

## OCENA TECHNICZNA

Dotycząca oceny dopuszczalnych obciążeń użytkowych stropu nad parterem w wyznaczonych pomieszczeniach X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości.



Skrzydło zachodnie.



Przybudówka przy skrzydle wschodnim od wschodu

### ZAMAWIAJACY:

**MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI**  
**Al. Solidarności 62; 00-240 Warszawa**

<b>OPRACOWALI</b>	<b>podpis i pieczętka</b>
<b>Mgr inż. Franciszek KOMOROWSKI</b> <b>RZECZOZNAWCA BUDOWLANY</b> nr decyzji GINB 169/99 Uprawnienia projektowe AN.III-0073/247/01/60 Uprawnienia budowlane 216/Wa/74 Członek MOIIB nr ewidencyjny MAZ/BO/5085/01	
Mgr inż. budownictwa lądowego <b>Tomasz BUCZEK</b>	
<b>SPRAWDZIŁ</b>	<b>podpis i pieczętka</b>
<b>Dr inż. Adam Jerzy BARYŁKA</b> <b>Rzeczoznawca Budowlany nr decyzji GINB 46/13/R/C</b> Uprawnienia budowlane nr MAZ/0241/OWOK/04 Uprawnienia projektowe MAZ/ 0036/POOK/07 Członek MOIIB nr ewidencyjny MAZ/BO/0083/05	

Warszawa, czerwiec 2015r.

**SPIS TREŚCI**

1. PODSTAWA OPRACOWANIA	3
2. PRZEDMIOT OPRACOWANIA	3
3. CEL OPRACOWANIA	3
4. MATERIAŁY I DANE WYKORZYSTANE DO OPRACOWANIA	3
5. LOKALIZACJA BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ PRZY UL. SKAZAŃCÓW 25 W WARSZAWIE BĘDĄCEGO ODZIAŁEM MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	4
6. OPIS DOTYCZĄCY OCENY DOPUSZCZALNYH OBCIŻEŃ UZYTEKOWYCH STROPU NAD PARTEREM W WYZNACZNYCH POMIESZCZENACH BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	5
6.1. DANE OGÓLNE O BUDYNKU I JEGO KONSTRUKCJI	5
6.2. OPIS DOTYCZĄCY KONSTRUKCJI ISTNIEJĄCYCH STROPÓW KLEINA NAD PARTEREM W CZĘŚCI ŚRODKOWEJ SKRZYDŁA ZACHODNIEGO I W PRZYBUDÓWCE PO STRONIE WSCHODNIEJ SKRZYDŁA WSCHODNIEGO BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODDZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	7
6.2.1. STROP NAD PARTEREM W MIEJSCU PRZYBUDÓWKI OD STRONY WSCHODNIEJ SKRZYDŁA WSCHODNIEGO BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODDZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	8
6.2.2. STROP NAD PARTEREM BUDYNKU SKRZYDŁA ZACHODNIEGO BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODDZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI, T.J. DOTYCZY 4 POMIESZCZEŃ ZLOKALIZOWANYCH PO STRONIE POŁUDNIOWEJ KLATKI SCHODOWEJ ZNAJDUJĄCEJ SIĘ W ŚRODKOWEJ CZĘŚCI SKRZYDŁA ZACHODNIEGO OBIEKTU.	9
6.2.3. OPIS OGÓLNY NA TEMAT KONSTRUKCJI STROPÓW KLEINA.	11
6.3. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI KONSTRUKCJI ISTNIEJĄCYCH STROPÓW KLEINA NAD PARTEREM W CZĘŚCI ŚRODKOWEJ SKRZYDŁA ZACHODNIEGO I W PRZYBUDÓWCE PO STRONIE WSCHODNIEJ SKRZYDŁA WSCHODNIEGO BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODDZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	14
6.3.1. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI STROPU KLEINA NAD PARTEREM W PRZYBUDÓWCE PO STRONIE WSCHODNIEJ SKRZYDŁA WSCHODNIEGO BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODDZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	14
6.3.2. SPRAWDZENIE NOŚNOŚCI STROPÓW KLEINA NAD PARTEREM W CZĘŚCI ŚRODKOWEJ SKRZYDŁA ZACHODNIEGO BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODDZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	24
7. WNIOSKI KOŃCOWE I ZALECENIA	34
8. DOKUMENTACJA FOTOGRAFICZNA X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEGO ODDZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.	36
ZAŁĄCZNIKI:	
- RYSUNKI Z INWENTARYZACJI Z POKAZANIEM MIESC USYTUOWANIA PRZEDMIOTOWYCH PŁYT STROPOWYCH	40
- KOPIE UPRAWNIEŃ	45

## **1. PODSTAWA OPRACOWANIA**

Umowa zawarta w dniu 19.05.2015r. w Warszawie pomiędzy Muzeum Niepodległości w Warszawie z siedzibą przy Al. Solidarności 62, 00-240 Warszawa, Zlecenie dla Centrum Rzecznawstwa Budowlanego Sp. z o.o. z siedzibą przy ul. Powstańców śląskich 106 D/9 w Warszawie.

## **2. PRZEDMIOT OPRACOWANIA**

Przedmiotem opracowania jest budynek X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej zlokalizowany przy ul. Skazańców 25 w Warszawie, będący oddziałem Muzeum Niepodległości.

## **3. CEL OPRACOWANIA**

Celem opracowania jest wykonanie oceny technicznej dotyczącej sprawdzenia nośności stropów nad parterem w miejscu przybudówki usytuowanej przy skrzydle wschodnim od strony wschodniej budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oraz stropu nad parterem w pomieszczeniach zlokalizowanych w skrzydle zachodnim (bezpośrednio za klatką schodową wewnętrzną od strony południowej) w tym samym obiekcie, który jest położony przy ul. Skazańców 25 w Warszawie.

Opinia techniczna obejmuje:

- wizję lokalną na obiekcie;
- badania organoleptyczne elementów konstrukcyjnych;
- ewentualne odkrywki, pomiary inwentaryzacyjne przedmiotowych elementów konstrukcji budynku;
- dokumentację fotograficzną (fotografia cyfrowa);
- wnioski i zalecenia końcowe.

## **4. MATERIAŁY I DANE WYKORZYSTYWANE DO OPRACOWANIA**

Do opracowania wykorzystano następujące dane i materiały:

- 1) Wizja lokalna przeprowadzona w dniu 02.06.2015r. połączona z oględzinami (ocena makroskopowa), odkrywkami, badaniami organoleptycznymi i inwentaryzacją przedmiotowych elementów konstrukcji budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej zlokalizowanej przy ul. Skazańców 25 w Warszawie.
- 2) „Inwentaryzacja do celów projektowych” z grudnia 2005r. wykonana przez mgr inż. Ewę Sowa-Mróż.
- 3) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- 4) Wszystkie pozostałe obowiązujące normy i przepisy niezbędne do realizacji przedmiotowego zadania.

## **5. LOKALIZACJA BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ PRZY ul. Skazańców 25 w Warszawie będącego oddziałem Muzeum Niepodległości.**

Rys. historyczny. Pawilon X usytuowany jest w obrębie Cytadeli Warszawskiej przy ul. Skazańców 25. Cytadela Warszawska została zbudowana po upadku Powstania Listopadowego na rozkaz cara Mikołaja I Romanowa w latach 1832 - 1836. Ostatecznie wszystkie prace modernizacyjne zakończono w 1874r. Pawilon X pełnił rolę głównego więzienia politycznego Królestwa Polskiego, miejsca straceń polskich patriotów. Po wojnie cytadela stała się siedzibą dowództwa Warszawskiego Okręgu Wojskowego. Obecnie znajduje się pod opieką Muzeum Niepodległości, gdzie w Pawilonie X mieści się oddział Muzeum Niepodległości. Pawilon X został wpisany do rejestru zabytków pod nr 59/2 dnia 01.07.1965r.

Budynek wolnostojący wybudowany w kształcie litery „U” zlokalizowany na skarpie w Warszawie przy ul. Skazańców 25. Wokół budynku od strony północnej i zachodniej oraz od strony południowej przebiega droga dojazdowa wykonana, jako brukowa. Wokół budynku rosną drzewa o zaznaczeniu historycznym, teren jest częściowo w postaci zielonej, a częściowo utwardzonej z płyt betonowych chodnikowych, kostki granitowej, bruku, kraty ekologicznej, itp.

Na zdjęciu zamieszczonym poniżej oznaczono linią koloru czerwonego lokalizację przedmiotowego budynku natomiast kolorem niebieskim i strzałkami (koloru białego) oznaczono miejsca będące przedmiotem opracowania.



Fot. nr 1a. Budynek X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej przy ul. Skazańców 25 oznaczono linią koloru czerwonego na powyższym zdjęciu, natomiast miejsca będące przedmiotem opracowania linią koloru niebieskiego.

## **6. OPIS DOTYCZĄCY OCENY DOPUSZCZALNYH OBCIŻEŃ UŻYTKOWYCH STROPU NAD PARTEREM W WYZNACZNYCH POMIESZCZENAIACH BUDYNKU X PAWILONU CYTADELI WARSZAWSKIEJ ODZIAŁU MUZEUM NIEPODLEGŁOŚCI.**

### **6.1. Dane ogólne o budynku i jego konstrukcji.**

Budynek wybudowany został na planie zbliżonym do litery „C”. Składa się z części środkowej i prostopadłych do niej dwóch skrzydeł oraz niewielkiej przybudówki od strony wschodniej wykonanej w środku rozpiętości skrzydła wschodniego. Cały obiekt zrealizowany, jako piętrowy z poddaszem nieużytkowym, częściowo podpiwniczony w częściach szczytowych obu skrzydeł. Fundamenty budynku wykonane są z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie wapiennej, a posadowione zostały w części nie podpiwniczonej na głębokości ok. 2,0m

a w części podpiwniczonej na ok. 4,0m (wg Ekspertyzy nr 81/93). Ściany grubości ok. 70cm, murowane z cegły ceramicznej pełnej na zaprawie wapiennej. Stropy ceramiczne typu Kleina oraz odcinkowe, w piwnicach sklepienia. Budynek pokryty jest blachą ocynkowaną wraz z obróbkami blacharskimi, rynnami oraz rurami spustowymi – dach wyremontowany w ostatnim czasie. Elewacje budynku wykończone tynkiem cementowo-wapiennym odrewitalizowane w ostatnim czasie. Wokół budynku opaska i chodniki utwardzone za pomocą różnego typu materiałów tj. m.in. płyt chodnikowych betonowych, kostki granitowej, krat ekologicznych, bruku itp. Wewnątrz klatki schodowe wykonane, jako dwubiegowe. Posadzki betonowe, podłogi drewniane, parkiety i podłogi z paneli drewnianych zależnie od pomieszczeń. Obiekt wyposażony jest w instalację wodno - kanalizacyjną, elektryczną, dozorową i alarmową oraz został przystosowany do wymogów przeciwpożarowych.

Budynek wyposażony w następujące instalacje:

- wentylacyjną grawitacyjną i mechaniczną;
- wod.-kan.;
- elektryczną, dozorową i monitoringu;
- p.poż.

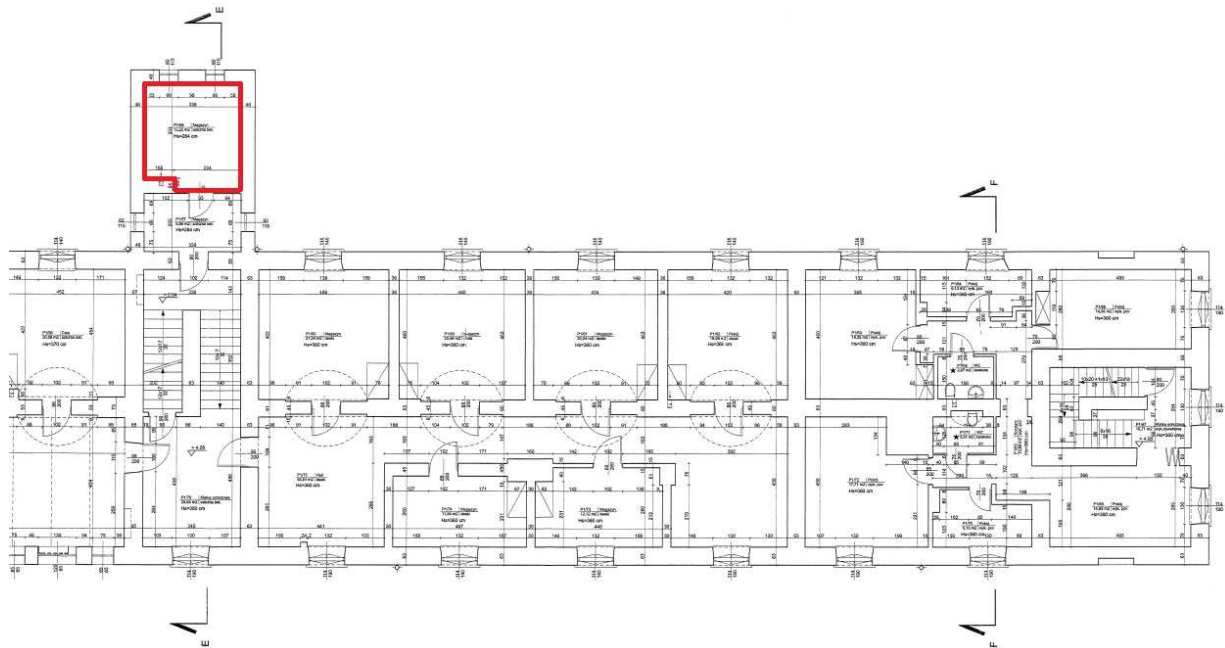
Dane techniczne:

- pow. użytkowa piwnic	259,37m <sup>2</sup>
- pow. użytkowa parteru	1 543,41m <sup>2</sup>
- pow. użytkowa piętra	1 559,38m <sup>2</sup>
- pow. poddasza	1 747,79m <sup>2</sup>
- pow. ogólna budynku	5 109,95m <sup>2</sup>
- wysokość budynku	11,40m

Powyższe dane techniczne na temat konstrukcji obiektu zostały określone na podstawie udostępnionej dokumentacji technicznej oraz dokonanej wizji lokalnej wraz z przeprowadzeniem badań makroskopowych i organoleptycznych.

## 6.2. Opis dotyczący konstrukcji istniejących stropów Kleina nad parterem w części środkowej skrzydła zachodniego i w przybudówce po stronie wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości.

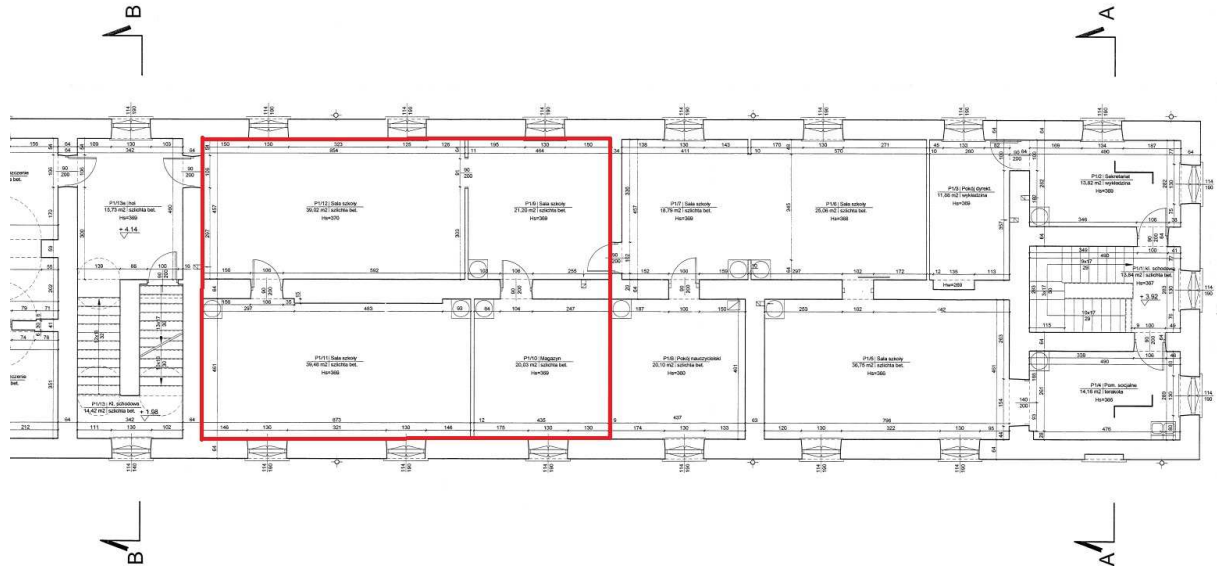
Zgodnie z udostępnioną dokumentacją w postaci Inwentaryzacji do celów projektowych przedmiotowe stropy znajdują się w budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości. Umieszczenie przedmiotowych pomieszczeń piętra, pod którymi dokonane zostały sprawdzenia konstrukcji stropów zostały oznaczone liniami koloru czerwonego na poniższych zdjęciach wykonanych z dokumentacji rysunkowej w postaci „Inwentaryzacji do celów projektowych” z grudnia 2005r. Pierwsze pomieszczenie o wymiarach w rzucie poziomym 3,68x3,12m w ścianie wykończonych ścian zlokalizowane jest po stronie wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej (fot. nr 1b).



Fot. nr 1b. Pomieszczenie zlokalizowane w przybudówce przy skrzydle wschodnim.

Kolejne pomieszczenia będące przedmiotem opracowania są umiejscowione w skrzydle zachodnim za klatką schodową zlokalizowaną w centralnej części skrzydła (fot. nr 1c). Pomieszczenia te znajdują się na całej szerokości skrzydła zachodniego i przebiegają na około 13,30m po długości budynku w kierunku południowym

poczynając od ściany oddzielającej je od klatki schodowej zlokalizowanej w centralnej części skrzydła zachodniego.



Fot. nr 1c. Pomieszczenia usytuowane za klatką schodową w skrzydle zachodnim.

W dniu przeprowadzonej wizji lokalnej dokonano niezbędne badania (organoleptyczne i makroskopowe), przeprowadzono odkrywki, jak i pomiary mające na celu określenie rodzaju i stanu technicznego istniejących konstrukcji stropów zastosowanych w częściach budynku będących przedmiotem opracowania (fot. nr 1b, 1c).

### 6.2.1. Strop nad parterem w miejscu przybudówki od strony wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości.

Strop nad parterem w miejscu pomieszczenia magazynku usytuowanego w przybudówce po stronie wschodniej przy skrzydle wschodnim budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości (fot. nr 1), jest wykonany w konstrukcji Kleina typu ciężkiego na belkach stalowych z **dwuteowników normalnych 240**, co określono na podstawie dokonanych pomiarów **szerokości półki dolnej dwuteownika o szerokości 10,6cm** (fot. nr 8-9). **Grubość płyty stropowej tj. 32cm** określono na podstawie dokonanego jej pomiaru w miejscu



wykonanego otworu przez strop (fot. nr 6-7,10), jak również poprzez dokonanie odkrywki od strony pomieszczenia magazynku na piętrze (fot. nr 2-5, 10). W miejscach wykonanych odkrywek dokonano określenia poszczególnych warstw płyty stropowej takich, jak poczynając od strony parteru:

- tynk cementowo-wapienny o gr. 2cm;
- płyta ceglana stropu o gr. 12cm;
- polepa o gr. 8cm;
- podłoga drewniana na legarach 8x10cm, na których leżą deski gr. 30mm i parkiet drewniany gr. 10mm.

Rozstaw belek stalowych stropu Kleina określony na podstawie dokonanych pomiarów w miejscach odkrywek (fot. nr 8), dał średnią wartość około 110cm. Przebieg belek stalowych stropu Kleina nad parterem w miejscu magazynku przybudówki od strony wschodniej jest równoległy do długości skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości. Rozpiętość belek stropu określona w świetle wykończonych ścian pomieszczenia w przybudówce to 3,12m. Belki stalowe stropu oparte są na ścianach konstrukcyjnych murowanych z cegły ceramicznej pełnej o gr. 48cm obustronnie wykończonych tynkiem cementowo-wapiennym.

W dniu przeprowadzonej wizji lokalnej nie stwierdzono widocznych uszkodzeń płyty stropowej nad parterem w miejscu przybudówki od strony wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości. Dlatego też ogólny stan techniczny przedmiotowej płyty stropowej określa się, jako dobry.

Podsumowując informacje zawarte powyżej stwierdzamy, że ogólny stan techniczny konstrukcji stropu nad parterem w miejscu przybudówki od strony wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości jest dobry.

**6.2.2. Strop nad parterem budynku skrzydła zachodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości, tj. dotyczy 4 pomieszczeń zlokalizowanych po stronie południowej klatki schodowej znajdującej się w środkowej części skrzydła zachodniego obiektu.**

Strop nad parterem w części budynku skrzydła zachodniego X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości (fot. nr 11), zlokalizowany od strony południowej klatki schodowej znajdującej się w środkowej części skrzydła zachodniego obiektu, jest wykonany w konstrukcji Kleina typu ciężkiego na belkach stalowych z dwuteowników normalnych 200, co określono na podstawie dokonanych pomiarów szerokości półki dolnej dwuteownika o szerokości 9,0cm (fot. nr 14-16). Grubość płyty stropowej w najcieńszym miejscu tj. 28cm określono na podstawie dokonanego jej pomiaru w miejscu wykonanego otworu przez strop (fot. nr 16-18, 20). Natomiast grubość płyty stropowej w najgrubszym miejscu tj. w miejscach belek stalowych (ze względu na charakter wykonanych stropów w postaci sklepień łukowych (strop odcinkowy) – fot. nr 12-13) określono o wartości około 44cm. W miejscach wykonanych odkrywek (miejsce na łuku płyty ceglanej stropu Kleina) dokonano określenia poszczególnych warstw płyty stropowej takich jak poczynając od strony parteru:

- tynk cementowo-wapienny o gr. 2cm;
- płyta ceglana stropu o gr. 12cm;
- polepa o gr. 8cm;
- posadzka betonowa gr. 6cm; oraz w jednym pomieszczeniu wykonana jest podłoga drewniana na legarach 8x10cm, na których leżą deski gr. 30mm (legary częściowo zagłębione w polepie).

W odniesieniu do miejsca najgrubszej części płyty stropowej materiałem uzupełniającym przestrzeń nad płytą ceglana oraz belką stalową stropu Kleina do posadzki betonowej lub też podłogi drewnianej, która jest w jednym pomieszczeniu stanowi polepa.

Pomieszczenia na piętrze posiadają wykończenie górnej warstwy stropu w postaci posadek cementowych (fot. nr 1-20, 23-24) oraz w jednym pomieszczeniu jest wykonana podłoga drewniana wraz z sufitem zabudowanym również za pomocą elementów drewnianych (fot. nr 21-22). W pozostałych pomieszczeniach sufity wykończone w postaci tynków cementowo-wapiennych.

**Rozstaw belek stalowych stropu Kleina** określony na podstawie dokonanych pomiarów w miejscach widocznego rozstawu belek w pomieszczeniach na parterze

(fot. nr 12-13), był zróżnicowany tj. od 1,15÷1,23m, jednakże **w większości przeważał, jako 115cm, który przyjęto do obliczeń.**

Przebieg belek stalowych stropu Kleina nad parterem widoczny od strony pomieszczeń parteru jest prostopadły do długości skrzydła zachodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości, które oparte są na ścianach nośnych zewnętrznych murowanych z cegły ceramicznej pełnej o gr. około 64cm oraz ścianie konstrukcyjnej wewnętrznej również wykonanej z cegły o minimalnej grubości 64cm. Rozpiętość belek stropów określona w świetle wykończonych ścian pomieszczeń parteru od strony wschodniej to 4,56m, natomiast od strony zachodniej 4,55m. Zarówno ściany wewnętrzne, jak i zewnętrzne wykonane w konstrukcji murowanej przedmiotowego obiektu posiadają obustronne wykończenie za pomocą tynku cementowo-wapiennego.

Na podstawie przeprowadzonych badań i odkrywek przedmiotowych konstrukcji stropów nad parterem nie stwierdzono widocznych uszkodzeń płyty stropowej, przez co można stwierdzić, iż pracuje ona zgodnie ze swym przeznaczeniem, a jej ogólny stan techniczny można ocenić, jako dobry.

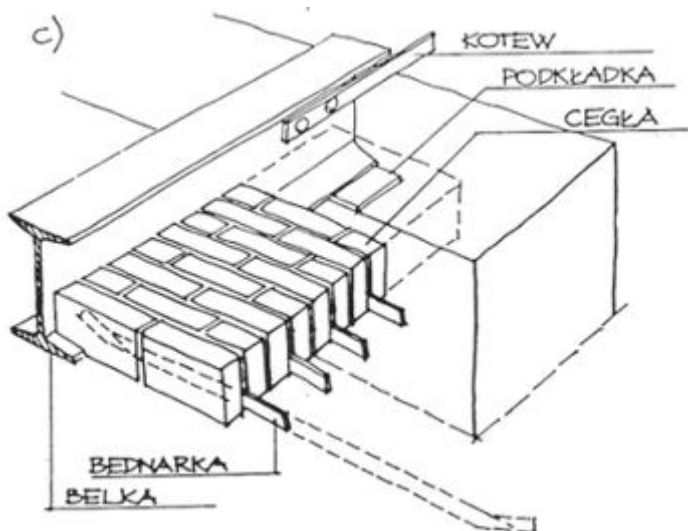
Podsumowując informacje zawarte powyżej stwierdzamy, że ogólny stan techniczny konstrukcji stropu nad parterem skrzydła zachodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości, tj. dotyczy 4 pomieszczeń zlokalizowanych po stronie południowej klatki schodowej znajdującej się w środkowej części skrzydła zachodniego obiektu jest dobry.

### **6.2.3. Opis ogólny na temat konstrukcji stropów Kleina.**

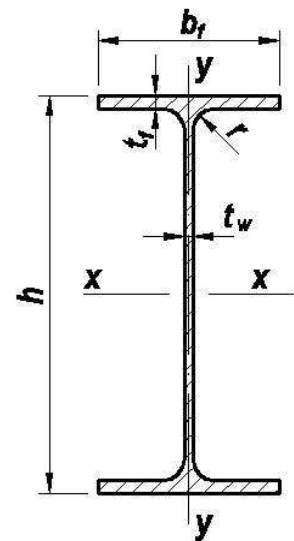
Strop belkowy Kleina ma już kilkudziesięcioletnią historię, obecnie jest nadal stosowany, chociaż rzadko. Najczęściej stosuje się go w budownictwie jednorodzinnych i gospodarczym. Jego konstrukcja to belki stalowe dwuteowe - mogą one mieć stopki skośne albo w kształcie prostokąta (kiedyś stosowano również zużyte szyny kolejowe), płyty płaskie międzybelkowe wykonywane z cegły, zbrojone prętami stalowymi lub płaskownikami oraz stropy odcinkowe (płyty łukowe) nie zawsze zbrojone. Dwuteowe belki stalowe dostępne są w różnych wysokościach od 80 do 550 mm oraz długościach od 3 do 15 m. Płyty ceramiczne opiera się na dolnych stopkach belek

stalowych. Sposób oparcia belek na murze zależy jest od konstrukcji ściany i wytrzymałości materiałów użytych do jej wykonania.

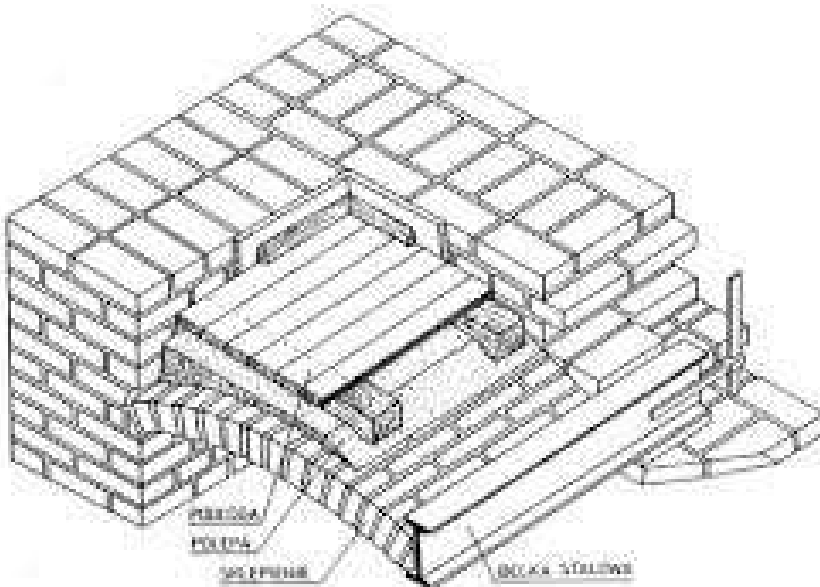
W przypadku przedmiotowych stropów, po wykonaniu odkrywek określono je, jako typu ciężkiego (opis konstrukcji stropów znajduje się w punkcie 6.2 opracowania). W płytach stropowych będących przedmiotem niniejszego opracowania zastosowane zostały belki stalowe z dwuteowników normalnych IPN 200 oraz IPN 240.



Rysunek 2. Strop płaski Kleina z płytą ceglana ciężką (gr. 12cm)



Rysunek 3. Belka PN



Rysunek 2. Strop odcinkowy (łukowy) Kleina z płytą ceglana ciężką (gr. 12cm)

	h	b <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	A	G	I <sub>x</sub>	W <sub>el.x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>el.y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>t</sub>	I <sub>w</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	Cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>
<b>IPN 80</b>	80	42	3,9	5,9	3,9	2,3	7,58	5,95	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	0,93	84
<b>IPN 100</b>	100	50	4,5	6,8	4,5	2,7	10,60	8,32	171,0	34,2	4,01	12,20	4,88	1,07	1,72	265
<b>IPN 120</b>	120	58	5,1	7,7	5,1	3,1	14,20	11,20	328,0	54,7	4,81	21,50	7,41	1,23	2,92	678
<b>IPN 140</b>	140	66	5,7	8,6	5,7	3,4	18,30	14,40	573,0	81,9	5,61	35,20	10,70	1,40	4,68	1520
<b>IPN 160</b>	160	74	6,3	9,5	6,3	3,8	22,80	17,90	935,0	117,0	6,40	54,70	14,80	1,55	7,11	3100
<b>IPN 180</b>	180	82	6,9	10,4	6,9	4,1	27,90	21,90	1450,0	161,0	7,20	81,30	19,80	1,71	10,40	5850
<b>IPN 200</b>	200	90	7,5	11,3	7,5	4,5	33,50	26,30	2140,0	214,0	8,00	117,00	26,00	1,87	14,60	10400
<b>IPN 200p</b>	200	90	6,0	11,3	7,5	4,5	30,90	24,20	2070,0	207,0	8,20	117,00	25,90	1,94	13,00	10400
<b>IPN 220</b>	220	98	8,1	12,2	8,1	4,9	39,60	31,10	3060,0	278,0	8,80	162,00	33,10	2,02	20,10	17500
<b>IPN 220p</b>	220	98	6,2	12,2	8,1	4,9	35,80	28,10	2940,0	267,0	9,09	162,00	33,00	2,13	17,60	17500
<b>IPN 240</b>	240	106	8,7	13,1	8,7	5,2	46,10	36,20	4250,0	354,0	9,59	221,00	41,70	2,20	27,20	28500
<b>IPN 240p</b>	240	106	6,7	13,1	8,7	5,2	41,90	32,90	4090,0	341,0	9,88	220,00	41,60	2,29	23,60	28300
<b>IPN 260</b>	260	113	9,4	14,1	9,4	5,6	53,40	41,90	5740,0	442,0	10,40	288,00	51,00	2,32	35,30	43600
<b>IPN 260p</b>	260	113	6,9	14,1	9,4	5,6	47,70	37,40	5490,0	422,0	10,70	287,00	50,80	2,45	31,00	43400

**Rysunek 4. Parametry geometryczne dwuteowników IPN**

Belki stropu Kleina można opierać: bezpośrednio na murze wyrównanym zaprawą cementową (1:3), gdy ściana wykonana jest z cegły lub kamienia lub na poduszce betonowej lub czterech warstwach cegły wyrównanych zaprawą cementową (1:3), w przypadku gdy ściana wykonana jest z pustaków betonowych, cegły kratówki lub dziurawki, lub na wieńcu żelbetowym, gdy ściana została wykonana z materiałów o niskiej wytrzymałości na ściskanie lub gdy jest wykonana jako ściana szczelinowa lub wielowarstwowa z materiałów o różnej wytrzymałości na ściskanie. W takim przypadku wieńiec żelbetowy wzmacnia konstrukcję ścian i umożliwia przeniesienie siły skupionej od parcia końca belki na większą płaszczyznę muru. Długość oparcia belki na murze powinna wynosić połowę wysokości belki powiększonej o 15cm, jednak nie powinna być mniejsza niż 15cm. Przy oparciu obu końców belek na wewnętrznej ścianie grubości 1 cegły (25 cm), ich oparcie może wynosić 12 cm pod warunkiem ułożenia ich na podkładce stalowej o wymiarach 25/25 cm (gr. 8-10mm) oraz wymurowania i wyrównania powierzchni ostatnich 4 warstw cegły zaprawą cementową (1:3). Końce belek obsadzone w murze i ich część wystająca ponad płytę stropową powinny być zabezpieczone przed rdzewieniem. Dolna stopka każdej belki powinna być owinięta siatką drucianą i obrzucona zaprawą cementową (1:3). Końce belek muszą być zakotwione w murze.

W stropach płaskich przestrzenie pomiędzy belkami wypełnia się z cegłą pełną lub dziurawką. W stropach tego typu występują naprężenia zginające w dolnej warstwie płyty, którą należy dodatkowo wzmocnić prętami stalowymi lub bednarką. analogiczna sytuacja jest w stropach odcinkowych (łukowych) z tym że zwykle jako materiał stosowana była cegła ceramiczna pełna.

W zależności od rozstawu belek i wielkości obciążeń, można wykonać płyty międzybelkowe typu:

- lekkiego (1/4 cegły) - ciężar 117 kg/m<sup>2</sup>,
- półciężkiego (grubość 1/4 cegły plus żeberka wzmacniające z cegieł ustawionych na rąb) - ciężar 194 kg/m<sup>2</sup> lub
- ciężkiego (1/2 cegły) - ciężar 216 kg/m<sup>2</sup>.

W stropie Kleina rozstaw belek powinien wynosić 1,0-1,6m oraz w stropach odcinkowych zwykle do 1,2m, co w naszym przypadku się potwierdza.

Cegły w płycie powinny być układane (długością) prostopadle do belek - spoiny poprzeczne, w stosunku do warstw sąsiednich, muszą być przesunięte o pół długości. Płyty można zbroić bednarką o przekroju poprzecznym od 1/20 do 2/30 mm lub prętami stalowymi. Średnice i rozstaw zbrojenia w płycie zależne są od obciążenia stropu i rozpiętości płyty między dwiema belkami. Szerokość spoin powinna wynosić: 2cm - gdy w spoinie znajduje się zbrojenie, 1,5cm - dla spoin podłużnych niezbrojonych i 1 cm - dla spoin poprzecznych. Cegły w płycie powinny być ułożone na zaprawie cementowej (1:3) - uplastycznionej. Na wierzch stropu należy wylać rzadką zaprawę cementową (1:3) - starannie wypełniając spoiny i nierówności. Spód płyty ceglanej powinien być obniżony o 1cm od spodu belek. W płytach ceglanych stropu odcinkowego cegły układa się na deskowaniu przesuwym tzw. krążynach, a przestrzeń pomiędzy belką stalową a pierwszą cegłą sklepienia odcinkowego wypełnia się mieszanką betonową.

**6.3. Sprawdzenie nośności konstrukcji istniejących stropów Kleina nad parterem w części środkowej skrzydła zachodniego i w przybudówce po stronie wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości.**

**6.3.1. Sprawdzenie nośności stropu Kleina nad parterem w przybudówce po stronie wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości.**

Konstrukcja stropu Kleina wykonana, jako typu ciężkiego na belkach stalowych z dwuteowników normalnych 240, dla grubości płyty stropowej 32cm, która składa się z poszczególnych warstw patrząc od strony parteru:

- tynk cementowo-wapienny o gr. 2cm;
- płyta ceglana stropu o gr. 12cm;
- polepa o gr. 8cm;
- podłoga drewniana na legarach 8x10cm, na których leżą deski gr. 30mm i parkiet drewniany gr. 10mm.

Rozstaw belek stalowych stropu Kleina w tym pomieszczeniu określono na około 110cm, natomiast rozpiętość w świetle wykończonych ścian pomieszczenia w przybudówce to 3,12m. Ze względu na czas powstania płyty stropowej przyjęto, że wszystkie wypełnienia przestrzeni płyty ceglanej od strony belek stalowych wykonane zostały z betonu klasy B15 (czyli obecnie zbliżona do C12/15).

W tabeli zamieszczonej poniżej dokonano zebrania obciążeń przypadających na 1m<sup>2</sup> stropu nad parterem (zgodnie z warstwami określonymi w dniu przeprowadzonej wizji lokalnej).

Rodzaj obciążenia	Q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Wsp. obc. f	Q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Obciążenia stałe g:			
- podłoga drewniana (deski podłogowe gr 3cm oraz legary 8x10cm) 0,035*5,5	0,19	1,2	0,23
- polepa 0,08*12	0,96	1,2	1,15
- strop Kleina – płyta ceglana typu ciężkiego 216kg/m <sup>2</sup>	2,16	1,1	2,37
- tynk cem-wap 0,02*19	0,38	1,3	0,50
- ścianki działowe (obc. zastępcze)	1,25	1,2	1,50
Razem obc. stałe g:	4,94	(1,16)	5,75
Obciążenie zmienne q:			
- obciążenie użytkowe (planowany magazyn)	3,00	1,4	4,20
<b>Razem g+q:</b>	<b>7,94</b>		<b>9,95</b>

Obciążenie liniowe belek 240PN stropu Kleina bez uwzględnienia ich ciężaru własnego wyliczone dla rozstawu belek  $a = 1,15$  m (max odnotowany rozstaw belek).

$$q_k = Q_k \cdot l = 7,94 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,15 \text{ m} = 9,13 \text{ kN/m}$$

$$q_d = Q_d \cdot l = 9,95 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,15 \text{ m} = 11,44 \text{ kN/m}$$

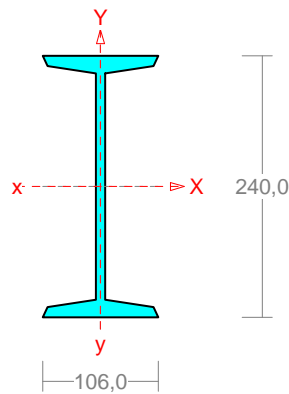
Sprawdzono czy istniejące belki stropu Kleina są w stanie przenieść powyższe obciążenia dla odnotowanej podczas oględzin i odkrywki rozpiętości oraz przyjętego planowanego obciążenia płyty stropowej.

Do obliczeń przyjęto rozpiętość obliczeniową  $l_0 = l_{rz} + c = 3,12 + 0,3 = 3,42$  m.

Ponadto w obecnym stanie stwierdza się, że ze względu na wielkość i przestrzeń tego pomieszczenia ścianki działowe raczej nie powinny zostać w nim wybudowane, lecz dla bezpieczeństwa przyjęto zastępcze obciążenie od ścianek działowych jako jedną ze składowych dających obciążenia na płytę przedmiotowego stropu.

## Obliczenia dla Belki stropu obciążonej zarówno ciężarem własnym stropu, jak i obciążeniem użytkowym o wartości $3\text{kN/m}^2$ .

Przekrój: I 240



Wymiary przekroju:

$$I\ 240 \quad h=240,0 \quad g=8,7 \quad s=106,0 \quad t=13,1 \quad r=8,7.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_xg=4250,0 \quad J_yg=221,0 \quad A=46,10 \quad i_x=9,6 \quad i_y=2,2 \\ J_w=28434,5 \quad J_t=23,8 \quad i_s=9,8.$$

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość  **$f_d=215$  MPa dla  $g=13,1$ .**

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

### Siły przekrojowe:

$$x_a = 1,710; \quad x_b = 1,710.$$

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$$M_x = -16,7 \text{ kNm}, \quad V_y = 0,0 \text{ kN}, \quad N = 0,0 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 47,2$  MPa  $\sigma_c = -47,2$  MPa.

### Naprężenia:



$x_a = 1,710$ ;  $x_b = 1,710$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 47,2$  MPa  $\sigma_c = -47,2$  MPa.

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = 0,0 \quad \Delta\sigma = 47,2 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 47,2 = 47,2 < 215 \text{ MPa}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,420$$
$$l_w = 1,000 \times 3,420 = 3,420 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,420$$
$$l_w = 1,000 \times 3,420 = 3,420 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 3,420$  m. Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 3,420$  m.

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 4250,0}{3,420^2} 10^{-2} = 7351,7 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 221,0}{3,420^2} 10^{-2} = 382,3 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{9,8^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 28434,5}{3,420^2} 10^{-2} + 80 \times 23,8 \times 10^2 \right) = 2467,7 \text{ kN}$$

### Zwicherungie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega\omega} = 3420$  mm:

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{1,000} \times \sqrt{215 / 215} = 770 < 3420 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwicherungiem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00$  cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00$  cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwicherungia:  $A_1 = 0,680$ ,  $A_2 = 0,290$ ,  $B = 0,970$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,680 \times 0,00 + 0,290 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 382,3 + \sqrt{(0,000 \times 382,3)^2 + 0,970^2 \times 0,098^2 \times 382,3 \times 2467,7} = 92,8$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{76,1 / 92,8} = 1,042$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 1,710$ ;  $x_b = 1,710$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 354,2 \times 215 \times 10^{-3} = 76,1 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 1,042$  wynosi  $\varphi_L = 0,726$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{R_x}} = \frac{16,7}{0,726 \times 76,1} = 0,303 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,420$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_v f_d = 0,58 \times 20,9 \times 215 \times 10^{-1} = 260,4 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 156,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 19,6 < 260,4 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 1,710$ ;  $x_b = 1,710$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 0,0 < 156,2 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 76,1 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R_x,V}} = \frac{16,7}{76,1} = 0,220 < 1$$

### Nośność środka pod obciążeniem skupionym:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,420$ .

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 0,0$  mm.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą  $\sigma_c = 0,0$  MPa. Współczynnik redukcji nośności

wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środnika na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 109,0 \times 8,7 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 203,9 \text{ kN}$$

Warunek nośności środnika:

$$P = 0,0 < 203,9 = P_{R,W}$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 2,3 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3420 / 250 = 13,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 2,3 < 13,7 = a_{\text{gr}}$$

Nośność stropu dla powyższych projektowanych obciążeń jest w bardzo dużym zapasie tj. około 78% dla stanu granicznego nośności (SGN) – dlatego zwiększono obciążenia użytkowe z 3kN/m<sup>2</sup> do 5kN/m<sup>2</sup>, co jest adekwatne dla przyszłego planowanego sposobu użytkowania przedmiotowego pomieszczenia (obliczenia poniżej). Nie zaleca się obciążania stropu większymi obciążeniami, (choć na podstawie dokonanych obliczeń można by było je jeszcze zwiększyć), głównie ze względu na czas powstania stropu oraz stosowane materiały do jego realizacji. Przed wykonaniem obciążenia stropu należy dokonać wymiany wierzchniej warstwy posadzkowej tj. usunąć podłogę drewnianą i polepę, a w jej miejsce wykonać posadzkę betonową zbrojoną siatką stalową Ø8mm o oczkach 15x15cm, co pozwoli na odpowiednie rozłożenie obciążeń użytkowych i przeniesienie ich bezpośrednio na belki przedmiotowego stropu. W tabeli poniżej zebrano obciążenia dla planowanego przeznaczenia pomieszczenia wraz z wymianą podłogi i część polepy na posadzkę żelbetową.

Rodzaj obciążenia	Q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Wsp. obc. f	Q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Obciążenia stałe g:			
- posadzka betonowa gr. 6cm. 0,06*21	1,26	1,3	1,64
- polepa 0,04*12	0,48	1,2	0,58

- strop Kleina – płyta ceglana typu ciężkiego 216kg/m <sup>2</sup>	2,16	1,1	2,37
- tynk cem-wap 0,02*19	0,38	1,3	0,50
- ścianki działowe (obc. zastępcze)	1,25	1,2	1,50
Razem obc. stałe g:	5,53	(1,19)	6,59
Obciążenie zmienne q:			
- obciążenie użytkowe (planowany magazyn)	5,00	1,4	7,00
<b>Razem g+q:</b>	<b>10,53</b>		<b>13,59</b>

Obciążenie liniowe belek 240PN stropu Kleina bez uwzględnienia ich ciężaru własnego wyliczone dla rozstawu belek  $a = 1,15$  m (max odnotowany rozstaw belek).

$$q_k = Q_k * l = 10,53 \text{ kN/m}^2 * 1,15 \text{ m} = 12,11 \text{ kN/m}$$

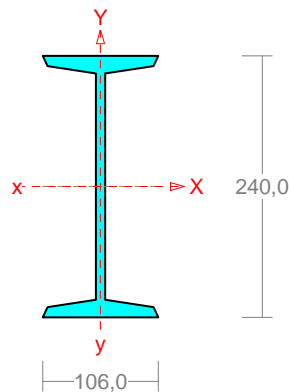
$$q_d = Q_d * l = 13,59 \text{ kN/m}^2 * 1,15 \text{ m} = 15,63 \text{ kN/m}$$

**Obliczenia dla belki stropu obciążonej zarówno ciężarem własnym stropu, jak i obciążeniem użytkowym o wartości zwiększonej do 5kN/m<sup>2</sup>.**

### Pręt nr 1

Zadanie: Belka - Muzeum Niep 5kN

Przekrój: I 240



Wymiary przekroju:

I 240  $h=240,0$   $g=8,7$   $s=106,0$   $t=13,1$   $r=8,7$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_xg=4250,0$   $J_yg=221,0$   $A=46,10$   $i_x=9,6$   $i_y=2,2$

$J_w=28434,5$   $J_t=23,8$   $i_s=9,8$ .

Materiał: **StOS**. Wytrzymałość  **$f_d=175$  MPa** dla  **$g=13,1$** .

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

**Siły przekrojowe:** $x_a = 1,710; x_b = 1,710.$ 

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: A

$$M_x = -22,9 \text{ kNm}, \quad V_y = 0,0 \text{ kN}, \quad N = 0,0 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 64,5 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -64,5 \text{ MPa}.$ **Naprężenia:** $x_a = 1,710; x_b = 1,710.$ Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 64,5 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -64,5 \text{ MPa}.$ 

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = 0,0 \quad \Delta\sigma = 64,5 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 64,5 = 64,5 < 175 \text{ MPa}$$

**Długości wyboczeniowe pręta:**

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,420$$

$$l_w = 1,000 \times 3,420 = 3,420 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 3,420$$

$$l_w = 1,000 \times 3,420 = 3,420 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000.$  Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 3,420 \text{ m}.$  Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 3,420 \text{ m}.$

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 4250,0}{3,420^2} 10^{-2} = 7351,7 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 221,0}{3,420^2} 10^{-2} = 382,3 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{9,8^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 28434,5}{3,420^2} 10^{-2} + 80 \times 23,8 \times 10^2 \right) = 2467,7 \text{ kN}$$

**Zwichrzenie:**

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega\omega} = 3420 \text{ mm}:$

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{1,000} \times \sqrt{215 / 175} = 853 < 3420 = l_l$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00$  cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00$  cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 0,680$ ,  $A_2 = 0,290$ ,  $B = 0,970$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,680 \times 0,00 + 0,290 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 382,3 + \sqrt{(0,000 \times 382,3)^2 + 0,970^2 \times 0,098^2 \times 382,3 \times 2467,7} = 92,8$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{66,7 / 92,8} = 0,975$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 1,710$ ;  $x_b = 1,710$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,076 \times 354,2 \times 175 \times 10^{-3} = 66,7 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,975$  wynosi  $\varphi_L = 0,777$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{R_x}} = \frac{22,9}{0,777 \times 66,7} = 0,441 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,420$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 20,9 \times 175 \times 10^{-1} = 211,9 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 127,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 26,7 < 211,9 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 1,710$ ;  $x_b = 1,710$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 0,0 < 127,2 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 66,7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R_x, V}} = \frac{22,9}{66,7} = 0,343 < 1$$

**Nośność środnika pod obciążeniem skupionym:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 3,420$ .

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 0,0$  mm.

Naprężenia ściskające w środniku wynoszą  $\sigma_c = 0,0$  MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środnika na siłę skupioną:

$$P_{R, W} = c_o t_w \eta_c f_d = 109,0 \times 8,7 \times 1,000 \times 175 \times 10^{-3} = 166,0 \text{ kN}$$

Warunek nośności środnika:

$$P = 0,0 < 166,0 = P_{R, W}$$

**Stan graniczny użytkowania:**

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 3,2 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 250 = 3420 / 250 = 13,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 3,2 < 13,7 = a_{\text{gr}}$$

Stwierdzamy, iż nośność stropu dla powyższych zaprojektowanych obciążeń (przyjęte obciążenia użytkowe do 5kN/m<sup>2</sup>) jest z 64% zapasem dla stanu granicznego nośność (SGN). Jednakże nie zaleca się obciążania stropu większymi obciążeniami, (choć z na podstawie dokonanych obliczeń można by było je jeszcze zwiększyć), głównie ze względu na czas powstania stropu oraz zastosowane do jego wybudowania materiały. Jak pisano wcześniej przed wykonaniem obciążenia stropu należy dokonać wymiany wierzchniej warstwy posadzkowej tj. usunąć podłogę drewnianą i polepę, a w jej miejsce wykonać posadzkę betonową zbrojoną siatką stalową Ø8mm o oczkach 15x15cm, co pozwoli na odpowiednie rozłożenie obciążeń użytkowych i przeniesienie ich bezpośrednio na belki przedmiotowego stropu.

**6.3.2. Sprawdzenie nośności stropów Kleina nad parterem w części środkowej skrzydła zachodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości.**

Konstrukcja stropu Kleina wykonana, jako typu ciężkiego na belkach stalowych z dwuteowników normalnych 200, dla minimalnej grubości płyty stropowej 28cm, a maksymalnej 44cm (w miejscu belek stropu) która składa się z poszczególnych warstw patrząc od strony parteru:

- tynk cementowo-wapienny o gr. 2cm;
- płyta ceglana stropu o gr. 12cm;
- polepa o gr. 8cm;
- posadzka betonowa gr. 6cm; oraz w jednym pomieszczeniu wykonana jest podłoga drewniana na legarach 8x10cm, na których leżą deski gr. 30mm (legary częściowo zagłębione w polepie).

Rozstaw belek stalowych stropu Kleina w części budynku skrzydła zachodniego określono w większości jako około 115cm, dlatego do obliczeń przyjęto tę że wielkość, natomiast co do rozpiętości w świetle wykończonych ścian pomieszczeń to wartość tę określono jako 4,56m (4,55m). Beki stalowe stropów oparte są na ścianach nośnych zewnętrznych murowanych z cegły ceramicznej pełnej o gr. około 64cm oraz ścianie konstrukcyjnej wewnętrznej również wykonanej z cegły o minimalnej grubości 64cm. Ze względu na czas powstania płyty stropowej przyjęto że wszystkie wypełnienia przestrzeni płyty ceglanej od strony belek stalowych wykonane zostały z betonu klasy B15 (czyli obecnie zbliżona do C12/15).

W odniesieniu do miejsca najgrubszej części płyty stropowej materiałem uzupełniającym przestrzeń nad płytą ceglana oraz belką stalową stropu Kleina do posadzki betonowej lub też podłogi drewnianej, (która jest tylko w jednym pomieszczeniu) stanowi polepa.

W tabeli zamieszczonej poniżej dokonano zebrania obciążeń przypadających na 1m<sup>2</sup> stropu nad parterem (zgodnie z warstwami określonymi w dniu przeprowadzonej wizji lokalnej) zarówno wykończonej podłogą drewnianą (tabela 1), jak i posadzką betonową (tabela 2).



Rodzaj obciążenia	Q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Wsp. obc. f	Q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Obciążenia stałe g:			
- podłoga drewniana (deski podłogowe gr 3cm oraz legary 8x10cm) 0,035*5,5	0,19	1,2	0,23
- polepa 0,08*12	0,96	1,2	1,15
- strop Kleina – płyta ceglana typu ciężkiego 216kg/m <sup>2</sup>	2,16	1,1	2,37
- tynk cem-wap 0,02*19	0,38	1,3	0,50
- ścianki działowe (obc. zastępcze)	1,25	1,2	1,50
Razem obc. stałe g:	4,94	(1,16)	5,75
Obciążenie zmienne q:			
- obciążenie użytkowe (przyjęto 2kN/m <sup>2</sup> )	2,00	1,4	2,8
<b>Razem g+q:</b>	<b>6,94</b>		<b>8,55</b>

Rodzaj obciążenia	Q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Wsp. obc. f	Q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Obciążenia stałe g:			
- posadzka betonowa gr. 6cm. 0,06*21	1,26	1,3	1,64
- polepa 0,08*12	0,96	1,2	1,15
- strop Kleina – płyta ceglana typu ciężkiego 216kg/m <sup>2</sup>	2,16	1,1	2,37
- tynk cem-wap 0,02*19	0,38	1,3	0,50
- ścianki działowe (obc. zastępcze)	1,25	1,2	1,50
Razem obc. stałe g:	6,01	(1,19)	7,16
Obciążenie zmienne q:			
- obciążenie użytkowe (przyjęto 2kN/m <sup>2</sup> )	2,00	1,4	2,8
<b>Razem g+q:</b>	<b>8,01</b>		<b>9,96</b>

Obciążenie liniowe belek 200PN stropu Kleina bez uwzględnienia ich ciężaru własnego wyliczone dla rozstawu belek  $a = 1,15\text{m}$  (niemalże wszystkie belki są w tym rozstawie).

$$q_k = Q_k \cdot l = 8,01 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,15 \text{ m} = 9,21 \text{ kN/m}$$

$$q_d = Q_d \cdot l = 9,96 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,15 \text{ m} = 11,45 \text{ kN/m}$$

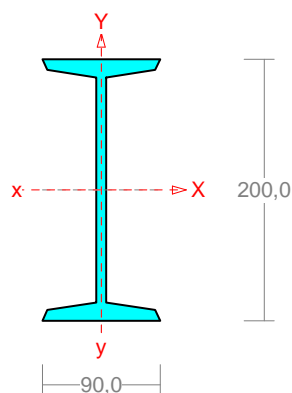
Sprawdzono, czy istniejące belki stropu Kleina są w stanie przenieść powyższe obciążenia dla odnotowanej podczas oględzin i odkrywki rozpiętości oraz przyjętego planowanego obciążenia płyty stropowej tj.  $3\text{kN/m}^2$ .

Do obliczeń przyjęto rozpiętość obliczeniową  $l_0 = l_{rz} + c = 4,56 + 0,3 = 4,86 \text{ m}$ .

Ponadto w dniu wizji lokalnej stwierdzono podział pomieszczenia ściankami działowymi w konstrukcji murowanej, przez co przyjęto obciążenie zastępcze od ścianek działowych. Ze względu na planowane użytkowanie pomieszczeń jako magazynowych do obliczeń przyjęto posadzkę żelbetową, jaka obecnie jest w większości pomieszczeń oraz która generuje większe obciążenia od podłogi drewnianej na płytę stropową, a tym samym belki nośne stropu Kleina.

### **Obliczenia dla belki dwuteownika 200PN stropu obciążonej zarówno ciężarem własnym stropu, jak i obciążeniem użytkowym o wartości $2\text{kN/m}^2$ .**

Przekrój: I 200



Wymiary przekroju:

I 200  $h=200,0$   $g=7,5$   $s=90,0$   $t=11,3$   $r=7,5$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_xg=2140,0$   $J_yg=117,0$   $A=33,50$   $i_x=8,0$   $i_y=1,9$   
 $J_w=10437,8$   $J_t=12,9$   $i_s=8,2$ .

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość  **$f_d=215$  MPa dla  $g=11,3$ .**

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1**.

### **Siły przekrojowe:**

$x_a = 2,430$ ;  $x_b = 2,430$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$$\mathbf{M}_x = -33,8 \text{ kNm}, \quad \mathbf{V}_y = 0,0 \text{ kN}, \quad \mathbf{N} = 0,0 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 158,0 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -158,0 \text{ MPa}$ .

**Naprężenia:**

$x_a = 2,430$ ;  $x_b = 2,430$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 158,0 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -158,0 \text{ MPa}$ .

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = 0,0 \quad \Delta\sigma = 158,0 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 158,0 = 158,0 < 215 \text{ MPa}$$

**Długości wyboczeniowe pręta:**

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 4,860$$
$$l_w = 1,000 \times 4,860 = 4,860 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 4,860$$
$$l_w = 1,000 \times 4,860 = 4,860 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 4,860 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 4,860 \text{ m}$ .

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 2140,0}{4,860^2} 10^{-2} = 1833,1 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 117,0}{4,860^2} 10^{-2} = 100,2 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,2^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 10437,8}{4,860^2} 10^{-2} + 80 \times 12,9 \times 10^2 \right) = 1664,8 \text{ kN}$$

**Zwicherungie:**

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega\omega} = 4860 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 19}{1,000} \times \sqrt{215 / 215} = 655 < 4860 = l_l$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00$  cm. Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00$  cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 0,680$ ,  $A_2 = 0,290$ ,  $B = 0,970$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,680 \times 0,00 + 0,290 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 100,2 + \sqrt{(0,000 \times 100,2)^2 + 0,970^2 \times 0,082^2 \times 100,2 \times 1664,8} = 32,5$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{46,0 / 32,5} = 1,368$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 2,430$ ;  $x_b = 2,430$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 214,0 \times 215 \times 10^{-3} = 46,0 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 1,368$  wynosi  $\varphi_L = 0,495$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{R_x}} = \frac{33,8}{0,495 \times 46,0} = 1,484 > 1$$

### **WARUNEK NISPEŁNIONY**

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,860$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 15,0 \times 215 \times 10^{-1} = 187,0 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 112,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 27,8 < 187,0 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 2,430$ ;  $x_b = 2,430$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 0,0 < 112,2 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 46,0 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R_x, V}} = \frac{33,8}{46,0} = 0,735 < 1$$

**Nośność środka pod obciążeniem skupionym:**

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,860$ .

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 0,0$  mm.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą  $\sigma_c = 0,0$  MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R, W} = c_o t_w \eta_c f_d = 94,0 \times 7,5 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 151,6 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,0 < 151,6 = P_{R, W}$$

**Stan graniczny użytkowania:**

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 19,0 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = l / 250 = 4860 / 250 = 19,4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 19,0 < 19,4 = a_{gr}$$

Na podstawie przeprowadzonych analiz obliczeniowych stwierdza się, że ze względu na stan graniczny użytkowania oraz nośność przekroju na zginanie belki stropu Kleina w części skrzydła zachodniego obciążenia o wielkości 2kN/m<sup>2</sup> nie zostaną przeniesione przez belki stropowe. Wynika to z niespełnionego warunku dla nośności przekroju belki stropu Kleina (dwuteownika normalnego 200) na zginanie. Dlatego też zmniejszono obciążenie użytkowe do 1kN/m<sup>2</sup> oraz przyjęto obciążenie zastępcze od ścianek działowych jako dla ścianek lekkich (np. z płyt gipsowo-kartonowych) równe 0,25kN/m<sup>2</sup>.

**Zestawienie obciążeń i analiza nośności stropu przy ww. obciążeniach.**

Rodzaj obciążenia	Q <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Wsp. obc. f	Q <sub>d</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
Obciążenia stałe g:			
- posadzka betonowa gr. 6cm. 0,06*21	1,26	1,3	1,64

- polepa 0,08*12	0,96	1,2	1,15
- strop Kleina – płyta ceglana typu ciężkiego 216kg/m <sup>2</sup>	2,16	1,1	2,37
- tynk cem-wap 0,02*19	0,38	1,3	0,50
- ścianki działowe lekkie (obc. zastępcze)	0,25	1,2	0,3
Razem obc. stałe g:	5,01	(1,19)	5,96
Obciążenie zmienne q:			
- obciążenie użytkowe (przyjęto 2kN/m <sup>2</sup> )	1,00	1,4	1,4
<b>Razem g+q:</b>	<b>6,01</b>		<b>7,36</b>

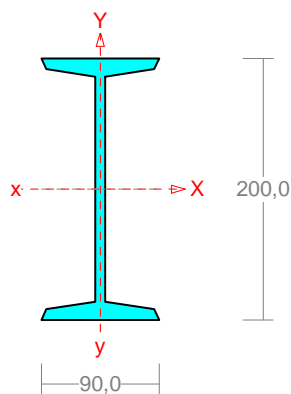
Obciążenie liniowe belek 200PN stropu Kleina bez uwzględnienia ich ciężaru własnego wyliczone dla rozstawu belek  $a = 1,15\text{m}$  (niemalże wszystkie belki są w tym rozstawie).

$$q_k = Q_k * l = 6,01 \text{ kN/m}^2 * 1,15 \text{ m} = 6,91 \text{ kN/m}$$

$$q_d = Q_d * l = 7,36 \text{ kN/m}^2 * 1,15 \text{ m} = 8,46 \text{ kN/m}$$

### **Ponowna analiza możliwości obniżenia stropu obciążeniami zestawionymi powyżej.**

Przekrój: I 200



Wymiary przekroju:

$$I 200 \quad h=200,0 \quad g=7,5 \quad s=90,0 \quad t=11,3 \quad r=7,5.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_xg=2140,0 \quad J_yg=117,0 \quad A=33,50 \quad i_x=8,0 \quad i_y=1,9 \\ J_w=10437,8 \quad J_t=12,9 \quad i_s=8,2.$$

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**  
Wytrzymałość **fd=215 MPa** dla **g=11,3.**

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **1.**

### **Siły przekrojowe:**

$$x_a = 2,430; \quad x_b = 2,430.$$

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$$M_x = -25,0 \text{ kNm}, \quad V_y = 0,0 \text{ kN}, \quad N = 0,0 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 116,7 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -116,7 \text{ MPa}$ .

**Naprężenia:**

$x_a = 2,430$ ;  $x_b = 2,430$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 116,7 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -116,7 \text{ MPa}$ .

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = 0,0 \quad \Delta\sigma = 116,7 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 116,7 = 116,7 < 215 \text{ MPa}$$

**Długości wyboczeniowe pręta:**

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 4,860$$
$$l_w = 1,000 \times 4,860 = 4,860 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 4,860$$
$$l_w = 1,000 \times 4,860 = 4,860 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 4,860 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 4,860 \text{ m}$ .

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 2140,0}{4,860^2} 10^{-2} = 1833,1 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 117,0}{4,860^2} 10^{-2} = 100,2 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,2^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 10437,8}{4,860^2} 10^{-2} + 80 \times 12,9 \times 10^2 \right) = 1664,8 \text{ kN}$$

**Zwicherungie:**

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega\omega} = 4860 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 19}{1,000} \times \sqrt{215 / 215} = 655 < 4860 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwicherungiem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_0 = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka

ścianienia i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00$  cm. Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 0,610$ ,  $A_2 = 0,530$ ,  $B = 1,140$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,610 \times 0,00 + 0,530 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 100,2 + \sqrt{(0,000 \times 100,2)^2 + 1,140^2 \times 0,082^2 \times 100,2 \times 1664,8} = 38,2$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{46,0 / 38,2} = 1,262$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 2,430$ ;  $x_b = 2,430$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 214,0 \times 215 \times 10^{-3} = 46,0 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 1,262$  wynosi  $\varphi_L = 0,563$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{R_x}} = \frac{25,0}{0,563 \times 46,0} = 0,964 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,860$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 15,0 \times 215 \times 10^{-1} = 187,0 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 112,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 20,6 < 112,2 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 2,430$ ;  $x_b = 2,430$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 0,0 < 112,2 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 46,0 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R_x,V}} = \frac{25,0}{46,0} = 0,543 < 1$$

### Nośność środka pod obciążeniem skupionym:



$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 4,860$ .

Przyjęto szerokość rozkładu obciążenia skupionego  $c = 0,0$  mm.

Naprężenia ściskające w środku wynoszą  $\sigma_c = 0,0$  MPa. Współczynnik redukcji nośności wynosi:

$$\eta_c = 1,000$$

Nośność środka na siłę skupioną:

$$P_{R,W} = c_o t_w \eta_c f_d = 94,0 \times 7,5 \times 1,000 \times 215 \times 10^{-3} = 151,6 \text{ kN}$$

Warunek nośności środka:

$$P = 0,0 < 151,6 = P_{R,W}$$

### **Stan graniczny użytkowania:**

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{max} = 14,0 \text{ mm}$$

$$a_{gr} = 1 / 250 = 4860 / 250 = 19,4 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 14,0 < 19,4 = a_{gr}$$

Na podstawie przeprowadzonych analiz obliczeniowych stwierdza się, że ze względu na stan graniczny użytkowania belki stropu Kleina w części skrzydła zachodniego nie mogą być obciążane większymi obciążeniami użytkowymi jak  $1 \text{ kN/m}^2$ , co jest tożsame z tym, iż maksymalne dopuszczalne obciążenia użytkowe w pomieszczeniach na piętrze w skrzydle zachodnim wynoszą  $100 \text{ kg/m}^2$ , jak również zabrania się budowania na stropie innych niż lekkie ścianki działowe np. z płyt g-k. Powyższe wnioski są wynikiem przeprowadzonych analiz obliczeniowych i wynikają głównie z zastosowanych belek stropowych tj. dwuteowników zwykłych 200.

Stwierdzamy, iż dla obciążenia stropów większymi obciążeniami użytkowymi niż dopuszczalne tj.  $1 \text{ kN/m}^2$ , konieczne jest zaprojektowanie i wykonanie stosownych wzmocnień istniejącej konstrukcji stropów.

## **7. WNIOSKI KOŃCOWE I ZALECENIA**

- 1. Na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej wraz z wykonaniem niezbędnych badań i pomiarów w budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości stwierdzono, że konstrukcja stropów nad parterem zarówno w skrzydle zachodnim, jak i w przybudówce po stronie wschodniej skrzydła wschodniego budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości, jest w dobrym stanie technicznym.**
- 2. Na podstawie, przeprowadzanych analiz statycznych (obliczeń) dla konstrukcji stropu nad parterem w miejscu magazynku znajdującego się w przybudówce po stronie wschodniej skrzydła wschodniego X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości stwierdzamy, iż dopuszczalne obciążenia użytkowe mogące występować w tym pomieszczeniu to 5kN/m<sup>2</sup>. Jednakże nie zaleca się obciążania stropu większymi obciążeniami, (choć z na podstawie dokonanych obliczeń można by było je jeszcze zwiększyć), głównie ze względu na czas powstania stropu oraz zastosowane do jego wybudowania materiały.**
- 3. Zaleca się zgodnie z opisem w opracowaniu dla użytkowania pomieszczenia, jako magazynowe dokonania wymiany podłogi drewnianej wraz z częścią polepy na posadzkę betonową zbrojoną siatką stalową Ø8mm o oczkach 15x15cm, co pozwoli na odpowiednie rozłożenie obciążeń użytkowych i przeniesienie ich bezpośrednio na belki przedmiotowego stropu Kleina.**
- 4. Na podstawie przeprowadzonych analiz obliczeniowych stwierdza się, że ze względu na stan graniczny użytkowania belki stropu Kleina w części skrzydła zachodniego X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości nie mogą być obciążane większymi obciążeniami użytkowymi niż 1kN/m<sup>2</sup>, co jest tożsame z tym, iż maksymalne**

dopuszczalne obciążenia użytkowe w pomieszczeniach na piętrze w skrzydle zachodnim wynoszą 100kg/m<sup>2</sup>. Dodatkowo należy nie budować na stropie ścianek działowych innych niż ścianki lekkie np. z płyt gipsowo-kartonowych.

5. Zaleca się w jednym pomieszczeniu zlokalizowanym w skrzydle zachodnim w przypadku chęci jego adaptacji na pomieszczenie magazynowe dostosowanie elementów wykończenia podłogi i stropu do wymogów dla tego typu pomieszczenia.
6. Stwierdzamy, że w przypadku chęci obciążenia stropu Kleina w części skrzydła zachodniego X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości większymi obciążeniami użytkowymi niż dopuszczalne tj. 1kN/m<sup>2</sup>, konieczne jest zaprojektowanie i wykonanie stosownych wzmocnień istniejącej konstrukcji stropów Kleina.
7. Informacje zawarte w ocenie technicznej poszczególnych elementów konstrukcyjnych stropów nad parterem budynku X Pawilonu Cytadeli Warszawskiej oddziału Muzeum Niepodległości, dotyczy stanu elementów obiektu, jaki istniał w dniu przeprowadzonej wizji lokalnej, badań i pomiarów, tj. w dniu 02.06.2015r.
8. Rzeczoznawca nie ponosi odpowiedzialności za ewentualne błędne lub niepełne informacje i dokumenty podane przez udostępniających dokumenty, np. przez zatajenie istotnych faktów i dokumentów, a których nie można było ustalić bez uszkodzenia konstrukcji, a tym samym stworzenia zagrożenia bezpieczeństwa zdrowia i życia użytkowników obiektu oraz środowiska.