

TECHNOLOGIA WYKONANIA POSADZKI BEZSPOINOWEJ W MAGAZYNIE LOGISTYCZNYM

KRZYSZTOF FALKOWSKI, WSA W ŁOMŻY

MARTA KOSIOR-KAZBERUK, POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA

Jednym z krytycznych elementów w każdym obiekcie przemysłowym lub magazynowym jest posadzka. Jej nośność, trwałość i równość powierzchni decydują o prawidłowym przebiegu i ciągłości eksploatacji obiektu, a konieczność ewentualnych napraw może okazać się bardzo uciążliwa i kosztowna.

Szczegółowe wymagania techniczne dotyczące posadzek przemysłowych opisano w [1]. Najstańszym punktem posadzki są spoiny. Skurcz i wywijanie się krawędzi płyt tworzących posadzkę (*curling*) prowadzą do uszkodzeń krawędzi i klawiszowania płyt w miejscach połączeń. Stąd, w przypadku ciężkiego ruchu kołowego i dużych obciążeń statycznych, uzasadnione staje się konstruowanie posadzek bezspoinowych, tj. bez nacinanych szczelin skurczowych [2].

W przypadku posadzek tradycyjnych z dylatacjami pozornymi najwięcej problemów powoduje wykruszanie się dylatacji nacinanych i pionowe przemieszczanie się pól dylatacyjnych względem siebie [3]. Uszkodzenia krawędzi płyt w miejscach dylatacji nacinanych, zwykle rozmieszczonych co 6 m, są spowodowane przejazdem wózków widłowych. Zniszczone dylatacje nacinane trzeba naprawiać, a to wiąże się z wyłączeniem posadzki z użytkowania na czas naprawy. W przypadku posadzki tradycyjnej z dylatacjami pozornymi, największe naprężenia pochodzą od obciążeń przyłożonych w miejscu nacięć. Ponadto pozornie na-

cinane dylatacje, z uwagi na sposób ich wykonania (przy użyciu piły), mają ograniczoną zdolność przenoszenia obciążenia na sąsiednią płytę. Zdolność ta zależy od szerokości dylatacji i wynosi odpowiednio 80% przy 1 mm, 47% przy 3 mm i 5% przy 5 mm.

W posadzkach bezspoinowych wykonuje się tylko dylatacje konstrukcyjne oraz dylatacje izolujące płytę od konstrukcji budynku. Eliminując dylatacje nacinane redukujemy zjawisko pionowego przemieszczania się pól dylatacyjnych względem siebie. Dylatacje konstrukcyjne stosuje się w dużo większych odstępach, co ponad 30 m. Są one wykonywane z profili stalowych z dyblami i specjalnymi zabezpieczeniami krawędzi płyty przed uszkodzeniem. System płytek dyblujących zapewnia określone warunki przenoszenia obciążeń pomiędzy płytami i ogranicza klawiszowanie płyt. Brak dylatacji przeciwskurczowych jest kompensowany zwiększonym użyciem zbrojenia rozproszonego w postaci włókien stalowych [4].

Zbrojenie rozproszone ogranicza skurcz zaczynu cementowego występujący w trakcie dojrzewania betonu, redukując

liczbę powstających defektów. W trakcie eksploatacji konstrukcji zbrojenie „zszywa” rysy zapobiegając ich propagacji. Wytrzymałość betonu z dodatkiem włókien stalowych wzrasta, zwłaszcza wytrzymałość na rozciąganie bezpośrednie i rozciąganie przy zginaniu. Energia pękania betonu zbrojonego włóknami stalowymi wzrasta wielokrotnie, co istotnie zwiększa jego ciągliwość [5]. Miarę efektywności dodanych włókien stanowić może tzw. *toughness index* wg ASTM C1018-97 [6] lub *equivalent flexural strength ratio* wg JCI-SF4 [7].

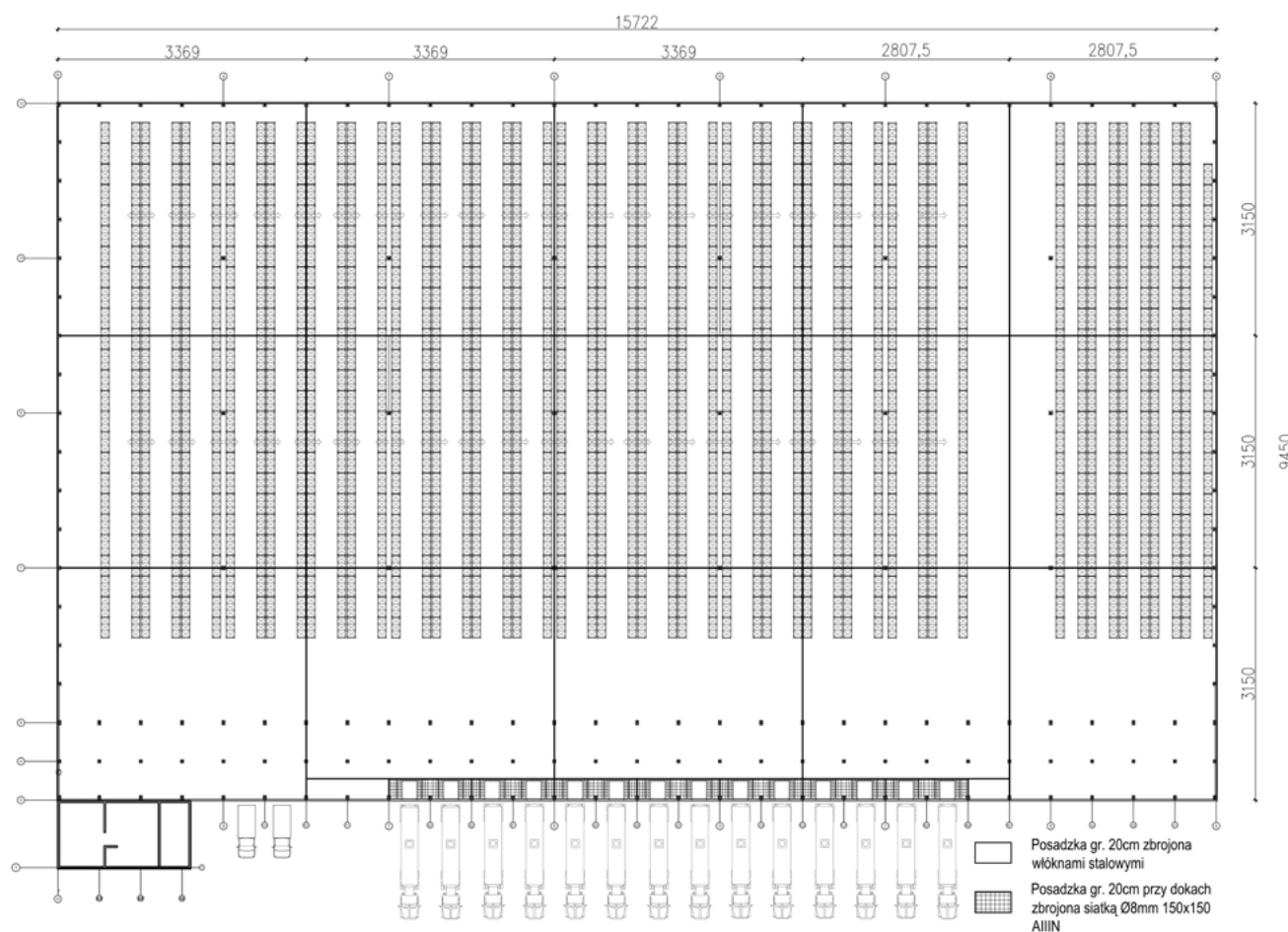
W pracy przedstawiono proces realizacji posadzki bezspoinowej o podwyższonej nośności i równości, wykonanej z betonu zbrojonego włóknami.

OPIS MAGAZYNU I WYMAGANIA TECHNICZNE DOTYCZĄCE POSADZKI

Inwestycja obejmowała budowę wielokubaturowego magazynu wysokiego składowania, powiązanego z nią funkcjonalnie budynku biurowo-socjalnego, a także wykonanie niezbędnej

infrastruktury technicznej i drogowej. Magazyn jest parterowym obiektem jednoprzestrzennym o wymiarach w skrajnych osiach konstrukcyjnych 94,50 m × 157,20 m, wysokości 15,00 m i powierzchni użytkowej równej 15 994 m². Konstrukcję wsporczą dachu stanowią stalowe dźwigary kratowe. W części frontowej magazynu zlokalizowano antresolę wykonaną z płyt strunobetonowych opartych na belkach i słupach żelbetonowych. Część antresoli jest przestrzenią użytkową przeznaczoną do składowania materiałów na specjalnych regałach obejmujących 864 miejsca paletowe na 4 poziomach. Pod antresolą zlokalizowano 14 doków załadunkowych dla samochodów TIR oraz dwie bramy dla samochodów dostawczych.

Na $\frac{1}{2}$ powierzchni magazynu zaprojektowano regały wysokiego składowania w układzie standardowym, natomiast na $\frac{1}{2}$ powierzchni zaplanowano składowanie w nowatorskim systemie z wąskimi korytarzami przeznaczonymi dla wózków z wymuszonym kierowaniem indukcyjnym. Łącznie, przewidziano 31200 miejsc paletowych na 8 poziomach (52 rzędy po 600 palet), których układ pokazano na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat magazynu logistycznego wyposażonego w regały wysokiego składowania z zaznaczonym podziałem płyt posadzki bezspoinowej

W trakcie projektowania i realizacji obiektu, najtrudniejszym elementem była posadzka hali ze względu na oddziałujące na nią podwyższone obciążenia od regałów wysokiego składowania, a także ze względu na obostrzone wymagania dotyczące równości całej powierzchni, a szczególnie w wąskich korytarzach, przeznaczonych do poruszania się wózków z wymuszonym kie-

rowaniem indukcyjnym. Wymagania te sformułowano w normie DIN 18202 [8] w odniesieniu do posadzek o podwyższonym standardzie oraz w normie DIN 15185 [9] dla wąskich korytarzy. Zestawienie dopuszczalnych różnic rzędnych pomiędzy punktami pomiarowymi w trakcie kontroli równości, według powyższych norm, podano w Tab. 1.

Tab.1. Dopuszczalne różnice rzędnych pomiędzy punktami pomiarowymi w odniesieniu do posadzek o podwyższonym standardzie wg DIN 18 202 [8] i w wąskich korytarzach w poprzek i wzdłuż toru jazdy wg DIN 15 185 [9] przy wys. podnoszenia >6,0 m.

Norma	Odległość między punktami pomiarowymi [m]								
	0,1	1	1,5	2	3	4	10	≥15	20
	Dopuszczalna różnica pomiędzy punktami pomiarowymi [mm]								
DIN 18202 tab. 3 wiersz 4 (posadzka)	1	3	4	5	7	9	12	15	-
DIN 15185 tab. 1. (korytarz w poprzek toru jazdy)	1	1,5	2	2,5	-	-	-	-	-
DIN 15185 tab. 2. (korytarz wzdłuż toru jazdy)	1	2	-	3	4	5	-	-	10

Mając na celu bezawaryjną eksploatację posadzki w tak szczególnych warunkach obciążenia, zaproponowano rozwiązanie betonowej płyty bezspoinowej zbrojonej włóknem stalowym.

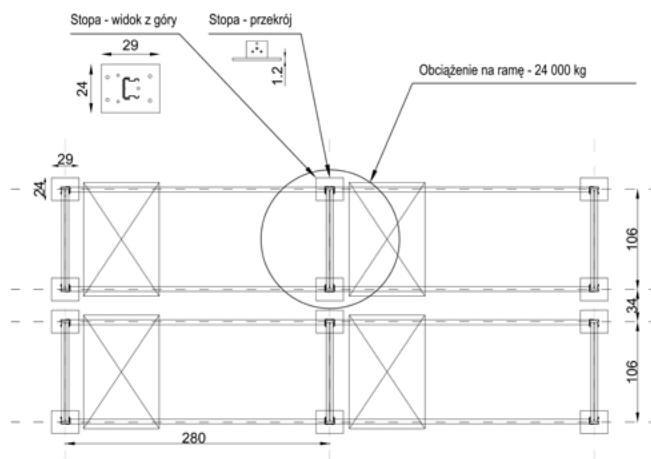
KONSTRUKCJA POSADZKI – CHARAKTERYSTYKA OBCIĄŻEŃ

Projektując posadzkę uwzględniono obciążenia użytkowe dynamiczne od wózków widłowych i pojazdów samochodowych, punktowe obciążenia statyczne od regałów oraz obciążenie równomiernie rozłożone od materiałów składowanych bezpośrednio na posadzce.

Największe oddziaływania dynamiczne pochodzą od akumulatorowych wózków widłowych TPS 6500 o masie własnej 11724 kg i udźwigu 1500 kg przy wysokości podnoszenia 12 m. Według specyfikacji Wheel Loading TPS 6500/7000, w pełni obciążony wózek wywiera maksymalny nacisk o wartości 64 kN na przednie koło po stronie podnoszenia, zaś ciśnienie kontaktowe na styku opony z posadzką wynosi 4,0 MPa. Dla porównania, w przypadku samochodów dostawczych, nacisk koła nie przekracza 10 kN, a ciśnienie kontaktowe wynosi 0,65 MPa, natomiast w przypadku pojazdów TIR, odpowiednio siła nacisku jest równa 42,5 kN (34 kN przy kołach bliźniaczych), a ciśnienie – 1,0 MPa.

Statyczne obciążenia punktowe pochodzą od regałów przystosowanych do wielopoziomowego składowania

palet z towarem na 7 poziomach nad posadzką. Konstrukcję regałów stanowią dwustupowe ramy o szerokości 106 cm, ustawione w rzędzie co 280 cm (tak aby pomiędzy nimi mieściły się 3 palety). Każda rama o podwyższonej nośności 240 kN przekazuje obciążenie na posadzkę za pośrednictwem dwóch stopek o wymiarach 24 × 29 cm. Dla porównania, siła nacisku od standardowych regałów jest dwukrotnie mniejsza i wynosi 60 kN na stopę. Rozstaw osiowy rzędów regałów ustawionych parami wynosił 34 cm, zaś w liniach słupów konstrukcyjnych hali był powiększony do 84 cm. Maksymalne naprężenia zginające w płycie posadzki powodują siły skupione pochodzące od dwóch ram usytuowanych najbliżej względem siebie (Rys. 2).

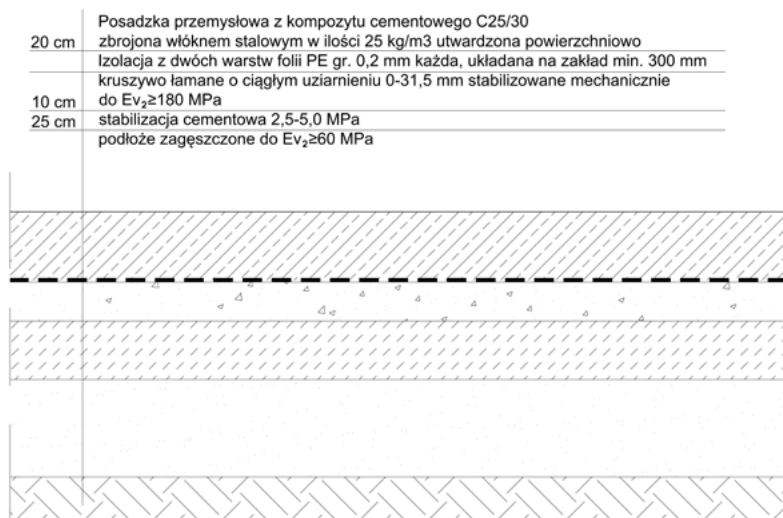


Rys. 2. Układ regałów – wariant o rozstawie 34 cm

Dodatkowo, w obliczeniach uwzględniono standardowe obciążenie użytkowe o intensywności 50 kN/m^2 , równomierne rozłożone na posadzce. Rozpatrzono też wpływ oddziaływań termicznych przy różnicy temperatury pomiędzy górną i dolną powierzchnią płyty $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, jak dla powierzchni wewnątrz obiektu [10]. Natomiast obciążenie skurczem potraktowano jako funkcję parametru tarcia płyty o podbudowę. Z uwagi na zastosowanie warstwy poślizgowej w postaci dwóch warstw folii PE, przyjęto współczynnik tarcia równy 0,5 [10].

UKŁAD KONSTRUKCYJNYCH WARSTW POSADZKOWYCH

Procedurę obliczania naprężeń w płycie oparto na modelu opracowanym przez Westergaarda, w którym płyta betonowa spoczywa na podłożu typu Winklera [12], natomiast przy obliczaniu naprężeń dopuszczalnych uwzględniono podwyższoną odporność fibrobetonu na pękanie, analogicznie jak w teorii linii załomów Mayerhafa-Losberga [11, 15]. Schemat układu warstw w posadzce przedstawiono na Rys. 3.



Rys.3. Schemat układu warstw posadzki

Do obliczeń przyjęto płytę o grubości 20 cm opartą na podbudowie charakteryzującej się wtórnym modułem odkształcenia sprężystego $E_{v2} \geq 180 \text{ MPa}$, przy zachowaniu stosunku $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$. Podbudowę stanowiło kruszywo łamane zagęszczone mechanicznie ułożone na warstwie stabilizowanej cementem. Taka konstrukcja podbudowy pozwoliła na zweryfikowanie jej nośności w oparciu o rzeczywiste pomiary modułu E_{v2} wykonane za pomocą sondy VSS. Ponadto, w przeciwie-

ństwie do podbudowy betonowej, nie wystąpiło ryzyko przenoszenia się zarysowań na płytę główną [13]. Założono klasę betonu C25/30, dla której obliczony według Eurokodu 2 [14] moduł sprężystości podłużnej, wynosił 30590 N/mm^2 . Na podstawie danych producenta włókien, uwzględniając zakładaną klasę betonu C25/30 oraz rodzaj i ilość włókien (włókna stalowe 50/0,8; 25 kg/m^3) przyjęto wskaźnik wytrzymałości równoważnej $R_{e,s} = 0,58$, ustalany na podstawie normy JCI-SF4 [7]. Słuszność założenia przyjętego do projektowania posadzki potwierdzają badania, opisane w pracy [16].

REALIZACJA POSADZKI – PODŁOŻE GRUNTOWE I PODBUDOWA

Na podstawie badań geotechnicznych podłoża gruntowego pod budowę projektowanego magazynu, warunki gruntowe sklasyfikowano jako proste. Woda gruntowa w podłożu nie występuje do głębokości 6,0 m. W wierzchniej warstwie podłoża gruntowego zalegały grunty nośne w postaci piasków średnich i grubych średniozagęszczonych ($ID = 0,44 \div 0,48$).

Po wykonaniu wykopu, istniejące podłoże wyrównano i dogęszczono mechanicznie tak, aby charakteryzowało się wskaźnikiem zagęszczenia $I_s \geq 1,00$, modułem odkształcenia wtórnego $E_{v2} \geq 60 \text{ MPa}$, i wskaźnikiem odkształcenia $I_o = E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$ [17]. Pomiarów parametrów gruntu dokonano sondą VSS, zgodnie z załącznikiem B do normy PN-EN-S-02205 [18]. Na przygotowanym podłożu ułożono warstwę piasku stabilizowaną cementem o grubości 25 cm i wytrzymałości na ściskanie po 7 dniach dojrzewania $f_{cm,7} = 1,6 \div 2,2 \text{ MPa}$, a po 28 dniach dojrzewania $f_{cm,28} = 2,5 \div 5,0 \text{ MPa}$ [19]. Podbudowę zasadniczą wykonano z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie (Fot. 1).

Bezpośrednio po ułożeniu warstwy piasku stabilizowanej cementem, układano 10 cm warstwę tłuczni dolomitowego o uziarnie-

niu $0 \div 31,5 \text{ mm}$, którą zagęszczano przy użyciu ciężkich walców ogumowanych. Po czterech miesiącach, bezpośrednio przed wykonaniem płyty betonowej, oznaczone moduły odkształcenia sprężystego podbudowy z zapasem spełniały założone wymagania: $E_{v1} \geq 100 \text{ MPa}$, $E_{v2} \geq 180 \text{ MPa}$, $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$.

W celu zmniejszenia naprężeń od tarcia wywołanego skurczem betonu zastosowano warstwę poślizgową z dwóch warstw folii PE o grubości 0,2 mm, ułożoną bezpośrednio na podbu-

dowie. Folia pełni jednocześnie funkcję izolacji przeciwwilgociowej.

BETONOWA PŁYTA POSADZKI ZE ZBROJENIEM ROZPROSZONYM

Do przygotowania mieszanek betonowych zastosowano cement portlandzki żużlowy CEM II B-S 42,5 N w ilości 315 kg/m^3 . Zapewnia on dobrą urabialność mieszanki betonowej, stałość objętości oraz mały skurcz betonu, dzięki umiarkowanemu ciepłu twardnienia. Stąd, przyrosty wytrzymałości następują w dłuższych okresach dojrzewania w stosunku do CEM I [1]. Jednocześnie, w przeciwieństwie do CEM III, umożliwia prawidłową aplikację mineralnych posypek utwardzających, produkowanych na bazie czystych cementów portlandzkich. Ponadto, CEM II B-S 42,5 N dzięki małej zawartości alkaliów, wykazuje podwyższoną odporność na reakcję alkalia-kruszywo.

Kruszywo drobne stanowił piasek płukany. Zawartość piasku w stosie okruszowym wynosiła 39,3%. Jako kruszywa grubego użyto żwirów o uziarnieniu 2/8, 8/16 i 16/32. Zawartość frakcji 0,25 mm w stosie okruszowym wynosiła 4,2%.

Aby osiągnąć wymaganą konsystencję (opad 120 – 150 mm), zachowując wskaźnik $w/c = 0,47$, zastosowano domieszki uplastyczniające na bazie lignosulfonianów i upłynniające zawierające etery polikarboksylowe. Konsystencję kontrolowano bezpośrednio przed ułożeniem mieszanki betonowej zgodnie z PN-EN 206 [20]. Ponadto, kontrolowano czy zawartość powietrza nie przekraczała 2%, ponieważ większa zawartość powietrza utrudnia aplikację wierzchniej posypki utwardzającej.

Zastosowano zbrojenie rozproszone w postaci włókien stalowych 50/0,8 w ilości 25 kg/m^3 betonu. Rodzaj i ilość włókien dobrano w oparciu o charakteryzujący je wskaźnik wytrzymałości równoważnej $R_{e,3} = 0,58$. Włókna dozowano w wytwórni, bezpośrednio do betonowozu. Badanie zawartości włókien stalowych i jednorodności mieszanki przeprowadzano na placu



Fot. 1. Podbudowa zasadnicza z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie ułożona na piasku stabilizowanym cementem

budowy zgodnie z PN-EN 14721 [21]. Do badania pobierano trzy próbki z każdej partii podczas rozładowywania, po jednej z każdej trzeciej części objętości: początkowej, środkowej i końcowej.

W celu zapewnienia współpracy pomiędzy płytami (zmniejszenia naprężeń na krawędziach i w narożach) we wszystkich przerwach roboczych zastosowano systemowe profile dylatacyjne EPD 3000 + DP8 (Fot. 2) o elementach wierzchnich w formie dwóch płaskowników $10 \times 40 \times 3000$ ciągnionych na zimno ze stali S235JRC. Stanowią one skuteczną ochronę krawędzi płyt



Fot. 2. Profile dylatacyjne z dyblami

bezpieczny magazyn

przed wykruszeniem, a ze względu na prostoliniowość wspomagają wykonanie płaskiej i równej posadzki. Do płaskowników przyspawano strzemiona wykonane z prętów zbrojeniowych ϕ 10 mm ze stali B500SP, trwale stabilizujące konstrukcję dylatacji względem powierzchni posadzki. Płaskowniki połączono ze sobą za pomocą śrub nylonowych PA-66 o średnicy 8 mm, co umożliwia ich zerwanie pod wpływem skurczu betonu i otwarcie złącza profilu dylatacyjnego. Płyta rozdzielająca, wykonana z blachy zimnowalcowanej DC01 grubości 2 mm, stanowi bazę do mocowania dybli i pełni rolę deskowania traconego podczas wykonywania posadzki. Dyble DP8 ze stali S235 JRG w postaci blach walcowanych na gorąco o grubości 8 mm umieszczono w kieszeniach z tworzywa sztucznego w rozstawie co 500 mm. Dyble przenoszą obciążenia pomiędzy płytami, minimalizując efekt klawiszowania płyt, a po otwarciu złącza umożliwiają przesuw rozdzielonych płyt posadzki względem siebie.

Przy słupach oraz w narożach wklęsłych zastosowano zbrojenie z 4 prętów żebrowanych ϕ 12 mm w rozstawie co 50 mm jak na Rys. 5, 6 i 7. We wjazdach do hali na odcinku długości 2,0 m oraz przy dokach zastosowano zbrojenie dodatkowe w postaci siatki ϕ 6 mm o oczkach 150×150 mm (Rys. 4. szczegół A1). Dylatację obwodową pomiędzy ścianami (podwalinami), a płytą betonową wykonano jako szczelinę o szerokości 10 mm (Rys. 4. szczegół B), wypełnioną pianką poliuretanową, natomiast pomiędzy słupami a płytą betonową wykonano szczelinę o szerokości 20 mm (Rys. 5, 6, 7), również wypełnioną pianką. Ponadto, w otworach bramowych i drzwiowych zabezpieczono krawędzie posadzki kątownikiem $50 \times 50 \times 4$ mm.

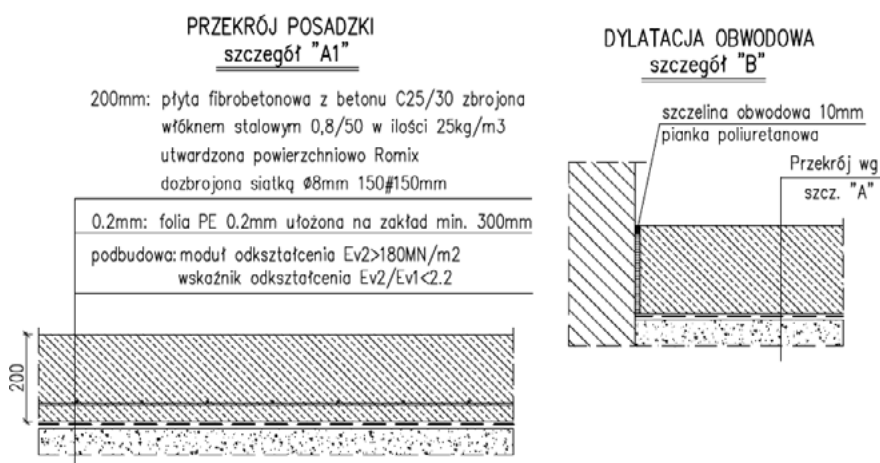
Wykonanie płyty nośnej posadzki wymagało pełnego zabezpieczenia przed wpływami atmosferycznymi i utrzymania w hali temperatury $10 \div 20^\circ\text{C}$. Mieszanka betonowa była układana

bezpośrednio z betonowozów. Proces wibrowania i poziomowania powierzchni płyty betonowej pokazano na Fot. 3.

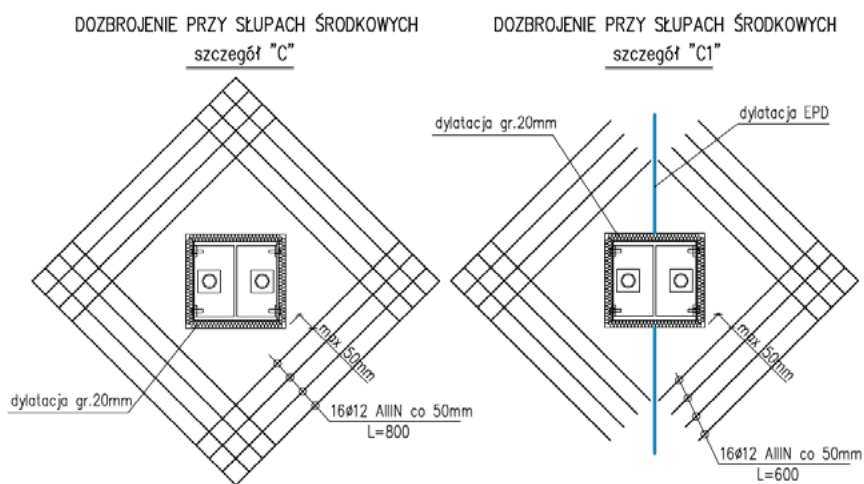
Powierzchnię ułożonego i zawibrowanego betonu zacierano mechanicznie (Fot. 4). Następnie, przed końcem wiązania betonu rozprowadzano sypki preparat utwardzający krzemowo-cementowy, który po związaniu z podkładem betonowym, tworzy trudnościocalną warstwę o jednolitej strukturze. Materiał aplikowano dwuetapowo „na krzyż” w łącznej ilości od 4 do 6 kg/m^2 i zacierano aż do uzyskania odpowiedniej gładkości powierzchni posadzki.

Bezpośrednio po zatarciu, posadzkę zaimpregnowano płynnym utwardzaczem na bazie krzemianów litu, który przenika i chemicznie uszczelnia beton, tworząc czystą, zagęszczoną trwałą, oddychającą, paroprzepuszczalną i odporną na ścieranie powierzchnię. Impregnat zabezpiecza i chroni posadzkę przed pyleniem, wilgocią, zanieczyszczeniami oraz przed alkalicznymi wykwitami. Tak wykonaną płytę posadzki zabezpieczono przed odparowaniem wilgoci z powierzchni betonu poprzez przykrycie folią PE. Okres pielęgnacji wynosił 28 dni.

Do użytkowania nawierzchni przystąpiono po 90 dniach od zabetonowania.



Rys. 4. Przekrój posadzki we wjazdach i przy dokach (szczełgót A1), w miejscu dylatacji obwodowej (szczełgót B)



Rys. 5. Dodatkowe zbrojenie przy słupach środkowych: szczegłgót C – słup zlokalizowany w środku pola, szczegłgót C1 – słup usytuowany w linii dylatacji.

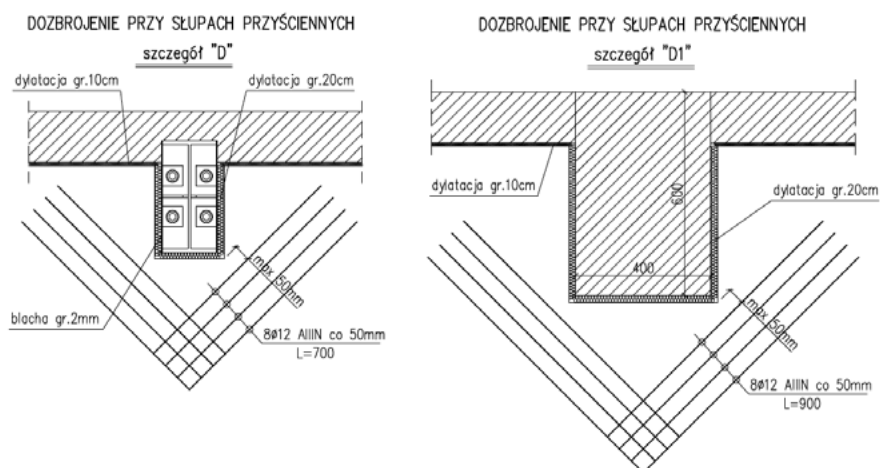
bezpieczny magazyn

Fot. 5 przedstawia regały przygotowane do wysokiego składowania. Sporządzona inwentaryzacja geodezyjna potwierdziła spełnienie obostrzonych wymogów równości zarówno na całej powierzchni jak i w wąskich korytarzach. Maksymalne odchyłki wymiarów na całej powierzchni posadzki wynosiły od -7 do $+8$ mm, zaś na łacie o długości 3 m – nie przekraczały 4 mm.

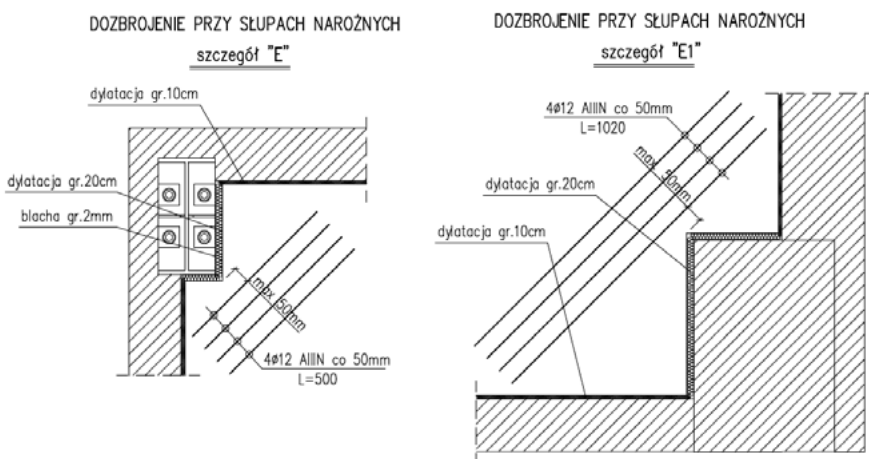
PODSUMOWANIE

Przyjęty układ warstw konstrukcyjnych posadzki betonowej spełnił założone oczekiwania. W trakcie realizacji uzyskano znacząco większe moduły odkształcenia sprężystego podbudowy w stosunku do zakładanych, wartość E_{v1} przekraczała 200 MPa, E_{v2} – osiągnęła 400 MPa, przy zachowaniu stosunku $E_{v2}/E_{v1} < 2,0$. Ponadto, uzyskano beton klasy C35/45 spełniający wymagania stawiane betonom stosowanym w najsurowszych klasach ekspozycji [17]. Badania laboratoryjne próbek, pobieranych w trakcie betonowania, potwierdziły wysoką wytrzymałość na ściskanie $f_{cm,28} = 49,3$ MPa i rozciąganie przy zginaniu $f_{ctm,fl} = 5,4$ MPa (w warunkach czteropunktowego zginania). Stwierdzono też wyraźny przyrost wytrzymałości betonu, wykonanego przy zastosowaniu cementu CEM II B-S, po upływie roku. Uzyskano wytrzymałość na ściskanie $f_{cm,360} = 60,3$ MPa i rozciąganie przy zginaniu $f_{ctm,fl} = 6,97$ MPa.

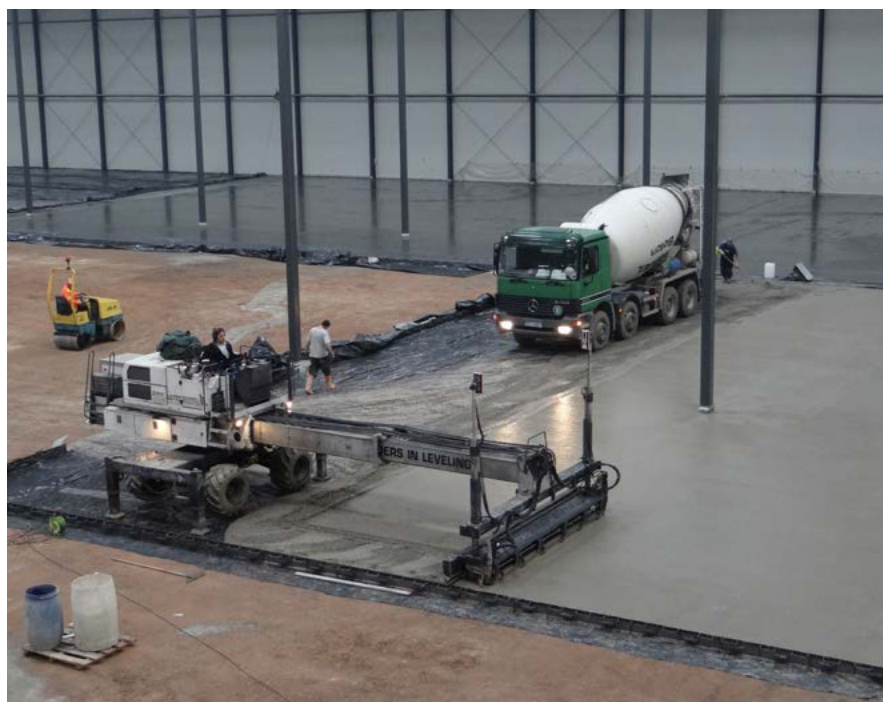
Zrealizowana w opisany powyżej sposób posadzka bezspoinowa, o powierzchni ponad 15000 m², jest użytkowana w magazynie wysokiego składowania i przenosi zakładane obciążenia od wózków widłowych i silnie obciążonych regałów. Po roku bardzo intensywnej eksploatacji nie stwierdzono żadnych pęknięć.



Rys. 6. Dodatkowe zbrojenie przy słupach przyściennych: stalowym - szczegół D i żelbetowym - szczegół D1.



Rys. 7. Dodatkowe zbrojenie przy słupach narożnych: stalowym - szczegół E i żelbetowym - szczegół E1.



Fot. 3. Mechaniczne układanie i zagęszczanie mieszanki kompozytowej



Fot. 4. Zacieranie i utwardzanie powierzchniowe posadzki



Fot. 5. Regały wysokiego składowania ustawione bezpośrednio na posadzce.

LITERATURA

- [1] Chmielewska B., Czarnecki L., Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych, Materiały Budowlane 2/2012.
- [2] Collepardi M., Troli R., Bressan M., Liberatore F., Sforza G., Crack-free concrete for outside floors in the absence of wet curing and contraction joints, Cement & Concrete Research, 30, 2008.
- [3] Dmochowski G., Berkowki P., Strengthening of concrete ground floors in industrial halls – a case study. W: Proceedings of the Concrete Solutions 5th International Conference on Concrete Repair, 1-3 of September 2014, Belfast.
- [4] Dymidziuk B., Fibrobetonowe posadzki bezspoinowe, Nowoczesne Hale, 1/2010.
- [5] Flaga K., Śliwiński J., Betony nowej generacji w budownictwie mostowym, IBDiM – Zeszyt 62, Warszawa 2010.
- [6] ASTM C1018-97 Standard test method for flexural toughness and first crack strength of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading). Withdrawn 2006.
- [7] JCI-SF4 Method of tests for flexural strength toughness of steel fiber reinforced concrete, Concrete library of JSCE. Nr 3, 1984, Japan.
- [8] DIN 18202:2013-04 Toleranzen im Hochbau – Bauwerke.
- [9] DIN 15185-1:1991-08. Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzeugen. Anforderungen an Boden, Regal und sonstige Anforderungen.
- [10] Hajduk P., Projektowanie podłóg przemysłowych, Wydawnictwa Naukowe PWN 2013.
- [11] Technical Report No 34, Concrete Industrial Ground Floors – A guide to their Design and Construction, wyd. 3, 2003.
- [12] Szydło A., Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja. Polski Cement. Kraków 2004.
- [13] Falkowski K., Projektowanie i realizacja placu manewrowego z kompozytów cementowych, BTA 2/2015.
- [14] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 Projektowanie konstrukcji z betonu, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [15] Tejchman J., Małasiewicz A., Posadzki przemysłowe, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
- [16] Glinicki M., Beton ze zbrojeniem strukturalnym, XXV Ogólnopolskie Warsztaty Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2010.
- [17] PN-S-06102:1997 Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.
- [18] PN-EN-S-02205:1998 Drogi samochodowe – wymagania i badania.
- [19] PN-S-96012:1997 Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
- [20] PN-EN 206-1:2014 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [21] PN-EN 14721 Metodyka badania betonu zbrojonego włóknom stalowym.