

9. FUNDAMENTY

Najniżej położonym elementem konstrukcyjnym budynku jest fundament, którego zadaniem jest przekazanie obciążeń na podłoże gruntowe pod budynkiem w sposób bezpieczny, tj. w taki sposób, aby nie wystąpiły nadmierne jego osiadania.

9.1. Informacje ogólne

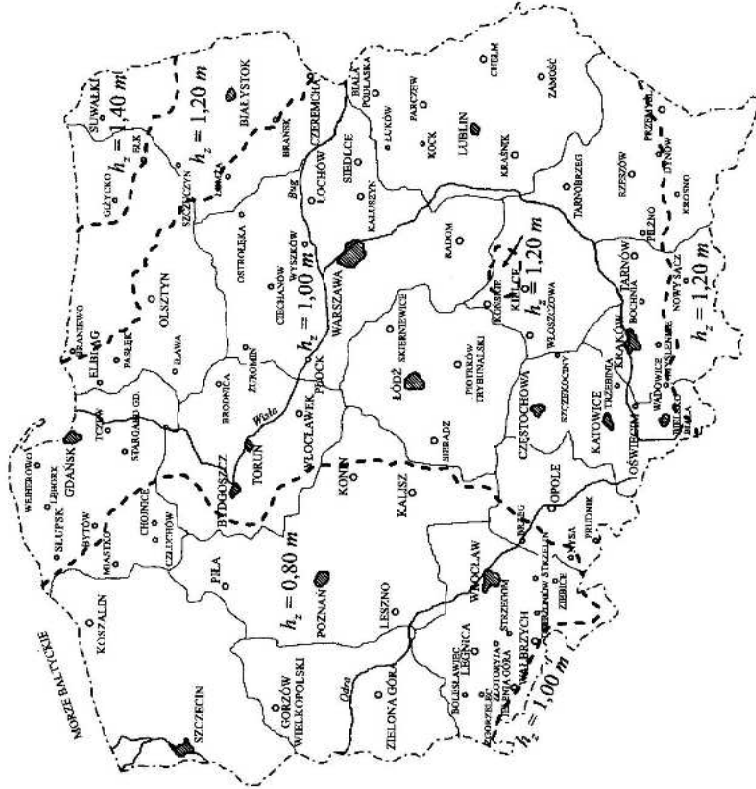
Aby zaprojektować fundamenty, należy najpierw ustalić warunki techniczne posadowienia, poprzez określenie kategorii geotechnicznej podłoża pod obiektem. Zgodnie z normą PN-B-02479:1998 [30] kategoria geotechniczna zależy głównie od złożoności warunków geotechnicznych oraz od wielkości obiektu budowlanego. Budynki murowane zalicza się najczęściej do kategorii pierwszej lub drugiej, co dotyczy o zakresie koniecznych badań geotechnicznych podłoża. Na podstawie wyników tych badań określone są parametry geotechniczne gruntów zalegających w podłożu i mających wpływ na nośność i osiadanie fundamentu.

Głębokość posadowienia fundamentu (poziom jego podstawy) zależy między innymi od warunków wodno-gruntowych oraz warunków użytkowych (np. od tego, czy budynek jest podpiwniczony). W gruntach wysadzinowych, czyli w takich, w których zamarzająca woda powoduje zwiększenie ich objętości, głębokość posadowienia fundamentu powinna znajdować się poniżej umownego poziomu głębokości przemarzania h_z , określonej w normie PN-81/B-03020 [34] (rys. 9.1).

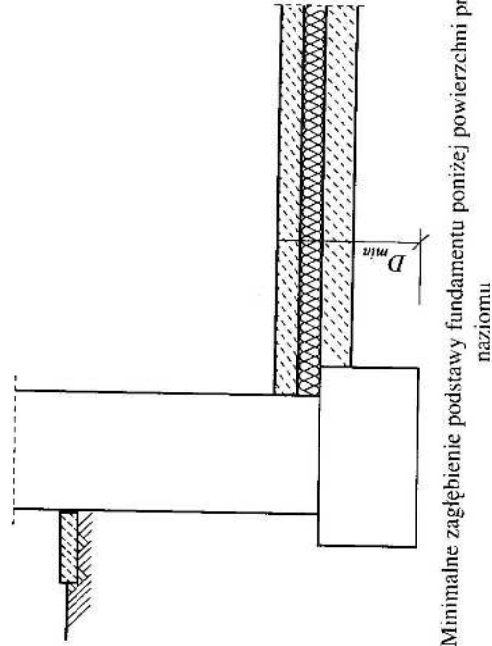
Należy wyjaśnić, że do gruntów wysadzinowych zalicza się grunty organiczne oraz inne, zawierające więcej niż 10% zastępczych cząstek mniejszych niż 0,02 mm. Wymóg głębokości posadowienia poniżej poziomu przemarzania dotyczy również elementów konstrukcyjnych wysuniętych z obrysu budynku, na przykład fundamentów pod schody zewnętrzne lub płyty tarasowe nieoddzielowane od ścian.

Ze względu na możliwość wypierania gruntu spod fundamentu zagłębienie jego podstawy poniżej powierzchni przyległego poziomu przemarzania dotyczy również powierzchni posadzki w piwnicy) nie powinno być mniejsze niż 50 cm (rys. 9.2).

Poziom posadowienia fundamentów w budynku może być jednakowy (stały) lub zmienny, czyli dostosowany do naturalnego pochylecia terenu, bądź zróżnicowany ze względu na brak piwnic pod częścią budynku.



Rys. 9.1. Strefy umownej głębokości przemarzania gruntu h_z wg normy PN-81/B-03020 [34]



Rys. 9.2. Minimalne zagłębienie podstawy fundamentu poniżej powierzchni przyległego poziomu

Ze względu na sposób przekazywania obciążeń na podłoże gruntowe fundamenty dzieli się na bezpośrednie lub pośrednie. Fundamenty bezpośrednie przekazują obciążenie bezpośrednio z podstawy na grunt, natomiast pośrednie za pomocą dodatkowych elementów nośnych (na przykład za pomocą pali, studni lub kesonów). W budynkach murowanych najczęściej wykonuje się fundamenty bezpośrednie.

Szczegółowe informacje odnośnie do projektowania fundamentów zawarte są w pracy [15].

9.2. Fundamenty bezpośrednie

W zależności od kształtu podstawy i konstrukcji fundamenty bezpośrednie dzielą się na:

- ławy fundamentowe pod ścianami,
- stopy fundamentowe pod słupami (filarami),
- płyty fundamentowe pod całym budynkiem,
- inne.

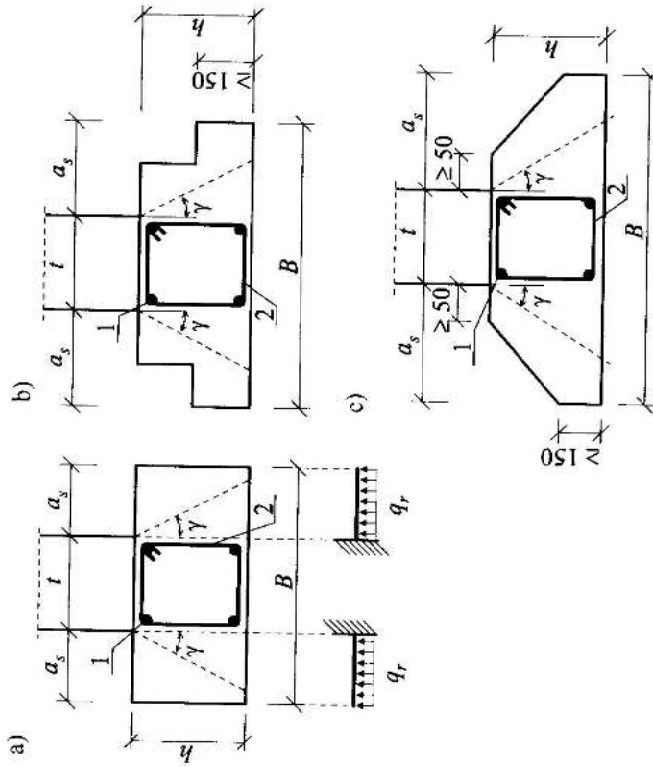
Jeżeli głębokość wykopu jest mniejsza od 5,0 m, posadowienie nazywa się płyt-kim, w innym przypadku posadowienie nazywa się głębokim.

Przy projektowaniu fundamentu bezpośredniego należy:

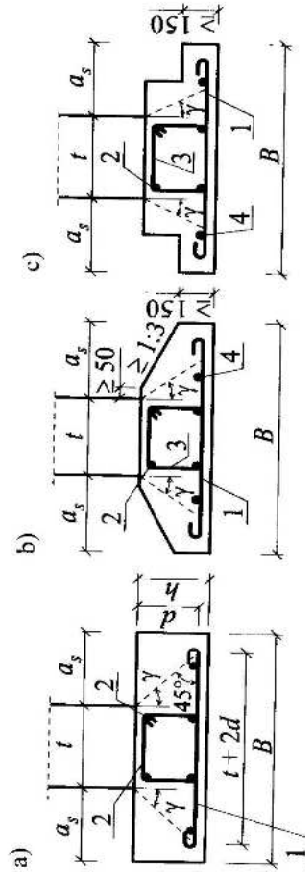
- a) przyjąć schemat obliczeniowy podłoża – zazwyczaj dla ław i stóp przyjmuje się, że fundament jest sztywny,
- b) ustalić głębokość posadowienia i wstępnie przyjąć wymiary fundamentu,
- c) sprawdzić, czy są spełnione warunki stanu granicznego nośności podłoża,
- d) sprawdzić, czy są spełnione warunki użytkowania budynku (np. osiadania),
- e) sprawdzić, przyjmując odpór gruntu jako obciążenie, czy przyjęta wysokość fundamentu betonowego jest wystarczająca z uwagi na ścianienie lub określić średnicę i rozstaw prętów zbrojenia w fundamencie żelbetonowym.

9.3. Ławy fundamentowe

W budynkach murowanych o konstrukcji ścianej obecnie najczęściej wykonuje się ławy fundamentowe betonowe lub żelbetowe. Szerokość ławy fundamentowej B powinna być co najmniej o 10 cm większa niż szerokość postawionej na niej ściany – minimalna szerokość odsadki a_s wynosi 5 cm. Ława może być usytuowana na pod ścianą symetrycznie (odsadki są wtedy jednakowe) lub niesymetrycznie. Przekrój poprzeczny betonowej ławy fundamentowej może być prostokątny, schodkowy lub trapezowy (rys. 9.3). Wysokość ławy betonowej h nie powinna być mniejsza niż 30 cm, a w przypadku ław schodkowych lub trapezowych na końcu wspornika nie mniejsza niż 15 cm. W ławach o wysokości do 50 cm stosuje się kształt prostokątny, a w wyższych schodkowy lub trapezowy. Gdyby ława betonowa miała mieć wysokość większą niż 60 cm, należy rozważyć, ze względów ekonomicznych, zaprojektowanie ławy żelbetowej. Kształty ław fundamentowych żelbetonowych pokazano na rysunku 9.4.



Rys. 9.3. Przekroje poprzeczne ław fundamentowych betonowych: a) prostokątny, b) schodkowy, c) trapezowy; 1 – zbrojenie konstrukcyjne podłużne, 2 – strzemiona, 3 – strzemiona, 4 – kąt rozkładu naprężeń w betonie (33,5°)



Rys. 9.4. Przekroje poprzeczne ław fundamentowych żelbetonowych: a) prostokątny, b) trapezowy, c) schodkowy; 1 – zbrojenie główne poprzeczne, 2 – zbrojenie podłużne, 3 – strzemiona, 4 – pręty rozdzielnice, 5 – kąt rozkładu naprężeń w żelbetonie (45°)

Aby zabezpieczyć ławę fundamentową betonową lub żelbetonową przed zarysowaniem lub spękaniem spowodowanymi na przykład nierównomiernym osiadaniem gruntu pod budynkiem, zaleca się zbroić ją konstrukcyjnie – wzdłużnie 4 prętami o średnicy 12÷20 mm i strzemionami rozstawionymi nie rzadziej niż co 30 cm, umieszczonymi w obrębie ściany (rys. 9.3 lub 9.4).

Gdy nad ławą na pewnym odcinku nie ma ściany, na przykład w ścianie piwnic jest zaprojektowany otwór na bramę garażową, to ławę należy obliczać jak belkę zginaną, ciąglą, obciążoną odporem gruntu (rys. 9.5). Momenty w tej belce należy obliczyć ze wzoru:

$$M = -M = \frac{q_r \cdot l_{eff}^2}{12} \quad (9.1)$$

gdzie:

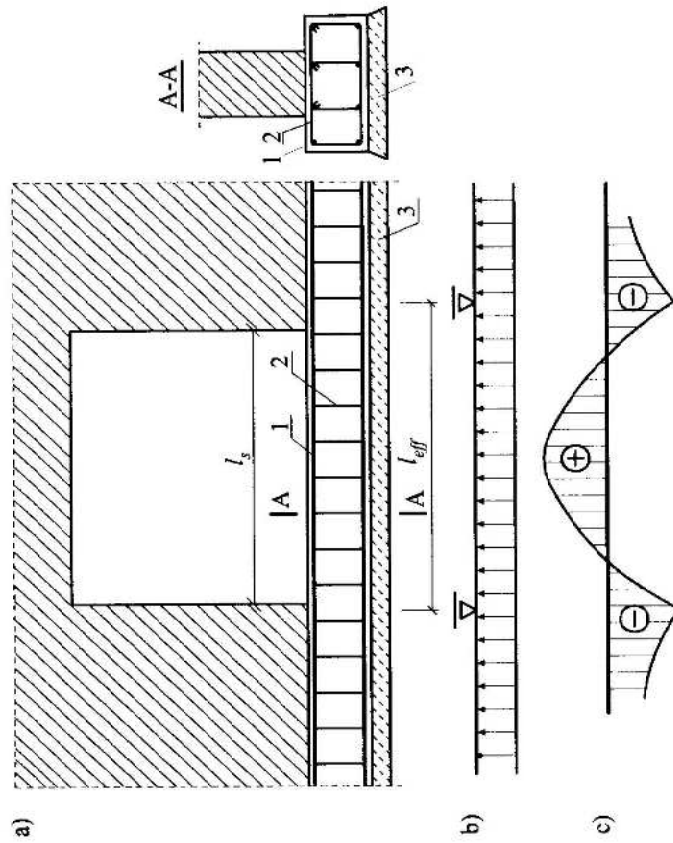
$l_{eff} = 1,05 l_s$,

l_s – szerokość otworu w świetle (rys. 9.5),

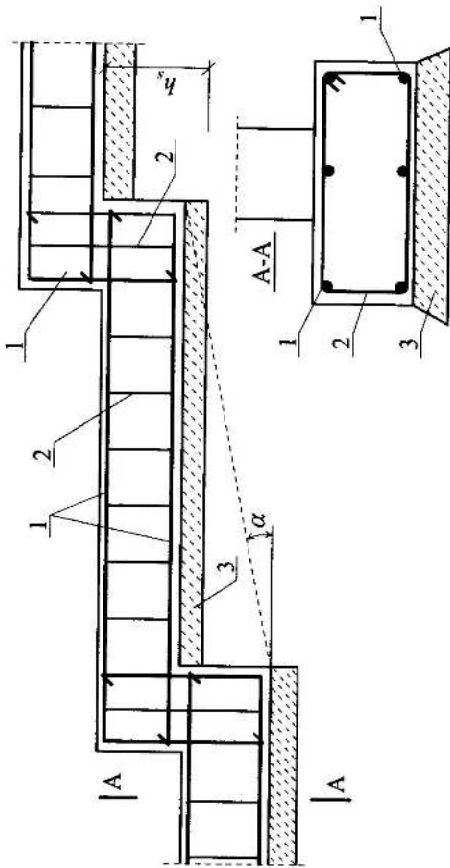
q_r – oddziaływanie poziomu podłoża gruntowego na ławę.

W przypadku poziomu zmiennego ławę fundamentową należy wykonywać schodkowo. Zalecana wysokość schodka h_s wynosi około 30 cm, a kąt α zawarty między poziomem a linią łączącą schodki (rys. 9.6) powinien być taki, aby $\operatorname{tg} \alpha = 0,33 \div 0,50$.

Szerokość B ławy fundamentowej betonowej, w przypadku gdy podłoże pod fundamentem jest jednorodne, określa się na podstawie obliczeniowego oporu granicznego podłoża gruntowego, tak aby spełniony był warunek określony wzorem:



Rys. 9.5. Ława fundamentowa pod ścianą z otworem: a) widok ławy i ściany z otworem, b) schemat statyczny, c) wykres momentów; 1 – pręty dodatkowego zbrojenia belki-ławy, 2 – strzemiona, 3 – podłewka z betonu klasy B10



Rys. 9.6. Ława fundamentowa o zmiennym poziomie posadowienia: 1 – przęty zbrojenia głównego, 2 – strzemiona, 3 – podlewka z betonu klasy B10, α – kąt zawarty między poziomem a linią łączącą schodki, h_0 – wysokość schodka

$$N_r \leq m \cdot Q_{fNB} \quad (9.2)$$

gdzie:

- N_r – obliczeniowa wartość pionowej składowej obciążenia,
- m – współczynnik korekcyjny zależny od metody wyznaczenia parametrów geotechnicznych i metody obliczania oporu granicznego, określany wg zasad podanych w normie PN-81/B-03020 [34]; najczęściej $m = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$,
- Q_{fNB} – pionowa składowa obliczeniowego oporu granicznego określona wzorem:

$$Q_{fNB} = \bar{B} \left[\left(1 + 0,3 \frac{\bar{B}}{L} \right) \cdot N_c \cdot c_u^{(r)} \cdot i_c + \left(1 + 1,5 \frac{\bar{B}}{L} \right) \cdot N_D \cdot \rho_D^{(r)} \cdot g \cdot D_{min} \cdot i_D + \right. \\ \left. + \left(1 - 0,25 \frac{\bar{B}}{L} \right) \cdot N_h \cdot \rho_B^{(r)} \cdot g \cdot \bar{B} \cdot i_b \right] \quad (9.3)$$

gdzie:

- L, \bar{B} – wymiary podstawy fundamentu, przy czym $L > B$,
- \bar{L}, \bar{B} – wymiary zredukowane podstawy fundamentu, $L = L - 2e_L$, $B = B - 2e_B$,
- e_L, e_B – mimośrodowość działania obciążenia, odpowiednio w kierunku równoległym do L, B ,
- N_C, N_D, N_B – współczynniki nośności zależne od obliczeniowej wartości kąta tarcia wewnętrznego gruntu zalegającego poniżej poziomu posadowienia, określone z nomogramów lub tabel w załączniku 1 do normy PN-81/B-03020 [34],

- średnia wartość obliczeniowa gęstości gruntów (ew. warstw podłogi) zalegających powyżej poziomu posadowienia,
- średnia wartość obliczeniowa gęstości gruntów zalegających poniżej poziomu posadowienia,
- przyspieszenie ziemskie, można przyjmować $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$,
- współczynniki wpływu nachylenia wypadkowej obciążenia obliczeniowego, wyznaczone z nomogramów w załączniku 1 do normy PN-81/B-03020 [34].

W przypadku ław fundamentowych o $L > 5B$ można przyjmować, że stosunek $B/L = 0$. Jako długość ławy L należy brać wówczas pod uwagę jej rzeczywistą długość, a nie przyjmowany w obliczeniach zastępczy odcinek 1 metra.

Dla prostych przypadków posadowienia, gdy budynek nie jest usytuowany na zboczu mniejsza od 10% składowej pionowej, gdy budynek nie jest usytuowany na zboczu lub w jego pobliżu i obok nie projektuje się wykopów lub dodatkowego obciążenia oraz gdy $e_B \leq 0,035$, dopuszcza się sprawdzenie stanu granicznego nośności wg wzorów (9.4) i (9.5):

$$q_{rs} \leq m \cdot q_f \quad (9.4)$$

$$q_{r,max} \leq 1,2 \cdot m \cdot q_f \quad (9.5)$$

gdzie:

- q_{rs} – średnie obliczeniowe obciążenie jednostkowe podłoża pod fundamentem, bez uwzględnienia składowej poziomej obciążenia,
- $q_{r,max}$ – maksymalne obliczeniowe obciążenie jednostkowe podłoża pod fundamentem, bez uwzględnienia składowej poziomej obciążenia,
- q_f – obliczeniowy opór jednostkowy jednowarstwowego podłoża pod fundamentem, obliczony ze wzoru:

$$q_f = \left(1 + 0,3 \frac{B}{L} \right) \cdot N_c \cdot c_u^{(r)} + \left(1 + 1,5 \frac{B}{L} \right) \cdot N_D \cdot D_{min} \cdot \rho_D^{(r)} \cdot g + \\ + \left(1 - 0,25 \frac{B}{L} \right) \cdot N_B \cdot B \cdot \rho_B^{(r)} \cdot g, \quad (9.6)$$

gdzie: oznaczenia jak we wzorze (9.3).

W praktyce sprawdzenia warunku (9.2) lub (9.4) dokonuje się dla założonej szerokości fundamentu B . Następnie metodą kolejnych prób dobiera się taką szerokość ławy, aby warunki (9.2) lub (9.4) były zbliżone do równości (ze względów ekonomicznych ława nie powinna być za szeroka).

Wysokość betonowej ławy fundamentowej h (rys. 9.3) należy określić ze względu na zginanie wspornika ze wzoru (9.7) oraz ze względu na przebiecie (ściananie) ze wzoru (9.11):

$$h \geq \sqrt{\frac{M_{sd}}{f_{ctd} \cdot W_f}} = 0,297 \sqrt{\frac{M_{sd}}{f_{ctm}}}, \quad (9.7)$$

gdzie:

M_{Sd} – moment zginający wspornik ławy, określony względem krawędzi ściany, (rys. 9.3) dla odcinka l m ławy, obliczony ze wzoru:

$$M_{Sd} = q_r \cdot 1,00 \cdot \frac{a_r^2}{2} \cdot \frac{N_r \cdot a_r^2}{B} \cdot \frac{1}{2} \quad (9.8)$$

f_{ctm} – wytrzymałość średnia betonu na rozciąganie w konstrukcjach betonowych,
 f_{ctd} – obliczeniowa wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie w konstrukcjach betonowych, określona w sytuacjach trwałych i przejściowych ze wzoru:

$$f_{ctd} = 0,7 \cdot \frac{f_{ctm}}{1,8} \quad (9.9)$$

W_f – wskaźnik wytrzymałości przekroju betonowego z uwzględnieniem plastycznych własności betonu, dla przekroju prostokątno określony ze wzoru:

$$W_f = 0,292 \cdot 1,0 \cdot h^2 \quad (9.10)$$

Ścinanie betonu na odcinku l m ławy betonowej (przebiecie ławy) należy sprawdzać w miejscu przecięcia podstawy przez płaszczyznę pochyłą pod kątem $\gamma = 33,5^\circ$ i wyprowadzoną z krawędzi ściany (rys. 9.3), tak aby był spełniony warunek:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \quad (9.11)$$

gdzie:

V_{Sd} – obliczeniowa siła ścinająca w miejscu przecięcia się płaszczyzny ścinania z podstawą fundamentu,

V_{Rd1} – nośność przekroju fundamentu na ścinanie, określona wzorem:

$$V_{Rd1} = [0,35 \cdot k \cdot f_{ctd} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (9.12)$$

gdzie: oznaczenia wg normy PN-B-03264:2002 [37].

Szerokość B żelbetowej ławy fundamentowej sprawdza się podobnie jak szerokość ławy betonowej. Pole przekroju zbrojenia poprzecznego oblicza się dla momentu M_{Sd} zgodnie z zasadami teorii żelbetu podanymi w pracy [7]. W ławie żelbetowej, podobnie jak w ławie betonowej, wykonuje się usztywnienie podłużne w postaci belki-wierzeńca (rys. 9.4). Wysokość prostokątnej ławy żelbetowej h nie powinna być mniejsza niż 20 cm, a schodkowej lub trapezowej na końcu wspornika nie mniejsza niż 15 cm. Ze względu na przebiecie wysokości ławy żelbetowej powinna spełniać warunek wynikający ze wzoru (9.11), przy czym wartość nośności V_{Rd1} określa się ze wzoru:

$$V_{Rd1} = f_{ctd} \cdot u_p \cdot d \quad (9.13)$$

gdzie:

f_{ctd} – obliczeniowa wartość wytrzymałości betonu na rozciąganie w konstrukcjach żelbetowych,

u_p – średnia arytmetyczna długości powierzchni na którą działa siła V_{Sd} i powierzchni powstającej w poziomie zbrojenia przy rozkładzie naprężeń pod kątem 45° ,

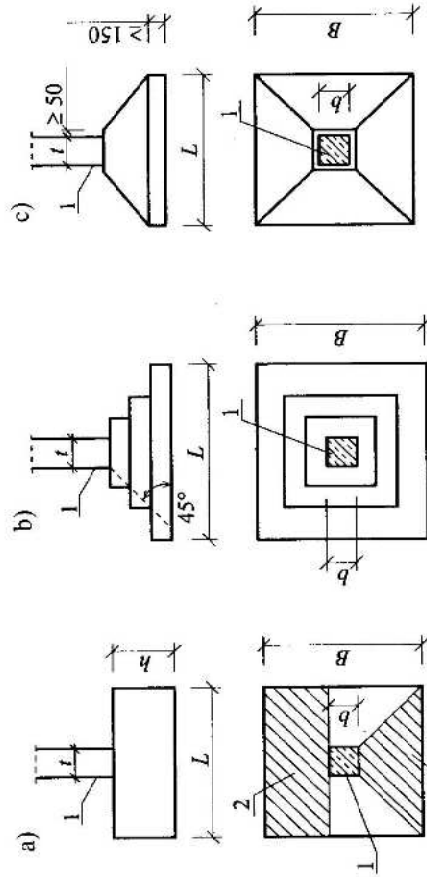
d – wysokość obliczeniowa przekroju ławy.

9.4. Stopy fundamentowe

Stopy fundamentowe przenoszą na grunt obciążenie ze słupów żelbetowych lub stalowych albo z filarów mуровanych. Przekroje pionowe stóp (w obu kierunkach) są podobne do przekrojów ław fundamentowych (rys. 9.7).

Wymiary stopy fundamentowej (długość L i szerokość B) obciążonej osiowo sprawdza się podobnie jak szerokość ławy fundamentowej, ze wzorów (9.2) i (9.3). Wysokość stopy należy sprawdzać z warunku na zginanie wsporników (przyjmuje się wsporniki zamocowane względem krawędzi słupa, o powierzchni rzutu poziomego w kształcie prostokąta lub trapezu – rys. 9.7a) ze wzorów (9.7) i (9.8). Ekonomiczną, ze względu na minimalizację zużycia materiałów, wysokość stopy żelbetowej można określić ze wzoru przybliżonego:

$$h = 0,30 \div 0,40 \cdot (L - t) \quad (9.14)$$



Rys. 9.7. Stopy fundamentowe betonowe lub żelbetowe: a) prostokątna, b) schodkowa, c) trapezowa; 1 – stupa, 2 – prostokątne pole powierzchni obciążenia wspornika, 3 – trapezowe pole powierzchni obciążenia wspornika

9.5. Przykłady obliczeń

Zaprojektować ławy fundamentowe betonowe pod ścianami konstrukcyjnymi: zewnętrznymi i wewnętrznymi, w budynku opisanym w *Poz. obl. 7.1. Widok elewacji i rzut parteru budynku w rejonie rozpatrywanych ścian przedstawiono na rysunku 7.22, a przekrój budynku i układ sił działających na ławy fundamentowe na rysunku 7.23. Przyjęto, że ławy zostaną wykonane z betonu klasy B20, o wytrzymałości $f_{ctm} = 1,9$ MPa.*

Poziom posadzki piwnicy znajduje się 0,94 m poniżej poziomu terenu. Wykop szerokoprzestrzenny pod budynek zostanie wykonany do poziomu spodu posadzki,

a w miejscu ław fundamentowych zostaną wykonane wykopy liniowe do poziomu posadowienia ław.

Na podstawie badań geotechnicznych przeprowadzonych metodą B [15] stwierdzono, że grunt, na którym ma być posadowiony budynek, składa się z 5-metrowej warstwy piasku grubego średnio zagęszczonego, wilgotnego, o $I_D = 0,56$, a poziom wód gruntowych znajduje się na głębokości 7,80 m poniżej poziomu terenu. Budynek znajduje się na terenie płaskim. Na podstawie normy PN-81/B-03020 [24] określono:

- ciężar objętościowy gruntu $\gamma^{(n)} = 1,85 \cdot \text{kN/m}^3$,
- kąt tarcia wewnętrzznego $\Phi_u^{(n)} = 33,4^\circ$ (grunt rodzimy):

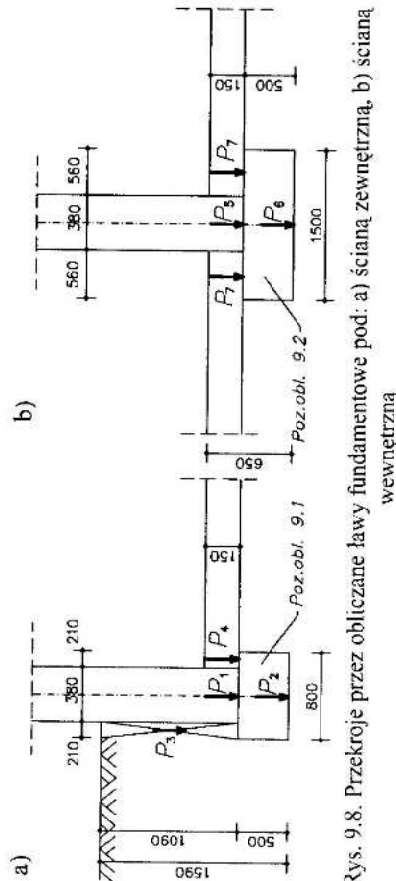
$$\Phi_u^{(n)} = \Phi_u^{(n)} \cdot \gamma_m = 33,4 \cdot 0,9 = 30,06^\circ, \text{ dla którego odczytano z PN-81/B-03020 [34]:}$$

$$N_D = 18,40, N_C = 30,14, N_B = 7,53, i_D = 0, i_C = 0, i_B = 0.$$

Na rysunku 9.8 przedstawiono przekroje poprzeczne przez obliczane ławy fundamentowe pod ścianami: zewnętrzną i wewnętrzną.

Zgodnie z rysunkami 7.22 i 7.23 przyjęto następujące dane geometryczne:

- głębokość posadowienia $D = 1,59 \text{ m}$ i $D_{\min} = 0,65 \text{ m}$,
- wysokość ław $h = 0,50 \text{ m}$,
- długość ław $L = 30,27 \text{ m}$ (Poz. obl. 7.1).



Rys. 9.8. Przekroje przez obliczane ławy fundamentowe pod: a) ścianą zewnętrzną, b) ścianą wewnętrzną

Poz. obl. 9.1. OBLICZENIE ŁAWY FUNDAMENTOWEJ POD ŚCIANĄ ZEWNĘTRZĄ

Zestawienie obciążeń

Dla ławy fundamentowej pod ścianą zewnętrzną przyjęto do obliczeń:

- szerokość ławy $B = 0,80 \text{ m}$,
- szerokość ściany $t = 0,38 \text{ m}$,
- szerokość odsadзки $s = 0,21 \text{ m}$.

Z Poz. obl. 7.1 wynika, że obciążenie pionowe od dachu, ścian i stropów budyn-

ku przekazywane jest na ławę, tak jako pokazano to na rysunkach 7.23 i 9.8a. Wartość obciążenia na 1 m ławy wynosi:

$$P_1 = [(D + S_1 + S_2 + S_3)/3,15 + (S_4 + S_5)/3,25 + (G_1 + G_2 + G_3)/3,15 + (G_4 + G_5)/3,25] = [8,635 + 74,662 + 65,783 \cdot 2]/3,15 + (67,875 \cdot 2)/3,25 + 25,878 \cdot 3/3,15 + (24,126 + (24,126 - 0,40 \cdot 4,35))/3,25] = 68,21 + 41,77 + 24,64 + 14,31 = 148,93 \text{ kN/m.}$$

Moment przekazywany ze ściany na fundament:

$$M_1 = P_1 \cdot e_a = 148,93 \cdot 0,01 = 1,49 \text{ kN/m.}$$

Ciężar ławy:

$$P_2 = 0,50 \cdot 0,80 \cdot 24,0 \cdot 1,1 = 10,56 \text{ kN/m.}$$

Ciężar gruntu залегающего nad odsadzką ławy z zewnątrz budynku wynosi:

$$P_3 = 0,21 \cdot 1,09 \cdot 18,0 \cdot 1,2 = 4,94 \text{ kN/m.}$$

Ciężar posadzki od strony piwnicy wynosi:

$$P_4 = 0,21 \cdot 0,15 \cdot 23,0 \cdot 1,3 = 0,94 \text{ kN/m.}$$

Obciążenie pionowe podłoża wynosi:

$$N_1 = 148,93 + 10,56 + 4,94 + 0,94 = 165,37 \text{ kN/m.}$$

Moment powodowany wypadkową obciążeń podłoża względem środka podstawy ławy wynosi:

$$M_2 = M_1 + P_3 \cdot 0,295 - P_4 \cdot 0,295 = 1,49 + 4,94 \cdot 0,295 - 0,94 \cdot 0,295 = 2,67 \text{ kNm.}$$

Mimośród obciążenia podłoża obliczony względem środka podstawy ławy wynosi:

$$e_B = M_2/N_1 = 2,67/165,37 = 0,016 \text{ m} < B/4 = 0,80/4 = 0,20.$$

Wypadkowa obciążeń znajduje się w rdzeniu podstawy.

Sprawdzenie stanu granicznego nośności ławy

Parcie jednostkowe wynosi:

$$q_{r,max} = \frac{N_1}{B} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e_B}{B} \right) = \frac{165,37}{0,80} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 0,016}{0,80} \right) = 231,52 \text{ kPa,}$$

$$q_{r,min} = \frac{N_1}{B} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e_B}{B} \right) = \frac{165,37}{0,80} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 0,016}{0,80} \right) = 181,92 \text{ kPa.}$$

W celu ustalenia jednostkowego oporu obliczeniowego podłoża wykorzystano wzór uproszczony, ponieważ $e_B = 0,016 < 0,035$, zatem:

$$\rho_D^{(n)} \cdot g \cdot D_{\min} = (1,85 \cdot 9,81 \cdot 0,9) \cdot 0,50 + (23,0 \cdot 0,8) \cdot 0,15 = 10,93 \text{ kN/m}^3,$$

$$\rho_B^{(n)} \cdot g = 1,85 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 16,33 \text{ kN/m}^3,$$

$$q_f = \left[\left(1 + 1,5 \frac{B}{L} \right) \cdot N_D \cdot \rho_D^{(n)} \cdot g \cdot D_{\min} + (1 - 0,25 \frac{B}{L}) \cdot N_B \cdot \rho_B^{(n)} \cdot g \cdot B \right]$$

$$q_f = \left[\left(1 + 1,5 \frac{0,80}{30,27} \right) \cdot 18,40 \cdot 10,93 + \left(1 - 0,25 \frac{0,80}{30,27} \right) \cdot 7,53 \cdot 16,33 \cdot 0,80 \right] =$$

$$= (209,08 + 97,72)$$

$$q_f = 306,80 \text{ kPa.}$$

Średnia obliczeniowa wartość parcia jednostkowego wynosi:

$$q_{rs} = (231,52 + 181,91)/2 = 206,72 \text{ kPa,}$$

współczynnik korekcyjny $m = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81$.

Sprawdzenie warunków normowych:

$$q_{rs} < m \cdot q_f,$$

$$q_{rs} = 206,72 \text{ kPa} < m \cdot q_f = 0,81 \cdot 306,80 = 248,51 \text{ kPa,}$$

$$q_{r,max} < 1,2 \cdot m \cdot q_f,$$

$$q_{r,max} = 231,52 \text{ kPa} < 1,2 \cdot m \cdot q_f = 1,2 \cdot 0,81 \cdot 306,80 = 298,21 \text{ kPa.}$$

Warunki są spełnione. Ława fundamentowa spełnia wymagania dotyczące stanu granicznego nośności.

Obliczenie oddziaływania podłoża w przekroju krawędzi ściany:

$$q_t = q_{r,max} \cdot \frac{q_{r,max} - q_{r,min}}{B} \cdot s = 231,52 \cdot \frac{231,52 - 181,91}{0,80} \cdot 0,21 = 218,50 \text{ kPa.}$$

Określenie momentu zginającego względem krawędzi ściany:

$$M_1 = \frac{1,0 \cdot s^2}{6} (2q_{r,max} + q_t) = \frac{1,0 \cdot 0,21^2}{6} \cdot (2 \cdot 231,52 + 218,50) = 5,01 \text{ kNm.}$$

Sprawdzenie warunku stanu granicznego nośności przekroju betonowego z zależności:

$$M_1 < f_{ctd} \cdot W_f.$$

Zgodnie z PN-B-03264:2002 [37] wytrzymałość f_{ctb} w sytuacjach trwałych i przejściowych, oblicza się z zależności:

$$f_{ctd} = 0,7 \cdot f_{ctm}/1,8 = 0,389 \cdot f_{ctm}.$$

Wskaźnik wytrzymałości W_f przekroju oblicza się dla skrajnego włókna rozciągającego, z uwzględnieniem plastycznych właściwości betonu. W przypadku przekroju prostokątnego o wymiarach $b \times h$:

$$W_f = 0,292 \cdot b \cdot h^2.$$

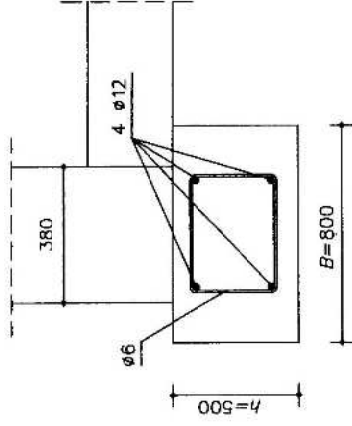
Po uwzględnieniu tych zależności i przyjęciu $b = 1,0 \text{ m}$:

$$M_1 = 5,01 \text{ kNm} < f_{ctd} \cdot W_f = 0,389 \cdot 1,9 \cdot 10^3 \cdot 0,292 \cdot 1,0 \cdot 0,50^2 = 53,95 \text{ kNm.}$$

Obliczana ława fundamentowa spełnia warunki stanu granicznego nośności.

Ostatecznie przyjęto pod ścianą zewnętrzną budynku ławę fundamentową betonową o szerokości 0,80 m i wysokości 0,50 m.

Ze względów konstrukcyjnych ławę należy zaizolować, tak jak pokazano to na rysunku 9.9.



Rys. 9.9. Wymiary i sposób zaizolowania ławy fundamentowej pod ścianą zewnętrzną

Poz. obl. 9.2. OBLICZENIE ŁAWY FUNDAMENTOWEJ POD ŚCIANĄ WEWNĘTRZNĄ

Dla ławy fundamentowej pod ścianą wewnętrzną przyjęto do obliczeń:

– szerokość ławy $B = 1,50 \text{ m}$,

– szerokość ściany $t = 0,38 \text{ m}$,

– szerokość odsadki $s = 0,56 \text{ m}$.

Zestawienie obciążeń

Z Poz. obl. 7.2 wynika, że obciążenie pionowe od dachu, ścian i stropów budynku przekazywane jest na ławę, tak jak pokazano to na rysunkach 7.23 i 9.8b. Wartość tego obciążenia w przeliczeniu na 1 m długości ławy wynosi:

$$P_5 = (S_6 + S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} + S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15} + G_6 + G_7 + G_8 + G_9 + G_{10})/1,8 = (137,40 \cdot 2 + 37,59 \cdot 8 + 20,08 \cdot 5)/1,8 = 375,51 \text{ kN/m.}$$

Ciężar ławy:

$$P_6 = 0,50 \cdot 1,50 \cdot 24,0 \cdot 1,1 = 19,80 \text{ kN/m.}$$

Ciężar posadzki od strony piwnicy:

$$P_7 = 2 \cdot 0,56 \cdot 0,15 \cdot 23,0 \cdot 1,3 = 5,02 \text{ kN/m.}$$

Obciążenie pionowe podłoża:

$$N_1 = 375,51 + 19,80 + 5,02 = 400,33 \text{ kN/m.}$$

Mimośród obciążenia podłoża obliczony względem środka podstawy ławy wynosi:

$$e_B = e_d = 0,01 \text{ m} < B/4 = 1,50/4 = 0,38 \text{ m.}$$

Wypadkowa obciążeń znajduje się w rdzeniu podstawy. Ponieważ mimośród jest niewielki, przyjęto do dalszych obliczeń, że ława jest obciążona osiowo.

Sprawdzenie stanu granicznego nośności ławy

Parcie jednostkowe wynosi:

$$q_{rs} = \frac{N_1}{1,0 \cdot B} = 400,33 / (1,0 \cdot 1,5) = 266,89 \text{ kPa.}$$

Jednostkowy opór obliczeniowy podłoża, podobnie jak w Poz. obl. 9.1, wynosi:

$$q_f = \left[\left(1 + 1,5 \frac{1,50}{30,27} \right) \cdot 18,40 - 10,93 + \left(1 - 0,25 \cdot \frac{1,50}{30,27} \right) \cdot 7,53 \cdot 16,33 \cdot 1,50 \right] = 216,06 + 182,16 = 398,22 \text{ kPa.}$$

Sprawdzenie warunku normowego $q_{rs} < m \cdot q_f$:

$$q_r = 266,89 \text{ kPa} < m \cdot q_f = 0,81 \cdot 398,22 = 322,56 \text{ kPa.}$$

Warunek jest spełniony. Ława fundamentowa spełnia wymagania dotyczące stanu granicznego nośności.

Określenie momentu zginającego względem krawędzi ściany:

$$M_1 = \frac{P_s \cdot s^2}{B \cdot 2} = \frac{375,51 \cdot 0,56^2}{1,5 \cdot 2} = 39,25 \text{ kNm.}$$

Sprawdzenie warunku stanu granicznego nośności przekroju betonowego:

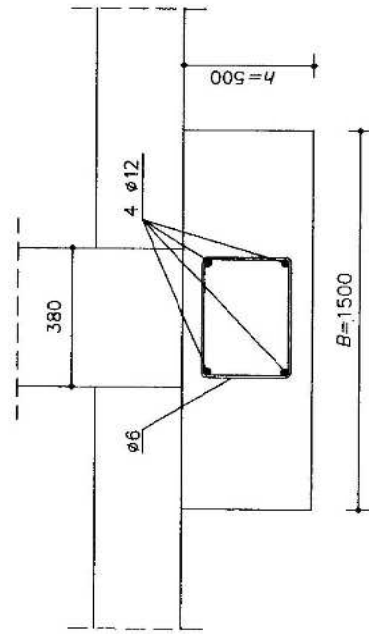
$$M_1 < f_{ctd} \cdot W_f \text{ (analogicznie jak w Poz. obl. 9.1),}$$

$$M_1 = 39,25 \text{ kNm} < f_{ctd} \cdot W_f = 0,389 \cdot 1,9 \cdot 10^3 \cdot 0,292 \cdot 1,0 \cdot 0,50^2 = 53,95 \text{ kNm.}$$

Obliczona ława fundamentowa spełnia warunki stanu granicznego nośności.

Ostatecznie przyjęto pod ścianą wewnętrzną budynku ławę fundamentową betonową o szerokości 1,50 m i wysokości 0,50 m.

Ze względów konstrukcyjnych ławę należało zbroić, tak jak pokazano to na rysunku 9.10.



Rys. 9.10. Wymiary i sposób zbrojenia ławy fundamentowej pod ścianą wewnętrzną

BIBLIOGRAFIA

Wykaz piśmiennictwa

- [1] BOGUCKI W., ŻYBURTOWICZ M., *Tablice do projektowania konstrukcji metalowych*. Arkady, Warszawa 1984.
- [2] DĄBROWSKI Z., *Strop gęstożebrowy DZ-3*. Arkady, Warszawa 1973.
- [3] DZIARNOWSKI Z., MICHNIEWICZ W., *Konstrukcje z drewna i materiałów drewnopochodnych*. Arkady, Warszawa 1974.
- [4] HYSK P., GABORIK M., VRANA O., *Schody*. Arkady, Warszawa 1984.
- [5] JASICZAK J., KUŃSKI M., SIEWCZYŃSKA M., *Obliczanie izolacyjności termicznej i nośności murowanych ścian zewnętrznych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005.
- [6] LEWICKI B., SIECZKOWSKI J., *Projektowanie konstrukcyjno-budowlane ścian w systemie Porotherm*. Wienerberger Ceramika Budowlana, Warszawa 2000.
- [7] KAMIŃSKI M., PĘDZIWIATR J., STYŚ D., *Projektowanie konstrukcji żelbetonowych wg normy PN-B-03264: 2002*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2004.
- [8] MALINOWSKI CZ., PEŁA R., *Projektowanie konstrukcji murowych i stropów w budownictwie tradycyjnym*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1999.
- [9] MARTINEK W., MICHNOWSKI Z., *Dekarstwo i blacharstwo budowlane*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1990.
- [10] MATYSEK P., *Konstrukcje murowe. Zasady projektowania z przykładami obliczeń wg normy PN-B-03002: 1999*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.
- [11] MICHALAK H., PYRAK S., *Domy jednorodzinne. Konstruowanie i obliczanie*. Arkady, Warszawa 2000.
- [12] NEUHAUS H., *Budownictwo drewniane – podręcznik inżyniera*. Polskie Wydawnictwo Techniczne, Rzeszów 2004.
- [13] NIEDOSTATKIEWICZ M., *Budownictwo Ogólne. Przykłady obliczeń*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1999.
- [14] POGORZELSKI A., SIECZKOWSKI J., *Normy w warunkach gospodarki rynkowej*. Inżynieria i Budownictwo, 2004, nr 3.
- [15] RYBAK CZ., PUŁA O., SARNIAK W., *Fundamentowanie. Projektowanie posadziwieli*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2001.
- [16] *Stropy i nadproża ceramiczne Porotherm*. Wienerberger Ceramika Budowlana, Warszawa 2005.

- [17] WAJDZIK Cz., *Więźby dachowe*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 2001.
- [18] ŻENCZYKOWSKI W., *Budownictwo ogólne. Elementy i konstrukcje budowlane*. T. 2/1, Arkady, Warszawa 1992.

Wykaz przepisów i polskich norm

- [19] *Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane*. Dz.U. nr 89 z 1994 r., poz. 414, z późniejszymi zmianami.
- [20] *Rozporządzenie ministra infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*. Dz.U. nr 75 z dnia 15 czerwca 2002 r., poz. 690, z późniejszymi zmianami.
- [21] PN-89/B-01022. *Schody stałe. Określenia i podział*.
- [22] PN-82/B-02000. *Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości*.
- [23] PN-82/B-02001. *Obciążenia budowli. Obciążenia stałe*.
- [24] PN-82/B-02003. *Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne*.
Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe.
- [25] PN-82/B-02004. *Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne*. *Obciążenia pojazdami*.
- [26] PN-80/B-02010. *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem*.
- [27] PN-77/B-02011. *Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie wiatrem*.
- [28] PN-88/B-02014. *Obciążenia budowli. Obciążenie gruntem*.
- [29] PN-B-02361:1999. *Pochylenia połaci dachowych*.
- [30] PN-B-02479:1998. *Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne*.
- [31] PN-90/B-03000. *Projekty budowlane. Obliczenia statyczne*.
- [32] PN-76/B-03001. *Konstrukcje i podłoża budowli. Ogólne zasady obliczeń*.
- [33] PN-B-03002:1999 + poprawka Ap1, zmiany Az1, Az2. *Konstrukcje muryne niezbrojone. Projektowanie i obliczanie*.
- [34] PN-81/B-03020. *Grunty budowlane. Posadowienia bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [35] PN-B-03150:2000 + zmiany Az1, Az2, Az3. *Konstrukcje drewniane. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [36] PN-90/B-03200. *Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [37] PN-B-03264:2002. *Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- [38] PN-B-03340:1999 + zmiana Az1. *Konstrukcje muryne zbrojone. Projektowanie i obliczanie*.
- [39] PN-85/B-04500. *Zaprawy budowlane. Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych*.
- [40] PN-88/B-06250. *Beton zwykły*.
- [41] PN-B-11207:1996. *Materiały kamienne. Kształtki budowlane*.
- [42] PN-B-12002:1997. *Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły dziurawki*.

- [43] PN-B-12008:1996. *Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły klinkierowe budowlane*.
- [44] PN-B-12011:1997. *Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły kratówki*.
- [45] PN-B-12050:1996. *Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły budowlane*.
- [46] PN-B-12051:1996. *Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły modularne*.
- [47] PN-B-12055:1996. *Wyroby budowlane ceramiczne. Pustaki ściennie modularne*.
- [48] PN-B-12066:1998. *Wyroby budowlane silikatowe. Cegły, bloki, elementy*.
- [49] PN-B-12069:1998. *Wyroby budowlane ceramiczne. Cegły, pustaki, elementy poryzowane*.
- [50] PN-B-19301:1997. *Prefabrykaty budowlane z autoklawizowanego betonu komórkowego. Elementy drobnowymiarowe*.
- [51] PN-B-82022:1997. *Belki stropowe CERAM*.
- [52] PN-B-82023:1997. *Wyroby budowlane ceramiczne. Pustaki stropowe CERAM*.
- [53] PN-B-82024:1997. *Wyroby budowlane ceramiczne. Kształtki do belek stropowych CERAM*.
- [54] PN-B-82027:1999. *Elementy stropów SBP. Belki*.
- [55] PN-B-82028:1999. *Elementy stropów SBP. Kratownice*.
- [56] PN-B-82029:1999. *Elementy stropów SBP. Pustaki ceramiczne poryzowane*.
- [57] PN-82/D-94021. *Tarcica iglasta konstrukcyjna sortowana metodami wytrzymałościowymi*.
- [58] PN-75/D-96000. *Tarcica iglasta ogólnego przeznaczenia*.
- [59] PN-EN-338:2004. *Drewno konstrukcyjne. Klasy wytrzymałości*.
- [60] PN-EN-383:1998. *Konstrukcje drewniane. Metody badań. Określanie wytrzymałości na docisk do podłoża dla łączników trzpieniowych*.
- [61] PN-EN-409:1998. *Konstrukcje drewniane. Metody badań. Określanie momentu uplastycznienia gwoździ*.
- [62] PN-EN-771 – grupa norm o wspólnym tytule: *Wymagania dla elementów murowych*.
- [63] PN-EN-772 – grupa norm o wspólnym tytule: *Metody badań elementów murowych*.
- [64] PN-EN-998-2:2004. *Wymagania dotyczące zaprawy do murów. Część 2. Zaprawa murarska*.
- [65] PN-EN-1015 – grupa norm o wspólnym tytule: *Wymagania dotyczące zapraw do murów*.
- [66] PN-EN-1052 – grupa norm o wspólnym tytule: *Metody badań murów*.
- [67] PN-EN-26891:1997. *Konstrukcje drewniane – złącza na łączniki mechaniczne*.
Ogólna zasada określania nośności i odkształcalności.
- [68] PN-EN-ISO 898-1:2001. *Własności mechaniczne części złącznych wykonanych ze stali węglowej oraz stopowej. Śruby i śruby dwustronne*.

Wykaz aprobat i świadectw ITB

- [69] AT-15-2514/97. *Elementy stropowe typu CERAM 50 i CERAM 60*.
- [70] AT-15-2687/97. *Elementy stropowe typu Fert 40*.