

dr inż. Władysław Ryżyński\*  
mgr inż. Benedykt Karczewski\*\*

# Posadzki bezspoinowe z włóknami syntetycznymi

**P**osadzki betonowe są najczęstszą formą nawierzchni wykonywanych w obiektach handlowych, magazynowych i produkcyjnych. W zależności od sposobu użytkowania i wymagań dodatkowych mogą być wykończone w różny sposób, od utwardzenia warstwy powierzchniowej po nałożenie powłok żywicznych, okładziny ceramicznej, kamiennej lub innej.

Podstawowym elementem decydującym o jakości posadzki, jej nośności, równości i ciągłości (brak zarysowań, pęknięć i innych uszkodzeń) jest betonowa płyta konstrukcyjna [2, 5, 7, 8], dzielona szczelinami nacięć skurczowych na pola dylatacyjne. Wielkość i kształt tych pól odgrywa istotną rolę w eksploatacji, gdyż dzielące je szczeliny dylatacji skurczowych (pozornych, w odróżnieniu od dylatacji konstrukcyjnych i roboczych wynikających z wielkości pól roboczych) są miejscami szczególnie podatnymi na uszkodzenia różnego rodzaju [2, 8]. **Uszkodzenia**, to przede wszystkim wykruszenie krawędzi nacięcia dylatacyjnego pod ruchem wózków z małymi kołami o dużej twardości (koła stalowe lub z twardej gumy o małej średnicy, np. wózki paletowe). Częstość również zjawiskiem jest unoszenie naroży (skutkujące ich ukośnym zarysowaniem bądź złamaniem) oraz podwijanie krawędzi nacięcia dylatacyjnego w wyniku nierównomiernego odsychania betonu w strefie szczeliny i poza nią. W szczelinie dylatacyjnej powierzchnia, z której odprowadzana jest wilgoć z płyty betonowej, jest powiększona o pionową powierzchnię nacięcia, zaś od spodu płyty w jej części środkowej odsychanie jest utrudnione i odbywa się tylko przez warstwę powierzchniowo utwardzoną, której opór dyfuzyjny jest większy od oporu dyfuzyjnego naciętej powierzchni betonu. Z tego względu od-

sychanie z bezpośrednio przyległych stref do nacięcia odbywa się w bok przez odsłoniętą powierzchnię betonu w szczelinie, co skutkuje odkształceniami liniowymi i unoszeniem naroży.

## Projektowanie

Posadzki betonowe projektowane są głównie jako posadzki na gruncie w układzie pływającym, tj. betonowa płyta konstrukcyjna ułożona na warstwie izolacyjnej i poślizgowej, umożliwiającej swobodę odkształceń skurczowych i termicznych. Wielkość tych odkształceń zależy od receptury mieszanki betonowej, warunków i sposobu wykonania oraz pielęgnacji dojrzewającego betonu i zastosowanych materiałów. Warunki eksploatacji mają również wpływ na stan odkształceń posadzki, szczególnie w strefie nacięć dylatacji skurczowych. Jest to głównie powierzchniowe zawilgocenie posadzki (zalanie parkingów podziemnych w warunkach deszczów nawalnych, gwałtownych roztopów itp.) lub zawilgocenie spodniej powierzchni posadzki wskutek znacznego podniesienia wód gruntowych. Skutkuje to wyraźnym zawilgoceniem na krawędziach dylatacji skurczowych i w wyniku odsychania unoszeniem tych naroży oraz krawędzi dylatacji.

**Dylatacje** w posadzce przemysłowej stanowią istotne utrudnienie w transporcie towarów wrażliwych na oddziaływanie dynamiczne. Nacięcia dylatacyjne poddawane są wielokrotnej i cyklicznej (z racji równego rozstawu dylatacji) zmianie równości i sztywności nawierzchni, na której transportowany towar doznaje wstrząsów mogących mieć wpływ na ewentualne uszkodzenia lub zachowanie cech towaru, np. elektronika, materiały kruche, jak szkło, ceramika itp. Rozwiązania techniczne dylatacji minimalizujące te negatywne aspekty eksploatacji posadzki z dylatacjami [2] nie zawsze dają zadowalające rezultaty dla użytkownika.

Mając na uwadze przedstawione uwarunkowania, uwaga firm wykonują-

cych posadzki przemysłowe skierowana jest więc w stronę posadzek bezspoinowych i posadzek o małej liczbie dylatacji [1]. **Posadzki bezspoinowe**, to rozwiązania, które składają się z pól wydzielonych dylatacjami roboczymi i konstrukcyjnymi, ale bez nacięć dylatacji skurczowych. Zwiększone wymiary pól betonowych stanowią wyzwanie zarówno projektowe, jak i wykonawcze związane z przeniesieniem naprężeń w betonie płyty posadzki spowodowanych obciążeniami użytkowymi i zwiększonymi naprężeniami od skurczu i zjawisk termicznych. Wykonanie pola betonowania o powierzchni ok. 1000 m<sup>2</sup> w jednym cyklu roboczym rodzi dodatkowe, dotychczas pomijane, problemy ze zróżnicowaniem naprężeń skurczowych w płycie posadzki, w czasie układania i na początku wiązania betonu, dochodzącym nawet do 8 h. Z tego powodu wykonanie posadzek bezspoinowych, przy niewątpliwych zaletach użytkowych, stanowi wyzwanie dla projektantów i wykonawców. W artykule przedstawimy uwagi własne dotyczące projektowania i wykonywania posadzek, będące wynikiem wieloletnich doświadczeń w projektowaniu, realizacji i ocenie przemysłowych posadzek betonowych.

**Wymiarowanie posadzek bezspoinowych** nie różni się istotnie od ogólnie znanych zasad projektowania nawierzchni betonowych na podłożu sprężystym [2, 5, 8]. Zwraca się jednak uwagę na dobre rozpoznanie podłoża [4]. Posadzki na gruntach nośnych o module odkształcenia wtórnego  $E_2 > 80$  MPa nie sprawiają problemów projektowych oraz podczas użytkowania. Przy wymiarowaniu grubości płyty betonowej posadzki od zewnętrznych obciążeń użytkowych zastosowanie mają dwie metody. **Pierwsza bazuje na wzorach teorii sprężystości** (wzory Westergarda i Heteneya [2, 6, 7, 8]) i pozwala na wyznaczenie naprężeń od typowych oddziaływań zewnętrznych. Naprężenia te, po zsumowaniu z naprężeniami

\* Biuro Usług Inżynierskich, Białystok

\*\* ASTRA Technologia Betonu, Straszyn

od skurczu i oddziaływań termicznych, są porównywane z naprężeniami dopuszczalnymi w betonie. Przy przekroczeniu wytrzymałości betonu na rozciąganie  $f_{ctm}$ , konieczne jest dodatkowe zbrojenie. W przypadku, gdy jest to beton zbrojony sztywnymi wkładkami w postaci prętów lub siatek, stosuje się procedurę doboru zbrojenia określoną w stosownych przepisach, np. w normie PN-EN 1992-1-1. W przypadku fibrobetonu wartość naprężeń w płycie betonowej porównywana jest ze średnią wytrzymałością fibrobetonu na rozciąganie przy zginaniu  $f_{ctm}$ . Wartość wytrzymałości podawana jest przez dostawców włókien na podstawie badań laboratoryjnych. Należy zwrócić uwagę na często spotykane wymiarowanie grubości płyt posadzki betonowej na podstawie ogólnej informacji o dozowaniu włókien, np. w ilości minimalnej, bez uwzględniania poziomu naprężeń i klasy betonu.

**Druga metoda, to wymiarowanie płyty posadzki betonowej w zakresie niesprężystym wg metody linii załamów** [2, 5, 6, 7]. Pozwala ona na wyznaczenie wielkości obciążenia niszczonego, powodującego powstanie linii załamów w miejscach uplastycznienia betonu. Jest to więc oszacowanie górnej wielkości obciążeń i może być podstawą do porównania z obciążeniami działającymi na płytę posadzki. W procesie projektowania wielkość granicznego obciążenia niszczonego jest uzależniana od wielkości momentu granicznego  $M_o$  będącego funkcją grubości płyty  $h$ , średniej wytrzymałości betonu na rozciąganie przy zginaniu  $f_{ctm}$ , wskaźnika wytrzymałości równoważnej  $R_{e,3}$  będącego w relacji z wytrzymałością równoważną na zginanie  $f_{eq,150}$  [1, 2]. Wpływ włókien stalowych na wytrzymałość fibrobetonu wyznacza się zgodnie z PN-EN 14889-1, a syntetycznych włókien konstrukcyjnych wg PN-EN 14889-2. Zwiększając ilość włókien w 1 m<sup>3</sup> betonu, projektant w pewnym zakresie może zwiększyć nośność posadzki lub dostosować przyjętą (np. w projekcie architektonicznym) grubość płyty posadzki do projektowanych obciążeń.

W sytuacjach niestandardowych obciążeń, występowania gruntów słabonych lub zróżnicowanych warunków gruntowych do wyznaczenia stanu naprężeń w płycie posadzki stosuje się

**Metodę Elementów Skończonych**, głównie w postaci specjalistycznego oprogramowania branżowego, np. programy ABC Płyta, ROBOT lub Plaxis. Należy zwrócić uwagę na dużą przydatność analiz MES w projektowaniu posadzek bezspoinowych. Obliczenia prowadzone w zakresie nieliniowym, z uwzględnieniem tarcia i zagadnień kontaktowych (więzy jednostronne przy ewentualnym unoszeniu naroży) pozwalają na dosyć dokładne przybliżenie stanu wyężenia i odkształceń płyty posadzki betonowej z uwzględnieniem nie tylko obciążeń zewnętrznych, ale również skurczu (zróżnicowanego na wysokości płyty) i oddziaływań termicznych.

**Projektowanie posadzki betonowej**, to dobór grubości oraz cech materiałowych: klasy betonu i ilości oraz rodzaju zbrojenia rozproszonego. W posadzkach bezspoinowych grubość płyt nie przekracza 25 cm (zwykle jest to 20 – 25 cm). Stosowana najczęściej klasa betonu C30/37 jest kompromisem pomiędzy wytrzymałością betonu, cechami skurczowymi i parametrami technologicznymi mieszanki betonowej podczas układania. Używanie zbrojenia rozproszonego w postaci włókien stalowych 60/0,8 mm w ilości 30 – 40 kg/m<sup>3</sup> wynika głównie z przyzwyczajenia i pozytywnych doświadczeń wykonawców. Zadaniem projektanta posadzek bezspoinowych jest uzyskanie na ich powierzchni równomiernego rozproszenia rys skurczowych, tak aby szerokość ich rozwarcia nie przekraczała 0,5 mm. Występowanie przeciętnego skurczu betonu wielkości 300 x 10<sup>-6</sup> mm/m (0,3 mm/m) oznacza,

że na długości 1 m może wystąpić rysa o rozwarości 0,3 mm (całkowicie tolerowalna) lub kilka mniejszych (np. 3 mikrorysy 0,1 mm na 1 m długości). W celu uzyskania takiego efektu stosuje się zbrojenie stalowe o module sprężystości  $E_s = 200$  GPa.

Podstawowy wpływ na równomierność rozkładu rys na powierzchni płyty ma równomierność i gęstość rozkładu włókien w betonie. Kształt i wymiary włókien (smukłość) mają również duże znaczenie przy przenoszeniu naprężeń kontaktowych pomiędzy zaczynem cementowym i włóknem. Efektywność zbrojenia rozproszonego wzrasta wraz ze wzrostem smukłości włókien oraz sumaryczną długością powierzchni kontaktu włókien z zaczynem cementowym [1, 2, 7]. W związku z tym firma **Astra Technologie Betonu** wdrożyła, do wykonywania posadzek bezspoinowych, włókna syntetyczne **Astra Polyex Mesh** długości 38 i 54 mm. Produkowane są one z polimerów z grupy poliolefin o module sprężystości  $E = 9$  GPa. Parametry tych włókien i porównanie z włóknami stalowymi o różnych wymiarach pokazano w tabeli.

W posadzkach bezspoinowych wykonywanych w technologii firmy ASTRA Technologie Betonu zalecane jest stosowanie włókien syntetycznych Astra Polyex Mesh w ilości 3 – 4 kg/m<sup>3</sup> w zależności od wyężenia płyty. Zalecane dozowanie do betonu klasy C30/37 wynosi 3,5 kg/m<sup>3</sup>, co pozwala na osiągnięcie wytrzymałości równoważnej na rozciąganie przy zginaniu na poziomie  $f_{eq,150} = 4,2$  MPa (badania własne w latach 2010 – 2014).

**Porównanie efektywności zbrojenia betonu włóknami stalowymi i syntetycznymi Astra Polyex Mesh w zależności od ich długości i średnicy**

| Parametr                                | Typ włókna   |              |              |               |              |              |              |              |                               |               |
|---|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|---------------|
|   | stalowe      |              |              |               |              |              |              |              | syntetyczne Astra Polyex Mesh |               |
| Rodzaj włókna                           | 35/0,7       | 35/0,8       | 35/1,0       | 50/0,6        | 50/0,8       | 50/1,0       | 60/0,8       | 60/1,05      | 54 mm                         | 38 mm         |
| Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]       | 1050         | 1050         | 1050         | 1050          | 1050         | 1050         | 1050         | 1050         | 650–750                       | 650–750       |
| Długość [mm]                            | 35           | 35           | 35           | 50            | 50           | 50           | 60           | 60           | 54                            | 38            |
| Średnica [mm]                           | 0,7          | 0,8          | 1,0          | 0,6           | 0,8          | 1,0          | 0,75         | 1,0          | 0,45                          | 0,45          |
| Smukłość l/d                            | 50           | 44           | 35           | 83            | 63           | 50           | 80           | 60           | 120                           | 84            |
| Ilość [szt/kg]                          | 9300         | 7100         | 4500         | 8900          | 5000         | 3200         | 4200         | 2300         | 110 000                       | 156 000       |
| Długość sumaryczna [m/kg]               | 325          | 248          | 158          | 445           | 250          | 160          | 252          | 138          | 5 940                         | 5 928         |
| Dozowanie [kg/m <sup>3</sup> ]          | 25           | 25           | 25           | 25            | 25           | 25           | 25           | 25           | 2                             | 2             |
| <b>Długość sumaryczna zbrojenia [m]</b> | <b>8 125</b> | <b>6 200</b> | <b>3 950</b> | <b>11 125</b> | <b>6 250</b> | <b>4 000</b> | <b>6 300</b> | <b>3 450</b> | <b>11 880</b>                 | <b>11 825</b> |

Mały moduł sprężystości i duża długość sumaryczna zbrojenia włóknem Astra Polyex Mesh pozwala na uzyskanie powierzchni posadzki bez nacięć skurczowych o wymiarach do 30 x 30 m. Warunkiem osiągnięcia efektu posadzki z powierzchnią utwardzaną powierzchniowo, o równomiernym rozkładzie zarysowań nieprzekraczających 0,2 mm, jest zastosowanie minimum 3,5 kg/m<sup>3</sup> (zalecane 4,0 kg/m<sup>3</sup>) włókien Astra Polyex Mesh długości 54 mm lub 38 mm (można stosować mieszankę tych włókien) wraz z mikrowłóknami **Astra Belmix**, mającymi wpływ na fazę skurczu plastycznego, w ilości 0,6 – 0,9 kg/m<sup>3</sup> oraz dodatków do betonu **MK40** lub **Zeobau 50**. MK40 jest to bardzo dobrej jakości metakaolin – drobnoziarnisty, aktywny dodatek wypełniający do betonu, przeznaczony do wykonywania betonów, w tym betonów wg PN-EN 206-1. Stanowi składnik mieszanki betonowej, poprawiającej jej urabialność, tiksotropowość i stałość konsystencji. Metakaolin poprawia strukturę betonu, a przez to zmniejsza jego nasiąkliwość i zwiększa mrozoodporność, wytrzymałość, odporność na skurcz, przepuszczalność pary, wody, gazów i chlorków, ścieralność i odporność korozyjną środowiska oraz zwiększa wczesną wytrzymałość betonu (wytrzymałość 1-dniowa przy normalnym twardnieniu do 20 MPa). Dodatek MK40 w ilości 3 – 10% masy cementu (10 – 25 kg/m<sup>3</sup>) poprawia w znaczny sposób elastyczność matrycy cementowej, wpływając na zwiększenie odkształcalności betonu i zmniejszenie podatności na zarysowania. Ponadto glinokrzemiany zawarte w MK40 mają, ze względu na właściwości jonowymienne, zdolność do samoregeneracji mikrorys [3]

oraz zwiększają odporność matrycy cementowej na agresję środowiskową, co jest istotne np. w przypadku nawierzchni parkingów.

### Zalecenia wykonawcze

Równie ważne, jak projektowanie i dobór materiałów, jest **wykonanie betonowej płyty bezspoinowej posadzki przemysłowej**. Doświadczenia ostatnich lat z realizacji tego typu wielkopowierzchniowych posadzek wskazują, że efekt końcowy, jakim jest posadzka bez zarysowań, zależy od sposobu organizacji betonowania (ciągłość i rytmiczność dostaw, warunki zewnętrzne związane z nasłonecznieniem, przewodnością, wilgotnością powietrza itp.) oraz prowadzenia robót (wibrowanie, sposób i czas zacierania i inne). Należy też zwrócić uwagę na równomierność rozproszczenia włókien w mieszance betonowej. Na podstawie doświadczeń i obserwacji wyglądu mieszanki podczas układania stwierdzono pewną relację pomiędzy jej korpuskularnym charakterem a zbijaniem się (za sprawą włókien) w luźne grudki o wymiarach zależnych od ilości włókien (fotografia).



Równomierność rozproszczenia włókien Astra Polyex Mesh w mieszance betonowej widoczna w postaci równomierności grudek mieszanki

Firma **Astra Technologie Betonu** prowadzi prace mające na celu poznanie obrazu układanej mieszanki betonowej i prognozowanie równomierności stanu zarysowań posadzki przy użyciu algorytmów sztucznych sieci neuronowych. Aplikacja w smartfonie, do czego zmagają prace kilku firm zainteresowanych opracowaniem narzędzi informatycznych wspomagających projektowanie i wykonywanie posadzek przemysłowych, może być bardzo pomocna w warunkach budowy do podejmowania optymalnych decyzji związanych z realizacją posadzki.

### Literatura

- [1] Glinicki M., Chibowski T.; Fibrobetonowe posadzki bezspoinowe. Obliczanie i przykłady realizacji, Materiały konferencyjne Seminarium naukowo-technicznego Podłogi Przemysłowe 2009, s. 41 – 48.
- [2] Hajduk P.; Projektowanie podłóg przemysłowych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [3] Kurdowski W.; Chemia cementu i betonu, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2010.
- [4] Ryżyński Wł., Karczewski B.; Posadzki betonowe na gruntach słabonośnych, Nowoczesne Hale, nr 2/2014, s. 40 – 42.
- [5] Starosolski Wł.; Konstrukcje żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych, tom III, rozdział 6 Posadzki przemysłowe, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [6] Szydło A.; Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego, Teoria, wymiarowanie, realizacja, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2006.
- [7] Technical Report No. 34 of Concrete Society, Concrete industrial ground floors. A guide to design and construction, Third Editio.
- [8] Tejchman J., Małasiewicz A.; Posadzki przemysłowe, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.

*Redakcja serdecznie dziękuje  
dr. inż. Grzegorzowi Adamczewskiemu  
z Zakładu Inżynierii Materiałów Budowlanych  
Instytutu Inżynierii Budowlanej  
na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej  
za pomoc merytoryczną w przygotowaniu tematu wydania „Posadzki”.*