

# DIAGNOZA POWSTANIA ZARYSOWAŃ

**prof. Piotr Noakowski**  
**Grzegorz Zientalski**  
 Exponent Industrial Structures  
 www.exponent.de

W trakcie prac modernizacyjnych hali, prowadzonych na potrzeby fabryki mebli Polinova w listopadzie 2014 roku, na istniejących stropach ze sprężonych płyt kanałowych wylano posadzki betonowe o łącznej powierzchni ok. 10000 m<sup>2</sup>. Kilka miesięcy później na betonowej powierzchni pojawiły się zarysowania, które w ocenie właściciela zepsuły estetykę posadzek oraz ograniczały możliwość ich użytkowania i bieżącej pielęgnacji.

Ustalenie przyczyn/genezy powstania tych zarysowań oraz ocena zagrożeń wynikających z tego zjawiska zlecone zostały ekspertom firmy Exponent Industrial Structures, pod kierunkiem profesora Piotra Noakowskiego.

Posadzka wykonana została w postaci nadbetonu o grubości od 7 do 15 cm wylanego bezpośrednio (bez rozdzielającej warstwy folii) na istniejącym stropie o konstrukcji sprężonych płyt kanałowych. Zastosowane zostało zbrojenie dolne: db/s = 6 mm/150 mm. Po wstępnym stwardnieniu betonu nacięto w polach 6 x 5 metrów kilkucentymetrowej głębokości fugi wymuszające miejsca zarysowań.

Parametry użytego betonu:

Klasa betonu	C25/30
Współczynnik	w/c = 0.48
Zawartość pyłów	(C + P) = 350 kg/m <sup>3</sup>
Moduł sprężystości	E <sub>c</sub> = 35000 MN/m <sup>2</sup>
Efektywna wytrzymałość	f <sub>c</sub> = 40 MN/m <sup>2</sup>

## Ocena stanu technicznego posadzki

Dla realizacji powyższego przygotowano szesć stacji pomiarowych w wybranych, najbardziej zarysowanych polach. Podstawowe cele/założenia przeprowadzonej w lipcu 2015 r. inspekcji obiektu:

- zapoznanie się z konstrukcją i wykonaniem posadzki;
- analiza morfologii rys w odniesieniu do prawidłowości ich występowania i przebiegu;
- pomiary szerokości rozwarcia rys oraz ocena ich wyglądu z użyciem lupy o 40-krotnym powiększeniu;
- dokumentacja fotograficzna, w tym pomiarów wykonanych lupą (powiększenia);
- sprawdzenie zgodności z dokumentacją i poprawności ułożenia zbrojenia dolnego za pomocą Radiodetektora Hilti PS 1000.

## Wyniki przeprowadzonej inspekcji

W badanych polach większość rys przebiegała ortogonalnie do krawędzi nacięć posadzek. Zauważono, że część „starych” rys naprawiana mleczkiem/zacznym cementowym uległa dalszemu rozwarciu, a niezależnie od tego procesu powstały nowe drobne zarysowania. Przyrost rozwarcia rys dochodził do niepokojących 40% ich pierwotnej szerokości, co świadczyło o postępującym procesie skurczu posadzki. Badania radiolokacyjne zbrojenia potwierdziły poprawność jego ułożenia i zgodność zastosowanych przekrojów z dokumentacją techniczną.

Rozpoznany niekorzystny duży skurcz posadzki przypisać należy następującym parametrom:

- użyciu szybko twardniejącego cementu do produkcji mieszanki betonowej,
- wysokiemu współczynnikowi w/c = 0,50,
- dużej zawartości pyłów w mieszance: C + P = 350 kg/m<sup>3</sup> > 330 kg/m<sup>3</sup>.

Wstępnie skurcz ten doprowadził do „skrócenia” posadzki, a następnie do jej „uniesienia”. Konsekwencją tego było pojawienie się sił podłużnych N jako sumy reakcji stycznych oraz momentów zginających M(p) z mimośrodowo reakcji pionowych. W konsekwencji powstały naprężenia rozciągające (M, N) na górnej krawędzi posadzki!

Dla potwierdzenia tych zjawisk przyjęto statyczny model obliczeniowy w postaci rusztu składającego się z prętów o szerokościach 0,375 m lub 0,313 m, w wyniku czego uzyskano 81 węzłów obliczeniowych (rys. 2.). Dodatkowo założono wartości sztywności/oporu podłoża w odniesieniu do przesuwu i uniesienia w wysokości 500 kN/m<sup>3</sup>. Wyniki obliczeń obrazują wykresy 1. i 2.

Wskazują one na znaczny przyrost momentów gnących M wraz z rosnącą grubością posadzki, przy jednoczesnym spadku wielkości sił podłuż-

nych N. Potwierdza to wysoką skłonność do zarysowania „fct” w obszarze małych grubości posadzki „h” i odwrotnie: najmniejsze zarysowania w miejscach, gdzie posadzka jest najgrubsza.

Mechanizm zarysowania posadzki należy opisać w następujący sposób:

- stan początkowy, skurcz posadzki z tendencją do zmiany jej położenia (zawijania);
- przyrost skurczu betonu do 40% skutkuje reakcją podłoża w postaci sił pionowych oraz mimośrodowych momentów zginających („uniesienie” posadzki), a jednocześnie reakcją podłoża siłami stycznymi i powstaniem sił podłużnych jako sumy tych reakcji („skróć” posadzki);
- ostatecznie pojawienie się/powstanie naprężeń rozciągających na górnej krawędzi posadzki.

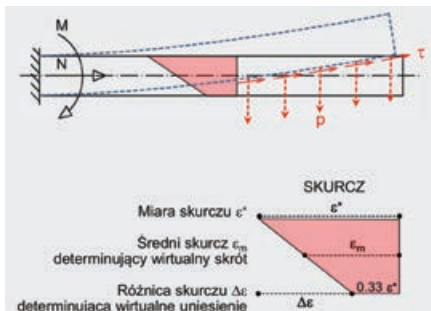
## Powody zarysowania

1. „Tlusta” mieszanka betonowa. Zastosowaną mieszankę betonową cechowało użycie szybkowiązających cementów, wysoki współczynnik w/c oraz duża zawartość pyłów. Cechy te ułatwiły wbudowanie betonu metodą pompowania, jednocześnie jednak powiększyły jego skurcz. Ponieważ ten ostatni wzbudza naprężenia rozciągające, spotęgowanie go zwiększyło skłonność posadzki do zarysowania.

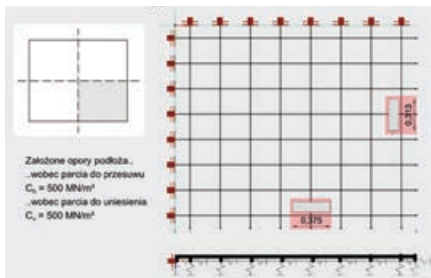
2. Brak folii oddzielającej posadzkę od podłoża. Wskutek bezpośredniego wylania betonu na sprężonym stropie nastąpiło zespolenie obu elementów konstrukcji. Wyeliminowało to możliwość pelzania posadzki, co przy postępującym procesie skurczu betonu doprowadziło do pojawienia się nie tylko momentów gnących, ale również sił podłużnych. Siły te (M i N) wzbudziły wysokie naprężenia rozciągające, które w wyniku przeszyciężenia wytrzymałości betonu na rozciąganie doprowadziły do zarysowania posadzki.

3. Stosunkowo cienki nadbeton. Naprężenie rozciągające w posadzkach wzrasta z ich malejącą grubością. W zastosowanym cienkim nadbetonie doszło do bardzo wyraźnego przekroczenia wytrzymałości betonu na rozciąganie. Tak więc i ta własność posadzki przyczyniła się do jej zarysowania.

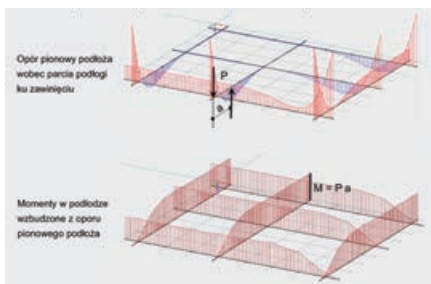
4. Brak zbrojenia górnego. Naprężenia w posadzkach są skutkiem momentów zginających, które wzbudzają rozciąganie na górnej niezbrojonej krawędzi nadbetonu. Naprężenia te razem z naprężeniami z sił podłużnych doprowadziły do powstawania rys na powierzchni posadzki. Brak zbrojenia „spinającego” brzozy tych rys był przyczyną ich dużego rozwarcia.



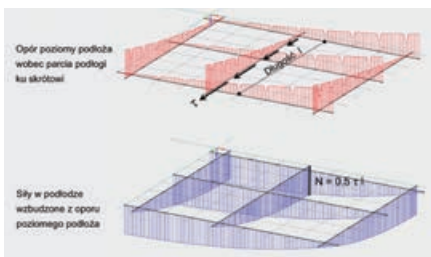
Rys. 1. Wartości oddziaływania skurczu betonu



Rys. 2. Model obliczeniowy posadzki



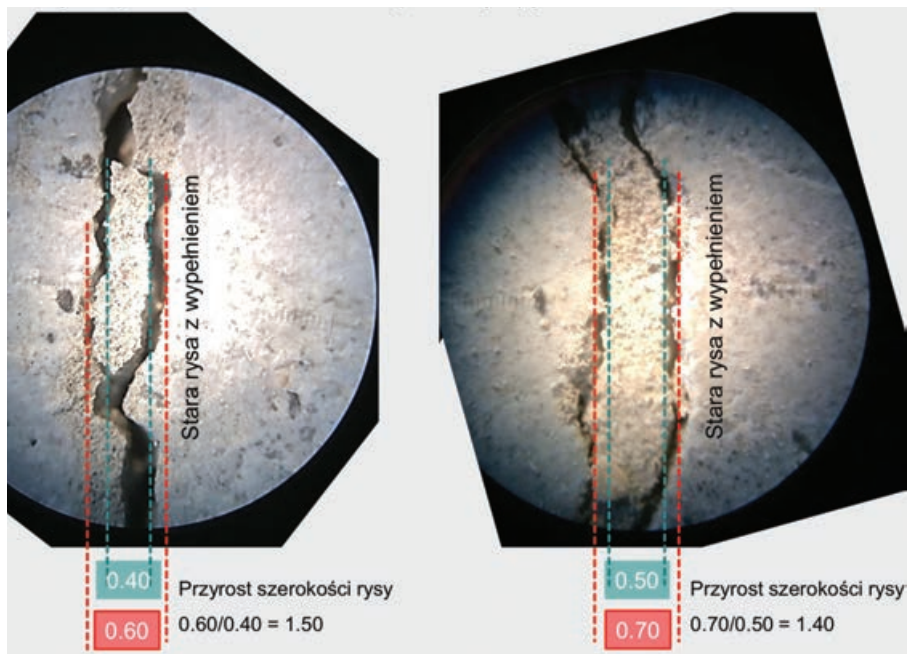
Wykres. 1. Opór i momenty w odniesieniu do parcia ku zawinięciu



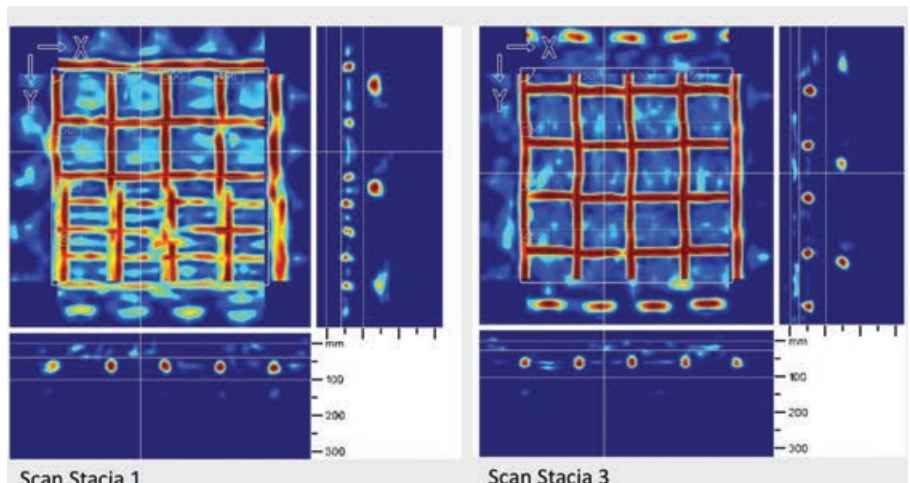
Wykres. 2. Opór i siły podłużne w odniesieniu do parcia ku skrótowi



Fot. 1. Do realizacji ekspertyzy przygotowano sześć stacji pomiarowych w wybranych, najbardziej zarysowanych polach



Fot. 2. Wyniki pomiarów szerokości za pomocą lupy



Fot. 3. Wyniki pomiarów zbrojenia za pomocą Radiodetektora Hiilti PS 1000