

Domieszki w budownictwie mostowym i komunikacyjnym w Polsce – doświadczenia i nowości.

Wstęp.

Produkcja betonu specjalnego (tzw. beton mostowy i drogowy) traktowanego jako beton towarowy w Polsce systematycznie wzrasta, co jest związane ze znacznymi inwestycjami w tym segmencie rynku. Jest to proces, który stanowi odrabianie zaległości dotyczących rozwoju i modernizacji infrastruktury mostowo drogowej w naszym kraju. Potwierdzeniem tej sytuacji, jest fakt iż każdego roku budowanych jest średnio około pół tysiąca nowych mostów, a więc co trzeci most drogowy został zbudowany już po 1989 roku. W tej statystyce absolutnie dominującym i wiodącym materiałem konstrukcyjnym, w budownictwie mostowym, jest beton, z którego wykonuje się prawie 90% obiektów. Coraz częściej betonowe konstrukcje komunikacyjne są poligonem dla gdzie stosowane są najnowsze rozwiązania takie jak betony wysokowartościowe (*High Performance Concrete*), betony wysokiej wytrzymałości (*High Strength Concrete*), betony samozagęszczalne (*Self Compacted Concrete*, Fibrobetony (*Fibre Reinforced Concrete*, betony ultrawysokowartościowe (*Ultra High Performance Concrete*) itp.

Intensywne inwestowanie w mosty, wiadukty, drogi, lotniska, dworce kolejowe wymaga stosowania nowoczesnego, modyfikowanego betonu wysokiej jakości, produkowanego i transportowanego jednak jak beton towarowy. Ten trudny technologicznie problem udało się rozwiązać poprzez stosowanie nowych rodzajów domieszek do betonu oraz materiałów pomocniczych wcześniej w Polsce nie stosowanych.

Tendencje rozwojowe w produkcji betonów mostowych i dróg betonowych w Polsce na przykładzie wybranych realizacji.

Tendencje rozwojowe kształtujące się w produkcji specjalistycznego betonu dla budownictwa komunikacyjnego przedstawione są w poniższym opracowaniu.

Szczególnymi bodźcami rozwoju technologii modyfikacji betonu były duże inwestycje dla których opracowano nowe, produkowane w Polsce domieszki:

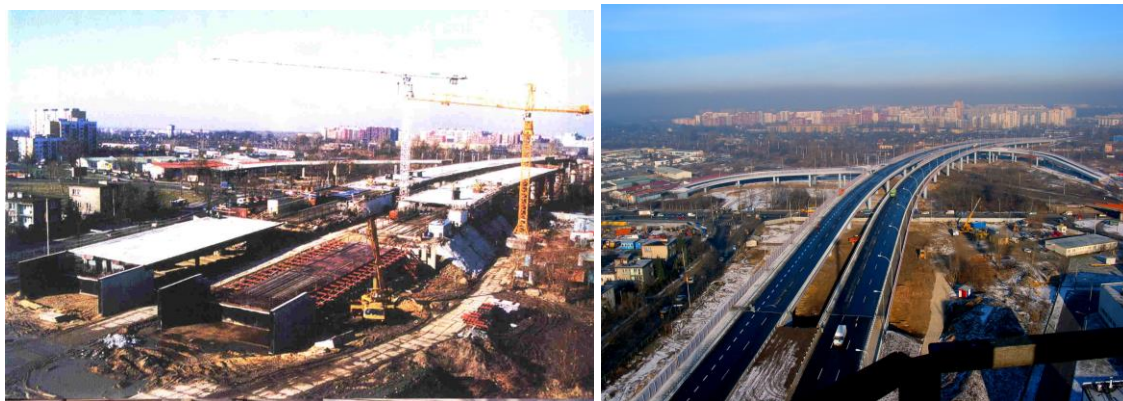
Od początku lat 90tych XX wieku obserwowany jest stały rozwój domieszek opartych o polimerowe związki PolyCarboksylatowe Polyoxyetylenowe (PCP) oraz związki Amono Phosphonate Polyoxytylene (APP). Początkowo proces ten dotyczył szczególnie betonów o dużej ilości cementu i niskich wskaźnikach wodno–cementowych. W efekcie domieszki tego typu były pierwotnie stosowane głównie do modyfikacji betonów specjalnych (np. betony samozagęszczające się, betony stosowane w prefabrykacji, głównie strunobetonowe, betony BWW, mostowe, architektoniczne i inne).

W pierwszych latach XXI wieku badanie prowadzone przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM) potwierdziły możliwość zastosowania betonów modyfikowanych domieszkami opartymi na technologii PCE do krajowych wymagań mostowych.



Fot.1. Ciosy podłożyskowe mostu kolejowego w Milówce wykonane na bazie z betonu modyfikowanego domieszkami na bazie technologii PCE

Pierwszymi pilotażowymi realizacjami z zastosowaniem technologii betonów samozagęszczalnych SCC i prawie samozagęszczalnych (ASCC) były ciosy podłożyskowe mostu kolejowego w Milówce koło Żywca oraz nowej estakady Gądów we Wrocławiu.



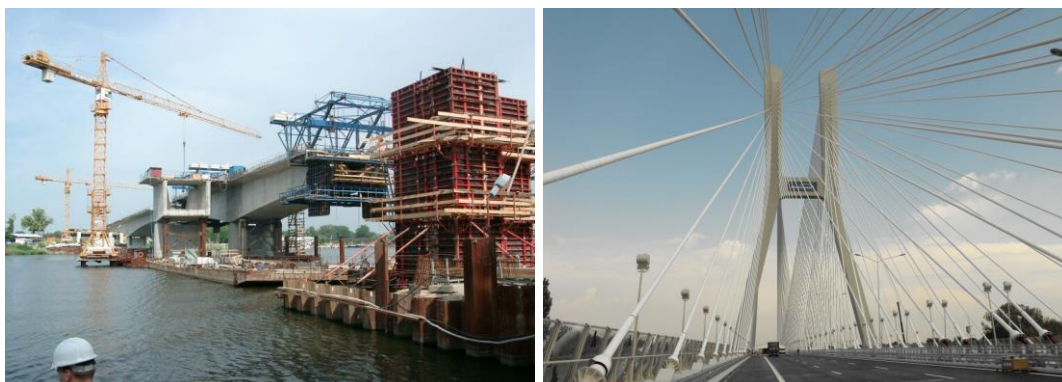
Fot 2. Budowa i widok ogólny estakady Gądów we Wrocławiu.

Znaczącym osiągnięciem było wybudowanie w 2002 roku, pierwszego, wykonanego całkowicie w technologii betonu samozagęszczalnego, Mostu Zamkowego w Rzeszowie (proj. Dr inż. T. Siwowski). Most o rozpiętości 50m, do którego zużyto prawie 900 m³ betonu, powstał w formie doskonale wkomponowanych w otoczenia trzech łuków, na których położony jest pomost. Bardzo duża ilość, ściśle ułożonego zbrojenia wymagała zastosowania najnowszych domieszek superplastyfikujących opartych o polimery PCE. W tamtym czasie było to jedno z największych europejskich zastosowań tego typu betonu w budownictwie mostowym.



Fot 3. Budowa i wygląd końcowy, pierwszego w Polsce, wykonanego całkowicie w technologii betonu SCC, Mostu Zamkowego w Rzeszowie.

Autostradowa obwodnica Wrocławia A 8, z najdłuższym w Polsce podwieszonym na pylonie o wysokości 120 m mostem i estakadami dojazdowymi we Wrocławiu była największą inwestycją mostowo drogową zakończoną w 2011 roku. Bardzo wysokie wymagania projektowe, jakościowe i terminowe tego obiektu wymagały opracowania całkowicie nowej domieszki superplastyfikującej o nazwie Sika ViscoCrete 3088. Działanie tej domieszki w mieszance betonowej jest oparte na kilku zjawiskach fizyczno-chemicznych. Dzięki wykorzystaniu zjawiska adsorpcji powierzchniowej i efektu przestrzennej separacji cząstek działających na ziarna cementu i frakcji mialkich uzyskiwana są takie właściwości mieszanki betonowej i betonu jak: Możliwość dużego ograniczenia ilości wody zarobowej, co pozwala na uzyskanie betonu o wysokiej gęstości i wytrzymałości oraz uzyskania długiego okresu utrzymywania konsystencji.



Fot.4. Budowa i efekt końcowy: Most Rędzński – drogowy most wantung nad Odrą, będący częścią autostrady A8 (Autostradowej obwodnicy Wrocławia - AOW). Projekt mostu: Zespół Badawczo-Projektowy "Mosty – Wrocław" pod kierownictwem prof. Jana Biliszczuka.

Drugim tegorocznym krokiem milowym budownictwa drogowego w Polsce był 106 kilometrowy odcinek Autostrady A 2 Nowy Tomyśl – granica państwa. Po raz pierwszy tak znaczący odcinek nawierzchni został wykonany w technologii płukanego betonu. Do realizacji tego projektu, razem ze wszystkimi towarzyszącymi obiektami inżynierskimi, niezbędne było opracowanie odpowiedniej kombinacji domieszki upłynniającej, domieszki napowietrzającej, opóźniacza powierzchniowego i preparatu błonotwórczego.

Przy dużym obciążeniu ruchem nawierzchnie bitumiczne w Polsce się nie sprawdzają. Przykładem jest autostrada A2 (odcinki Konin – Września, Poznań – Nowy Tomyśl) czy autostrada A4 (Katowice – Kraków). Znacznie korzystniejsze w eksploatacji są betonowe nawierzchnie drogowe.

Użytkownicy nawierzchni betonowych doceniając ich walory eksploatacyjne kwestionowali jednak poziom hałasu wynikający z toczenia się opon oraz zakaz stosowania środków odladzających w pierwszym okresie eksploatacji. Z problemem odladzania uporano się dość szybko ale problem hałasu został dopiero niedawno rozwiązany.

Powstała w Zachodniej Europie technologia „cichych nawierzchni betonowych”

Nawierzchnia betonowa jest dwuwarstwowa, przy czym górna warstwa, stosunkowo cienka wykonana jest na kruszywach do 8 mm. Uszorstnienie górnej powierzchni uzyskuje się poprzez chemiczne trawienie betonu. Preparat stosowany do tej operacji jest dwufunkcyjnym środkiem błonotwórczym, który uniemożliwia wiązanie cementu do określonej głębokości a jednocześnie stanowi preparat pielęgnacyjny.



Fot. 5. Budowa nawierzchni betonowej – technologia „płukanego betonu” – autostrada A2 Nowy Tomyśl – granica państwa. Przekrój przyjętego typu konstrukcji - płyta z betonu cementowego, dyblowana, ułożona na podbudowie z chudego betonu.



Fot. 6. Wykonanie nawierzchni betonowej - nadanie makrotekstury poprzez odsłonięcie kruszywa „szczotkowanie” w celu uzyskania wymaganej szorstkości oraz gotowa nawierzchnia betonowa wykonana w technologii płukanego betonu .

Równoległe z budowaną infrastrukturą drogową realizowana jest także infrastruktura lotniskowa zarówno lotnictwa cywilnego jak i wojskowego. Przykładem są tu lotniska cywilne Okęcie, Balice, Ławica, Rębiechów, Goleniów i inne oraz wojskowe Malbork, Krzesiny, Powidz i inne.



Fot. . Budowa drogi kołowania oraz gotowa płaszczyzna postoju samolotów na lotnisku w Krzesinach.

Do budowy mostów przez Wisłę w Puławach, Sandomierzu i w Kwidzynie, konieczne było zapewnienie dostaw betonu klasy B 80. Po raz pierwszy w Polsce był to beton towarowy, który także wymagał nowych domieszek superplastyfikujących.



Fot.7 Beton towarowy klasy B80, modyfikowany superplastifikatorami serii Sika ViscoCrete, dostarczany do budowy mostu w Puławach.

Budownictwo infrastruktury – mosty i wiadukty.

Inwestycje mostowe i wiadukty realizowane w ostatnich latach dla spełnienia wymogów określonych w specyfikacjach technicznych wymogły na producentach domieszek nowe podejście do oferowanych produktów.

Spełnienie wymogów stawianych przed tymi betonami spowodowało konieczność opracowania specjalnie dobranych domieszek typu PCE (Sika ViscoCrete) o właściwościach

dopasowanych do cech obecnie oferowanych cementów spełniających wymagania określone w aktualnie przygotowywanych specyfikacjach.

Dokonywane modyfikacje klinkieru w poszczególnych cementowniach spowodowały konieczność opracowywania upłynniaczy, które dobrze współpracują z danym rodzajem klinkieru. Powstała zatem cała grupa nowych domieszek typu PCE współpracujących z określonymi rodzajami cementów.

W efekcie uzyskano betony mostowe spełniające wymogi specyfikacji technicznej projektu, a także uzyskano bardzo dobre właściwości mieszanki betonowej, które umożliwiły prawidłowe jej wbudowanie.

Kształtowanie zewnętrznej faktury elementów mostów.

Współczesny rynek domaga się wykonywania wysokiej jakości elementów betonowych, spełniających bardzo wysokie wymagania stawiane przez Inwestora jak i Projektanta, a dotyczące przede wszystkim trwałości i estetyki wykonania. Powstałe dzięki rozwojowi nowych, polimerowych domieszek do betonu technologie betonów samozagęszczających się (SCC) oraz jej siostrzana technologia betonów prawie samozagęszczających się (ASCC) stały się perspektywnym rozwiązaniem technologicznym dla wykonawców elementów betonowych wylewanych na placu budowy czy jako elementów prefabrykowanych.

W prefabrykacji elementów żelbetowych po okresie fascynacji betonami wykonywanymi w technologii SCC oraz ASCC nastąpił okres, w którym projektanci i technolodzy zaczynają traktować tego typu mieszanki jako kolejne standardowe rozwiązanie. Pomimo wielu trudności, które należało pokonać przy opracowywaniu i wdrażaniu nowych rozwiązań efekt końcowy zawsze potwierdzał słuszność takiego wyboru. Kolejne generacje nowo opracowanych domieszek pozwalają na konstruowanie mieszanek betonowych łatwiejszych w codziennej produkcji oraz mniej wrażliwych na jakiegokolwiek zaburzenia w stosie okruszowym czy też zmiany współczynnika w/c.

Zakłady prefabrykacji, producenci betonu towarowego i przede wszystkim wykonawcy obiektów opanowali produkcję, montaż elementów żelbetowych prefabrykowanych czy wylewanych o wysokich parametrach wytrzymałości, szczelności i zwiększonej trwałości a także różnorodnego kształtowania faktury zewnętrznej betonu w rozumieniu betonu architektonicznego.

Możliwości kształtowania zewnętrznej faktury betonowych prefabrykatów mostowych, a także faktury betonów wylewanych na placach budowy są przedstawione poniżej. Przedstawiono kilka realizacji elementów konstrukcyjnych oraz osłonowych, w których z powodzeniem zastosowano w/w technologie. W efekcie przekonano się, że możliwe jest wykorzystanie różnych konfiguracji składu, tj. cementu, wypełniaczy, kruszyw, domieszek optymalizując cały układ pod kątem możliwości technicznych zakładu przy równoległym prowadzonym rachunku ekonomicznym kosztów produkcji w tych technologiach.

Wymagania stawiane betonowym elementom mostów

Technologie ASCC i SCC wniosły sporo zmian w sposobie wytwarzania prefabrykatów czy elementów wylewanych na mokro. Zdecydowanie poprawiła się kultura produkcji mieszanki betonowej oraz jej dalszego przetwarzania. Znacznie wzrosły także oczekiwania

zamawiających, co do uzyskiwania określonej faktury, stałej barwy, zachowania wymiarów elementów zgodnie z dokumentacją.

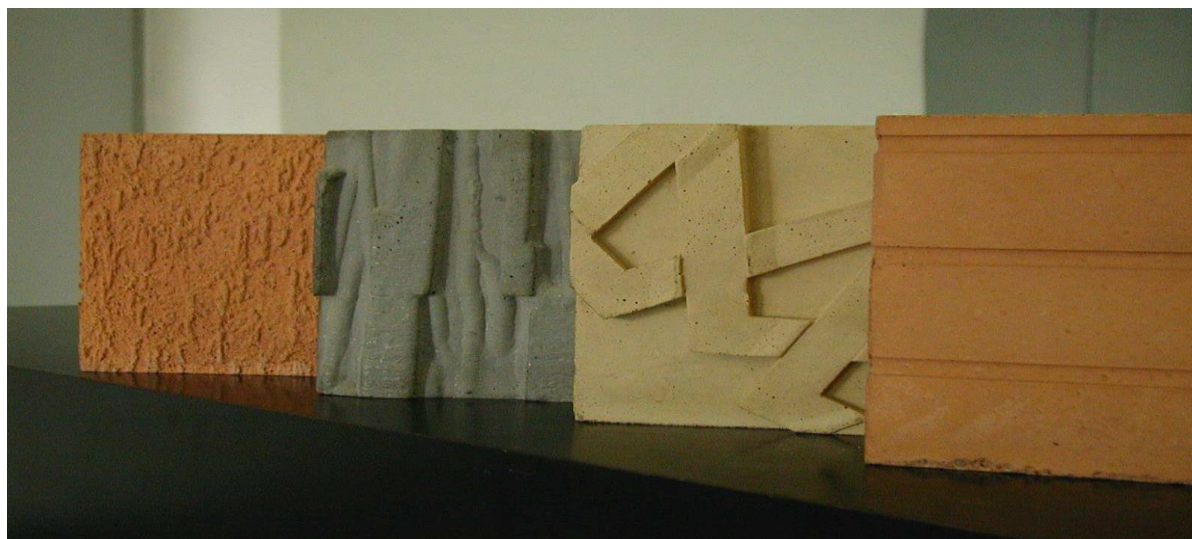
Produkowane elementy można podzielić na dwie kategorie:

Pierwsza, w której najważniejszym zadaniem jest uzyskanie powierzchni elementu o dużej gładkości, dobrego odwzorowania matrycy, prawidłowego ukazania ziarna kruszywa, lub też uzyskanie określonej, a co najważniejsze jednolitej barwy elementu.

Do drugiej kategorii można zaliczyć wszystkie te elementy, dla których podstawowym parametrem jest osiągnięcie bardzo wysokiej wytrzymałości wczesnej, powyżej 40 MPa, w czasie ok. 16 godzin (np. produkcja elementów strunobetonowych). Oczywiście producent prefabrykatów w każdym przypadku oczekuje takiej modyfikacji mieszanki betonowej, aby uzyskać w efekcie prefabrykat o jak najlepszych cechach jednak w większości przypadków zawsze mamy do czynienia z tzw. parametrem dominującym, któremu podporządkowujemy dalsze nasze działania.

W praktyce zawsze technolog musi pogodzić wszystkie powyższe wymagania w związku, z czym praca jego jest weryfikowana przez obie strony uczestniczące w projekcie - zamawiającego (często dane rozwiązanie opiniuje architekt) oraz producenta. Czy dana receptura spełnia nasze oczekiwania wystarczy określić podstawowe parametry świeżej mieszanki betonowej oraz wytrzymałość na ściskanie zbadane na próbkach sześciennych lub walcowych, w założonych przez nas odstępach czasu. Natomiast na podstawie wykonanych próbek w postaci płyt o wymiarach ok. 60x60 cm typujemy wyjściową receptę do dalszych badań w warunkach przemysłowych.

Po kolejnej weryfikacji uzyskanych wyników w postaci gotowych elementów ustala się wzorzec, który stanowi podstawę do oceny powierzchni pozostałej produkcji. Jeżeli na początku kontraktu technolog wraz z projektantem osiągną kompromis, co do jakości produkowanych elementów, to w późniejszym okresie zaowocuje to bezkonfliktową realizacją.



Fot. 8. Przykłady próbek betonu elewacyjnego dla okładzin przyczółków mostowych



Fot. 9. Dźwigar mostowy – technologia SCC (bez szpachli i malowania)

System barwionego betonu.

Beton barwiony to znacznie więcej niż beton z dodatkiem porcji pigmentu. Podstawą konstrukcji takich betonów to beton architektoniczny wraz z całą procedurą zaczynając od projektowania, a kończąc na wykonaniu elementu betonowego i jego pielęgnacją. Na każdym etapie muszą być podejmowane zasadnicze decyzje dotyczące prawidłowego toku postępowania oraz koniecznej systemowej kontroli jakości całego procesu.

System barwionego betonu, zapewnia uzyskanie w betonie niezwyklej palety barw o wysokiej jakości i jednorodności. System ten zapewnia możliwie najlepsze uzyskiwane kolory betonu co daje możliwość spełnienia oczekiwań zarówno inwestorów jak i projektantów we wszystkich możliwych zastosowaniach, od betonu towarowego aż do indywidualnych projektów elewacji, aranżacji wnętrz czy elementów prefabrykowanych. Receptury betonu prawidłowo technicznie skonstruowane a jednocześnie ekonomicznie efektywne są naszą drogą do zapewnienia sukcesu realizacji zadania zapewniając naszym klientom korzyści i zdobywając ich zaufanie.



Fot. 10. Kolorowy beton - świeża mieszanka betonowa.

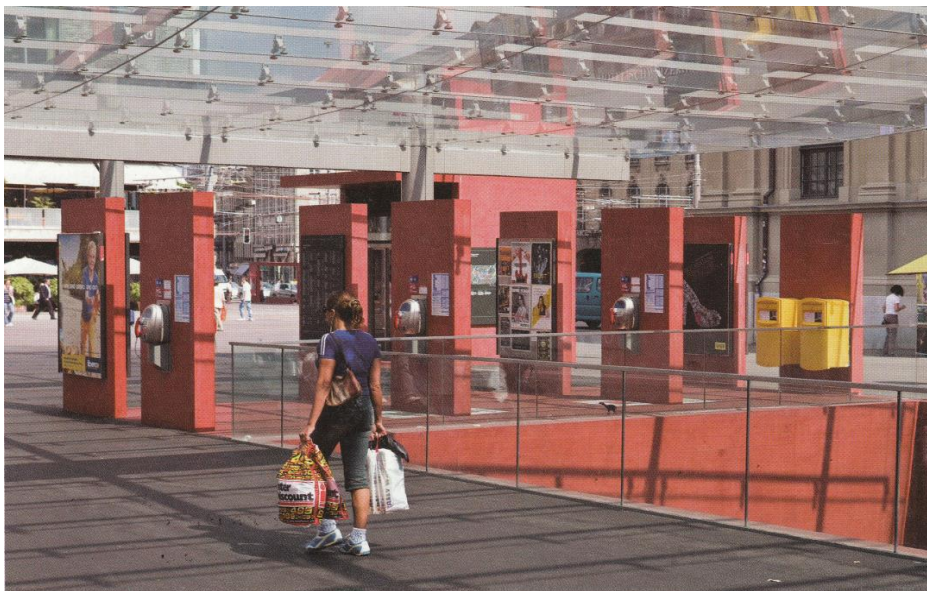
Duży wybór kolorów podstawowych (12 kolorów) daje możliwość ich mieszania w różnych proporcjach pozwalając uzyskiwać barwny beton w prawie nieograniczonej gamie odcieni wielu barw.

Zastosowanie systemu zapewnia łatwość uzyskiwania barwnego betonu oraz zapewnia ochronę środowiska przed pyłem przy wykonywaniu barwionych w masie betonów dzięki płynnej formie domieszki barwiącej.

System może być wykorzystywany także do produkcji i wykonywania konstrukcji:

- produkcja kostki brukowej
- betonowych elementów drobnowymiarowych
- posadzek betonowych
- elementów prefabrykowanych wykonywanych w różnych technologiach (także SCC)
- konstrukcji wylewanych na mokro z betonu towarowego

Dozowanie domieszek barwiących może być wykonywane przy wykorzystaniu dozatorów domieszek, dla różnych systemów mieszania, w tym także w betonowozach. Przy możliwości korzystania z bardzo różnych systemów mieszania i dozowania, uzyskanie właściwych kolorów jest zapewnione w bardzo różnych warunkach, niezależnie czy jest to codzienna produkcja dużych ilości betonu, czy też produkowane są małe ilości betonu do zastosowań specjalnych, np. fragmenty konstrukcji budynku czy posadzce. Należy zwrócić uwagę aby mieszalnik betonu był załadowany maksymalnie w 40% jego nominalnej objętości mieszania, co jest warunkiem dobrego wymieszania pigmentu z pozostałymi składnikami mieszanki betonowej. Należy stosować tę samą recepturę betonu, utrzymywać ten sam wskaźnik w/c i jednakową konsystencję betonu.



Fot. 11. Szerokie możliwości wykorzystania efektów barwnego betonu. Dworzec kolejowy w Bernie (Szwajcaria).

Przykłady zastosowań betonów ASCC i SCC w prefabrykacji

W ciągu ostatnich kilku lat z powodzeniem wykonano wiele projektów, które niejednokrotnie zapoczątkowały zmianę technologii w całym zakładzie. Wprowadzenie domieszek nowej generacji umożliwiło w zakładach prefabrykacji osiągnięcie jeszcze lepszych parametrów jakościowych produkowanych elementów bez podnoszenia kosztów. Również wzrósł poziom bezpieczeństwa produkcji przez podniesienie wytrzymałości wczesnej (tzw. na rozformowanie). W wyniku, czego ilość uszkodzeń znacznie zmalała bez wprowadzania dodatkowej obróbki termicznej.

Przykładem zastosowania betonu ASCC w prefabrykacji jest produkcja dźwigarów strunobetonowych, z betonu klasy B60. Wymagana ze względu na zwolnienie strun sprężających wytrzymałość rozformowania elementów wynosi 45 MPa.



Fot: 12. Widok wyprodukowanych dźwigarów strunobetonowych – technologia ASCC – rok 2004

Dotychczasowa technologia produkcji, która dodatkowo zakładała nagrzewanie form umożliwiało wytwarzanie w/w elementów w cyklu 48 godzinnym. Dla produkcji w cyklu 16 godzinnym jedynym rozwiązaniem w tej sytuacji bez radykalnego zwiększenia kosztów, (podniesienie temperatury mieszanki i szalunku), było zastosowanie technologii betonu ASCC o bardzo wysokiej ciekłości opartej o upłynniacze polimerowe grupy PCE. Ze względu na bardzo duże zagęszczenie prętów zbrojeniowych oraz strun sprężających, uniemożliwiających dotarcie do każdego fragmentu elementu wibratorem pogrążonym mieszanka musiała charakteryzować się wysoką ciekłością, tak aby samoczynnie „płynęła” i szczelnie wypełniła formę. Z tego powodu zdecydowano się na zabudowę mieszanki betonowej w technologii ASCC, dzięki czemu osiągnięto szczelne otulenie prętów zbrojeniowych.

W związku z wymogami procesu produkcyjnego czas przerobu mieszanki betonowej nie mógł być krótszy niż 60 min. W tym okresie nie mogła też nastąpić znaczna utrata konsystencji uniemożliwiająca ułożenie i zawibrowanie mieszanki w formie. Gotowe elementy strunobetonowe miały dodatkowo charakteryzować się bardzo estetyczną, jednolitą, pozbawioną kawern i porów powierzchnią zewnętrzną spełniającą wymogi trwałości i estetyki (eliminacja powłok ochronnych, szpachli itp.).



Fot. 13. Dźwigar mostowy wykonany w technologii SCC – rok 2010

Po opanowaniu produkcji w systemie ASCC można było przejść do technologii SCC czyli betonu samozagęszczalnego. W rezultacie przy zachowaniu parametrów wytrzymałościowych betonu świeżego i stwardniałego w tym najważniejszego parametru dla prefabrykacji czyli wczesnej wytrzymałości uruchomiona produkcja zlikwidowała konieczność zagęszczania poprzez wibrowanie (eliminacja hałasu) i uzyskanie bardzo wysokiej jakości zewnętrznych powierzchni betonu.

Problem właściwego kształtowania zewnętrznych powierzchni zarówno w betonowych prefabrykatach mostowych czy elementach konstrukcji mostowych, wylewanych na placach budowy, jest ważny dla wielu krajów w tym także dla Polski.

Inwestorzy i projektanci oczekują estetycznego i trwałego sposobu kształtowania odpowiednio zróżnicowanej i atrakcyjnej faktury zewnętrznej betonu. Dotychczasowe metody polegające głównie na nakładaniu barwnych powłok z wysokiej jakości farb, często na koniecznych szpachlach nie są zadowalającym i wystarczającym rozwiązaniem. Przedstawione powyżej rozwiązania wychodzą naprzeciw tym oczekiwaniom.

Ograniczenie skurczu związanego z hydratacją cementu.

Dla projektowanych i realizowanych w ostatnich latach obiektach przemysłowych i infrastrukturalnych coraz większe znaczenie ma problem ograniczenia skurczu betonu. Wynika to z konieczności sprostania wymogom stawianym najczęściej przez użytkownika, który oczekuje projektowania elementów konstrukcyjnych, gdzie problemy wywołane skurczem betonu są istotnymi ograniczeniami projektowymi.

Najczęściej dotyczy to takich elementów jak specjalne płyty mostowe, fundamenty maszyn, stropy obiektów przemysłowych czy też posadzki przemysłowe. Skurcz betonu w tych konstrukcjach ogranicza możliwości projektowe i zmniejszenie jego zakresu jest problemem bardzo istotnym.

Zasady konstruowania betonu muszą każdorazowo uwzględniać wymagania jakie stanowią dla betonu stwardniałego, biorąc między innymi pod uwagę konieczność ograniczenia skurczu betonu wynikającego z procesu hydratacji cementu i odsychania betonu gwarantującego nie wystąpienie rys o wielkości ponad normowej. Rezultatem nie spełnienia tego warunku mogą być powstające w sposób niekontrolowany rysy i pęknięcia betonu dyskwalifikujące element konstrukcyjny, a w najlepszym razie powodujące konieczność przeprowadzenia kosztownych napraw mających na celu usunięcie tej wady.

Przyjmuje się, że graniczną wartością skurczu betonu nie powodującą wystąpienia rys jest wartość 0,4 mm, z czego mniej więcej po 50% wartości nominalnej przypada na skurcz wynikający z hydratacji cementu i skurcz wynikający z odsychania betonu.

Stosunkowo łatwym do spełnienia warunkiem jest przyjęcie odpowiednio niskiego stosunku wodno–cementowego, ze względu na możliwość zastosowania odpowiednich domieszek chemicznych - plastyfikujących lub superplastyfikujących.

Ograniczenie skurczu wynikające z odsychania betonu.

Pomimo podejmowania działań opisanych powyżej, sprawą otwartą pozostaje ograniczenie skurczu wynikającego z odsychania betonu.

Działania związane ograniczeniem tej części ogólnego skurczu betonu sprowadzały się dotychczas do dwóch podstawowych działań:

- zastosowania dodatkowego zbrojenia przeciw skurczowego
- wykonywania odpowiedniej pielęgnacji betonu

Zastosowanie zbrojenia przeciw skurczowego skutkuje znacznym wzrostem kosztu wykonania elementu, zmniejszeniem rozstawy prętów zbrojeniowych, co często prowadzi do konieczności stosowania kruszyw o drobniejszym uziarnieniu. Natomiast w przypadku stosowania rozproszonego włókna polipropylenowego konieczne jest większe dozowanie upłynniaczy i szybszego narastania procesu sztywnienia transportowego betonu. Zmniejszenia oczek w zbrojeniu z kolei stoi w sprzeczności z zaleceniami stosowania kruszyw o grubszym uziarnieniu, gdyż taki beton wykazuje niższe wartości skurczu. Znajdywany w tym zakresie kompromis nie był rozwiązaniem optymalnym i nie zawsze przynosił odpowiednie skutki.

Podobnie problem pielęgnacji betonu, nawet prowadzony w sposób prawidłowy, nie zapewniał nam ograniczenia skurczu związanego z odsychaniem betonu. Rzecz polega na tym, że warunki 100% wilgotności betonu w elemencie konstrukcyjnym jest bardzo trudno utrzymać (szalunki, kształt elementu, możliwości techniczne i inne podobne uwarunkowania techniczne i technologiczne). W związku z czym skurcz ten przebiega w początkowym okresie razem ze skurczem hydratacyjnym i może być ograniczany dopiero w późniejszej fazie twardnienia betonu. W efekcie rysy skurczowe związane z odparowaniem wody pojawiają się szybko i trudno im zapobiegać (problem ten częściowo możemy rozwiązać poprzez stosowanie włókien polipropylenowych).

Skutecznym sposobem ograniczenia skurczu betonu związanego z odsychaniem jest zastosowanie domieszek do betonu ograniczających ten skurcz poprzez znaczną zwiększenie wiązliwości wody w betonie, a przez to przesunięcie procesu odsychania betonu w czasie.

Dla betonów o bardzo niskich wskaźnikach w/c ma to znaczenie bardzo istotne dla prawidłowego przebiegu procesu hydratacji cementu. Domieszkę taką pod nazwą Sika[®] Control-40 nasza firma wprowadziła na polski rynek po raz pierwszy w 2004 dla wykonania specjalnego fundamentu pod maszynę drukarską (wymiary fundamentu 120 m x 20 m x 2 m). Fundament został zrealizowany na cemencie CEM III A 32,5 przy ograniczeniu o ponad połowę obliczonego zbrojenia przeciw skurczowego.

Ograniczenie to przyjęto przyjmując skuteczność domieszki dającej ograniczenie skurczu odparowania wody o 40%. Bardzo dobre wyniki uzyskane przy realizacji tego fundamentu spowodowały zastosowanie tej samej technologii przy realizacji drugiego podobnego fundamentu (ten sam inwestor, ten sam wykonawca).

Domieszka ta podnosi kohezję mieszanki betonowej. Skurcz a co za tym idzie zmiana długości elementów spowodowane utratą wody są przez to znacznie ograniczone. Dzięki zastosowaniu domieszki można uzyskać następujące efekty:

- znaczną redukcję skurczu odsychania (~40% zależnie od składu mieszanki)
- niezmienione właściwości świeżej mieszanki
- polepszenie szczelności betonu stwardniałego
- zmniejszenie ilości zbrojenia przeciwskurczowego

Dodatkową zaletą przy stosowaniu domieszki ograniczającej skurcz wraz z domieszką napowietrzającą może być uzyskiwanie betonu mrozoodpornego i odpornego na sole odladzające, a zatem dla betonów nawierzchniowych, mostowych czy innych narażonych na takie oddziaływanie.

Sika[®] Control-40 nie zawiera chlorków i innych składników powodujących korozję zbrojenia, dla tego może być stosowany w konstrukcjach żelbetowych i sprężonych.



Fot. 14. Wiadukt w ul. Głogowskiej w Poznaniu. Realizacja obiektu odbywała się w okresie jesienno-zimowym co dodatkowo powodowało trudności z realizacją obiektu

Przykładem stosowania tego typu mieszanek betonowych jest wykonywanie płyt jezdnych wiaduktów np. w ciągu modernizowanej ulicy wylotowej z Poznania do drogi S5 i autostrady A2.

Wnioski końcowe – co beton zawdzięcza domieszkom.

1. W dobie dążenia do **Zrównoważonego Rozwoju** technologie betonowe z zastosowaniem domieszek do betonu są najbardziej predestynowane do spełnienia tych wymagań. Beton w całości podlega recyklingowi.
2. Dzięki rozwojowi chemicznych domieszek do betonu beton towarowy to na dzień dzisiejszy beton specjalistyczny. Przyspiesza to realizację robót, zapewnia wysoka jakość a co za tym idzie trwałość konstrukcji.
3. Trwałość konstrukcji budowlanych, a szczególnie obiektów infrastruktury komunikacyjnej jest cechą dominująco wymaganą.
4. Prawidłowo skonstruowany, wykonany i eksploatowany wyrób betonowy jest trwały, tani i ekologiczny.
5. Postęp w technologii betonu na dziś zdeterminowany jest rozwojem chemicznych domieszek i dodatków do betonu.

Bibliografia:

1. W. Radomski „Aktualne zagadnienia budownictwa komunikacyjnego”. Seminarium Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Augustów, 19-21 stycznia 2011 r.
2. Ocena Możliwości wykonania betonu SCC o wysokiej wytrzymałości za pomocą domieszki Sika ViscoCrete 3, IBDiM-TW-37201/w-906, Marzec 2001.
3. H. Okamura, M. Ouchi, *Self-compacting concrete. Development, present use and future. W: Materiały konferencyjne z I Międzynarodowego Sympozjum „Beton samozagęszczalny”*, Sztokholm, 13-14 września 1999r.
4. M. Maeda, K. Yamada, *Evaluation on the practicability of SCC. W: Materiały konferencyjne z I Międzynarodowego Sympozjum „Beton samozagęszczalny”*, Sztokholm, 13-14 września 1999r.
5. R. Czołgosz, W. Świerczyński „Beton SCC i ASCC w prefabrykacji”, *Materiały Budowlane* 11/2000.
6. R. Czołgosz, W. Świerczyński „Domieszki nowej generacji dla prefabrykacji betonowej”, materiały konferencyjne z sympozjum naukowo – technicznego „Tendencje rozwojowe prefabrykacji betonowej”, Poznań, marzec 2000r.
7. R. Czołgosz, P. Grabarczyk „Beton w prefabrykacji – od domieszek tradycyjnych do betonów samozagęszczalnych”
8. J. Mierzwa „Domieszki stosowane przy wytwarzaniu betonu i ich wpływ na jego właściwości w konstrukcji”, XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat pracy projektanta konstrukcji”. Ustroń 2002.
9. W. Świerczyński „Produkcja elementów prefabrykowanych prefabrykowanych technologiach ASCC i SCC”, IV Sympozjum naukowo-techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice 2002.
10. J. Małolepszy „Trwałość betonów z cementów hutniczych”, Konferencja Dni Betonu. Szczyrk 2002.
11. L. Czarnecki, P. Łukowski „Wpływ domieszek dodatków polimerowych na trwałość betonu”, Konferencja Dni Betonu, Szczyrk 2002.
12. J. Szwabowski, J. Gołaszewski, „O ocenie efektywności działania domieszek uplastyczniających i upłynniających do betonów w świetle norm europejskich. Cement-Wapo-Beton nr 4, 1999
13. A. Neville „Właściwości betonu”, Polski Cement, Kraków 2000.
14. W. Świerczyński – „System Sika ColorFlo. Kolorowy beton. Sympozjum „Reologia betonu” Politechnika Śląska. Gliwice 2010.
15. Dubrawski, P. Grabarczyk, W. Świerczyński – „Prefabrykacja stadionów piłkarskich EURO 2012”. Konferencja „Dni Betonu”. Wisła 2010.