

BUILDER
FOR THE
FUTUREBUILDER
FOR THE
YOUNG
ENGINEERS

W ramach realizowanego przez miesięcznik „Builder” programu „Wspieramy młodych inżynierów budownictwa” dajemy możliwość pierwszych publikacji naukowych młodym doktorantom.

**Marcelina Jakubczyk
Izabella Trochimiak**
Wydział Inżynierii Lądowej,
Politechnika Krakowska

OPIEKUN NAUKOWY
dr inż. Rafał Szydłowski
Instytut Materiałów i Konstrukcji
Budowlanych, Politechnika Krakowska

Effektem pominięcia zjawisk skurczowych było zastosowanie zbrojenia wyłącznie na zginanie, co w wyniku szczególnego kształtu budynku doprowadziło do pęknięcia na wskroś stropu oraz przecieków w tych miejscach. W artykule podjęto próby wyznaczenia wymaganej ilości zbrojenia różnymi metodami i porównano otrzymane wyniki.

Konstrukcja budynku

Zaprojektowany i zrealizowany na początku ubiegłego stulecia budynek mieszkalny posiada sześć kondygnacji nadziemnych i jedną podziemną. Rzut budynku w poziomie kondygnacji podziemnej pokazano na rysunku 1. Zakresowany fragment rzutu stanowi tylko kondygnację podziemną, część niezakresowana natomiast to zasadniczy 7-kondygnacyjny budynek (garaż podziemny oraz 6 kondygnacji nadziemnych). Obydwie części zostały oddylatowane od siebie. Analizowany strop nad garażem znajduje się nad oddylatowaną częścią budynku, stanowi jednocześnie konstrukcję nośną drogi dojazdowej przy budynku (obszar zakresowany na rysunku 1.). Belki żelbetowe i słupy dzielą strop na przęsła o maksymalnej rozpiętości 6,3 m, jego grubość jest zmienna i waha się od 22 do 26 cm. Schemat analizowanego fragmentu stropu przedstawiono na rysunku 2. Wzdłuż kra-

ANALIZA PRZYCZYŃ USZKODZENIA STROPU

Prawidłowe oszacowanie efektów skurczu betonu oraz wymaganego zbrojenia przeciwskurczowego w złożonych konstrukcjach żelbetowych jest niezwykle trudne. W artykule na przykładzie fragmentu budynku o rzadko spotykanym układzie konstrukcyjnym nakreślono problem skurczu betonu.

wędzi przydylatacyjnej strop oparty jest na belkach żelbetowych, natomiast na krawędziach zewnętrznych na żelbetowych ścianach zewnętrznych.

Charakterystyka uszkodzeń stropu

W trakcie użytkowania budynku w przęsłach ograniczonych osiami H i L' (rys. 2.), będącymi przewężeniem całej konstrukcji stropu, wystąpiły przecieki. Na jednym z przęseł (H – J) zdjęto warstwy ocieplenia, co ujawniło obecność rys przelotowych (rys. 2. i 3.) w kierunku poprzecznym do dłuższego wymiaru konstrukcji. Rysy pojawiły się w rozstawie 2–2,5 m i miały szerokość 1–1,5 mm.

Według opinii zarządcy budynku przyczyną powstania pęknięć mogły być nadmierne obciążenia od samochodów dostawczych, które dowoziły towary do lokalów usługowych zlokalizowanych w obiekcie. W przęsłach H – L' zastosowano ubogie zbrojenie dolne 10 co 25 cm w obu kierunkach oraz zbrojenie górne tylko nad belkami. Tymczasem charakter rys (przelotowe i obejmujące całą szerokość przęsła łącznie z belkami) sugerował zupełnie inną przyczynę ich powstania.

Charakter rys wskazywał, że powstały one w wyniku skurczu betonu. Analizując geometrię i schemat podparcia stropu przedstawiony na rysunku 2. można zauważyć,

iż ma on kształt wydłużonego nieregularnego wieloboku przewężonego w środku. Zewnętrzne ściany żelbetowe w obszarach 1 – H i L' – O stanowią sztywne zamocowanie stropu ograniczające możliwość jego swobodnego odkształcenia. Przewężenie stropu w osiach H-L' stanowi najszlubszy przekrój stropu. Przy powstaniu sił rozciągających w wyniku skurczu skrępowanej ścianami płyty żelbetowej pęknięć od skurczu należałoby się spodziewać właśnie w tym miejscu. Efekt ten został najprawdopodobniej pominięty w projektowaniu.

Analiza nośności płyty na zginanie

Model przedstawiony na rysunku 4. wykonano w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional, korzystając z modułu do projektowania budynków w 3D. Zastosowano pełne utwierdzenie ścian i słupów w fundamentach, a także sztywne połączenia pomiędzy poszczególnymi elementami konstrukcji. Na tak wykonanym modelu przeprowadzono wszystkie analizy, pokazując dalej ostateczne wyniki wyłącznie dla interesującego nas fragmentu stropu.

Zakładając obciążenie stropu furgonetkami z ładunkiem o wartości $p=3 \text{ kN/m}^2$, wystąpiły momenty zginające przedstawione na ry-

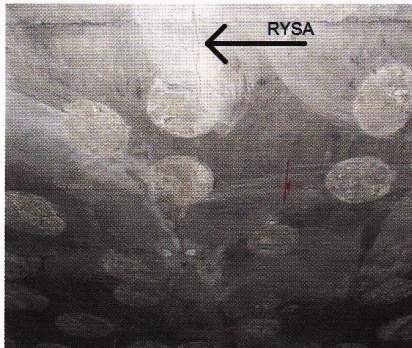
sunku 5a. Wymiarowanie zbrojenia w kierunku prostym do rys pokazało, że wymagany przekrój zbrojenia to $1,97 \text{ cm}^2$, natomiast w projekcie przyjęto 10 co 25 cm, co daje $3,14 \text{ cm}^2$, a więc zdecydowanie więcej. Dodatkowo sprawdzono stan graniczny zarysowania płyty stropowej przy obciążeniu $p=3 \text{ kN/m}^2$ (rys. 5b)

Obliczony moment rysujący przekrój (wg EC2) wynosi $M_{cr} = 21 \text{ kNm}$, tymczasem moment zginający to $M_{max} = 9,68 \text{ kNm}$. Wynika z tego, że nie dojdzie do zarysowania. Zakładając, iż zarysowanie nastąpiło w wyniku losowego przeciężenia stropu ponad wartość momentu rysującego (przy zbyt małym zbrojeniu nadmierne rysy może wywołać wówczas moment mniejszy niż moment rysujący), policzono szerokość rys (wg EC2) przy pełnym obciążeniu użytkowym wynoszącym 3 N/m^2 . Otrzymano szerokość rysy równą $w_k = 0,23 \text{ mm}$.

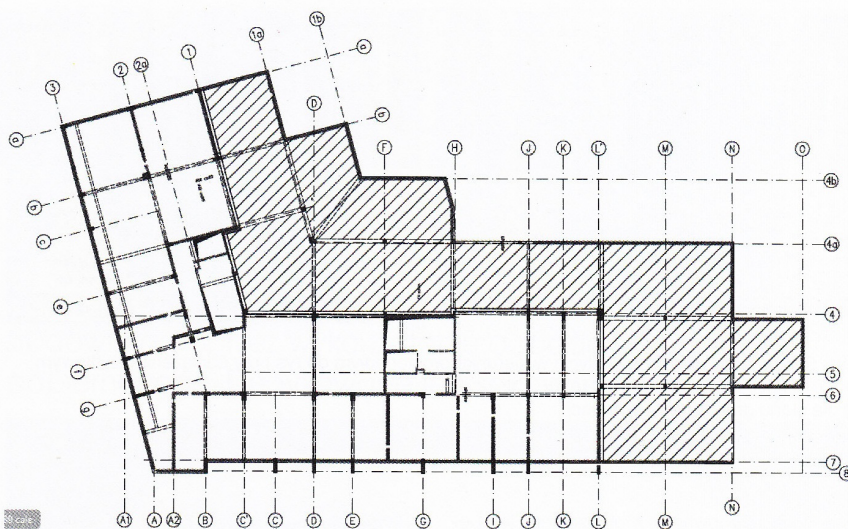
Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, iż zastosowane zbrojenie jest wystarczające na zginanie. Przeciężenie stropu nie mogło zatem wywołać tak dużych rys.

Analiza efektów skurczowych

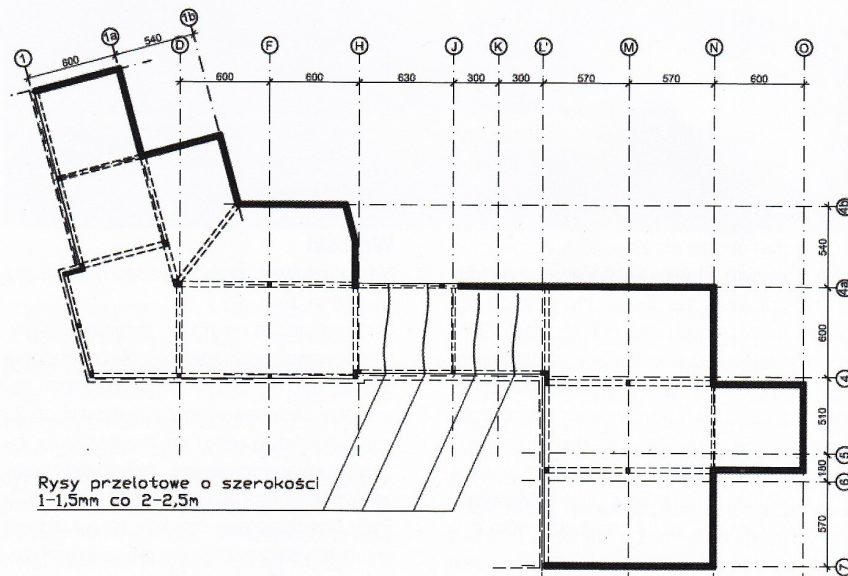
Wpływ skurczu betonu na wyteżenie płyty uwzględniano, powołując się na zapis normy (PN-B-03264:2002) mówiący, że wpływ skurczu w konstrukcjach żelbetowych można przy-



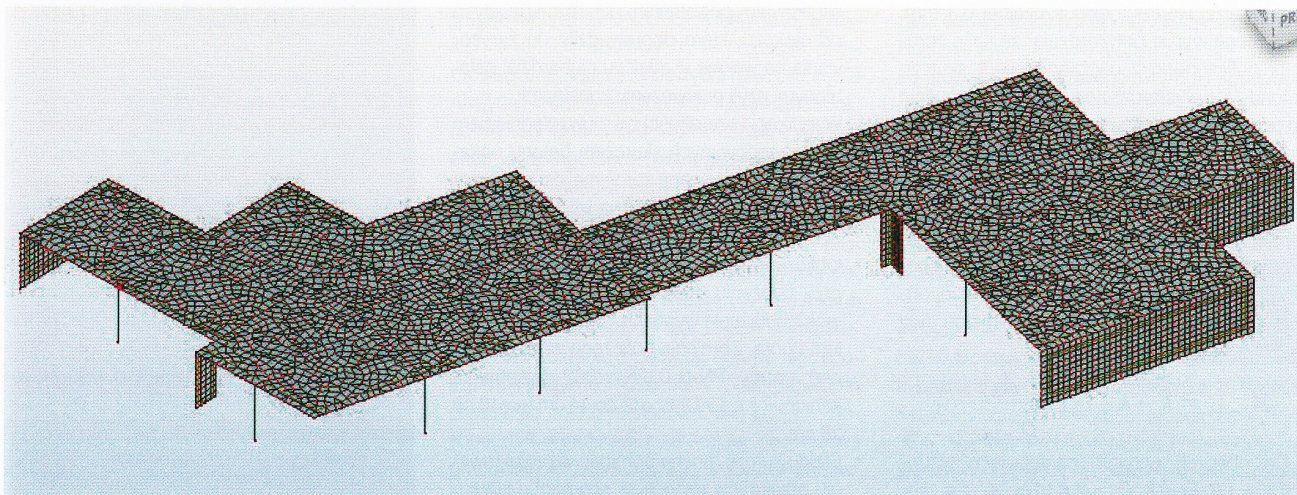
Rys. 3. Rysy w konstrukcji



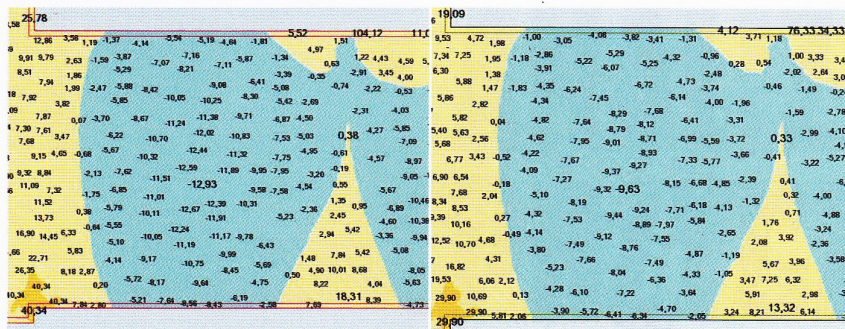
Rys. 1. Rzut budynku w kondygnacji garażu



Rys. 2. Schemat analizowanego fragmentu stropu

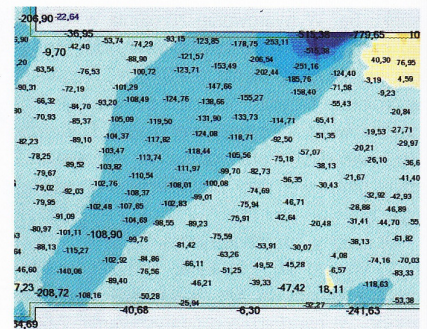


Rys. 4. Model obliczeniowy płyty w systemie MES



Rys. 5. Momenty zginające w płycie w kierunku prostopadłym do rys przy obciążeniu użytkowym $p=3,0 \text{ kN/m}^2$:

- a) dla stanu granicznego nośności
- b) dla stanu granicznego użytkowości



Rys. 6. Siły rozciągające (kierunek y-y) przy obciążeniu temperaturą -15°C

mować za równowagę z obniżeniem temperatury o 15°C . Po zamodelowaniu obciążenia temperaturą (oziebnienie stropu i ścian o 15°C) otrzymano rozkład sił rozciągających przedstawiony na rysunku 6. Obliczenie szerokości rys, przy założeniu uśrednionej siły rozciągającej 150 kN/m oraz momentu zginającego $9,7 \text{ kNm/m}$ (rys. 5b), dało wartość $1,7 \text{ mm}$. Tak dużą szerokość rysy uzyskano przy naprężeniach w stali wynoszących $639,8 \text{ MPa}$, a więc powyżej granicy plastyczności stali. Uzyskane wyniki jednoznacznie potwierdziły, iż zastosowane zbrojenie, chociaż wystarczające na zginanie, jest zbyt ubogie dla zjawisk skurczowych.

Na kolejnym etapie wyznaczono potrzebną ilość zbrojenia, nie chcąc dopuścić do powstania nadmiernych rys od skurczu. Obliczenia przeprowadzono dla siły rozciągającej $N_{Ed} = 202,4 \text{ kN/m}$ (rys. 6.) i momentu zginającego $M_{Ed} = 12,9 \text{ kNm/m}$ (wartości obliczeniowe, rys. 5a). Analiza pokazała, że wymagane pole przekroju zbrojenia dołem wynosi $A_{s1,reg} = 5,23 \text{ cm}^2/\text{m}$, a górą $A_{s2,reg} = 0,56 \text{ cm}^2/\text{m}$, przyjęto dołem $\varnothing 12 \text{ co } 14 \text{ cm}$ () oraz górą $\varnothing 10 \text{ co } 28 \text{ cm}$ ().

Dla przyjętego zbrojenia obliczono szerokość rys z dominującym wpływem siły rozciągającej. Otrzymano wartość $w_k = 0,26 \text{ mm}$, czyli poniżej wartości dopuszczalnej $0,3 \text{ mm}$. Otrzymane wyniki potwierdzają, że ilość zbrojenia obliczonego z uwzględnieniem skurczu betonu jest wystarczająca, aby nie dopuścić do powstania nadmiernych rys.

EC2 podaje, że w obszarach, w których może wystąpić rozciąganie, wymaga się umieszczenia zbrojenia w ilości nie mniejszej od minimalnego zbrojenia ze względu na zarysowanie. Przyjmując, że na rozważaną płytę żelbetową działają siły rozciągające od skurczu, obliczono wymagane zbrojenie minimalne (wg wzoru 1).

$$A_{s, \min} = k_c \cdot k \cdot f_{cm} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_{s, \lim}} \quad (1)$$

Do obliczeń przyjęto następujące wartości: $k_c = 1,0$, $k = 0,8$, $f_{cm} = 2,6 \text{ MPa}$, $A_{ct} = b \cdot h = 2200 \text{ cm}^2$, $\sigma_{s, \lim} = 320 \text{ MPa}$. Wyliczona wartość

Skurcz betonu to zjawisko polegające na niezależnych od obciążeń mechanicznych samoistnych odkształceniach reologicznych. Całkowite odkształcenie skurczowe składa się z odkształcenia skurczowego spowodowanego wysychaniem oraz autogenicznego odkształcenia skurczowego.

O skurczu autogenicznym należy pamiętać szczególnie przy projektowaniu konstrukcji zespolonych typu beton – beton oraz przy planowanych długich przerwach roboczych między betonowaniem. Wielkość skurczu zależy od klasy betonu, wymiarów elementu oraz wilgotności otoczenia.

$15,3 \text{ cm}^2/\text{m}$ jest znacznie większa od przyjętego w projekcie zbrojenia. Zatem należałoby przyjąć zbrojenie $\varnothing 12 \text{ co } 14 \text{ cm}$ górą i dołem, co daje $16,1 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że:

- Stany graniczne nośności i zarysowania płyty stropowej przy zginaniu dla obciążenia użytkowego $p = 3,0 \text{ kN/m}^2$ są spełnione nawet przy zastosowanym zbrojeniu $\varnothing 10 \text{ co } 25 \text{ cm}$. Dodatkowo układ rys nie wskazuje, by były wywołane zginaniem. Wobec tego należało znaleźć inną przyczynę tego zjawiska.
- Rysy przecinają cały przekrój, taki układ jest charakterystyczny przy występowaniu sił rozciągających. Z uwagi na fakt, że płyta została utwardzona w ścianach konstrukcyjnych, ograniczono jej swobodę odkształceń, co skutkowało powstaniem sił rozciągających od skurczu, które doprowadziły do zarysowania na wskroś w miejscu najbardziej osłabionym, czyli przewężeniu konstrukcji.
- Weryfikacja szerokości rys z uwzględnieniem sił spowodowanych skurczem betonu pokazała, że zastosowane zbrojenie jest zdecydowanie za małe, co doprowadziło do powstania rys o szerokości przekraczającej 1 mm .
- Obliczone wymagane zbrojenie minimalne przy założeniu skurczu betonu jako dominujące obciążenie wynosi aż $\varnothing 12 \text{ co } 14 \text{ cm}$ dołem i górą. Zbrojenie obliczone według zaleceń normy PN-B-03264:2002 (oziebnienie konstrukcji o 15°C) to $\varnothing 12 \text{ co } 14 \text{ cm} + \varnothing 10 \text{ co } 28 \text{ cm}$.
- Efekt skurczu można pominąć w projektowaniu przekrojów stropów w przypadku niedługich budynków o regularnych kształtach. Nie

jest on istotny, gdyż stropy ulegają regularnym zarysowaniom na całej długości. W przypadku analizowanego stropu o szczególnej geometrii (przewężenie w środku i zamocowanie końcowych fragmentów w ścianach) skurcz spowodował kumulację rys w osłabionym fragmencie i ich nadmierną szerokość.

Bibliografia

- [1] PN-EN 1992-1-1: Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [2] PN-B-03264:2002: Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone: Obliczenia statyczne i projektowanie.

Abstract. Analysis of the cause of damage of a reinforced concrete floor above a garage of a multi-storey residential building. Undertaking an accurate assessment of the effects of concrete shrinkage and required minimum shrinkage reinforcement of complex reinforced concrete constructions emphasizes the fact of being an exceedingly difficult issue to consider. The analysis below broaches this matter basing on the example of a fragment of a building characterized by a rare construction system. Since the shrinkage aspects have not been taken into account, the applied reinforcement concerns only bending. Indeed, this fact, as well as the peculiarity of a shape of the building, affected the ceiling surface causing the emergence of a crack across its length and thus, plenty of leaks. The study of the above-mentioned case attempts to specify the quantity of required reinforcement by comparing results obtained from various methods adopted for this purpose.

Keywords: concrete shrinkage, cracks