

W przekrojach 1-1 i 2-2 nośność ściany wynosi:

$$N_{Rd,1} = \Phi_1 \cdot A \cdot f_d = 0,9 \cdot 0,342 \cdot 2080 = 640,22 \text{ kN} > 525,80 \text{ kN},$$

$$N_{Rd,2} = \Phi_2 \cdot A \cdot f_d = 0,9 \cdot 0,342 \cdot 2080 = 640,22 \text{ kN} > 545,88 \text{ kN}.$$

Stan graniczny nośności w przekrojach 1-1 i 2-2 nie jest przekroczony.

W przekroju 3-3 mimość wynosi:

$$e_m = \frac{0,6 \cdot M_{1d} \pm 0,4 \cdot M_{2d}}{N_{1d,red} + 0,5 \cdot G_9} = \frac{0,6 \cdot 5,26 + 0,4 \cdot 5,55}{525,80 + 0,5 \cdot 28,82} = \frac{5,38}{540,21} = 0,010 < 0,05t = 0,05 \cdot 0,38 = 0,019 \text{ m}.$$

Przyjęto do dalszych obliczeń $e_m = 0,019 \text{ m}$.

W przekroju 3-3 dla:

$$\frac{e_m}{t} = \frac{0,019}{0,38} = 0,05 \rightarrow e_m = 0,05t,$$

$$\frac{h_{eff}}{t} = \frac{2,65}{0,38} = 7,$$

określono z tabeli 7.17 współczynnik redukcyjny $\Phi_m = 0,85$.

W przekroju 3-3 nośność ściany wynosi:

$$N_{Rd,red} = N_{1d,red} + 0,5 \cdot G_9 = 525,80 + 0,5 \cdot 28,82 = 540,21 \text{ kN},$$

$$N_{m,Rd} = \Phi_m \cdot A \cdot f_d = 0,85 \cdot 0,342 \cdot 2080 = 604,66 \text{ kN} > 540,21 \text{ kN}.$$

Stan graniczny nośności w przekroju 3-3 nie jest przekroczony.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że murowany filar o grubości $t = 0,38 \text{ m}$, na parterze, ma odpowiednią nośność.

8. SCHODY

Schody stanowią w budynku zespół elementów konstrukcyjnych, zadaniem którego jest połączenie komunikacyjne między różnymi poziomami w sposób dostosowany do warunków ruchu pieszego za pomocą stopni, belek policzkowych, belek spocznikowych, płyt biegów schodowych, płyt spocznikowych (podestów międzypiętrowych i piętrowych) oraz balustrad. Przestrzeń mieszcząca schody w budynku nazywamy klatką schodową.

8.1. Podział schodów

Wg normy PN-B/89-01022 [21] i prac [4, 11, 13] podział schodów może być dokonany między innymi:

a) w zależności od materiału, z którego schody są wykonane, na przykład:

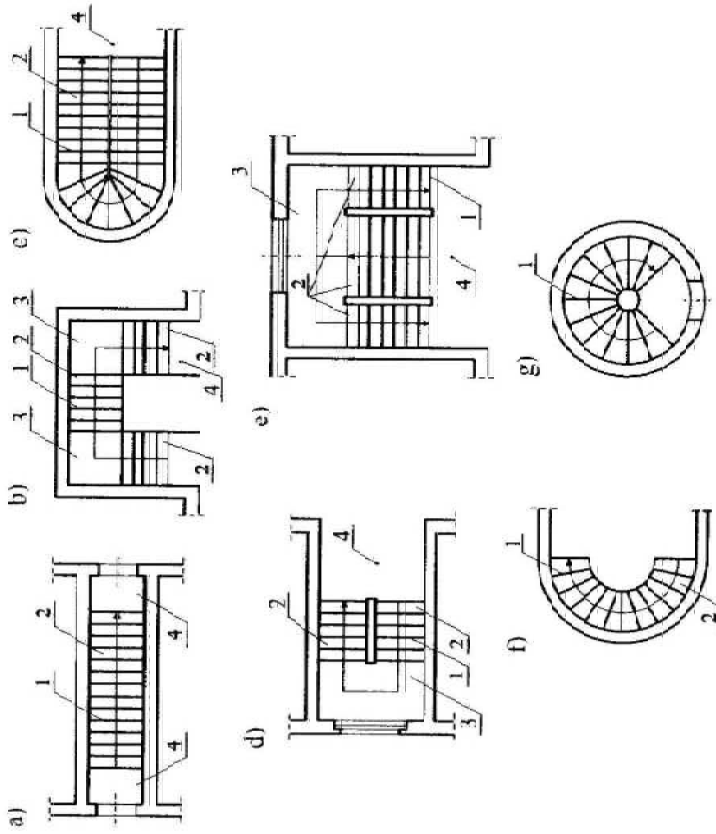
- drewniane – obecnie często stosowane,
- kamienne – obecnie sporadycznie stosowane,
- ceramiczne – obecnie rzadko stosowane,
- betonowe i żelbetowe – obecnie bardzo często stosowane,
- metalowe – obecnie rzadko stosowane;

b) w zależności od liczby biegów:

- jednobiegowe (rys. 8.1a, e, f) – pokonanie różnicy poziomów następuje wyłącz- nie za pomocą stopni,
- dwubiegowe (np. rys. 8.1d) – pokonanie różnicy poziomów następuje za pomo- cą stopni rozdzielonych podestem międzypiętrowym (spocznikiem),
- wielobiegowe (np. rys. 8.1e) – pokonanie różnicy poziomów następuje za po- mocą stopni rozdzielonych spocznikami;

c) w zależności od kształtu w rzucie poziomym, na przykład:

- jednokierunkowe jednobiegowe (rys. 8.1a),
- łamane jednobiegowe,
- łamane trójbiegowe (rys. 8.1b),
- powrotne jednobiegowe (rys. 8.1c),
- powrotne dwubiegowe (rys. 8.1d),



Rys. 8.1. Schody: a) jednokierunkowe jednobiegowe, b) łamane trójbiegowe, c) powrotne jednobiegowe, d) powrotne dwubiegowe, e) powrotne trójbiegowe, f) wachlarzowe jednobiegowe, g) kręcone: 1 = stopień, 2 = bieg schodowy, 3 = spocznik (podest międzypiętrowy), 4 - spocznik (podest piętrowy)

- powrotne trójbiegowe (rys. 8.1e) – stosowane w budynkach użyteczności publicznej),
 - wachlarzowe jednobiegowe (rys. 8.1f),
 - kręcone (rys. 8.1g):
- d) w zależności od nachylenia biegów w stosunku do poziomu, mającego wpływ na wygodę i bezpieczeństwo użytkownika:
- łagodne – o kącie nachylenia $\alpha = 30\text{--}45^\circ$,
 - normalne – o kącie nachylenia $\alpha = 30\text{--}45^\circ$,
 - strome – o kącie nachylenia $\alpha = 45\text{--}75^\circ$,
 - drabiniaste – o kącie nachylenia $\alpha > 75^\circ$.
- Z nachyleniem biegów wiąże się problem wymiarów stopni, które należy tak dobrać, aby spełniony był warunek:

$$2h_s + s = 60\text{--}65 \text{ cm.} \quad (8.1)$$

gdzie:

h_s – wysokość stopnia (maksymalne wysokości stopni – w zależności od rodzaju budynku – podane są w rozporządzeniu ministra infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. nr 75 z 15 czerwca 2002 r. z późniejszymi zmianami),

s – szerokość stopnia;

e) w zależności od rodzaju konstrukcji biegów schodowych uzależnionej od sposobu przekazywania obciążeń na podpory:

- policzkowe,
- płytowe,
- wspornikowe.

8.2. Zasady obliczeń schodów

8.2.1. Schody policzkowe

W budynkach wznoszonych metodami tradycyjnymi schody policzkowe wykonywane są zazwyczaj z drewna. Rzadziej wykonuje się je z żelbetu, a sporadycznie ze stali. Dlatego w niniejszej pracy zajęto się głównie podaniem zasad obliczania schodów drewnianych i żelbetowych.

Schody policzkowe drewniane

Drewniane schody policzkowe są ciekawie stosowane w budynkach jednorodzinnych. Wykonuje się je z drewna sosnowego, dębowego lub bukowego. Do wykonywania stopni polecane jest drewno twarde, czyli dębowe lub bukowe. Kozroźnia się schody policzkowe ze stopniami wpuszczanymi albo ze stopniami nakładanymi na belki policzkowe.

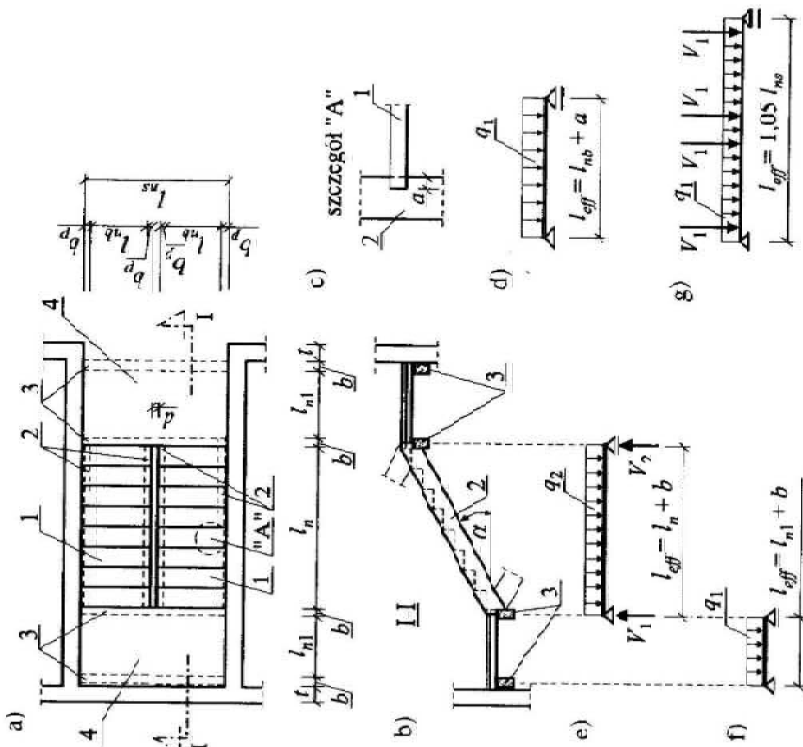
Na rysunku 8.2 pokazano często stosowany w praktyce układ konstrukcyjny schodów policzkowych drewnianych.

Schemat statyczny pojedynczego stopnia opartego na dwóch belkach policzkowych, zarówno wpuszczonego jak i nakładanego, przyjmuje się w postaci belki swobodnie podpartej obciążonej obciążeniem równomiernie rozłożonym q_1 (rys. 8.2d).

Schemat statyczny belki policzkowej opartej na dwóch belkach spocznikowych, bez względu na sposób zamocowania stopni, przyjmuje się również w postaci belki swobodnie podpartej obciążonej obciążeniem równomiernie rozłożonym q_2 (rys. 8.2e).

Schemat statyczny belki spocznikowej opartej obustronnie na ścianie przyjmuje się w postaci belki swobodnie podpartej obciążonej obciążeniem równomiernie rozłożonym q_1 i siłami skupionymi (reakcjami podporowymi) V_1 lub V_2 od belek policzkowych (rys. 8.2g).

Schemat statyczny spocznika, opartego na dwóch belkach spocznikowych, przyjmuje się w postaci belki swobodnie podpartej obciążonej obciążeniem równomiernie rozłożonym q_1 (rys. 8.2f).



Rys. 8.2. Schody policzkowe drewniane: a) układ elementów konstrukcyjnych na rzucie klatki schodowej, b) przekrój I-I, c) szczegóły wpuszczenia stopnia w belkę policzkową, d) schemat statyczny stopnia, e) schemat statyczny belki policzkowej, f) schemat statyczny spocznika, g) schemat statyczny belki spocznikowej; 1 – stopnie wpuszczone w belki policzkowe, 2 – belki policzkowe, 3 – belki spocznikowe, 4 – spocznik, α – kąt nachylenia biegu schodowego do poziomu, b – szerokość przekroju poprzecznego belki spocznikowej, b_p – szerokość przekroju poprzecznego belki policzkowej, a – głębokość wpuszczenia stopnia w belkę policzkową, l_{ns} – szerokość w świetle ścian klatki schodowej

W schematach statycznych pokazanych na rysunku 8.2 przyjmuje się obciążenie równomiernie rozłożone:

$$q_1 = g + p. \quad (8.2)$$

gdzie:

g – suma obciążeń statycznych (ciężar własny),

p – obciążenie zmienne technologiczne

oraz:

$$q_2 = g(\cos\alpha + p). \quad (8.3)$$

gdzie:

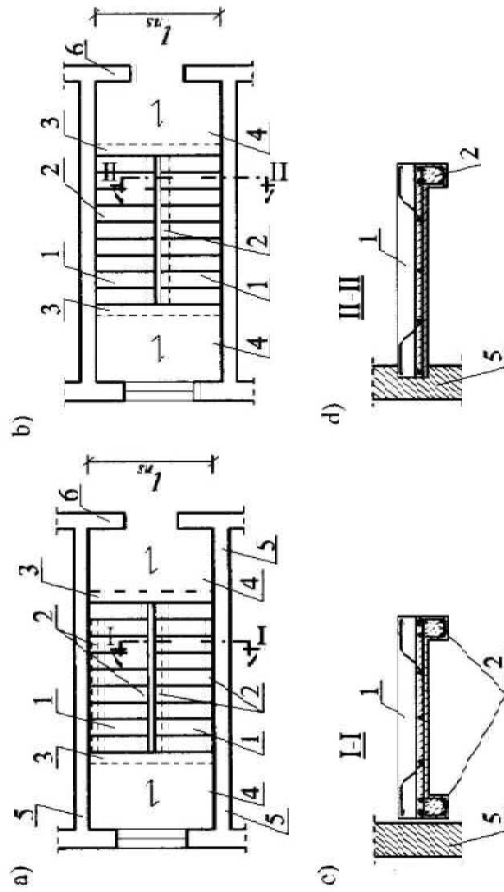
$g/\cos\alpha$ – suma obciążeń statycznych przypadających na rzut poziomy płyty bieguowej
 Obciążenie zmienne technologiczne schodów przyjmuje się jako równomiernie rozłożone o wartości charakterystycznej równej $3,0 \text{ kN/m}^2$ (tab. 7.7)

Zasady obliczania rozpiętości obliczeniowej l_{eff} poszczególnych elementów konstrukcyjnych schodów policzkowych drewnianych podane są na rysunku 8.2.

Po rozwiązaniu schematów statycznych należy stopnie schodowe, belki policzkowe i spocznikowe oraz spocznik zwymiarować w zakresie wymaganym normą PN-B-03150:2000 [35] i podanym w rozdziale 3.

Schody policzkowe żelbetowe

Schody policzkowe żelbetowe są bardziej znane w literaturze pod nazwą schodów ze stopniami swobodnie podpartymi i w budynkach wznoszonych metodami tradycyjnymi wykonywane są na ogół jako monolityczne, rzadziej jako prefabrykowane [18]. Stopnie tych schodów mogą się opierać obustronnie na belkach policzkowych (rys. 8.3a) lub z jednej strony na belce policzkowej i z drugiej na ścianie (rys. 8.3b). Belki policzkowe opierają się na belkach spocznikowych, te zaś opierają się na podłużnych ścianach klatki schodowej. Z kolei na belkach spocznikowych i na poprzecznych ścianach klatki schodowej opierają się płyty spocznikowe.



Rys. 8.3. Schody policzkowe żelbetowe, monolityczne: a) rzut poziomy ze stopniami opartymi dwustronnie na belkach policzkowych, b) rzut poziomy ze stopniami opartymi na belce policzkowej i na ścianie, c) przekrój I-I z widocznym układem zbrojenia, d) przekrój II-II z widocznym układem zbrojenia; 1 – stopnie, 2 – belki policzkowe, 3 – belki spocznikowe, 4 – płyty spocznikowe, 5 – ściana podłużna klatki schodowej, 6 – ściana poprzeczna klatki schodowej

Poszczególne elementy konstrukcyjne tych schodów można obliczać jako belki swobodnie podparte. W schodach wykonywanych monolitycznie stopnie zaleca się obliczać jako częściowo utwierdzone w belce policzekowej. Wtedy, przy dwustronnym oparciu na belkach policzekowych, maksymalne momenty zginające należy obliczyć następująco: $M = q_1 \cdot l_{eff}^2 / 12$ i podporowy $M_p = q_1 \cdot l_{eff}^2 / 16$. Przy jednostronnym oparciu na belce policzekowej maksymalny moment przęsłowy $M = q_1 \cdot l_{eff}^2 / 10$. Również jako częściowo utwierdzone w belkach spocznikowych zaleca się obliczać belki policzekowe, przyjmujący maksymalny moment przęsłowy $M = q_2 \cdot l_{eff}^2 / 10$.

Roźpiętości obliczeniowe l_{eff} obliczanych elementów schodów należy ustalić zgodnie z zasadami podanymi w podrozdziale 4.2.

Po rozwiązaniu schematów statycznych wymiarowanie obliczanych elementów żelbetowych należy przeprowadzić w zakresie wymaganym normą PN-D-03264:2002 [37], rozmieszczając zbrojenie zgodnie z zasadami żelbetu podanymi między innymi w pracy [7].

8.2.2. Schody płytowe

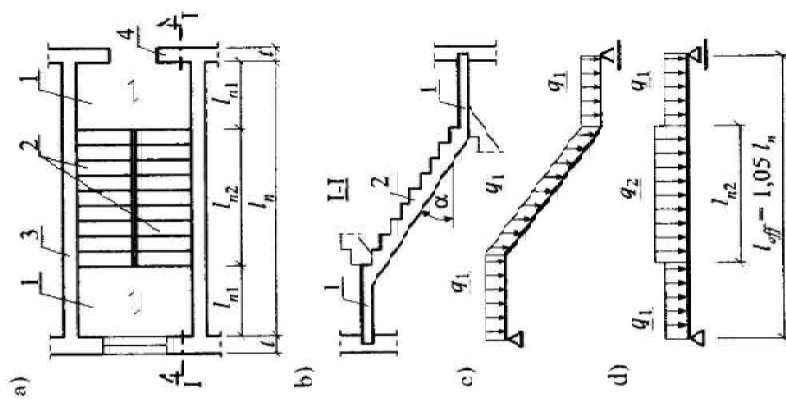
Schody płytowe są wykonywane jako żelbetowe, monolityczne. W budynkach wznoszonych metodami tradycyjnymi są one bardzo często stosowane. Schody te opierają się na ścianach poprzecznych klatki schodowej. Są one dobrym rozwiązaniem między innymi wtedy, gdy jako podpór dla elementów konstrukcyjnych schodów nie można wykorzystać ścian podłużnych klatki schodowej z uwagi na usytuowanie w tych ścianach przewodów kominowych.

Najczęściej spotykane w praktyce ustroje konstrukcyjne schodów płytowych przedstawiono na rysunkach 8.4 + 8.6.

Ustrój konstrukcyjny, w którym biegi płytowe są połączone z płytami spocznikowymi (rys. 8.4), jest często spotykany w praktyce. Schody takie oblicza się jak płytę jednoprzęsłową, tzw. łamaną, o schemacie statycznym pokazanym na rysunku 8.4d.

Przy większych rozpiętościach płyt spocznikowych stosowane są w praktyce rozwiązania, w których płyty biegowe podparte są jedną belką spocznikową (rys. 8.5) lub dwiema belkami spocznikowymi (rys. 8.6). W przypadku występowania jednej belki spocznikowej schody traktuje się jak dwuprzęsłową płytę ciągłą, o schemacie statycznym pokazanym na rysunku 8.5d. Jeżeli płyty biegowe podparte są dwiema belkami spocznikowymi, to schody traktuje się jak ciągłą płytę trójprzęsłową, o schemacie pokazanym na rysunku 8.6d.

Schody o dwóch belkach spocznikowych można obliczać w sposób uproszczony, traktując płytę biegową jako częściowo utwierdzoną w tych belkach [11]. Maksymalny moment zginający przęsłowy w takiej płycie można obliczyć wówczas ze wzoru $M = q_2 \cdot l_{eff}^2 / 10$, w którym l_{eff} jest rozpiętością w rzucie poziomym między osiami belek spocznikowych.



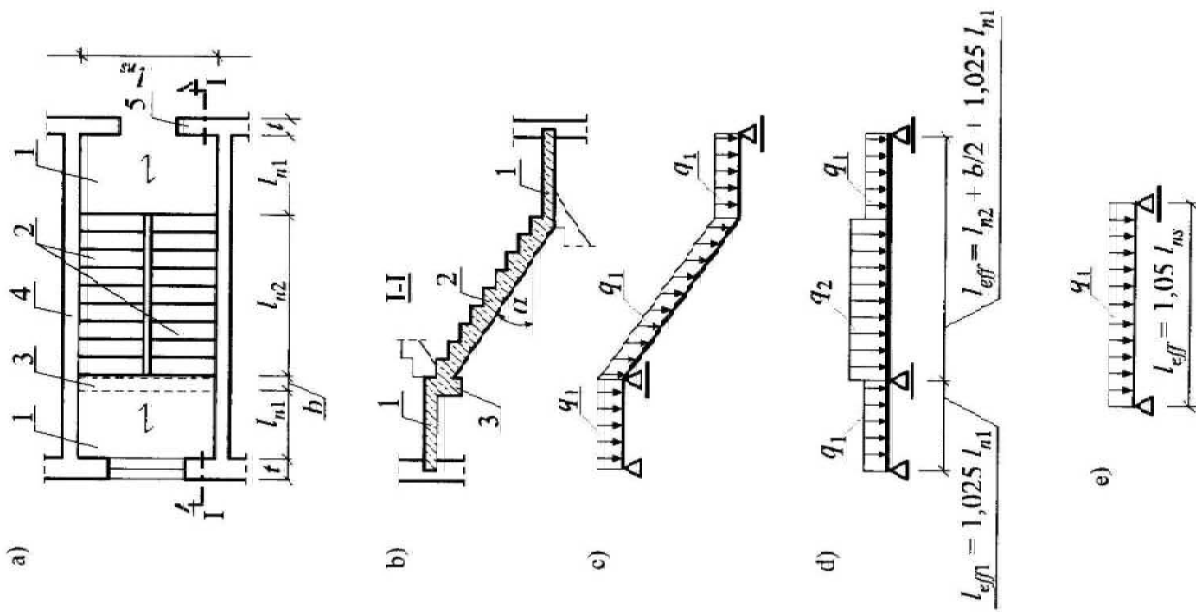
Rys. 8.4. Schody płytowe z biegami połączonymi z płytami spocznikowymi: a) rzut klatki schodowej, b) przekrój I-I, c, d) schematy statyczne płyt biegowych i spocznikowych; 1 – płyty spocznikowe, 2 – płyty biegowe, 3 – ściana podłużna klatki schodowej, 4 – ściana poprzeczna klatki schodowej; α – kąt nachylenia płyty biegowej do poziomu, l_n – długość w świetle ścian klatki schodowej

Belki spocznikowe oblicza się jako swobodnie podparte, o schemacie statycznym pokazanym na rysunkach 8.5e i 8.6e. Możliwe jest też zaprojektowanie belek spocznikowych ukrytych w płytach spocznikowych (rys. 8.6f).

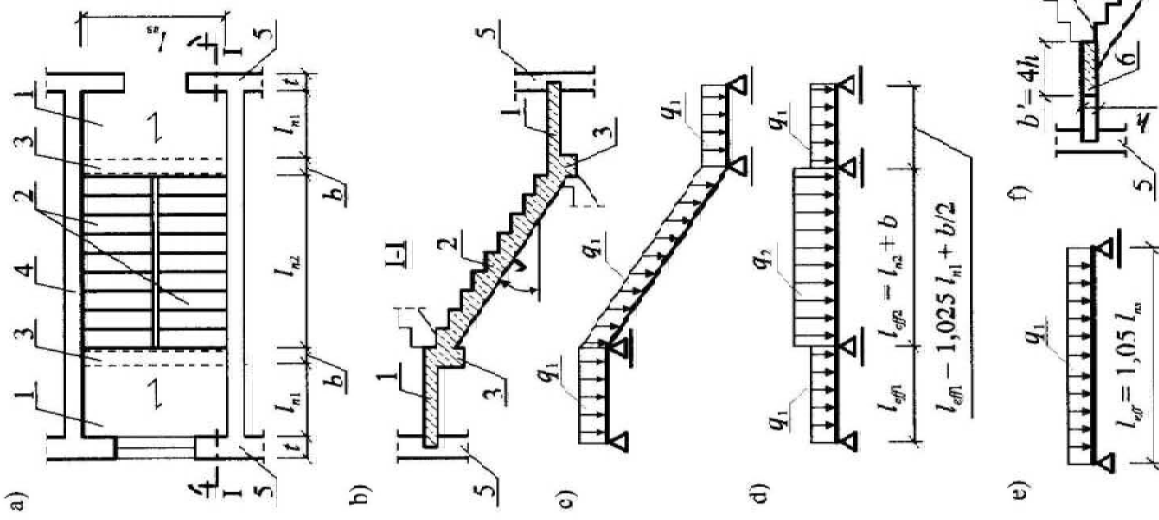
Obciążenie równomiernie rozłożone q_1 i q_2 , występujące w schematach statycznych pokazanych na rysunkach 8.4d + 8.6d, przyjmuje się zgodnie z zależnościami (8.1) i (8.2).

Zasady obliczania rozpiętości obliczeniowej l_{eff} schodów płytowych, w tym rozpiętości obliczeniowej l_{eff1} i l_{eff2} , odpowiednio, płyt spocznikowych i biegowych, podano na schematach statycznych na rysunkach 8.4 i 8.6. Zasady te są zbieżne z podanymi w podrozdziale 4.2.

Po rozwiązaniu schematów statycznych poszczególne elementy konstrukcyjne schodów płytowych należy zwymiarować w zakresie wymaganym normą PN-D-03264:2002 [37] i zbrozić zgodnie z zasadami podanymi między innymi w pracy [7].



Rys. 8.5. Schody płytowe o jednej belce spocznikowej: a) rzut klatki schodowej, b) przekrój I-I, c) i d) schematy statyczne płyt biegowych i spocznikowych, e) schemat statyczny belki spocznikowej; 1 – płyty spocznikowe, 2 – płyty bieguwe, 3 – belka spocznikowa, 4 – ściana podłużna klatki schodowej, 5 – ściana poprzeczna klatki schodowej, l_{ns} – szerokość w świetle ścian klatki schodowej



Rys. 8.6. Schody płytowe o dwóch belkach spocznikowych: a) rzut klatki schodowej, b) przekrój I-I, c) i d) schematy statyczne płyt biegowych i spocznikowych, e) schemat statyczny belki spocznikowej, f) przekrój schodów z belkami spocznikowymi ukrytymi; 1 – płyty spocznikowe, 2 – płyty bieguwe, 3 – belki spocznikowe, 4 – ściana podłużna klatki schodowej, 5 – ściana poprzeczna klatki schodowej, 6 – belka spocznikowa ukryta, b – szerokość przekroju poprzecznego belek spocznikowych, b' – szerokość belki spocznikowej ukrytej, h – grubość płyty spocznikowej, l_{ns} – szerokość w świetle ścian klatki schodowej

8.2.3. Schody wspornikowe

Schody wspornikowe obecnie wykonywane są prawie wyłącznie jako żelbetowe. W zależności od sposobu wykonania różnią się schody monolityczne płytowo-wspornikowe (rys. 8.7a) i schody o pojedynczych stopniach wspornikowych monolitycznych lub prefabrykowanych (rys. 8.7b).

Konstrukcja schodów płytowo-wspornikowych składa się ze wspornikowych płyt biegowych, z których każdą tworzą stopnie i cienka płyta o grubości około 50 mm oraz ze wspornikowych płyt spocznikowych uformowanych ewentualnie wraz z belkami spocznikowymi (rys. 8.7c, d). Szerokość biegów wspornikowych na ogół nie przekracza w praktyce 1,50 m.

Natomiast w skład schodów o pojedynczych stopniach wspornikowych wchodzi stopnie monolityczne lub prefabrykowane i wspornikowe płyty spocznikowe (rys. 8.7h, e). Wstęgi stopni wspornikowych na ogół nie przekracza 1,20 m.

Poszczególne elementy konstrukcyjne schodów wspornikowych osadza się (utwierdza) jednostronnie w ścianie murowanej za pośrednictwem pochyło ułożonego wieńca żelbetowego o takiej samej konstrukcji jak w stropach gęstożębrowych. Szerokość wieńca nie powinna być mniejsza niż 25(0) mm.

Schody wspornikowe oblicza się jak płyty lub belki wspornikowo utwierdzone, przyjmując dla nich schemat statyczny jak na rysunku 8.7f, g.

Rozpiętość obliczeniową l_{eff} obliczanych elementów schodów należy ustalić korzystając z zasad podanych w podrozdziale 4.2.

Podobnie jak w przypadku schodów płytowych, po rozwiązaniu schematów statycznych wymiarowanie obliczanych elementów należy przeprowadzić w zakresie wymaganym normą PN-B-03264:2002 [37]. Zbrojenie należy rozmieścić zgodnie z zasadami podanymi w pracy [7].

Ważnym zagadnieniem przy schodach wspornikowych jest ich zamocowanie w ścianie, wymagające obliczeniowego sprawdzenia. Sprawdza się:

– czy sumaryczne naprężenia ściskające w murze σ powstałe od obciążenia wspornikiem i ciężarem ściany nad wspornikiem nie przekraczają wytrzymałości muru na ściskanie f_c ,

– czy spełniony jest warunek stateczności muru na przewrócenie

I tak, naprężenia ściskające w murze w miejscu zamocowania schodów (od obciążenia wspornikiem) oblicza się uśredniająco (rys. 8.7h):

$$\sigma_1 = \frac{2R}{h_1 \cdot a_1} = \frac{2}{b_1 \cdot a_1} \left(\frac{3M^*}{2a} + Q \right) \quad (8.3)$$

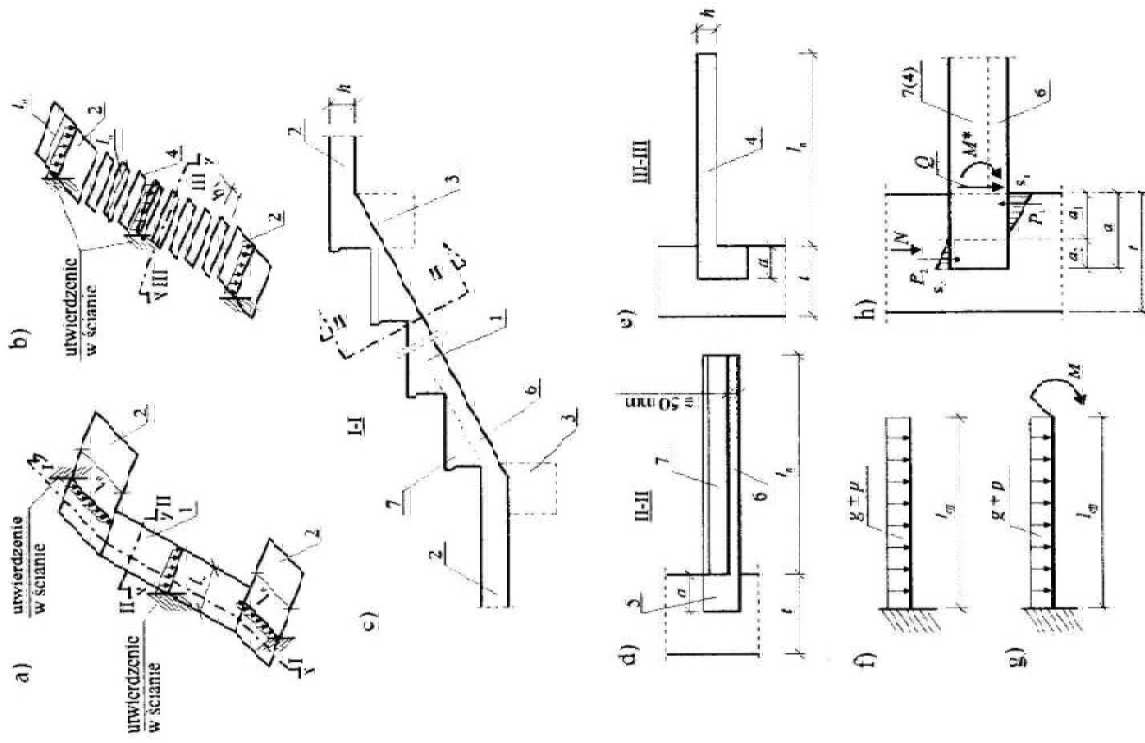
gdzie:

$$a_1 = \frac{1}{3} a \frac{3M^* + 2Q \cdot a}{2M^* + Q \cdot a} \quad (8.4)$$

b_1 – szerokość stopnia lub długości odcinka płyty, przyjmowana jako 1,0 m,

a – szerokość wieńca,

R – wypadkowa tryły naprężeń σ_1 ,



Rys. 8.7. Schody wspornikowe żelbetowe: a) monolityczne płytowo-wspornikowe, b) 7 pojedynczymi stopniami monolitycznymi lub prefabrykowanymi, c) przekroj I-I przez schody płytowo-wspornikowe, d) przekroj II-II przez płytę biegową, e) przekroj III-III przez pojedynczy stopień wspornikowy, f) schemat statyczny schodów wspornikowych nie obciążonych balustradą, g) schemat statyczny schodów wspornikowych obciążonych balustradą, h) schemat zamocowania wsporników w murze: 1 – płyta biegowa, 2 – spoczniki, 3 – ewentualne belki spocznikowe, 4 – pojedynczy stopień wspornikowy, monolityczny lub prefabrykowany, 5 – wieńiec żelbetowy, 6 – cienka płyta tryły biegowej, 7 – stopień płyty biegowej

M^* – moment działający na wspornik na krawędzi utwardzenia,
 Q – siła poprzeczna działająca na wspornik na krawędzi utwardzenia
 oraz

$$\sigma_1 = \frac{2P_2}{b_1 \cdot a_2} - \frac{3M^*}{b_1 \cdot a \cdot a_2} \quad (8.5)$$

gdzie:

$$a_2 = a - a_1,$$

P_2 – wypadkowa bryły naprężeń σ_x .

Z kolei naprężenia ściskające od ciężaru muru spoczywającego powyżej wspornika oblicza się następująco:

$$\sigma_o = \frac{N}{b_1 \cdot t} \quad (8.6)$$

Sumaryczna wartość naprężenia ściskającego w murze wynosząca $\sigma = \sigma_1 + \sigma_o$ i $\sigma = -\sigma_2 + \sigma_o$ nie powinna przekraczać wytrzymałości muru na ściskanie f_d określonej ze wzoru (7.11).

Sprawdając warunek stateczności muru na przewrócenie przyjmuje się, że środek obrotu wspornika w ścianie leży w odległości $1/6 t$ od krawędzi zamocowania. Moment wywracający wynosi wówczas:

$$M_{wyw} = M^* + \frac{Q \cdot t}{6} \quad (8.7)$$

a moment utrzymujący:

$$M_{utr} = \frac{N \cdot t}{3} \quad (8.8)$$

Aby stateczność muru była zapewniona, spełniony musi być warunek (8.9), a mianowicie:

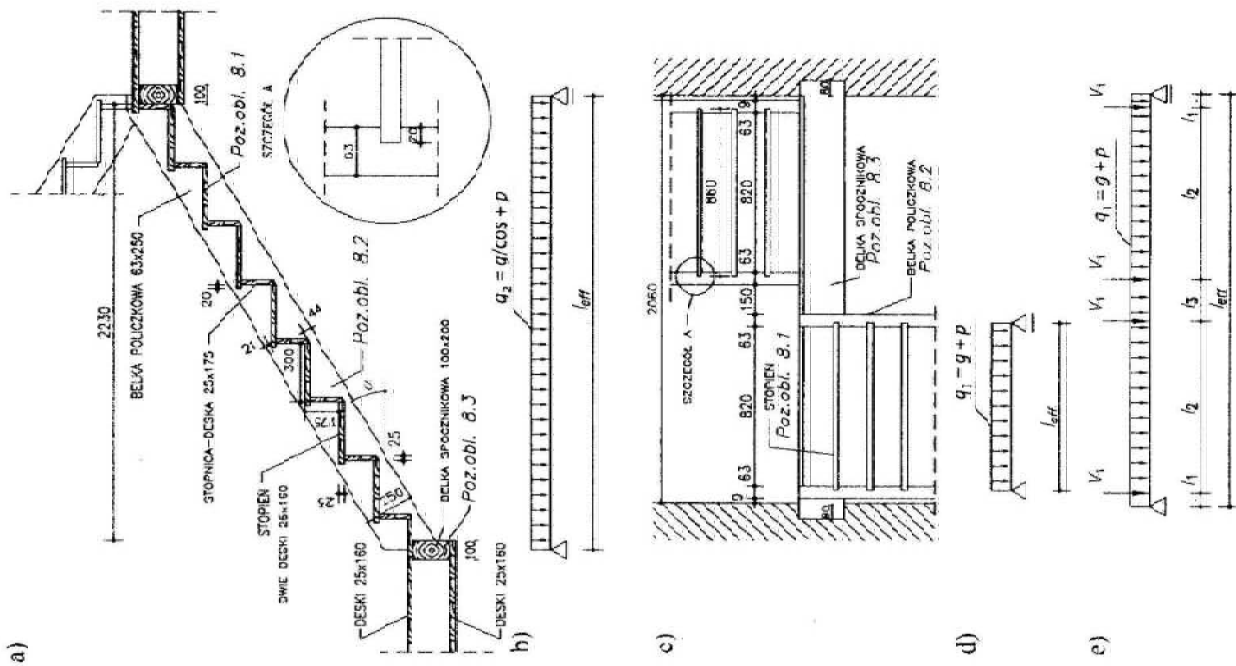
$$M_{utr} \geq 1,5 \cdot M_{wyw} \quad (8.9)$$

Z powyższego wynika wniosek, że nad schodami musi być wymurowana ściana zapewniająca powstanie odpowiedniej siły N . W ścianie tej nie powinny być wykonane otwory nad i pod miejscem osadzenia schodów.

8.3. Przykłady obliczeń

8.3.1. Schody drewniane

Zaprojektować w budynku murowanym schody z drewna sosnowego, policzkowe oparte na dwóch belkach spocznikowych, ze stopniami osadzonymi w belkach policzkowych. Należy obliczyć stopień schodowy, belkę spocznikową, belkę spocznikową. Obliczane schody pokazano na rysunku 8.8.



Rys. 8.8. Schody drewniane na belkach policzkowych ze stopniami osadzonymi w belkach policzkowych: a) przekrój przez bieg schodowy, b) schemat statyczny belki policzkowej, c) widok biegów schodowych opartych na belkach spocznikowych, d) schemat statyczny stopnia, e) schemat statyczny belki spocznikowej

Dane przyjęte do obliczeń:

- wysokość kondygnacji $H = 2,90$ m,
- wymiary stopni: wysokość $h_s = 0,175$ m, szerokość $s = 0,30 + 0,02 = 0,32$ m,
- szerokość biegu schodowego w świetle $l_{sp} = 0,82$ m,
- szerokość spocznika $l_{sp1} = 1,0$ m,
- kąt pochylenia biegu schodowego $\tan \alpha = 175/300 = 0,583$, $\alpha = 30,256^\circ$, $\cos \alpha = 0,864$.

Dla drewna sosnowego wartość charakterystyczna ciężaru objętościowego wynosi $\sigma_{sosny} = 5,5$ kN/m³ (tab. 2.2). Schody będą wykonane z drewna odpowiadającego klasie sortowniczej KG, co odpowiada klasie wytrzymałościowej C18 (dla tarcicy grubości $t < 38$ mm – patrz tab. 3.6) i C22 (dla tarcicy grubości $t \geq 38$ mm – patrz tab. 3.6).

Poz. obl. 8.1. OBLICZENIE STOPNIA DREWNIANEGO

Przyjęto do obliczeń stopień wykonany z drewna klasy C18, z dwóch desek grubości 25 mm i szerokości 160 mm każda (tab. 3.3). Założono, że deski są osadzone w belce podłogowej na głębokość po 20 mm z jednej i drugiej strony, stąd całkowita długość deski wynosi 860 mm.

W tabeli 8.1 zestawiono obciążenia stałe g i zmienne p przypadające na stopień.

Tabela 8.1. Zestawienie obciążeń na stopień

Obciążenie	Wartość charakterystyczna [kN/m]	Współczynnik obciążenia γ_f [-]	Wartość obciążeniowa [kN/m]
g – obciążenie stałe ciężar własny stopnia (2 deski) grubości 25 mm $(0,025 \cdot 2 \cdot 0,160) \cdot 5,5$	0,044	1,1	0,048
p – obciążenie zmienne $0,32 \cdot 3,0$	0,96	1,3	1,248
RAZEM $g + p$	1,004		1,296

Rozpiętość obliczeniowa dla stopnia wynosi:

$$l_{eff} = 0,82 + (0,02/2 + 0,02/2) = 0,84 \text{ m.}$$

Schemat statyczny obliczanego stopnia pokazano na rysunku 8.8d. Moment zginający wynosi:

$$M_0 = 0,125 \cdot (g + p) \cdot l_{eff}^2 = 0,125 \cdot 1,296 \cdot 0,84^2 = 0,114 \text{ kNm.}$$

Sprawdzenie stanu granicznego nośności

Obliczenie wskaźnika wytrzymałości dla dwóch desek o wymiarach 25×160 mm każda:

$$W_j = \frac{0,320 \cdot 0,075^2}{6} = 33,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3.$$

Naprężenie obliczeniowe od zginania w stosunku do osi głównej wynosi:

$$\sigma_{m,v,d} = \frac{M_v}{W_j} = \frac{0,114}{33,3 \cdot 10^{-6}} = 3420 \text{ kPa} = 3,42 \text{ MPa.}$$

Dla klasy drewna C18 wytrzymałość charakterystyczna na zginanie wynosi $f_{m,v,k} = 18,0$ MPa (tab. 3.6). Schody są konstrukcją wykonaną z drewna o wilgotności w przedziale 12–20%, co określa klasę użytkowania jako 2 (tab. 3.7). Decydujące znaczenie ma obciążenie zmienne technologiczne (średniotrawe), stąd wartość współczynnika $k_{mod} = 0,8$ (tab. 3.9).

Wytrzymałość obliczeniową na zginanie określa się wg wzoru (3.8):

$$f_{m,v,d} = f_{m,v,k} \cdot \frac{k_{mod} \cdot f_{m,v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 18,0}{1,3} = 11,08 \text{ MPa.}$$

Sprawdzenie warunku stanu granicznego nośności wg wzoru (3.17):

$$\frac{\sigma_{m,v,d}}{f_{m,v,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{3,42}{11,08} + 0 = 0,31 \leq 1.$$

Dla stopnia wykonanego z dwóch desek o grubości 25 mm i szerokości 160 mm każda warunek stanu granicznego nośności jest spełniony.

Sprawdzenie stanu granicznego użytkowości

Graniczna wartość ugięcia (tab. 3.11) – tak jak dla stropu nietykowanego) wynosi

$$u_{\text{net,fin}} = l_{\text{eff}}/250 = 840/250 = 3,36 \text{ mm.}$$

Obliczenie ugięcia wykonano za pomocą programu obliczeniowego RM-WIN. Otrzymane wartości ugięcia doraznego u_{fin} zebrano w tabeli 8.2.

Tabela 8.2. Wartości ugięcia stopnia od poszczególnych składowych obciążeń

Obciążenie	k_{def} *	Składowe obciążenia [mm]	
		u_{inst}	u_{fin}
1. ciężar własny deski (klasa trwania obciążenia – stałe)	0,8	0,1	0,18
2. obciążenie zmienne technologiczne (klasa trwania obciążenia = obciążenie średniotrawe)	0,25	1,7	2,13
Ugięcie sumaryczne		$u_{\text{fin},v} = u_{\text{fin},v} + u_{\text{fin},z,v}$	2,31

*Współczynnik k_{def} określono wg tabeli 3.10.

Końcowe (finalne) przemieszczenie u_{fin} obliczono wg wzoru (3.9).
Zatem:

$$u_{fin} = 2,31 \text{ mm} \leq u_{rel,fin} = 3,4 \text{ mm.}$$

Dla stopnia wykonanego z dwóch desek o grubości 25 mm i szerokości 160 mm każda warunek stanu granicznego użytkowalności jest spełniony.
Ostatecznie przyjęto do wykonania stopnia dwie deski o grubości 25 mm i szerokości 160 mm każda, z drewna klasy C18.

Poz. obl. 8.2. OBLICZENIE BELKI POLICZKOWEJ

Przyjęto do obliczeń belkę policzkową wykonaną z drewna klasy C22, z bala o wymiarach przekroju poprzecznego 63×250 mm (tab. 3.3), o polu przekroju $A = 0,0158 \text{ m}^2$. W tabeli 8.3 zestawiono obciążenia stałe g i zmienne p przypadające na belkę policzkową.

Tabela 8.3. Zestawienie obciążeń na belkę policzkową

Obciążenie	Wartość charakterystyczna [kN/m]	Współczynnik obciążenia γ [-]	Wartość obliczeniowa [kN/m]
g – obciążenie stałe ciężar własny stopnia (2 deski) grubości 25 mm ($0,025 \cdot 0,32 + 0,025 \cdot 0,175$) · 5,5 : 0,30	0,227	1,1	0,250
ciężar własny belki policzkowej $0,063 \cdot 0,250 \cdot 5,5 : 0,861$	0,100	1,1	0,110
p – obciążenie zmienne $0,32 \cdot 3,0 : 3,0$	3,20	1,3	4,16
RAZEM $g + p$	3,527		4,52

Ponieważ połowa szerokości belki spocznikowej, na której oparta jest belka policzkowa, wynosi 0,050 m, przyjęto rozpiętość obliczeniową dla belki policzkowej (patrz rys. 8.8a i c):

$$l_{eff} = 2,23 + 2 \cdot 0,050/2 = 2,28 \text{ m.}$$

Przyjęto do obliczeń schemat statyczny belki swobodnie podpartej pokazany na rysunku 8.8b i obciążenia z tabeli 8.3.

Maksymalny moment zginający wynosi:

$$M_0 = 0,125 \cdot (g + p) \cdot l_{eff}^2 = 0,125 \cdot 4,52 \cdot 2,28^2 = 2,94 \text{ kNm.}$$

Reakcja V_1 (od oparcia belki policzkowej na belce spocznikowej) wynosi:

$$V_1 = 0,5 \cdot (g + p) \cdot l_{eff} = 0,5 \cdot 4,52 \cdot 2,28 = 5,153 \text{ kN (wartość obliczeniowa).}$$

$$V_{1,k} = 0,5 \cdot (g_k + p_k) \cdot l_{eff} = 0,5 \cdot 3,527 \cdot 2,28 = 4,071 \text{ kN}$$

(wartość charakterystyczna).

Sprawdzenie stanu granicznego nośności

Moment bezwładności netto dla belki policzkowej z wycięciem na osadzenie stopnia wynosi:

$$I_{neto} = \frac{0,063 \cdot 0,25^3}{12} - \frac{0,02 \cdot 0,025^3}{12} = 8200,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4.$$

Wskaźnik wytrzymałości dla belki policzkowej wynosi zatem:

$$W_c = \frac{I_{neto}}{h/2} = \frac{8200,5 \cdot 10^{-8}}{0,25/2} = 656,04 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3.$$

Naprężenie obliczeniowe od zginania w stosunku do osi głównej wynosi:

$$\sigma_{m,v,d} = \frac{M_v}{W_c} = \frac{2,94}{656,04 \cdot 10^{-6}} = 4481,4 \text{ kPa} = 4,48 \text{ MPa.}$$

Dla klasy drewna C22 wytrzymałość charakterystyczna na zginanie wynosi $f_{m,v,k} = 22,0$ MPa (tab. 3.6). Podobnie jak w *Poz. obl. 8.1* przyjęto klasę użytkowania jako 2 i wartość współczynnika $k_{mod} = 0,8$ (tab. 3.9).

Wytrzymałość obliczeniową na zginanie określa się wg wzoru (3.8):

$$f_{m,v,d} = f_{m,v,k} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,8 \cdot 22,0}{1,3} = 13,54 \text{ MPa.}$$

Sprawdzenie warunku stanu granicznego nośności dla belki policzkowej wg wzoru (3.17):

$$\frac{\sigma_{m,v,d}}{f_{m,v,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{4,48}{13,54} + 0 = 0,33 \leq 1,$$

Dla belki policzkowej wykonanej z bala o wymiarach przekroju poprzecznego 63×250 mm warunek stanu granicznego nośności jest spełniony.

Sprawdzenie stanu granicznego użytkowalności

Graniczna wartość ugięcia wynosi:

$$u_{rel,fin} = l_{eff}/250 = 2280/250 = 9,12 \text{ mm.}$$

Obliczenie ugięcia wykonano za pomocą programu obliczeniowego RM-WIN.

Urzymane wartości ugięcia doraznego u_{inst} zebrano w tabeli 8.4.

Końcowe (finalne) przemieszczenie u_{fin} obliczono wg wzoru (3.9).
Zatem:

$$u_{fin} = 2,11 \text{ mm} \leq u_{rel,fin} = 9,12 \text{ mm.}$$

Tabela 8.4. Wartości ugięcia belki policzekowej od poszczególnych składowych obciążenia

Obciążenie	k_{def}^*	Składowe obciążenia [mm]	
		$u_{inst,v}$	$u_{fin,v}$
1. ciężar własny deski (klasa trwania obciążenia – stałe)	0,8	0,2	0,36
2. obciążenie zmienne technologiczne (klasa trwania obciążenia – obciążenie średnioterwale)	0,25	1,4	1,75
Ugięcie sumaryczne	$u_{pbc,v} = u_{pbc,v} + u_{pbc,v}$	2,11	

*Współczynnik k_{def} określono wg tabeli 3.10.

Dla belki policzekowej wykonanej z bala o wymiarach przekroju poprzecznego 63×250 mm warunek stanu granicznego użytkowości jest spełniony.

Ostatecznie przyjęto belkę policzekową wykonaną z bala o wymiarach 63×250 mm, z drewna klasy C22.

Por. obl. 8.3. OBLICZENIE BELKI SPOCZNIKOWEJ

Przyjęto do obliczeń belkę spocznikową wykonaną z drewna klasy C22, z bala o wymiarach przekroju poprzecznego 100×200 mm (tab. 3.3), o polu przekroju $A = 0,020$ m².

W tabeli 8.5 zestawiono obciążenia równomiernie rozłożone stałe g i zmienne p przypadające na belkę spocznikową.

Tabela 8.5. Zestawienie obciążeń równomiernie rozłożonych na belkę spocznikową

Obciążenie	Wartość charakterystyczna [kN/m]	Współczynnik obciążenia γ_f [-]	Wartość obciążeniowa [kN/m]
g – obciążenie stałe ciężar własny wykonania belki (deska od góry i deska od dołu) grubości po 25 mm $2 \cdot (0,025 \cdot 1,0/2) \cdot 5,5$	0,138	1,2	0,166
ciężar własny belki spocznikowej grubości 200 mm $0,10 \cdot 0,20 \cdot 5,30,11$	1,1	0,121	
p – obciążenie zmienne $1,0/2 \cdot 3,0$	1,50	1,3	1,95
RAZEM $g + p$	1,748		2,237

Przyjęto do obliczeń schemat statyczny przedstawiony na rysunku 8.8c i obciążenia z tabeli 8.5.

Przyjęto głębokość oparcia belki spocznikowej na ścianie 80 mm, odsunięcie belki

policzekowej od ściany 9 mm i światła duszy 150 mm. Rozpiętości obliczeniowe wynoszą:

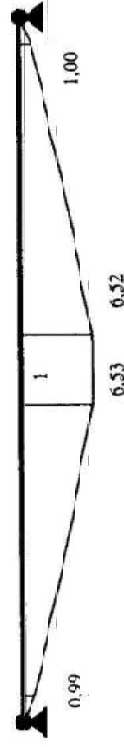
$$l_1 = 80/2 + 9 + 63/2 = 80,5 \text{ mm} = 0,0805 \text{ m},$$

$$l_2 = 820 + 2 \cdot 63/2 = 883 \text{ mm} = 0,883 \text{ m},$$

$$l_3 = 150 + 2 \cdot 63/2 = 213 \text{ mm} = 0,213 \text{ m},$$

$$l_{eff} = 2,140 \text{ m}.$$

Po wykonaniu obliczeń za pomocą programu obliczeniowego RM-WIN otrzymano wykres momentów zginających, w kNm, który przedstawiono na rysunku 8.9.



Rys. 8.9. Wykres momentów zginających dla belki spocznikowej

Maksymalny moment zginający dla belki spocznikowej wynosi:

$$M_{ed} = 6,53 \text{ kNm}.$$

Sprawdzenie stanu granicznego nośności

Obliczenie wskaźnika wytrzymałości dla belki spocznikowej:

$$W_y = \frac{0,100 \cdot 0,200^2}{6} = 666,67 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3.$$

Naprężenie obliczeniowe od zginania w stosunku do osi głównej wynosi:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ed}}{W_y} = \frac{6,53}{666,67 \cdot 10^{-6}} = 9795 \text{ kPa} = 9,80 \text{ MPa}.$$

Podobnie jak w Por. obl. 8.2 przyjęto wytrzymałość obliczeniową na zginanie $f_{m,y,d} = 13,54$ MPa

Sprawdzenie warunku stanu granicznego nośności dla belki spocznikowej wg wzoru (3.17):

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = \frac{9,80}{13,54} + 0 = 0,72 \leq 1.$$

Dla belki spocznikowej wykonanej z bala o wymiarach przekroju poprzecznego 100×200 mm warunek stanu granicznego nośności jest spełniony.

Sprawdzenie stanu granicznego użytkowości

Graniczna wartość ugięcia wynosi:

$$u_{rel,fin} = l_{eff}/250 = 2140/250 = 8,56 \text{ mm.}$$

Obliczenie ugięcia wykonano za pomocą programu obliczeniowego RM-WIN. Otrzymane wartości ugięcia doraznego u_{inv} zebrano w tabeli 8.6.

Tabela 8.6. Wartości ugięcia belki spocznikowej dla poszczególnych składowych obciążenia

Obciążenie	k_{def}^*	Składowe obciążenia [mm]	
		$u_{inv,y}$	$u_{fin,y}$
1. ciężar własny deski (klasa trwania obciążenia = stałe)	0,8	0,1	0,18
2. obciążenie zmienne technologiczne (klasa trwania obciążenia = obciążenie średniotrwałe)	0,75	3,0	3,75
Ugięcie sumaryczne			3,93

$u_{fin,y} = u_{inv,y} + u_{oc,y}$

* Współczynnik k_{def} określono wg tabeli 3.10.

Końcowe (finalne) przemieszczenie u_{fin} obliczono wg wzoru (3.9).

Zatem:

$$u_{fin} = 3,93 \text{ mm} \leq u_{rel,fin} = 8,56 \text{ mm.}$$

Dla belki spocznikowej wykonanej z bala o wymiarach przekroju poprzecznego $100 \times 200 \text{ mm}$ warunek stanu granicznego użytkowości jest spełniony.

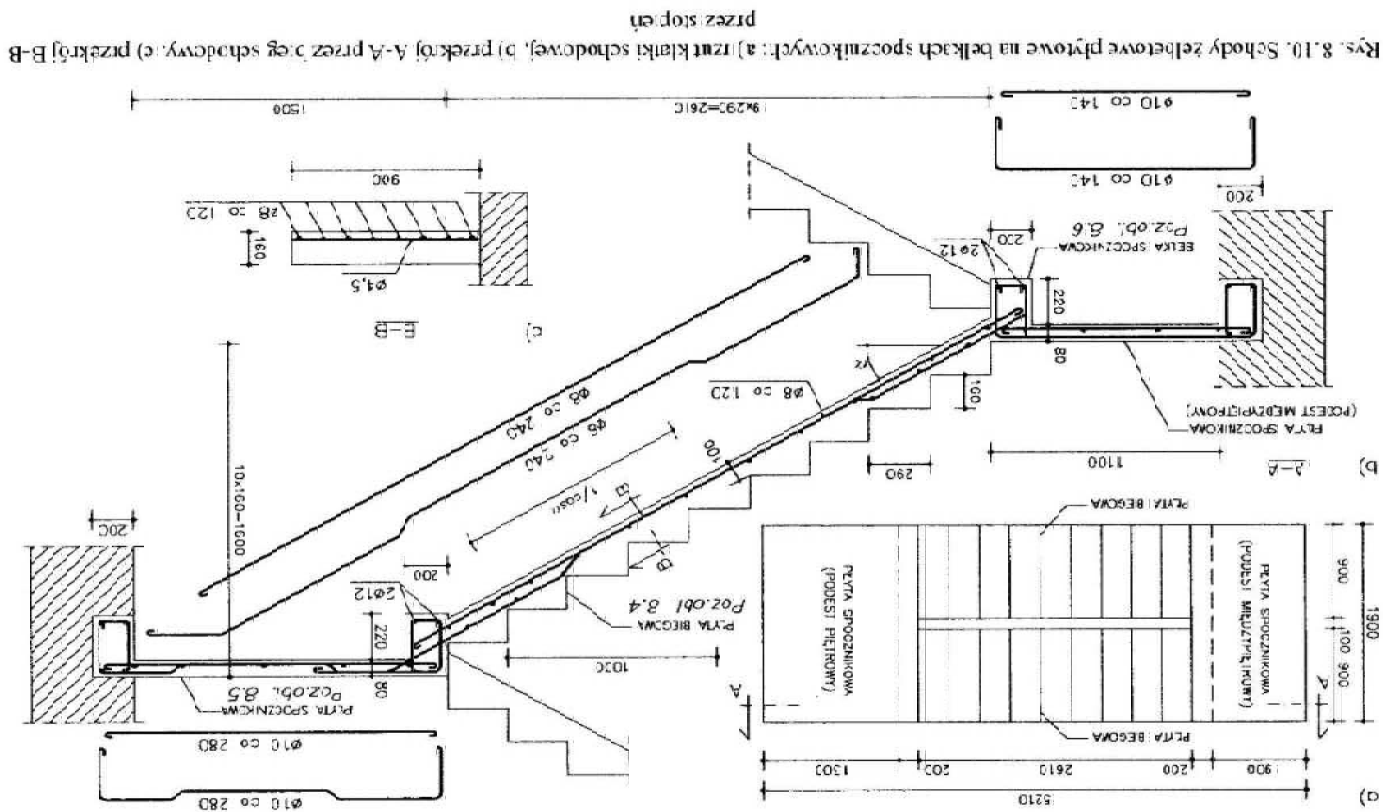
Ostatecznie przyjęto belkę spocznikową wykonaną z bala o wymiarach przekroju poprzecznego $100 \times 200 \text{ mm}$

8.3.2. Schody żelbetowe płytowe na belkach spocznikowych

Zaprojektować w budynku murywanym schody żelbetowe płytowe na dwóch belkach spocznikowych, monolityczne, dwubiegowe. Płyta biegowa oparta jest na dwóch belkach spocznikowych. Należy obliczyć płytę biegową, płytę spocznikową, belkę spocznikową. Obliczane schody pokazano na rysunku 8.10.

Dane przyjęte do obliczeń:

- wysokość kondygnacji $H = 2,90 \text{ m}$,
- wymiary stopni: wysokość $h_s = 0,16 \text{ m}$, szerokość $s = 0,29 \text{ m}$,
- wysokość płyty spocznikowej $h_1 = 0,08 \text{ m}$,
- wysokość płyty biegowej $h_2 = 0,10 \text{ m}$,
- długość płyty biegowej $l_{b2} = 2,61 \text{ m}$,
- szerokość klatki schodowej $l_{sk} = 1,90 \text{ m}$,
- szerokość płyty biegowej $l = 0,90 \text{ m}$,
- szerokość spocznika (podestu międzypiętrowego) $l_{n1} = 0,90 \text{ m}$,



Rys. 8.10. Schody żelbetowe płytowe na belkach spocznikowych: a) rzut klatki schodowej; b) przekrój A-A przez cieg schodowy; c) przekrój B-B przez stopień

- szerokość spocznika (podestu piętrowego) $l_{p3} = 1,30$ m,
- szerokość belki spocznikowej $b = b_{sp} = 0,20$ m,
- beton klasy B20 o $f_{ck} = 16$ MPa, $f_{ctd} = 10,6$ MPa,
- stal klasy A-I o znaku gatunku St3SX i $f_{td} = 210$ MPa,
- warunki środowiskowe suche, wnętrze budynku o niskiej wilgotności powietrza
- tnak jak dla klasy XC1, zgodnie z PN-B-03264:2002 [37],
- kąt pochYLENIA biegu schodowego $\text{tg}\alpha = 16/29 = 0,552$, $\alpha = 28,87^\circ$, $\cos\alpha = 0,876$.

Poz. obl. 8.4. OBLICZENIE PŁYTY BIEGOWEJ

W tabeli 8.7 zestawiono obciążenia stałe g i zmienne p przypadające na 1 m^2 płyty biegowej, a w tabeli 8.8 obciążenia przypadające na 1 m^2 płyty spocznikowej.

Tabela 8.7. Zestawienie obciążeń na 1 m^2 płyty biegowej

Obciążenie	Wartość charakterystyczna $[kN/m^2]$	Współczynnik obciążenia γ [-]	Wartość obliczeniowa $[kN/m^2]$
g - obciążenie stałe			
plytki ceramiczne grubości 12 mm $(0,012 \cdot 0,012 \cdot 0,16 \cdot 0,29) \cdot 21,0$	0,49	1,2 (0,9)	0,47 (0,35)
plyta biegowa grubości 100 mm $0,10 \cdot 24,0 \cdot 0,876$	2,74	1,1 (0,9)	3,01 (2,47)
stopnie wysokości 160 mm $0,5 \cdot 0,16 \cdot 23,0$	1,84	1,1 (0,9)	2,02 (1,66)
tynek cementowo-wapienny grubości 15 mm $0,015 \cdot 19 \cdot 0,876$	0,32	1,3 (0,8)	0,42 (0,26)
RAZEM g	5,39		5,92 (4,74)
p - obciążenie zmienne			
3,0	3,0	1,3 (0,8)	3,9 (2,4)
RAZEM $g+p$	8,29		9,82

Tabela 8.8. Zestawienie obciążeń na 1 m^2 płyty spocznikowej

Obciążenie	Wartość charakterystyczna $[kN/m^2]$	Współczynnik obciążenia γ [-]	Wartość obliczeniowa $[kN/m^2]$
g - obciążenie stałe			
plytki ceramiczne grubości 12 mm $0,012 \cdot 21$	0,25	1,2 (0,9)	0,30 (0,23)
plyta spocznikowa grubości 80 mm $0,08 \cdot 24,0$	1,92	1,1 (0,9)	2,11 (1,73)
RAZEM $g+p$			2,41 (1,96)

Tabela 8.8. C.d.

1	2	3	4
tynek cementowo-wapienny grubości 15 mm $0,015 \cdot 19$	0,28	1,3 (0,8)	0,37 (0,22)
RA/EM g g_2	2,45		2,78 (2,18)
p - obciążenie zmienne	3,0	1,3	3,9
RAZEM $g+p$	5,45		6,68

Rozpiętości obliczeniowe:

$$l_{eff1} = 1,025 \cdot l_{n1} + b/2 = 1,025 \cdot 0,9 + 0,20/2 = 1,02 \text{ m},$$

$$l_{eff2} = l_{n2} + b = 2,61 + 0,20 = 2,81 \text{ m},$$

$$l_{eff3} = 1,025 \cdot l_{n3} + b/2 = 1,025 \cdot 1,3 + 0,20/2 = 1,43 \text{ m}.$$

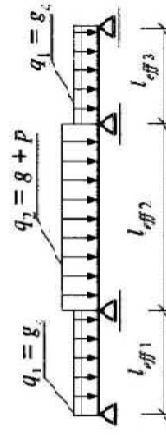
Wartość obliczeniowa obciążeń dla kombinacji pokazanej na rysunku 8.11 wynosi:
dla płyty spocznikowych (tab. 8.8)

$$q_1 = g_2 = 2,18 \quad 0,90 = 1,96 \text{ kN/m},$$

- dla płyty biegowej (tab. 8.7)

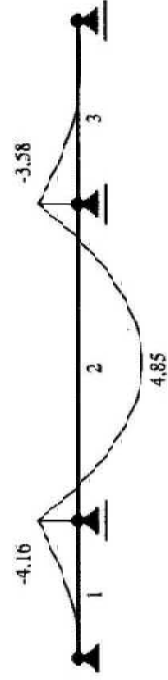
$$q_1 = g + p = 9,82 \cdot 0,90 = 8,84 \text{ kN/m}.$$

Przyjęty do obliczeń schemat statyczny płyty biegowej przedstawiono na rysunku 8.11.



Rys. 8.11. Schemat statyczny obliczanej płyty biegowej

Po wykonaniu obliczeń za pomocą programu obliczeniowego RM-WIN otrzymano wykres ekstremalnych momentów zginających w kNm, który przedstawiono na rysunku 8.12.



Rys. 8.12. Wykres momentów ekstremalnych dla płyty biegowej

Ekstremalny moment zginający dla płyty biegowej:

$$M_{ed} = 4,85 \text{ kNm}$$

Przyjęto grubość otulenia $c = 15$ mm, strzemienna o średnicy 4,5 mm, pręty zbrojenia płyty biegowej 8 mm i dopuszczalną odchyłkę otuliny $\Delta h = 5$ mm. Przy tych założeniach wysokość użyteczna przekroju płyty wynosi:

$$d = 100 - 15 - 4,5 - 0,5 \cdot 8 - 5 = 71,5 \text{ mm}$$

Wartość współczynnika μ_{ec} wynosi:

$$\mu_{ec} = \frac{M_{ed}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d^2} = \frac{4,85}{1,0 \cdot 10,6 \cdot 10^3 \cdot 0,0 \cdot 0,0715^2} = \frac{4,85}{48,77} = 0,099$$

Dla wartości $\mu_{ec} = 0,099$ odczytano z tabeli 4.41 $\rho = 0,53\%$ i obliczono pole przekroju zbrojenia:

$$A_{s1} = \rho \cdot b_{eff} \cdot d = 0,53 \cdot 10^{-2} \cdot 0,9 \cdot 0,0715 = 3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Przyjęto z tabeli 4.42 zbrojenie w postaci prętów o średnicy 8 mm co 120 mm, o polu przekroju $A_{s1} = 3,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Przy podporach co drugi pręt odgina się do góry, tak jak pokazano to na rysunku 8.10.

Poz. obl. 8.5. OBLICZENIE PŁYTY SPOCZNIKOWEJ – PODESTU PIĘTROWEGO

W tabeli 8.8 zestawiono obciążenia stałe g i zmienne p przypadające na 1 m^2 płyty spocznikowej. Przyjęto płytę spocznikową o grubości $h_f = h_j = 0,08$ m, a rozpiętość obliczeniową analogicznie jak w Poz. obl. 8.4.

Wartość obliczeniowa obciążeń dla kombinacji pokazanej na rysunku 8.13 wynosi:

– dla spocznika – podest międzypiętrowy (tab. 8.8)

$$q_1 = g_2 = 2,18 \cdot 0,90 = 1,96 \text{ kN/m}$$

– dla płyty biegowej (tab. 8.7)

$$q_2 = g + p = 9,82 \cdot 0,90 = 8,84 \text{ kN/m}$$

– dla spocznika – podest piętrowy (tab. 8.8)

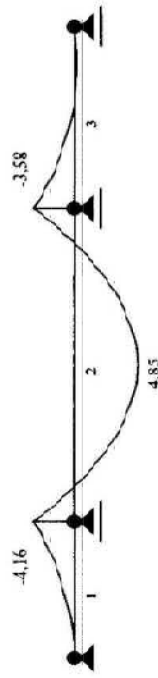
$$q_3 = g + p = 6,68 \cdot 0,90 = 6,01 \text{ kN/m}$$

Przyjęty do obliczeń schemat statyczny płyty spocznikowej przedstawiono na rysunku 8.13.



Rys. 8.13. Schemat statyczny obliczanej płyty spocznikowej

Po wykonaniu obliczeń za pomocą programu obliczeniowego RM-WIN otrzymano wykres ekstremalnych momentów zginających w kNm, który przedstawiono na rysunku 8.14.



Rys. 8.14. Wykres momentów ekstremalnych dla płyty spocznikowej

Ekstremalny moment zginający dla płyty spocznikowej:

$$M_{ed} = 4,14 \text{ kNm}$$

Przyjęto grubość otulenia $c = 15$ mm, strzemienna o średnicy 4,5 mm, pręty zbrojenia płyty spocznikowej 10 mm i dopuszczalną odchyłkę otuliny $\Delta h = 5$ mm. Przy takich założeniach wysokość użyteczna przekroju wynosi:

$$d = 80 - 15 - 4,5 - 0,5 \cdot 10 - 5 = 50,5 \text{ mm}$$

Wartość współczynnika μ_{ec} wynosi:

$$\mu_{ec} = \frac{M_{ed}}{\alpha \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d^2} = \frac{4,14}{1,0 \cdot 10,6 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,0505^2} = \frac{4,14}{24,33} = 0,170$$

Dla wartości $\mu_{ec} = 0,170$ odczytano z tabeli 4.44 $\rho = 0,95\%$ i obliczono pole przekroju zbrojenia:

$$A_{s1} = \rho \cdot b_{eff} \cdot d = 0,95 \cdot 10^{-2} \cdot 0,9 \cdot 0,0505 = 4,32 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Przyjęto z tabeli 4.42 zbrojenie w postaci prętów o średnicy 10 mm co 140 mm, o polu przekroju $A_{s1} = 4,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Przy podporach co drugi pręt odgina się do góry, tak jak pokazano to na rysunku 8.10.

Poz. obl. 8.6. OBLICZENIE BELKI SPOCZNIKOWEJ

W tabeli 8.9 zestawiono obciążenia stałe g i zmienne p przypadające na belkę spocznikową.

Rozpiętość obliczeniowa:

$$l_{eff} = 1,05 \cdot l_{os} = 1,05 \cdot 1,90 = 1,995 \text{ m}$$

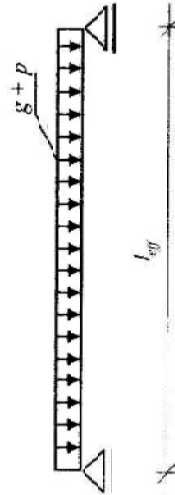
Schemat statyczny do obliczeń przedstawiono na rysunku 8.15.

Moment zginający wynosi:

$$M_{ed} = 0,125 \cdot (g + p) \cdot l_{eff}^2 = 0,125 \cdot 19,14 \cdot 1,995^2 = 9,52 \text{ kNm}$$

Tabela 8.9. Zestawienie obciążeń na 1 m belki spocznikowej

Obciążenie	Wartość charakterystyczna [kN/m ²]	Współczynnik obciążenia γ _i [-]	Wartość obliczeniowa [kN/m ²]
g obciążenie stałe			
belka spocznikowa 0,20 · (0,30 + 0,08) = 24,0	1,06	1,1	1,17
plyta bieżniowa grubości 100 mm, tab. 8.8 5,29 · 2,61 · 0,5 · 5,92 = 2,61 · 0,5	6,90		7,72
plyta spocznikowa grubości 80 mm, tab. 8.8 2,45 · 1,5 · 0,5; 2,78 · 1,5 · 0,5	1,84		2,08
tynek cementowo-wapienny na bokach grubości 15 mm (0,32 + 0,10) · 0,015 · 19	0,12	1,3	0,16
RAZEM	9,92		11,13
p obciążenie zmienne 3,0 · (2,61 + 1,50) · 0,5	6,16	1,3	8,01
RAZEM g + p	16,08		19,14



Rys. 8.15. Schemat statyczny belki spocznikowej

Szerokość efektywna przekroju wynosi:

$$b_{\text{eff}} = b_w + l_{\text{eff}}/10 = 200 + 1995/10 = 400 \text{ mm},$$

$$b_{\text{eff}} = b_w + 4b_f = 200 + 4 \cdot 80 = 520 \text{ mm}.$$

Przekrój jest pozornie tenowy o szerokości górnej półki $b_{\text{eff}} = 400 \text{ mm}$.

Przyjęto grubość otulenia $c = 15 \text{ mm}$, szerzonoia o średnicy 6 mm, pręty zbrojenia 12 mm i dopuszczalną odchyłkę otuliny $\Delta h = 5 \text{ mm}$.

Przy takich założeniach wysokość użyteczna przekroju wynosi:

$$d = 300 - 15 - 6 - 0,5 \cdot 12 - 5 = 268 \text{ mm}.$$

Zakłada się, że $x_{\text{eff}} = h_f = 80 \text{ mm}$, a moment zginający przenoszony przez przekrój $b_{\text{eff}} = 400 \text{ mm}$ wynosi:

$$M_t = \alpha \cdot f_{\text{cd}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_f \cdot (d - 0,5 \cdot h_f) = 1,0 \cdot 10,6 \cdot 10^3 \cdot 0,400 \cdot 0,08 \cdot (0,268 - 0,5 \cdot 0,08) = 76,32 \text{ kNm},$$

$$M_t = 76,32 \text{ kNm} > M_{\text{ed}} = 9,52 \text{ kNm}.$$

Wartość współczynnika μ_{sc} wynosi:

$$\mu_{\text{sc}}^* = \frac{M_{\text{ed}}}{\alpha \cdot f_{\text{cd}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot d^2} = \frac{9,52}{1,0 \cdot 10,6 \cdot 10^3 \cdot 0,400 \cdot 0,268^2} = \frac{9,52}{304,5} = 0,031 < \mu_{\text{min}}.$$

Ponieważ tabela 4.44 jest opracowana dla przekroju prostokątnego, trzeba sprowadzić przekrój do prostokątnego:

$$\mu_{\text{sc}}^* = \mu_{\text{sc}}^* \cdot b_{\text{eff}}/b_w = 0,031 \cdot 400/200 = 0,062.$$

Dla wartości $\mu_{\text{sc}} = 0,062$ odczytano z tabeli $\rho = 0,33\%$ i obliczono pole przekroju zbrojenia:

$$A_{s,1} = \rho \cdot b_w \cdot d = 0,33 \cdot 200 \cdot 0,268 = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Przyjęto z tabeli 4.42 zbrojenie w postaci dwóch prętów o średnicy 12 mm i polu przekroju:

$$A_{s,1} = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Wartość siły poprzecznej wynosi:

– w leu podpory

$$V_{\text{sd}} = 0,5 \cdot (g + p) \cdot l_{\text{no}} = 0,5 \cdot 19,14 \cdot 1,90 = 18,18 \text{ kN}.$$

– w odległości d od podpory

$$V_{\text{sd}} = V_{\text{sd}} - (g + p) \cdot d = 18,18 - 19,14 \cdot 0,268 = 13,05 \text{ kN}.$$

Najmniejsza szerokość strefy ścinania $b_w = 0,20 \text{ m}$.

Współczynnik $k = 1,6 - d = 1,6 - 0,268 = 1,332$, $\rho_{\text{cp}} = 0$.

Stożenie zbrojenia wynosi:

$$\rho_l = \frac{A_{s,1}}{b_w \cdot d} = \frac{2,26 \cdot 10^{-4}}{0,20 \cdot 0,268} = 0,0042 < 0,01,$$

przyjęto $\rho_l = 0,42\%$.

Siła $V_{R,d}$ wynosi:

$$V_{R,d} = [0,35 \cdot k \cdot f_{\text{cd}} \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_l) + 0,15 \cdot \sigma_{\text{cp}}] \cdot b_w \cdot d = [0,35 \cdot 1,332 \cdot 0,87 \cdot 10^3 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0042) + 0,15 \cdot 0] \cdot 0,20 = 0,268$$

$$V_{R,d} = 29,74 \text{ kN} > V_{\text{ed}} = 18,18 \text{ kN}.$$

Siła $V_{R,d}$ na odcinkach pierwszego rodzaju wynosi:

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{\text{td}}/250) = 0,6 \cdot (1 - 16/250) = 0,56,$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot 0,268 = 0,241,$$

$$V_{R,d} = 0,5 \cdot v \cdot f_{\text{td}} \cdot b_w \cdot z = 0,5 \cdot 0,56 \cdot 10,6 \cdot 10^3 \cdot 0,20 \cdot 0,241 = 143,06 \text{ kN} > V_{\text{ed}} = 18,18 \text{ kN}.$$

Zbrojenie na ścinanie i szerokość rozwarcia rys ukośnych nie jest obliczana, ponieważ $V_{R,d} > V_{\text{ed}} > V_{\text{sd}}$.

Sprawdzenie szerokości rys prostopadłych

Dla środowiska klasy I $w_{lim} = 0,3$ mm. Ponieważ schody są wykonane w budynku mieszkalnym, to $\psi_{II} = 0,35$ (tab. 2.8).

Wartość charakterystyczna obciążenia zebra w kombinacji obciążeń długotrwałych wynosi:

$$g_k = 9,92 \text{ kN/m},$$

$$p_k = 0,35 \cdot 6,16 = 2,156 \text{ kN/m}.$$

Moment zginający dla kombinacji obciążeń długotrwałych wynosi:

$$M_{sd,lt} = 0,125 \cdot (g_k + p_k) \cdot l_{eff}^2 = 0,125 \cdot (9,92 + 2,156) \cdot 1,995^2 = 6,01 \text{ kNm}.$$

Naprężenia σ_s w zbrojeniu rozciągającym wynoszą:

$$P_I = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} = \frac{2,26 \cdot 10^{-4}}{0,20 \cdot 0,268} = 0,42\% < 0,5\% \text{ więc } \xi = 0,90,$$

$$\sigma_s = \frac{M_{sd,lt}}{\xi \cdot d \cdot A_{s1}} = \frac{6010}{0,90 \cdot 26,8 \cdot 2,26} = 110,2 \text{ MPa}$$

i spełniony jest warunek $0,95 > \frac{d}{h} = \frac{268}{300} = 0,89 > 0,85$.

Dla przyjętego stopnia zbrojenia $\rho = 0,42\%$ i $w_{lim} = 0,3$ mm można stosować pręty średnicy do 32 mm. Ponieważ przyjęto pręty średnicy 12 mm, to bez szczegółowych obliczeń można stwierdzić, że dopuszczalna szerokość rozwarcia rys nie będzie przekroczonea.

Sprawdzenie ugięcia

Ponieważ $l_{eff} = 2,15$ m, $d = 0,268$ m, $b_{eff} = 0,415$ m, $b_w = 0,20$ m $A_{s1} = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $\sigma_s = 110,2$ MPa, więc $\rho_s = 0,0042 = 0,42\% \approx 0,50\%$.

W omawianym przykładzie $\frac{l_{eff}}{d} = \frac{1,995}{0,268} = 7,44$.

Z normy PN-B-03264:2007 (tab. 13) [37] odczytano dla $\rho_s = 0,50\%$, betonu klasy B25 i naprężeń $\sigma_s = 250$ MPa maksymalne $\frac{l_{eff}}{d}$, które wynosi 23.

Uwzględniając obliczoną wartość naprężeń $\sigma_s = 110,2$ MPa, obliczono wartość

$$\max \frac{l_{eff}}{d} = \frac{l_{eff}}{d} \cdot \frac{250}{110,2} = 23 \cdot \frac{250}{110,2} = 52,2 > 7,44.$$

Ponieważ wartość ta jest większa od obliczonej w przykładzie, ugięcie belki spornikowej nie przekroczy wartości granicznej.

8.3.3. Schody żelbetowe płytowe

Zaprojektować w budynku murowanym schody żelbetowe płytowe, monolityczne, dwubiegowe. Parametry geometryczne i materiałowe tak jak w podrozdziale 8.3.2.

Płyta oparta jest na ścianach poprzecznych.

Poz. obl. 8.7. OBLICZENIE SCHODÓW PŁYTOWYCH

Długość schodów płytowych wynosi $l_n = 5,21$ m (rys. 8.10a), a rozpiętości obliczeniowe wynoszą:

$$l_{eff1} = (l_n + b) + 0,025 \cdot l_n = (0,90 + 0,20) + 0,025 \cdot 5,21 = 1,23 \text{ m},$$

$$l_{eff2} = l_{n2} = 2,61 \text{ m},$$

$$l_{eff3} = (l_{n3} + b) + 0,025 \cdot l_n = (1,30 + 0,20) + 0,025 \cdot 5,21 = 1,63 \text{ m},$$

$$l_{eff} = 1,05 \cdot l_n = 1,05 \cdot 5,21 = 5,47 \text{ m}.$$

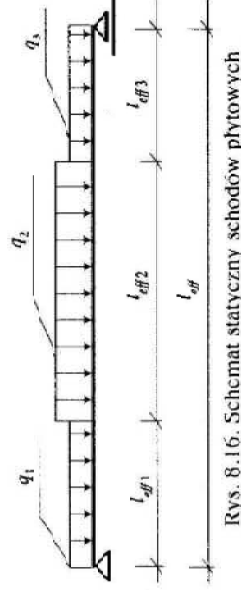
Wartość obliczeniowa obciążenia na płytę biegową z Poz. obl. 8.4 wynosi:

$$q_2 = 8,84 \text{ kN/m}.$$

Wartość obliczeniowa obciążenia na płyty spocznikowe z Poz. obl. 8.5 wynosi:

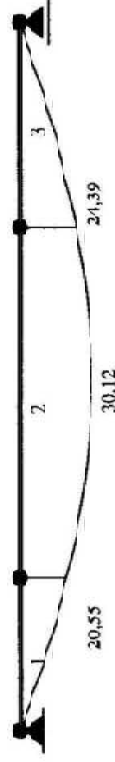
$$q_1 = 6,01 \text{ kN/m}.$$

Schemat statyczny do obliczeń przedstawiono na rysunku 8.16.



Rys. 8.16. Schemat statyczny schodów płytowych

Po wykonaniu obliczeń za pomocą programu obliczeniowego RM-WIN otrzymano wykres momentów zginających w kNm, który przedstawiono na rysunku 8.17.



Rys. 8.17. Wykres momentów zginających dla schodów płytowych

Maksymalny moment zginający wynosi:

$$M_{sd} = 30,12 \text{ kNm}.$$

Toszczególne elementy konstrukcyjne schodów płytowych należy zwiarylować w zakresie wymaganym normą PN-B-03264:2002 [37] i zaobroić zgodnie z zasadami żelbetu podanymi między innymi w pracy [7].