

# Wpływ temperatury na właściwości reologiczne zaczynów cementowych oraz właściwości użytkowe betonu

**słowa kluczowe:** reologia, tiksotropia, zaczyn cementowy, beton, temperatura

## Streszczenie

Rozprawa doktorska dotyczy zagadnień wpływu temperatury na właściwości reologiczne zaczynów cementowych oraz właściwości mieszanek betonowych i stwardniałego betonu. W pracy wykonano badania właściwości reologicznych (w tym tiksotropii) zaczynów cementowych przygotowanych w temperaturze  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$  i  $30^{\circ}\text{C}$ . Wykonano również badania wpływu temperatury na właściwości świeżej mieszanki betonowej (konsystencja, zawartość powietrza, gęstość) i stwardniałego betonu (gęstość, nasiąkliwość, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem, wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność). Badane betony przygotowano i pielęgnowano w temperaturach  $12^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  i  $30^{\circ}\text{C}$ .

Stwierdzono, że temperatura ma istotny wpływ na właściwości reologiczne zaczynów cementowych w zależności od obecności superplastyfikatora. Granica płynięcia zaczynów cementowych z różnych cementów bez udziału superplastyfikatora generalnie wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, a lepkość plastyczna rośnie lub pozostaje na stałym poziomie. Natomiast w zaczynach cementowych z dodatkiem superplastyfikatora, lepkość plastyczna pozostaje na stałym poziomie lub nieznacznie maleje wraz ze wzrostem temperatury badania. Ponadto właściwości reologiczne zaczynów zależą od rodzaju cementu i czasu.

Szczególną uwagę zwrócono na zjawisko tiksotropii w zaczynach cementowych. W pracy po raz pierwszy, zaproponowano wykorzystanie metody wielokrotnych, skokowych zmian szybkości ścinania oraz modelu Kembłowskiego i Petery, do badania zjawiska tiksotropii w zaczynach cementowych. Zastosowanie tej metody i odpowiedniego modelu reologicznego pozwoliło na wyeliminowanie wpływu warunków pomiaru w ocenie zjawiska tiksotropii w zaczynach cementowych. Przeprowadzone badania wykazały, że temperatura ma istotny wpływ na wartość pola pętli histerezy.

Badania wpływu temperatury na właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu wysokowartościowego wykazały, że wzrost temperatury od  $12^{\circ}\text{C}$  do  $30^{\circ}\text{C}$ , powoduje pogorszenie urabialności mieszanki betonowej. Obniżenie temperatury mieszanki betonowej do  $12^{\circ}\text{C}$  powoduje zmniejszenie wytrzymałości początkowej na ściskanie betonu (do 28 dni), i jej wzrost w późniejszym czasie, w porównaniu do wytrzymałości w wyższych temperaturach ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  i  $40^{\circ}\text{C}$ ). Stwierdzono, że temperatura  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  jest najbardziej pożądaną temperaturą do pielęgnacji mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Mieszanka betonowa, w tej temperaturze, zachowuje odpowiednią urabialność, a stwardniały beton uzyskuje największą wytrzymałość na ściskanie i charakteryzuje się dużą trwałością.

# Influence of temperature on rheological properties of cement pastes and concrete

**key words:** rheology, thixotropy, cement paste, concrete, temperature

## Abstract

This Ph.D. thesis deals with the impact of ambient temperature on the rheological properties of cement pastes as well as the properties of concrete mixes and hardened concrete. This study involved testing the rheological properties (including thixotropy) of cement pastes prepared at  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$  and  $30^{\circ}\text{C}$ . Also, the influence of temperature on the properties of a fresh concrete mix (e.g. consistency, air content and density) and hardened concrete (e.g. density, water absorption, water permeability, compressive strength and freeze-thaw resistance) was studied. The tested concretes were prepared and cured at temperatures of  $12^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  and  $30^{\circ}\text{C}$ .

It was found that the temperature had a significant impact on the rheological properties of the cement pastes. The yield value for the different cement pastes without a superplasticizer generally increased with the temperature, and the plastic viscosity increased or remained constant. However, in cement pastes with superplasticizer, the plastic viscosity remained constant or slightly decreased with an increase in the temperature. However, time is the factor that had the greatest impact on the increase in the rheological parameters. The type of cement was the factor that differentiated the rheological properties of the cement pastes with and without superplasticizer.

Particular attention was paid to the phenomenon of thixotropy in the cement pastes. In this work, the method of multiple step changes in the shear rate and the Kembłowski and Petera models were used for the first time to quantify the phenomenon of thixotropy in cement pastes. The application of this method and the appropriate rheological model allowed the elimination of the influence of measurement conditions in the evaluation of the phenomenon of thixotropy in cement pastes. The tests showed that the temperature had a significant impact on the value of the hysteresis loop area.

Studies of the influence of temperature on the properties of concrete mixes and hardened high-performance concrete showed that an increase in temperature from  $12^{\circ}\text{C}$  to  $30^{\circ}\text{C}$  resulted in a loss of workability in the concrete mix. On the other hand, a decrease in the temperature of the concrete mixture to  $12^{\circ}\text{C}$  resulted in a reduction of the early age compressive strength of the concrete (up to 28 days) compared to the higher curing temperatures ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  and  $40^{\circ}\text{C}$ ). It was found that the temperature of  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  was the most desirable temperature for the concrete mix and hardened concrete. The concrete mix at this temperature remained workable. The hardened concrete achieved the highest compressive strength and was characterized by a high durability.