

# ANALIZA NOŚNOŚCI WYBRANEGO PRZYKŁADU USZKODZONEGO STROPU TYPU KLEIN

## ANALYSIS OF LOAD CAPACITY FOR SOME EXAMPLE OF THE DAMAGED KLEIN CEILING

dr inż. Ryszard CHMIELEWSKI (ryszard.chmielewski@wat.edu.pl)

dr inż. Leopold KRUSZKA

Wojskowa Akademia Techniczna

Artykuł recenzowany

---

### Streszczenie

W artykule zaprezentowana została metodyka oceny aktualnej nośności wybranego stropu typu Klein. Tego typu konstrukcje były powszechnie stosowane od początku XX wieku, obecnie są bardzo rzadko stosowane, jakkolwiek w wielu obiektach budowanych nadal są eksploatowane. Czas i warunki eksploatacji mają zasadniczy wpływ na aktualną nośność stropów Klein'a, w szczególności dotyczy to różnego rodzaju przebudów układów warstw stropowych czy też adaptacji pomieszczeń nad nimi [6÷10].

**Słowa kluczowe:** strop Klein'a, nośność stropu, uszkodzenia korozyjne

---

### Summary

An assessment methodology of the current load capacity for a selected example of Klein ceiling was presented in this paper. Such structures have been widely constructed in buildings since the beginning of the twentieth century, and now Klein ceilings are very rarely used, though they are still in many places of existing objects. Long maintenance time and operating conditions have a major effect on the current load carrying capacity of Klein ceilings, in particular it applies to all kinds of ceiling rebuilding or adapting processes for rooms over those ceilings [6 ÷ 10].

**Key words:** Klein ceiling, loading capacity of ceiling, corrosion damages

---

## 1. Wprowadzenie

Stropy międzykondygnacyjne typu Klein'a są to konstrukcje w postaci stalowych belek nośnych i opartych na nich murowanych bądź prefabrykowanych wypełnieniach. W przypadku obiektów budowlanych wybudowanych przed lub krótko po drugiej wojnie światowej wypełnienie stanowi płyta ceglana zbrojona, co 2-3 rzędy cegieł bednarką stalową, czasami stosowane były stalowe pręty o przekroju kołowym [2]. W tradycyjnym układzie całość obciążeń użytkowych (zmiennych) przekazywana była bezpośrednio na nośne belki stalowe; – zazwyczaj realizowane było to w postaci legarów drewnianych i przybitych do nich desek podłogowych ułożonych na tych belkach.

Belki stalowe opierały się z kolei na murowanych ścianach nośnych, z tym że minimalna głębokość oparcia tych belek powinna wynosić połowę ich wysokości plus 15 cm. Ze względu, że przedmiotowe stropy nie były kotwione w wieńcach, (było to w czasach kiedy wieńców nie stosowano), ich nośność należy wyznaczać przyjmując układ statyczny w postaci belki swobodnie podpartej. W artykule przedstawiono metodykę określania nośności istniejącego

uszkodzonego stropu Klein'a, znajdującego się w użytkowanym wielorodzinnym budynku mieszkalnym wybudowanym na warszawskim Mokotowie przed drugą wojną światową. W trakcie działań wojennych budynek ten nie został zniszczony.

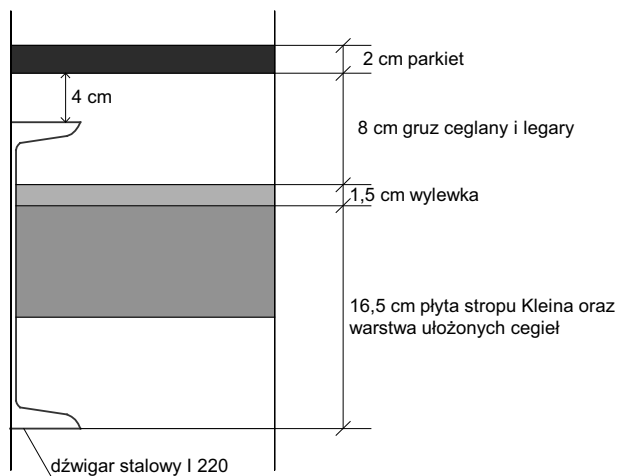
## 2. Stan techniczny konstrukcji nośnej stropu Klein'a nad pomieszczeniami piwnic

Celem, przeprowadzonej przez Autorów niniejszego artykułu oceny stanu technicznego wielorodzinnego budynku mieszkalnego, było między innymi sprawdzenie bezpieczeństwa konstrukcji nośnej stropów międzykondygnacyjnych, w tym Klein'a i bezpieczeństwa użytkowania tego obiektu budowlanego z uwzględnieniem występujących uszkodzeń, które zostały ujęte w ostatniej obowiązkowej ustawowej kontroli 5-cio letniej tego budynku [1,3]. Ocena techniczna obejmowała również strop nad piwnicą, w szczególności jego fragment pod łazienką w lokalu mieszkalnym na parterze.

Pierwszą z czynności eksperckich było wykonanie inwentaryzacji konstrukcyjno-materiałowej stropów Klein'a,

w tym nad piwnicą. Na podstawie pomiarów „in situ” stwierdzono, że jest to strop oparty na dwuteowych belkach stalowych IN 220. Maksymalny zmierzony rozstaw osiowy belek wynosi 1,50 m. Rozpiętość belek stropowych w świetle ścian wynosi 4,93 m. Belki oparte są na ścianach nośnych z cegieł pełnych. Na podstawie wykonanych miejscowych odkrywek ustalono następujący układ warstw stropu (w miejscu widocznych deformacji) – rys. 2.1.:

- płyta ceglana stropu Klein’a z cegły dziurawki o grubości 10 cm,
- warstwa luźno ułożonych cegieł (pełnej i dziurawki) o grubości 6,5 cm,
- wylewka betonowa o grubości 1,5 cm,
- warstwa gruzu ceglanego o grubości 8,0 cm,
- betonowa warstwa wyrównująca o grubości 1,0 cm,
- parkiet drewniany o grubości 2,0 cm.



Rysunek 2.1. Schemat układu warstw stropu Klein’a

Ze względu na znaczne uszkodzenia korozyjne stalowych belek nośnych przeprowadzono dokładne ich pomiary obejmujące zakres korozji – jako miarodajne przyjęto parametry przekroju najbardziej uszkodzonego przez korozję. Powierzchniowe uszkodzenia korozyjne obejmowały warstwę brzegową na całym przekroju poprzecznym wzdłuż całej długości belki. Całkowita, zmierzona wysokość dźwigara IN 220 z uwzględnieniem skorodowanej warstwy wynosiła 21,4 cm. Również powierzchnie boczne środnika dwuteownika uległy korozji w wyniku której nastąpił ubytek materiału po minimum 1 mm z każdej strony. Korozja przekroju stalowego dźwigara – belki świadczy o występującym ciągłym zawilgoceniu warstw stropu. Na podstawie przeprowadzonej szczegółowej analizy osłabionego korozją przekroju poprzecznego belki określono jego aktualne parametry geometryczno-wytrzymałościowe – rys. 2.2.

Powierzchnia przekroju poprzecznego:  $A = 27,72 \text{ cm}^2$   
 Obwód przekroju poprzecznego:  $s = 76,4 \text{ cm}$   
 Momenty bezwładności przekroju poprzecznego:  
 $I_x = 6,6 \text{ cm}^4$   
 $I_y = 2053,4 \text{ cm}^4$   
 $I_z = 94,10 \text{ cm}^4$

Promienie bezwładności przekroju poprzecznego:

$$i_y = 8,6 \text{ cm}$$

$$i_z = 1,8 \text{ cm}$$

Współczynniki sztywności na ścinanie przekroju poprzecznego:

$$A_y = 16,9 \text{ cm}^2$$

$$A_z = 12,9 \text{ cm}^2$$

Wskaźniki wytrzymałości na zginanie przekroju poprzecznego:

$$W_{ely} = 191,9 \text{ cm}^3$$

$$W_{elz} = 19,2 \text{ cm}^3$$

Wskaźniki wytrzymałości na ścinanie przekroju poprzecznego:

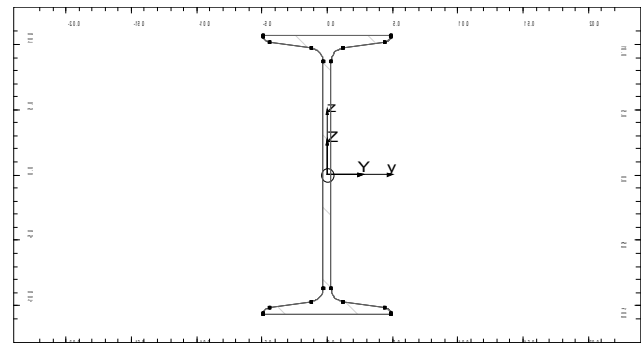
$$W_y = 13,02 \text{ cm}^2$$

$$W_z = 11,14 \text{ cm}^2$$

Plastyczne wskaźniki wytrzymałości przekroju poprzecznego:

$$W_{ply} = 221,12 \text{ cm}^3$$

$$W_{plz} = 34,01 \text{ cm}^3$$



Rysunek 2.2. Przyjęta do analizy geometria osłabionego korozją przekroju poprzecznego belki stropu Klein’a

Należy podkreślić, iż sztywność skorodowanej powierzchniowo istniejącej stalowej belki nośnej stropu Klein’a na zginanie zmniejszyła się do 67% wartości w chwili jej wbudowania, natomiast jej nośność na zginanie do 69% w odniesieniu do parametrów nieuszkodzonego przekroju poprzecznego tego dźwigara.

Kolejnym ocenianym elementem konstrukcyjnym stropu Klein’a była ceramiczna płyta stropowa. Stan techniczny tego elementu określono jako **zły** w pięciostopionwej skali ocen (bardzo dobry, dobry, dostateczny, zły, nadający się do rozbiórki) [4,5]. Biorąc pod uwagę przede wszystkim uszkodzenie korozyjne stalowych belek nośnych powodujące istotne osłabienie nośności tych elementów stropowych na zginanie, w chwili przeprowadzania oceny określono **bezpośrednie** zagrożenie **bezpieczeństwa konstrukcji nośnej** oraz **życia i zdrowia użytkowników** budynku mieszkalnego. Strop ten wymagał, więc zabezpieczenia **w trybie pilnym** poprzez jego podparcie za pomocą siatki podpór w rozstawie co  $\sim 1,2$  m na długości stalowych dźwigarów ponieważ stan techniczny tego fragmentu stropu Klein’a nad pomieszczeniami piwnic **groził bezpośrednim zawaleniem (katastrofą budowlaną)**. Stan techniczny przedmiotowego stropu przedstawiono na rys. 2.3.



Rysunek 2.3. a ÷ d) Widoczne uszkodzenia zbrojonej płyty ceglanej stropu Klein'a

Zalecono, aby do czasu wykonania remontu fragmentu stropu Klein'a grożącego katastrofą budowlaną wraz ze wzmocnieniem uszkodzonych elementów konstrukcyjnych stropu, pomieszczenia nad nim wyłączyć czasowo z użytkowania.

### 3. Obliczenia aktualnej nośności konstrukcji stropu Klein'a

Nieuszkodzony korozją dwuteownik normalny IN 220 charakteryzuje się następującymi parametrami geometryczno-wytrzymałościowymi:

- moment bezwładności przekroju poprzecznego  
 $I = 3060 \text{ cm}^4$ ,
  - wskaźnik wytrzymałości na zginanie przekroju poprzecznego  
 $W = 278 \text{ cm}^3$ ,
  - masa 1 mb  
 $31,1 \text{ kg/m}$ ,
  - długość belki w świetle ścian nośnych  $l = 4,93 \text{ m}$ ,
  - długość obliczeniowa stalowej belki  $l_0 = 1,05l = 5,18 \text{ m}$ .
- Parametry wytrzymałościowe stali konstrukcyjnej:
- wytrzymałość obliczeniowa (przyjęto najniższą wartość wytrzymałości dla stali konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie, zgodnie z tablicami inżynierskimi z 1958 r.)  
 $f_{yd} = 190 \text{ MPa}$ ,
  - współczynnik sprężystości  
 $E = 206 \text{ GPa}$ .

Wyznaczenie nośności obliczeniowej nieuszkodzonej belki stropowej:

$$M_R = \alpha_p W f_d$$

gdzie:

$\alpha_p$  – obliczeniowy współczynnik rezerwy plastycznej, dla dwuteowników IN przyjęto wartość 1,07,

$W$  – wskaźnik wytrzymałości przekroju poprzecznego belki.

$$M_R = 1,07 \cdot 0,85 \cdot 278 \text{ cm}^3 \cdot 190 \text{ MPa}$$

$$M_R = 48,04 \text{ kNm}$$

Natomiast nośność uszkodzonej korozyjnie stalowej belki stropowej pod pomieszczeniem piwnicy wynosi:

$$M_R = 1,07 \cdot 191,9 \text{ cm}^3 \cdot 190 \text{ MPa}$$

$$M_R = 39,01 \text{ kNm}$$

Obciążenia od warstw stropu zestawiono w tablicy poniżej:

Warstwy stropu	grubość [cm]	szerokość [cm]	gęstość objętościowa [kN/m <sup>3</sup> ]	obciążenie charakterystyczne [kN/m]	współczynnik obciążenia	obciążenie obliczeniowe [kN/m]
mur ceglany	16,5	150	18	4,46	1,3	5,79
wylewka	1,5	150	20	0,45	1,3	0,585
gruz ceglany	8,0	150	12	1,44	1,3	1,87
wylewka	1,0	150	20	0,3	1,3	0,39
parkiet	2,0	150	8,5	0,26	1,3	0,33
belka	-	-	-	0,31	1,1	0,34
SUMA OBCIĄŻEŃ				7,21	-	9,31

Ze względu na uszkodzenia korozyjne belek stalowych oraz ceglanych murów sprawdzając obliczenia statyczno-wytrzymałościowe przeprowadzono dla belek stropowych traktowanych jako wolnopodparte i stąd moment zginający od ciężaru własnego warstw stropu wynosi:

$$M_{cv} = \frac{9,31 \frac{kN}{m} \cdot (5,18m)^2}{8} = 31,23kNm$$

Zapas nośności nieuszkodzonej korozyjnie stalowej belki w pomieszczeniu z podłogą drewnianą wynosi 7,78 kNm – stąd dopuszczalna wartość obciążenia charakterystycznego na ten dźwigar wynosi:

$$q_{dop} = \frac{8 \cdot 7,78kNm}{(5,18m)^2} = 2,32 \frac{kN}{m}$$

Obciążenie to przypada na 1,5 m (pasma belki) stąd maksymalne obliczeniowe obciążenie na przedmiotowym stropie wynosi:

$$q_u^r = \frac{2,32 \frac{kN}{m}}{1,5m} = 1,55 \frac{kN}{m^2}$$

Uwzględniając współczynnik obliczeniowy obciążenia 1,4 – dopuszczalna wartość charakterystyczna obciążenia

wynosi:  $1,11 \frac{kN}{m^2}$ .

Maksymalna wartość ugięcia nieuszkodzonego korozyjnie stropu Klein'a wyznaczono od charakterystycznego obciążenia ciężarem własnym stropu:

$$a_{max} = \frac{5q^r l^4}{384EI}$$

gdzie:

$q^r$  – wartość charakterystyczna obciążenia i stąd maksymalna wartość ugięcia belki tylko od ciężaru własnego wynosi:

$$a_{max} = \frac{5 \cdot 7,21kN/m \cdot (5,18m)^4}{384 \cdot 206GPa \cdot 2053,4cm^4}$$

$$a_{max} = 1,60cm.$$

Analogicznie wyznaczono strzałkę ugięcia belki od charakterystycznego obciążenia użytkowego dla lokali miesz-

kalnych i uzyskano jej wartość równą 0,33 cm. Normowe graniczne ugięcie stalowych belek stropowych wynosi:

$$a_{gr} = \frac{l}{250} = 2,38cm$$

$$a_{max} < a_{gr}$$

Dodatkowo sprawdzono możliwość zwichrzenia stalowych belek stropu ze względu na występujące uszkodzenia ceglanych płyt stropu Klein'a, które w stanie awaryjnym nie zapewniają należytej sztywności konstrukcji. Smukłość przekroju poprzecznego stalowej belki stropowej wynosi:

- belka nieuszkodzona:  $\lambda = 58,9$
- belka uszkodzona – skorodowana:  $\lambda = 58,9$
- smukłość porównawcza wynosi:  $\lambda_p = 60,2$

i stąd smukłość względna przekroju poprzecznego:

- belka nieuszkodzona:  $\bar{\lambda} = 0,66$
- belka uszkodzona – skorodowana:  $\bar{\lambda} = 0,67$

Wartości współczynników niestateczności miejscowej wynoszą:

- belka nieuszkodzona:  $\varphi = 0,94$
- belka uszkodzona – skorodowana:  $\varphi = 0,94$

Powyższe wartości współczynników powodują kilkuprocentowe obniżenie nośności przekroju poprzecznego uszkodzonej korozyjnie belki stropowej w odniesieniu do belki nieuszkodzonej oraz dodatkowo istnieje możliwość zwichrzenia przekroju poprzecznego belki uszkodzonej. Zgodnie z wytycznymi normowymi można przyjąć, iż przekrój poprzeczny jest zabezpieczony przed zwichrzeniem, gdy spełniony jest poniższy warunek:

$$l_1 \leq \frac{35i_y}{\beta} \sqrt{\frac{215}{f_{yd}}}$$

Stąd wyznaczono maksymalną rozpiętość pomiędzy usztywnieniami. Rozpiętość ta nie powinna być większa niż 107 cm. W związku z przedstawionymi powyżej wynikami obliczeń statyczno-wytrzymałościowych zalecono, aby w celu zabezpieczenia belek stropowych przed utratą miejscowej stateczności do czasu remontu ceglanej płyty stropu Klein'a należy zmniejszyć ich rozpiętość obliczeniową poprzez dodatkowe podpory. Jedną z takich podpór jest murowana ścianka działowa połączona ze ścianami nośnymi. Dwie podpory (stemple) należy umieścić równomierne w pomieszczeniach piwnic wzdłuż elewacji budynku w rozstawie, co 1,20 m z długością *czy szerokością* podparcia minimum 20 cm.

#### 4. Wnioski końcowe

Bezpośrednią przyczyną powstania uszkodzeń elementów konstrukcji nośnej – widocznego nadmiernego ugięcia oraz spękań elementów stropu Klein'a nad piwnicami w budynku wielorodzinnym było jego lokalne przeciążenie poprzez wykonanie dodatkowych warstw podłogowych oraz znaczne uszkodzenia korozyjne zarówno zbrojenia w szczególności płyt ceglanych, jak i stalowych stropowych belek nośnych będące wynikiem zawilgocenia całego przekroju poprzecznego stropu. Stan techniczny nadmiernie ugiętego stropu pod mieszkaniem nad parterem zagraża bezpośrednio bezpieczeństwu osób i minia. Stan techniczny pozostałych elementów konstrukcji nośnej budynku jest **zadawalający**. Potwierdzają to wyniki dotychczasowych okresowych obowiązkowych kontroli stanu technicznego tego obiektu budowlanego.

Do czasu wykonania remontu i w mocnienia elementów konstrukcyjnych fragmentu międzykondygnacyjnego stropu Klein'a w tym budynku należy wyłączyć z użytkowania lokal mieszkalny znajdujący się nad tym stropem. Dodatkowo w trybie pilnym należy wyłączyć z użytkowania zaznaczone powyżej pomieszczenia piwnic oraz **wykonać podparcie stropu** w tym obszarze za pomocą siatki podpór, np. w systemie PERI w rozstawie, co ~1,2 m na długości dźwigarów stalowych, ponieważ stan techniczny tego fragmentu stropu grozi **bezpośrednim zawaleniem – katastrofą budowlaną**.

Uszkodzone elementy ceglanej płyty stropu Klein'a były skruszone, co powodowało wypadanie z niej cegieł, zaś jej zbrojenie w postaci płaskowników (bednarki) było skorodowane w takim stopniu, że utraciło ono minimalne parametry wytrzymałościowe. Zakres uszkodzeń płyty ceglanej spowodował, że jej wymiana na nową jest nieuzasadniona, zaś wykonanie naprawy poprzez odeskowanie od spodu stropu i wymianę nowych cegieł na zaprawie cementowej wraz z wymianą zbrojenia jest skomplikowana w wykonawstwie, a ponadto nie zapewni odciążenia stropu.

W związku z powyższym zaproponowano wykonanie remontu przedmiotowego stropu w następującej kolejności:

- zdjęcie wszystkich warstw podłogowych (po uprzednim podparciu stropu),
- wymiana skorodowanej stalowej belki stropu pod pomieszczeniem kuchni lokalu nr 1,
- odtworzenie płyty stropowej poprzez zamontowanie na belkach stalowych prefabrykowanych płyt żelbetowych np. WPS (PS 170, PSW 170, T-27 lub inne),
- przed układaniem tych płyt należy dolną stopkę belek stalowych owinąć siatką drucianą, a górną stopkę belek w celu zwiększenia sztywności oraz zabezpieczenia przed korozją obetonować; aby zapewnić właściwą współpracę betonu i stali należy zastosować strzemiona z prętów o średnicy 6 lub 8 mm mocowanych do belki stalowej przez przyspawanie,
- na naprawionej płycie stropu ułożyć należy warstwę wyrównawczą i ocieplającą, np. z keramzytu, zaś całość należy wykończyć szlichtą cementową (podkładem) na siatce stalowej.

Wyniki opracowanej przez autorów niniejszego artykułu oceny technicznej zostały przekazane jako informacja do organu nadzoru budowlanego – PINB dla m. st. Warszawy na zasadzie art. 70 Prawa budowlanego: *Właściciel, zarządca lub użytkownik obiektu budowlanego, na których spoczywają obowiązki w zakresie napraw, określone w przepisach odrębnych bądź umowach, są obowiązani w czasie lub bezpośrednio po przeprowadzonej kontroli usunąć stwierdzone uszkodzenia oraz uzupełnić braki, które mogłyby spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, bezpieczeństwa mienia bądź środowiska, a w szczególności katastrofę budowlaną, pożar, wybuch, porażenie prądem elektrycznym albo zatrucie gazem. Obowiązek ten powinien być potwierdzony w protokole z kontroli obiektu budowlanego. Osoba dokonująca kontroli jest obowiązana bezzwłocznie przesłać kopię tego protokołu do właściwego organu.*

Na podstawie przeprowadzonych analiz opisanych w niniejszym opracowaniu przedstawiono jak istotnym elementem pracy eksperckiej jest właściwa ocena stanu technicznego poszczególnych elementów konstrukcyjnych stropu Klein'a w istniejących budynkach [6÷10]. W ocenie tej należy bezzwzględnie uwzględnić wszystkie występujące uszkodzenia korozyjne, w tym ich wpływ zarówno na zmniejszenie powierzchni stalowych przekrojów poprzecznych, jak i na zmianę schematu statycznego pracy konstrukcji nośnej.

#### Bibliografia

1. Protokół z dnia 14.10.2009 r. z okresowej pięcioletniej kontroli stanu sprawności technicznej i wartości użytkowej obiektu budowlanego, STUDIO BUDOWLANE „UNITY” S.C., 01-493 Warszawa, ul. Kędzierskiego 2/66,
2. Stropy w budownictwie do roku 1985. Opisy, normy; Wacotob-PZITB grudzień 1994 r.,
3. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U z 2006 r. Nr 156, poz. 1118 z późn. zm.).
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690, z 2003 r. Nr 33, poz. 270 oraz z 2004 r. Nr 109, poz. 1156).
5. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych (Dz. U. Nr 74, poz. 836).
6. Kruszką L., Chmielewski R., *Ekspertyza stanu technicznego wraz z oceną opłacalności remontu budynku mieszkalnego wielorodzinnego przy ul. Sprzecznej 8 w Warszawie*, Warszawa, grudzień 2005 r.,
7. Kruszką L., Chmielewski R., *Ekspertyza techniczna dotycząca możliwości nadbudowy oficyny północnej, wschodniej oraz tzw. „tarasowej” obiektu Biblioteki Głównej Województwa Mazowieckiego*, Warszawa, październik 2005 r.,
8. Kruszką L., Chmielewski R., *Ekspertyza budowlana stropu na trzeciej kondygnacji nad biblioteką IRWiR Pałacu Staszica*, Warszawa, maj 2006 r.,
9. Kruszką L., Chmielewski R., *Ekspertyza budowlana zabytkowego budynku nr 10, znajdującego się na terenie JW 5699*, Warszawa, grudzień 2004 r.,
10. Kruszką L., Chmielewski R., *Ekspertyza techniczna wielorodzinnego budynku mieszkalnego w związku z planowaną nadbudową jednej kondygnacji*, Warszawa, czerwiec 2006 r.