

# Przegląd metod wyznaczania parcia mieszanki betonowej na deskowanie

Prediction methods review of formwork pressure generated by fresh concrete

dr hab. inż. Andrzej Ambroziak, prof. uczelni (ORCID: 0000-0002-7735-7863), Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska

DOI: 10.5604/01.3001.0054.4873

**Streszczenie:** W pracy poruszono tematykę wyznaczania parcia mieszanki betonowej na deskowanie. Zebrano i opisano wybrane cztery modele stosowane do wyznaczania rozkładu ciśnienia poziomego świeżej mieszanki betonowej oddziałującej na deskowanie. Dokonano krótkiego przeglądu literatury z zakresu omawianej tematyki parcia mieszanki betonowej na deskowanie.

**Słowa kluczowe:** deskowanie, parcie mieszanki betonowej, DIN 18218, ACI 347-14.

**Abstract:** The paper addresses determining the pressure of the fresh concrete mix on the formwork. Selected four models used to determine the horizontal pressure distribution of fresh concrete mix acting on the formwork are collected and described. A short review of the literature on the subject of concrete mix pressure on the formwork is presented.

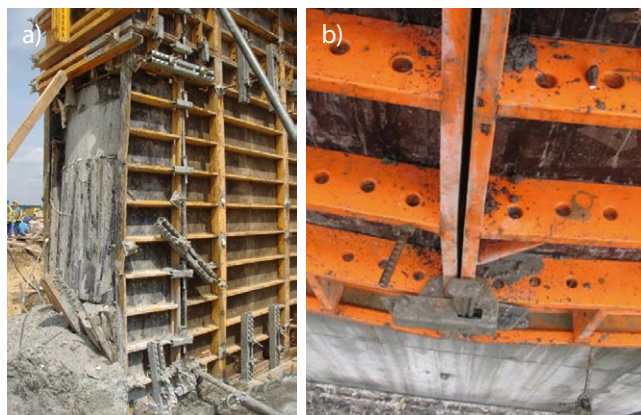
**Keywords:** formwork, pressure of fresh concrete, DIN 18218, ACI 347-14.

## 1. Wprowadzenie

Proces wykonywania konstrukcji betonowych i żelbetowych jest nierozdzielnie związany z różnego rodzaju deskowaniem utrzymującym mieszankę betonową w zadanej formie (geometrii) do czasu jej związania (stwardnienia). Na rynku dostępnych jest wiele typów i rodzajów deskowań, m.in. deskowania pionowe (np. deskowania ściennie), deskowania poziome (np. deskowania stropowe). Od deskowań oczekuje się odpowiedniej jakości (trwałości), zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa podczas wykonywania robót (zbrojarskich, szalunkowych i betoniarskich) oraz ich ekonomiczności w zastosowaniu [1]. Głównym obciążeniem, na które projektuje się deskowania, jest parcie mieszanki betonowej, jakie generowane jest w trakcie procesu układania mieszanki w deskowaniu. Na wartość obciążeń pochodzących od parcia mieszanki betonowej ma wpływ wiele czynników, do których możemy zaliczyć m.in.: ciężar właściwy mieszanki, szybkość układania mieszanki betonowej (prędkość wzrostu wysokości mieszanki), konsystencję mieszanki, wysokość betonowania, temperaturę mieszanki betonowej, głębokość i sposób wibrowania (wibratory wgłębne lub zewnętrzne), rodzaj cementu, typ/rodzaj zastosowanych dodatków do betonów, wielkość i kształt szalunku, ilość i rozkład stali zbrojeniowej, szczelność poszycia deskowań, powierzchnię przekroju wibrowanego elementu, gładkość poszycia deskowań, pochylenie deskowania itp. Przykładowo deskowania ściennie pogrupowane są ze względu na dopuszczalne parcie mieszanki betonowej np. do 40 kPa, do 60 kPa, do 80 kPa itp. Wykonawca robót

żelbetowych wspólnie z dostawcą deskowań inwentaryzowanych dokonuje doboru/wyboru danego typu deskowania, zakładając pewne ograniczenia związane z czynnikami, które wpływają bezpośrednio na wartość parcia mieszanki betonowej. W niektórych przypadkach, kiedy proces wykonywania deskowań elementów konstrukcji betonowych i żelbetowych jest niezgodny z dokumentacją techniczną ruchową (DTR) lub gdy proces betonowania jest niezgodny z przyjętymi założeniami na etapie doboru deskowań (np. zmiana prędkości betonowania i/lub zmiana konsystencji mieszanki betonowej), dochodzi do uszkodzeń i deformacji deskowań (rys. 1).

Konsekwencje tych nieprawidłowych działań zawsze przyczyniają się do dezorganizacji prac wraz z konsekwencjami finansowymi dla wykonawcy robót betoniarskich i/lub zagrożenia utraty zdrowia i życia osób wykonujące roboty [2, 3].



Rys. 1. Widok na uszkodzone deskowania w trakcie betonowania

Dlatego prawidłowa organizacja robót, przestrzeganie zasad BHP (bezpieczeństw i higieny pracy), wykonywanie robót zgodnie z IBWR (instrukcja bezpiecznego wykonywania robót budowlanych) oraz kontrola w trakcie ich wykonywania jest nieodzownym i koniecznym czynnikiem każdego rodzaju robót [4, 5].

Jednym z pierwszych opracowań naukowo-badawczych podejmujących tematykę oddziaływania mieszanki betonowej na deskowanie była praca McCullougha [6]. Potrzeba szczegółowego zrozumienia zjawiska oddziaływania mieszanki betonowej na deskowanie i opracowania metod wyznaczenia rozkładu parcia mieszanki betonowej spowodowała rozwój badań w tym zakresie, który trwa nieprzerwanie od wielu lat. Przegląd metod z zakresu wyznaczenia parcia mieszanek betonowych na deskowanie przedstawili m.in. Prose [7], Gowripalan i inni [8] oraz Khayat i Omran [9]. Khayat i Asaad [10] opisali systemy pomiarowe do wyznaczenia parcia mieszanek betonów samozagęszczalnych na deskowania. Gołaszewski [11] dokonuje porównania technologii betonu samozagęszczalnego z betonem zagęszczanego w sposób tradycyjny. Gołaszewski i Drewniak [12] przedstawili dobór deskowań systemowych do wykonywania konstrukcji z betonu samozagęszczanego. Kańska i Sołtysik [13] opisali przykłady zastosowania technologii betonowania pod wodą w remontach budowli hydrotechnicznych. Santilli i inni [14] wskazują, że kształt i wielkość szalunku mają duży wpływ na początkową szybkość zaniku parcia mieszanki betonowej. Jasiczak i Jasiczak [15] omawiają temat parcia mieszanki betonowej na deskowania ścian wielkogabarytowych. Ibadov i Kaczorek [16] opisują proces projektowania technologicznego oraz dobór deskowań stosowanych w budownictwie inżynierskim. Gołaszewski i inni [17] prowadzili badania nad właściwościami reologicznymi mieszanek betonu samozagęszczalnego a parciem na deskowanie. Jasiczak i Rutkowski [18] podają pomiary rzeczywistych rzędnych parcia samozagęszczalnej mieszanki betonowej na deskowanie. Gołaszewski i inni [19] prowadzili badania nad wpływem właściwości reologicznych samozagęszczalnych mieszanek betonowych na wywierane przez nie parcie. Jasiczak i inni [20] opisują metody pomiaru parcia mieszanki betonowej na deskowanie. Brózdka i Seledak [21] przedstawili charakterystykę i zakres zastosowania deskowań traconych wraz z ich klasyfikacją i kryteriami podziału. Sousa i inni [22] podjęli temat opisanego w projektowaniu deskowań wpływu szybkości betonowania na parcie mieszanki betonowej. Glinicki i inni [23] podkreślają, że parcie samozagęszczalnej ciężkiej mieszanki betonowej jest wprost proporcjonalne do gęstości tej mieszanki, przy czym maksymalne wartości parcia zarejestrowane w prowadzonych testach laboratoryjnych przy prędkości betonowania 1,5 m/h nie przekraczały 55% wartości ciśnienia hydrostatycznego. Powyższy przegląd literatury wskazuje, iż tematyka ogólnie powiązana z metodami wyznaczenia i oddziaływania parcia mieszanki betonowej na deskowanie jest nadal aktualna i chętnie podejmowana przez liczne grono naukowe i inżynierskie.

## 2. Wybrane modele wyznaczenia parcia mieszanki betonowej na deskowanie

### 2.1. Model Rodina

Rodin [24] w roku 1952 na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych dla określonego składu mieszanki betonowej zawierającej cement, piasek i kruszywo grube w stosunku 1:2:4 o gęstość objętościową  $\rho_c = 2400 \text{ kg/m}^3$  oraz konsystencję o opadzie stożka równą 150 mm i temperaturze mieszanki  $T = 21^\circ\text{C}$  określił maksymalne charakterystyczne wartości parcia poziomego mieszanki betonowej  $p_{k,\max}$  (rys. 2) dla następujących przypadków:

- mieszanki betonowej wibrowanej wibratorami wgłębnymi:

$$p_{k,\max} = 23,4 \cdot H_p \quad (1)$$

- mieszanki betonowej układanej ręcznie:

$$p_{k,\max} = 17,2 \cdot H_p \quad (2)$$

gdzie:

$H_p$  (m) – wysokość na której parcie mieszanki betonowej osiąga maksymalną wartość  $p_{k,\max}$  (kPa) określona jest wzorem:

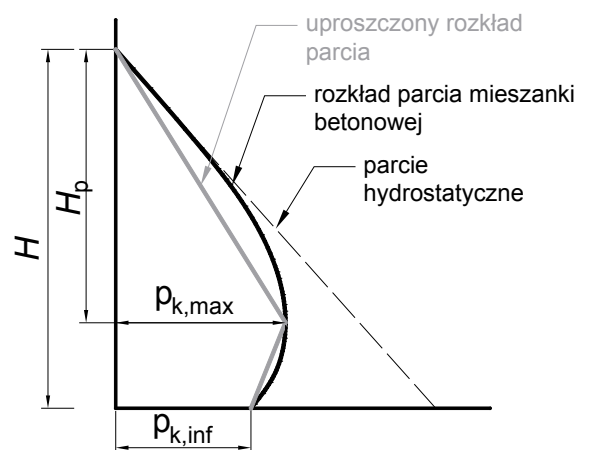
$$H_p = 1,63 \cdot v^{1/3} \quad (3)$$

gdzie:

$v$  (m/h) – prędkość układania mieszanki betonowej (prędkość betonowania).

Rodin [24] wskazuje, iż dla mieszanek betonowych zagęszczanych wibratorami zewnętrznymi mocowanymi do deskowania, deskowanie powinno być zaprojektowane na pełne ciśnienie hydrostatyczne ( $\gamma_c \cdot H$ ) cieczy o takiej samej gęstości jak mieszanka betonowa użyta w procesie betonowania. Charakterystyczną wartością parcia mieszanki betonowej według propozycji Rodina [24] przy podstawie szalunku  $p_{k,\inf}$  (rys. 2) wyznacza się z zależności:

$$p_{k,\inf} = \frac{3 \cdot v - H + H_p}{3 \cdot v} \cdot p_{k,\max} \quad (4)$$



Rys. 2. Rozkład parcia mieszanki betonowej

**2.2. NE 012-2/2010**

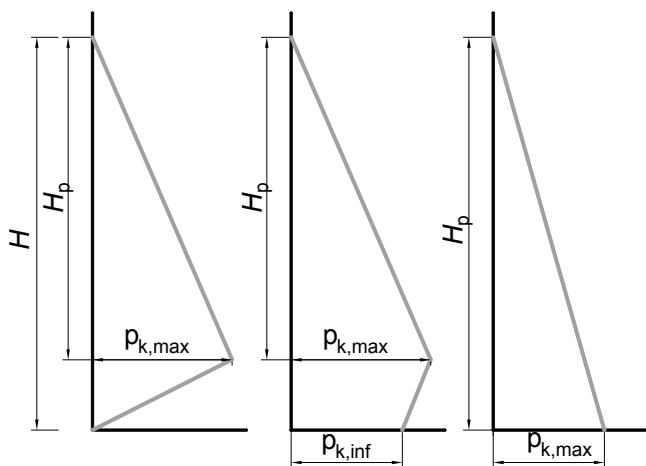
Rozkład parcia mieszanki betonowej (rys. 3) według wytycznych zamieszczonych w normie NE 012-2/2010 [25] wyznacza się z następującej zależności:

$$\begin{aligned}
 p_{k,max} &= \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \cdot \gamma_c \cdot H \\
 p_{k,inf} &= \alpha \cdot p_{k,max} \\
 H_p &= \lambda_1 \cdot H
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

gdzie:

- $v = H/t$  – prędkość betonowania (m/h),
- $t$  (h) – czas wypełnienia deskowania mieszanką betonową,
- $H$  (m) – wysokość na jaką jest wylewana mieszanka betonowa w deskowaniu,
- $H_p$  (m) – wysokość na której parcie mieszanki betonowej osiąga maksymalną wartość  $p_{k,max}$
- $p_{k,max}$  (kPa) – maksymalne charakterystyczne parcie mieszanki betonowej (ciśnienie wywierane) na deskowanie,
- $p_{k,inf}$  (kPa) – ciśnienie przy podstawie deskowania zgodnie z rysunku 3,
- $\alpha$  (-),  $\lambda_1$  (-) – współczynnik według tabeli 1;  $\lambda_2, \lambda_3$  i  $\lambda_4$  – współczynniki według tabeli 2,
- $\gamma_c$  (kN/m<sup>3</sup>) – ciężar objętościowy mieszanki betonowej.

Norma NE 012-2/2010 [25] wskazuje, że rozkład parcia mieszanki betonowej na deskowanie przyjmować należy w zależności od prędkości wypełniania deskowania mieszanką, tzw. prędkości betonowania  $v$  (m/h). Uproszczony rozkład ciśnienia poziomego świeżej mieszanki betonowej należy przyjmować dla prędkości betonowania  $v \leq 1$  m/h według rysunku 3a, dla  $1 \text{ m/h} > v < 10 \text{ m/h}$  według rysunku 3b, a dla  $v \geq 10 \text{ m/h}$  według rysunku 3c. Poszczególne parametry  $\alpha$  oraz  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  i  $\lambda_4$  uwzględnia wpływ prędkości betonowania, urabialność mieszanki betonowej, rozmiaru/wymiaru betonowanego przekroju i temperatury układanej mieszanki betonowej (tab. 1 i 2).



**Rys. 3.** Uproszczony rozkład parcia mieszanki betonowej na deskowanie w zależności od prędkości betonowania: a)  $v \leq 1$  m/h, b)  $1 \text{ m/h} > v < 10 \text{ m/h}$ , c)  $v \geq 10 \text{ m/h}$

**Tabela 1.** Wartości parametrów  $\alpha$  i  $\lambda_1$  dla różnej prędkości betonowania

Charakterystyka	$\alpha$	$\lambda_1$	
Prędkość betonowania (m/h)	$\leq 1$	0,0	0,55
	2	0,25	0,65
	3	0,45	0,75
	4	0,7	0,85
	6	0,8	0,90
	8	0,9	0,95
	$\geq 10$	1,0	1,00

**Tabela 2.** Wartości parametrów  $\lambda_2, \lambda_3$  i  $\lambda_4$  w zależności od wskazanych czynników

Charakterystyka	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$
Konsystencja mieszanki betonowej Opad stożka (cm)	$< 1$	0,85	
	1–4	0,95	
	5–9	1,00	
	10–15	1,05	
	$> 15$	1,10	
Minimalny rozmiar przekroju (cm)	$\leq 15$		0,90
	16–54		0,95
	$\geq 55$		1,00
Temperatura układanej mieszanki betonowej $T$ (°C)	$\leq 5$		1,00
	6–24		0,95
	$\geq 25$		0,90

**2.3. ACI 347-14**

Amerykańska norma ACI 347-14 [26] dla mieszanek betonowych o opadzie stożka 175 mm lub mniejszym i zagęszczanych wibratorami pograżanymi (wgłębny) na głębokość do 120 cm wskazuje, iż deskowanie winno być zaprojektowane na parcie mieszanki betonowej (rys. 4) wyznaczone według poniższych wytycznych:

- dla słupów:

$$p_{k,max} = c_w c_c \left[ 7,2 + \frac{785 \cdot v}{T + 17,8} \right] \leq \gamma_c \cdot H
 \tag{6}$$

gdzie:

- $c_w$  – współczynnik ciężaru objętościowego przyjmowany według tabeli 3,
- $c_c$  – współczynnik chemiczny przyjmowany według tabeli 4,
- $v$  (m/h) – prędkość układania mieszanki betonowej (prędkość betonowania),
- $T$  (°C) – temperatura układanej mieszanki betonowej.

Jako słup traktowane są elementy, w których największy wymiar przekroju nie przekracza 2 m.

**Tabela 3.** Wartości współczynnika  $c_w$

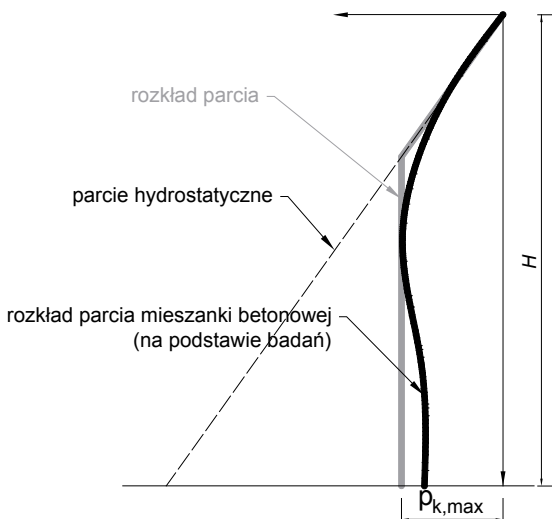
Gęstość mieszanki betonowej	$c_w$
$< \rho_c = 2240 \text{ kg/m}^3$	$0,5 \cdot (1 + (\rho_c / 2320 \text{ kg/m}^3))$ lecz $c_w > 0,8$
$\rho_c = 2240 \div 2400 \text{ kg/m}^3$	1,0
$\rho_c \geq 2400 \text{ kg/m}^3$	$\rho_c / 2320 \text{ kg/m}^3$

**Tabela 4.** Wartości współczynnika chemicznego  $c_c$

Typ cementu lub mieszanki	$c_c$
Cement typu I, II lub III, bez opóźniaczy	1,0
Cement typu I, II lub III, z opóźniaczami	1,2
Mieszanki betonowe zawierające mniej niż 70% żużla wielkopieczowego lub mniej niż 40% popiołów lotnych, bez opóźniaczy	1,2
Mieszanki betonowe zawierające mniej niż 70% żużla wielkopieczowego lub mniej niż 40% popiołów lotnych, z opóźniaczami	1,4
Mieszanki betonowe zawierające więcej niż 70% żużla wielkopieczowego lub więcej niż 40% popiołów lotnych, bez opóźniaczy	1,4
Mieszanki betonowe zawierające więcej niż 70% żużla wielkopieczowego lub więcej niż 40% popiołów lotnych, z opóźniaczami	1,5

- dla ścian o wysokości betonowania nie większej niż 4,2 m i betonowanych z prędkością betonowania mniejszą niż 2,1 m/h według równania 6, natomiast dla prędkości betonowania mniejszej niż 2,1 m/h i wysokości betonowania przekraczającego 4,2 m oraz prędkości betonowania od 2,1 do 4,5 m/h według zależności:

$$p_{k,max} = c_w c_c \left[ 7,2 + \frac{1156}{T + 17,8} + \frac{244 \cdot v}{T + 17,8} \right] \leq \gamma_c \cdot H \quad (7)$$



**Rys. 4.** Rozkład parcia mieszanki betonowej

Minimalna wartość parcia mieszanki betonowej wyznaczona ze wzorów 6 i 7 powinna spełniać warunek:

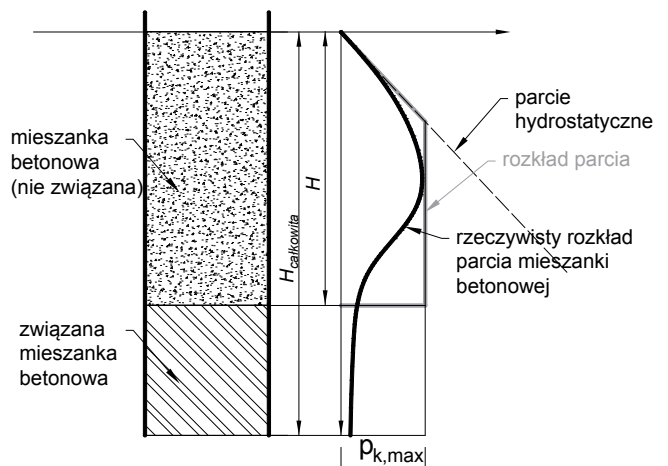
$$p_{k,max} \geq 30 \cdot c_w \quad (8)$$

Dla mieszanek samozagęszczalnych (SCC) o opadzie stożka powyżej 17,5 cm oraz w przypadku wibrowania na głębokość większą niż 1,2 m parcie mieszanki betonowej należy przyjmować jako parcie hydrostatyczne ( $\gamma_c \cdot H$ ). Jeśli beton jest pompowany z podstawy szalunku, to szalunek powinien być zaprojektowany dla parcia hydrostatycznego zwiększonego o minimum 25% ( $1,25 \cdot \gamma \cdot H$ ) na występowanie tzw. ciśnienie udarowego pompy.

**2.4. DIN 18218:2010-01**

Według normy DIN 18218:2010-01 [27] rozkład parcia mieszanki betonowej (świeżej, niezwiązanej) przyrasta liniowo, hydrostatycznie do osiągnięcia maksymalnej wartości  $p_{k,max}$  (kPa), a następnie utrzymuje stałą wartość  $p_{k,max}$  do głębokości  $H$  określonej przez iloczyn prędkości betonowania  $v$  i czasu wiązania mieszanki betonowej  $t_w$  ( $H = v \cdot t_w$ , rys. 5). Poniżej głębokości  $H$  mieszanka betonowa podlega już procesom wiązania i zakłada się zanik oddziaływania mieszanki betonowej na deskowanie (zerowe parcie). Czas wiązania  $t_w$  określa się aparatem Vicata (penetrometrem) według wytycznych zamieszczonych w normie PN-EN 480-2:2008 [28].

Wartość maksymalnego parcia mieszanki betonowej na deskowanie wyznacza się z zależności określonych w tabeli 5 w zależności od konsystencji mieszanki. Wartość współczynnika  $K1$  wyznacza się według tabeli 6. Współczynnik  $K2$  tzw. współczynnik wagowy (wskazany w tabeli 5) opisany jest zależnością  $K2 = \gamma_c / 25 \text{ kN/m}^3$ . W przypadku spadku temperatury mieszanki betonowej w stosunku do temperatury, przy której wyznaczany był czas wiązania  $t_w$  należy dla konsystencji F1, F2, F3 oraz F4 zwiększyć parcie o 3% na każdy 1K różnicy temperatury. Natomiast dla konsystencji F5, F6



**Rys. 5.** Rozkład parcia mieszanki betonowej, wg normy DIN 18218:2010-01 [27]



**Tabela 5.** Charakterystyczne wartości maksymalnego parcia mieszanki betonowej

Klasa konsystencji	$p_{k,max}$ (kPa)
F1	$((5 \cdot v + 21) \cdot K1 \geq 25) \cdot K2$
F2	$((10 \cdot v + 19) \cdot K1 \geq 25) \cdot K2$
F3	$((14 \cdot v + 18) \cdot K1 \geq 25) \cdot K2$
F4	$((17 \cdot v + 17) \cdot K1 \geq 25) \cdot K2$
F5	$(25 + 30 \cdot v \cdot K1 \geq 30) \cdot K2$
F6	$(25 + 38 \cdot v \cdot K1 \geq 30) \cdot K2$
SCC (beton samozagęszczalny)	$(25 + 33 \cdot v \cdot K1 \geq 30) \cdot K2$

**Tabela 6.** Wartości współczynnika K1 (dla maksymalnej wysokości betonowania  $H = 10m$ )

Klasa konsystencji	Współczynnik K1			
	Czas wiązania $5h \leq t_w \leq 20h$	Czas wiązania $t_w=5h$	Czas wiązania $t_w=10h$	Czas wiązania $t_w=20h$
F1	$1+0,03 (t_w-5)$	1,0	1,15	1,45
F2	$1+0,053 (t_w-5)$	1,0	1,25	1,80
F3	$1+0,077 (t_w-5)$	1,0	1,40	2,15
F4	$1+0,14 (t_w-5)$	1,0	1,70	3,10
F5, F6, SCC	$t_w/5,0$	1,0	2,00	4,00

oraz SCC należy zwiększyć wielkość parcia o 5% na każdy 1K różnicy temperatury.

Przywołane w tabelach 5 i 6 klasy konsystencji mieszanki betonowej (zgodne z normą DIN 1045-2 [29]) odnoszą się do badania metodą stolika rozpliwowego i opisane są w tabeli 7. Szacunkowe wartości graniczne przedziałów konsystencji mieszanki betonowej pozwalające orientacyjnie porównać

**Tabela 7.** Klasy konsystencji mieszanki betonowej wg metody stolika rozpliwowego

Klasa konsystencji	Rozpliw wg PN-EN 12350-5 [31], (mm)	Rozpliw stożka wg PN-EN 12350-8 [32], (mm)
F1	$\leq 340$	-
F2	350-410	-
F3	420-480	-
F4	490-550	-
F5	560-620	~550
F6	630-690	~600
SCC	$\geq 700$	$\geq 650$

**Tabela 8.** Szacunkowe wartości graniczne przedziałów konsystencji mieszanki betonowej

wg Czarnecki [33]		wg Stefańczyk [34]	
Metoda opadu stożka (mm)	Metoda stolika rozpliwowego F (mm)	Metoda opadu stożka (mm)	Metoda stolika rozpliwowego F (mm)
< 20	<340	-	-
20-50	350-380	10-40	<340
60-110	390-450	50-90	350-410
120-150	460-500	100-150	420-550
>150	>500	>160	>560

metodę stolika rozpliwowego z metodą opadu stożka zebrano i przedstawiono w tabeli 8. Szczegółowej analizy wyników badań mieszanki betonowej w odniesieniu do przedziałów granicznych różnych metod pomiaru konsystencji mieszanki betonowej dokonał m.in. Podawca [30].

### 2.5. Inne modele

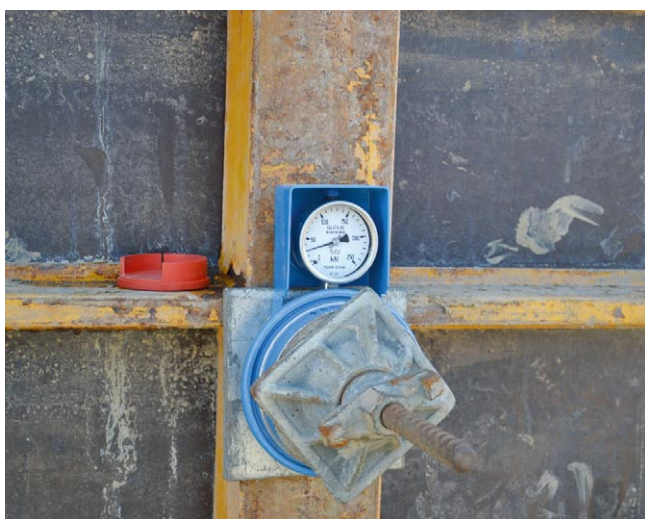
Oprócz zestawionych w niniejszym opracowaniu czterech wybranych modeli opisujących rozkład ciśnienia poziomego świeżej mieszanki betonowej istnieje wiele innych opracowań, wytycznych technicznych i norm krajowych, w których można znaleźć wytyczne wyznaczania maksymalnego parcia mieszanki betonowej na deskowanie, między innymi:

CEB Bulletin N° 115 [35], CIRIA-Report Nr. 108 [36], norma kanadyjska CAN/CSA S269.3 [37], norma indyjska IS 14687:1999 [38], norma chińska JGJ 162-2008 [39] itp.

### 3. Podsumowanie

Głównymi czynnikami wpływającymi bezpośrednio na wartość parcia mieszanki betonowej na deskowanie jest m.in.: prędkość betonowania, proces wibrowania mieszanki betonowej, konsystencja i proporcje mieszanki betonowej, gęstość i temperatura mieszanki betonowej, czas wiązania, wielkość i kształt deskowania. Osoby prowadzące i nadzorujące roboty betoniarskie (szczególnie wysokich elementów) winny świadomie i z rozumą podchodzić do procesu doboru i przygotowania deskowania oraz technologii betonowania. Warunki wykonania i ogólne zasady projektowania deskowań określone są w normie PN-EN 12812:2008 [40]. W DTR deskowań znajdują się zwykle zapisy, w których producent/dostawca deskowań podkreśla to, iż dany użytkownik deskowania (osoby bezpośrednio stosujące

dane deskowanie na budowie) zobowiązany jest do przestrzegania instrukcji stosowania, w szczególności do kontroli dopuszczalnego parcia świeżej mieszanki betonowej na powierzchnię deskowania. W przypadku potrzeby monitorowania aktualnych wartości oddziaływań mieszanki betonowej na deskowanie w trakcie betonowania montuje się mierniki siły na ściągę, które zakładane są na ściągę w trakcie procesu szalowania przed betonowaniem (rys. 6). W czasie betonowania kontrolowana jest siła w ściągę, która jest wyznaczona obliczeniowo na podstawie przyjętych wartości i rozkładu parcia mieszanki betonowej. Przyjmuje się, że montujemy co najmniej dwa lub trzy mierniki siły na wysokości deskowania (na pierwszym i kolejnych ściągach od poziomu podłoża).



**Rys. 6.** Widok na miernik siły na ściągę zamontowany na deskowaniu

Poznanie czynników i parametrów wpływających na maksymalną wartość i rozkład ciśnienia poziomego świeżej mieszanki betonowej pozwala na zapewnienie odpowiedniej jakości wykonywanym pracom betoniarskim i minimalizuje ryzyko deformacji lub uszkodzenia deskowania w trakcie betonowania. Należy zwrócić uwagę, że już przy betonowaniu niezbyt wysokich elementów może dochodzić do przekroczenia dopuszczalnych wartości parć mieszanki betonowej na deskowanie. Przykładowo, zakładając że betonowany jest słup okrągły o średnicy  $\varnothing 60$  cm o wysokości 3,7 m, objętość mieszanki betonowej o ciężarze  $2300 \text{ kg/m}^3$ , klasie konsystencji S3, temperaturze około  $20^\circ\text{C}$  i czasie wiązania 5 h potrzebna do zabetonowania słupa wynosi około  $1 \text{ m}^3$ . Tak więc, do zabetonowania takiego elementu wystarczy jeden 1000-litrowy pojemnik do transportu betonu wypełniony mieszanką betonową. Przyjmując, że opróżnienie pojemnika z mieszanką nastąpi w ciągu zaledwie około 10 minut, prędkość betonowania wynosi aż  $22,2 \text{ m/h}$ . Dla przyjętych założeń, według normy DIN 18218:2010-01 [27] jak i ACI 347-14 [26], wartość parcia mieszanki betonowej wynosi  $p_{k,\text{max}} = 83,5 \text{ kPa}$  (decydujące są warunki ograniczające

parcie do wartości parcia hydrostatycznego,  $\gamma_c \cdot H$ ), a według normy NE 012-2/2010 [25] wynosi  $83,3 \text{ kPa}$ . W przypadku gdy dla deskowania (np. form stalowych okrągłych) określono dopuszczalne parcie betonu na ścianki formy o wartości  $80 \text{ kN/m}^2$ , taki proces betonowania spowoduje przekroczenie wskazanych w DTR granicznych wartości parć, co może doprowadzić do awarii, deformacji lub zniszczenia elementu deskowania lub elementów deskowania. Z drugiej strony deskowania winny być projektowane na wartości obliczeniowe parcia mieszanki betonowej:

$$p_{\text{obl}} \geq \gamma_F \cdot p_{k,\text{max}} \quad (9)$$

gdzie:  $\gamma_F$  jest współczynnikiem bezpieczeństwa (równym co najmniej 1,5).

Podsumowując, aby wyznaczyć wiarygodny rozkład parcia mieszanki betonowej na deskowanie, konieczna jest szczegółowa znajomość parametrów mieszanki betonowej, która będzie stosowana/wbudowywana w deskowanie na danej budowie. W niektórych przypadkach konieczne może być przeprowadzenie rozszerzonego programu badań stosowanych na budowie mieszanek betonowych, aby określić dodatkowe parametry/cechy niezbędne do poprawnego wyznaczenia prognozowanego rozkładu parcia mieszanki betonowej na deskowanie według wytycznych danego modelu teoretycznego. Mieszankę należy układać z prędkością dostosowaną do zastosowanego typu/rodzaju deskowania, tak aby nie dopuścić do przekroczenia maksymalnych wartości parć określonych w DTR. Znajomość czynników i parametrów wpływających na rozkład i wartości generowanego maksymalnego ciśnienia poziomego świeżej mieszanki betonowej na deskowanie pozwala na świadome i bezpieczne prowadzenie robót wykonawczych z zakresu robót betoniarskich w tym bezpiecznego projektowania i doboru inwentaryzowanych deskowań. Niemniej jednak należy zwrócić uwagę, że każda z realizacji (budowa) ma swoją odmienną charakterystykę (specyfikę), którą należy uwzględnić na etapie projektowania i doboru deskowań oraz realizacji robót ogólnobudowlanych.

Przedstawiony przegląd i dyskusja nie wyczerpuje problemów dotyczących obliczeń parć mieszanki betonowej na deskowanie. Niemniej jednak, zainspiruje to może szersze grono odbiorców do bliższego zapoznania się z prezentowanym w pracy tematem wyznaczania parcia mieszanki betonowej na deskowanie.

#### Podziękowania

Praca powstawała w ramach poddziałania 1.1.1 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 w wyniku realizacji projektu B+R przedsiębiorstw numer PO-IR.01.01.01-00-1865/20-00.

Serdeczne podziękowania dla pana Dariusza Nowaka z firmy ULMA Construction Polska S.A. za udostępnione fotografie wykorzystane w niniejszym opracowaniu.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Biruk S, Jaśkowski P, Dobór elementów deskowania ścian z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych, *Budownictwo i Architektura* 1/2013, str. 7–14
- [2] Runkiewicz L, Konieczny K, Chomacki L., Wadliwa realizacja – przyczyną awarii żelbetowego stropu galerii handlowej, *Przegląd Budowlany* 10/2015, str. 20–23
- [3] Sobala D, Siwowski T., Naprawa stalowych dźwigarów głównych wia-dukta metodą prostowania termicznego po awarii w trakcie budowy, *Przegląd Budowlany* 1/2014, str. 44–50
- [4] Kowacki M., Bhp w branży budowlanej, *Nowocz Bud Inżynierijne* 1–2/2020, str. 26–32
- [5] Piekarczyk A, Drobiec Ł, Jasiński R., Kontrola robót betonowych i żelbetowych w trakcie wykonywania oraz kontrola odbiorcza, *XXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk*, 2010, str. 1–118
- [6] McCullough E., Reinforced concrete. A manual of practice, New York: Myron C. Clark, 1908
- [7] Prose T., Khayat K. H., Omran A., Leitzbach O., Form pressure generated by fresh concrete: a review about practice in formwork design, *Materials and Structures* 47(7)2014, str. 1099–1113, <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0274-y>.
- [8] Gowripalan N., Shakor P., Rocker P., Pressure exerted on formwork by self-compacting concrete at early ages: A review, *Case Studies in Construction Materials* 15, 2021, e00642, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00642>
- [9] Khayat K. H., Omran A. F., State-of-the-art Review of Form Pressure Exerted by Self-consolidating Concrete, 2009
- [10] Khayat K. H., Assaad J. J., Measurement systems for determining formwork pressure of highly-flowable concrete, *Materials and Structures* 41, 2007, str. 37–46, <https://doi.org/10.1617/s11527-006-9216-7>
- [11] Gołaszewski J., Technologia betonu samozagęszczalnego a betonu zagęszczonego w sposób tradycyjny, *Przegląd Budowlany* 6/2009, str. 28–36
- [12] Gołaszewski J, Drewniak M., Dobór deskowań systemowych do wykonywania konstrukcji z betonu samozagęszczanego, *Inżynieria i Budownictwo* 1/2010, str. 23–26.
- [13] Kańska S., Sołtysik R., Przykłady zastosowania technologii betonowania pod wodą w remontach budowli hydrotechnicznych, *Przegląd Budowlany* 7–8/2010, str. 54–57
- [14] Santilli A., Puente I., Tanco M., A factorial design study to determine the significant parameters of fresh concrete lateral pressure and initial rate of pressure decay, *Construction and Building Materials* 25 (4)2011, str. 1946–1955, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.061>
- [15] Jasiczak J., Jasiczak J., Parcie mieszanki betonowej na deskowania ścian wielkogabarytowych, *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 13, 2012, str. 165–170
- [16] Ibadov N., Kaczorek K., Projektowanie technologiczne oraz dobór deskowań stosowanych w budownictwie inżynierskim na przykładzie budownictwa mostowego, *Inżynier Budownictwa* 5/2014, str. 64–69
- [17] Gołaszewski J., Cygan G., Drewniak M., Właściwości reologiczne mieszanek betonu samozagęszczalnego a parcie na deskowanie, *Materiały Budowlane* 6/2016, str. 79–85, <https://doi.org/10.15199/33.2016.06.34>.
- [18] Jasiczak J., Rutkowski M., Pomiary rzeczywistych rzędnych parcia samozagęszczalnej mieszanki betonowej na deskowanie, *Materiały Budowlane* 2016;1:85–7. <https://doi.org/10.15199/33.2016.06.36>
- [19] Gołaszewski J., Cygan G., Drewniak M., Wpływ właściwości reologicznych samozagęszczalnych mieszanek betonowych na wywierane przez nie parcie, *IX Konferencja Dni Betonu, Wisła, Stowarzyszenie Producentów Cementu*, 2016, str. 1–14
- [20] Jasiczak J., Rutkowski M., Majkowski Ł., Metody pomiaru parcia mieszanki betonowej na deskowanie, *Inżynieria i Budownictwo* 2017; 73:94–9
- [21] Brózda K., Seledak J., Technologie deskowań traconych stosowane w ramach technologii budownictwa monolitycznego, *Qual Prod Improv* 2 (7)2017, str. 32–41, <https://doi.org/10.30657/qpi.2017.07.04>
- [22] Sousa M. O., Santos N. S., Pereira R. L., Martins P. C. R., Pedrosa L. J., Influence of the placement rate on the fresh concrete lateral pressure in the design of formworks, *Rev IBRACON Estruturas e Mater* 11/2018, str. 499–522, <https://doi.org/10.1590/s1983-41952018000300004>
- [23] Glinicki M. A., Gołaszewski J., Cygan G., Formwork pressure of a heavy-weight self-compacting concrete mix, *Materials (Basel)* 14, 2021, <https://doi.org/10.3390/ma14061549>
- [24] Rodin S., Pressure of concrete on formwork, *Proc Inst Civ Eng* 1952;1:709–46, <https://doi.org/10.1680/iicep.1952.10980>
- [25] Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Construcții U și DTD „URBAN-I, editor. NE 012-2-2010: Norm for concrete production and execution of concrete works Part 2: Execution of concrete works, București, 2010
- [26] ACI 347-14 Guide to Formwork for Concrete. Farmington Hills, MI, USA, ACI (American Concrete Institute), 2014
- [27] DIN 18218:2010-01 Pressure of fresh concrete on vertical formwork, Deutsches Institut für Normung, 2010
- [28] PN-EN 480-2:2008: Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Metody badań – Część 2: Oznaczanie czasu wiązania, Warszawa, PKN (Polish Committee for Standardization); 2008
- [29] DIN 1045-2: Concrete, reinforced and prestressed concrete structures – Part 2: Concrete – Specification, properties, production and conformity – Application rules for DIN EN 206-1. Deutsche Institut für Normung, 2008
- [30] Podawca K., Analiza wyników badania konsystencji mieszanki betonowej w odniesieniu do przedziałów granicznych według PN-EN 206-1 i PN-88/B-06250, *Acta Scientiarum Polonorum Architectura* 6(4)2007, str. 45–57
- [31] PN-EN 12350-5: Badania mieszanki betonowej – Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozplywowego, Warszawa, PKN (Polish Committee for Standardization), 2019
- [32] PN-EN 12350-8: Badania mieszanki betonowej – Część 8: Beton samozagęszczalny – Badanie konsystencji metodą rozplywu stożka, PKN (Polish Committee for Standardization), 2019
- [33] Czarnecki L., editor, *Beton według normy PN-EN 206-1 – komentarz*, Kraków, Polski Cement, 2004
- [34] Stefańczyk B., editor, *Budownictwo ogólne. Tom 1. Materiały i wyroby budowlane*. Warszawa, Wydawnictwo Arkady, 2009
- [35] CEB Bulletin N° 115 Manuel de Technologie 'Coffrage', Paris: FIB, 1977
- [36] CIRIA Report 108, *Concrete pressure on formwork*, London, United Kingdom: CIRA (Construction Industry Research and Information Association), 1985
- [37] CAN/CSA-S269.3-M92 Concrete Formwork. Ottawa, Canada: SCC (Standards Council of Canada), 1992
- [38] IS 14687: Falsework for Concrete Structures – Guidelines, New Delhi, India: BIS (Bureau of Indian Standards), 1999
- [39] JGJ 162-2008: Technical code for safety of forms in construction, Ministry of Construction of the People's Republic of China, 2008
- [40] PN-EN 12812:2008 Deskowanie – Warunki wykonania i ogólne zasady projektowania. Warszawa: PKN (Polish Committee for Standardization), 2008

**XV KONFERENCJA SKB 2024**  
Stowarzyszenie Kosztorysantów Budowlanych

Szacowanie i kosztorysowanie robót budowlanych  
w zamówieniach publicznych  
prawo a praktyka

**13-14.06.2024**  
Hotel Lord, Warszawa

