Maciej Batog
Katedra Inżynierii Budowlanej
Wydział Budownictwa
Politechnika Śląska

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.:

„Kształtowanie składu mieszanki betonowej z uwagi na wczesne wpływy termiczno-skurczowe w betonowych konstrukcjach masywnych"

Promotor:
dr hab. inż. Barbara Klemczak, prof. nzw. Pol. Śl

Zmiany objętościowe betonu wywołane temperaturą twardnienia betonu oraz jej nierównomiernym rozkładem pomiędzy warstwami powierzchniowymi a wnętrzem elementu są przyczyną powstawania naprężeń termicznych o znacznych wartościach, przewyższających wytrzymałość betonu na rozciąganie, co w konsekwencji prowadzi do zarysowań i spękań konstrukcji. Wspomniane naprężenia termiczne mogą mieć charakter naprężeń własnych oraz naprężeń wymuszonych. Naprężenia własne powstają wskutek istnienia więzów wewnętrznych konstrukcji, które wynikają z nierównomiernych zmian objętościowych w obrębie elementu. Naprężenia te mogą powstać nawet wtedy, gdy element ma całkowitą swobodę odkształceń. W przypadku elementów o ograniczonej swobodzie odkształceń zmiany objętościowe generują również naprężenia wymuszone.

Zmiany objętościowe związane z wysoką temperaturą betonu (powyżej 65÷70°C) we wczesnym stadium jego twardnienia mogą być również wynikiem powstawania wtórnego ettringitu czyli tzw. wewnętrznej korozji siarczanowej. Po obniżeniu temperatury betonu następuje ponowna rekrystalizacja ettringitu, który charakteryzuje się większą objętością w stosunku do stwardniałej matrycy cementowej, która ma ograniczoną swobodę odkształceń i możliwość kompensacji generowanych naprężeń rozciągających, prowadzi to do powstania spękań, obniżenia wytrzymałości i trwałości betonu.

Podejmowane środki zaradcze ograniczające ryzyko zarysowania mają na celu obniżenie temperatury twardnienia oraz zmniejszenie różnicy temperatury pomiędzy wnętrzem i powierzchnią elementu. Większość zaleceń w tym zakresie sugeruje, aby różnica ta nie przekraczała 15÷20°C, a maksymalna temperatura, która generowana jest w procesie twardnienia nie była wyższa niż 65÷70°C.

M. Batog

Środki zapobiegawcze stosowane w celu zmniejszenia powstających gradientów temperatur można podzielić na materiałowe i technologiczne. Czynniki materiałowe odnoszą się do odpowiedniego doboru składników betonu, który powinien gwarantować:

- możliwie wolne wydzielanie ciepła twardnienia,
- niski współczynnik rozszerzalności termicznej i dużą przewodność cieplną betonu,
- odpowiednie właściwości mechaniczne betonu.

Czynniki technologiczne odnoszą się do warunków produkcji, transportu, zabudowy i pielęgnacji mieszanki betonowej i betonu.

Zazwyczaj dobór składu mieszanki betonowej do konstrukcji masywnych, w szczególności do masywnych płyt fundamentowych, jest dokonywany głównie z uwagi na ograniczenie temperatury maksymalnej oraz ograniczenie gradientu temperatury. Zwykle nie wykonuje się w tym zakresie kompleksowej analizy, uwzględniającej powstające odkształcenia (z uwzględnieniem zróżnicowanego współczynnika odkształcalności termicznej betonu wykonanego na różnych kruszywach), naprężenia (na który istotny wpływ ma moduł sprężystości, zależny od cementu i kruszywa użytego w betonie) oraz wytężenia (zależne od rozwoju wytrzymałości na rozciąganie betonu, która zależy od zastosowanego rodzaju cementu i kruszywa).

Ponieważ suma właściwości mechanicznych i cieplno-wilgotnościowych betonu wynikająca z właściwości składników mieszanki betonowej decyduje o efekcie końcowym, jakim jest trwała konstrukcja masywna, dobór zarówno rodzaju cementu, jak i kruszywa powinien być rozważany w sposób kompleksowy z uwagi na wczesne wpływy termiczno-skurczowe w betonowych konstrukcjach masywnych.

Celem niniejszej pracy była właśnie taka kompleksowa analiza wpływu składu mieszanki betonowej na kształtowanie się temperatury, rozwoju wytrzymałości i naprężeń w betonowych konstrukcjach masywnych wraz z oceną ryzyka zarysowania tych konstrukcji.

Praca ma charakter doświadczalno–teoretyczny. Część doświadczalna obejmowała swym zakresem:

- charakterystykę właściwości mechanicznych, fizycznych i chemicznych stosowanych cementów oraz składników użytych do ich wyprodukowania,
- określenie wpływu rodzaju i ilości nieklinkierowych składników głównych w cemencie na ciepło hydratacji cementu,
- określenie wpływu współczynnika w/c i temperatury na rozwój ciepła hydratacji cementu,

M. Bołoz

- określenie wpływu rodzaju cementu i kruszywa na temperatury twardnienia betonu,
- określenie wpływu rodzaju cementu i kruszywa na pojemność cieplną i przewodność cieplną betonu,
- określenie wpływu rodzaju cementu i kruszywa na właściwości mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie i zginanie oraz moduł sprężystości) i reologiczne betonów.

Wyniki badań doświadczalnych posłużyły do kalibracji i walidacji modelu numerycznego twardniejącego betonu oraz związanych z nim programów TEMWIL i MAFEM, rozwijanych od lat 90-tych w Katedrze Inżynierii Budowlanej Politechniki Śląskiej.

Następnie przy użyciu w/w modeli numerycznych wykonano analizy konstrukcji masywnych, w których często obserwowane są wczesne rysy o genezie termiczno-skurczowej. W analizach tych uwzględniono wyniki badań doświadczalnych, różnicując w składzie mieszanki betonowej rodzaj cementu i kruszywa. Analizowano rozkłady temperatury twardnienia, zmian wilgotności, naprężeń oraz wytężenia w dwóch typach konstrukcji: masywnej płycie fundamentowej oraz ścianie żelbetowej betonowanej na wcześniej wykonanym fundamencie.

Przeprowadzone analizy potwierdziły, że stosowanie cementów zawierających nieklinkierowe składniki główne w składzie betonu masywnego zmniejsza ryzyko zarysowania konstrukcji betonowej. Analizy wykazały również, że stosowanie cementów zawierających popiół lotny krzemionkowy w składzie betonu masywnego większym stopniu zmniejsza ryzyko powstania rys termicznych w porównaniu do cementów zawierających tylko granulowany żużel wielkopiecowy. Wykazano również, że zastosowanie cementów z granulowanym żużlem wielkopiecowym jako składnika betonu nie daje gwarancji uniknięcia zarysowania konstrukcji masywnej. Pokazano również, że rodzaj zastosowanego kruszywa wpływa na wartość naprężeń i wytężenia w konstrukcji masywnej.

Uzyskane w pracy rezultaty pokazują, że ocena ryzyka zarysowania betonowej konstrukcji masywnej powinna być prowadzona w sposób kompleksowy uwzględniający nie tylko wpływ rodzaju cementu, ale również wpływ rodzaju kruszywa. Analiza ryzyka zarysowania nie powinna skupiać się tylko na wartościach temperatury maksymalnej i gradientu temperatury, które są dobrymi parametrami do wstępnej oceny ryzyka powstania rys termicznych, należy uwzględniać także rozwój wytrzymałości, naprężeń termicznych, odkształceń, zmiany wilgotności oraz wytężenia.

Rozprawa doktorska została podzielona na siedem rozdziałów. W rozdziale pierwszym opisano zarys problemu związany z zagrożeniami występującymi w konstrukcjach

H. Gutag

masywnych. W rozdziałach drugim i trzecim dokonano przeglądu literaturowego w zakresie roli czynników materiałowych (skład betonu) oraz czynników technologicznych, a także doświadczeń realizacyjnych betonowych konstrukcji masywnych. W rozdziale czwartym zdefiniowano cel i tezy pracy. Rozdział piąty zawiera opis metod badawczych, charakterystykę stosowanych w badaniach materiałów oraz wyniki badań doświadczalnych. W rozdziale szóstym opisano modele numeryczne stosowane w analizach, metody kalibracji i walidacji stosowanych modeli w oparciu o wyniki badań otrzymanych w rozdziale piątym. W dalszej części rozdziału przedstawiono wyniki analiz numerycznych płyt fundamentowych i ścian żelbetowych betonowanych na wcześniej wykonanym fundamencie w zakresie rozwoju naprężeń termicznych, wytrzymałości na rozciąganie oraz czasu ich wystąpienia. W analizach numerycznych zmiennymi były rodzaj cementu oraz kruszywa w składzie betonu. Rozdział siódmy zawiera podsumowanie i wnioski.

Maciej Kalog
7.03.2016