

Obciążenia podłóg przemysłowych

Piotr Hajduk, Biuro Konstrukcyjno-Budowlane Hajduk

1. Wprowadzenie

Podłogi przemysłowe mają bardzo różne przeznaczenie, dlatego powinny spełniać specjalne wymagania. Płyta nośna musi przenosić duże obciążenia skupione i powierzchniowe pochodzące od ciężkich maszyn, składowanych produktów i poruszających się po niej pojazdów. Oprócz tych obciążeń, w trakcie produkcji, na posadzkę mogą oddziaływać maszyny pracujące dynamicznie, obciążenia od temperatury i skurczu betonu. Wszystkie te obciążenia muszą zostać przejęte bez deformacji, osiadań i zarysowania.

2. Podział obciążeń podłóg przemysłowych

Ze względu na sposób oddziaływania, obciążenia podłóg przemysłowych można sklasyfikować następująco – rysunek 1.

Charakter, natężenie, wartość i częstotliwość obciążeń są bardzo złożone. Obciążenia statyczne działają na ogół zgodnie z siłami grawitacji. Natomiast obciążenia dynamiczne mogą mieć także składowe działające w kierunku poziomym, na przykład siły hamowania pojazdów lub siły tarcia między obuwiem i posadzką. Kawitacja (podciśnienie) pod oponą koła pojazdu może wytworzyć naprężenia odrywające powłokę posadzki lub jej fragmenty od podbudowy. Wszystkie typy obciążeń wymagają dokładnej analizy przed rozpoczęciem zasadniczych obliczeń poszczególnych warstw podłogi przemysłowej.

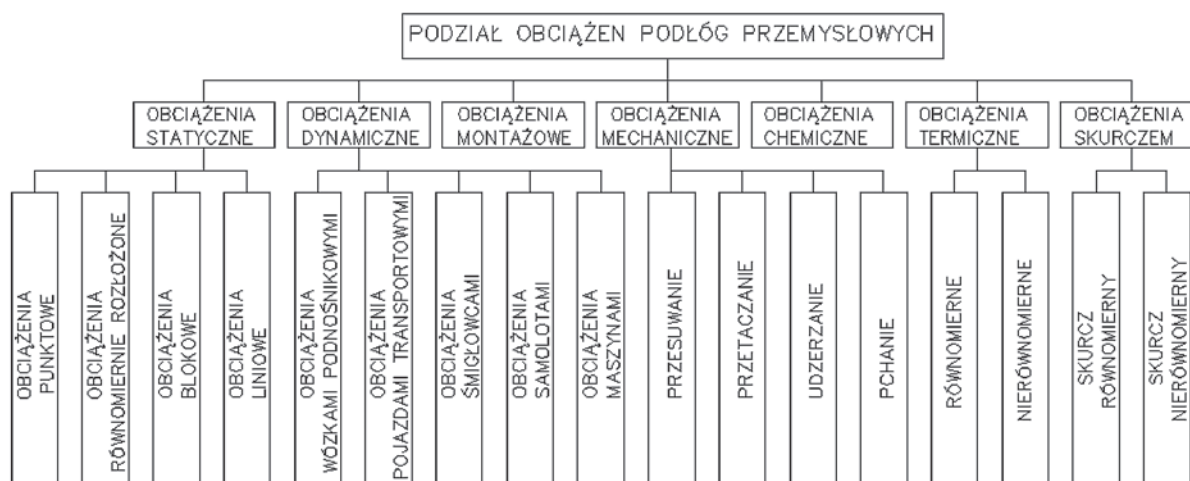
3. Obciążenia statyczne

Są to obciążenia, których wartość przyrasta powoli, nie wywołując sił bezwładności w konstrukcji, np. obciążenie punktowe regałami, obciążenia równomierne rozłożone i obciążenia blokowe.

Obciążenia punktowe – pochodzą na ogół od regałów, często regałów wysokiego składowania. Oddziaływanie te są najczęściej decydujące przy wymiarowaniu płyty nośnej na zginanie, ponieważ z reguły poprzez małą powierzchnię nóg regałów przekazywane są znaczne siły. W przypadku regałów wysokiego składowania siły przekazywane przez nogi regałów mogą osiągać wartości do 250 kN. Niewielkie powierzchnie podstaw, np. 20×20 cm, powodują powstawanie nacisku na beton o wartości 6,25 MPa, a w konsekwencji generowanie dużych momentów zginających w płycie betonowej. Przy tak znacznych obciążeniach często wskazane jest sprawdzenie również przebicia płyty. Jeżeli warunek nie jest spełniony, konieczne jest rozważenie albo zmniejszenia obciążeń, albo zmiany parametrów płyty nośnej – zwiększenie grubości płyty lub przyjęcie lepszej klasy betonu.

Podczas wymiarowania należy uwzględnić możliwą lokalizację obciążeń. Sprawdza się następujące ustawienia sił: wewnętrzny obszar płyty, obszary przykrawędziowe, naroże płyty.

Naprężenia w betonie są uzależnione także od rozstawu nóg regałów. Oddziaływania pod słupkami smukłych,



Rys. 1. Podział obciążeń podłóg przemysłowych

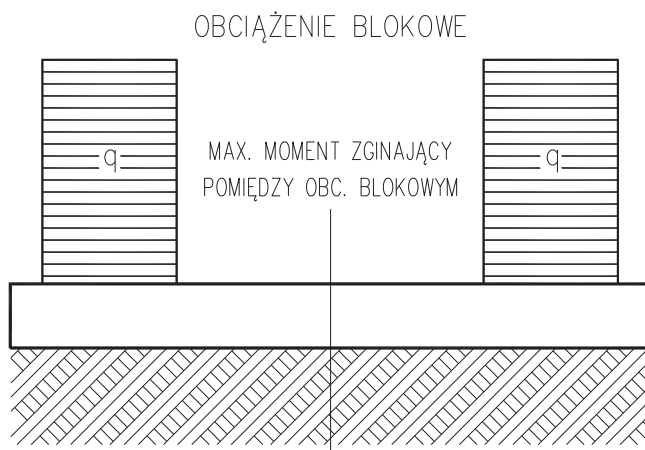


Rys. 2. Obciążenia skupione od regałów wysokiego składowania

wysokich regałów o niewielkiej powierzchni w rzucie, są większe niż w regałach szerokich, o dużych odległościach pomiędzy poszczególnymi podporami. Jest to związane z nakładaniem się części oddziaływań od sąsiedniej podpory, a w konsekwencji ze zwiększeniem naprężeń.

W zależności od lokalizacji obciążeń – w środku płyty, na jej krawędzi, czy w narożu – w płycie występują naprężenia zarówno w dolnym, jak i w górnym obszarze.

Obciążenia powierzchniowe równomiernie rozłożone – pochodzą na przykład od składowania produktów na paletach czy w kontenerach. Nie wpływają one znacząco na wielkość naprężeń zginających w płycie nośnej. Jednak długotrwałe składowanie materiałów ma wpływ na zachowanie się płyty podłogi przemysłowej w zachodzących procesach skurczu i zmian temperatury. W takich przypadkach podczas rozszerzania się lub kurczenia płyty, w wyniku tarcia dolnej powierzchni płyty o warstwy podbudowy, powstają naprężenia rozciągające. Jeżeli dodatkowo mamy do czynienia ze znacznymi rozstawami między dylatacjami, konieczne jest zastosowanie warstwy poślizgowej pomiędzy wierzchem podbudowy i spodem płyty betonowej. Przy analizie sił od regałów nie jest dopuszczalne



Rys. 3. Naprężenia zginające pochodzące od obciążenia blokowego

stosowanie w obliczeniach zastępczych obciążeń równomiernie rozłożonych obliczanych jako iloraz obciążenia przez powierzchnię regału w rzucie, gdyż inna jest specyfika tych obciążeń. Ponadto często mamy do czynienia z występowaniem i sumowaniem się naprężeń powstających w obu tych przypadkach.

Według normy Eurokod [11] obciążone powierzchnie powinny być obliczane przy stosowaniu kombinacji obciążenia równomiernie rozłożonego traktowanego jako ogólne oraz obciążenia skupionego traktowanego jako lokalne. Należy uwzględnić wpływy dynamiczne. Wartości należy przyjąć jako maksymalne przewidywane podczas użytkowania posadzki. Układ obciążenia należy określać w taki sposób, aby wywołać najniekorzystniejsze warunki przewidywane w użytkowaniu podłogi.

Obciążenia blokowe – przez blokowe są rozumiane obciążenia rozłożone, zajmujące jednak określone powierzchnie, z przerwami pomiędzy nimi. Przykładem mogą być produkty składowane na paletach w rzędach, pomiędzy którymi znajduje się droga transportowa. Największe naprężenia zginające występują w paśmie pomiędzy składowanymi materiałami (rys. 3). Wartość naprężeń jest uzależniona od promienia względnej sztywności płyty betonowej l . Jest to parametr określający sztywność płyty betonowej w powiązaniu z podłożem. Maksymalne naprężenia występują dla przypadku, gdy odległość pomiędzy obciążeniami blokowymi wynosi około $2,5 \times l$.

Obciążenia liniowe – pochodzą zwykle od ścian posadowionych bezpośrednio na płycie nośnej podłogi przemysłowej lub od regałów specjalnego typu, przekazujących oddziaływanie na płytę w postaci siły liniowej. Obciążenia takie mogą wywoływać znaczne momenty zginające i celowe jest rozważenie, w trakcie projektowania, zastosowania systemu rusztowego – płyta betonowa połączona z układem belek, analogicznie jak w przypadku wykonywania fundamentów płytowych.

Tabela 1. Podział nawierzchni ze względu na zdolność przenoszenia obciążeń dla danej kategorii ruchu, wyrażoną liczbą pojazdów porównawczych* i dopuszczalnym ugięciem sprężystym [5]

Kategoria ruchu	Liczba pojazdów porównawczych na dobę na obliczeniowy pas ruchu		Dopuszczalne ugięcie sprężyste pod kołem w mm	
	o nacisku 80 kN/oś	o nacisku 100 kN/oś	obciążonym siłą 40 kN	obciążonym siłą 50 kN
Bardzo lekki	<12	<4	1,40	1,60
Lekki	12 ÷ 35	4 ÷ 12	1,25	1,40
Lekkośredni	36 ÷ 70	13 ÷ 24	1,10	1,20
Średni	71 ÷ 200	25 ÷ 70	0,90	1,00
Ciężki	201 ÷ 1000	71 ÷ 335	0,70	0,80
Bardzo ciężki	>1000	>335	0,60	0,70

* Pojazd porównawczy $N_{por} = 80 \text{ kN/oś}$ lub $N_{por} = 100 \text{ kN/oś}$ – jest to samochód ciężarowy o nacisku odpowiednio 80 kN lub 100 kN przypadającym na tylną oś pojedynczą o iloczynie $p \times D = 170 \text{ kN/m}$ lub $p \times D = 195 \text{ kN/m}$, gdzie: p – nacisk jednostkowy koła samochodu w kN/m^2 , D – średnica zastępczego śladu koła w m

4. Obciążenia dynamiczne

Obciążenia te działają uderowo lub cyklicznie, wywołując siły bezwładności w konstrukcji. Obciążenia dynamiczne pochodzą od pojazdów, których lokalizacja w czasie jest bardzo zmienna. Mogą być wywołane, np. przejazdami wózków podnośnikowych, samochodów osobowych lub ciężarowych, autobusów, ciągników, lądowaniem i startem helikopterów czy samolotów.

Pojazdy przekazujące obciążenia dynamiczne można scharakteryzować przez cztery parametry:

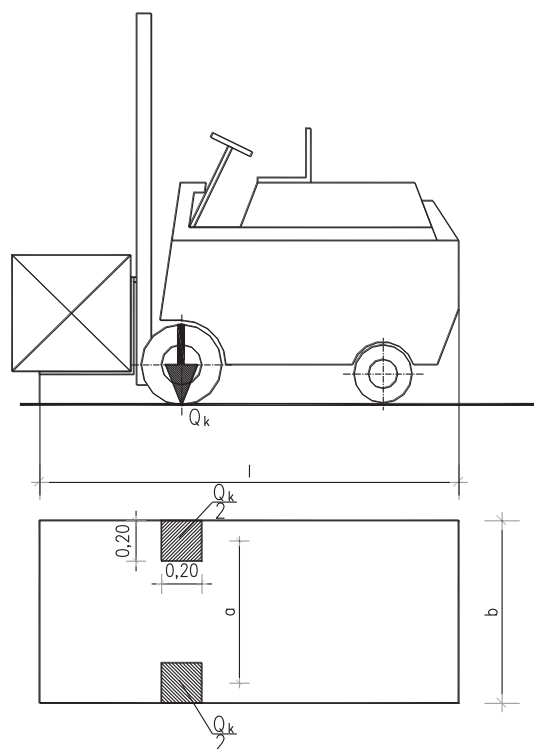
- rodzaj opony,
- częstotliwość ruchu pojazdów,
- ciężar całkowity pojazdu wraz z ładunkiem,
- obciążenie przypadające na jedną oś.

Opony wypełnione powietrzem powodują powstawanie nacisku równego wewnętrznemu ciśnieniu w oponie, które maksymalnie wynosi do 10 barów = 1,0 MPa. W przypadku opon gumowych pełnych naciski mogą osiągać wartości do 4 MPa. Tego typu opony przenoszą podobne obciążenia jak opony napełniane powietrzem, jednak mają mniejszą powierzchnię styku z płytą posadzki. W związku z tym generują większe naprężenia w płycie. Jeszcze większe naciski mogą generować „specjalne” opony wykonane z tworzyw sztucznych, np. poliuretanu, nylonu itp. Naprężenia przekazywane przez takie koła osiągają wartości do 7 MPa. W szczególnych przypadkach mogą być to wartości do 20 MPa. Jednak wtedy konieczne są specjalne środki pozwalające na bezkolizyjne poruszanie się takich pojazdów – specjalnie dobrana warstwa wierzchnia posadzki, ochrona naroży szczelin dylatacyjnych itd.

Pojazdy mające koła stalowe, ze względu na fakt przekazywania bardzo dużych nacisków przez koła o małych średnicach, mogą poruszać się tylko po wcześniej zaprojektowanych i przygotowanych torach lub posadzkach z wierzchnią warstwą, np. w postaci płyt stalowych. Naciski wywoływane przez koła stalowe mogą osiągać wartości do 100 MPa. Dopuszczenie takich pojazdów

do ruchu po zwykłej posadzce prowadzi do szybkiego jej zniszczenia, a w konsekwencji do poniesienia znacznych środków na późniejsze naprawy.

Należy pamiętać, że siły skupione od kół pojazdów przekazujące duże naciski na posadzkę wymagają zaprojektowania płyty bezpiecznie przenoszącej naprężenia ścinające i związane z przebiciem. Ponadto grubość płyty musi zapewniać taki rozkład naprężeń, aby spodnie warstwy podbudowy były w stanie przejść obciążenia bez nieprzewidzianych deformacji.



Rys. 4. Obciążenia od podnośnika widłowego według eurokodu

Bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na zachowanie się podłogi jest ich obciążenie ruchem pojazdów. W tabeli 1 pokazano klasyfikację ze względu na zdolność przenoszenia obciążeń dla danej kategorii ruchu, wyrażoną liczbą pojazdów porównawczych ($N_{por} = 80$ kN/oś lub $N_{por} = 100$ kN/oś) i dopuszczalnym ugięciem sprężystym.

Obciążenia wózkami podnośnikowymi – należy przyjmować w zależności od ich udźwigu nominalnego ustalonego w projekcie technologicznym za obciążenie dwiema siłami skupionymi kół przednich. Nie uwzględnia się nacisku kół tylnych jako małego w stosunku do obciążenia kołami przednimi.

Zalecane jest, aby oddziaływanie wózków widłowych i pojazdów transportowych były uważane za obciążenia skupione przyłożone razem z odpowiednimi rozłożonymi obciążeniami użytkowymi.

Do obciążenia charakterystycznego wózkiem podnośnikowym wlicza się jego ciężar własny, ciężar nominalny ładunku oraz ciężar jednego operatora.

Przyjmowanie pionowych obciążeń osi podnośnika widłowego opisano w normie [11] i pokazano na rysunku 4.

Obciążenie poziome wywołane przez przyspieszenie i zmniejszanie obciążenia podnoszenia można przyjmować równe 30% pionowych obciążeń Q_k .

Wpływ obciążeń wózkami podnośnikowymi jest ściśle uzależniony od jego nośności i rodzaju stosowanego ogumienia. W przypadku opon napełnianych powietrzem naciski są stosunkowo niewielkie, jednakże wózki z oponami innego typu (z pełnym ogumieniem, z ogumieniem z tworzyw sztucznych) wywierają znaczne naciski oraz są niebezpieczne dla naroży szczelin dylatacyjnych.

Obciążenia pojazdami transportowymi – norma Eurokod [11] podaje bardzo ogólne wytyczne w celu określenia oddziaływań wywołanych przez pojazdy transportowe. W szczególności zaleca:

- przyjmowanie oddziaływań na podstawie wzorca obciążeń koła,
- podawanie wartości statycznych obciążeń pionowych za pomocą ciężarów stałych i udźwigu, a zakres tych obciążeń można stosować do ustalenia współczynników kombinacji oraz obciążeń zmęczeniowych,
- obciążenia pionowe i poziome kołami oraz układ obciążeń łącznie z właściwymi do obliczeń wymiarami powinny być określane dla przypadków szczególnych.

Pojazdy samochodowe, wskutek stosowania opon napełnianych powietrzem, wywierają stosunkowo niewielkie naciski na posadzkę i nie są tak niebezpieczne dla dylatacji jak np. wózki podnośnikowe, których naciski osi kół mogą osiągać do 7 MPa.

Obciążenia śmigłowcami (helikopterami) – norma Eurokod [11], omawia tylko przypadek, gdy obciążają

one dachy. Rozróżnia się dwie klasy oddziaływań *HC1* – obciążenie przy starcie wynosi $Q_k \leq 20$ kN i *HC2* – obciążenie przy starcie wynosi 20 kN $\leq Q_k \leq 60$ kN.

Obciążenia samolotami – obciążenia lotnisk różnią się od obciążeń pojazdami samochodowymi [7]. Różnice te dotyczą nie tylko ilości i częstotliwości ruchu, ale także rozkładu tego ruchu w przekroju poprzecznym i podłużnym drogi startowej czy dróg kołowania. Podstawowe różnice są następujące:

- ciężar startowy samolotów transportowych wynosi nawet do około 6000 kN, czyli naciski przewyższają wielokrotnie ciężary samochodów ciężarowych,
- ciśnienie powietrza w kołach samolotu wynosi do 1,5 MPa i jest znacznie większe niż w ogumieniu kół samochodów,
- występuje bardzo duża powtarzalność obciążeń pochodzących od samolotów, na lotniskach o dużym nasileniu ruchu, jest większa niż na przykład od intensywności ruchu samochodowego.

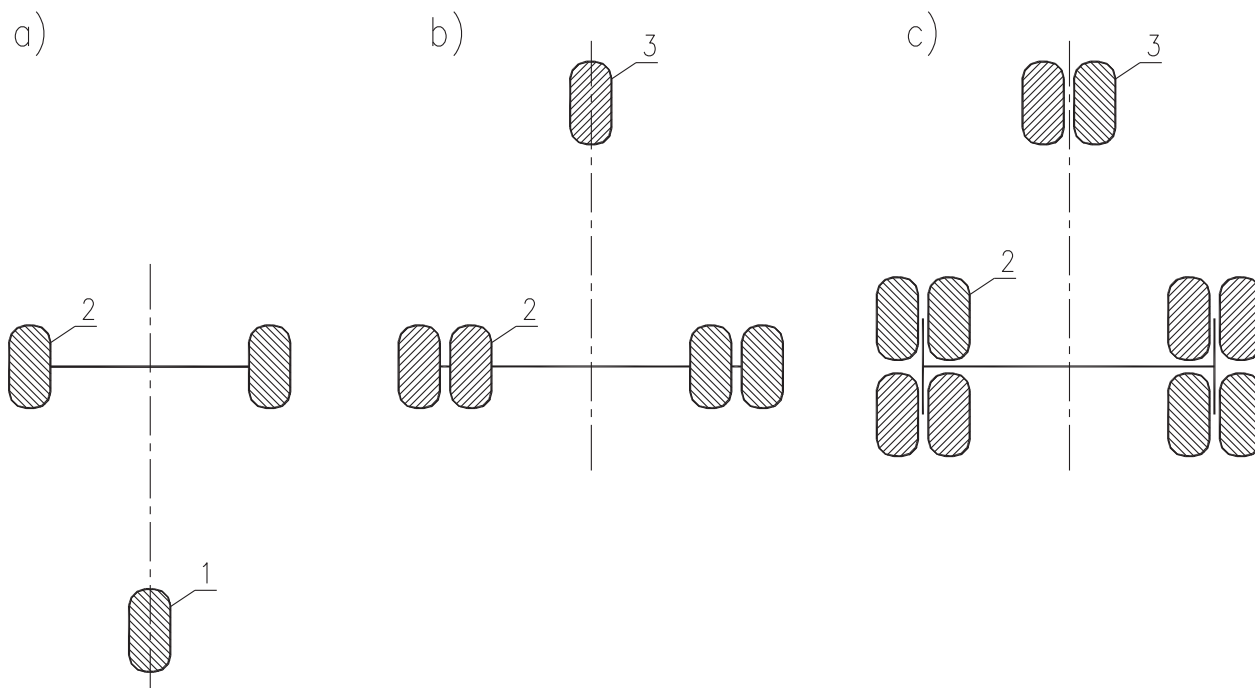
Oddziaływania wywołane samolotami mają charakter statyczny i dynamiczny.

Oddziaływanie na nawierzchnię lotniska obejmuje:

- składową pionową obciążenia kołem, która podczas lądowania działa także dynamicznie,
- składową poziomą obciążenia kołem,
- ukośne działanie gazów spalinowych.

Cechą charakterystyczną obciążeń nawierzchni lotniskowych jest ich duża powtarzalność na niewielkim obszarze płyty lotniska. W konsekwencji występuje stosunkowo mały rejon, na którym naprężenia osiągają wartości obliczeniowe, oraz duże powierzchnie, gdzie obciążenia obliczeniowe występują w sytuacjach wyjątkowych. Inną ważną cechą obciążeń lotniskowych jest występowanie zmiennego obciążenia, wynikającego z zasad aerodynamiki samolotu. Chodzi tutaj o zwiększanie się lub zmniejszanie masy oddziałującej na płytę nawierzchni wraz ze zmniejszaniem się lub zwiększaniem prędkości przejazdu samolotu po płycie [7].

Samoloty opierają się na podwoziu, które zasadniczo składa się z goleni podwozia głównego i goleni dziobowej. Dwie golenie są umieszczone pod płatem nośnymi samolotu (golenie główne), trzecia goleń jest umiejscowiona w przedniej lub tylnej części kadłuba (goleń ogonowa lub dziobowa). Całkowity ciężar samolotu rozkłada się tak, że na goleni podwozia głównego przypada 85–80% jego ciężaru, a na goleni pomocniczą pozostała część. Liczba goleni i kół zależna jest od typu samolotu. W zależności od wartości całkowitego ciężaru samolotu, dopuszczalnego ciśnienia w oponach kół oraz innych względów eksploatacyjnych golenie główne podwozia samolotu mogą mieć: jedno, dwa, cztery, a nawet osiem kół w goleni głównej. Za obciążenie płyty samolotem uważa się maksymalne pionowe oddziaływanie statyczne kół tylko jednej goleni głównej miarodajnego samolotu, ponieważ odstęp między szczelinami dylatacyjnymi płyt nawierzchni są zwykle mniejsze niż



Rys. 5. Przykładowe układy geometryczne kół podwozia [2]: a) układ jednego koła (dawny typ z kołem ogonowym), b) układ dwóch kół bliźniaczych, c) układ dwóch par kół bliźniaczych; 1 – koło ogonowe, 2 – koła goleni głównych, 3 – koła dziobowe

rozstawy goleni [6]. Na rysunku 5 pokazano przykładowe układy geometryczne kół podwozi.

Obciążenia maszynami i urządzeniami o wpływach dynamicznych – w zakładach przemysłowych bardzo często występuje konieczność montowania różnych maszyn, które mogą dynamicznie oddziaływać na swoje sąsiedztwo. Dotyczy to również podłóg przemysłowych. Stąd duże znaczenie ma właściwe oddylatowanie fundamentów, pod takie urządzenia, od płyty posadzki. W szczególnych przypadkach maszyn o znacznych wpływach dynamicznych, np. prasy, młoty itp., konieczne jest zaprojektowanie dodatkowych izolacji i wibroizolacji w celu stłumienia oddziaływań.

Brak właściwych dylatacji lub zastosowanie nieodpowiednich materiałów może prowadzić do przenoszenia się drgań, a w konsekwencji do uszkodzenia nawierzchni. Gdy nie można lub nie ma możliwości oddylatowania, należy przeprowadzić analizę statyczną i zastosować dodatkowe zbrojenie w płycie nawierzchni.

Przy takich obciążeniach bardzo ważne jest szczegółowe rozpoznanie geologiczne i geotechniczne podłoża. Między innymi w celu eliminacji późniejszych nadmiernych osiadań oraz oszacowania wpływu maszyn na inne obiekty i urządzenia zakładu przemysłowego.

5. Obciążenia montażowe

Bardzo często w zakładach, w których w trakcie eksploatacji przewiduje się ruch tylko lekkich pojazdów i wózków podnośnikowych o niewielkim udźwigu, występuje

konieczność zainstalowania ciężkich maszyn produkcyjnych. Wtedy do montażu urządzeń konieczne są ciężkie dźwigi, które przekazują na posadzkę znaczne siły skupione. Obciążenia mogą mieć charakter zarówno statyczny – bezpośrednio podczas montażu, jak i dynamiczny – dojazd na miejsce montażu, manewrowanie. W takich przypadkach na etapie projektowania konieczne jest rozważenie zastosowania specjalnych platform montażowych czy tras czasowo wyłożonych, na przykład płytami stalowymi rozkładającymi naprężenia na większą powierzchnię. Alternatywą jest uwzględnienie w obliczeniach obciążenia montażowego, gdyż może się ono okazać decydujące przy określaniu parametrów nawierzchni.

6. Obciążenia mechaniczne

Obciążenia mechaniczne zależą od sposobu użytkowania nawierzchni oraz czynności, na jakie jest narażona posadzka: przesuwanie, przetaczanie, uderzanie, pchanie.

W praktyce poszczególne oddziaływania rzadko występują osobno i mamy do czynienia z kombinacją powyższych czynności.

Parametrem będącym miarodajnym kryterium oceny nawierzchni jest jej ścieralność. Ponieważ na obciążenia narażona jest głównie górna warstwa podłogi przemysłowej, bardzo istotny jest sposób jej wykończenia – powinien zapewniać wymaganą przepisami i względami użytkowymi ścieralność. Szacuje się, że 80% wykonywanych nawierzchni musi spełniać wymagania

Tabela 2. Dobór podstawowych parametrów płyty betonowej i wierzchniej warstwy nawierzchni przemysłowych w zależności od przeznaczenia obiektu, obciążeń dynamicznych pojazdami [5]

Obszar zastosowań	Przeznaczenie obiektu	Wielkość i rodzaj obciążeń od pojazdów	Zalecana klasa betonu, stosunek w/c i krzywa uziarnienia (wg DIN)	Maksymalna ścieralność nawierzchni
1	pomieszczenia wystawowe i sale sprzedaży lekki przemysł wyrobów gumowych i tworzyw sztucznych zakłady wyrobów mechaniki precyzyjnej przemysł włókienniczy	niewielki ruch pojazdów na miękkim ogumieniu obciążenie na koło ≥ 20 kN ciśnienie w oponie $\geq 0,3$ MPa	beton klasy C20/25 stosunek w/c $\geq 0,53$ zalecana krzywa uziarnienia A/B 32	≥ 15 cm ³ /50 cm ²
2	hangary lotnicze, miejsca parkowania ciężki przemysł wyrobów gumowych przetwórnictwo drewna, przemysł meblarski papiernie parkingi i garaże podziemne	wózki podnośnikowe (widłowe) z oponami wypełnianymi powietrzem obciążenie na koło ≥ 40 kN ciśnienie w oponie $\geq 0,6$ MPa	beton klasy C30/37 stosunek w/c $\geq 0,47$ zalecana krzywa uziarnienia A/B 32	≥ 12 cm ³ /50 cm ²
3	hangary lotnicze, warsztaty obsługowe zakłady produkcji i montownie samochodów osobowych i furgonetek obróbka metali zakłady produkcji budowlanych konstrukcji stalowych rampy za- i wylądowcze, zakłady produkcji maszyn	ciężkie wózki podnośnikowe obciążenie na koło ≥ 80 kN ciśnienie w oponie $\geq 1,0$ MPa wózki podnośnikowe z oponami o pełnym ogumieniu naciski od koła $\geq 2,0$ MPa	beton klasy B30/37 stosunek w/c $\geq 0,42$ zalecana krzywa uziarnienia A/B 32 z dodatkiem twardych skał 11/22	≥ 9 cm ³ /50 cm ²
4	przeróbka metali – zakłady produkcji „ciężkiej” przemysł ciężki, zakłady produkcji i montownie samochodów ciężarowych	bardzo ciężkie wózki podnośnikowe obciążenie na koło > 80 kN naciski od koła $\geq 2,0$ MPa koła poliuretanowe o naciskach $\geq 4,0$ MPa	beton klasy B35/45 stosunek w/c $\geq 0,38$ zalecana krzywa uziarnienia A/B 32 z dodatkiem twardych skał 5/11 i 11/22	≥ 7 cm ³ /50 cm ²

Tabela 3. Klasy odporności na ścieranie AR na podstawie normy BS 8204–2:2002 [8]

Klasa odporności na ścieranie	Warunki użytkowania	Typowe zastosowania	Limity dla testów wg BS 8204 (mm)
AR0,5 specjalna	ekstremalnie wysoka odporność na ścieranie nacisk kół stalowych lub neoprenowych, odporność na zadrapania, ścieranie w wyniku przesuwania twardych przedmiotów	miejsca przeladunku, odlewnie, inne miejsca szczególnie narażone na uszkodzenia	0,05
AR1	bardzo wysoka odporność na ścieranie, ruch wózków na twardych kołach stalowych, neoprenowych. Miejsca narażone na występowanie materiałów ścierających	obiekty produkcyjne, magazyny, hale logistyczne	0,10
AR2	wysoka odporność na ścieranie, ruch kół neoprenowych		0,20
AR3	średnia odporność na ścieranie, ruch kół gumowych	mało obciążone obiekty produkcyjne, magazynowe, handlowe, rekreacyjne	0,40

odnośnie ścieralności [4]. Są to przede wszystkim nawierzchnie w magazynach, supermarketach i zakładach przemysłowych.

Do niedawna najbardziej rozpowszechnione było oznaczanie ścieralności na tarczy Boehmego [9]. Podczas badania mierzy się ubytek objętości badanej próbki na podstawie zmiany jej masy.

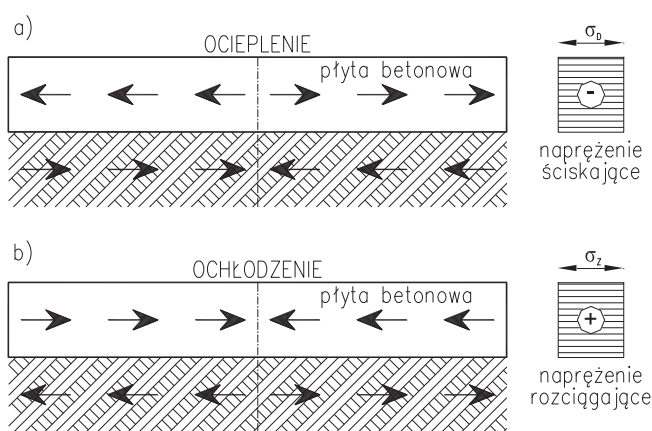
W tabeli 2 przedstawiono dobór parametrów płyty betonowej i wierzchniej warstwy nawierzchni przemysłowych: klasy betonu, stosunku wody do cementu, maksymalnej

ścieralności mierzonej na tarczy Boehmego i zalecanej krzywej uziarnienia (wg norm niemieckich DIN), w zależności od przeznaczenia obiektu, obciążeń dynamicznych od pojazdów.

W ostatniej dekadzie Polski Komitet Normalizacyjny wprowadził kilkadziesiąt nowych norm dotyczących badania ścieralności, np. metoda BCA [10] lub oznaczanie ścieralności pod naciskiem toczącego się koła. Zwraca się uwagę, że dobór metodyki badania musi uwzględniać



Rys. 6. Przykłady występowania uszkodzeń wywołanych obciążeniami chemicznymi



Rys. 7. Przemieszczanie się płyty betonowej przy zmianach temperatury: a) równomierne ocieplenie, b) równomierne ochłodzenie

zarówno właściwości betonu, jak i mechanizm jego zużycia podczas eksploatacji.

Interesującym sposobem określania ścieralności jest metoda BCA. Wynikiem badania jest głębokość wytarcia śladu podawana w mikrometrach, dzięki czemu posadzkę można zaklasyfikować do jednej z klas odporności na ścieranie AR (tabela 3).

7. Obciążenia chemiczne

Z obciążeniami chemicznymi należy się liczyć wszędzie tam, gdzie beton może ulec korozji wskutek działania na niego kwasów, tłuszczów, siarczanów, cukrów itp. Przy wyborze rodzaju warstwy wierzchniej istotne jest ustalenie jej odporności chemicznej. Zasadniczy wpływ na trwałość nawierzchni ma w takim przypadku czas działania chemikaliów. Większość materiałów jest w stanie przejmować krótkotrwałe oddziaływania chemiczne bez większych szkód, jednak przy wydłużającym się czasie dochodzi do wielu, często nieodwracalnych, uszkodzeń.

Poszczególne substancje chemiczne mają zróżnicowaną agresywność w stosunku do betonu. Najbardziej

niebezpieczne dla betonu jest oddziaływanie siarczanów i kwasów.

W celu zabezpieczenia podłogi przemysłowej przed wpływem obciążeń chemicznych stosuje się warstwy wierzchnie, których typ dobiera się pod kątem agresywności środowiska. Bardzo rozwinięty rynek budowlany tego typu materiałów umożliwia wybór warstw praktycznie dla każdego typu oddziaływań. Producenci materiałów oferują szeroką gamę rozwiązań wraz z fachowym doradztwem.

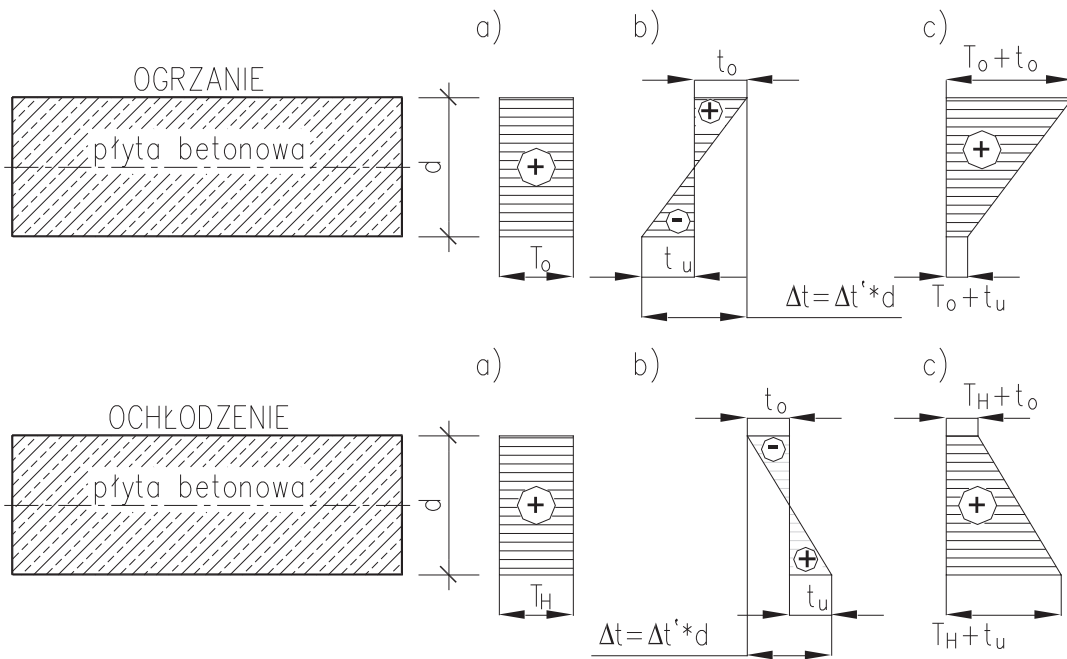
Przykłady uszkodzeń spowodowanych obciążeniami chemicznymi pokazano na rysunku 6.

8. Obciążenia termiczne

Obciążenia termiczne wynikają ze zmian temperatury i są konsekwencją powstawania różnicy temperatur w płycie w jej przekrojach oraz różnicy w stosunku do temperatury w czasie budowy. Zwłaszcza szybkie zmiany temperatury mogą powodować nadmierne odkształcenia w płycie podłogi. Ważny wpływ na wielkość naprężeń ma właściwy przebieg procesu budowlanego, tzn. zapewnienie optymalnych warunków przy wykonywaniu płyty betonowej, minimalizacja wahań temperatury, niedopuszczenie do szybkiego ochładzania się, zabezpieczenie przed przeciągami i wiatrem.

Obciążenia termiczne można podzielić na równomierne na całej wysokości płyty i nierównomierne [5].

Równomierne ochłodzenie i ogrzanie (rys. 7) – występuje na przykład w czasie powolnego, stopniowego włączania lub wyłączenia ogrzewania pomieszczeń. Równomierne ogrzewanie płyty betonowej nie wpływa wyraźnie na wielkość naprężeń i może zostać pominięte przy wymiarowaniu. Podczas ogrzewania płyta zwiększa swoją objętość. Jeżeli jakieś elementy ograniczają ten proces, to powstają w płycie naprężenia ściskające, które beton jest w stanie przenieść bez problemów. W celu minimalizacji tych naprężeń należy stosować dylatacje obwodowe, oddzielające



Rys. 8. Ogrzanie i ochłodzenie płyty betonowej: a) równierne, b) nierównierne, c) łączny wykres temperatur; T_0 – temperatura równierne ogrzania, T_H – temperatura równierne ochłodzenia, t_o , t_u – zmiana temperatury wskutek nierównierne ogrzania lub ochłodzenia

nawierzchnie od innych elementów konstrukcji. Wypełnieniem powinny być miękkie materiały o dużej ściśliwości.

Nierównierne ochłodzenie i ogrzanie (rys. 8) – jest dużo bardziej niebezpieczne, gdyż może doprowadzić do deformacji płyty betonowej. Wyróżnia się trzy zasadnicze przypadki, które prowadzą do nierównierne ogrzania lub ochłodzenia płyty betonowej [5]:

- procesy egzotermiczne, a następnie samoochłodzanie się betonu podczas procesu twardnienia,
- ogrzanie spowodowane np. oddziaływaniem promieni słonecznych lub wylewaniem gorących płynów na posadzkę,
- ochłodzenie w wyniku działania np. mrozu, chłodu nocnego lub wiatru działającego na wierzch płyty.

Wymienione przypadki są zależne od sposobu przygotowania mieszanki betonowej i późniejszej pielęgnacji świeżego betonu oraz od lokalizacji płyty – w hali lub na wolnym powietrzu.

Ochłodzaniu powierzchni można przeciwdziałać przez ochronę młodego betonu przed utratą ciepła, stosowanie zabezpieczeń przed wysychaniem i przeciągami oraz przez używanie specjalnych cementów o małym cieple hydratacji.

Nierównierne ogrzanie od góry – dotyczy najczęściej nawierzchni zlokalizowanych na wolnym powietrzu, narażonych na działanie promieni słonecznych. Ogrzanie od góry może również wystąpić, choć w mniejszym stopniu, w halach np. wskutek wylewania na górną

powierzchnię gorących płynów lub wskutek nagrzewania płyty przez promienie słoneczne w pobliżu dużych przeszkleń. Pod wpływem ogrzania w płycie betonowej w środkowym obszarze pomiędzy szczelinami dylatacyjnymi wystąpią deformacje – naprężenia paczące (rys. 8). Dążeniem do odkształceń na skutek działania różnych temperatur w części górnej i w części dolnej przeciwstawia się odporność płyty na zmianę kształtu, wynikająca z ciężaru płyty i faktu, że dolna warstwa reaguje na zmiany znacznie wolniej niż warstwa górna. Wielkość naprężeń paczących zależy od długości płyty – rozstawu szczelin dylatacyjnych, grubości płyty – ciężaru własnego płyty oraz od wartości różnicy temperatur.

Nierównierne ochłodzenie od góry – dla nawierzchni zlokalizowanych na wolnym powietrzu z tym obciążeniem mamy do czynienia podczas zmian temperatury wskutek jej obniżania się w nocy lub występowania mrozu. Podłogi przemysłowe w pomieszczeniach są narażone na ochłodzenie od góry, np. lokalnie w rejonach drzwi wejściowych i bram wskutek ich częstego otwierania, przy dużej różnicy temperatur pomiędzy wnętrzem i zewnątrz budynku. Szacuje się, że obciążenia wywołane nierównierne ochłodzeniem płyty nośnej od góry są równe połowie wpływów związanych z nierównierne ogrzaniem od góry [1]. Wskutek tych oddziaływań płyta doznaje odkształceń paczących (rys. 8), co w konsekwencji może prowadzić do podnoszenia się naroży. Naprężenia związane z ochłodzeniem są podobne w swoich skutkach do działania skurczu. Kiedy oba te zjawiska występują jednocześnie, trzeba się liczyć z sumowaniem się obciążeń.

9. Skurcz

Beton w czasie procesu wiązania potrzebuje określonej ilości wody. W praktyce wartość stosowana do przygotowania i wbudowania mieszanki betonowej jest znacznie większa. Jest to spowodowane koniecznością uzyskania odpowiedniej konsystencji. Podczas procesu wiązania część wody wyparowuje, co powoduje zmniejszenie objętości płyty betonowej. Wielkość skurczu jest zależna do receptury betonu, wilgotności panującej w otoczeniu oraz od wymiarów płyty betonowej.

Skurcz, przy braku lub niewłaściwej pielęgnacji, może rozpocząć się już w momencie początku wiązania betonu. Jednak zasadniczy występuje, gdy wyparuje z niego co najmniej 20% wody wolnej, czyli takiej, która nie ma wpływu na zjawiska napięć kapilarnych [3].

Aby zapewnić małą wartość skurczu, kluczowy jest właściwy dobór poszczególnych składników przy ustalaniu receptury mieszanki betonowej.

Analogicznie jak w przypadku obciążeń wynikających ze zmian temperatury, także w przypadku skurczu mamy do czynienia ze skurczem nierównomiernie występującym na całej wysokości płyty i skurczem równomiernym.

Skurcz nierównomierny – występuje, ponieważ wysychanie płyty betonowej nie jest równomierne – bardziej intensywne jest na jej górnej powierzchni. Może wtedy dochodzić do podnoszenia się narożników płyty. Następstwa tego procesu są podobne jak nierównomiernego ochładzania płyty nośnej.

Skurcz równomierny – występowanie skurczu w betonie jest procesem wieloletnim, który zachodzi przez cały okres użytkowania podłogi przemysłowej. Zjawisko skutkuje skracaniem się płyty betonowej. Efekty skurczu równomiernego są podobne jak przy równomiernym ochładzaniu się betonu.

Naprężenia powstałe w wyniku skurczu mogą zostać częściowo odwrócone przez pełzanie betonu, pod warunkiem jest jednak wcześniejszego niezarysowania się betonu.

10. Sumaryczne zestawienie oddziaływań

Opisane obciążenia powodują występowanie naprężeń rozciągających przy zginaniu na górnej lub dolnej powierzchni płyty betonowej. Oprócz tego występują czyste naprężenia rozciągające. Obydwa te rodzaje oddziaływań mogą występować jednocześnie.

Przy rozpatrywaniu naprężeń występujących na dolnej powierzchni płyty nośnej należy rozważyć następujące przypadki obciążeń:

- obciążenie skupione w środku rozpiętości płyty,
- obciążenie skupione na krawędzi płyty – równoległe do krawędzi,
- ogrzanie płyty posadzki od góry,
- występowanie przeszkód nie pozwalających na skrócenie się płyty przy równomiernym skurczu.

Dla górnej płaszczyzny płyty podłogi podstawową rolę odgrywają:

- obciążenie skupione w narożu płyty,

Tabela 4. Oddziaływania w płycie betonowej wywołane obciążeniami wewnętrznymi i zewnętrznymi [5]

Rodzaj oddziaływania		Przyczyna	Możliwe skutki
Oddziaływania wywołane obciążeniami wewnętrznymi	utrata ciepła hydratacji	ochłodzenie powierzchni płyty podczas wiązania betonu	mikrorysy na powierzchni płyty
	skurcz przy wiązaniu betonu	utrata wody podczas wiązania betonu	rysy na powierzchni płyty
	nierównomierny skurcz	odparowanie wody z górnej powierzchni betonu	podnoszenie się krawędzi płyty, rysy na powierzchni płyty
	równomierny skurcz	utrata wody z całego przekroju (grubości) płyty	skrócenie się poszczególnych pól płyty, otwieranie się szczelin, ciągłe rysy
	nierównomierne ochłodzenie lub ogrzanie	krótkotrwałe zmiany temperatury (dzień/noc, otwory drzwiowe, obszary narażone na nasłonecznienie)	deformacja płyty betonowej, rysy
	równomierne ochłodzenie lub ogrzanie	długotrwałe zmiany temperatury (lato/zima, ogrzewanie)	skrócenie lub wydłużenie się płyty betonowej, ciągłe rysy
Oddziaływania wywołane obciążeniami zewnętrznymi	obciążenia o działaniu punktowym	obciążenia od pojazdów lub regatów: obciążenie w środku płyty → obciążenie na krawędzi płyty → obciążenie w narożu płyty →	rysy wywołane naprężeniami rozciągającymi przy zginaniu: ← na dolnej powierzchni płyty ← na górnej powierzchni płyty ← na górnej powierzchni płyty
	obciążenia powierzchniowe	składowane towary	wzrost naprężeń wskutek występowania ograniczeń (przeszkód) w deformacji płyty
	obciążenia ruchome (dynamiczne)	maszyny	rysy

- obciążenie skupione na krawędzi płyty – prostopadle do krawędzi,
- ochłodzenie od góry,
- występowanie przeszkód nie pozwalających na skrócenie się płyty przy równomiernym ochłodzeniu,
- nierównomierny skurcz,
- występowanie przeszkód nie pozwalających na skrócenie się płyty przy równomiernym skurczu.

To, która kombinacja obciążeń powoduje większe wyężenie, jest uwarunkowane z jednej strony lokalizacją obciążeń i ich wielkością, a z drugiej występowaniem obciążeń od temperatury i warunków, które wpływają na wartość skurczu.

Skutki działania poszczególnych obciążeń zamieszczono w tabeli 4.

11. Podsumowanie

Przy wymiarowaniu podłogi przemysłowej istotne jest nie tylko spełnienie określonych wymogów odnośnie przygotowania podbudowy i podłoża gruntowego, ale także znajomość możliwych oddziaływań i obciążeń. Podłogi należą do najbardziej narażonych na uszkodzenia elementów budownictwa przemysłowego. Są one najczęściej remontowanymi fragmentami obiektów budowlanych. Jedną z głównych przyczyn tych problemów jest niedostosowanie założeń projektowych do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych, dlatego

bardzo ważne jest właściwe przyjęcie obciążeń, którym będzie poddana podłoga przemysłowa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Eisenmann J., Leykauf G., Betonfahrbahnen. Handbuch für Beton, Stahlbeton-, und Spannbetonbau, Verlag Ernst & Sohn, Berlin – München – Düsseldorf 1979, Berlin 2003
- [2] Hajduk. P., Projektowanie podłóg przemysłowych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013
- [3] Jamroz Z., Beton i jego technologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Kraków 2000, 2008
- [4] Karwacki J., Podłogi przemysłowe, Polski Cement, kwiecień-czerwiec 2001
- [5] Lohmeyer G., Ebeling K., Betonböden im Industriebau. Hallen- und Freiflächen, Herausgeber Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln 1999
- [6] Nita P., Betonowe nawierzchnie lotniskowe. Teoria i wymiarowanie konstrukcyjne, Wydawnictwo Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Warszawa 2005
- [7] Nita P., Budowa i utrzymanie nawierzchni lotniskowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1999, 2008
- [8] BS 8204-2:2002 Screeds, bases and in situ floorings. Concrete wearing surfaces. Code of practice
- [9] PN-EN 13892-3:2005 Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 3: Oznaczenie odporności na ścieranie według Boehmego
- [10] PN-EN 13892-4:2004 Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 4: Oznaczenie odporności na ścieranie według BCA
- [11] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach

PMR | MARKET EXPERTS

BRANŻOWE FORUM & PREMIERA RAPORTU PMR

BUDOWNICTWO W POLSCE 2018

PRZYSPIESZENIE INWESTYCYJNE - UMIARKOWANY OPTYMIZM CZY SILNY WZROST?
PROGNOZY. STRATEGIE I ZAGROŻENIA DLA BRANŻY

12 października 2017
Hotel Airport Okęcie, Warszawa

ZGŁOŚ UDZIAŁ

WWW.FORUM-BUDOWNICTWO.COM