycia piasku o normalnej gęstości), według wskazówek podanych przez niego w specyfikacji szczegółowej. Kompromisowym rozwiązaniem okazało się:

- rezygnacja z kryterium dotyczącego nasiąkliwości betonu ustalonego przez projektanta uprzednio na poziomie 5%, jako nieadekwatnego dla tego rodzaju betonu (w rzeczywistości nasiąkliwość wynosiła zawsze powyżej 10%),
- ustalenie, że parametr wytrzymałości na ściskanie nie jest priorytetowy, konieczne jest natomiast zachowanie klasy gęstości, mrozoodporności i odpowiedniej szczelności.

Wykonawca we współpracy z nadzorem musiał pokonać jeszcze kolejne bariery dla wytworzenia odpowiednio lekkiego betonu:

- okazało się, że kruszywo drobne keramzytowe jest uziarnione niezgodnie z wymaganiami zamieszczonymi w SST,
- dokonano określenia nasiąkliwości i gęstości kruszywa drobnego (keramzyt 0/4mm) według ASTM, mimo, że badania tego nie wykonywano uprzednio dla kruszyw drobnych w laboratorium wykonawcy, gdyż nie było w tym czasie obowiązującej polskiej normy na takie badanie,
- Wzorując się na krzywych granicznych kruszywa o nieciągłym uziarnieniu z DIN 1045 dla betonu 16mm ustalono proporcje pomiędzy drobnym (0/4mm) i grubym (8/16mm) kruszywem po 50% objętościowo, co przeliczono na masę kruszywa suchego i na masę kruszywa o nasiąkliwości 4-ro godzinnej, którą przyjęto jako miarodajną dla mieszanki produkowanej w odległości do 25 km od placu budowy. Nasiąkliwość ta wynosiła dla kruszywa drobnego 15% a dla grubego 10%,
- zastosowano nienormowe badanie objętości powietrza w betonie lekkim (podobne do ASTM C 173) w dużym piknometrze szklanym, ze względu na brak aparatury do przeprowadzenia właściwego badania. Wyniki skonfrontowano z wynikami badań w ciśnieniowym piknometrze powietrznym. Okazało się, że wyniki obu metod są podobne do siebie i później w bieżącej kontroli jakości posługiwano się ciśnieniowym piknometrem powietrznym.

W taki sposób można było ustalić proporcje betonu o gęstości pozornej wilgotnego betonu 1700kg/m³, a więc dokładnie w środku przedziału dla klasy D1,8. Powstały beton posiada następujące cechy pozwalające na określenie warunków jego ekspozycji: w/c 0,35, zawartość cementu CEM I 42,5 MSR-NA 450 kg/m³, napowietrzenie 4% (XC4, XD3, XF4, XA3). Po zbadaniu zgodnie z normą PN/B-06250 beton ten spełniał warunki LB30 F150 W8 co uprawnia do określenia jego klasy wytrzymałościowej jako LC27/30.

W próbach laboratoryjnych wyraźna różnica pomiędzy betonem na kruszywie całkowicie lekkim a cięższym betonem lekkim zawierającym piasek naturalny zaznaczała się podczas zagęszczania betonu. Lekkie kruszywo podczas zagęszczania wypływa z ciężkiej zaprawy powodując segregację betonu niemożliwą do przewyciężenia. Beton lekki wyłącznie na kruszywie lekkim nie wykazuje takiej tendencji, chociaż jego powierzchnia w kapach chodnikowych zawsze posiadała teksturę „pagórkowatą” wymagającą wyrównania przed ułożeniem nawierzchni chodnika.



Fot. 3. Przekrój mrozoodpornego i szczelnego betonu LC27/30 D1,8

Wykonawca przeznaczył jeden niewielki węzeł betoniarski do produkcji tego betonu i wyniki bieżącej kontroli jakości przedstawiały się następująco:

- gęstość pozorna mieszanki betonowej: 1679 do 1901 kg/m³,
- 28-dniowa wytrzymałość na ściskanie: 31,1 do 39,8 MPa,
- napowietrzenie: 4,1 do 7,0%,

Wykonawca nie dostarczał wydruków komputerowych naważania betonu, toteż trudno ustalić rzeczywisty zakres zmienności stosunku w/c i ilości cementu. W produkcji było istotne nasączenie wodą przez około 2 minuty kruszywa lekkiego pochodzącego z zadaszonego magazynu w procesie mieszania zanim dodało się cementu i wody zarobowej z dodatkami dla uniknięcia penetrowania dodatków do wnętrza kruszywa i powstawania otoczki cementowej na ziarnach kruszywa. Po przeniesieniu produkcji do centralnej wytwórni, gdzie dwukrotne dodawanie wody nie było możliwe w tym samym cyklu mieszania, trzeba było zrezygnować z magazynowania pod zadaszeniem i wtedy wilgotność kruszywa stała się podobna do jego 4-ro godzinnej nasiąkliwości (keramzyt 0/4: 6,2 do 15,4, średnio 11,7%; keramzyt 8/16: 8,1 do 17,6, średnio 13,5%). Pozwoliło to na jednokrotne naważenie wody zarobowej.

Zastosowanie betonu lekkiego ma ogromną przyszłość wraz ze wzrostem rozpiętości przęseł mostowych i wysokości budynków [2]. Gęstość mrozoodpornego i szczelnego betonu na całkowicie lekkim kruszywie (1700 kg w stanie świeżym, około 1600 w stanie powietrzno-suchym) daje zmniejszenie ciężaru własnego budowli o około 600kg/m³ w stosunku do betonów żwirowych i o około 800kg/m³ w stosunku do betonów na grysach bazaltowych.

Gdyby jednak beton taki miał być pompowalny, to gruby piasek keramzytowy (1/4mm) powinien być produkowany w procesie spiekania (a nie kruszenia), a dla uciąglenia krzywej uziarnienia betonu powinno się zastosować pewną ilość frakcji keramzytu 4/8mm oraz zastosować małą domieszkę naturalnego piasku drobnoziarnistego 0,1/0,3mm.

6. WNIOSKI

1. Obiektywną barierą w stosowaniu dobrych proporcji betonu jest brak przygotowania technicznego kadry do wykorzystania możliwości zawartych w przepisach międzynarodowych, w tym PN-EN 206-1.
2. Przyzwyczajenie do „dekretowania” betonu poprzez porównywanie go do norm, specyfikacji i rozporządzeń stoi w sprzeczności z podejściem polegającym na kształtowaniu pożądanych właściwości betonu i mieszanki betonowej poprzez celowy dobór rodzaju jego składników o adekwatnej jakości. W ten sposób środowisko inżynierskie w swojej większości ciągle akceptuje betony o zbyt drobnym uziarnieniu i o wysokiej zawartości wody efektywnej, oraz nie zauważa problemów związanych z betonowaniem elementów wielkowymiarowych.
3. Stosunkowo najwięcej barier różnorodności specjalnych betonów występuje w wytwórniach centralnych, gdzie kierownictwo dąży do ograniczenia ilości naważanych kruszyw, cementów, domieszek i dodatków. Zauważa się to szczególnie przy planowaniu produkcji betonów o frakcjach grubszych niż 16mm oraz betonów lekkich.
4. Najwięcej rezerw we właściwym wykorzystaniu surowców i możliwości celowego zaprojektowania pożądanych cech betonu leży w produkcji kruszyw. Pożądany jest na rynku piasek o uziarnieniu zgodnym z Rozporządzeniem¹, który w większości przypadków musiałby być przygotowany w kopalni jako mieszanina dwóch piasków. Dla zmniejszenia przeciętnej ilości wody w betonach przydatny byłby piasek o ciągłym uziarnieniu od 0,1 do 5mm. Dla tego samego celu pożądana byłaby produkcja grysów o lepszym kształcie ziaren poprzez stosowanie kruszarek udarowych.
5. Formalne ogłoszenie granicy pomiędzy kruszywem drobnym a grubym w betonach na sicie #5mm spowodowałoby lepsze wykorzystanie surowców skalnych w kamieniołomach. Miał 0/5mm znajduje zastosowanie w produkcji mas bitumicznych i nie musi być używany do betonu cementowego, oprócz wyjątkowych okoliczności. Betony grysowe zawierające piasek o okrągłych ziarnach we frakcji 2/5mm cechują się dobrą urabialnością, nawet jeśli maksymalny wymiar ziarna grysowego jest 20, 25 czy 32mm, pod warunkiem dobrego kształtu grysów. Betony takie są pompowalne, jeśli zawierają ponadto dostateczną ilość frakcji piaskowych o uziarnieniu 0,1/0,3mm.
6. Stosowanie najgrubszego możliwego uziarnienia betonu w elementach konstrukcyjnych, dostosowanego jedynie do rozstawu i otuliny zbrojenia dałoby w efekcie oszczędność cementu i wody w betonach, co skutkowałoby ich większą odpornością na zarysowania.

7. LITERATURA

[1] Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz. Praca zbiorowa pod kierunkiem Lecha Czarneckiego. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004

[2] T. Siwowski: Przykłady zastosowań betonów niekonwencjonalnych w polskim mostownictwie. GEOINŻYNIERIA drogi mosty tunele 04/2005 (07)