

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

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
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;

reklama@pwn.pl www.pwn.pl; reklama@pwn.pl

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

Spis treści

Podstawowe oznaczenia	IX
1. Wstęp	1
2. Rys historyczny rozwoju nawierzchni przemysłowych	6
3. Wymagania stawiane podłogom przemysłowym	8
4. Obowiązujące przepisy i stosowane normy	17
5. Oddziaływania i obciążenia podłóg przemysłowych	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
6. Konstrukcja warstw podłogi przemysłowej	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
7. Wymiarowanie podłóg przemysłowych	204
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

8. Ocena stanu technicznego podłóg przemysłowych	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
Zakończenie	409
Bibliografia	410
Indeks	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}^f	– 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
ΔT	– różnica temperatur
U	– wskaźnik uziarnienia
V_{Ed}	– nośność na przebicie w obszarze kontrolnym
ΔV_{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 Eisenmanna,
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_{ctm}	– 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
$f_{ctl,L}^f$	– 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