

Nowoczesne materiały w mostownictwie

Lekkie betony samozagęszczalne do konstrukcji mostowych

Maria Kaszyńska¹

1. Wprowadzenie

Jedną z najnowszych tendencji w technologii betonu jest wytwarzanie lekkiego betonu samozagęszczającego się, łączącego zalety lekkich betonów z właściwościami betonów samozagęszczalnych. Betony samozagęszczalne charakteryzują się wysoką płynnością, zdolnością do szczelnego wypełnienia deskowań, zagęszczenia pod wpływem własnego ciężaru i samoczynnego odpowietrzenia. Stosowanie lekkich betonów przynosi dodatkowe korzyści – dzięki dodaniu do nich kruszyw lekkich elementy konstrukcyjne mają mniejszy ciężar, redukcja obciążenia stałego pozwala na realizację mostów o większej rozpiętości przęseł, obniżeniu ulegają koszty transportu i użycia ciężkiego sprzętu.

Według normy PN-EN 206-1 betony lekkie to betony charakteryzujące się gęstością od 800 do 2000 kg/m³, obejmujące klasy wytrzymałości od LC 8/9 do LC80/88, z czego klasy od LC50/55 do LC80/88 to klasy lekkiego betonu o wysokiej wytrzymałości. Do betonów tych stosuje się tylko kruszywa lekkie lub kombinacje kruszywa lekkiego z kruszywem naturalnym. Lekkie betony konstrukcyjne produkowane są na świecie najczęściej na bazie następujących kruszyw sztucznych: Leca i Liapor (kruszywo ze spiekanych glin pęczniących, odmiana produkowanego w Polsce keramzytu), Stalite i Haydite (łupkoporyt, kruszywo z łupków pęczniących, produkowane w USA) oraz Lytag (popiołoporyt – kruszywo ze spiekanych popiołów lotnych). Kruszywa ze spiekanych glin pęczniących mają różną nazwę w poszczególnych krajach. W Danii, Francji, Włoszech, Norwegii produkowane jest kruszywo typu Leca, w Niemczech, Austrii oraz Czechach jest to kruszywo typu Liapor. Kruszywa te są zróżnicowane pod względem ciężaru nasypowego i w związku z tym mają różne zastosowanie – od betonów izolacyjnych do betonów konstrukcyjnych o wysokiej wytrzymałości na ściskanie.

Uzyskanie lekkiego betonu samozagęszczalnego, mimo posiadania już dużego doświadczenia z otrzymywaniem dobrych betonów samozagęszczalnych, nastęrcza sporo problemów. Porównując oba rodzaje betonów można stwierdzić, że lekki beton samozagęszczalny wykazuje specyficzne cechy, będące rezultatem użycia do jego produkcji kruszyw lekkich. Duża dynamika nasiąkliwości kruszywa lekkiego, wynikająca z jego porowatej struktury, stanowi istotny problem przy komponowaniu składu mieszanek. Z powodu znacznej różnicy pomiędzy gęstościami objętościowymi kruszywa lekkiego i otaczającej go matrycy cementowej, kruszywo grube ma tendencje do wypływania na powierzchnię, jeśli tylko zaczyn cementowy nie ma odpowiedniej lepkości, a co się z tym wiąże – betony te wykazują jeszcze większą skłonność do segregacji składników niż w przypadku betonów samozagęszczalnych o normalnej gęstości, dla których zjawisko to jest jednym z głównych problemów w uzyskaniu wymaganych właściwości.

¹ Dr inż., Politechnika Szczecińska.

Aby uniknąć niekorzystnego zjawiska odciągania wody potrzebnej do procesu hydratacji przez kruszywo lekkie, można stosować różne zabiegi technologiczne. Najczęściej stosowaną metodą jest wstępne namaczanie kruszywa. Jest to szczególnie korzystne w przypadku lekkich betonów wysokowartościowych, gdzie z uwagi na niskie wartości w/c istnieje niebezpieczeństwo wystąpienia skurczu autogenicznego. Innym sposobem jest pokrywanie kruszywa mleczkiem cementowym. Zabieg ten zapewnia mniejszą absorpcję wody przez kruszywo oraz zwiększa nieco gęstość ziaren kruszywa, co ma znaczący wpływ na wytrzymałość betonów z niego wykonanych [2, 3]. Zupełnie nową technologią jest pokrywanie kruszywa warstwą impregnującą, która powoduje zamykanie porów kruszywa i blokuje dostęp wody do wnętrza ziaren przy jednoczesnym zachowaniu przyczepności ziaren do matrycy cementowej.

W artykule przedstawiono wyniki badań i analiz dotyczących oceny możliwości wykonywania lekkich betonów samozagęszczalnych z dostępnych na rynku krajowym kruszyw lekkich. Do badań zastosowano lekkie kruszywo Pollytag i Liapor oraz trzy technologie obróbki kruszywa: kruszywo suche, wstępnie namaczone i powlekane warstwą zaczynu cementowego. Otrzymano betony charakteryzujące się dobrymi właściwościami samozagęszczalnymi o gęstości poniżej 2000 kg/m³ i wytrzymałości charakterystycznej dla lekkich betonów wysokiej wytrzymałości.

2. Badania lekkich betonów samozagęszczalnych

2.1. Badania wstępne

Celem przeprowadzonych badań było opracowanie receptur i technologii wytwarzania lekkich betonów samozagęszczalnych. Istnieje wiele metod projektowania lekkich betonów kruszywowych, które są szeroko omawiane w literaturze przedmiotu, żadnej z nich nie można jednak bezpośrednio przenieść do projektowania lekkich betonów samozagęszczalnych. Optymalnymi metodami projektowania tego typu mieszanek stają się więc metody doświadczalne, pozwalające w procesie projektowania zweryfikować tak ważne i konieczne do uzyskania parametry betonów samozagęszczalnych, jak szczelność wypełnienia form, dokładność otulenia zbrojenia, szybkość rozplwy, odpowietrzenie mieszanki, czy też ocenić stopień segregacji składników betonu.

Drogą do otrzymania lekkich betonów samozagęszczalnych jest optymalizacja konsystencji zaczynu spoiwowego i świeżej zaprawy, które muszą po pierwsze posiadać niską (ale nie za niską) granicę płynności, a po drugie – dostateczną lepkość w celu zapobiegania segregacji. Redukcja granicy płynności jest osiągnięta poprzez dodawanie superplastyfikatorów, podczas gdy odpowiednia lepkość mieszanki może być osiągnięta przez zwiększenie mikrouziarnienia, redukcję stosunku wodno-spoiwowego i stosowanie stabilizatorów. Bazując na doświadczeniach z zaczynem i zaprawą, lekkie betony samozagęszczalne otrzymuje się przez dodawanie do zaprawy, spełniającej kryteria samozagęszczalności, mieszanki kruszywa o optymalnych właściwościach. Modyfikację składu

mieszanek przeprowadzono bazując na wybranych mieszankach betonów samozagęszczalnych i betonów lekkich opracowanych w wyniku wcześniejszych badań [5, 6, 7, 8].

Do badań wstępnie przyjęto trzy rodzaje kruszyw lekkich: Liapor, Optiroc i Pollytag, dla których wykonano przesiewy i badania absorpcji wody. Jednakże badania wykazały nieprzydatność kruszywa Optiroc do lekkich betonów samozagęszczalnych z uwagi na wysoką porowatość i nasiąkliwość oraz niską wytrzymałość doraźną ziaren. W badaniach zasadniczych zastosowano więc dwa rodzaje kruszyw lekkich: Pollytag frakcji 4–8 i 0–4 oraz Liapor frakcji 0–2 i 4–8, piasek naturalny 0–2, a także naturalne kruszywo grube frakcji 2–8. Lekkie kruszywo Pollytag wytwarzane jest z popiołów lotnych. Technologia produkcji polega na granulowaniu i spiekaniu popiołu lotnego w temperaturze 1000–1350 °C. Lekkie kruszywo Liapor powstaje z wysokiej jakości gliny w wyniku jej wypalania w temperaturze 1200 °C w piecach obrotowych. W tabelicy 1 przedstawiono wybrane właściwości obu kruszyw.

Tab. 1. Właściwości zastosowanych kruszyw lekkich Pollytag i Liapor

| Właściwość | Jednostka | Wynik badania | |
|---|-------------------|---------------|-----------|
| | | Pollytag | Liapor |
| Absorpcja po 30 min kruszywa lekkiego grubego | % | 15 | 5,7 |
| Gęstość nasypowa w stanie luźnym: – frakcja piaskowa – frakcja kruszywa grubego | kg/m ³ | 730 710 | 800 780 |
| Gęstość objętościowa kruszywa: – frakcja piaskowa – frakcja kruszywa grubego | kg/m ³ | 1310 1350 | 1830 1500 |

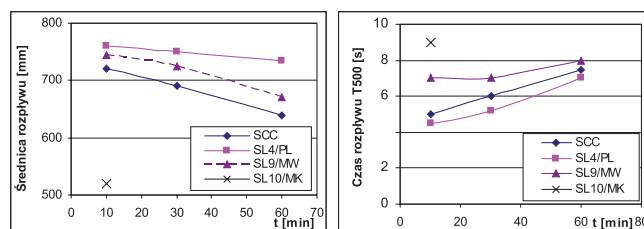
2.2. Ocena wpływu dodatków mineralnych na właściwości reologiczne mieszanek

Do oceny urabialności mieszanek samozagęszczalnych w praktyce stosowanych jest wiele specjalnych urządzeń i metod badawczych, na podstawie których ocenić można reologiczne właściwości zapraw i mieszanek, a opracowane kryteria pozwalają na podstawie testów zaklasyfikować betony jako samozagęszczalne. Odpowiednie testy do oceny czterech podstawowych właściwości mieszanek samozagęszczalnych, przyjęte na podstawie wytycznych europejskich, zestawiono w tabelicy 2 wraz z przypisanymi im klasami: konsystencji, lepkości plastycznej, możliwości przepływu i segregacji.

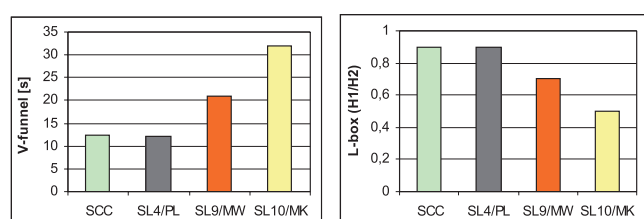
Tab. 2. Podstawowe testy doświadczalne i odpowiadające im klasy [11]

| Cecha | Parametr pomiarowy | Metoda | Klasy |
|--|---|----------------------------|--------------------------|
| Rozptyw (Slump-Flow) | Maksymalna średnica rozptywu | Stożek Abramsa | SF 1, SF 2, SF 3 |
| Lepkość (Viscosity) | Czas rozptywu T ₅₀₀ Czas wypływu t | Stożek Abramsa V-funnel | VS 1, VS 2 VF 1, VF 2 |
| Przepływ przez zbrojenie (Passing Ability) | Stosunek wysokości H ₂ /H ₁ | L-box J-Ring | PA 1, PA 2 |
| Odporność na segregację (Segregation Resistance) | % mieszanki rozsegregowanej | Test przesiewu | SR 1, SR 2 |

W początkowej fazie badań analizowano wpływ dodatków mineralnych na właściwości lekkich betonów samozagęszczalnych, wykonując mieszanki z dodatkiem popiołów lotnych, pyłów krzemionkowych, mączki wapiennej i mączki kwarcowej. Na rycinie 1 porównano wpływ rodzaju dodatku użytego do lekkich betonów samozagęszczalnych (PL – popiół lotny, MW – mączka wapienna, MK – mączka kwarcowa) na czas T₅₀₀ i średnicę maksymalnego rozptywu, a na rycinie 2 na czas wypływu z V-funnela i rozptyw w L-boxie. Wyniki badań lekkich betonów samozagęszczalnych porównano z wynikami badań betonu SCC na kruszywie naturalnym.



Ryc.1. Maksymalna średnica i czas T₅₀₀ rozptywu mieszanek z różnymi dodatkami



Ryc. 2. Wyniki badań czasu wypływu z V-funnela i rozptywu w L-boxie

Najlepsze efekty uzyskano dla mieszanek z popiołem lotnym, dlatego też do dalszych badań i modyfikacji przyjęto mieszanki z dodatkiem popiołu lotnego.

2.3. Ocena wpływu technologii przygotowania kruszywa lekkiego

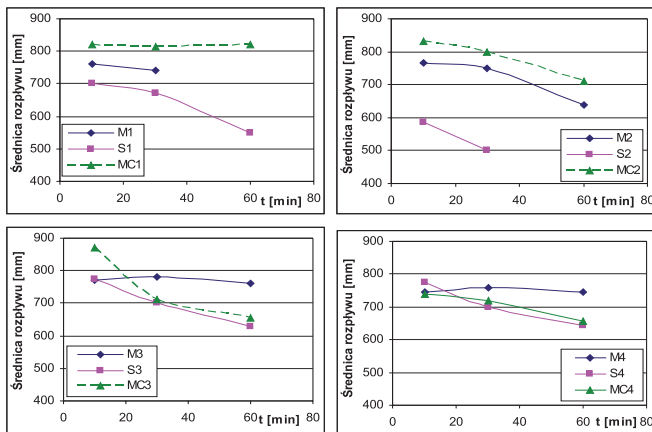
Aby ustalić wpływ sposobu przygotowania kruszywa na właściwości samozagęszczalne mieszanek, w badaniach zastosowano kruszywo suche (oznaczenie mieszanek S), wstępnie namoczone (M) oraz powlekaną warstewką zaczynu cementowego (MC). W tabeli 3 zestawiono receptury zaprojektowanych mieszanek. Przyjęto dwie mieszanki wyjściowe 1 i 2 o stałej ilości cementu i dodatków mineralnych wynoszącej 560 kg/m³. W mieszance 3 proporcjonalnie zmniejszono ilość zaprawy, a w mieszance 4 dodatkowo użyto piasku lekkiego Pollytag.

Tab. 3. Skład mieszanek betonowych z kruszywem Pollytag [kg/m³]

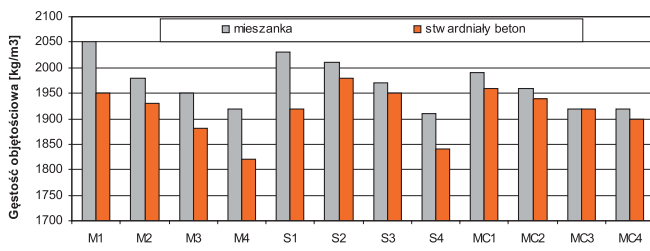
| Beton | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|--------|------|-------|------|
| Cement CEMI 42,5 | 360 | 450 | 402 | 450 |
| Woda | 137,7 | 155 | 138,5 | 155 |
| Piasek naturalny | 740 | 623 | 556 | 320 |
| Pollytag | 0–4 mm | – | – | 158 |
| | 4–8 mm | 520 | 540 | 620 |
| Popiół lotny | 200 | 72 | 64 | 72 |
| Pył krzemionkowy | – | 38 | 34 | 38 |
| SikaViscocrete3 | 7,65 | 7,65 | 7,65 | 7,65 |

Tab. 4. Wyniki badań właściwości samozagęszczalnych mieszanek betonowych

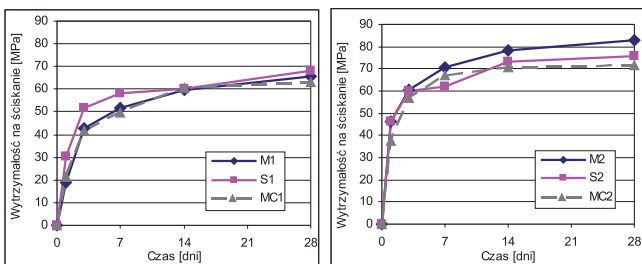
| Beton | Rozptył mieszanki po czasie | | | | | | V-funnel T [s] | J-Ring Dmax [mm] |
|-------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|------------------------|
| | 10 min | | 30 min | | 60 min | | | |
| | D _{max} | T ₅₀₀ | D _{max} | T ₅₀₀ | D _{max} | T ₅₀₀ | | |
| | [mm] | [s] | [mm] | [s] | [mm] | [s] | | |
| M1 | 760 | 6,2 | 740 | 7,3 | - | - | 17,1 | 670 |
| M2 | 765 | 2,6 | 750 | 3,9 | 640 | 4,5 | 5,9 | 760 |
| M3 | 770 | 1,3 | 780 | 1,3 | 760 | 1,4 | 6,2 | 800 |
| M4 | 745 | 1,9 | 760 | 2,2 | 745 | 2,8 | 5,9 | 800 |
| S1 | 700 | 12,3 | 670 | 14,7 | 550 | 32,2 | 26,3 | 665 |
| S2 | 585 | 19,0 | 500 | 26,4 | - | - | 48,3 | 535 |
| S3 | 775 | 2,4 | 700 | 3,5 | 630 | 4,4 | 9,1 | 720 |
| S4 | 775 | 2,5 | 700 | 3,5 | 645 | 4,7 | 7,9 | 765 |
| MC1 | 820 | 1,5 | 815 | 1,8 | 820 | 2,0 | 6,3 | 860 |
| MC2 | 830 | 1,3 | 800 | 1,9 | 710 | 2,2 | 7,6 | 745 |
| MC3 | 870 | 1,2 | 710 | 1,9 | 655 | 2,4 | 5,3 | 800 |
| MC4 | 740 | 1,4 | 720 | 1,6 | 655 | 2,2 | 4,5 | 755 |



Ryc. 3. Wpływ technologii przygotowania kruszywa na rozptył mieszanek



Ryc. 4. Porównanie gęstości objętościowej mieszanek i betonów stwardniałych



Ryc. 5. Wytrzymałość na ściskanie lekkiego betonu samozagęszczalnego

W tabelicy 4 przedstawiono wyniki badań, a na rycinie 3 porównano, jak przygotowanie kruszywa wpływa na urabialność poszczególnych mieszanek w czasie do 60 minut.

Najlepsze efekty uzyskano dla mieszanek z kruszywem obtaczanym w mleczku cementowym i wstępnie namoczone, Mieszanki S1, S2 i S3 z kruszywem suchym nie utrzymały swoich rozptyłów w czasie do 60 minut.

Rycina 4 przedstawia porównanie pomiarów gęstości objętościowej mieszanek oraz betonów po 28 dniach dojrzewania.

Wszystkie uzyskane betony charakteryzowały się gęstością poniżej 2000 kg/m³, czyli klasyfikowały się jako betony lekkie.

Na rycinie 5 porównano uzyskane średnie wytrzymałości betonu w czasie dojrzewania dla mieszanek 1 oraz 2, którą to mieszankę przyjęto jako mieszankę wyjściową do trzeciego etapu badań.

2.4. Wpływ kompozycji kruszywa na właściwości lekkich betonów samozagęszczalnych

Charakterystykę mieszanek betonowych przyjętych w trzecim etapie badań przedstawiono w tabelicy 5. Założono stałą ilość zaczynu, zmieniano natomiast proporcje między kruszywem lekkim a naturalnym. Skład wyjściowy betonów oparto na modyfikacji składu betonów SCC z użyciem kruszyw naturalnych [5, 6, 7, 8]. Założono zamianę objętościowo kruszywa naturalnego kruszywem lekkim, modyfikując frakcję piaskową przyjętą jako 100% oraz frakcje kruszywa grubego, również przyjętą jako 100%.

W mieszance 3 zastosowano tylko kruszywo lekkie, w mieszance 5 jednakową ilość objętościowo piasku zwykłego i lekkiego oraz kruszywa grubego lekkiego i naturalnego, a w mieszance 4 tyle samo objętościowo kruszywa grubego lekkiego i naturalnego oraz piasek naturalny. Ponieważ technologia obtaczania kruszywa w mleczku cementowym jest bardzo kłopotliwa, dlatego w tym etapie badań zastosowano tylko wstępne moczenie kruszywa lekkiego.

W ten sposób opracowano pięć receptur mieszanek:

MT0 – 100% piasek naturalny i 100% kruszywo grube lekkie,

MT1 – 50% piasek naturalny + 50% lekki piasek i 100% kruszywo grube lekkie,

MT2 – 100% lekki piasek i 100% kruszywo grube lekkie,

Tab. 5. Skład i oznaczenie badanych mieszanek betonowych

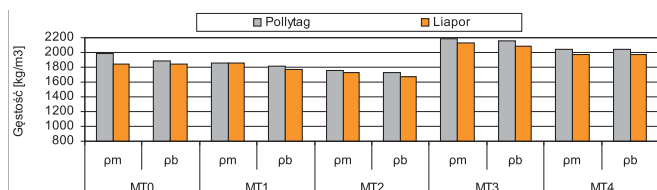
| Składnik | | [kg/m ³] | | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Cement CEMI 42,5 | | 450 | | | | |
| Popiół lotny | | 72 | | | | |
| Pył krzemionkowy | | 38 | | | | |
| SikaViscocrete3 | | 7,65 | | | | |
| Woda | | 155 | | | | |
| Beton z Pollytagiem | | MT0/P | MT1/P | MT2/P | MT3/P | MT4/P |
| Pollytag | 0–2 mm | – | 160 | 320 | – | 160 |
| | 6–8 mm | 540 | 540 | 540 | 270 | 270 |
| Piasek naturalny 0–2 mm | | 623 | 320 | – | 623 | 320 |
| Kruszywo granitowe 2–8 mm | | – | – | – | 542 | 542 |
| Beton z Liaporem | | MT0/L | MT1/L | MT2/L | MT3/L | MT4/L |
| Liapor | K 0–2 mm | – | 220 | 440 | – | 220 |
| | F8 4–8 mm | 600 | 600 | 600 | 300 | 300 |
| Piasek naturalny 0–2 mm | | 623 | 320 | – | 623 | 320 |
| Kruszywo granitowe 2–8 mm | | – | – | – | 542 | 542 |

MT3 – 100% piasek naturalny + 50% kruszywo grube lekkie i 50% kruszywo grube naturalne,

MT4 – 50% piasek naturalny + 50% piasek lekki + 50% kruszywo grube lekkie + 50% kruszywo grube naturalne.

Kruszywo grube Pollytag i Liapor dodawano do mieszanki po wstępnym namoczeniu przez 30 minut w wodzie i odsączeniu na sitach. Z uwagi na bardzo szybkie odciąganie wody przez Liapor frakcji 0–2, aby uzyskać odpowiednie właściwości reologiczne mieszanek z tym kruszywem, konieczne było dodanie dodatkowej wody w ilości 30% jego masy.

Na rycinie 6 porównano wyniki badań gęstości świeżej mieszanki i betonu po 28 dniach twardnienia dla betonów z kruszywem Pollytag i Liapor.



Ryc. 6. Porównanie gęstości mieszanki i stwardniałego betonu

Mieszanki MT3 oraz mieszanka MT4 z kruszywem Pollytag miały gęstości powyżej 2000 kg/m³, czyli nie spełniały kryterium normowego dla betonów lekkich.

2.5. Właściwości reologiczne

W tabelicy 6 przedstawiono wyniki badań właściwości samozagęszczalnych badanych mieszanek. Badanie czasu rozptywu

Tab. 6. Wyniki badań właściwości reologicznych mieszanek betonowych

| Beton | Rozptyw mieszanki po czasie | | | | | | V-funnel | J-Ring po 10 min | |
|-------|-----------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------|------------------|-----------------------|
| | 10 min | | 30 min | | 60 min | | | t [s] | D _{max} [mm] |
| | D _{max} | T ₅₀₀ | D _{max} | T ₅₀₀ | D _{max} | T ₅₀₀ | | | |
| | [mm] | [s] | [mm] | [s] | [mm] | [s] | | | |
| MT0/P | 765 | 2,6 | 750 | 3,9 | 640 | 4,5 | 5,9 | 760 | 3,9 |
| MT1/P | 760 | 2,5 | 760 | 2,8 | 810 | 2,4 | 6,4 | 800 | 2,6 |
| MT2/P | 755 | 3,9 | 680 | 3 | 705 | 3,1 | 18 | 680 | 4 |
| MT3/P | 665 | 7,0 | 495 | 10 | – | – | 19 | 660 | 8 |
| MT4/P | 733 | 3,0 | 640 | 5 | 450 | – | 9 | 710 | 5 |
| MT0/L | 705 | 3,5 | 695 | 3,0 | 565 | 5,6 | 5,6 | 680 | 5,5 |
| MT1/L | 790 | 1,9 | 775 | 2,1 | 720 | 4,2 | 5,8 | 735 | 3,6 |
| MT2/L | 765 | 1,9 | 845 | 1,9 | 795 | 2,4 | 6 | 785 | 3,3 |
| MT3/L | 785 | 2,9 | 725 | 3,5 | 620 | 4,9 | 7,2 | 743 | 5,8 |
| MT4/L | 775 | 1,9 | 775 | 1,9 | 735 | 2,5 | 5,5 | 765 | 2,8 |

do średnicy 500 mm oraz maksymalnej średnicy rozptywu za pomocą stożka Abramsa przeprowadzono po 10, 30 i 60 minutach. Badanie czasu wypływu mieszanki z V-funnela i przepływu przez pierścien J-Ring przeprowadzono po 10 minutach od zarobienia mieszanki.

Wszystkie mieszanki uzyskały wyjściowe rozptywy w przedziale 660–800 mm, czyli wartości charakterystyczne dla klas SF2 i SF3. Mieszanki MT3/P i MT4/P z kruszywem Pollytag nie utrzymały wymaganych rozptywów przez 60 minut. W przypadku mieszanek z kruszywem Liapor przy przyjęciu takiej samej receptury wyjściowej mieszanki nie osiągnęły wymaganych właściwości samozagęszczalnych z uwagi na bardzo dużą absorpcję wody przez lekki piasek. W związku z tym po badaniach absorpcji wody przez piasek lekki zwiększono ilość dodanej do mieszanki wody o 30% wagowo w stosunku do ilości lekkiego piasku. Wyniki przedstawione w tabelicy 3 dotyczą mieszanek ze zwiększoną ilością wody.

2.6. Ocena segregacji mieszanki i stwardniałego betonu

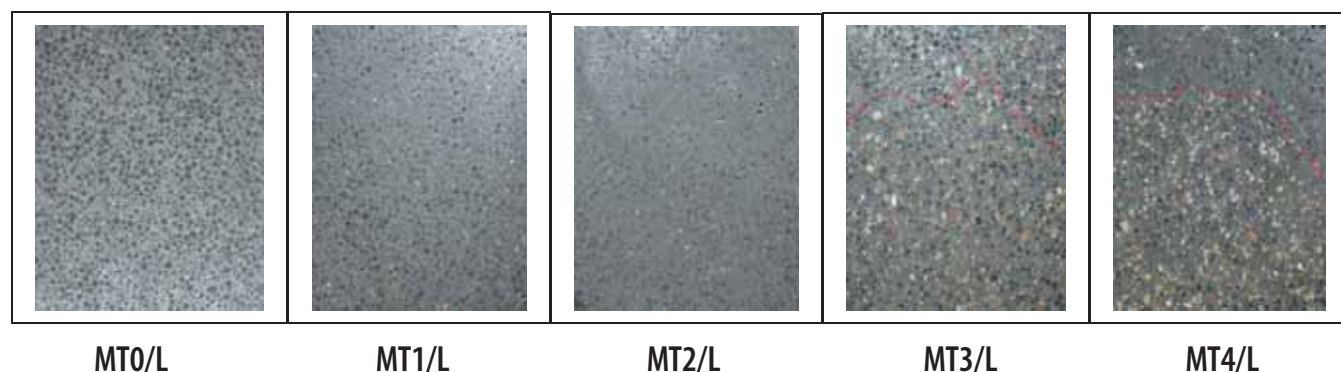
W zaleceniach amerykańskich jednym z podstawowych kryteriów oceny właściwości samozagęszczalnych mieszanki jest tzw. wskaźnik wizualnej stabilności VSI (*Visual Stability Index*) oceniający wizualnie, na podstawie rozptywu mieszanki wypływającej z stożka Abramsa, odporność betonu na segregację. Wskaźnik VSI jest bardzo przydatny przy ocenie stabilności mieszanek skłonnych do bleedingu, jednakże ocena zawsze jest subiektywna. Wprowadza się 4 klasy stabilności, przedstawione w tabelicy 7.

Tablica 7. Wskaźnik wizualnej stabilności VSI oceny mieszanek samozagęszczalnych [12]

| VSI | Ocena mieszanki | Kryteria |
|-----|--------------------|---|
| 0 | bardzo stabilna | Brak oznak segregacji |
| 1 | stabilna | Nie ma otoczki zaprawy lub zgromadzonego stosu kruszywa |
| 2 | niestabilna | Niewielkie ślady otoczki zaprawy (<10 mm) lub zgromadzonego kruszywa, lub jednego i drugiego. |
| 3 | bardzo niestabilna | Wyraźna segregacja, oznaki dużej otoczki zaprawy (>10 mm) i stosu kruszywa w centrum rozptywu |

Wszystkie badane mieszanki nie wykazywały oznak segregacji, więc oceniono je jako bardzo stabilne, czyli VSI = 0.

Ocenę segregacji betonu przeprowadzono na podstawie przekrojów próbek. Na rycinie 7 przedstawiono przekroje o wymiarach 24 cm x 34 cm próbek betonów z kruszywem Liapor.



Ryc. 7. Przekroje próbek betonów z kruszywem Liapor

Betony z kruszywem lekkim i piaskiem naturalnym MT0, MT1 i MT2 były bardzo dobrze zagęszczane, natomiast betony dodatkowo z kruszywem granitowym wykazały nieznaczłą segregację, grube kruszywo lekkie wypierane jest ku górnej powierzchni próbek.

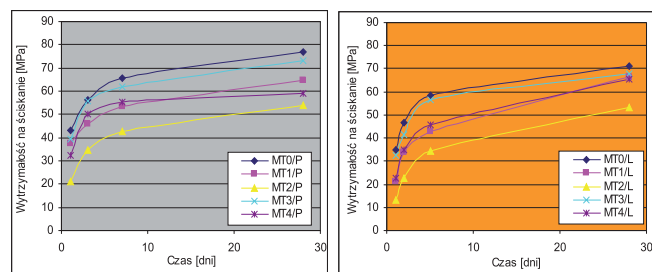
2.7. Wytrzymałość na ściskanie

W tabelicy 8 zestawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonów z Pollytagiem po 1, 3, 7 i 28 dniach dojrzewania, a z Liaporem po 1, 2, 5 i 28 dniach dojrzewania. Wytrzymałość na ściskanie badano na próbkach kostkowych 15 x 15 cm. Wszystkie betony po 28 dniach dojrzewania uzyskały wytrzymałości w przedziale od 53,3 MPa do 76,9 MPa, czyli kwalifikujące je do betonów wysokiej wytrzymałości. Najwyższe wytrzymałości uzyskały betony MT0 z lekkim kruszywem grubym i piaskiem naturalnym oraz betony MT3, które jednak miały gęstość powyżej 2000 kg/m³, czyli nie kwalifikowały się jako betony lekkie.

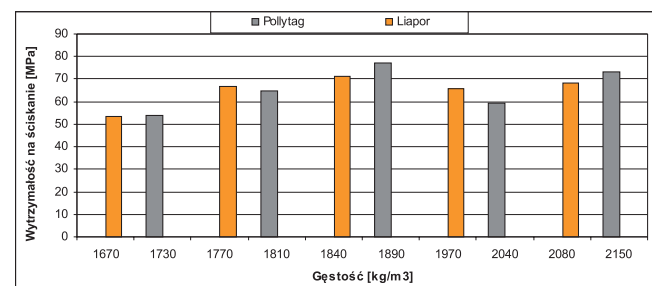
Na rycinie 8 porównano uzyskane wyniki badań osobno dla betonów z kruszywem Pollytag i osobno dla betonów z kruszywem Liapor.

Tab. 8. Wytrzymałość na ściskanie badanych betonów

| Beton | Wytrzymałość na ściskanie po dniach w MPa | | | |
|-------|---|---------|---------|------|
| | 1 | 3 lub 2 | 7 lub 5 | 28 |
| MT0/P | 43,2 | 56,4 | 65,8 | 76,9 |
| MT1/P | 37,3 | 45,9 | 53,6 | 64,8 |
| MT2/P | 21 | 34,7 | 42,6 | 53,8 |
| MT3/P | 39,4 | 55,9 | 61,9 | 73,2 |
| MT4/P | 32,5 | 50,3 | 55,1 | 59,2 |
| MT0/L | 34,8 | 46,7 | 58,5 | 71,1 |
| MT1/L | 21,3 | 34,1 | 42,7 | 66,6 |
| MT2/L | 13,1 | 22,8 | 34,2 | 53,3 |
| MT3/L | 32,4 | 41,5 | 56,5 | 68 |
| MT4/L | 22,6 | 34,7 | 45,5 | 65,6 |



Ryc. 8. Wytrzymałość na ściskanie badanych betonów



Ryc. 9. Wytrzymałość na ściskanie i gęstość betonu po 28 dniach dojrzewania

Na rycinie 9 porównano uzyskane średnie wytrzymałości na ściskanie i gęstości betonu po 28 dniach dojrzewania.

3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że można z powodzeniem wykonywać w kraju lekkie betony samozagęszczalne o wysokich wytrzymałościach. W badaniach uzyskano betony o dobrych właściwościach samozagęszczalnych, gęstości poniżej 2000 kg/m³ i wytrzymałości od 53,3 MPa do 76,9 MPa. Warunkiem otrzymania lekkiego betonu o wysokich parametrach wytrzymałościowych jest odpowiedni dobór kruszywa. Stos okruszowy należy projektować z uwzględnieniem jego szczelności, przy założeniu, iż najsłabszym składnikiem są ziarna kruszywa o dużej średnicy. Bardzo istotny wpływ na uzyskanie wymaganych właściwości betonów ma również dobór odpowiedniej procedury ich wykonania, która obejmuje wstępną preparację kruszywa oraz sposób dozowania i mieszania jego składników. Technologia namaczania wstępnego grubego kruszywa lekkiego jest łatwo wykonalna i zapewnia uzyskanie dobrej urabialności mieszanek samozagęszczalnych. Lekki beton samozagęszczalny dzięki swym zaletom powinien znaleźć wiele zastosowań w mostownictwie.

Literatura

- Müller H.S., Haist M.: *Pumpable Self-Compacting Lightweight Concrete*. Fib Symposium Keep Concrete Attractive. Budapest 2005.
- Müller H.S., Haist M.: *Selbstverdichtender Leichtbeton*. „Betonwerk und Fertigteil-Technik” 2004.
- Mechtcherine V., Haist M., Hewener A., Mueller H.S.: *Self-compacting lightweight concrete – a new high-performance building material*. The first fib Congress, Conference proceedings, Osaka 2002.
- Chien-Kuo Lin, How-Ji Chen, Hsien-Sheng Peng, Tzong-Yueh Yang: *Properties of self-compacting lightweight aggregate concrete*. Fib Symposium Keep Concrete Attractive. Budapest 2005.
- Kaszyńska M.: *Tendencje rozwojowe w technologii betonów samozagęszczalnych – wymagania i badania*. IX Sympozjum naukowo-techniczne: Cement – właściwości i zastosowanie. Gliwice, czerwiec 2007.
- Kaszyńska M.: *Beton samozagęszczalny – rozwój technologii i wyniki badań*. Konferencja Dni Betonu – Tradycja i nowoczesność. Wisła, 11–13 października 2004.
- Kaszyńska M.: *Self-Consolidating Concrete for Repair of Bridges*. „Journal of the Transportation Research Board CD 11-S”. 6th International Bridge Engineering Conference. Reliability, Security, and Sustainability in Bridge Engineering. Boston, July 2005.
- Kaszyńska M.: *Early Age Properties of SCC*. Combining the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete and the Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. Chicago 2005.
- Kaszyńska M.: *Effect of Temperature on Properties of Fresh Self-Consolidating Concrete*. „Archiwum Inżynierii Lądowej” 2006, t. LII, z. 2, s. 277–287.
- Kaszyńska M.: *Lekkie betony wysokowartościowe samozagęszczalne – badania i ocena możliwości ich wykonywania*. „Inżynieria i Budownictwo” 2007, nr 5.
- The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specifications, Production and Use, 2005.
- ACI 237R-07 – Self-Consolidating Concrete.