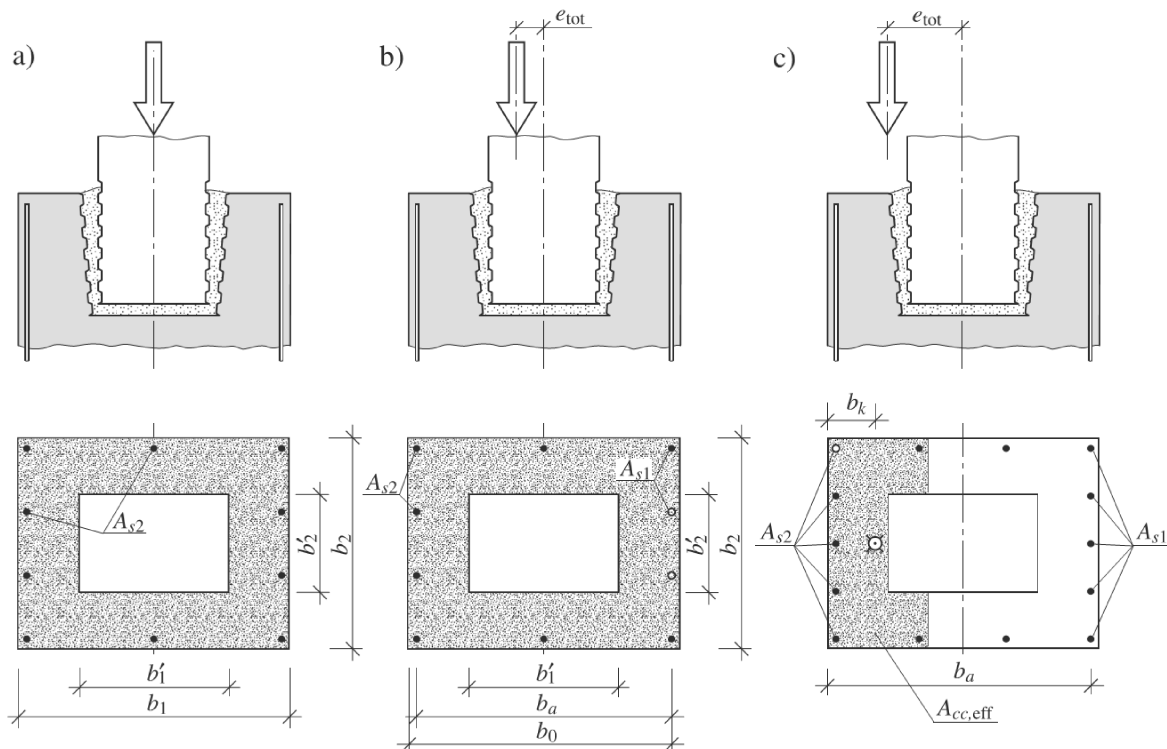


Pionowe zbrojenie A_{sv1} powinno być silnie zakotwione. W zasadzie wymaga się, aby to zbrojenie było w płycie fundamentu zagięte i poziomo przedłużone (rys. 102) na odcinku nie mniejszym niż:

$$l_{bd1} \geq \begin{cases} l_{bd} + 0,4r - d_f, \\ l_{bd} \cdot 1,7 \left(1 - \frac{0,5F_{vEd}}{F_{v1}} \right). \end{cases} \quad (119)$$



Rys. 103. Zasady obliczania zbrojenia pionowego kielicha (opis w tekście).

Jak już wyżej wspomniano, w przypadku, gdy zarówno powierzchnia zakotwionego słupa, jak i wnętrze kielicha jest ukształtowane w dyble (według rys. 15), norma EC2 pozwala traktować takie połączenie jako połączenie monolityczne.

Obliczenia zbrojenia pionowego kielicha w połączeniu monolitycznym ze słupem zaleca się, według [100], prowadzić w następujący sposób:

- gdy $e_{tot} = 0$ (rys. 103a),

$$A_{s2} \geq \frac{F_{V,Ed} - 0,8f_{cd}A_{cc,eff}}{f_{yd}}, \quad (120)$$

gdzie:

$$A_{cc,eff} = b_1b_2 - b'_1b'_2, \quad (121)$$

- gdy $e_{tot} \leq 0,3 b_0$, $e_{tot} = M_{Ed}/F_{V,Ed}$ (rys. 103b),

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{F_{V,Ed} e_{s1} - 0,8 f_{cd} S_{cc,eff}}{f_{yd} b_a}, \quad (122)$$

gdzie:

$$e_{s1} = e_{tot} + 0,5 b_a, \quad (123)$$

$$S_{cc,eff} = 0,5 (b_2 b_0^2 - b_2' b_1' b_a), \quad (124)$$

- gdy $e_{tot} > 0,3 b_0$ (rys. 103c),

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{F_{V,Ed}(e - 0,5 b_0 + b_k)}{f_{yd} b_a}, \quad (125)$$

gdzie b_k jest odległością od krawędzi ściskanej do środka ciężkości strefy ściskanej określonej z warunku:

$$A_{cc,eff} = \frac{F_{V,Ed}}{f_{cd}}. \quad (126)$$

Zbrojenie poziome w kielichu połączonym monolitycznie ze słupem (tj. o obu powierzchniach zdyblowanych) dobiera się według zasad zbrojenia poprzecznego w połączeniach na zakład.

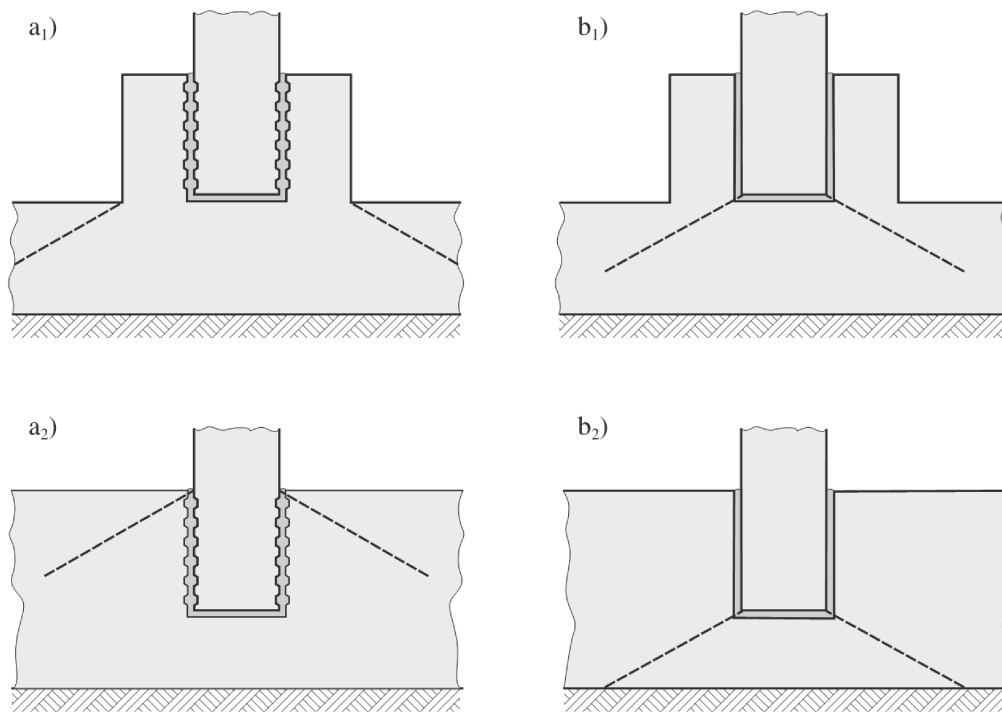
Zarówno w normie EC2, jak i wcześniej w normie PN02 wymaga się sprawdzenia stopy fundamentowej na przebiecie pod działaniem maksymalnych obciążeń eksploatacyjnych. W przypadku stopy kielichowej zakłada się pełną monolityczność słupa i fundamentu.

Zwraca się uwagę Czytelnika, że w przypadku połączeń o stykowych powierzchniach dyblowych przebiecie sprawdza się według EC2 jak dla elementu monolitycznie połączonego (rys. 104a₁, a₂), jednak pod warunkiem „*że sprawdzono przekazywanie sił stycznych między słupem a stopą*”.

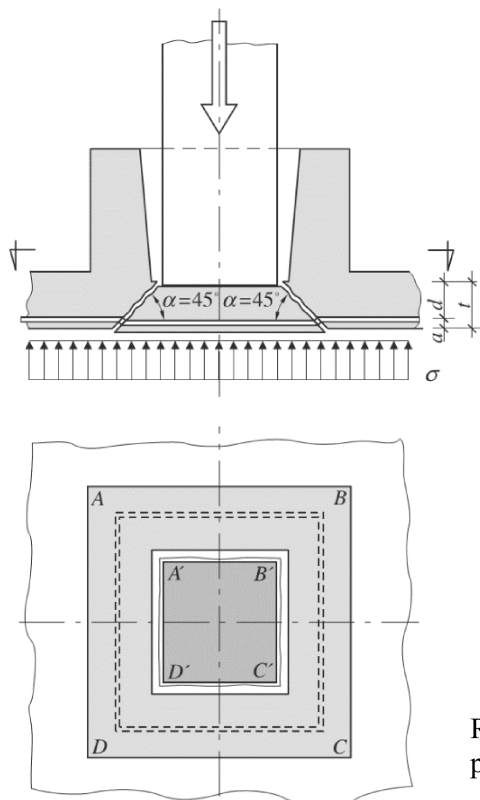
W innych przypadkach norma EC2 zaleca obliczanie na przebiecie jak dla stóp z kielichami o powierzchniach gładkich (rys. 104b₁, b₂).

Ale także w przypadku połączeń z dyblowanymi płaszczyznami może zachodzić niebezpieczeństwo przebiecia połączenia w fazie montażowej w sytuacji jak na rysunku 104b₂.

Jak wykazały badania doświadczalne, zwykle nie ma potrzeby obliczania dna kielicha na przebiecie w fazie eksploatacji. Dotyczy to jednak fundamentów prawidłowo zaprojektowanych, a przede wszystkim prawidłowo wykonanych. W wielu jednak przypadkach doszło do zniszczenia połączenia i przebiecia dna kielicha [64]. Związane to było z niską jakością wykonawstwa, a głównie z istotnym zaniżeniem klasy betonu wypełniającego szczelinę między słupem a kielichem (m.in. ze względu na przemrożenie betonu). Dlatego niektórzy autorzy zalecają sprawdzanie dna kielicha na przebiecie także w przypadku połączenia z dyblowanymi płaszczyznami styku.



Rys. 104. Założenia do wyznaczania przebicia w kielichowych stopach fundamentowych według EC2: a) połączenia o powierzchniach dyblowych, b) połączenia o powierzchniach traktowanych jako gładkie.



Rys. 105. Schemat zniszczenia dna kielicha przez przebicie pod obciążeniem montażowym.

W kielichach o cienkim dnie, wymagano [PN02] sprawdzenia dna kielicha na przebicie w czasie montażu. Do tego sprawdzenia przyjmowano schemat zniszczenia jak na rysunku 105 oraz przekrój kontrolny w połowie rzutu rysy.

Sprawdzenia nośności dokonywano za pomocą wzoru:

$$F_{V,Ed}^* \leq f_{ctd} u_m d, \quad (127)$$

w którym:

$$F_{V,Ed}^* = F_{V,Ed} - \sigma A, \quad (128)$$

- A – pole powierzchni wyodrębnionej płaszczyznami przebicia (pole $ABCD$ na rysunku 105),
- σ – obliczeniowy jednostkowy odpór gruntu,
- u_m – średnia arytmetyczna obwodu powierzchni obciążenia ($A'B'C'D'$) i obwodu powierzchni wyciętej płaszczyznami przebicia w poziomie zbrojenia.

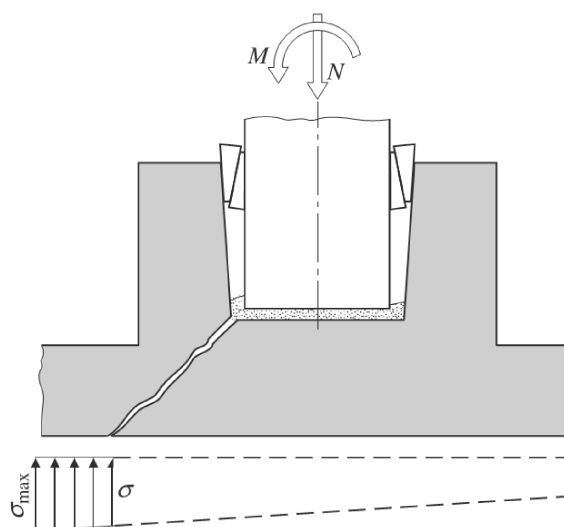
W przypadku mimośrodowego obciążenia słupa w trakcie montażu (rys. 106) sprawdza się przebicie dna kielicha ze wzoru:

$$\sigma_{\max} A_k \leq N_{Rd} = f_{ctd} b_{DG} d, \quad (129)$$

gdzie: σ_{\max} – największy krawędziowy obliczeniowy odpór jednostkowy podłoża (rys. 106),

A_k – pole powierzchni wielokąta $ABCHIJ$ (rys. 94),

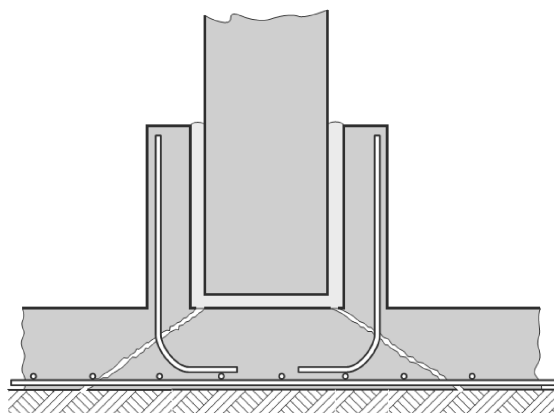
b_{DG} – średnia arytmetyczna odcinków b_{EF} i b_{CH} (rys. 94) przy przyjęciu, że d jest średnią efektywną wysokością dna kielicha.



Rys. 106. Schemat do sprawdzania dna kielicha na mimośrodowe przebicie w fazie montażu.

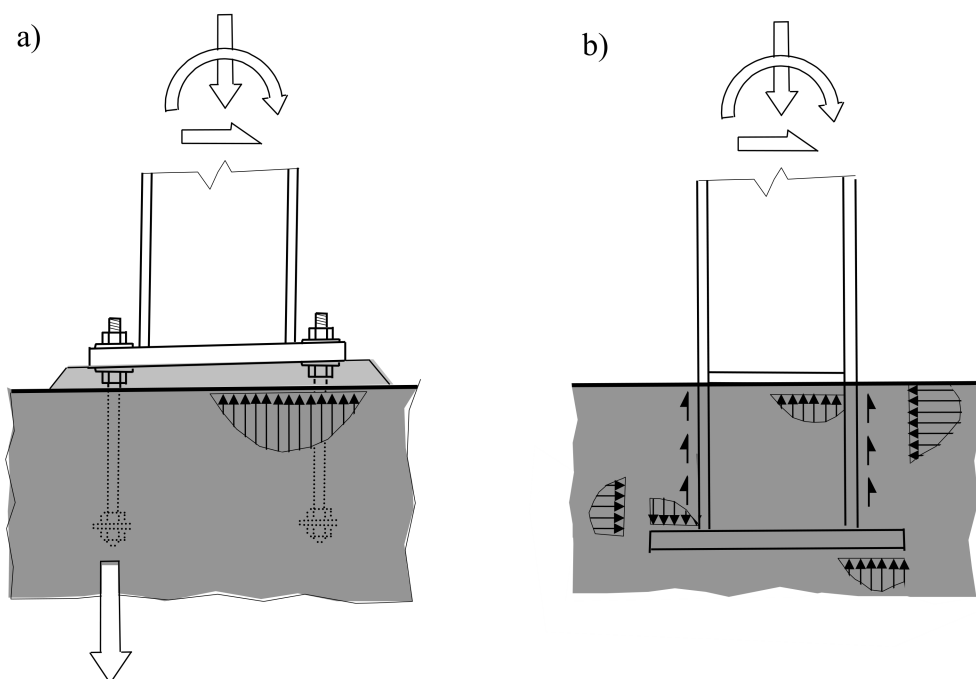
Wyrażenie (129) określa siłę przebijającą ze znacznym zapasem. W razie trudności spełnienia tego warunku, a zwłaszcza przy znacznych wartościach mimośrodków, wyrażenie (129) można zastąpić dokładniejszym, w którym siłę przebijającą określa się, całkując naprężenia na rozpatrywanej powierzchni wielokąta $ABCHIJ$ (rys. 94).

Jeżeli wytrzymałość samego betonu okaże się niewystarczająca do przeniesienia siły przebijającej, to można uwzględnić zbrojenie przecinające rysę niszczącą (za [M6]), oczywiście pod warunkiem jego prawidłowego zakotwienia poza hipotetyczną rysą (rys. 107).



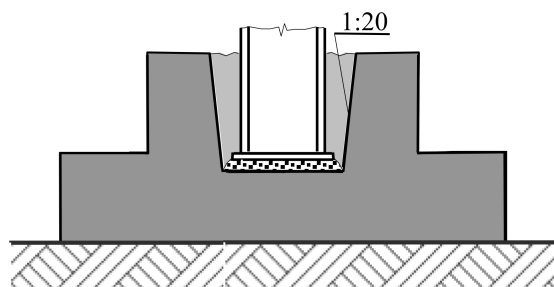
Rys. 107. Uwzględnienie zbrojenia na przebicie w płycie fundamentu stopowego.

Obok połączenia słupów żelbetowych z fundamentem mamy jeszcze połączenia z fundamentem słupów stalowych. Najczęściej są to połączenia śrubowe. Warunki pracy takich połączeń przedstawiono na rysunku (rys. 108a), zaś metodologię obliczania podano w p. 22.2.3.6 (tom 5 Konstrukcji żelbetowych). Spotyka się też sytuacje zabetonowania końcówki słupa w fundamencie. Dla tego rozwiązania warunki pracy połączenia przedstawia rysunek 108b.



Rys. 108. Połączenia słupów stalowych z fundamentem (opis w tekście).

Wyniki badania sztywności takich połączeń i propozycje obliczania tej sztywności zawarto m.in. w [79].



Rys. 109. Osadzenie stalowego słupa w kielichu fundamentu.

Stosowano też osadzenia stalowego słupa w kielichu fundamentu jak to pokazano na rysunku 109. Obliczenie takiego połączenia jak i kielicha w fundamencie nie różni się zasadniczo od podobnego dla słupów żelbetowych. Jediną różnicą jest konieczność pominięcia w obliczeniach możliwości wystąpienia sił stycznych na pionowych krawędziach słupa.

3.1.5. Współpraca fundamentów stopowych z podłożem i konstrukcją

3.1.5.1. Wymagania

Jak dotąd, rozpatrywaliśmy fundament w oderwaniu od spoczywającego na nim ustroju. Jest to słuszne jedynie wtedy, gdy na fundamencie stopowym opiera się ustrój statycznie wyznaczalny. W innym przypadku założenie to pociąga za sobą określony błąd wyznaczenia sił i momentów zarówno w fundamencie, jak i w związanej z nim konstrukcji. Dla wielu sytuacji można bardzo małym nakładem pracy uwzględnić wzajemny wpływ fundamentu i konstrukcji.

Ogólnie zarówno norma EC2, jak i [N11] wymagają, aby w trakcie projektowania rozpatrzyć współdziałanie podłoża, fundamentu i konstrukcji ponad fundamentem, gdyż zarówno rozkład nacisku podłoża na fundamenty, jak i siły w słupach (ścianach) zależą od względnych osiadań. Zagadnienie omówione ogólnie wcześniej w podrozdziale 2, na podstawie [N11], tutaj zostanie podsumowane w świetle ujęcia przedstawionego w EC2 (załącznik G).

Obliczeniowo problem współdziałania polega na uwzględnieniu zgodności przemieszczeń podłoża gruntowego i konstrukcji. To lapidarne stwierdzenie nie oddaje stopnia złożoności zagadnienia, w którym pozostaje zawsze do rozstrzygnięcia szereg niepewności będących między innymi skutkiem sekwencji obciążeń i pełzania, w odniesieniu zarówno do konstrukcji, jak i podłoża. Ponieważ jednak nie w każdej sytuacji konieczna jest jednakowa wnikliwość analizy, w normie EC2 zdefiniowano kilka jej poziomów.

- W przypadku, gdy konstrukcja znajdująca się ponad fundamentami może być uznana za wiotką, wtedy – ponieważ konstrukcja nie ma sztywności – przekazywane przez nią obciążenia nie zależą od wartości względnych osiadań. W tym przypadku oddziaływania przekazywane na fundament są znane.

Cały problem sprowadza się do obliczenia fundamentu na odkształcalnym podłożu.

- W sytuacji, gdy konstrukcja ponad fundamentami została uznana za sztywną, obciążenia fundamentów można otrzymać na podstawie warunku, że osiadający fundament pozostaje płaski. Wymaga się jednak sprawdzenia, że taka sztywność konstrukcji utrzymuje się aż do osiągnięcia stanu granicznego nośności.
- Dopuszcza się dalsze uproszczenie schematu obliczeniowego, gdy można przyjąć, że system fundamentów jest sztywny lub, gdy podłoże nośne jest bardzo sztywne. W obu tych przypadkach jako dopuszczalne uproszczenie można pominąć wpływ względnych osiadań.