

dr inż. Maciej Minch*

Naprężenia skurczowe w płytach fundamentowych

Shrinkage stresses of foundation slabs

Streszczenie. W artykule omówiono problem obliczania naprężeń skurczowych w płytach fundamentowych. Opisano skróco sposób określania naprężeń skurczowych zrównoważonych oraz naprężeń wynikających z działania momentów zginających wywołanych skurczem betonu. Przedstawiono przykład zarysowania płyty fundamentowej spowodowanego brakiem uwzględnienia w obliczeniach naprężeń skurczowych.

Słowa kluczowe: płyta fundamentowa, naprężenia skurczowe, zbrojenie przeciwskurczowe.

Abstract. The article discusses the problem of shrinkage stress calculations in foundation slabs. A method for determining sustainable shrinkage stresses and stresses resulting from the action of bending moments was sketchily described. An example of the cracked RC foundation slab caused by lack of consideration in the calculation of the shrinkage stress was shown.

Keywords: foundation slab, shrinkage stress, shrinkage reinforcement.

Podstawowe problemy dotyczące skurczu betonu oraz istotny jego wpływ konieczny do uwzględnienia w analizie statyczno-wytrzymałościowej konstrukcji i obliczanie koniecznego zbrojenia przeciwskurczowego w strefach przypowierzchniowych konstrukcji żelbetonowych lub sprężonych podane są w PN-EN 1992-1-1:2008 [4] i w literaturze dotyczącej tematyki skurczu betonu, m.in. [1, 2, 3]. Pomimo wielu informacji dotyczących obliczania naprężeń skurczowych, w praktyce spotykamy się z licznymi przypadkami nieprzewidzianego zarysowania konstrukcji żelbetonowych, mimo iż w trakcie obliczeń projektant spełnił warunki stanów granicznych nośności i użyteczności dla obciążeń zewnętrznych, jednak nie zastosował minimalnego przekroju zbrojenia rozciąganego wynikającego ze skurczu betonu. Często zjawiska te dotyczą elementów powierzchniowych takich jak płyty fundamentowe i stropy. Szczególnie w przypadku budynków z częścią podziemną, posadowioną w gruntach nawodnionych, zarysowanie płyt fundamentowych w wyniku skurczu betonu (ewentualnie także ciepła hydratacji występującego podczas wiązania betonu) przysparza wielu problemów eksploatacyjnych, wynikających z nieszczelności płyt, a w konsekwencji zalewania kondygnacji podziemnych wodą migrującą przez rysy i pęknięcia do wnętrza budynków.

Minimalne zbrojenie przeciwskurczowe

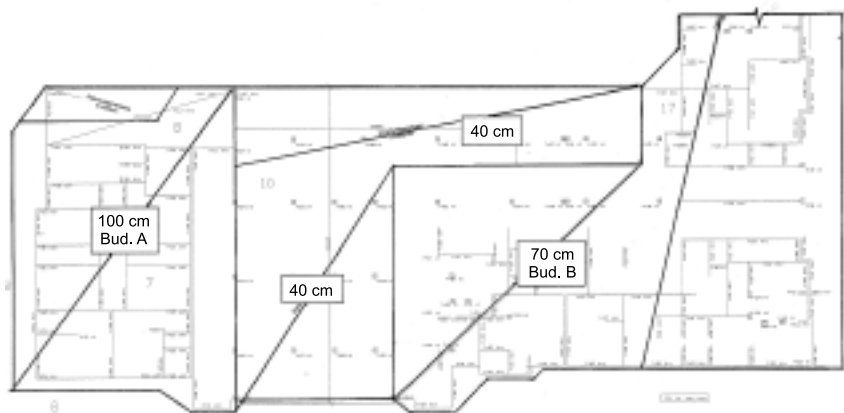
Aby w miarę dokładnie określić wymagane zbrojenie przeciwskurczowe, należy uprzednio obliczyć wartość skurczu (np. wg [4] – zał. B2) w poszczególnych częściach konstrukcji betonowej. Na tej podstawie można metodą elementów skończonych obliczyć wartości momentów zginających i sił osiowych w poszczególnych częściach masywu betonowego (np. płyty fundamentowej) w zależności od kształtu, wymiarów i schematu statycznego. Obliczenia są czasochłonne, ale dają racjonalne przekroje zbrojenia z tytułu skurczu betonu (i ewentualnie temperatury w betonie podczas jego wiązania).

Norma [4] podaje wzór 7.1 na minimalne pole przekroju zbrojenia $A_{s,min}$ wymagane z uwagi na ograniczenie

szerokości rys spowodowanych naprężeniami wywołanymi odkształceniami wymuszonymi przez przyczyny wewnętrzne (np. skurcz). Zbrojenie minimalne określone z tego wzoru jest proporcjonalne do wytrzymałości betonu na rozciąganie, co powoduje często przebrojenie konstrukcji, w której stosuje się betony wyższych klas.

Płyta fundamentowa parkingu podziemnego

Przykład dotyczy konstrukcji płyty fundamentowej parkingu podziemnego, która uległa zarysowaniu w wyniku pominięcia obliczeń zbrojenia z tytułu odkształceń skurczowych betonu. Konstrukcja płyty fundamentowej wykonana jest jako żelbetowa z betonu klasy C30/37, zbrojona stalą RB500. Płyta ma różną grubość (rysunek 1) wynikającą z przewidywanych obciążeń statycznych. Pod budynkiem A zaprojektowano



Rys. 1. Układ płyty fundamentowej o różnej grubości

* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

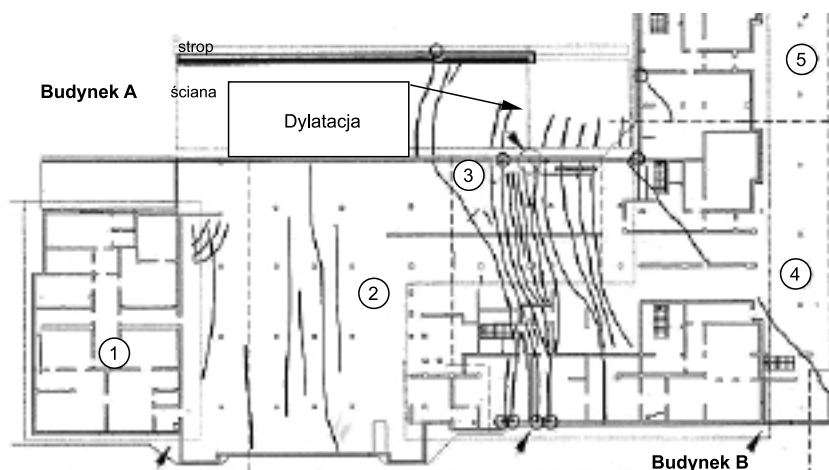
wano płytę grubości 100 cm, pod budynkiem B grubości 70 cm, a w części garaży podziemnych poza budynkami płytę grubości 40 cm (rysunek 1). Przejścia pomiędzy poszczególnymi płytami różnej grubości wykonano w gruncie za pomocą odpowiednich skosów konstrukcyjnych. Posadowienie konstrukcji przewidziano w systemie „czarnej” wanny, zakładając rozwarście rys w konstrukcji na poziomie 0,3 mm.

W konstrukcji płyty fundamentowej grubości 40 cm stwierdzono występowanie wielu rys konstrukcyjnych, powodujących powstanie przecieków i sączeń wody z gruntu do wnętrza garaży. Największa koncentracja rys występuje w obszarze ściennej osi dylatacyjnej, która dodatkowo wymusiła niezrównoważony zbrojeniem stan naprężeń (rysunek 2). Rozwartość rys jest zróżnicowana i waha się od 0,1 mm do 0,5 mm.

W celu określenia poprawności obliczeń płyty fundamentowej, wykonanych w projekcie konstrukcji, przeprowadzono weryfikacyjną analizę statyczno-wytrzymałościową, która miała na celu

Wyniki obliczeń porównawczych zbrojenia płyty fundamentowej

Nr działki (rys. 2)	Zbrojenie zastosowane w projekcie	Zbrojenie wg własnych obliczeń weryfikacyjnych	Minimalne zbrojenie skurczowe wg EC2
2 i 3 gr. 40 cm	– zbrojenie podstawowe górne \varnothing 12 mm co 15 cm w obu kierunkach $A_s = 7,54 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 12 mm co 15 cm ($A_s = 7,54 \text{ cm}^2$), \varnothing 16 mm co 15 cm ($A_s = 13,40 \text{ cm}^2$) – zbrojenie podstawowe dolne \varnothing 12 mm co 15 cm w obu kierunkach, $A_s = 7,54 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 20 mm co 15 cm ($A_s = 20,94 \text{ cm}^2$)	– zbrojenie podstawowe górne \varnothing 12 mm co 15 cm w obu kierunkach, $A_s = 7,54 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 12 mm co 15 cm ($A_s = 7,54 \text{ cm}^2$), \varnothing 16 mm co 15 cm ($A_s = 13,40 \text{ cm}^2$) – zbrojenie podstawowe dolne \varnothing 12 mm co 15 cm w obu kierunkach, $A_s = 7,54 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 12 mm co 15 cm, \varnothing 20 mm co 12,5 cm ($A_s = 20,94 \text{ cm}^2$)	– wymagane zbrojenie podstawowe górne i dolne ($A_s = 9,20 \text{ cm}^2$) przykładowo \varnothing 12 mm co 12 cm w obu kierunkach, $A_s = 9,42 \text{ cm}^2$ zastosowano zbyt małe zbrojenie płyty (wg DIN 1045 wymagane zbrojenie wynosić powinno $A_s = 10,80 \text{ cm}^2$)
4 gr. 70 cm	– zbrojenie podstawowe górne \varnothing 16 mm co 15 cm w obu kierunkach, $A_s = 13,40 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 12 mm co 15 cm ($A_s = 7,54 \text{ cm}^2$), \varnothing 16 mm co 15 cm ($A_s = 13,40 \text{ cm}^2$) – zbrojenie podstawowe dolne \varnothing 12 mm co 15 cm w obu kierunkach, $A_s = 7,54 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 20 mm co 15 cm ($A_s = 20,94 \text{ cm}^2$)	– zbrojenie podstawowe górne \varnothing 16 mm co 15 cm w obu kierunkach, $A_s = 13,40 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 12 mm co 15 cm ($A_s = 7,54 \text{ cm}^2$), \varnothing 16 mm co 15 cm ($A_s = 13,40 \text{ cm}^2$) – zbrojenie podstawowe dolne \varnothing 12 mm co 15 cm w obu kierunkach, $A_s = 7,54 \text{ cm}^2$ + dozbrojenia lokalne \varnothing 20 mm co 15 cm ($A_s = 20,94 \text{ cm}^2$)	– wymagane zbrojenie podstawowe górne i dolne ($A_s = 12,55 \text{ cm}^2$) przykładowo \varnothing 16 mm co 12,5 cm w obu kierunkach $A_s = 13,40 \text{ cm}^2$ zbrojenie wystarczające



Rys. 2. Rysy w płycie fundamentowej głównie w części płyty o grubości 40 cm (segment 2 i 3)

określenie przyczyn zarysowania płyty. Obliczenia wykonano metodą elementów skończonych, przyjmując w założeniach płytę na podłożu sprężystym, ale bez uwzględnienia skurczu betonu. Wykonano również obliczenia $A_{s,min}$ (wzór 7.1 [4]) i porównano je ze zbrojeniem podanym w projekcie (tabela).

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku dużych obciążeń płyt fundamentowych grubości 70 i 100 cm (oprócz budynków średniowysokich i wysokich), wartości statycznych mo-

mentów zginających determinują procent zbrojenia płyty. W przypadku małych obciążeń płyt fundamentowych (nieznaczne wartości momentów zginających, np. w płycie $h = 40 \text{ cm}$) wymagane zbrojenie z obliczeń na obciążenia zewnętrzne nie spełnia warunków do przeniesienia sił rozciągających w betonie w wyniku skurczu, co miało miejsce w opisanym przykładzie, w którym projektant konstrukcji nie sprawdził warunków minimalnego pola przekroju zbrojenia $A_{s,min}$.

Podsumowanie

Nieuwzględnienie w analizach statyczno-wytrzymałościowych zjawisk skurczowych (szczególnie w płytach fundamentowych i stropach) wynika najczęściej z braku właściwej wiedzy dotyczącej oddziaływania środowiska wewnętrznego na beton. Przykład zarysowanej płyty fundamentowej pokazuje, jakie szkody użytkowe mogą wystąpić w konstrukcji monolitycznej w wyniku pominięcia w obliczeniach wpływu skurczu betonu. Dotyczy to szczególnie ustrojów statycznie niewyznaczalnych, w których odkształcenia skurczowe mają duży wpływ na siły wewnętrzne (np. w płytach fundamentowych o zmiennej grubości).

Literatura

- [1] Flaga K.: Naprężenia skurczowe i zbrojenie przypowierzchniowe w konstrukcjach betonowych. Monografia 391, seria Inżynieria Łódzka, Politechnika Krakowska, Kraków 2011.
- [2] Raszka H.: Uogólnione metody obliczania przewidywanych odkształceń skurczowych elementów betonowych. Inżynieria i Budownictwo nr 1/1990.
- [3] Rüsç H., Jungwirth D.: Skurcz i pękanie w konstrukcjach betonowych. Arkady, Warszawa 1979.
- [4] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.