



Fot. 1. Obciążenia posadzki w obiekcie

- wypełnienie dylatacji po ok. 30 dniach od rozłożenia posadzki;
- dodatkowe dozbrojenie płyty posadzki za pomocą prętów żebrowanych (wokół słupów) i siatką $\phi 6$ o oczkach 150×150 mm ze stali A-III-N o szerokości 1,5 m, umieszczoną na głębokości ok. 6 cm od wierzchu płyty (przy bramach wjazdowych);
- zabezpieczenie np. kątownikiem stalowym o wymiarach $50 \times 50 \times 5$ mm, z wąsami krawędzi posadzki w przejściach przez bramy, drzwi itp.;
- oddzielenie płyty posadzki od słupów, podwalin, ścian, fundamentów itp. pasem pianki polietylenowej o wysokości 250 mm (pianka grubości 8 mm) w celu umożliwienia swobodnych ruchów posadzki

we wszystkich możliwych kierunkach bez ryzyka zniszczenia konstrukcji.

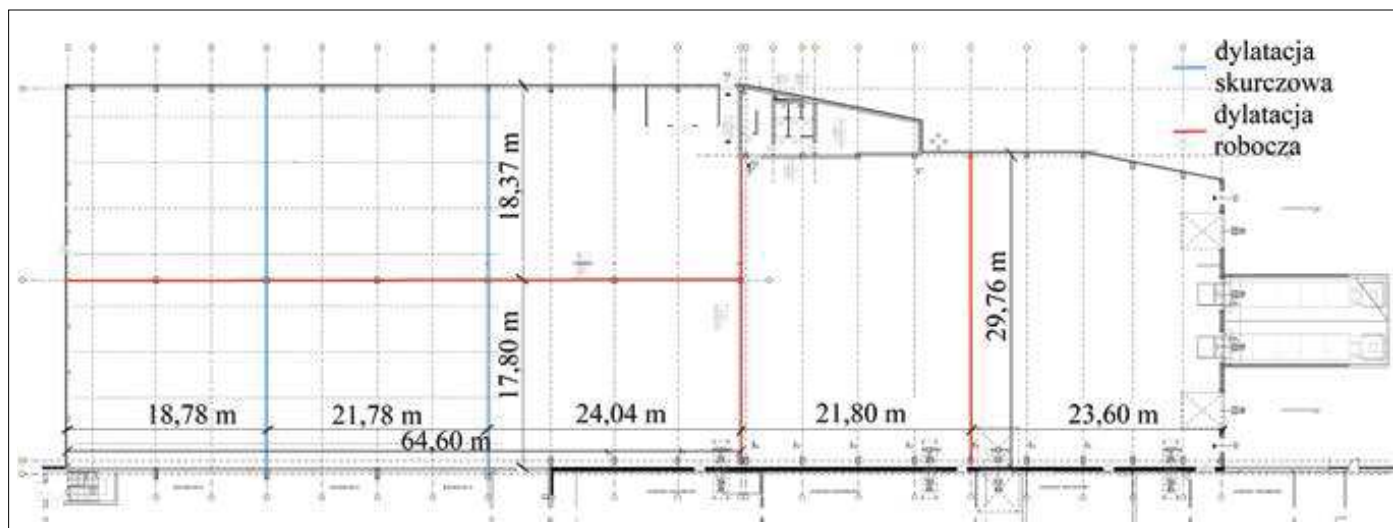
USZKODZENIA POSADZKI

W trakcie oględzin stwierdzono, że posadzka jest narażona na obciążenia, które pochodzą od regałów (w tym wysokiego składowania, sterowanych indukcyjnie), przedmiotów i towarów przechowywanych na jej powierzchni, a także od ruchu wózków transportowych (fot. 1). Ustalono ponadto, że została ona zrealizowana z podziałem na cztery pola robocze o następujących wymiarach:

- pole nr 1 – $17,80 \times 64,60$ m (podzielone dylatacjami skurczowymi na mniejsze o wymiarach: $17,80 \times 18,78$ m, $17,80 \times 21,78$ m, $17,80 \times 24,04$ m),

- pole nr 2 – $18,37 \times 64,60$ m (podzielone dylatacjami skurczowymi na mniejsze o wymiarach: $18,37 \times 18,78$ m, $18,37 \times 21,78$ m, $18,37 \times 24,04$ m),
- pole nr 3 – $21,80 \times 29,76$ m,
- pole nr 4 – $23,60 \times 29,76$ m.

Na rzucie posadzki (rys. 2) uwidocznił się przebieg dylatacji roboczych i skurczowych. Między poszczególnymi polami roboczymi wykonano dylatacje robocze o konstrukcji przedstawionej na rys. 1. Analogiczne dylatacje zrealizowano w ok. 1/3 i ok. 2/3 długości pól roboczych nr 1 i 2, przy czym dodatkowo nacięto je piłą diamentową, aby uzyskać szczeliny skurczowe. W części posadzki, na której umieszczono regały wysokiego składowania, wykonano nacięcia pod sterowanie indukcyjne. Płytę posadzki oddzielono od słupów i ścian pasami pianki polietylenowej o grubości ok. 20 mm (fot. 2). Pomimo stosunkowo krótkiego okresu eksploatacji posadzki na jej powierzchni pojawiły się liczne zarysowania. Zaobserwowano je m.in. w pobliżu naroży słupów (fot. 3), przy dylatacjach roboczych (fot. 4), a także w głównych traktach jezdnych hali. Zarysowanie w głównym trakcie jezdnym hali znajdującym się w pobliżu doków załadunkowych przebiega od słupów (szerokość rys $1,0\text{--}1,4$ mm) w kierunku zbliżonym do równoległego do osi poprzecznych hali, przechodząc w centralnej części posadzki w zarysowanie o nieregularnym przebiegu i losowym kierunku (fot. 5, szerokość rys $1,4\text{--}1,8$ mm).



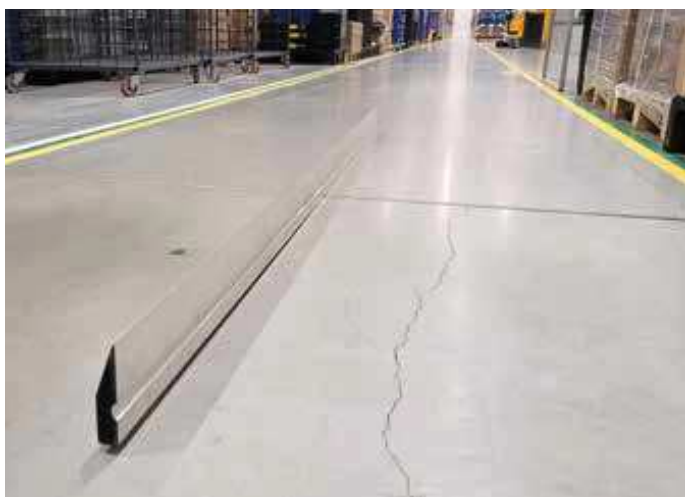
Rys. 2. Rozmieszczenie dylatacji posadzki



Fot. 2. Grubość pianki polietylenowej przy jednym ze słupów hali



Fot. 3. Zarysowanie posadzki przy jednym ze słupów hali



Fot. 4. Zarysowanie posadzki w pobliżu dylatacji



Fot. 5. Zarysowanie posadzki w głównym trakcie jezdnym (1,8 mm)



Fot. 6. Poszerzenie rysy w głównym trakcie jezdnym (1,6 mm)



Fot. 7. Zarysowanie posadzki w trakcie między regałami wysokiego składowania (1,4 mm)

Podczas oględzin posadzki stwierdzono ślady przeprowadzonej naprawy zarysowania, które znajdowało się w wy-

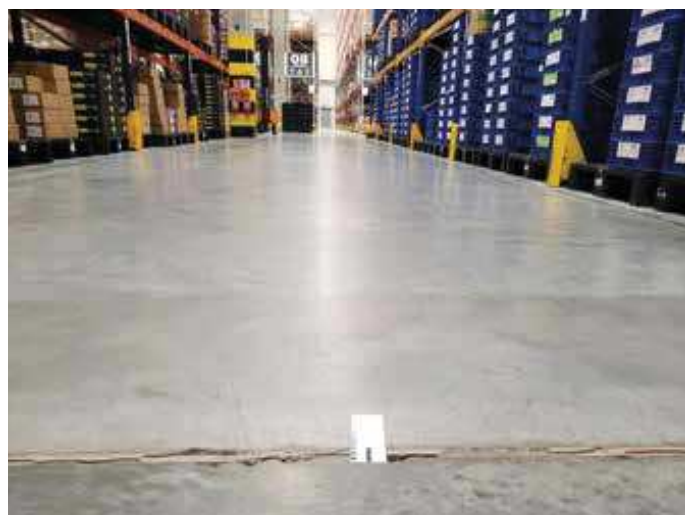
żej opisanym trakcie jezdnym (fot. 6). Polegała ona na wypełnieniu rysy materiałem żywicznym. Rozwarcie rysy

w miejscu objętym naprawą zwiększyło się od dokonania naprawy o ok. 1,6 mm. Stwierdzono także zarysowania w innych

Fot. autora



Fot. 8. Wykruszanie krawędzi rys



Fot. 9. Przykład uszkodzeń dylatacji roboczej



Fot. 10. Szerokość rozwarcia dylatacji roboczej



Fot. 11. Szerokość rozwarcia dylatacji skurczowej

traktach jezdnych hali, tj. na jej środku (szerokość rys 1,4 mm), przy podłużnej ścianie zewnętrznej (szerokość rys 1,8 mm), a także w traktach jezdnych między regałami wysokiego składowania (fot. 7, szerokość rys 0,9–1,4 mm). Większość zarysowań przebiega równolegle do dylatacji (roboczych, skurczowych) poszczególnych pól roboczych posadzki. Krawędzie rys, zwłaszcza tych o największej szerokości rozwarcia, mają tendencję do wykruszania się pod wpływem eksploatacji posadzki (fot. 8, szerokość rysy 1,4 mm). W niektórych przypadkach główne rysy przechodzą płynnie w nieco mniejsze zarysowania przypominające pajęczą sieć lub w układ rys o nieregularnym kształcie. W trakcie oględzin

ustalono, że najintensywniej eksploatowane dylatacje robocze mają zniszczenia w postaci przetrąceń i wykruszeń betonu przy krawędziach, a także są zanieczyszczone i częściowo pozbawione wypełnienia (fot. 9). Stwierdzono ponadto, że masy dylatacyjne wypełniające dylatacje są spękane lub częściowo odspojone zarówno w przypadku dylatacji roboczych, jak i skurczowych. Przy czym pomierzona szerokość szczelin powstałych na skutek pęknięcia lub odspojenia mas jest większa w przypadku dylatacji roboczych (fot. 10, szerokość szczelin 4,5–5,0 mm) niż dylatacji skurczowych (fot. 11, szerokość szczelin 1,2–1,8 mm). Zauważono również uszkodzenia w postaci podniesienia krawędzi dylatacji roboczych o ok. 10 mm.

BADANIA TERENOWE I LABORATORYJNE

W posadzce – w tym również w jej zarysowanych miejscach – wykonano odwierty badawcze. Z każdego punktu badawczego wydobyto dwie warstwy folii o kształcie odpowiadającym podstawie pobranych próbek walcowych. Fragmenty folii znajdowały się między dolnymi podstawami rdzeni pobranych z płyty posadzki a górnymi podstawami rdzeni pobranych z warstwy podłoża betonowego (fot. 12). Dzięki temu ustalono, że pod posadzką wykonano warstwę izolacyjno-ślizgową z dwóch warstw folii PE o grubości 0,2 mm. Rdzenie pobrane z zarysowanych miejsc posłużyły z kolei do ustalenia zasięgu rys w głębi płyty posadzki (tab. 1, fot. 13).


Fot. 12. Fragment folii i próbki rdzeniowe pobrane z wybranego punktu badawczego

Fot. 13. Próbką rdzeniową pobraną z zarysowanego miejsca

Zasięg rys (ok. 3/4 wysokości rdzeni pobranych z posadzki) uniemożliwił przygotowanie próbek z zarysowanych miejsc posadzki do badań laboratoryjnych. Próbkę rdzeniową pobraną z niezarysowanych miejsc posadzki poddano badaniom laboratoryjnym polegającym na ustaleniu wytrzymałości na ściskanie i zawartości zbrojenia rozproszonego. Na podstawie wysokości pobranych rdzeni ustalono, że średnia grubość płyty posadzki wynosi 249,8 mm (245,0–255,0 mm). Pobrano również próbki rdzeniowe z warstwy podkładu z chudego betonu, które wykorzystano do ustalenia jej średniej grubości oraz oznaczenia wytrzymałości na ściskanie w laboratorium. Średnia grubość warstwy chudego betonu wynosi 101,0 mm (89,0–117,0 mm). Wyniki przeprowa-

dzonych badań laboratoryjnych przedstawiono w tab. 2.

W otworach badawczych, z których pobrano odwierty rdzeniowe, za wyjątkiem otworu, w którym natrafiono na przeszkodę, wykonano sondą dynamiczną lekką badania stopnia zagęszczenia. Warstwa kruszywa znajdująca się bezpośrednio pod podbudową z chudego betonu tylko w jednym punkcie miała stopień zagęszczenia $I_D = 0,55$, który jest mniejszy niż graniczny zalecany dla podbudowy pod posadzkę z piasku kopalnianego/pospółki, a równy $I_D = 0,665$ [1]. W żadnym z przebadanych punktów pomiarowych nie stwierdzono warstwy o stopniu zagęszczenia mniejszym niż $I_D = 0,399$, czyli granicznym dla podłoża piaszczystego pod posadzkę. Uzyskane

wyniki badań terenowych zarówno podbudowy, jak i podłoża pod posadzkę potwierdziły, że spełniają one wymagania zawarte w literaturze technicznej, związane z minimalną wartością stopnia zagęszczenia.

PRZYCZYNY USZKODZEŃ POSADZKI

Nie stwierdzono, aby zarysowania powstały pod wpływem przekroczenia przez płytę betonową posadzki naprężeń granicznych pojawiających się na skutek obciążeń eksploatacyjnych (regałami, składowanymi towarami i przedmiotami oraz wózkami transportowymi). Świadczy o tym również fakt, że posadzka uległa zarysowaniu także w miejscach, w których jest ona narażona głównie na ruch pieszcy. Za bezpośrednie przyczyny powstania zarysowań uznano więc dwa powiązane ze sobą czynniki: zbyt duży rozstaw szczelin dylatacyjnych i narastające w czasie odkształcenia skurczowe. Gdyby szczeliny dylatacyjne zostały wykonane bliżej siebie, zarysowania posadzki najprawdopodobniej by się nie pojawiły. Za bezpośrednią przyczynę ich powstania uznano zjawisko skurczu betonu. Przyjmuje się, że w halach, w których wahania temperatury są mniejsze niż na zewnątrz, nacięcia dylatacyjne (szczeliny pozorne) mogą być wykonywane w rozstawie wynoszącym 35 grubości płyty ($35 \times h$), przy czym stosunek boków dylatowanego pola zbliżonego do kwadratu nie powinien być większy

Tab. 1. Charakterystyka odwiertów wykonanych w miejscach z zarysowaniami

Próbka	Wysokość rdzenia [mm]	Szerokość rysy [mm]	Głębokość rysy [mm]
1	250	1,4	180
2	255	2,0	185

Tab. 2. Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych

Właściwość	Wartość zakładana	Wyniki badań (min., średnia, maks.)
Wytrzymałość na ściskanie – chudy beton [MPa]	10,0	21,4, 21,7 , 22,0
Wytrzymałość na ściskanie – posadzka [MPa]	30,0	34,8, 36,2 , 38,1
Zawartość zbrojenia rozproszonego [kg/m ³]	4,0	3,1, 3,7 , 4,3

niż 1,5 [2]. Uwzględniając te wytyczne, należy stwierdzić, że w opisywanej hali magazynowej nacięcia dylatacyjne powinny być wykonane w rozstawie nie większym niż $35 \times h = 35 \times 0,25 \text{ m} = 8,75 \text{ m}$. Regularny układ zarysowań posadzki, zwłaszcza w traktach jezdnych, świadczy o tym, że poszczególne pola dylatacyjne – zarysowując się samoistnie – podzieliły się na mniejsze pod wpływem zachodzącego w czasie skurczu betonu. Zjawisko to obserwujemy w każdej betonowej posadzce przemysłowej – począwszy od momentu jej wykonania do aż ok. 3 lat – które osiąga odpowiednio [4]:

- po miesiącu – 50% wartości maksymalnej,
- po 3 miesiącach – 65% wartości maksymalnej,
- po 6 miesiącach – 75% wartości maksymalnej,
- po roku – 90% wartości maksymalnej,
- po 3 latach – 100% wartości maksymalnej.

SPECYFIKA SKURCZU BETONU

Skurczu w posadzkach nie da się całkowicie powstrzymać bez stosowania specjalnych technologii, takich jak sprężanie konstrukcji. Zjawisku temu można jedynie przeciwdziałać m.in. przez dobór odpowiedniego zbrojenia i składu betonu, właściwe rozplanowanie dylatacji oraz dostosowaną do warunków wykonania pielęgnację betonu. W opisywanym przypadku zbyt duży rozstaw dylatacji spowodował, że płyta posadzki została dociążona swoim ciężarem własnym (sporym z powodu znacznej grubości posadzki oraz wymiarów pojedynczego pola dylatacyjnego) i miała utrudniony przesuw po podbudowie z chudego betonu. Stało się to przyczyną powstania w płycie naprężeń, które przekroczyły wytrzymałość na rozciąganie betonu użytego do wykonania posadzki i sprawiły, że pojawiły się zarysowania. Niepokojącym zjawiskiem zachodzącym w zarysowaniach posadzki jest wykruszanie krawędzi rys oraz postępująca w tych miejscach degradacja jej wierzchniej warstwy pod wpływem

eksploatacji obiektu. Zbyt długie zwlekanie z naprawą uszkodzonych miejsc może spowodować, że ubytki warstwy wierzchniej posadzki pojawią się na coraz większym obszarze i że straci ona równość. To z kolei może być przyczyną pogorszenia komfortu przejazdu używanych w obiekcie środków transportu (niszczenia ogumienia oraz zawieszenia, wydłużenia drogi hamowania itp.). Może także wymuszać zachowanie szczególnej ostrożności przez pieszych użytkowników hali (z powodu ryzyka poślizgnięcia się lub potknięcia na odpajającej się warstwie wierzchniej posadzki).

Należy wskazać, że drobna rysa pozwalająca na dobre zazębienie sąsiednich fragmentów płyt posadzki jest dużo mniej szkodliwa niż źle wykonana dylatacja. Nieciągłości płyty posadzki w miejscach powstałych zarysowań spełniają podobną rolę jak nacięcia dylatacyjne, które wykonuje się, by utworzyć karby mające wywołać kontrolowane, niewidoczne na powierzchni pęknięcia płyty betonowej poniżej wykonanego nacięcia. W miejscach nacięć posadzki obciążenia poziome pomiędzy sąsiednimi płytami przekazywane są przez zazębienia powstałe w miejscu nieregularnej rysy, której rzut na pionową płaszczyznę wynosi od ok. 2/3 do 3/4 grubości posadzki. Można więc zaryzykować stwierdzenie, że nawet prawidłowo wykonana posadzka ma wiele nieciągłości w postaci niewidocznych rys. Zarówno w przypadku dylatacji nacinanych, jak i nieregularnych zarysowań walory eksploatacyjne posadzki obniżają przede wszystkim przemieszczenia pionowe pomiędzy sąsiednimi płytami lub fragmentami zarysowanych płyt. Przemieszczeń tego rodzaju nie stwierdzono na opisywanej posadzce w miejscach zarysowań, a prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest podobne tak w przypadku miejsc z dylatacjami o kształcie nieregularnym (rysy, spękania), jak i tych z regularnie ukształtowanymi dylatacjami. Wykonanie betonowej nawierzchni przemysłowej w technice suchej posypki DST, gdzie płyta nośna posadzki i jej wykończenie trudnocieralne są

zrealizowane w jednym cyklu roboczym, zawsze wiąże się z możliwością pojawienia się rys w płycie betonowej oraz spęceń. Z powodu występowania wielorakich wpływów nie można oczekiwać, że każda wielkopłaszczynowa konstrukcja betonowa pozostanie na trwałe bez rys.

W raporcie Amerykańskiego Instytutu Betonów ACI 302.1R-96 Guide for Concrete Floor Construction (Wytyczne Budowy Betonowych Podłóg Przemysłowych), przytoczonym w materiałach szkoleniowych Addiment [4], można znaleźć stwierdzenie, że „nawet przy najwyższej jakości opracowaniu projektowym i właściwym wykonawstwie budowlanym jest nierealistycznym oczekiwać, aby płyta nawierzchni przemysłowej była pozbawiona rys i zjawiska pękania się krawędzi i naroży. Dlatego też każdy inwestor powinien być świadomy, że zupełnie normalnym zjawiskiem, jakiego należy oczekiwać, będzie pojawienie się pewnej ilości i rys, i spęceń w każdej posadzce przemysłowej i że takie zjawisko nie świadczy o niedociągnięciach projektu ani o brakach jakościowych wykonawstwa”.

Istotnym utrudnieniem dla funkcjonowania opisywanej posadzki są uszkodzenia w postaci podniesienia krawędzi dylatacji roboczych o ok. 10 mm. Następstwem tego zjawiska są przetarcia i wykruszenia betonu powstające przy krawędziach szczelin na skutek eksploatacji posadzki. Opisane uszkodzenia powodują przede wszystkim utrudnienia dla poruszających się po posadzce środków transportowych, głównie wózków widłowych i paletowych, związane z koniecznością zmniejszania prędkości ich przejazdu. Zbyt długie zwlekanie z naprawą uszkodzonych miejsc może w skrajnym przypadku spowodować odłamanie i zapadnięcie się naroży płyt betonowych. Skutkiem tego może być kosztowna naprawa polegająca na usunięciu uszkodzonych części posadzki i wykonaniu ich na nowo.

ZJAWISKO CURLINGU

Opisane uszkodzenia posadzki to następstwo zjawiska określanego jako curling



Fot. 14. Przykład zastosowania dylatacji sinusoidalnej

(paczenie) [5]. Występuje ono zwłaszcza w początkowym okresie po wylaniu betonu i jest związane z nierównomiernym skurczem górnej oraz dolnej warstwy płyty (górna warstwa na skutek innych warunków dojrzewania podlega odmiennemu skurczowi niż dolna). Odształcenie płyty posadzki na skutek paczenia przypomina zjawisko wyginania się liścia wilgotnego od dołu, a ogrzanego słońcem w górnej powierzchni. Curling występuje od brzegów do ok. 1/8 długości płyty i powoduje wywiniecie się krawędzi (dylatacji skurczowych lub konstrukcyjnych) nawet do kilkunastu milimetrów. Zjawisko paczenia w posadzkach jest praktycznie nie do uniknięcia. Można mu jedynie przeciwdziałać w podobny sposób jak zjawisku skurczu, a także stosując odpowiednie rozwiązania konstrukcyjne złączy dylatacyjnych. Są to m.in. dylatacje systemowe o odpowiednim kształcie (np. sinusoidalnym, fot. 14) z profilami stalowymi, których zadaniem jest wzmacnianie narażonych na zniszczenia krawędzi posadzki.

Jednym ze sposobów na ograniczenie curlingu jest zmniejszenie wielkości pól dylatacyjnych. W literaturze można znaleźć wytyczne mówiące o tym, że zastosowanie pól $5,0 \times 5,0$ m zamiast $8,0 \times 8,0$ m powoduje zmniejszenie naprężeń paczenia o ok. 50%. W przypadku opisywanej posadzki duży rozstaw dylatacji przyczynił się do zwiększenia zjawiska curlingu. Uszkodzenia dylatacji polegające na odspojeniach i ubytkach mas dylatacyjnych wypełniających szczeliny to naj-

prawdopodobniej rezultat powiązanych ze sobą kilku czynników:

- zastosowania niskiej jakości mas dylatacyjnych o zbyt dużej sztywności,
- niewłaściwego ułożenia użytej masy – połączenie jej z dolną krawędzią szczeliny dylatacyjnej,
- zbyt wczesnego wypełnienia dylatacji masą dylatacyjną.

Właściwie ułożona masa dylatacyjna powinna być połączona jedynie z bocznymi krawędziami szczeliny, nigdy z jej dolną krawędzią. W przeciwnym wypadku elastyczność zastosowanego materiału wykorzystywana jest w bardzo ograniczonym zakresie. Ponadto z powodu postępującego w czasie zjawiska skurczu posadzki najkorzystniej jest wypełniać dylatacje najpóźniej jak to możliwe od chwili jej wykonania. Tymczasem termin wypełnienia dylatacji to zazwyczaj rezultat kompromisu między uzyskaniem finalnego wykończenia posadzki a stopniem zaawansowania skurczu betonu. Z tego względu wiele opracowań projektowych dotyczących posadzek przewiduje wypełnienie dylatacji po użytkowaniu posadzki przez okres, w którym skurcz betonu osiągnie wartość stanowiącą jak największy procent skurczu całkowitego, lub naprawienie (ponowne uzupełnienie) zniszczonych w wyniku narastania skurczu wypełnień szczelin dylatacyjnych.

PODSUMOWANIE

Opisany przykład dowodzi, jak bardzo ważną kwestią związaną z wykonaniem

każdej posadzki jest sporządzenie szczegółowego projektu, w którym byłby zawarty jej podział na pola dylatacyjne w sposób uwzględniający zachodzące w betonie zjawisko skurczu i geometrię obiektu. W przypadku posadzek bezspoinowych rozstaw dylatacji konstrukcyjnych, czyli wielkość pola roboczego, zależy od:

- rozstawu słupów,
- kształtu hali (podłogi),
- możliwości ułożenia pola roboczego w ciągu jednego dnia (możliwości nieprzerwanego dostarczenia mieszanki betonowej przez wytwórcę),
- umiejętności i możliwości technicznych wykonawcy [6, 7].

Z kolei wartość i efekty skurczu są zależne od:

- składu betonu,
- sposobu pielęgnacji,
- konstrukcyjnego rozwiązania posadzki.

W opisanym przypadku podziału na poszczególne pola robocze dokonano częściowo na podstawie wytycznych technicznych, a częściowo na podstawie wiedzy i doświadczenia wykonawcy, które okazały się niewystarczające. Należy mieć nadzieję, że przedstawiony przykład pozwoli uniknąć podobnych błędów w przyszłości. ■

Literatura

1. J. Jasiczak, *Posadzki przemysłowe. Materiały, technologie, projektowanie, naprawy*, Addiment Polska, Poznań 2001.
2. J. Mierzwa, *Klasyfikacja i projektowanie podłóg przemysłowych na gruncie*, Seminarium naukowo-techniczne „Podłogi przemysłowe”, 25.10.2007.
3. J. Karwacki, *Szwy i szczeliny monolitycznych nawierzchni przemysłowych pływających Float*, „Przegląd Budowlany” nr 1/1998.
4. Materiały szkoleniowe Addiment.
5. T. Chibowski, *Paczenie płyt betonowych na brzegach dylatacji*, „Materiały Budowlane” nr 9/2006.
6. B. Dymidziuk, *Fibrobetonowe posadzki bezspoinowe – cz. II, „Nowoczesne Hale”* nr 2/2010.
7. B. Dymidziuk, *Konstruowanie bezspoinowych, betonowych posadzek przemysłowych zbrojonych włóknami stalowymi Dramix*, „Inżynier Budownictwa” nr 4/2007.