

dr inż. Adam Piekarczyk<sup>1)</sup>

# Uprozczone metody ustalania obciążeń nadproży w ścianach murowanych

*Simplified methods of determination of loads acting on lintels in masonry walls*

DOI: 10.15199/33.2015.04.08

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono uproszczony sposób ustalania obciążenia belek nadprożowych, które nie współpracują z murem ponad nimi. Określono zakładany obszar ściany murowanej, z którego ciężar własny przekazywany jest bezpośrednio na nadproże. Opisano sposoby uwzględniania obciążenia liniowego i skupionego oraz otworów występujących w ścianach ponad nadprożem.

**Słowa kluczowe:** konstrukcje murowe, obciążenia nadproży.

**Abstract.** This paper presents a simplified method of determination of the loads carried by the lintel beams that do not interact with the wall above them. Assumed masonry wall area from which self weight of masonry is transferred directly to the lintel is determined. The paper describes how to consider linear and concentrated loads and take into account the presence of openings in the wall above the lintel.

**Keywords:** masonry structures, loads acting on lintels.

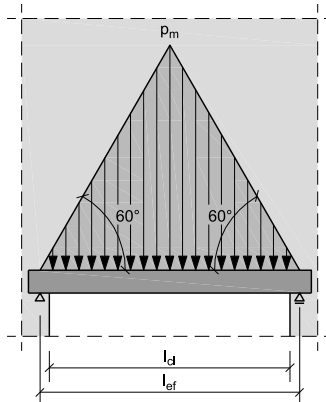
Przy wymiarowaniu belek nadprożowych, zwykle niewielkiej rozpiętości, w najprostszym podejściu nie uwzględnia się współpracy nadproża ze znajdującym się ponad nim murem. Belki nadprożowe projektuje się jako elementy żelbetowe, stalowe, rzadziej drewniane lub zespolone składające się najczęściej z części żelbetowej, prefabrykowanej przenoszącej wyłącznie siły rozciągające oraz części murowanej, która odpowiada za przenoszenie sił ściskających.

Określając obciążenie przypadające na belki nadprożowe niewspółpracujące z murem, wykorzystuje się efekt przesklepienia występującego w murze ponad otworem. W uproszczeniu oznacza to, że obciążenie występujące na pewnej wysokości ponad górną powierzchnią nadproża przekazywane jest na ściany po obu stronach otworu bez pośrednictwa belki nadprożowej. Oddziaływania występujące na obszarze ściany bezpośrednio ponad nadprożem stanowią jego obciążenie, na podstawie którego oblicza się siły wewnętrzne i wymiaruje przekrój belki. W efekcie końcowym obciążenie nadproża przekazywane jest również na ścianę po obu stronach otworu, lecz w tym wypadku w postaci reakcji z nadproża.

W monografii [1] oraz normie niemieckiej DIN 1053-1 [2] proponuje się, aby jako obciążenie nadproża, poza jego ciężarem własnym, traktować ciężar własny muru wraz z wyprawą, który znajduje się ponad górną powierzchnią belki nadprożowej w obszarze o kształcie trójkąta równobocznego o ramionach wyprowadzonych z punktów teoretycznego podparcia pod kątem 60° w stosunku do poziomu (rysunek 1).

Zakładając, że ciężar własny 1 m<sup>2</sup> muru wynosi  $g_m$  oraz rozpiętość belki między teoretycznymi punktami podparcia  $l_{ep}$  to maksymalną rzędną trójkątnego wykresu obciążenia przekazywanego na nadproże  $p_m$  można obliczyć ze wzoru

$$p_m = 0,866g_m l_{ef} \quad (1)$$



Rys. 1. Schemat obciążenia nadproża ciężarem własnym muru

Fig. 1. Diagram of masonry self weight action transferring to the lintel

Jeżeli przez  $g_{lm}$  oznaczymy ciężar własny nadproża [kN/m], wówczas maksymalną wartość siły poprzecznej można obliczyć z zależności

$$V_{Ed} = 0,5g_{lin} l_{ef} + 0,217g_m l_{ef}^2 \quad (2)$$

natomiast maksymalny moment zginający w środku rozpiętości nadproża ze wzoru

$$M_{Ed} = 0,125g_{lin} l_{ef}^2 + 0,0722g_m l_{ef}^3 \quad (3)$$

Strzałkę ugięcia belki nadprożowej można wyznaczyć z zależności

$$f = \frac{5g_{lin} l_{ef}^4}{384E_c I} + \frac{g_m l_{ef}^5}{34E_c I} \quad (4)$$

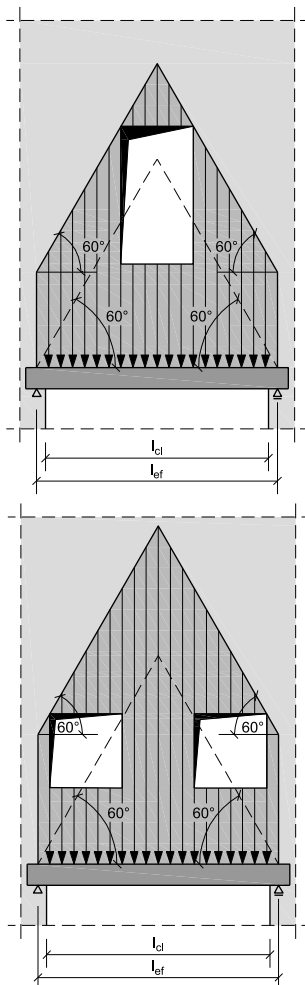
gdzie:

$E_c I$  – sztywność belki, która w przypadku nadproży żelbetowych powinna być obliczana z uwzględnieniem zbrojenia podłużnego, wpływu peizania betonu oraz, jeżeli to konieczne, zarysowania.

Sprawdzając stan graniczny użytkowania z uwagi na ugięcie nadproży żelbetowych, należy rozważyć graniczną wartość  $\alpha_{lim} = l_{ef}/500$ , tak jak proponuje się w przypadku belek żelbetowych wymiarowanych zgodnie z PN-EN 1996-1-1 [1] w celu ograniczenia możliwości uszkodzenia przylegających do siebie elementów. Nadmierne ugięcie belki nadprożowej na skutek opóźnionych odkształceń betonu i obciążeń zmiennych przekazywanych ze stropów może być przyczyną uszkodzenia nie tylko opartej na niej muru, lecz również uszkodzenia lub zdeformowania ościeżnic wbudowanych w otwory i związanego z tym utrudnienia prawidłowego zamykania oraz otwierania okien oraz drzwi.

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa; e-mail: adam.piekarczyk@polsl.pl

W przypadku, gdy ramiona kąta równobocznego wyprowadzone pod kątem  $60^\circ$  z teoretycznych punktów podparcia przecinają krawędzie otworu w ścianie, wówczas ramiona trójkąta należy podnieść przy zachowaniu kąta  $60^\circ$ , tak powiększając pole, z jakiego obciążenie przekazywane jest na belkę nadprożową, aby krawędzie tego obszaru nie przecinały otworu (rysunek 2).



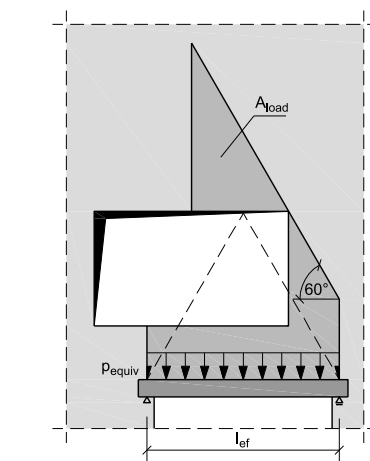
**Rys. 2.** Określanie obszaru, z którego obciążenie przekazywane jest na belkę nadprożową w przypadku, gdy w ścianie nad nadprożem znajdują się otwory

*Fig. 2. Determination of the area from which the load is transferred to the lintel in the case when the wall above the lintel has openings*

W przypadku, gdy obszar ściany ponad nadprożem, z którego obciążenie jest przekazywane na belkę, jest nieregularny (rysunek 3), wtedy można wyznaczyć równomiernie rozłożone obciążenie zastępcze ze wzoru

$$p_{equiv} = g_m \frac{A_{load}}{l_{ef}} \quad (5)$$

gdzie:



**Rys. 3.** Obciążenie zastępcze  $p_{equiv}$ , gdy obszar  $A_{load}$ , z którego ciężar ściany przekazywany jest na nadproże, ma nieregularny kształt

*Fig. 3. Equivalent load  $p_{equiv}$  when the area  $A_{load}$  from which the weight of the wall is carried by the lintel, has an irregular shape*

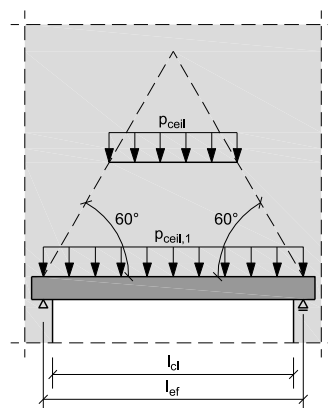
$A_{load}$  – przyjęte pole powierzchni, z którego obciążenie ciężarem własnym ściany przekazywane jest na nadproże.

W sytuacji, gdy w budynku występują stropy płytowe lub żebrowe o rozstawie belek nie większym niż 1,25 m, które opierają się bezpośrednio na nadprożu, obciążenie stałe i zmienne przekazywane na nadproże przyjmuje się w postaci obciążenia równomiernie rozłożonego o odpowiedniej wartości przyłożonego bezpośrednio do górnej krawędzi belki nadprożowej. Jeżeli rozstaw belek stropowych jest większy niż 1,25 m, to nadproże należy obciążyć reakcjami z tych belek w postaci sił skupionych. W przypadku, gdy obciążenie  $p_{ceiling}$  ze stropów płytowych lub żebrowych o rozstawie belek stropowych mniejszym niż 1,25 m nie oddziałuje bezpośrednio na nadproże, lecz reakcje ze stropu występują w obszarze wyznaczonym przez trójkąt równoboczny określający strefę, z której obciążenia przekazywane są na nadproże (rysunek 4), wówczas można je zamienić na przyłożone do belki nadprożowej na całej jej długości obciążenie zastępcze równomiernie rozłożone o wartości

$$p_{ceiling,1} = p_{ceiling} \frac{l_1}{l_{ef}} \quad (6)$$

gdzie:

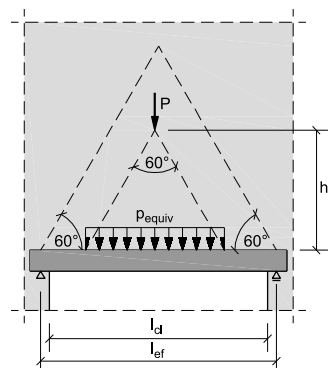
$l_1$  – długość odcinka, na którym występuje obciążenie ze stropu pomiędzy ramionami trójkąta równobocznego, wyprowadzonymi z teoretycznych punktów podparcia nadproża pod kątem  $60^\circ$ .



**Rys. 4.** Obciążenie zastępcze nadproża oddziaływaniem przekazywanym na ścianę ze stropów

*Fig. 4. Equivalent load of lintel transferred from the ceiling to the masonry wall*

W przypadku, gdy w trójkątnej strefie obciążenia nadproża występują siły skupione, które np. mogą być reakcjami z belek stropowych o rozstawie większym niż 1,25 m, wówczas siłę skupioną zamienia się na zastępcze obciążenie rozłożone  $p_{equiv}$  oddziałujące na nadproże na odcinku długości  $c$ . Długość tego odcinka wyznacza się przyjmując, że siła skupiona  $P$  znajduje się na wysokości  $h_p$  ponad górną powierzchnią nadproża oraz że obciążenie skupione przekazuje się na ścianę na szerokości ograniczonej przez ramiona trójkąta, którego wierzchołek znajduje się w punkcie przyłożenia siły  $P$  i o kącie wewnętrznym przy wierzchołku równym  $60^\circ$  (rysunek 5).



**Rys. 5.** Zastępcze obciążenie belki nadprożowej wywołane siłą skupioną

*Fig. 5. Equivalent load of lintel due to a concentrated load*

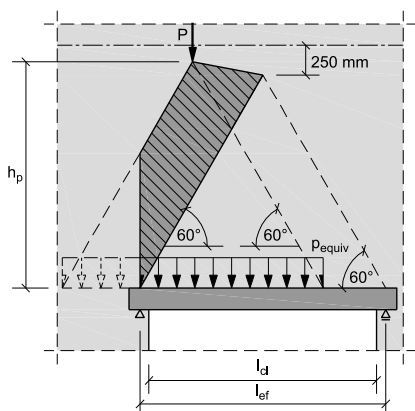
Długość odcinka  $c$  można wyliczyć ze wzoru

$$c = 1,155h_p \quad (7)$$

natomiast wartość obciążenia zastępczego:

$$p_{equiv} = \frac{P}{c} \quad (8)$$

Z przepisów normy DIN 1053-1 [2] wynika, że obciążenie nadproża wywołane siłą skupioną  $P$  należy uwzględnić również wtedy, gdy siła znajduje się ponad światłem otworu na wysokości nieprzekraczającej wysokości trójkąta równobocznego powiększonej o 250 mm, licząc od górnej powierzchni belki nadprożowej. W takiej sytuacji w normie [2] zaleca się, aby oprócz ciężaru własnego muru znajdującego się w strefie trójkątnej, wyznaczonej w sposób opisany wcześniej oraz wpływu siły skupionej  $P$ , uwzględnić również ciężar własny muru położonego w strefie zakreślanej na rysunku 6.

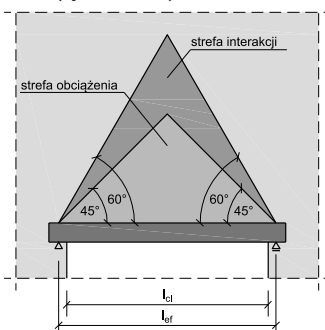


Rys. 6. Wpływ obciążenia skupionego położonego poza obszarem ograniczonym przez trójkąt równoboczny wg normy DIN 1053-1 [2]

Fig. 6. The effect of concentrated load located outside the area of equilateral triangle according to DIN 1053-1 [2] standard

W normie brytyjskiej BS 5977-1 [4] podano ustalenia dotyczące sposobu ustalania obciążeń nadproży w ścianach murowanych ponad otworami o szerokości do 4,5 m w budynkach jednokondygnacyjnych i do 3,6 m w budynkach mieszkalnych dwu- i trzykondygnacyjnych. Metodę opisaną w przepisach brytyjskich można stosować, jeżeli szerokość muru po obydwu stronach otworu jest nie mniejsza niż 60 cm i  $0,2l_{op}$ , a wysokość ściany ponad nadprożem wynosi co najmniej  $0,6l_{cl}$  w środku rozpiętości nadproża oraz 60 cm nad podporami. Zgodnie z BS 5977-1 ponad belką nadprożową należy wydzielić dwie strefy. Pierwsza z nich to tzw. strefa obciążenia, określona przez trójkąt równoramienny o ramionach wyprowadzonych z teoretycz-

nych punktów podparcia nadproża pod kątem 45° do poziomu, natomiast druga to strefa interakcji, czyli obszar występujący ponad strefą obciążenia, który ograniczony jest przez ramiona trójkąta równobocznego wyprowadzone z punktów podparcia pod kątem 60° (rysunek 7).



Rys. 7. Strefa obciążenia i interakcji ponad belką nadprożową wg wytycznych normy BS 5977-1 [4]

Fig. 7. The load and interaction zones above the lintel according to the guidelines of BS 5977-1 [4] standard

W normie BS 5977-1 [4] przyjmuje się następujące założenia dotyczące ustalania obciążenia nadproży:

- uwzględnia się ciężar własny muru wraz z wyprawą tylko z obszaru zawartego w strefie obciążenia ponad nadprożem, chyba że w strefie interakcji występuje otwór, który nie przecina tej strefy w całości (rysunek 8f);
- obciążenia skupione i liniowe występujące w strefie obciążenia przekazywane są na nadproże przy założeniu, że kąt rozkładu obciążenia wynosi 45° w stosunku do poziomu;
- jedynie połowa obciążenia skupionego i liniowego, występujących w strefie interakcji, przekazywana jest na nadproże przy kącie rozkładu obciążenia równym 45°.

W sytuacji, gdy ponad nadprożem w strefach obciążenia i interakcji nie występują otwory oraz spełnione są podane założenia, wówczas przy zestawianiu obciążeń na nadproże nie ma potrzeby uwzględniania jakiegokolwiek obciążenia występującego poza strefą interakcji. Nie trzeba uwzględniać obecności otworów w ścianie ponad nadprożem, gdy leżą one poza strefą interakcji lub strefę tę całkowicie przecinają (rysunek 9).

Na rysunku 8 pokazano sposoby ustalania obciążeń nadproża w przypadku ogólnym, gdy nad nadprożem

w strefach obciążenia i interakcji znajduje się strop, obydwie strefy przecina dylatacja pionowa ściany oraz w strefie interakcji znajduje się otwór okienny. Ciężar własny muru wraz z wyprawą przekazywany jest jedynie z obszaru zawartego w strefie obciążenia (rysunek 8b). Liniowe obciążenie ze stropu przekazywane jest na nadproże w strefie obciążenia (rysunek 8c) oraz w strefie interakcji (rysunek 8d), przy czym w drugim przypadku bierze się pod uwagę jedynie połowę obciążenia  $p_{ceil}$  i rozkłada na nadproże wzdłuż odcinka ograniczonego liniami wyprowadzonymi pod kątem 45° z punktu początkowego i końcowego występowania reakcji ze stropu w strefie interakcji. Obciążenie skupione  $P$  rozkłada się podobnie wzdłuż odcinka ograniczonego ramionami trójkąta równoramiennego o wierzchołku w miejscu przyłożenia siły skupionej nachylonymi pod kątem 45° (rysunek 8e). Uwzględniać należy całość obciążenia wywołanego siłą skupioną położoną w strefie obciążenia oraz połowę tego oddziaływania, gdy siła  $P$  znajduje się w strefie interakcji. W przypadku, gdy w strefie interakcji występuje otwór, który nie przecina w całości tej strefy tak, jak pokazano na rysunku 9b, wówczas należy uwzględnić obciążenie nadproża połową oddziaływania  $p_{opn}$ , które występuje wzdłuż poziomego odcinka zawartego w strefie interakcji na wysokości dolnej krawędzi otworu (rysunek 8f).

Minimalna długość oparcia nadproża żelbetowego na murze zgodnie z normą PN-EN 845-2 [5] nie powinna być mniejsza niż minimalna długość zakotwienia prętów zbrojenia głównego, czyli 100 mm. Długość oparcia nadproża może być zredukowana do 50 mm, gdy zbrojenie lub zbrojenie sprężające zakotwione jest na długości nie mniejszej niż 200 mm w betonie układanym na budowie. W przypadku podparcia nadproża na ścianach szczelinowych oparcie belki powinno sięgać minimum 50 mm poza zakończenie wewnętrznej szczeliny, czyli poza krawędź wewnętrzną warstwy muru zamykającej ścianę przy otworze.

Teoretyczny punkt podparcia jednoprzęsłowej swobodnie podpartej belki nadprożowej, wg informacji podanych w pracy [1], należy przyjmować w odległości 2,5% rozpiętości nadproża w świetle otworu  $l_{cl}$  od krawędzi podpory.

Efektywna rozpiętość nadproża wynosi zatem

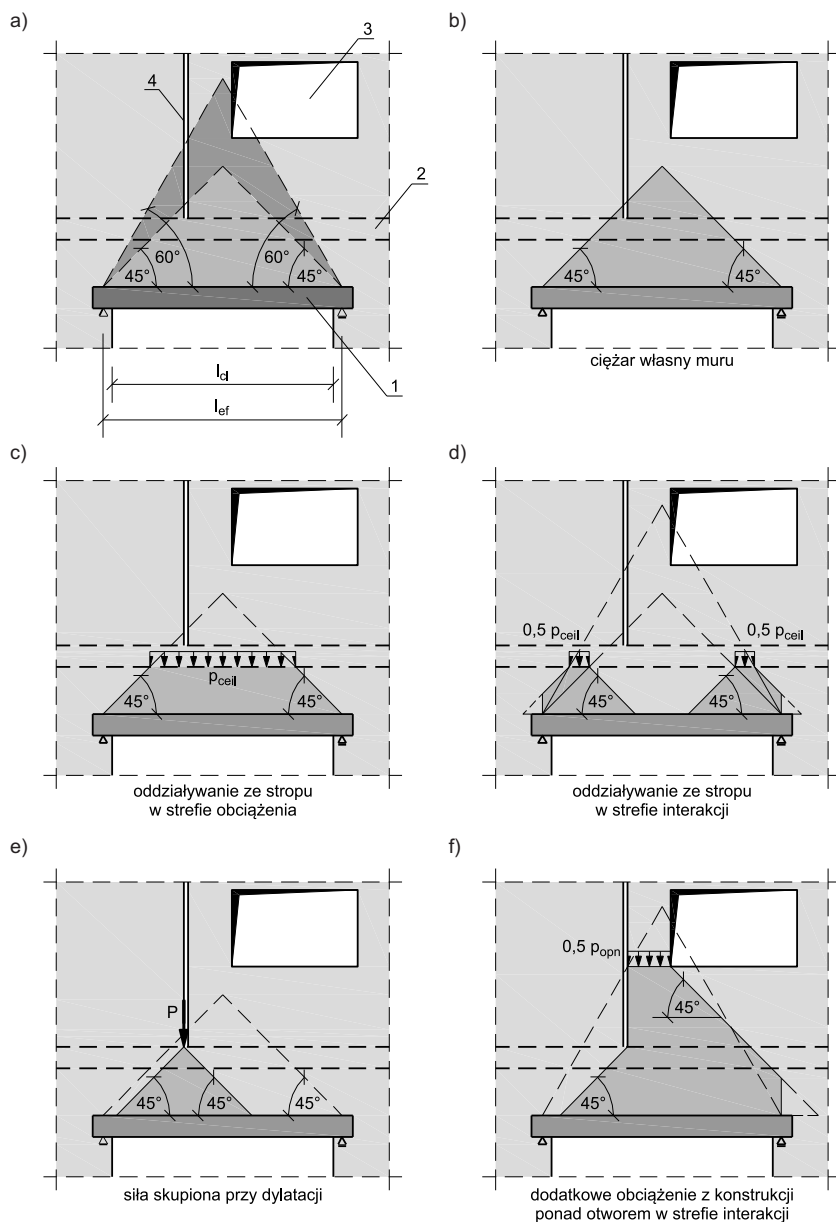
$$l_{ef} = 1,05 l_{cl} \quad (9)$$

Norma brytyjska BS 5977-1 [4] zaleca, aby rozpiętość efektywną wyznaczać jako rozpiętość w świetle powiększoną o 10%. W jednym z katalo-

gów technicznych producenta nadproży zespolonych [6] proponuje się określanie rozpiętości efektywnej ze wzoru

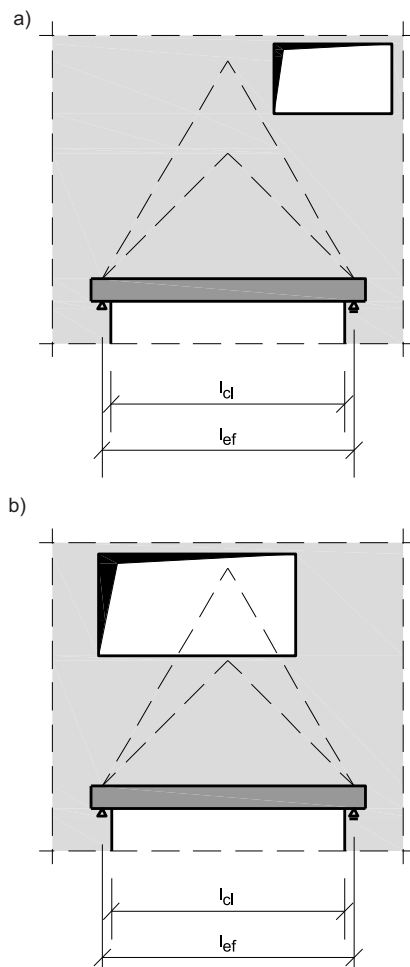
$$l_{ef} = l_{cl} + \frac{2}{3} l_a \quad (10)$$

gdzie:  $l_a$  jest długością oparcia nadproża na ścianie.



**Rys. 8. Przypadek ogólny (a) oraz obciążenia przekazywane na belkę nadprożową zgodnie z normą BS 5977-1 [4]: b) ciężarem własnym ściany murowanej; c) reakcją ze stropu na odcinku mieszczącym się w strefie obciążenia; d) reakcją ze stropu zawartą w strefie interakcji; e) siłą skupioną; f) dodatkowym oddziaływaniem związanym z występowaniem otworu w strefie interakcji; 1 – nadproże; 2 – strop; 3 – otwór okienny; 4 – dylatacja**

Fig. 8. Loads carried by the lintel according to the BS 5977-1 [4] standard: a) the general case; b) self weight of masonry; c) the reaction from the ceiling on the section in the load zone; d) the reaction from the ceiling in the interaction zone; e) concentrated load; f) additional action related with the presence of opening in the interaction zone; 1 – lintel; 2 – ceiling; 3 – opening; 4 – movement joint



**Rys. 9. Położenie otworów, których obecności nie trzeba uwzględnić przy zestawianiu obciążeń na belkę nadprożową wg normy BS 5977-1 [4]: a) otwór poza strefą interakcji, b) otwór przecina w całości strefę interakcji**

Fig. 9. Position of the openings which presence do not need to take into account when determining actions on the lintel according to BS 5977-1 [4] standard: a) opening outside the interaction zone; b) opening intersects the whole interaction zone

**Literatura**

[1] Hoła J., Pietraszek P., Schabowicz K., Obliczanie konstrukcji budynków wznoszonych tradycyjnie, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006.  
 [2] DIN 1053-1 Mauerwerk. Berechnung und Ausführung.  
 [3] PN-EN 1996-1-1:2008/NA:2010P Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonem. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.  
 [4] BS 5977-1 Lintels. Method for assessment of load.  
 [5] PN-EN 845-2:2013-10E Specyfikacja wyrobów dodatkowych do murów. Część 2: Nadproża.  
 [6] Bemessungs-tabellen. Wärmedämmstürze Ziegel- und Normstürze. Wienerberger.

Otrzymano 08.03.2015 r.