

Reologia w transporcie betonu towarowego

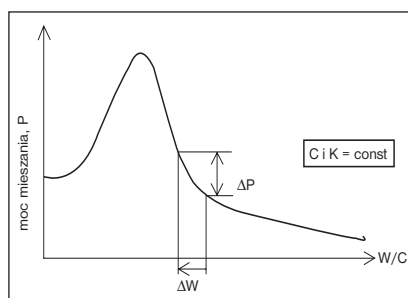
Określenie „beton towarowy” oznacza, że mamy do czynienia z produktem o charakterze towaru, który zgodnie z wymaganiami klienta jest wytwarzany i dostarczany przez producenta z wytwórni betonu na plac budowy. Oczywiście jest, że muszą być przy tym spełnione wymagania technologii betonu.

Powszechnym dziś sposobem dostawy betonu towarowego jest transport mieszarkami samochodowymi. Podczas tego transportu beton ma postać mieszanki betonowej. Oprócz wymagań organizacyjnych dotyczących miejsca, terminu, wydajności i wielkości dostaw, transport mieszanki powinien spełniać wymagania technologiczne, dotyczące niezmienności jej składu, jednorodności i właściwości reologicznych. Te ostatnie stanowią o urabialności mieszanki betonowej, która w warunkach robót betonowych oceniana jest pomiarem konsystencji metodą opadu stożka, rozptywu lub Vebe. W normalnych warunkach atmosferycznych transport mieszarkami samochodowymi mieszanek betonów zwykłych najczęściej spotykanych klas do B30 i o W/C $\geq 0,55$ nie stwarza w tym względzie istotnych problemów technologicznych. Ale w

warunkach obniżonych lub podwyższonych temperatur otoczenia, wydłużonych czasów transportu, a w szczególności w przypadkach mieszanek o niskich wartościach w/c, charakterystycznych dla betonów wyższych klas i BWW, takich problemów można się spodziewać. Najczęstszym ich objawem jest utrata urabialności mieszanki, stwierdzana podczas kontroli konsystencji dostarczonej na budowę mieszanki. Jest to efekt zjawisk zachodzących w mieszance podczas jej transportu, przedstawionych na rys. 1, które w wyżej wymienionych przypadkach znacznie się intensyfikują. Główną przyczyną utraty urabialności mieszanki, czyli pogorszenia się jej właściwości reologicznych, jest zmniejszenie się ilości wody wolnej w mieszance. Przyczyny zmniejszenia się ilości wody wolnej, jak pokazano na rys. 1, mogą być wielorakie i występować z różną intensywnością, w zależności od rodzaju betonu, jego składu i warunków otoczenia. Zaliczamy do nich:

- odparowanie wody z mieszanki wskutek podwyższonej temperatury otoczenia i przepływu powietrza
- zmniejszenie aktywności superplastyfikatora z upływem czasu transportu

- wzrost wodożądności wywołany rozcieraniem słabych ziaren kruszywa i aglomeratów ziaren cementu
- absorpcję wody przez kruszywo (szczególnie porowate). Utrata urabialności, w wyniku zmniejszenia się ilości wody wolnej w mieszance spowodowanego parowaniem, wzrostem wodożądności czy absorpcją, objawia się zwiększeniem oporu mieszania, a w konsekwencji i mocy pobieranej przez



Rys. 2. Zależność mocy mieszania pobieranej przez silnik mieszarki od ilości wody w mieszance betonowej, gdzie ΔW - zmniejszenie ilości wody w mieszance przy stałej ilości kruszywa i cementu [1]

silnik napędzający obrotowy mieszalnik mieszarki samochodowej, co wynika z charakteru zależności mocy mieszania od ilości wody w mieszance, pokazanej na rys. 2.

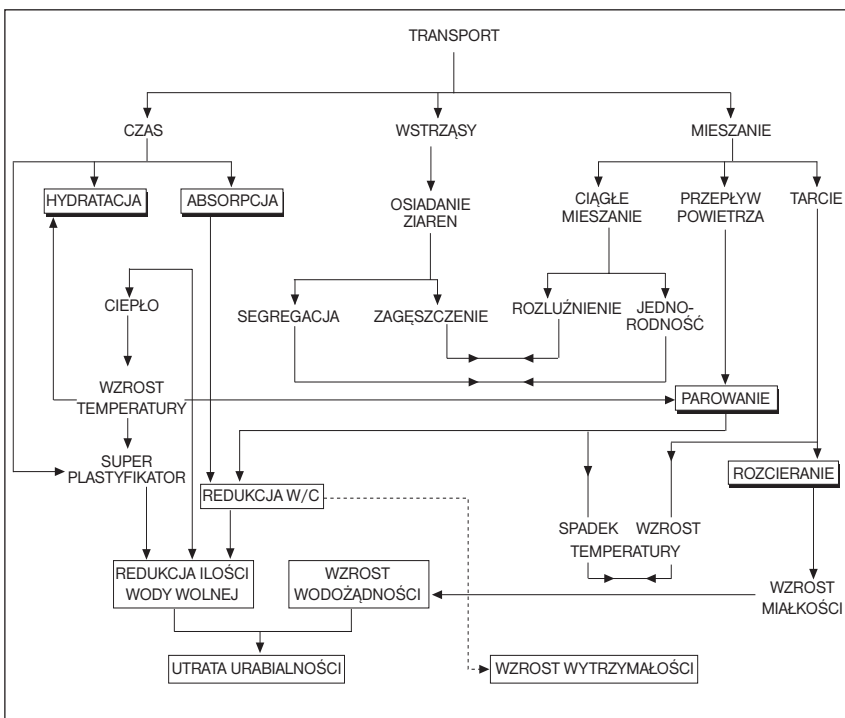
Pomiędzy mocą mieszania a urabialnością mieszanki istnieje ścisła zależność. Urabialność mieszanki betonowej stanowi o energochłonności procesu mieszania. Jest ona określona właściwościami reologicznymi mieszanki, które stanowią o wielkości i charakterze oporów stawianych przez nią nie tylko mieszaniu, ale także wszystkim oddziaływaniom mechanicznym, którym mieszanka jest poddawana w procesach robót betonowych. Jeśli wziąć pod uwagę, że moc mieszania wyrazić można wzorem:

$$P = M_r \cdot \omega = 2\pi M_r n \quad (1)$$

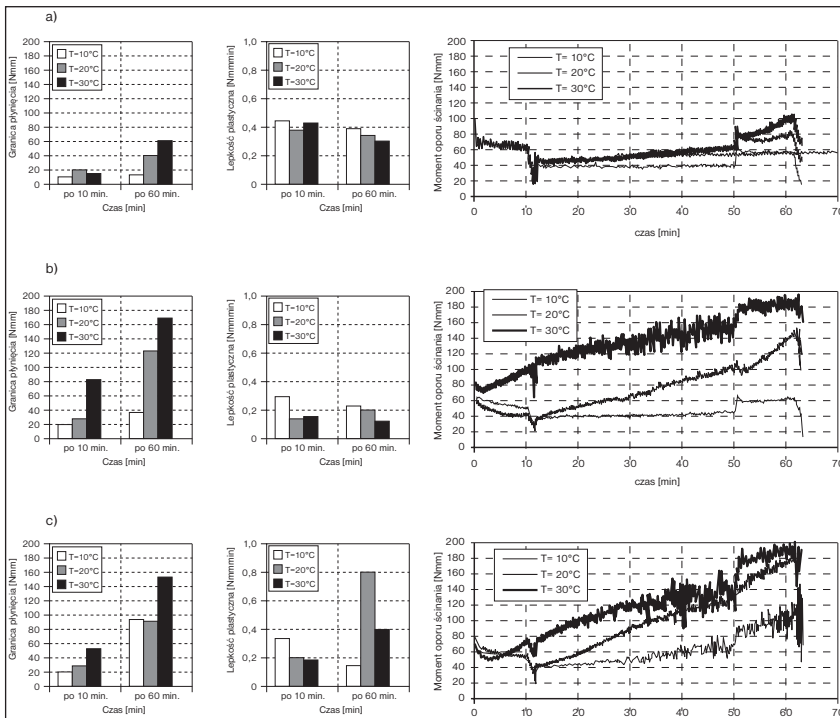
gdzie:

- M_r – moment obrotowy od napędu mieszalnika, Nm
- ω – prędkość kątowna obracającego się mieszalnika, rad/s
- n – prędkość obrotowa mieszalnika, obr/min.

Moment M_r zależy od oporu ścinania τ mieszanki betonowej, pola powierzchni ścinania A określonej geometrią mieszalnika i mieszadeł oraz od odległości tej powierzchni od osi obrotu mieszalnika, według zależności:



Rys. 1. Zjawiska i zmiany w mieszance betonowej podczas transportu mieszarkami samochodowymi



Rys. 3. Wpływ temperatury zapraw z cementem CEM I 32,5 o w/c = 0,50 na ich właściwości reologiczne i opór mieszania: a - 1% AP; b - 1% PC; c - 1% SNF.

$$M_r = \tau \cdot A \cdot r, \text{ MNm} \quad (2)$$

a ponieważ właściwości reologiczne mieszanki betonowej opisuje równanie:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot \dot{\gamma}, \text{ MPa} \quad (3)$$

gdzie:

τ – naprężenie ścinające w mieszance od obciążenia momentem obrotowym napędu mieszalnika, MPa

τ_0 – suma jednostkowych oporów spójności kapilarnej i tarcia wewnętrznego mieszanki o danym składzie, MPa

$\eta_{pl} \cdot \dot{\gamma}$ – jednostkowy opór lepkości tejże mieszanki, MPa

to wyrażenie na moc mieszania przybierze postać:

$$P = A \cdot v (\tau_0 + \eta_{pl} \cdot \dot{\gamma}), \text{ MNm/s} \quad (4)$$

gdzie:

A – powierzchnia ścinania mieszadła, m²

v – prędkość liniowa na krawędzi mieszadła w mieszarce, m/s.

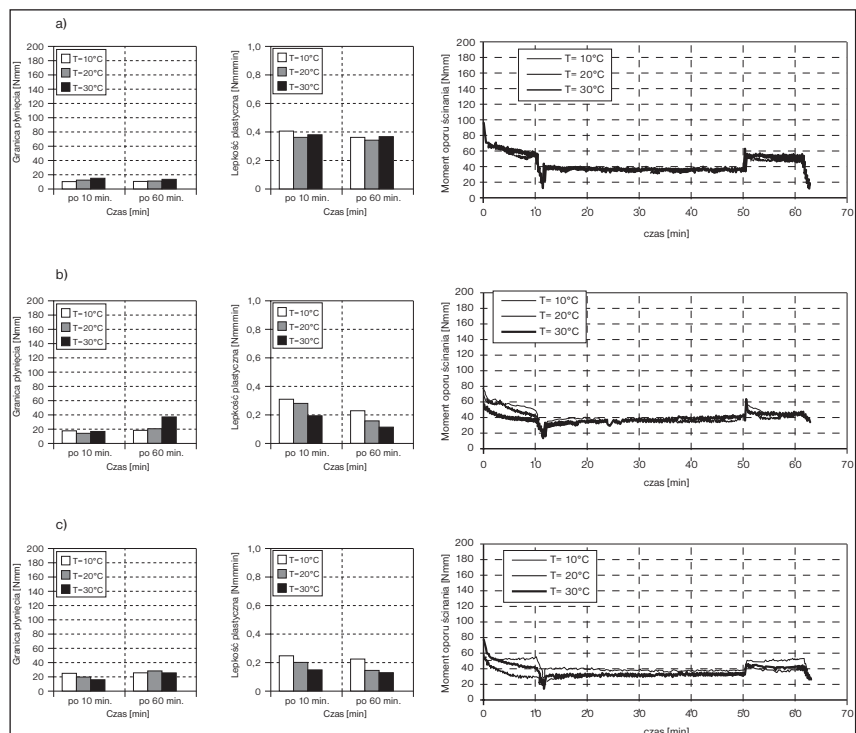
Dla określonej mieszarki wartości $A, v,$ i $\dot{\gamma}$ można przyjąć jako stałe, bowiem zależą od geometrii układu mieszadło – mieszalnik oraz od prędkości obrotowej mieszalnika. Zatem, jak to wynika z wzoru (3), moc mieszania pobierana przez napęd mieszalnika zależy wprost od właściwości reologicznych mieszanki betonowej. Właściwości te charakteryzują dwa parametry reologiczne, występujące w równaniu reologicznym mieszanki betonowej (3), tj. granica płynięcia τ_0 i lepkość plastyczna η_{pl} , stanowiące o wielkości jej oporu stawianego mieszanin, a więc i o mocy mieszania. Tak więc, zmiany urabialności mieszanki betonowej, zachodzące podczas

transportu mieszarkami samochodowymi, możemy oceniać ilościowo poprzez pomiar zmian dwóch parametrów reologicznych mieszanki, tj. jej granicy płynięcia τ_0 i lepkości plastycznej η_{pl} . Jak wykazano w szeregu badań [1,2,3], żaden ze stosowanych w technologii betonu sposobów pomiaru konsystencji nie daje takiej możliwości. Tylko reologia pozwala na pełną analizę i ocenę moż-

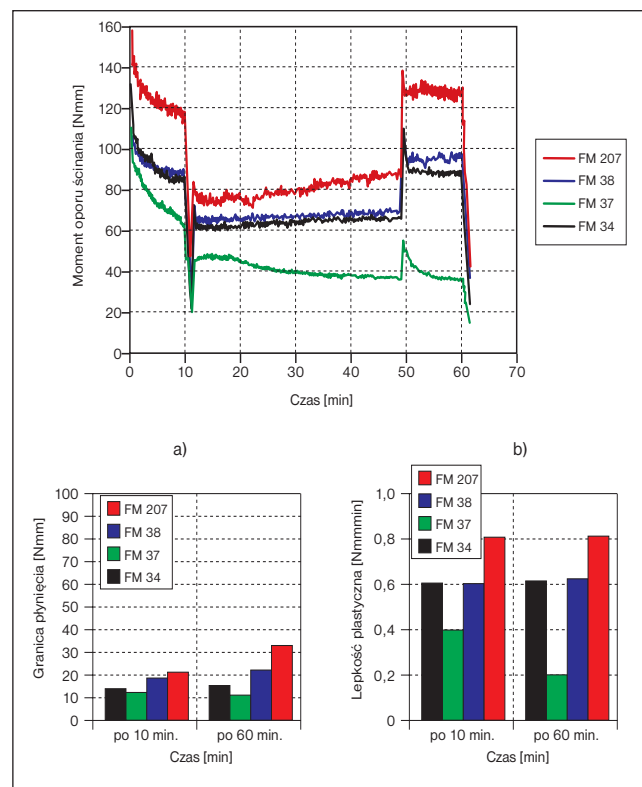
liwych zmian w zachowaniu się mieszanki podczas jej transportu mieszarkami samochodowymi (a także podczas innych procesów technologicznych) oraz ocenę ich konsekwencji ze względu na prowadzenie robót betonowych na budowie. Rozpatrzymy teraz na kilku przykładach możliwe zmiany parametrów reologicznych mieszanki, wywołane zjawiskami wskazanymi na rys. 1, których wpływ badano na częściowo modyfikowanych ze względu na w/c zaprawach normowych, traktując zaprawę jako model mieszanki [4]. Zmiany właściwości reologicznych zapraw mieszano podczas procesu mieszania zaprawy, rejestrując również zachodzące z upływem czasu zmiany oporu mieszania.

Wpływ temperatury na właściwości reologiczne mieszanki betonowej o w/c >0,5, bez domieszki superplastyfikatora, w przedziale temperatur 10-30°C jest niewielki i może być pomijany. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że wzrost temperatury wywołuje wzrost lepkości plastycznej mieszanki, tym większy, im większa jest zawartość cementu w mieszance, czyli im mniejszy jest stosunek w/c. Mieszanki o niskim w/c, w szczególności na lekkich kruszywach porowatych, w temperaturach podwyższonych do 30 i więcej stopni stają się trudno urabialne, ze względu na zwiększoną granicę płynięcia i lepkość plastyczną.

Natomiast w przypadku mieszanek z



Rys. 4. Wpływ temperatury zapraw z cementem CEM I 32,5 o W/C = 0,50 na ich właściwości reologiczne: a - 2% AP; b - 2% PC; c - 2% SNF.



Rys. 5. Wpływ rodzaju superplastyfikatora na moment oporu ścinania i parametry reologiczne zapraw z cementem CEM III/A 32,5 NA. w/c – 0,40, dawka SP – 2,5% C wagowo: a – granica płynięcia; b – lepkość plastyczna

superplastyfikatorem wpływ temperatury na ich właściwości reologiczne, przy przeciętnych wartościach w/c, jest zależny głównie od rodzaju superplastyfikatora i rodzaju użytego cementu, a w szczególności jego składu mineralogicznego. W przypadku określonego w/c, istotną rolę może odgrywać ilość dodanego superplastyfikatora. Wszystkie te efekty, towarzyszące zmianom temperatury mieszanki, widoczne są na rys. 3 i rys. 4.

Z lewej strony obu rysunków pokazano wywołane zmianami temperatury mieszanki zmiany jej granicy płynięcia i lepkości plastycznej, występujące po 10 i 60 minutach od przygotowania zaprawy. Z prawej zaś strony pokazano zmiany oporu mieszania zachodzące z upływem czasu mieszania, w mieszankach z różnymi superplastyfikatorami: AP – polimer akrylowy, PC – polikarboksyester, SNF – sulfonowana żywica naftalenowo-formaldehydowa. Bez względu na rodzaj użytego superplastyfikatora, wzrost temperatury od 10 do 30°C powoduje utratę urabialności z upływem czasu mieszania, objawiającą się głównie znacznym wzrostem granicy płynięcia, co uwidacznia się wzrostem oporu mieszania. Największy, bo ponadtrzykrotny wzrost tego oporu zaobserwowano w przypadku zaprawy z superplastyfikatorami PC i SNF, w ilości 1% w stosunku do masy cementu (rys.

3). Zwiększenie tej ilości do 2% (rys. 4) doprowadziło do zminimalizowania wpływu temperatury na parametry reologiczne i opory mieszania, a zatem i na urabialność. Nie uwidacznia się także, w sposób istotny, wpływ samego czasu mieszania na utratę urabialności badanej zaprawy.

Z kolei, w przypadku zaprawy o w/c = 0,4 na cemencie CEM III/A 32,5 NA, z superplastyfikatorami najnowszej generacji (rys. 5), nawet w bardzo dużej dawce – 2,5% masy cementu obserwuje się z upły-

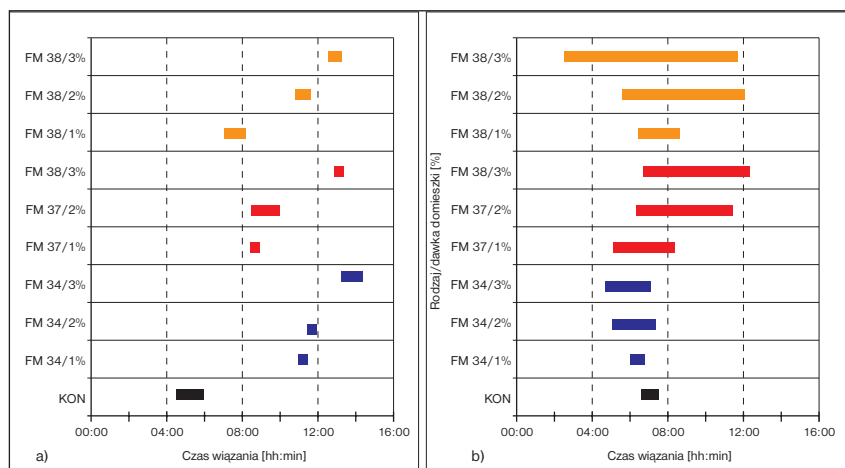
wyniki. Przykładem tego są wyniki badań czasów wiązania, przy stosowaniu superplastyfikatorów najnowszej generacji, pokazane na rys. 6. Kolorem czarnym oznaczono czasy wiązania bez domieszki superplastyfikatora. Bardziej miarodajne dla praktyki są oczywiście pomiary czasu wiązania wykonywane na zaprawach, zgodnie z normą PN EN 934-2:1999.

Wszystkie omówione powyżej kwestie pokazują charakter i skutki zjawisk zachodzących w mieszance betonowej podczas jej transportu mieszarkami samochodowymi oraz ich wpływ na reologię mieszanki betonowej. Świadomość tego pozwala ustrzec się niepożądanych problemów w praktyce, szczególnie przy stosowaniu zaawansowanej technologii betonu wysokowartościowego lub zamożęszczalnego.

prof. Janusz Szwabowski
Politechnika Śląska

Literatura:

- [1] J. Szwabowski, Reologia mieszanek na spoiwach cementowych, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 1999
- [2] G.H. Tattersall, P.F.G. Banfill, The Rheology of Fresh Concrete, Pittman Books Ltd, London 1983
- [3] O.H. Wallevik, O.E. Gjorv, Modification of the Two-Point Workability Apparatus, Seminar on Rheology of Fresh Concrete, NTH, Trondheim 1990
- [4] J. Gołaszewski, J. Szwabowski, Rheological behaviour of fresh cement mortars containing superplasticizers of new generation, Kurdowski Symposium-Science of Cement and Concrete, Kraków 2001
- [5] J. Szwabowski, Wpływ superplastyfikatora na czasy wiązania i jego konsekwencje w prowadzeniu robót betonowych, III Sympozjum „Reologia w technologii betonu”, Gliwice 2001



Rys. 6. Czas wiązania a - cementu; b - zaprawy z CEM III /A 32,5 z domieszkami upłynniającymi