

NADMIERNE RYSY W POSADZCE PRZEMYSŁOWEJ – GENEZA I WAGA ZJAWISKA

PIOTR NOAKOWSKI, *e-mail: p.noakowski@exponent.de*
Exponent Düsseldorf, Uniwersytet Techniczny w Dortmundzie

Streszczenie: Artykuł omawia patologiczne zachowanie posadzki dużej hali przemysłowej. Awarię stanowiły liczne i szerokie rysy powstałe krótko po betonowaniu. Z powodu obaw, co do dalszego użytkowania właściciel obiektu zlecił autorowi ustalenie genezy i wagi tego zjawiska. Badanie posadzki jak i odpowiednie analizy wykazały, że powodem awarii był szereg błędów projektowych posadzki

Słowa kluczowe: konstrukcje przemysłowe, posadzki przemysłowe, siły wymuszone

1. Wprowadzenie

Odpowiednie wykonanie posadzek przemysłowych jest często spotykanym problemem w trakcie procesu budowlanego. W wielu przypadkach poza nieodpowiednio wykonstrowanymi dylatacjami pojawia się także problem doboru nieodpowiedniego betonu, niepoprawnie dobranego zbrojenia, zbyt małej grubości posadzki czy też niewłaściwej jej pielęgnacji. Projekt posadzki musi rozważać wiele czynników jako podłoże, na którym posadzka jest wykonywana, jej obciążenie czy też warunki jej użytkowania.

Problem niewłaściwego zaprojektowania lub wykonania szczególnie jest widoczny w dużych halach przemysłowych o znacznych obciążeniach. W prezentowanym referacie autor przedstawia wyniki ekspertyzy błędnie wykonanej posadzki w pewnej dużej hali przemysłowej, jednocześnie przedstawiając mechanizm powstania jej zarysowania.

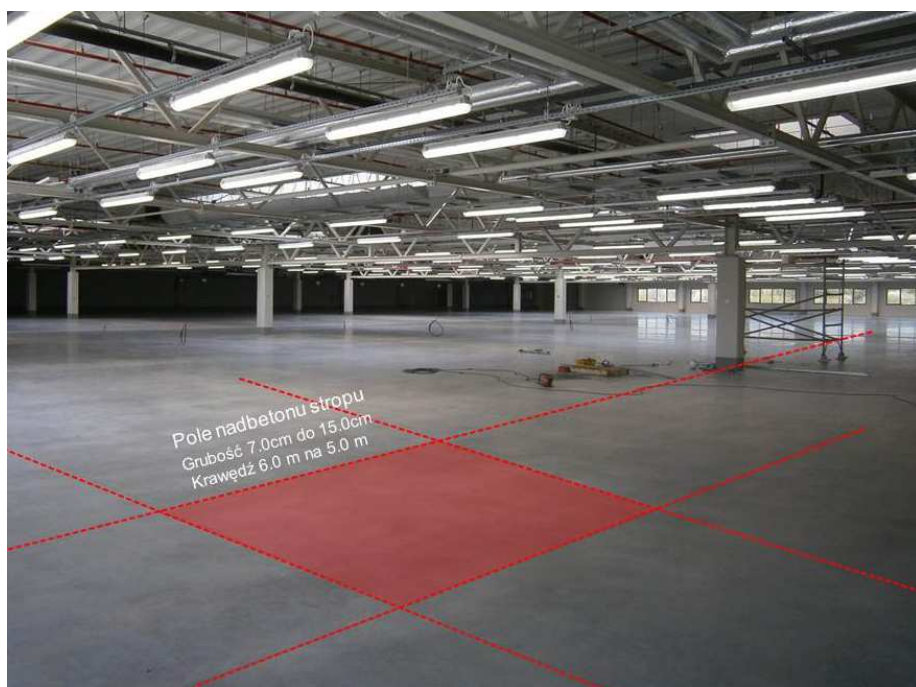


Rys. 1. Hala przemysłowa, której posadzka jest przedmiotem opracowania

2. Konstrukcje posadzki

W dużej hali przemysłowej (rys. 1) jej właściciel zauważył nadmierne rysy posadzki zakłócające estetykę i utrudniające pielęgnację posadzki. Ustalenie genezy i wagi tych rys zlecono autorowi artykułu. Posadzkę betonową o powierzchni 10 000 m² wylano na stropie ze sprężonych płyt kanałowych w listopadzie 2014 roku. Parę miesięcy później wystąpiły w poszczególnych polach dylatacyjnych posadzki nadmierne rysy zakłócające estetykę i utrudniające pielęgnację.

Posadzka była podzielona na pola dylatacyjne o wymiarach 6,0 na 5,0 m (rys. 2). Szczegółowe dane na temat nadbetonu posadzki przedstawiono w tablicy 1. Nadbeton był dostarczony na strop drogą pompowania.

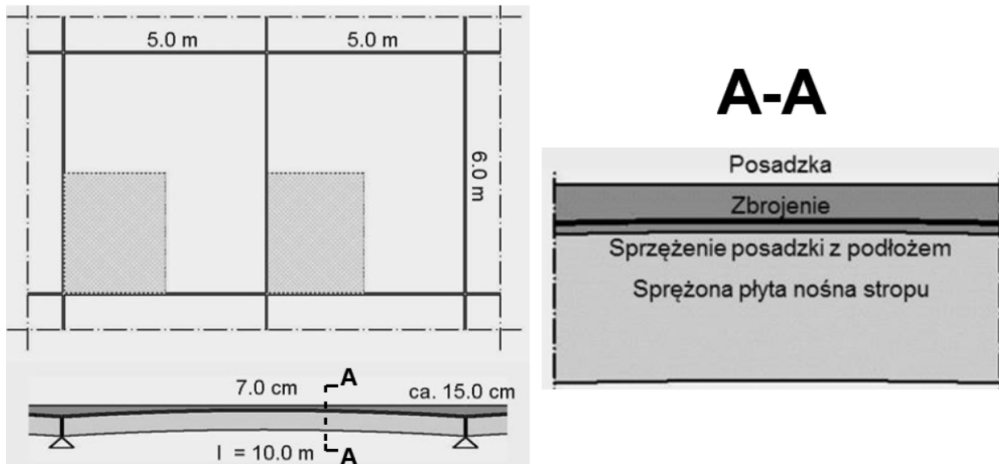


Rys. 2. Podział posadzki na pola dylatacyjne

Tablica 1. Szczegółowe dane dotyczące nadbetonu i posadzki

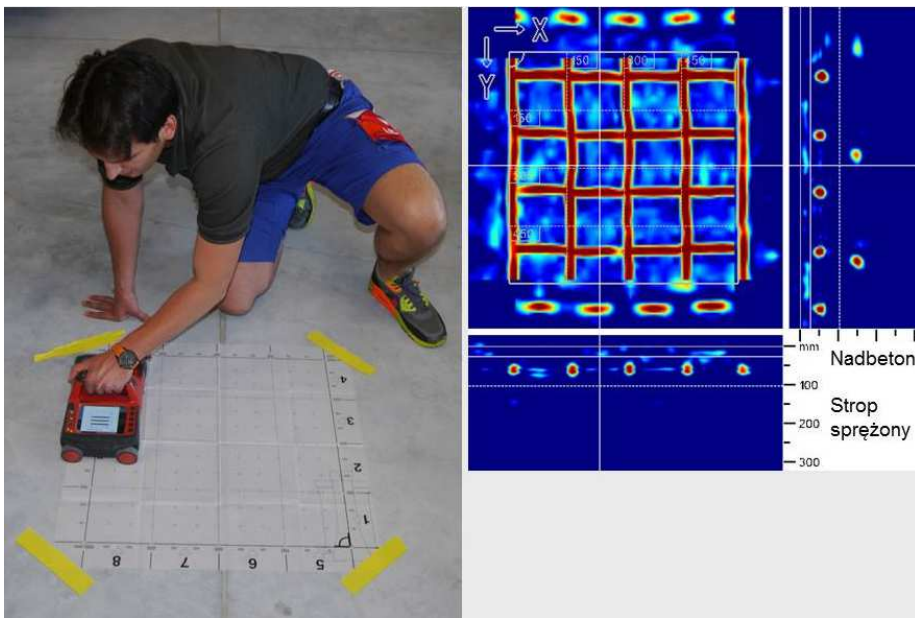
klasa betonu [-]	C25/30
w/c [-]	0,48
zawartość pyłów [kg/m ³]	350
moduł sprężystości E_c [GPa]	35
Efektywna wytrzymałość f_c [MPa]	40
grubość posadzki [cm]	od 7 do 15
zinventoryzowane zbrojenie dołem [mm] db – średnica; s – rozstaw	db/s = 6 mm/150 mm

W ramach ekspertyzy przeprowadzono szczegółowe oględziny obiektu i dokumentacji. Stwierdzono brak folii na styku nadbetonu z płytą. Grubość nadbetonu posadzki waha się w granicach 7 do 15 cm, powodem takiego stanu rzeczy jest uniesienie spowodowane sprężeniem stropu. W rozważanej sytuacji występuje także pełne sprężenie posadzki z podłożem (rys. 3).



Rys. 3. Schemat i przekrój przez posadzkę

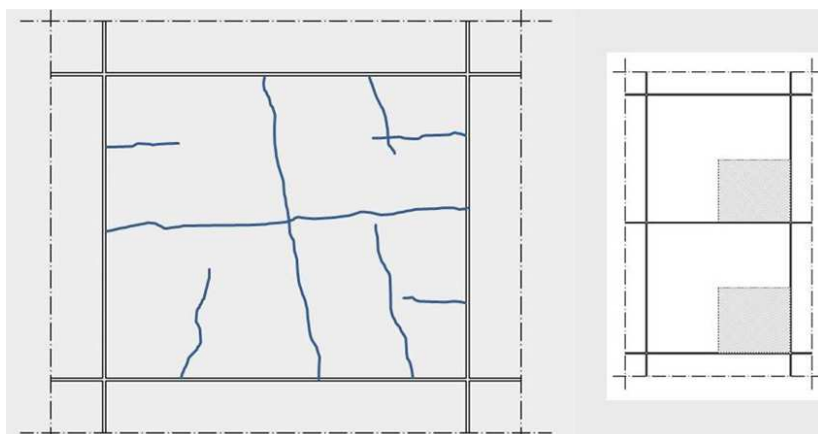
Podczas oględzin przeprowadzono także nieinwazyjne pomiary zbrojenia Radiodetekтором Hilti PS 1000, które potwierdziły, że w posadzce występuje tylko zbrojenie dolne, na które składają się pręty o średnicy 6 mm w rozstawie 150 mm (rys. 4).



Rys. 4. Rozmieszczenie zbrojenia w posadzce na podstawie nieinwazyjnego badania

3. Ocena stanu technicznego posadzki

W czasie inspekcji obiektu w ramach 6 stacji pomiarowych wykonano kilka czynności pomiarowych. Przebadano morfologię rys w odniesieniu do prawidłowości w ich występowaniu. Dokonano pomiaru anatomii rys względem ich wyglądu i szerokości za pomocą lupy o 40-krotnym powiększeniu. Dokumentację rys przedstawiono na rysunku 5.



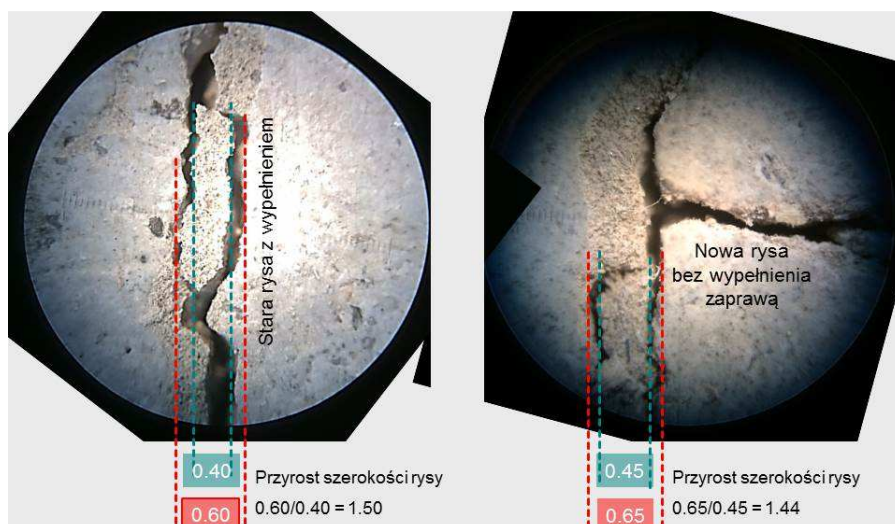
Rys. 5. Schemat przedstawiający rozmieszczenie rys w posadzce

Morfologię rys przedstawiono na rysunkach 6 i 7. Analizując powstałe rysy można stwierdzić, że są one zlokalizowane w okolicach krawędzi pól dylatacyjnych i mają ortogonalny przebieg, ogólnie ich liczba jest niewielka. Oględziny rys pozwalają na ich podział na stare rysy, które mają dużą szerokość, wyłamane krawędzie i są wypełnione zaprawą oraz nowe rysy o małej szerokości, ostrych krawędziach, bez wypełnienia zaprawą.



Rys. 6. Wygląd rys

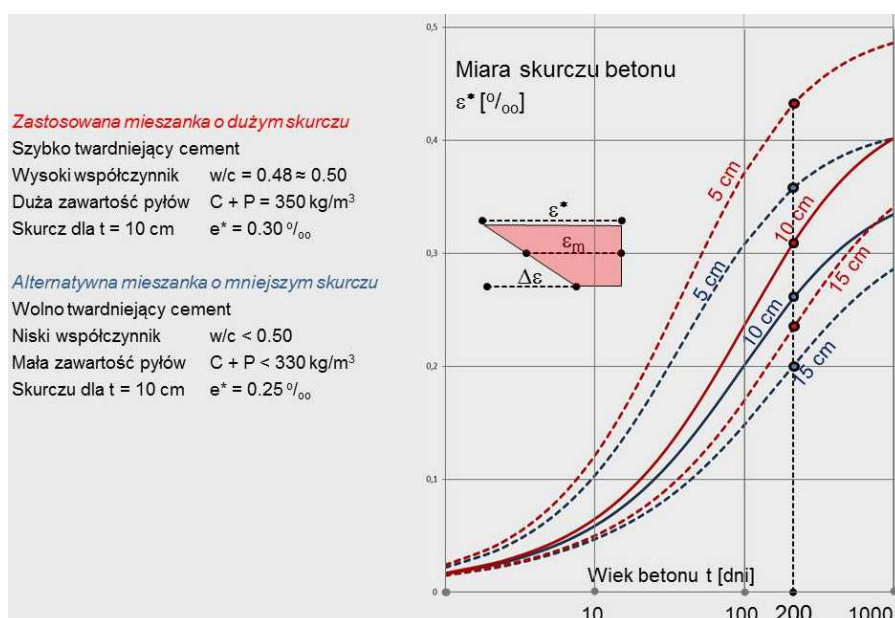
Na podstawie pomiarów rys wykonanych lupa o 40-krotnym powiększeniu stwierdzono, że: 1) początkowe szerokości rys do 0,50 mm rozpoznawalne po wypełnieniach mleczkiem cementowym; 2) aktualne szerokości rys do 0,70 mm. Bazując na pomiarach stwierdzono, że w starych rysach wystąpił przyrost szerokości o około 40% w stosunku do starych rys w wyniku rosnącego skurczu.



Rys. 7. Wygląd rys pod lupą

4. Analiza uszkodzeń w wyniku skurczu betonu

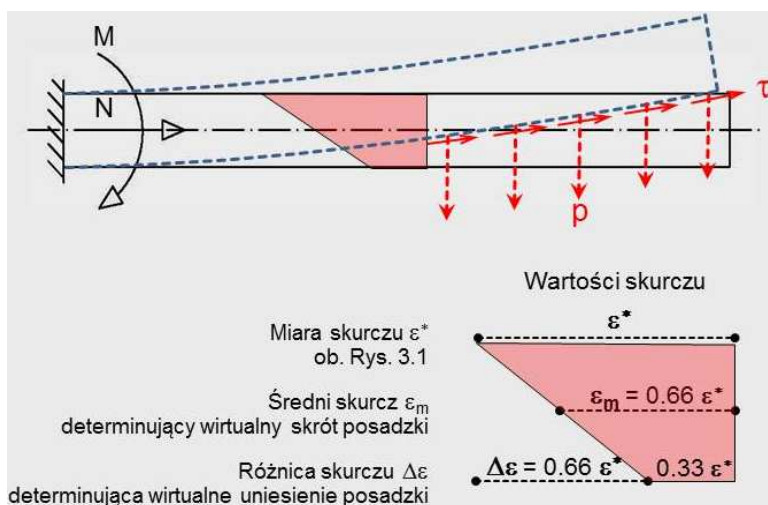
Zarysowanie, w rozważanym przypadku powstało i postępuje na skutek skurczu betonu. Zastosowana mieszanka betonowa do posadzki ma właściwości podane w tablicy 1. Dodatkowo w mieszance użyto cement szybko twardniejący. Dla takiej mieszanki skurcz betonu jest stosunkowo duży. Oszacowano na podstawie literatury [1-7], że wynosi on $\varepsilon^* = 0,30$ promila dla elementu o grubości $t = 10$ cm (rys. 8).



Rys. 8. Porównanie wartości skurczu dla zastosowanego i alternatywnego betonu

Rozważając, że można by było zastosować alternatywną mieszankę do tego typu posadzki (posiadającą niższy wskaźnik $w/c \leq 0,5$, mniejszą zawartość pyłów $(C + P) \leq 330 \text{ kg/m}^3$ oraz wykonaną na cemencie wolno twardniejącym to uzyskany skurcz elementu o grubości $t = 10 \text{ cm}$ wyniósłby $\varepsilon^* = 0,25$ promila. Analizując rozkład skurczu w przekroju posadzki (rys. 9) należy zwrócić uwagę że średni skurcz ε_m , determinuje wirtualny skrót posadzki. Na styku posadzki i stropu sprężonego występuje znaczne tarcie uniemożliwiające w pewnym stopniu przesuw posadzki co powoduje zmienny rozkład skurczu w przekroju posadzki. Różnica skurczu $\Delta\varepsilon$ determinuje zatem wirtualne uniesienie posadzki (rys. 9).

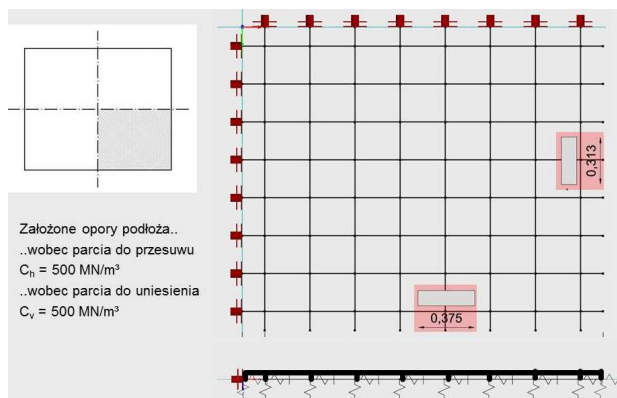
W posadzce są wzbudzone następujące siły wewnętrzne: moment zginający M w wyniku pionowych reakcji podłoża p na uniesienie φ oraz siła podłużna N w wyniku poziomych reakcji podłoża τ na przesunięcie δ .



Rys. 9. Wzbudzenie sił w posadzce w wyniku jej skurczu

5. Model obliczeniowy posadzki

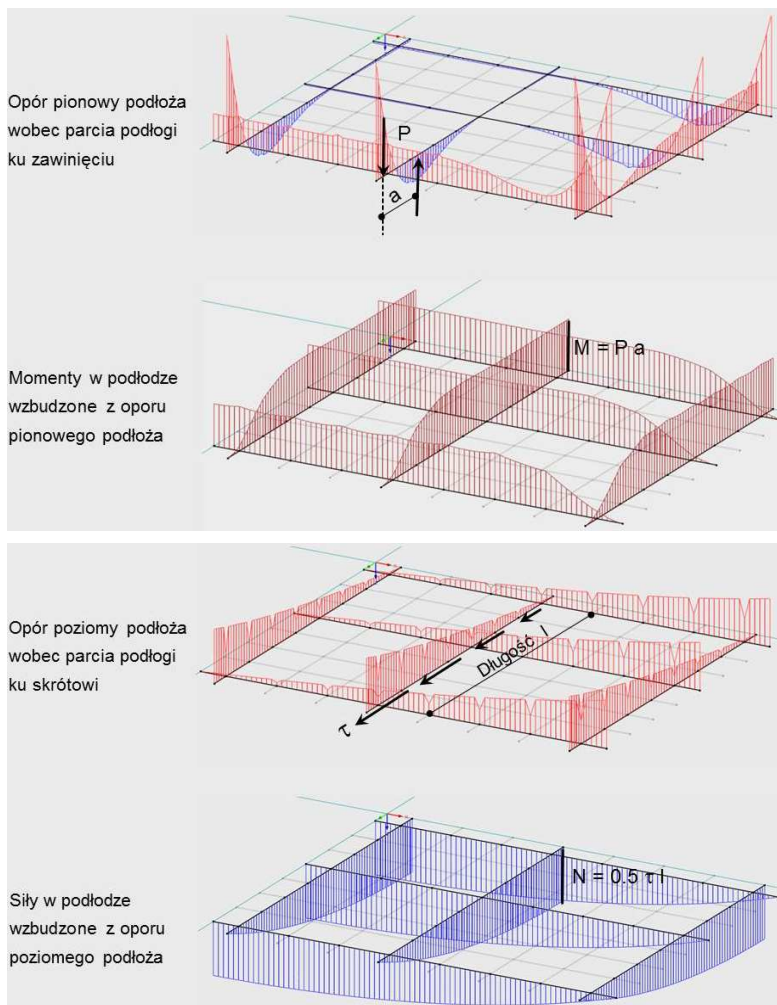
W celu przeprowadzenia szczegółowej analizy posadzki stworzono jej model obliczeniowy, przedstawiony na rys. 10.



Rys. 10. Model obliczeniowy posadzki

Zamodelowano $\frac{1}{4}$ pola dylatacyjnego, ze względu na symetryczną pracę posadzki. Posadzkę zamodelowano jako ruszt prętowy wykonany z 81 prętów o szerokości 0,375 lub 0,313 m. Ze względu na połączenie posadzki z stropem sprężonym i brak folii na styku posadzki i stropu założono znaczne opory na styku dwóch ośrodków. W przypadku parcia do przesuwu założono horyzontalny współczynnik oporu podłoża $C_h = 500 \text{ MN/m}^3$ oraz w przypadku parcia do uniesienia założono współczynnik oporu podłoża $C_v = 500 \text{ MN/m}^3$. W modelu oba współczynniki zostały zaimplementowane za pomocą podpór sprężystych o podatności poziomej C_h i pionowej C_v .

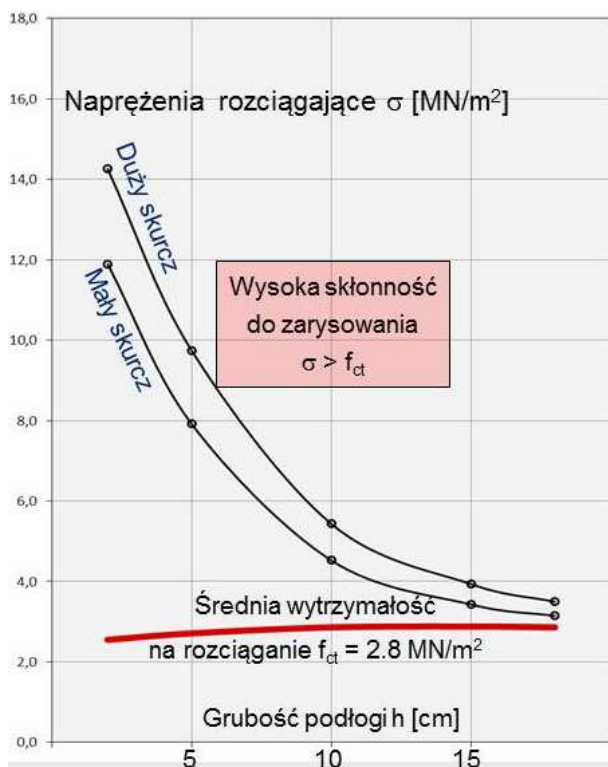
Wyniki obliczeń w postaci sił wewnętrznych przedstawiono na rysunku 11. Wykresy momentów zginających pokazują wystąpienie oporów pionowych podłoża wobec parcia podłogi ku jej zwinieniu co powoduje dodatkowy mimośród siły (rys. 11). Dodatkowo widać wzrost momentów zginających przy rosnącej grubości posadzki, co jest wynikiem zwiększenia jej sztywności w stosunku do fragmentów o mniejszej grubości



Rys. 11. Siły wewnętrzne otrzymane w modelu obliczeniowym: momenty zginające i siły podłużne

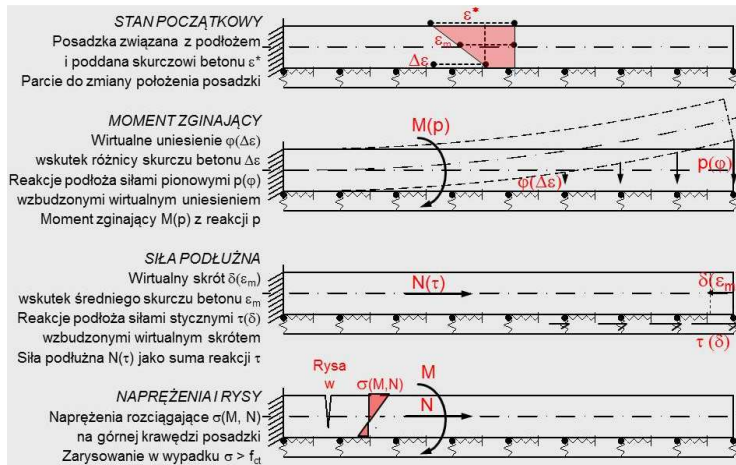
6. Mechanizm powstawania rys w posadzce

Słonność do zarysowania posadzki wynika z porównania naprężeń rozciągających występujących w betonie σ_t z wytrzymałością betonu na rozciąganie f_{ct} . W obszarze małych grubości posadzki (h), naprężenia rozciągające powstałe w betonie są znacznie większe niż jego wytrzymałość na rozciąganie ($\sigma_t \gg f_{ct}$) co skutkuje wysoką słonnością do zarysowań konstrukcji. Natomiast w obszarze dużych grubości posadzki (h), naprężenia są nieznacznie większe od wytrzymałości na rozciąganie betonu f_{ct} co skutkuje niską słonnością do zarysowania. Im większa grubość posadzki tym słonność do zarysowania mniejsza, (rys. 12).



Rys. 12. Wytężenie posadzki – naprężenia rozciągające

Mechanizm powstania zarysowania wynika z rozważenia wirtualnych przemieszczeń posadzki, (rys. 13). W stanie początkowym posadzka związana jest z podłożem i jest poddawana skurczowi betonu ε^* . Skurcz ma zmienne wartości w przekroju posadzki. Następuje parcie aż do zmiany położenia posadzki. Następnie skutek różnicy skurczu betonu $\Delta\varepsilon$ następuje wirtualne uniesienie $\varphi(\Delta\varepsilon)$. Dodatkowo ciągle działają reakcje $p(\varphi)$ związane z oporem wertykalnym podłoża. Wskutek powstałego uniesienia $\varphi(\Delta\varepsilon)$ powstaje moment zginający $M(p)$. Następnie powstaje wirtualny skrót podłużny posadzki $\delta(\varepsilon_m)$, który jest spowodowany średnim skurczem betonu ε_m . W kontekście wystąpienia przemieszczenia podłużnego na dolnej krawędzi posadzki powstaje reakcja podłoża w postaci sił tarcia $\tau(\delta)$. Wynikiem takiej sytuacji jest siła podłużna w posadzce $N(\tau)$, która jest sumą reakcji sił tarcia $\tau(\delta)$. W wyniku działających w tym układzie sił wewnętrznych w postaci momentu zginającego $M(p)$ oraz siły normalnej $N(\tau)$ występują naprężenia $\sigma(M, N)$, które na górnej krawędzi posadzki rozciągają przekrój. W zaistniałej sytuacji jeśli $\sigma(M, N) > f_{ct}$ to wystąpi zarysowanie.



Rys. 13. Wyteżenie posadzki – mechanizm zarysowania

7. Podsumowanie

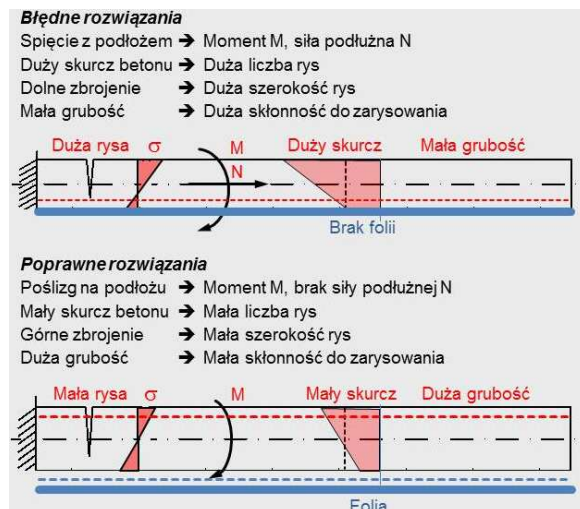
Badania dowodzą, że powody powstania nadmiernych rys są spowodowane kilkoma czynnikami:

- 1) Zbyt „tłusty” beton zastosowany na posadzkę (rys. 13). Mieszanka betonowa z której wykonana była posadzka zawierała szybko twardniejący cement, wysoki współczynnik w/c oraz duża zawartość pyłów. Taki skład ułatwił transport betonu metodą pompowania, ale powiększył znacznie jego skurcz. Znaczny skurcz spowodowany składem mieszanki wzbudził naprężenia rozciągające, co zwiększyło skłonność posadzki do zarysowania.
- 2) Brak folii oddzielającej posadzkę od podłoża. Wskutek bezpośredniego wylania betonu na podłoże doszło do sprężenia posadzki z stropem z płyt sprężonych. W związku z niemożliwością poślizgu kurczącego się nadbetonu powstały w nim nie tylko momenty zginające ale również siły podłużne. Obydwie siły wzbudziły wysokie naprężenia rozciągające, które w wyniku przewyciężenia wytrzymałość betonu na rozciąganie doprowadziły do nadmiernego zarysowania posadzki.
- 3) Stosunkowo cienki nadbeton. Naprężenia rozciągające w posadzkach wzrastają wraz z ich malejącą grubością. W zastosowanym cienkim nadbetonie doszło do bardzo wyraźnego przekroczenia wytrzymałości betonu na rozciąganie. Ta własność posadzki także przyczyniła się do jej nadmiernego zarysowania.
- 4) Brak zbrojenia górnego. Naprężenia w posadzkach są skutkiem momentów zginających, które powodują rozciąganie na górnej niezbrojonej krawędzi nadbetonu. Naprężenia te razem z naprężeniami powstałymi z sił podłużnych doprowadziły do powstawania nadmiernych rys na powierzchni posadzki. Powodem powstania rys o dużej szerokości jest brak zbrojenia „spinającego” ich brzegi. W przypadku zastosowania zbrojenia górnego w posadzce szerokości rys mogłyby być znacznie mniejsze.

Przyczyny powstania nadmiernego zarysowania posadzki oraz rozwiązania je redukujące przedstawiono na rys. 14.

Podsumowując można stwierdzić, że nadmierne zarysowanie analizowanej posadzki powstało z powodu niepoprawnie dobranych parametrów technologiczno-konstrukcyjnych. Dobrano nieodpowiednią mieszankę betonową, nie zastosowano folii oddzielającej posadzkę od podłoża, nie przewidziano także zbrojenia górnego w posadzce. Uniesienie powstałe

w wyniku sprężenia płyt stropowych spowodowało zmniejszenie grubości posadzki, co było kolejną przyczyną powstania rys.



Rys. 14. Przyczyny powstania rys i rozwiązania je redukujące

Dodatkowo aktualny stan zarysowania posadzki będzie ulegał powolnemu pogorszeniu. Postępujący skurcz betonu spowoduje wzrost szerokości istniejących rys oraz powstanie nowych rys. Istniejące rysy będą ulegały „starzeniu się” w formie wyłomów na brzegach spowodowanych użytkowaniem posadzki.

Literatura

1. Grube, H.: Ursachen des Schwinden von Beton, Schriftenreihe der Zementindustrie, Heft 52/1991.
2. Lohmaier, G., Ebeling, K.: Betonböden für Produktionshallen, Verlag Bau+Technik, Düsseldorf 2012.
3. Müller, H., Reinhardt, H-W.: Beton, BetonKalernder, Ernst und Sohn, Berlin 2009.
4. Noakowski, P., Schäfer, H.: Steifigkeitsorientierte Statik im Stahlbetonbau, Buch 232 Seiten, Ernst und Sohn, Berlin 2003.
5. Noakowski, P.: Budownictwo przemysłowe w różnych krajach świata., IV Konferencja Naukowo-Techniczna Budownictwo w Energetyce, Turów, maj 2004.
6. Noakowski, P.: Ocena stanu budowli przemysłowych. Księga konferencyjna jubileuszu Wydziału Inżynierii Lądowej PW, grudzień 2005.
7. Noakowski, P.: Ocena stanu technicznego wybranych budowli przemysłowych. V Konferencja Naukowo-Techniczna Budownictwo w Energetyce, Złotniki Lubąńskie, 2006.

EXCESSIVE CRACKS IN AN INDUSTRIAL FLOOR – GENESIS AND RELEVANCE OF THE PHENOMENON

Abstract: Pathological behavior of a floor in a large industrial hall is presented in this paper. The failure was determined by numerous and wide cracks which formed shortly after the concreting. Due to the fear regarding the further operation the owner commissioned the clarification of the genesis and relevance of the case to the author. Appropriate investigations and analyses have proved that several mistakes in the floor design were responsible for the poor performance of the floor.

Keywords: industrial structures, industrial floor, imposed force