

Piotr Hajduk

# Projektowanie i ocena techniczna betonowych PODŁÓG PRZEMYSŁOWYCH

Wydanie drugie



 PWN

Projektowanie i ocena techniczna betonowych  
**PODŁÓG PRZEMYSŁOWYCH**





Piotr Hajduk

Projektowanie i ocena techniczna betonowych  
**PODŁÓG PRZEMYSŁOWYCH**

Wydanie drugie

 PWN

Projekt okładki i stron tytułowych: **Ireneusz Gawliński**

Ilustracja na okładce: **Piotr Hajduk**

Wydawca: **Karol Zawadzki**

Koordynator ds. redakcji: **Adam Kowalski**

Redaktor: **Maria Kasperska**

Produkcja: **Mariola Grzywacka**

Skład: **Grafini, Brwinów**

Dział reklamy: **Agnieszka Borzęcka (agnieszka.borzecka@pwn.com.pl)**

Recenzent II wydania: **Łukasz Drobiec, dr hab. inż., prof. Politechniki Śląskiej**

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

Szanujmy cudzą własność i prawo

Więcej na [www.legalnakultura.pl](http://www.legalnakultura.pl)

*Polska Izba Książki*

Copyright © by Wydawnictwo Naukowe PWN SA

Copyright © by Piotr Hajduk

Warszawa 2018

ISBN: 978-83-01-19838-1

Wydanie II

Wydawnictwo Naukowe PWN SA

02-460 Warszawa, ul. Gottlieba Daimlera 2

tel. 22 69 54 321; faks 22 69 54 288

infolinia 801 33 33 88

e-mail: [pwn@pwn.com.pl](mailto:pwn@pwn.com.pl);

[reklama@pwn.pl](mailto:reklama@pwn.pl) [www.pwn.pl](http://www.pwn.pl); [reklama@pwn.pl](mailto:reklama@pwn.pl)

Druk i oprawa: OSDW AZYMUT Sp. z o.o.

# Spis treści

<b>Podstawowe oznaczenia</b> .....	IX
<b>1. Wstęp</b> .....	1
<b>2. Rys historyczny rozwoju nawierzchni przemysłowych</b> .....	6
<b>3. Wymagania stawiane podłogom przemysłowym</b> .....	8
<b>4. Obowiązujące przepisy i stosowane normy</b> .....	17
<b>5. Oddziaływania i obciążenia podłóg przemysłowych</b> .....	22
5.1. Zasady ustalania wartości oddziaływań .....	23
5.1.1. Ogólna klasyfikacja oddziaływań .....	23
5.1.2. Ustalanie wartości oddziaływań .....	24
5.1.3. Kombinacje oddziaływań .....	24
5.2. Podział obciążeń podłóg przemysłowych .....	25
5.2.1. Obciążenia statyczne .....	26
5.2.2. Obciążenia dynamiczne .....	30
5.2.3. Obciążenia montażowe .....	45
5.2.4. Obciążenia mechaniczne .....	45
5.2.5. Obciążenia chemiczne .....	51
5.2.6. Obciążenia termiczne .....	55
5.2.7. Skurcz .....	58
5.2.8. Sumaryczne zestawienie oddziaływań .....	60
<b>6. Konstrukcja warstw podłogi przemysłowej</b> .....	62
6.1. Podłoże gruntowe .....	64
6.1.1. Osiadanie podłoża .....	69
6.1.2. Nośność podłoża gruntowego .....	70
6.1.3. Zagęszczalność podłoża .....	80
6.1.4. Mrozoodporność i wysadzinowość podłoża gruntowego .....	82
6.1.5. Wzmacnianie podłoża gruntowego .....	85
6.2. Podbudowa .....	117
6.2.1. Podbudowy z mieszanek piaskowo-żwirowych [N86], [N34] .....	118
6.2.2. Podbudowy z gruntów stabilizowanych hydraulicznie .....	122

6.2.3. Podbudowy z chudego betonu	122
6.2.4. Podbudowy z wykorzystaniem starych, istniejących nawierzchni	123
6.2.5. Podbudowy wykonane z warstw o zwiększonej izolacyjności cieplnej	124
6.2.6. Projektowanie podbudowy	125
6.3. Warstwy poślizgowe i rozdzielające	127
6.4. Płyta nośna	128
6.4.1. Płyty betonowe niezbrojone	131
6.4.2. Płyty betonowe zbrojone	132
6.4.3. Płyty betonowe zbrojone włóknami stalowymi	137
6.4.4. Płyty betonowe zbrojone innymi rodzajami włókien	150
6.4.5. Płyty betonowe zbrojone stalą sprężającą	152
6.5. Dylatacje	157
6.5.1. Podstawowe zasady planowania dylatacji	158
6.5.2. Szczeliny skurczowe	162
6.5.3. Dylatacje robocze	165
6.5.4. Dylatacje konstrukcyjne	168
6.5.5. Dyblowanie i kotwienie szczelin	170
6.6. Posadzki podłóg przemysłowych	182
6.6.1. Przygotowanie podłoża pod posadzkę	183
6.6.2. Podział posadzek przemysłowych	185
6.6.3. Posadzki specjalnego przeznaczenia	193
<b>7. Wymiarowanie podłóg przemysłowych</b>	<b>204</b>
7.1. Wymiarowanie podbudowy i podłoża gruntowego	206
7.1.1. Określanie parametrów podłoża	208
7.1.2. Określanie zależności pomiędzy modułami odkształcenia podłoża $E_v$ i modułem reakcji podłoża $k$	211
7.1.3. Określanie obliczeniowych współczynników nośności dla podłoża uwarstwionego	215
7.1.4. Płyta betonowa ułożona na warstwach izolacji cieplnej	219
7.2. Ustalanie wartości wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu płyty betonowej oraz dopuszczalne odkształcenia betonu i fibrobetonu	220
7.2.1. Ustalanie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu oraz dopuszczalne odkształcenia betonu	220
7.2.2. Określanie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu fibrobetonu	224
7.3. Wymiarowanie płyty nośnej	232
7.3.1. Wartości współczynników obliczeniowych	234
7.3.2. Wymiarowanie podłóg przemysłowych obciążonych siłami skupionymi	239
7.3.3. Podłogi przemysłowe narażone na obciążenia liniowe	285
7.3.4. Naprężenia od obciążeń powierzchniowych	285
7.3.5. Odkształcenia płyty nośnej pod wpływem obciążeń grawitacyjnych	288
7.3.6. Wymiarowanie podłóg przemysłowych narażonych na działanie temperatury	288
7.3.7. Wymiarowanie podłóg przemysłowych ze względu na skurcz betonu	306

---

<b>8. Ocena stanu technicznego podłóg przemysłowych</b> .....	330
8.1. Najczęstsze przyczyny i objawy uszkodzeń oraz wad podłóg przemysłowych .	337
8.1.1. Nierówność nawierzchni .....	339
8.1.2. Uszkodzenia dylatacji .....	340
8.1.3. Zarysowanie posadzki .....	342
8.1.4. Paczenie – curling .....	349
8.1.5. Uszkodzenia warstw wierzchnich .....	350
8.1.6. Wady podłoża gruntowego i podbudowy .....	358
8.2. Metodyka opracowania oceny stanu technicznego podłóg przemysłowych ....	359
8.2.1. Analiza dostępnej dokumentacji oraz warunków użytkowania obiektu .	362
8.2.2. Wizje lokalne oraz inwentaryzacja stanu istniejącego z uwzględnieniem uszkodzeń .....	363
8.2.3. Badania podłogi in situ oraz badania laboratoryjne .....	364
8.2.4. Analiza obliczeniowa stanów granicznych nośności i użytkowania ....	385
8.2.5. Analiza otrzymanych wyników i propozycja napraw podłogi .....	385
8.3. Analiza przyczyn powstawania rys w betonowych podłogach przemysłowych na przykładzie badań autora .....	386
8.3.1. Badania podłóg przemysłowych .....	387
8.3.2. Analiza przyczyn powstawania rys .....	388
8.3.3. Podsumowanie .....	408
<b>Zakończenie</b> .....	409
<b>Bibliografia</b> .....	410
<b>Indeks</b> .....	422





# Podstawowe oznaczenia

## Duże litery łacińskie

$A_c$	– pole powierzchni przekroju poprzecznego elementu betonowego
$A_{c,eff}$	– efektywne pole przekroju rozciąganego otaczającego zbrojenie
$A_{ct}$	– pole przekroju strefy rozciąganej w chwili poprzedzającej zarysowanie
$A'_{ct}$	– pole przekroju poprzecznego obszaru zarysowanego
$A_s$	– pole przekroju poprzecznego stali zbrojeniowej
$A_{s,Diag}$	– pole przekroju zbrojenia przeciwskurczowego odczytane z wykresów
$A_{s,min}$	– pole przekroju zbrojenia przeciwskurczowego
$B$	– mniejszy wymiar płyty posadzki
$C$	– ilość cementu przy wykonywaniu stabilizacji cementem
$CBR (w_{noś})$	– wskaźnik nośności gruntu
$C_{Rd,c}$	– współczynnik empiryczny stosowany przy sprawdzaniu płyty na przebicie
$C_x, C_y$	– współczynniki zależne od wymiarów płyty i stosunku $L_x/L$ oraz $L_y/L$
$D$	– średnica śladu równoważnej powierzchni koła, średnica zastępcza powierzchni styku koła z powierzchnią płyty
$D$	– średnica przy określaniu modułu odkształcenia płytą sztywną
$E_{cm}$	– moduł sprężystości (Younga) betonu
$E_{cm(t)}$	– moduł sprężystości betonu w czasie występowania maksymalnej temperatury
$E_{cm}(t_s)$	– moduł sprężystości betonu na rozciąganie w momencie rozpoczęcia zjawiska skurczu
$E_{ct}(T)$	– współczynnik sprężystości betonu na rozciąganie
$E_f$	– moduł sprężystości włókien stalowych
$E_g, E_r$	– równoważny moduł odkształcenia podłoża
$E_i$	– moduł odkształcenia $i$ -tej warstwy podłoża
$E_{iz}$	– moduł sprężystości materiału termoizolacji
$E_o$	– moduł sprężystości podłoża przy wzmacnianiu geosyntetykami

$E_s$	– moduł sprężystości gruntów stabilizowanych
$E_s$	– moduł sprężystości stali zbrojeniowej
$E_{sr}$	– średni moduł odkształcenia podłoża
$E_u$	– moduł odkształcenia podłoża przed wzmocnieniem
$E_{v1}$	– pierwotny moduł odkształcenia
$E_{v2}$	– wtórny moduł odkształcenia
$E_{vd}$	– moduł dynamiczny
$E_y$	– moduł sprężystości geosyntetyku
$F$	– siła obciążająca badaną próbkę
$F_{cr}$	– siła w zbrojeniu w momencie wystąpienia rysy
$F_{cr,eff}$	– siła w zbrojeniu w momencie wystąpienia rysy w strefie oddziaływania zbrojenia na wystąpienia rysy
$F_s$	– siła w zbrojeniu od oddziaływań zewnętrznych
$H$	– ciepło hydratacji cementu
$H$	– siła pozioma
$H_{kb}$	– kapilarność bierna
$I_c$	– moment bezwładności przekroju betonowego
$I_C$	– wskaźnik konsystencji
$I_D$	– stopień zagęszczenia gruntu
$I_L$	– stopień plastyczności
$I_o$	– wskaźnik odkształcenia, będący stosunkiem modułu odkształcenia wtórnego $E_{v2}$ do modułu odkształcenia pierwotnego $E_{v1}$
$I_p$	– wskaźnik plastyczności
$I_s$	– wskaźnik zagęszczenia gruntu
$K$	– umowny moduł sprężystości geosyntetyku
$L$	– długość płyty pomiędzy szczelinami roboczymi lub dylatacyjnymi
$L_{kryt}$	– długość krytyczna płyty posadzki
$L_s$	– odchylenie standardowe
$L_x, L_y$	– wymiary płyty w kierunku $x$ i $y$
$M, M_0$	– moment zginający
$M_d$	– dodatni moment zginający – dolna powierzchnia płyty w metodzie Meyerhofa–Losberga
$M_g$	– ujemny moment zginający – górna powierzchnia płyty w metodzie Meyerhofa–Losberga
$N$	– liczba cykli obciążenia
$N$	– liczba kół przy jednej goleni głównej podwozia
$N$	– siła podłużna
$P$	– obciążenie koła pojazdu
$Q, Q_F$	– punktowe obciążenie nawierzchni
$Q_b$	– pojemność cieplna betonu
$Q_d$	– obliczeniowe obciążenie skupione od kół pojazdów

$Q_k$	– charakterystyczne obciążenie skupione
$R$	– wypadkowa siła oddziaływania
$R_{3,m}$	– iloraz odporności na pękanie posadzki zbrojonej włóknami stalowymi, określane według normy japońskiej JSI-SF4
$R_e$	– iloraz odporności na pękanie, wskaźnik wytrzymałości równoważnej
RH	– względna wilgotność powietrza
$R_{n,m}$	– wskaźnik rezydualnej wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu
$R_s$	– granica plastyczności stali zbrojeniowej
$\Delta T$	– różnica temperatur
$U$	– wskaźnik uziarnienia
$V_{Ed}$	– nośność na przebicie w obszarze kontrolnym
$\Delta V_{Ed}$	– odpór gruntu działający w granicach rozważanego obwodu kontrolnego
$V_{Ed,red}$	– siła przebijająca zredukowana o odpór gruntu
$V_f$	– nośność na przebicie płyty zbrojonej włóknami stalowymi
$V_f$	– objętość włókien stalowych
$V_m$	– objętość betonu,
$V_{Rd}$	– siła ścinająca
$V_{Rd,max}$	– maksymalna nośność na przebicie w obszarze przyległym do słupa
$W$	– ilość wody przy wykonywaniu stabilizacji cementem
$W$	– wskaźnik wytrzymałości przekroju na zginanie, $W = h^2/6$
$W_f$	– waga dozowanych włókien
WP	– wskaźnik piaskowy
$X$	– procentowy dodatek cementu do gruntu, przy wykonywaniu stabilizacji cementem
$X$	– procentowy dodatek wapna do gruntu, przy wykonywaniu stabilizacji wapnem

## Małe litery łacińskie

$a$	– odległość od skraju słupa do rozważanego przekroju kontrolnego przy sprawdzaniu płyty na przebicie
$a$	– promień kołowej powierzchni obciążającej, promień styku opony z nawierzchnią
$a_c$	– szerokość pasma rozdziału obciążenia przy sprawdzaniu płyty na przebicie
$b$	– promień równoważnego rozkładu ciśnień w metodzie Westergarda
$b$	– szerokość próbki do badań laboratoryjnych
$b_s, c_s$	– wymiary płyty podstawy regału lub gabaryty słupa przy sprawdzaniu płyty na przebicie
$c$	– kohezja podłoża gruntowego

$c$	– wielkość ciśnienia wewnętrznego (ciśnienia ładowania) w oponie
$c$	– współczynnik korekcyjny do wyznaczania modułu reakcji podłoża metodą Eisenamanna,
$c$	– zawartość cementu w metrze sześciennym betonu
$c$	– otulina zbrojenia
$d$	– grubość warstwy izolacji
$d$	– średnia wysokość użyteczna przekroju przy sprawdzaniu płyty na przebicie
$d$	– średnica dybla
$d_f$	– średnica włókna
$d_1, d_2$	– poprzeczne wymiary badanej próbki
$d_s$	– średnica zbrojenia
$f$	– współczynnik przeliczeniowy przy wzmacnianiu geosyntetykami
$f_{cd}$	– obliczeniowa wytrzymałość betonu na ściskanie
$f_{ck}$	– charakterystyczna wytrzymałość betonu na ściskanie
$f_{cm}$	– średnia wytrzymałość betonu na ściskanie
$f_{cm,fl}$	– wytrzymałość betonu na rozciąganie przy zginaniu
$f_{ct}$	– wytrzymałość betonu na rozciąganie
$f_{ct,eff}$	– średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie w chwili spodziewanego zarysowania
$f_{ct,sp}$	– wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu
$f_{ctk0,05}$	– 5% kwantyl wytrzymałości charakterystycznej na rozciąganie
$f_{cm}$	– średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie
$f_{cv,d}$	– obliczeniowa wytrzymałość betonu przy sile poprzecznej i ścinaniu
$f_{eq}$	– równoważna wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu fibrobetonu
$f_{cflk}^f$	– wytrzymałość betonu na rozciąganie przy zginaniu po zarysowaniu
$f_{cflm,L1}^f, f_{cflm,L2}^f$	– średnia wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu po zarysowaniu
$f_{cti,L}^f$	– granica proporcjonalności naprężeń w fibrobetonie
$f_{cto}^f$	– osiowa wytrzymałość na rozciąganie po zarysowaniu
$f_g$	– deformacja płyty betonowej wywołana skurczem nierównomiernym
$f_{R,j}$	– resztkowa wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu fibrobetonu
$f_u$	– graniczna wytrzymałość na rozciąganie fibrobetonu
$f_{yd}$	– granica plastyczności stali zbrojeniowej
$g$	– ciężar płyty betonowej
$h$	– wysokość przekroju, grubość betonowej płyty posadzki
$h$	– wysokość próbki do badań laboratoryjnych
$h$	– wysokość spadania bijaka przy wykonywaniu konsolidacji dynamicznej
$h$	– grubość stabilizowanej warstwy przy wykonywaniu stabilizacji cementem lub wapnem
$h_i$	– grubość $i$ -tej warstwy podłoża
$k$	– moduł reakcji podłoża, moduł podatności gruntu

$k$	– współczynnik skali
$k$	– współczynnik uwzględniający wpływ nierównomiernych naprężeń samorównoważących się w ustroju
$k_3$	– współczynnik relaksacji naprężeń skurczowych w wyniku pełzania betonu
$k_c$	– współczynnik uwzględniający rozkład naprężeń w przekroju w chwili poprzedzającej zarysowanie
$k_d$	– współczynnik dynamiczny obciążenia samolotem
$k_h$	– współczynnik zależy od miarodajnego wymiaru $h_0$ przy obliczaniu skurczu betonu
$k_{iz}$	– współczynnik podatności warstwy izolacji termicznej
$k_s$	– współczynnik odchylenia standardowego
$l$	– promień względnej sztywności płyty
$l$	– rozstaw podpór próbki do badań laboratoryjnych
$\Delta l$	– zmiana długości płyty betonowej
$\max T_H$	– maksymalna wartość wzrostu temperatury wskutek hydratacji cementu
$\max \sigma_R$	– maksymalne naprężenia podłużne
$\max \sigma_t$	– maksymalne obciążenia spowodowane tarcieniem
$m_d$	– moment zginający
$m_{m,d}$	– moment zginający od oddziaływań zewnętrznych
$m_w$	– moment powstały wskutek zmian temperatury
$n$	– liczba warstw podłoża
$n$	– liczba cykli obciążenia
$n$	– liczba próbek
$n$	– współczynnik przeciążenia nawierzchni
$p$	– ciśnienie powietrza w oponie
$p$	– docisk przekazywany na płytę betonową od nóg regałów
$p$	– naprężenia kontaktowe pomiędzy kołem i płytą betonową
$p$	– obciążenie jednostkowe
$\Delta p$	– różnica nacisków
pH	– wskaźnik kwasowości
$q$	– obciążenie powierzchniowe
$q_d$	– obliczeniowe obciążenie równomiernie rozłożone
$q_k$	– charakterystyczne obciążenie równomiernie rozłożone
$\Delta s$	– przyrost (różnica) osiadań
$\Delta s$	– szerokość szczeliny przeciwskurczowej
$t$	– głębokość oddziaływania konsolidacji dynamicznej
$t$	– wiek betonu, czas,
$t_s$	– wiek betonu na początku skurczu (w dniach) na początku wysychania (albo pęcznienia)

$u$	– obwód części przekroju wystawionej na wysychanie przy obliczaniu skurczu betonu
$v$	– prędkość jazdy
$w$	– wilgotność gruntu
$w$	– współczynnik efektywności połączenia płyt posadzki
$w/c$	– stosunek (wskaźnik) ilości wody do cementu w betonie
$w_1$	– deformacja wywołana ogrzaniem
$w_2$	– deformacja wywołana mimośrodowym przyłożeniem siły w szczelinach dylatacyjnych
$w_g$	– deformacja wywołana ciężarem własnym
$w_k$	– rozwartość rys
$w_L$	– granica płynności
$w_n$	– wilgotność naturalna
$w_{\text{noś}}$ (CBR)	– wskaźnik nośności gruntu
$w_{\text{opt}}$	– wilgotność optymalna
$w_P$	– granica plastyczności
$y_1$	– ugięcie obciążonej krawędzi płyty przy obliczaniu współczynnika efektywności połączenia
$y_2$	– ugięcie nieobciążonej krawędzi płyty przy obliczaniu współczynnika efektywności połączenia
$z$	– głębokość oddziaływania
$z$	– grubość warstwy podbudowy
$z$	– ugięcie podłoża

## Litery greckie

$\alpha$	– współczynnik przenoszenia sił poprzecznych z jednej płyty na drugą w metodzie OSŻD
$\alpha$	– współczynnik zależny od rodzaju gruntu przy wykonywaniu konsolidacji dynamicznej
$\alpha_{ct}$	– współczynnik uwzględniający długotrwałość obciążenia
$\alpha_{ds1}$	– współczynnik zależny od rodzaju cementu przy obliczaniu skurczu betonu
$\alpha_t$	– współczynnik rozszerzalności termicznej betonu
$\beta$	– współczynnik uwzględniający zmniejszenie się naprężeń dzięki zmniejszeniu się pęcznienia płyt w wyniku wstępnego naprężenia podłużnego w metodzie OSŻD
$\beta_{as}(t)$	– współczynnik służący do obliczania skurczu autogenicznego
$\beta_{cc}(t)$	– współczynnik zależny od wieku betonu