CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY
JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE
JCEEA, t. XXXI, z. 61 (3/II/14), lipiec-wrzesień 2014, s. 489-502

Ryszard SKIBA[1]
Teresa ZYCH[2]

NOWOCZESNE MATERIAŁY I TECHNOLOGIE DO WYKONYWANIA PODŁÓG PRZEMYSŁOWYCH

W artykule przedstawiono nowoczesne rozwiązania materiałowo-technologiczne, pozwalające na wykonanie bezspoinowych (bezdylatacyjnych, beznacięciowych) podłóg przemysłowych. Metoda tradycyjna wykonania betonowych podkładów podłogowych wymaga zastosowania gęstej siatki nacięć dylatacyjnych, stanowiących zabezpieczenie przed zarysowaniami płyty betonowej, wynikającymi ze skurczu betonu, zmian temperatury itd. Niekorzystne skutki nacięć dylatacyjnych na właściwości wytrzymałościowe i użytkowe betonowej płyty podkładu zainicjowały poszukiwania rozwiązań bezdylatacyjnych. Redukcję skurczu betonu, a przez to możliwość rezygnacji z nacięć dylatacyjnych osiągnięto dzięki zastosowaniu dodatku włókien stalowych do betonu, przejmujących naprężenia rozciągające lub poprzez sprężenie betonu za pomocą kabli sprężających, które nie dopuszcza do powstawania rys skurczowych przez wprowadzenie dodatkowej siły ściskającej do przekroju. Zastosowanie włókien stalowych jako zbrojenia rozproszonego, a także sprężenia betonu jako zbrojenia aktywnego pozwala nie tylko na zabezpieczenie podkładu przed zarysowaniami skurczowymi, ale również powoduje polepszenie właściwości mechanicznych betonu, zwiększając wytrzymałość na rozciąganie, zginanie, wytrzymałość zmęczeniową, odporność na uderzenia i odporność na ścieranie. W artykule scharakteryzowano dwa rodzaje podkładów bezdylatacyjnych: fibrobetonowe i betonowe sprężone. Zaprezentowano również najczęściej stosowane technologie i materiały do wykonania posadzek bezspoinowych na podkładach betonowych: metodę DST (Dry Shake Topping) - przez utwardzanie powierzchniowe górnej warstwy wiążącego betonu za pomocą suchej posypki oraz przez wykorzystanie niskoskurczowych żywic syntetycznych. W artykule zawarto także informacje dotyczące aktualnych kierunków zastosowania bezspoinowych podkładów i posadzek przemysłowych.

Słowa kluczowe podkład bezspoinowy, posadzka bezspoinowa, podkład fibrobetonowy, podkład zbrojony aktywnie, posadzka żywiczna, włókna stalowe, żywice syntetyczne

---

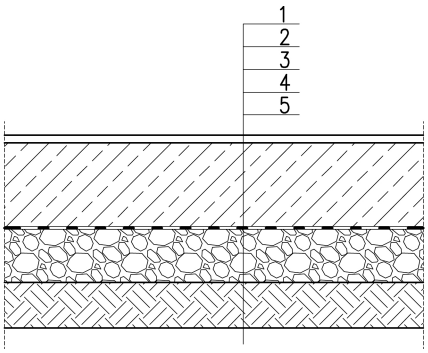
[1] Autor do korespondencji: Ryszard Skiba, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, tel. 12 628 23 06, e-mail: rskiba@pk.edu.pl.

[2] Teresa Zych, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24, tel. 12 628 21 55, e-mail: tzych@pk.edu.pl.

1. Wprowadzenie

Współczesne możliwości materiałowe i technologiczne pozwalają na wykonanie nowoczesnych podłóg, w których zarówno posadzka, jak i podkład (Rys. 1) [3, 10, 13, 18, 19] mogą być realizowane jako warstwy bezspoinowe (bezdylatacyjne, beznacięciowe [6]), czyli warstwy nie zawierające dylatacji (przeciwskurczowych /pozornych/, termicznych).

Dylatacje stanowią zabezpieczenie przed zarysowaniami posadzki/podkładu, spowodowanymi naprężeniami rozciągającymi, powstającymi m.in. w wyniku skurczu materiału posadzkowego, zmian temperatury [8, 10, 13]. Materiałem, który charakteryzuje się wysokim skurczem i często jest stosowany do wykonania podkładu (jastrychu /<hebraj.> Astryoh, <niem.> Estrich/) (elementu nośnego w konstrukcji podłogi, przenoszącego obciążenia statyczne i dynamiczne na podłoże, np. grunt) oraz pełniącego czasami także rolę posadzki (wierzchniej, użytkowej warstwy podłogi) (Rys. 1) jest beton. Ze względu na jego skurcz mogą wystąpić rysy i pęknięcia płyty podkładu.



Rys. 1. Układ warstw typowej podłogi przemysłowej: 1. posadzka, 2. płyta betonowa, 3. warstwa poślizgowa, 4. podbudowa, 5. podłoże gruntowe

Fig. 1. Layer system of typical industrial floor: 1. floor, 2. concrete slab, 3. sliding layer, 4. substructure, 5. subsoil

Jednym ze sposobów, aby nie dopuścić do zarysowania płyty betonowej, której powierzchnia w przypadku obiektów przemysłowych niejednokrotnie przekracza 20000 m^2, jest wykonanie dylatacji. Szczeliny dylatacyjne nacinane są w płycie betonowej na głębokość około 1/3 grubości płyty [10, 13], przez co występuje kontrolowane pęknięcie płyty pod nacięciem i podział płyty na pola dylatacyjne. Dylatacje pozwalają na ruch pól w poziomie, a uniemożliwiają ruch w pionie, jak również nie dopuszczają do zarysowań płyty w miejscach przypadkowych [9, 14]. Stosunek boków pola roboczego powinien być mniejszy niż 1:1,5, aby kształt pola roboczego był jak najbardziej zbliżony do kwadratu. Dylatacje najczęściej tworzą układ pól 6m x 6m (długość boku pola nie powinna przekraczać 6m) [6, 10, 12, 13, 14].

Wykonanie siatki nacięć dylatacyjnych w płycie betonowej podkładu zapobiega zarysowaniom płyty, ale skutkuje również niekorzystnym wpływem na właściwości wytrzymałościowe i użytkowe płyty [1, 12, 14, 21]. Nacięcia dylatacyjne obniżają wytrzymałość statyczną i zmęczeniową płyty. Ponadto występowanie szczelin może być przyczyną uszkodzenia powierzchni płyty. Pęknięcia i wykruszenia betonu, zlokalizowane blisko nacięć dylatacyjnych są najczęściej spowodowane przez twarde koła wózków widłowych oraz innych pojazdów transportowych. Powstałe nierówności posadzki prowadzą do szybszego zużycia kół pojazdów transportowych i mniejszego komfortu pracy wózków widłowych. Powodem niszczenia krawędzi dylatacji jest także podnoszenie się naroży płyt, spowodowane zjawiskiem paczenia się (wygięcia) płyt (<ang.> "curling") (gdy wysychanie betonu nie jest jednakowe) oraz niewielkie przemieszczenia betonowych płyt, zwane "klawiszowaniem". Zniszczenie posadzki może być również spowodowane nieprawidłowym ustawieniem (na krawędzi bądź w narożniku naciętej płyty) słupów regałów wysokiego składowania, które zazwyczaj są mocno obciążone. Kolejnym problemem w przypadku posadzek dylatowanych jest utrzymanie czystości powierzchni wokół i w dylatacjach. Niekorzystny wpływ nacięć dylatacyjnych na cechy wytrzymałościowe i wygląd betonowych płyt podkładów/posadzek jest od kilkunastu lat powodem poszukiwania możliwości maksymalnego zwiększenia rozpiętości płyt.

Uzyskanie płyty wielkopowierzchniowej z betonu bez dylatacyjnych szczelin przeciwskurczowych (pozornych) i termicznych, czyli posadzki bezspoinowej (bezdylatacyjnej, beznacięciowej) jest możliwe przez modyfikację składu betonu, rozumianej przez zastosowanie dodatków i domieszek, np. włókien stalowych jako zbrojenia rozproszonego, superplastyfikatorów, itd., lub zmianę technologii jego wykonania, np. sprężenie betonu za pomocą kabli sprężających, czyli zastosowanie zbrojenia aktywnego betonu, prowadzących do redukcji skurczu betonu. Dylatacje obwodowe i konstrukcyjne muszą być zachowane. Włókna stalowe, charakteryzujące się wysoką wytrzymałością na rozciąganie (powyżej 1000 MPa) i wysokim modułem sprężystości (200 GPa), których zadaniem jest przejęcie naprężeń rozciągających w kruchym betonie, nie tylko zabezpieczają beton przed zarysowaniem skurczowym, ale także powodują polepszenie właściwości mechanicznych betonu, zwiększając wytrzymałość na rozciąganie, zginanie, wytrzymałość zmęczeniową, odporność na uderzenia, odporność na ścieranie [6, 20, 21]. Sprężenie betonu za pomocą kabli sprężających, poprzez wprowadzenie dodatkowej siły ściskającej do przekroju nie dopuszcza do powstawania rys skurczowych, jak również zamyka rysy powstałe w wyniku chwilowego przeciążenia przekroju.

Korzystne właściwości betonu zbrojonego włóknami stalowymi oraz betonu zbrojonego aktywnie pozwalają na zastosowanie tych materiałów do wykonania bezdylatacyjnych podkładów/posadzek betonowych w wielkopowierzchniowych obiektach różnego przeznaczenia (o powierzchniach niejednokrotnie przekraczających 20000 m^2): obiektach przemysłowych (halach produkcyjnych,

magazynach wysokiego składowania z intensywnym ruchem wózków, itd.), obiektach sportowych i użyteczności publicznej (np. galeriach handlowych), itd. Płyty fibrobetonowe oraz sprężone spełniają wysokie wymagania dla podłóg przemysłowych odnośnie do płaskości powierzchni, dużej wytrzymałości statycznej i odporności na obciążenia dynamiczne (głównie typu udarowego).

Współcześnie płyty bezdylatacyjne z fibrobetonu wykonuje się o powierzchniach do 2500 m^2 (50m x 50m) (Rys. 2) [20, 21, 22], a płyty betonowe sprężane nie wymagają żadnych nacięć dylatacyjnych nawet na powierzchniach do 10000 m^2 [9]. Kilka lat temu powierzchnie monolitycznych płyt bezdylatacyjnych były znacznie mniejsze [17].

Wymagania dla podłóg przemysłowych dotyczące małej ścieralności, odpowiedniej szorstkości, odporności na chemikalia i duże gradienty temperatury powinna zapewnić posadzka, czyli ostatnia, wierzchnia warstwa podłogi, wykonywana na podkładzie (por. Rys. 1). Współcześnie do najczęściej stosowanych rodzajów posadzek przemysłowych należą: posadzka utworzona w górnej warstwie podkładu betonowego przez utwardzanie powierzchniowe betonu za pomocą posypki (produktu handlowego na bazie cementu, wypełniaczy syntetycznych, domieszek i pigmentów), czyli posadzka otrzymywana metodą DST (<ang.> Dry Shake Topping) [1, 2] oraz bezdylatacyjna posadzka żywiczna, złożona z kilku warstw żywic syntetycznych, o składzie projektowanym ze względu na wymagane właściwości posadzki, np. o dużej elastyczności i wytrzymałości, dużej odporności chemicznej, zdolności odprowadzania ładunków elektrostatycznych [15].

W artykule przedstawiono nowoczesne rozwiązania materiałowo-technologiczne stosowane przy wykonywaniu podłóg przemysłowych. Zaprezentowano bezdylatacyjne podkłady (fibrobetonowe /zbrojone włóknami stalowymi/ lub z betonu sprężonego /zbrojone aktywnie/) oraz posadzki (otrzymywane przez powierzchniowe utwardzanie podkładów betonowych oraz żywiczne warstwowe), które najczęściej wchodzą w skład podłóg przemysłowych realizowanych współcześnie.

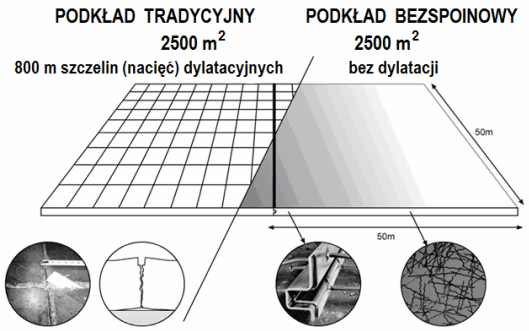
2. Podkłady betonowe bezspoinowe

2.1. Podkłady podłogowe fibrobetonowe

W celu redukcji skurczu w płycie betonowej (podkładzie) i nie dopuszczenia do tworzenia się rys oraz pęknięć można wykonać szczeliny dylatacyjne. Współcześnie, dla uniknięcia cięć dylatacyjnych w powierzchni płyty betonowej, stosowany jest beton z dodatkiem włókien stalowych, których zadaniem jest przejęcie naprężeń rozciągających w kruchym materiale. Jeżeli ilość dodanych włókien jest niewielka, efekt ograniczenia skurczu jest mały, bowiem większość zaczynu kurczy się swobodnie [12]. Włókna stalowe stosowane są jako dodatek do betonu nie tylko ze względu na zdolność do zabezpieczenia

betonu przed zarysowaniem skurczowym (co mogą zapewnić włókna polimerowe, np. włókna polipropylenowe [1]), ale także ze względu na możliwość polepszenia właściwości mechanicznych betonu. Włókna stalowe, charakteryzujące się wysoką wytrzymałością na rozciąganie (powyżej 1000 MPa) i wysokim modułem sprężystości (200 GPa) zwiększają wytrzymałość na rozciąganie, zginanie, wytrzymałość zmęczeniową, odporność na uderzenia, odporność na ścieranie [6, 20, 21]. Czasami jako uzbrojenie włókniste płyty stosowane są włókna hybrydowe, czyli włókna różnych rodzajów (najczęściej włókna stalowe wraz z polipropylenowymi) [6].

Włókna dozowane są do betonu w zależności od obciążeń oraz wielkości pola roboczego. Typowa ilość dodawanych włókien stalowych wynosi od 25kg/m^2 do 50kg/m^2 [6, 12, 20, 21]. Wymiary pola roboczego zależą od rozstawu słupów, kształtu posadzki, możliwości ułożenia pola roboczego w ciągu jednego dnia (nieprzerwanego dostarczenia mieszanki betonowej przez wytwórcę), itd. Wielkość powierzchni pola roboczego (wykonania płyty bez potrzeby nacinania szczelin przeciwskurczowych) niejednokrotnie w obecnych realizacjach wynosi 2500m^2 (50m x 50m) (Rys. 2) [6, 20, 22].



Rys. 2. Podkład ze szczelinami dylatacyjnymi i bezspoinowy [22]

Fig. 2. Screed with joints and jointless [22]

Ponieważ kształt włókien powinien zapewnić dobre zakotwienie włókien w matrycy cementowej, to najczęściej stosowane są włókna zakończone haczykami [6, 12, 16]. Włókna stalowe często charakteryzują się także wysoką smukłością (stosunkiem długości włókna do jego średnicy), wynoszącą minimum 65, która gwarantuje "zszycie" różnej wielkości pęknięć przez włókna. Aby umożliwić równomierne rozmieszczenie włókien w mieszance betonowej i nie dopuścić do powstania "jeży" (zbitych skupisk włókien), włókna (produkowane przez niektórych producentów) klejone są w pasma klejem rozpuszczalnym w wodzie [20].

Beton stosowany do wykonania płyty fibrobetonowej jest betonem towarowym, o klasie co najmniej C25/30. Współczynnik w/c powinien być nie

większy od 0,5, a ilość cementu 300–360 kg/m^3 [10, 16, 21]. Konieczne jest także zastosowanie superplastyfikatora, aby zapewnić odpowiednią konsystencję mieszanki betonowej zawierającej włókna stalowe, pogarszające urabialność.

Podkład podłogowy betonowy bezspoinowy powinien być wykonany jako podkład pływający, czyli mający możliwość swobodnego przesuwu po podłożu (płyta nie może być przytwierdzona do ścian, kolumn, fundamentów) [7, 12, 21]. Dla zapewnienia poślizgu płyty należy ułożyć na podłożu dwie warstwy folii budowlanej o grubości co najmniej 0,2 mm [14, 16]. Grubość płyty powinna wynosić co najmniej 180 mm, nawet jeśli z obliczeń statycznych otrzymywana jest wartość mniejsza. Grubość ta wynika z wymagań dotyczących sztywności płyty, tj. stosunku jej grubości do wymiarów pola roboczego. Brak sztywności płyty powoduje podnoszenie się naroży pola, co w konsekwencji prowadzi do ich spękań. W miejscach, gdzie płyta ma tendencje do pękania (np. w narożach, wokół słupów) należy dozbroić ją dodatkowo siatkami lub/i prętami stalowymi [21]. Poprawne wykonanie płyty jest szczególnie istotne. Niedopuszczalne są przerwy w dostawie mieszanki betonowej, niedostateczna jakość betonu i włókien oraz brak pielęgnacji betonu (koniecznej z uwagi na jego skurcz), ponieważ wtedy posadzka może zdylatować się sama.

2.2. Podkłady podłogowe betonowe zbrojone aktywnie (sprężone)

Jedną z metod uzyskania bezdylatacyjnej posadzki betonowej jest wykorzystanie technologii betonu sprężonego [9]. W odróżnieniu od zbrojenia włóknami stalowymi lub siatkami, które zapobiega powstawaniu rys oraz ogranicza ich rozwarcie, sprężenie, poprzez wprowadzenie dodatkowej siły ściskającej do przekroju, nie tylko nie dopuszcza do powstawania rys skurczowych, ale także zamyka rysy powstałe w wyniku chwilowego przeciążenia przekroju. Dzięki zastosowaniu warstwy poślizgowej pomiędzy podłożem a podkładem oraz wstępnego sprężenia skurcz betonu nie jest tak istotnym zagadnieniem, jak w płytach zbrojonych tradycyjnie.

Wstępne sprężanie należy wykonać w momencie uzyskania przez beton wytrzymałości na ściskanie 8–10 MPa, a sprężanie ostateczne (drugi naciąg kabli sprężających), gdy beton posiada wytrzymałość na ściskanie minimum 30 MPa (sploty kabli naciągane są do docelowej siły sprężającej, pozwalającej na uzyskanie przez płytę projektowanej wytrzymałości) [9].

Metody projektowania oraz zasadnicze etapy wykonania bezdylatacyjnych posadzek zbrojonych aktywnie są analogiczne do prac prowadzonych w przypadku posadzek zbrojonych tradycyjnie.

Płyty betonowe sprężane nie wymagają żadnych nacięć dylatacyjnych (nawet na powierzchniach do 10000 m^2 [9]), co efektywnie skraca ostatnią fazę prac. Maksymalną powierzchnię wykonania podkładu sprężonego zazwyczaj ograniczają możliwości ciągłego układania mieszanki przez wykonawcę oraz

realizacji koniecznych dylatacji, wynikających z funkcji budynku lub przyjętego harmonogramu prac. Rozmieszczenie tych dylatacji jest zawsze poprzedzone analizą wielkości skurczu końcowego.

Płyty betonowe sprężane mają większą wytrzymałość na rozciąganie oraz są w stanie przenosić bez zarysowania większe obciążenia skupione w stosunku do płyt zbrojonych konwencjonalnie, co daje możliwość optymalizacji grubości płyty. Ponadto są one szczelniejsze, odporniejsze na ścieranie oraz lepiej pracują przy przenoszeniu cyklicznych obciążeń przemysłowych [9].

3. Posadzki bezspoinowe

3.1. Posadzki otrzymywane przez powierzchniowe utwardzanie podkładów betonowych

Do wykonania warstwy posadzkowej w górnej warstwie betonowego podkładu stosowane są następujące metody: utwardzanie powierzchni w fazie wiązania betonu przez stosowanie preparatów proszkowych lub ciekłych, impregnacja lub utwardzanie powierzchniowe stwardniałego betonu, itd.

Metodą najczęściej wykorzystywaną jest metoda utwardzania powierzchniowego w fazie wiązania betonu − DST (Dry Shake Topping) [1, 2, 10, 11]. W metodzie DST warstwa utwardzona, stanowiąca posadzkę powinna być związana z betonem podkładu i przylegać do podkładu całą powierzchnią. Do utworzenia takiej warstwy stosuje się suche posypki (utwardzacze powierzchniowe) dozowane w ilościach około 4–5kg/m^2 lub większych, w zależności od zaleceń producenta i wymagań technicznych dla posadzki (stawianych w projekcie). Posypki te są zazwyczaj gotowymi do użycia mieszankami na bazie cementu, wypełniaczy syntetycznych, domieszek i pigmentów, o składzie zapewniającym odpowiednią urabialność i odporność mechaniczną, które po naniesieniu wnikają kilka milimetrów w powierzchnię betonu, wchodząc także w reakcję ze składnikami cementu. W trakcie zacierania i wygładzania mechanicznego dochodzi do utworzenia powierzchni o dużej twardości i odporności na ścieranie. Dodatkowymi zaletami tego procesu jest zmniejszenie nasiąkliwości posadzki, wyeliminowanie pylenia oraz łatwość utrzymania czystości [1, 2].

3.2. Posadzki żywiczne wielowarstwowe

Współcześnie stosowane bezdylatacyjne posadzki żywiczne są wielowarstwowymi systemami. Różnorodność wymagań stawianych posadzkom żywicznym oraz zmienność właściwości żywic powodują, że posadzka składa się nie z jednej, ale kilku warstw. Wykorzystując najlepsze cechy różnych rodzajów żywic syntetycznych uzyskuje się posadzki o wymaganych właściwościach, np. elastyczne o dużej wytrzymałości, odprowadzające ładunki elektrostatyczne, o dużej odporności chemicznej. Właściwości użytkowe posadzek zależą od

właściwości spoiw (żywic syntetycznych), rodzaju oraz zawartości dodatków (wypełniacza mineralnego, pigmentu, itd.).

Jako spoiwo używane są żywice epoksydowe (EP), poliuretanowe (PU), akrylowe (AC), polimetakrylan metylu (PMM) (Tab. 1) [1, 3].

Najczęściej stosowanymi posadzkami żywicznymi są posadzki na bazie żywic epoksydowych i poliuretanowych. Wykonanie posadzek bezspoinowych z tych materiałów jest możliwe, ponieważ wysokowypełnione kruszywem żywice epoksydowe oraz poliuretanowe charakteryzują się małym skurczem utwardzania oraz niewielkim współczynnikiem rozszerzalności cieplnej (skurcz liniowy w przypadku żywic epoksydowych: 0,2–0,4%, żywic poliuretanowych: 0,2–0,3%; dla porównania: w przypadku metakrylanu metylu: 2–3% [14]). Ponadto zarówno żywice epoksydowe, jak i poliuretanowe posiadają inne korzystne cechy użytkowe: wysoką odporność mechaniczną oraz chemiczną.

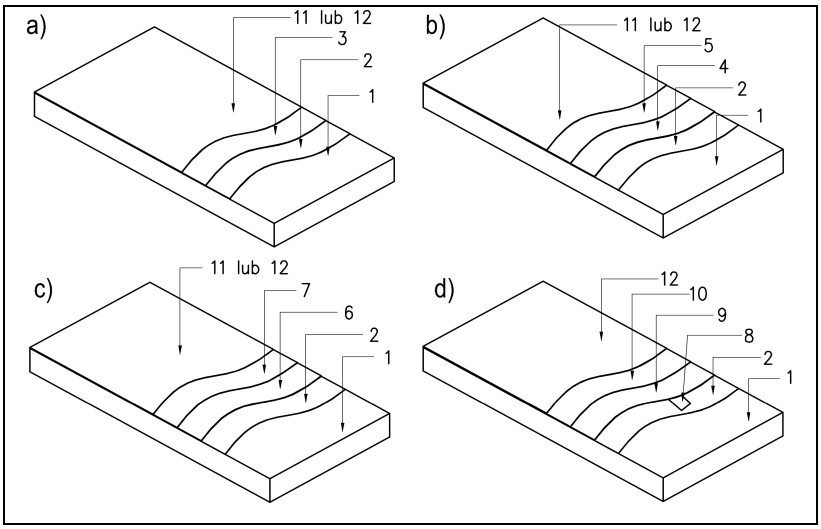
Ale oprócz podobieństw, występują także różnice we właściwościach żywic. Żywice epoksydowe tworzą powłoki sztywne, natomiast żywice poliuretanowe dają możliwość uzyskania posadzek elastycznych, o zdolności mostkowania rys podłoża. Żywice epoksydowe, w porównaniu do żywic poliuretanowych, charakteryzują się większą odpornością na ścieranie, a także mniejszą wrażliwością na wilgotność resztkową podłoża i wilgotność powietrza podczas wykonywania powłoki. Natomiast pozytywnymi cechami żywic poliuretanowych jest duża odporność na uderzenia (nawet w niskich temperaturach) oraz na starzenie (są niewrażliwe na promieniowanie UV) [1]. Wykorzystując najlepsze właściwości każdej z żywic tworzone są systemy wielowarstwowych posadzek bezspoinowych. Sztywne i kruche żywice epoksydowe są uelastyczniane żywicami poliuretanowymi, tworząc materiały epoksydowo-poliuretanowe.

Typ i grubość posadzki dobiera się ze względu na wielkość i rodzaj obciążeń oraz inne wymagane cechy (np. chemoodporność). Grubość posadzek żywicznych nie powinna być mniejsza od 2,5mm, ponieważ w przypadku cienkich posadzek zarysowania i szczeliny dylatacyjne podkładu mogą być widoczne na powierzchni posadzki, powodując obniżenie jej estetyki.

Tabela 1. Klasyfikacja posadzek żywicznych na podstawie zaleceń FeRFA (The Resin Floor Association) i BS 8204-6, na podstawie [1], [3]

Table 1. Classification of resin floors based on the recommendation of FeRFA (The Resin Floor Association) and BS 8204-6, based on [1], [3]

Grubość	**Rodzaj posadzki / charakterystyka**	**Żywica**	**Użytkowanie / zakres temperatur**
< 0,15 mm	impregnująca/ uszczelniająca; rozpuszczalnikowa lub emulsja wodna	PU, EP, AC	poprawa czystości powierzchni betonowej w wyniku uszczelnienia, przeciwdziałanie pyleniu betonu; częste przemalowywanie, możliwa śliskość powierzchni / do 40°C
0,15–0,3 mm	cienkopowłokowa/ 1÷2 warstwowa, bezrozpuszczalnikowa, ale również w wersji rozpuszczalnikowej i wodnej	PU, EP, AC	uszczelnienie i łatwość utrzymania powierzchni w czystości; śliskość gładkiej powierzchni, którą można zredukować przez zmatowienie lub posypkę kwarcową; nieodczuwalna poprawa odporności na uderzenia; zastosowanie: obiekty handlowe, przemysł lekki / do 40°C
0,3–1 mm	powłokowa/ 1÷2 warstwowa, w zasadzie bezrozpuszczalnikowa	PU, EP, PMM	gładka, szczelna powierzchnia, łatwo zmywalna; śliskość powierzchni, którą można zredukować przez zmatowienie lub posypkę kwarcową; dostępne wersje antyelektrostatyczne; zastosowanie: laboratoria, magazyny, miejsca użyteczności publicznej / od -5 do 40°C
> 2 mm	wielowarstwowa/ malowana lub wylewana; warstwy z posypkami z kruszyw między warstwami żywicy	PU, EP, PMM	łatwość utrzymania w czystości zależna od tekstury powierzchni; dostępne wersje antyelektrostatyczne, antypoślizgowe; ograniczenia w stosowaniu w warunkach stałego zawilgocenia; dobra odporność na ścieranie, obciążenia udarowe i krótkotrwałe zanieczyszczenia chemikaliami / od -5 do 40°C
2–3 mm	wylewana/ samopoziomująca, o gładkiej powierzchni	PU, EP, PMM	możliwość zachowania wysokich standardów czystości; śliskość powierzchni, którą można zredukować przez zmatowienie lub posypkę kwarcową; dostępne wersje antyelektrostatyczne; bardzo dobra odporność na chemikalia i obciążenia udarowe / od -5 do 40°C
> 4 mm	wysokowypełniona zacierana/ o wysokim stopniu wypełnienia kruszywem, często powierzchniowo doszczelniana, aby zmniejszyć porowatość	PU, EP	łatwość utrzymania w czystości, gdy powierzchnia jest doszczelniona żywicą; średnia lub dobra odporność na poślizg; dostępne w wersji antyelektrostatycznej; zastosowanie: hale produkcyjne, warsztaty o suchym procesie produkcyjnym / od 0 do 40°C
4–6 mm	wysokowypełniona o wysokiej wytrzymałości/ samorozlewna z gładką powierzchnią	PU, EP, PMM	duża łatwość utrzymania powierzchni w czystości; śliskość gładkiej powierzchni, którą można zredukować przez zmatowienie lub posypkę kwarcową; dostępne w wersji antyelektrostatycznej; bardzo dobra odporność na uderzenia i chemikalia / od -10 do 60°C
> 6 mm	wysokowypełniona o wysokiej wytrzymałości, zacierana/ o podwyższonej szczelności i odporności ze względu na większą grubość	PU, EP	bardzo dobra odporność mechaniczna i chemiczna; bardzo duża łatwość utrzymania powierzchni w czystości, zalecane w obiektach przemysłu chemicznego i spożywczego; dostępne w wersji antyelektrostatycznej; z możliwością czyszczenia przegrzaną parą wodną i podwyższonym w porównaniu do podanego zakresem temperatur użytkowania (zależnie od grubości) / 6mm: od -20 do 70°C; 9mm: od -20 do 100°C



Rys. 3. Posadzki żywiczne - przykłady uwarstwień: (a) posadzka ze sztywnych żywic epoksydowych, (b) elastyczna posadzka poliuretanowa przekrywająca rysy, (c) posadzka o dużej odporności chemicznej, (d) posadzka odprowadzająca ładunki elektostatyczne; (1) podłoże, (2) warstwa gruntująca (pozostałe oznaczenia w tekście).

Fig. 3. Resin floors - the examples of layering: (a) floor of the rigid epoxy resins, (b) flexible polyurethane floor covering cracks, (c) floor with high chemical resistance, (d) electrostatically discharging floor; (1) support, (2) primer (other symbols in the text).

Przykłady bezspoinowych wielowarstwowych posadzek żywicznych (przedstawione poniżej) zilustrowano na Rys. 3:

a) posadzki ze sztywnych żywic epoksydowych (Rys. 3a):
- warstwa samorozlewnej żywicy epoksydowej gr. 2–3 mm (3),
- warstwa wykończeniowa (zamykająca) wykonana z żywicy syntetycznej, np. z dodatkiem pigmentu w celu podniesienia walorów estetycznych (11)

b) elastyczne posadzki poliuretanowe przekrywające rysy (Rys. 3b):
- warstwa membrany z elastycznej żywicy poliuretanowej grubości ok. 1,5 mm (4),
- warstwa ze sztywniejszej żywicy poliuretanowej lub epoksydowej grubości 1,5–2 mm (5)

c) posadzki o dużej odporności chemicznej (Rys. 3c):
- warstwa membrany z żywicy poliuretanowo-epoksydowej bądź poliuretanowej grubości ok. 1,5 mm (6),
- sztywna warstwa żywicy epoksydowej grubości 1,5–2 mm o dużej odporności chemicznej (7)

d) posadzki odprowadzające ładunki elektrostatyczne (Rys. 3d)
- samoprzylepna taśma miedziana (8),
- warstwa żywicy przewodzącej (9),

- wierzchnia warstwy żywicy (np. epoksydowej z zawartością włókien węglowych) o odpowiedniej grubości, pozwalającej na uzyskanie oporności posadzki R<106 Ohma (10),
- warstwa antypoślizgowa (12).

Antypoślizgowość warstwy wykończeniowej można uzyskać poprzez wykonanie posypki (z piasku kwarcowego lub korundowego o uziarnieniu 0,6-1,2mm) na świeżo wylaną żywicę. Po związaniu i usunięciu nadmiaru piasku wymagane jest nałożenie jeszcze jednej warstwy żywicznej zamykającej (np. poliuretanowej, odpornej na promieniowanie UV).
W przypadku antypoślizgowych posadzek odprowadzających ładunki elektrostatyczne piasek oraz żywica użyta do warstwy zamykającej powinny przewodzić ładunki elektrostatyczne.
Szczelność bezspoinowych posadzek żywicznych wynika nie tylko z braku szczelin dylatacyjnych, ale także z wannowego wykończenia przyściennego.

Aby zachować trwałość posadzki żywicznej, wymagane jest prawidłowe wykonanie podkładu. Niewłaściwie przygotowany podkład, na którym układana jest posadzka jest powodem wielu uszkodzeń posadzek żywicznych, a w szczególności pęcherzy, odspojeń, wytarć i zarysowań. Wymagania dla najczęściej stosowanego podkładu - podkładu betonowego dotyczą wilgotności (maksimum 4% masowo), wytrzymałości na ściskanie (minimum 25MPa), wytrzymałości na odrywanie mierzonej metodą „pull-off" (powyżej 1,5MPa), czystości (braku luźnych frakcji, mleczka cementowego), odpowiedniej chropowatości powierzchni [16]. W przypadku dylatowanego podkładu dylatacje skurczowe powinny być wypełnione kitem uszczelniającym (np. na bazie żywicy poliuretanowej), aby uzyskać równą powierzchnię, wolną od szczelin i rys.

4. Podsumowanie

W ostatnich latach zastosowanie podłóg (posadzek) bezspoinowych staje się coraz powszechniejsze w wielu krajach europejskich (także w Polsce). Posadzki bezspoinowe zalecane są w przypadku, gdy występują wysokie wymagania dotyczące płaskości powierzchni posadzki, przenoszenia dużych obciążeń statycznych (np. regałami), jak i ruchem.

Ponieważ przy wyborze technologii wykonania podłogi należy brać pod uwagę użyteczność, koszty wykonania i utrzymania, a także okres użytkowania, to wybór podłogi (podkładu/posadzki) betonowej beznacięciowej jest korzystniejszy niż dylatowanej ze względu na następujące zalety podłogi bez dylatacji:

- brak pęknięć i paczenia płyt oraz uszkodzeń w rejonie krawędzi spoiny dylatacyjnej, a przez to większa trwałość posadzki oraz obniżenie kosztów utrzymania obiektu,
- brak uszkodzeń wózków widłowych, występujących w przypadku złego stanu technicznego posadzki (spowodowanego np. nierównościami blisko krawędzi

nacięć dylatacyjnych), a przez to obniżenie kosztów eksploatacji sprzętu,
- możliwość uzyskania łatwej w utrzymaniu czystości (ze względu na brak dylatacji), płaskiej i estetycznej powierzchni,
- większa swoboda w zagospodarowaniu powierzchni (np. w ułożeniu regałów w magazynach wysokiego składowania).

Dzięki tym cechom bezdylatacyjne podkłady/posadzki betonowe znajdują szerokie zastosowanie w obiektach przemysłowych (halach produkcyjnych, magazynach wysokiego składowania z intensywnym ruchem wózków, itd.), obiektach sportowych i użyteczności publicznej (np. galeriach handlowych), itd. Podkłady betonowe bezdylatacyjne wykonywane są najczęściej jako płyty fibrobetonowe z włóknami stalowymi lub płyty z betonu sprężonego (zbrojone aktywnie), choć także, ze względu na niższe koszty, jako płyty zbrojone tradycyjnie, bądź w sposób mieszany (np. włóknami i siatkami). Płyty zbrojone aktywnie są rozpowszechnione w Niemczech, Francji, Holandii [9].

Posadzkę w przypadku podkładów betonowych bezdylatacyjnych stanowi zazwyczaj albo wielowarstwowa posadzka żywiczna bezdylatacyjna, albo warstwa powstała w górnej części podkładu betonowego przez utwardzanie powierzchniowe betonu za pomocą posypki. Posadzki żywiczne są chętnie stosowane, ponieważ oprócz wysokiej odporności mechanicznej i chemicznej zapewniają także możliwość indywidualnego doboru kolorystyki oraz utrzymania wysokich standardów czystości. Posadzki o grubości powyżej 4mm (o szerokim zakresie temperatury użytkowania (patrz Tab. 1)) znajdują zastosowanie w halach i magazynach, w których występują średnie i duże obciążenia, w przemyśle spożywczym i chemicznym oraz w miejscach, gdzie wymagane jest czyszczenie powierzchni przegrzaną parą wodną lub zabezpieczenie przed przedostaniem się substancji szkodliwych do środowiska zewnętrznego. Posadzki antypoślizgowe, elektrostatyczne wykonywane są w obiektach użyteczności publicznej i służby zdrowia, laboratoriach oraz miejscach zagrożonych wybuchem.

Mimo, że wykonywanie podkładów i posadzek bez nacięć dylatacyjnych nie jest nowym rozwiązaniem i stosowane jest już od kilkunastu lat [6, 9, 11, 12, 16, 17], to wciąż nowe możliwości materiałowe (nowej generacji włókna do betonu oraz produkty chemii budowlanej, np. żywice syntetyczne, superplastyfikatory) i technologiczne pozwalają na ciągłą modyfikację rozwiązań podłogowych w obiektach przemysłowych.

Literatura

[1] Chmielewska B.: Rozwiązania materiałowo-technologiczne posadzek przemysłowych, I Seminarium Naukowo-Techniczne "Podłogi Przemysłowe", Warszawa, 25.10.2007, s. 58–63.

[2] Chmielewska B., Adamczewski G.: Wady i naprawy posadzek przemysłowych utwardzanych powierzchniowo, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna "Awarie Budowlane 2013", Szczecin-Międzyzdroje, 21–24.05.2013, s. 777–786.

[3] Chmielewska B., Czarnecki L.: Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych, Materiały Budowlane, nr 2, 2012, s. 5–9.
[4] Czarnecki L.: Posadzki przemysłowe − temat stale aktualny, Materiały Budowlane, nr 9, 2008, s. 2–4.
[5] Czarnecki L.: Uszkodzenia i naprawy posadzek przemysłowych, Materiały Budowlane, nr 9, 2008, s. 20–27.
[6] Glinicki M.A., Chibowski T.: Fibrobetonowe posadzki bezspoinowe − obliczanie i przykłady realizacji, II Seminarium Naukowo-Techniczne "Podłogi Przemysłowe", Warszawa, 6.10.2009, s. 41–48.
[7] Grzegorek T.: Przygotowanie podłoża pod posadzki, Materiały Budowlane, nr 9, 2008, s. 45, 114.
[8] Kiernożycki W., Lipski M.: Przerwy dylatacyjne w konstrukcjach żelbetowych, Przegląd Budowlany, nr 12, 2006, s. 33–44.
[9] Masłowski D.: Aktywnie zbrojone, bezdylatacyjne posadzki betonowe, I Seminarium Naukowo-Techniczne "Podłogi Przemysłowe", Warszawa, 25.10.2007, s. 91–94.
[10] Nowacki A.: Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych − Roboty wykończeniowe − Posadzki betonowe utwardzone powierzchniowo preparatami proszkowymi, Część B, Zeszyt 8 (Instrukcja ITB nr 433/2010), Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2010.
[11] Pająk Z.: Kształtowanie i konstrukcja współczesnych betonowych posadzek przemysłowych, III Konferencja Naukowa "Problemy Współczesnej Architektury i Budownictwa" ("ARCHBUD"), Zakopane, 7–10.09.2010, Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania, Warszawa, s. 225–236.
[12] Pepin R., Leinen R., Przybysz W., Nell W.: Doświadczenia w planowaniu i projektowaniu podłóg bezspoinowych metodą TAB-Floor, III Seminarium Naukowo-Techniczne "Podłogi Przemysłowe", Warszawa, 7.11.2011, s. 44–54.
[13] Sokalska A., Ściślewski Z., Suchan M.: Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych − Roboty wykończeniowe − Posadzki mineralne i żywiczne, Część B, Zeszyt 3, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 2012.
[14] Wolski Z.: Parkieciarz − Podstawy wiedzy i praktyki zawodowej, Stowarzyszenie "Parkieciarze Polscy", Warszawa, 2007.
[15] Zając G.: Nowoczesne posadzki żywiczne, Builder, nr 10, 2010.
[16] Zając G.: Podkłady betonowe pod bezspoinowe posadzki żywiczne w halach przemysłowych, Nowoczesne Hale, nr 2, 2010, s. 31–32, 34.
[17] Betonowe posadzki bezspoinowe zbrojone włóknem stalowym Dramix, Materiały Budowlane, nr 9, 2000, s. 52–53.
[18] PN-EN 13318:2002 Podkłady betonowe oraz materiały do ich wykonania − Terminologia.
[19] PN-EN 13813:2003 Podkłady betonowe oraz materiały do ich wykonania − Materiały − Właściwości i wymagania.
[20] http://www.bekaert.com [dostęp: 5 maja 2014r.].
[21] http://www.constructalia.com [dostęp: 5 maja 2014r.].
[22] http://warehousenews.co.uk/2013/02/twintec-jointless-flooring-specialists-at-imhx/ [dostęp: 5 maja 2014r.].

MODERN MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR INDUSTRIAL FLOOR CONSTRUCTION

S u m m a r y

Modern material and technological solutions that allow to construct jointless (seamless) industrial floors are presented in the paper. The traditional method of concrete subfloors implementation requires the application of dense grid of joint cuts, being the protection against cracking of a concrete slab, resulting from the shrinkage of concrete, temperature changes, etc. The negative effects of joint cuts on the strength and functional properties of a concrete screed slab have led to search for jointless solutions. The reduction of the shrinkage of concrete, and thus the opportunity to resign from joint cuts have been achieved by the application of the addition of steel fibres to the concrete matrix, taking over the tensile stresses or by the compression of concrete by prestressing cables, that prevents the formation of shrinkage cracks by the insertion of an additional compressive force into the section. The use of steel fibers as a distributed reinforcement, as well as the prestressing of concrete as an active reinforcement not only allows to protect a screed against cracking, but it also results in the improvement of the mechanical properties of concrete, increasing tensile strength, flexural fatigue strength, impact resistance and resistance to abrasion.

Two types of jointless screeds: fibre reinforced concrete and prestressed concrete ones are characterized in the paper. The most commonly used technologies and materials for the jointless floors on concrete screeds: DST method (Dry Shake Topping) – by the surface hardening of the top layer of setting concrete with dry chippings and by the application of low shrinkage synthetic resins are presented.

The information concerning current trends of the application of jointless industrial floors and screeds is also included in the paper.

Keywords: jointless screed, jointless floor, fibre reinforced concrete screed, actively reinforced screed, resin floor, steel fibres, synthetic resins.

DOI:10.7862/rb.2014.115

Przesłano do redakcji: 02.12.2014 r.
Przyjęto do druku: 22.12.2014 r.