



MGR INŻ. BARBARA DYMIDZIUŁ  
Bekaert Poland Sp. z o.o.

# FIBROBETONOWE

## posadzki bezspoinowe – cz. I

W ostatnich latach posadzki bezspoinowe stały się bardzo popularne nie tylko w Polsce. Ich niepodważalne zalety powodują, że coraz więcej inwestorów decyduje się na nie w swoich magazynach i halach fabrycznych.

Posadzka w magazynie to jedno z najbardziej newralgicznych miejsc i bardzo często jest tym elementem budowli, który przysparza użytkownikowi poważnych problemów eksploatacyjnych. Te problemy to:

- wykruszanie się dylatacji nacinanych (fot. 1),
- utrzymanie czystości powierzchni wokół zniszczonych dylatacji,
- pionowe przemieszczanie się pól dylatacyjnych względem siebie,
- unoszenie się krawędzi betonu na dylatacjach spowodowane zjawiskiem paczzenia się płyt.

Sposobem na uniknięcie tych problemów lub ograniczenie ich w znacznym stopniu jest wykonanie posadzki bez ciętych szczelin dylatacyjnych, z zachowaniem tylko dylatacji konstrukcyjnych. Taką posadzkę nazywamy posadzką bezspoinową – czyli bez spoin nacinanych – lub bezdylatacyjną – bez dylatacji ciętych. Są wykonywane tylko dylatacje konstrukcyjne i dylatacje izolujące płytę

od konstrukcji budowli. Brak dylatacji przeciwskurczowych i termicznych jest kompensowany użyciem włókien stalowych o najwyższej efektywności i znacznie większej ilości niż w przypadku posadzek dylatowanych.

### Niszczenie dylatacji

Wykruszanie się dylatacji nacinanych jest spowodowane przejazdem wózków widłowych. Z czasem następuje rozwój zniszczenia wszystkich dylatacji nacinanych, a to z kolei powoduje szybsze zużycie kół wózków, zwolnienie pracy wózków (wózek przejeżdżający przez wykruszoną dylatację musi zwolnić) i mniejszy komfort pracy, objawiający się stukaniem kół. Występuje również zagrożenie bezpieczeństwa pracy, gdyż wózek widłowy przejeżdżający przez wykruszoną dylatację nacinaną chwije się, a to może doprowadzić do upuszczenia ładunku z wideł. Zniszczone dylatacje cięte trzeba naprawić, a to wiąże się z wyłączeniem tej

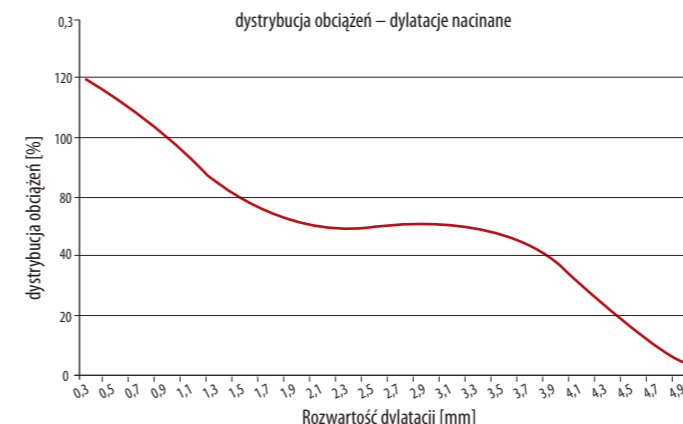
części posadzki z użytkowania na czas naprawy. Jeśli jest to posadzka w magazynie, to naprawa dylatacji musi odbywać się niewielkimi odcinkami, tak aby praca magazynu była zakłócona w jak najmniejszym stopniu. Jeśli jest to posadzka w hali produkcyjnej, to wyłączenie części posadzki w celu naprawy dylatacji jest już poważnym problemem zakłócającym proces produkcji i przynoszącym wymierne straty finansowe. Niestety, bardzo często, a właściwie prawie zawsze, zdarza się, że po jakimś czasie przejazdu wózków widłowych ponownie uszkadzają naprawione wcześniej dylatacje, prowadząc do ich dalszej degradacji. Tę część posadzki trzeba wyłączyć z użytkowania, aby ponownie naprawić dylatacje. W ten sposób naprawa dylatacji ciętych jest procesem niekończącym się i stale przysparzającym kłopotów użytkownikowi. W posadzce bezspoinowej problem uszkodzonych dylatacji nacinanych nie istnieje.

### Konstrukcja i zalety posadzek bezspoinowych

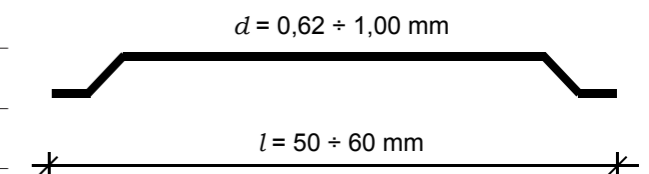
Inną zaletą posadzek bezspoinowych jest zmniejszenie grubości płyty z powodu eliminacji dylatacji nacinanych.

W przypadku posadzki tradycyjnej, z dylatacjami pozornymi, największe naprężenia powstają w posadzce od obciążeń przyłożonych na dylatacjach nacinanych lub w ich sąsiedztwie. Jeśli dylatacje nacinane nie występują w posadzce, to te maksymalne naprężenia również w niej nie wystąpią. Zatem przy tych samych obciążeniach posadzka bezspoinowa może mieć mniejszą grubość niż posadzka dylatowana, a to powoduje zmniejszenie ilości betonu i zbrojenia potrzebnego do wykonania posadzki. Eliminując dylatacje nacinane płyty posadzkowej, zmniejszamy zjawisko pionowego przemieszczania się pól dylatacyjnych względem siebie. To zjawisko jest zwane klawiszowaniem i jest następstwem nierównomiernej nośności podbudowy przygotowanej pod płytę posadzkową. Gdy mamy posadzkę z dylatacjami pozornymi w rozstawie co 6 m, przemieszczenie się pól dylatacyjnych może wystąpić co 6 m. Eliminując dylatacje nacinane, redukujemy niebezpieczeństwo pionowego przemieszczenia się pól roboczych. Jeżeli pole robocze ma wymiary 40 m x 40 m, to zjawisko klawiszowania

i ryzyko uszkodzenia posadzki występuje dużo rzadziej, bo co 40 m, a nie co 6 m. Dylatacje konstrukcyjne są wykonywane z profili stalowych z dyblami i systemami płytek dyblujących oraz z zabezpieczeniami krawędzi płyty. Z powodu dużej rozpiętości płyty skurcz betonu powoduje poziome przesunięcia krawędzi dochodzące do 20 mm (fot. 2), zachodzi konieczność dyblowania profilu stalowego, aby zapewnić określone warunki przenoszenia obciążeń z jednej płyty na drugą, zapobiegając ich podnoszeniu się przy przejeździe pojazdu. Natomiast systemy płytek dyblujących pozwalają płycie na swobodny ruch poziomy w obu kierunkach. Fot. 3 pokazuje profil ułożony na podbudowie przed wylaniem fibrobetonu wraz z dozbrojeniem słupa hali siatkami i prętami stalowymi. Dylatacje cięte z uwagi na sposób ich wykonania (wykonane są poprzez nacięcie betonu piłą) nie mogą zapewnić określonego przenoszenia obciążenia na sąsiednią płytę. Ryc. 1 pokazuje zdolność przenoszenia przez dylatację nacinaną obciążenia na sąsiednią płytę w zależności od rozwartości dylatacji. ▶



Ryc. 1. Zdolność dylatacji do przenoszenia obciążeń



l = 50 mm,	d = 1,00 mm,	smukłość: l/d = 50
l = 60 mm,	d = 1,00 mm,	smukłość: l/d = 60
l = 60 mm,	d = 0,90 mm,	smukłość: l/d = 65
l = 60 mm,	d = 0,80 mm,	smukłość: l/d = 75
l = 60 mm,	d = 0,75 mm,	smukłość: l/d = 80
l = 60 mm,	d = 0,62 mm,	smukłość: l/d = 80

Ryc. 2. Kształt i wymiary najczęściej stosowanych włókien stalowych



Fot. 1. Wykruszenie dylatacji nacinanej



Fot. 2. Przesunięcie krawędzi dylatacji konstrukcyjnej



Fot. 3. Profile stalowe i dozbrojenie słupów prętami i siatkami

► Jak widać z wykresu, przy rozwartości dylatacji ciętej równej 1 mm, dylatacja nacinana przenosi 80% obciążenia. Przy rozwartości dylatacji równej 3 mm jej zdolność do przenoszenia obciążenia spada do 47%. Zwykle rozwartość dylatacji ciętej wynosi ponad 5 mm, a przy takiej rozwartości dylatacja nacinana przenosi już tylko 5% obciążenia.

Parametry określające konstrukcję posadzki bezspoinowej to:

- typ włókna stalowego i sposób dozowania,
- klasa wytrzymałości betonu,
- rozstaw dylatacji konstrukcyjnych,
- grubość płyty posadzkowej,
- rodzaj warstwy poslizgowej.

### Włókna stalowe

Włókna stalowe, zwane również zbrojeniem rozproszonym, stosowane są do zbrojenia betonowych posadzek przemysłowych jako zbrojenie alternatywne do siatek stalowych. Na rynku dostępne są różnego rodzaju włókna stalowe. Różnią się między sobą długością, średnicą, wytrzymałością stali na rozciąganie, kształtem i rodzajem zakotwienia w betonie. Najbardziej jednak popularny kształt włókien stalowych stosowanych do zbrojenia posadzek to drut o długości od 5 cm do 6 cm i średnicy od 0,62 mm do 1 mm, z wyprofilowanymi końcami (ryc. 2).

Dodanie włókien do betonu powoduje zmianę właściwości betonu. Zamienia twardy, kruchy beton w materiał plastyczny, zwany fibrobetonem. Podstawową rolą włókien stalowych jest przede wszystkim hamowanie powstawania i rozwoju rys oraz podwyższenie energii zniszczenia. Dodanie właściwej liczby włókien do betonu powoduje wzrost wytrzymałości betonu na rozciąganie i ścinanie oraz wzrost odporności zmęczeniowej i udarowości. Efektywność mechaniczna włókien (tj. zdolność zwiększenia wytrzymałości betonu) jest wprost proporcjonalna do smukłości włókien, tj. stosunku długości włókna  $l$  do jego średnicy  $d$ , tj.  $l/d$  (ryc. 2).

Ponieważ głównym zadaniem włókien jest hamowanie powstawania i rozwoju rys, efektywność włókien stalowych ocenia się na podstawie badania pęka-

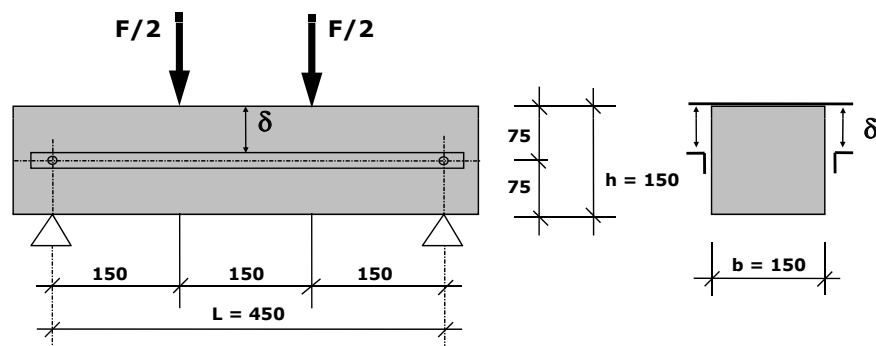
nia fibrobetonu pod wpływem naprężeń rozciągających przy zginaniu. Badanie jest określone przez normę japońską JCI SF-4 i polega na wykonaniu belki o przekroju 150 mm x 150 mm i rozpiętości 450 mm, wykonanej z betonu określonej klasy i ustalonej ilości kg włókien stalowych określonego typu i poddaniu jej obciążeniu dwoma siłami skupionymi. Określa się siłę, która spowodowała ugięcie belki o 3 mm w środku jej rozpiętości.

Znając siłę, która spowodowała ugięcie belki o 3 mm, możemy określić wytrzymałość równoważną fibrobetonu na zginanie  $f_{eq,150}$ . Wytrzymałość równoważna fibrobetonu na zginanie  $f_{eq,150}$  określa odporność fibrobetonu na pękanie przy zginaniu, czyli ilość energii potrzebnej, aby doprowadzić normową próbkę do ugięcia 3 mm w środku jej rozpiętości. Znając wartość wytrzymałości równoważnej  $f_{eq,150}$  dla fibrobetonu wykonanego z odpowiedniej klasy betonu i odpowiedniej liczby włókien, można przystąpić do obliczeń statycznych bezspoinowej płyty posadzkowej. Wartości wytrzymałości równoważnej dla betonu klasy C25/30 i typowych dozowań różnych typów włókien

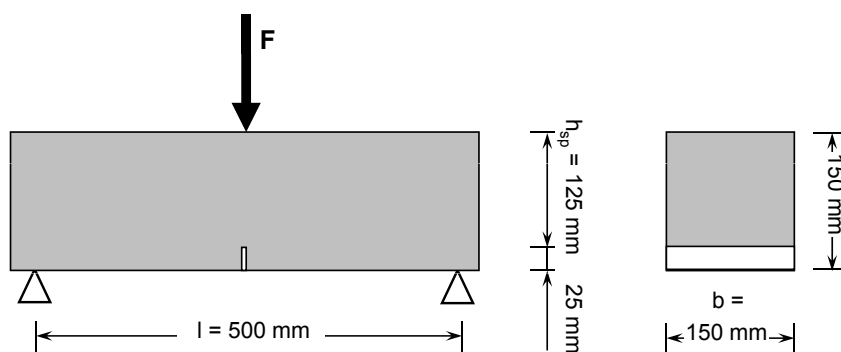
do posadzek bezspoinowych są podane w tabeli 1, natomiast ryc. 3 ilustruje schemat badania.

W przypadku posadzek wykonanych z fibrobetonu nie ma żadnej opracowanej polskiej normy na temat ich projektowania i wymiarowania. W zastępstwie tej brakującej normy można się posłużyć (tak jak to robią inżynierowie w wielu innych krajach) opracowaniem *Technical Report No 34, Concrete Industrial Ground Floors – A Guide to their Design and Construction (Raport Techniczny Nr 34, Betonowe posadzki przemysłowe na podłożu gruntowym – Przewodnik do wymiarowania i konstruowania)* przygotowanym przez brytyjskie Stowarzyszenie Betonu (Concrete Society).

Z określeniem wpływu włókien na beton wiąże się jeszcze pojęcie wytrzymałości resztkowej na zginanie  $f_R$ . Wytrzymałość resztkową  $f_R$  oznacza się zgodnie z normą PN-EN 14845-2 *Metody badania włókien w betonie – Część 2: Efekt oddziaływania na beton*, przy czym beton wykonuje się wg normy PN-EN 14845-1 *Metody badania włókien w betonie – Część 1: Betony wzorcowe*. Według tych norm wykonuje się belkę z betonu wzorcowego i włó-



— Ryc. 3. Schemat badania wytrzymałości równoważnej fibrobetonu na zginanie wg japońskiej normy JCI SF-4



— Ryc. 4. Schemat badania wytrzymałości resztkowej fibrobetonu na zginanie wg Polskiej Normy PN-EN 14845-2

► kien stalowych o przekroju 150 mm x 150 mm i rozpiętości 500 mm z naciętą szczeliną w środku rozpiętości, poddaje belkę zginaniu pod obciążeniem skupionym w środku belki.

Określenie wytrzymałości resztkowej na zginanie  $f_R$  polega na wyznaczeniu umownego naprężenia na wierzchołku karbu, o którym zakłada się, że występuje, przy liniowym rozkładzie naprężenia w środku rozpiętości belki, odpowiadającemu założonemu rozwarciu szczeliny CMOD (*Crack Mouth Opening Displacement* – rozwarcie szczeliny w belce testowej pod wpływem obciążenia). Zgodnie z normą PN-EN 14889 1 *Włókna do betonu. Część 1: Włókna stalowe. Definicje, wymagania i zgodność*, producent powinien deklarować niezbędną liczbę włókien w kg/m<sup>3</sup>, przy której beton wzorcowy z włóknami osiąga wytrzymałość resztkową na zginanie  $f_{R,0,5}$  równą 1,5 MPa przy rozwarciu szczeliny CMOD = 0,5 mm oraz wytrzymałość resztkową na zginanie  $f_{R,3,5}$  równą 1 MPa przy rozwarciu szczeliny CMOD = 3,5 mm. Znając niezbędną liczbę kg określonego

typu włókien, jaką należy dodać do betonu, aby otrzymać określone przez normę wytrzymałości resztkowe, mamy możliwość porównania efektywności różnych typów włókien.

Wytrzymałość resztkowa  $f_R$  służy zatem do porównywania efektywności różnych typów włókien, a wytrzymałość równoważna  $f_{eq,150}$  – do obliczeń statycznych posadzek fibrobetonowych. Schemat badania wytrzymałości resztkowej  $f_R$  jest pokazany na ryc. 4. Norma PN-EN 14889-1 definiuje również systemy atestacji zgodności włókien stalowych. Typ stosowanych włókien stalowych i ich liczba w m<sup>3</sup> mieszanki betonowej to bardzo ważne elementy w konstruowaniu posadzek bezspoinowych, ponieważ to właśnie one kompensują naprężenia spowodowane skurczem betonu. Zbyt słabe włókna lub ich zbyt mała ilość nie będą w stanie zapobiec spękaniu betonu osłabionemu brakiem dylatacji pozornych. Dlatego do zbrojenia posadzek bez dylatacji nacinanych stosuje się włókna o wysokiej efektywności, czyli takie, które mają smukłość co najmniej 65. Smukłość włókien świadczy o ich ilości

w kg zbrojenia i ich łącznej długości. Tabela 1 podaje ilość włókien o różnych smukłościach i ich łączną długość w kg zbrojenia. Porównując smukłość z ilością włókien i ich łączną długością w kg zbrojenia, można zauważyć prostą zależność:

- im wyższa smukłość, tym więcej włókien w kg zbrojenia i tym większa ich łączna długość,
- im wyższa smukłość, tym wyższa wytrzymałość równoważna fibrobetonu  $f_{eq,150}$ .

Jeżeli włókna stalowe mają hamować powstawanie i rozwój zarysowania betonu, to powinno być ich jak najwięcej w m<sup>3</sup> betonu, a ich łączna długość powinna być jak największa. Wybierając typ włókien stalowych do zbrojenia posadzek bezspoinowych, należy zatem kierować się ich smukłością. Znając smukłość włókna, wiemy, jaka jest jego efektywność, a stąd wiemy, w jakim stopniu nasza posadzka będzie chroniona przed spękaniem. □

**Piśmiennictwo zostanie opublikowane w cz. II artykułu**

Długość włókna l [mm]	Średnica włókna d [mm]	Klasa smukłości l/d	Liczba włókien w 1 kg [szt.]	Łączna liczba włókien w 1 kg zbrojenia [m]	Dozowanie włókien [kg/m <sup>3</sup> ]	Łączna liczba włókien zawartych w 1 m <sup>3</sup> betonu [szt.]	Łączna długość wszystkich włókien zawartych w 1 m <sup>3</sup> betonu [m]	Wytrzymałość równoważna $f_{eq,150}$ dla betonu C25/30 [MPa]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	0,62	80	8100	405	20	162 700	8100	2,3
50	0,62	80			17	137 000	6885	1,8
60	0,75	80	4800	288	35	168 000	10 080	3,3
60	0,75	80			30	144 000	8640	3,1
<b>60</b>	<b>0,75</b>	<b>80</b>			<b>25</b>	<b>120 000</b>	<b>7200</b>	<b>2,7</b>
60	0,80	75	4090	245	40	163 600	9816	3,1
60	0,80	75			35	143 150	8589	2,8
60	0,80	75			30	122 700	7362	2,5
60	0,90	65	3200	192	40	128 000	7680	3,3
60	0,90	65			35	112 000	6720	3,1
60	0,90	65			30	96 000	5760	2,8
60	1,00	60	2300	138	40	92 000	5520	3,1
60	1,00	60			35	80 500	4830	2,8
60	1,00	60			30	69 000	4140	2,6
<b>50</b>	<b>1,00</b>	<b>50</b>	<b>3150</b>	<b>158</b>	<b>40</b>	<b>124 000</b>	<b>6200</b>	<b>2,2</b>
50	1,00	50			35	110 250	5513	2,0

Tabela 1. Parametry techniczne włókien stalowych