

dr inż. Stanisław Karczmarczyk  
mobil +48 603 642 650  
e-mail: skarczmarczyk1@poczta.onet.pl

dr inż. Wiesław Bereza  
mobil +48 501 580 345  
e-mail: wieslaw.bereza@oepk.pl

**K B - PROJEKTY KONSTRUKCYJNE**

spółka z ograniczoną odpowiedzialnością  
30-010 Kraków, Łokietka 8C/70

tel. / fax. +48 (12) 4310449

NIP 945-208-10-59

---

## **Ekspertyza stanu technicznego**

Zachowania oraz nośności drewnianych belek stropowych w szatni  
przy Sali Senackiej Budynku Głównego Uniwersytetu Ekonomicznego  
w Krakowie

**Inwestor:**

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie  
ul. Rakowicka 27  
31-510 Kraków

**Opracował:**

dr inż. Stanisław Karczmarczyk  
upr nr 224/69

mgr inż. Mirosław Bielecki  
upr nr MAP/0071/POOK/11

**Współpraca:**

inż. Tomasz Skowronek

Kraków, 2017-06-28

## Spis zawartości opracowania

1. Przedmiot, cel i zakres opracowania	3
2. Podstawa opracowania	4
3. Opis stanu zachowania budynku	5
3.1. Opis ogólny budynku	5
3.2. Opis stanu zachowania analizowanych elementów konstrukcyjnych	6
3.3. Ocena stanu zachowania drewnianych elementów stropu i więźby w obrębie pomieszczenia szatni.	8
4. Program przeprowadzonych badań	10
5. Opis i analiza wyników badań	11
5.1. Analiza zapisów oporu wiercenia urządzeniem typu RESI.	11
6. Wnioski i zalecenia	16
6.1. Wnioski	16
6.2. Zalecenia	17
7. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe	18
<u>Poz. 1.1. Krokwie drewniane:</u>	18
<u>Poz. 1.2. Wieszaki drewniane:</u>	30
<u>Poz. 1.3. Zastrzały drewniane:</u>	32
<u>Poz. 1.4. Miecze:</u>	33
<u>Poz. 1.5. Tramy poprzeczne:</u>	34
<u>Poz. 1.6. Tram podłużny:</u>	37
<u>Poz. 2.1. Belki stropowe:</u>	39
<u>Poz. 3.1. Cięgna stalowe - podwieszenie belek stropowych:</u>	41
<u>Poz. 4.1. Wzmocnienie krokwi drewnianych 8x15cm:</u>	42
8. Dokumentacja fotograficzna	43
9. Dokumentacja rysunkowa	50

## **1. Przedmiot, cel i zakres opracowania**

Przedmiotem opracowania jest ocena stanu technicznego drewnianej więźby dachowej oraz podwieszonego do tej więźby drewnianego stropu zlokalizowanego nad pomieszczeniami szatni Sali senackiej Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. W opracowaniu ujęto również analizę przyczyn uszkodzeń wraz z programem proponowanych prac zabezpieczających.

Informację zawierającą ocenę stanu zachowania analizowanych elementów drewnianego stropu i zespolonej ze stropem więźby dachu sformułowano na podstawie przeprowadzonego przeglądu oraz na podstawie pomiarów inwentaryzacyjnych połączonych ze specjalistycznymi badaniami struktury drewna.

Celem opracowania jest systematyka i analiza uszkodzeń budynku, przedstawienie opinii na temat stanu technicznego budynku w zakresie nośności i stabilności układu konstrukcji nośnej stropu i więźby dachowej, przyczyn degradacji stanu technicznego oraz zaproponowanie programu prac zabezpieczających bądź rekonstrukcyjnych zapewniających wymaganą trwałość i bezpieczeństwo.

Do opracowania dołączono dokumentację fotograficzną stanu istniejącego, co ułatwi w przyszłości ocenę skali zmian.

## 2. Podstawa opracowania

Formalne i merytoryczne podstawy opracowania:

- Zlecenie Działu Inwestycji i Remontów Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie na wykonanie ekspertyzy stanu technicznego,
- Przeglądy objętych oceną elementów budowlano-konstrukcyjnych przeprowadzone przez autorów opracowania,
- Normy obciążenia budowli oraz normy projektowania konstrukcji stalowych, żelbetowych, murowych i drewnianych, a w szczególności:

PN—EN 1990-2004	Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji,
PN—EN 1991-1-1:2002	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne, Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach,
PN—EN 1991-1-2:2002	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-2: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru,
PN—EN 1991-1-3:2003	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-3: Oddziaływania ogólne, Obciążenie śniegiem,
PN—EN 1991-1-4:2005	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-4: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania wiatru,
PN—EN 1991-1-7:2006	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-7: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania wyjątkowe,
PN-90/B-03000	Projekty budowlane. Obliczenia statyczne.
PN-82/B-02001	Obciążenia stałe.
PN-77/B-02011	Obciążenie wiatrem.
PN-80/B-02010	Obciążenie śniegiem
PN-B-03002:1999	Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczenia (z późniejszymi zmianami Ap1:2001, Az1:2001)

- Literatura przedmiotu oraz tablice projektowe:

W Starosolski *Konstrukcje żelbetowe tom 1, 2, 3* PWN 2003  
Z. Wiłun *Zarys geotechniki* Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, 2000,  
ST. Hajdasz *Sposoby ustalenia zużycia technicznego budynków i budowli*, Promiks, 1991 r,  
J. Hadyna *Utrzymanie obiektów budowlanych – materiały MOIIB – Kraków*, 2005,  
M. Thullie *Podręcznik statyki budowli – Lwów 1902* z archiwalnymi tablicami zawierającymi charakterystyki geometryczne profili stalowych.

### **3. Opis stanu zachowania budynku**

#### **3.1. Opis ogólny budynku**

Budynek Główny Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie zlokalizowany przy ulicy Rakowickiej 27 jest obiektem pełniącym aktualnie funkcję budynku użyteczności publicznej. Przedmiotowa szatnia Sali Senackiej zlokalizowana jest pomiędzy Budynkiem Głównym oraz помещением Sali Senackiej.

Pomieszczenie szatni Sali Senackiej posiada rzut zbliżony do prostokąta o wymiarach 7,20x9,2m. Rzut pomieszczenia szatni uformowanej w postaci łączników jest symetryczny, posiada jedną kondygnację nadziemną i jest niepodpiwniczony. Przekryty jest dachem dwuspadowym krytym dachówką ceramiczną - zakładkową.

Konstrukcję nośną budynku stanowi układ podłużnych ścian zewnętrznych murowanych z cegły pełnej na zaprawie wapiennej. Stropy przedmiotowego łącznika uformowano w postaci nagiego stropu drewnianego. Strop ten oparto na ścianach zewnętrznych murowanych. Dodatkowo belki stropowe zostały podwieszone przy użyciu prętów stalowych o średnicy  $d = 16\text{mm}$  do poprzecznej płatwi. Lokalnie belki stropowe zostały doraźnie podparte przy użyciu drewnianych stempli opartych bezpośrednio na warstwach wykończeniowych posadzki.

Więźba dachowa została wykonana jako konstrukcja drewniana wieszarowo-rozporowa. Składa się z trzech wiązarów pełnych. Wiązary są oparte o ściany murowane. W układzie więźby dachowej widoczne są ślady przeprowadzonych napraw. Pokrycie oraz część krokwi dachowych została wymieniona.

### 3.2. Opis stanu zachowania analizowanych elementów konstrukcyjnych

Budynek pełniący funkcję szatni Sali Senackiej Uniwersytetu Ekonomicznego zlokalizowany przy ulicy Rakowickiej 27 w Krakowie jest obiektem użytkowanym do tej pory w sposób ciągły.

#### Opis umownie wyodrębnionych elementów budowlano-konstrukcyjnych.

##### a) Pokrycie

Pokrycie dachu budynku szatni Sali senackiej Uniwersytetu Ekonomicznego zlokalizowanego przy ulicy Rakowickiej 27 w Krakowie wykonano w postaci dachówki ceramicznej zakładkowej ułożonej na łątach. Łaty nie wykazują nadmiernych ugięć, brak jest również oznak świadczących o aktywnych nieszczelnościach pokrycia.

Widoczne są ślady prac mających na celu usunięcie zaszyłych nieszczelności. Wymieniono pokrycie dachowe z dachówki ceramicznej zastosowano folię paroprzepuszczalną oraz wymieniono elementy obróbek blacharskich.

Istniejący układ rur spustowych działa należycie, nie stwierdzono niesprawności w postaci widocznych nieszczelności bądź zacieków na powierzchniach ścian zewnętrznych.

##### b) Więźba dachowa

Więzbę dachu budynku w obrębie rzutu szatni wykonano jako układ nośny złożony z elementów o jednolitych wymiarach przekroju. Ustrój nośny więźby wykonano jako układ wieszarowo – rozporowy. Dodatkowo do układu więźby dachowej podwieszony został drewniany strop belkowy nagi. Do podłużnej płatw podwieszono przy użyciu prętów stalowych wszystkie belki stropowe. Szczegółowy układ więźby dachowej wraz z określeniem wymiarów przekroji zamieszczono w części rysunkowej.

Konsekwencją występujących w przeszłości nieszczelności pokrycia i obróbek blacharskich widoczne są obecnie ślady po cyklicznych zawilgoceniach na elementach drewnianych. Wpływ tego zjawiska jest szczególnie zauważalny w postaci przebarwień na poszczególnych elementach więźby. Szczególnie widoczne jest to w obrębie gniazd tramów i elementów oparcia więźby dachowej na murze (murlaty). Lokalnie na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono korozję biologiczną części tramów w strefie ich oparcia na ścianie murowanej. Widoczne są również ślady wykonanej wymiany części krokwi drewnianych.

W okresie przeglądu więźby nie zaobserwowano jednak śladów aktywnych przecieków, potwierdzających nieszczelność pokrycia. Nie stwierdzono również występowania uszkodzeń powierzchniowych oraz ubytków pokrycia dachowego.

W licznych miejscach zaobserwowano naturalne spękania drewna więźby o zróżnicowanym zasięgu. Pęknięcia te mają w przeważającej

większości charakter powierzchniowy i nie sięgają głęboko w przekrój poprzeczny elementów więźby. W kilkunastu miejscach zaobserwowano głębsze naturalne spękania wzdłużne, jednak na żadnym odcinku nie obejmują szczelinami całego przekroju. We wszystkich zaobserwowanych przypadkach były to pęknięcia sięgające nie głębiej niż na kilka centymetrów. Zasięg tej formy uszkodzeń obejmował w przeważającej większości całą długość elementów drewnianych.

### c) Stropy

Strop szatni nad parterem wykonano jako strop belkowy drewniany, nagi. Nad belkami stropowymi wykonane zostało deskowanie pełne. Na deskowaniu ułożono warstwę izolacji termicznej w postaci filcu o grubości około 7 cm, na którym zalega niewielka warstwa gruzu i innych pozostałości po pracach związanych z wymianą pokrycia dachu. Część belek stropowych została doraźnie dodatkowo podparta drewnianymi stemplami opartymi na warstwach posadzkowych. Związane jest to z zaawansowaną korozją belek w strefie oparcia belek na zewnętrznej ścianie murowanej.

Potwierdzeniem rozległych uszkodzeń korozyjnych są deformacje belek nośnych stropu. Deformacje wskazują na trwałą utratę wytrzymałości giętej przekrojów belek nośnych.

Przeprowadzone badania rezystograficzne belek drewnianych wykazały, iż część belek w strefie oparcia jest całkowicie skorodowana. W sytuacji tej belki stropowe pozbawiane są oparcia na ścianie, co stwarza możliwość ich awarii.

W obrębie belek drewnianych zaobserwowano naturalne spękania belek o zróżnicowanym zasięgu. Pęknięcia te mają w przeważającej większości charakter powierzchniowy i nie sięgają głęboko w przekrój poprzeczny belek. W czasie wizyty lokalnej na opisywanym stropie nie zauważono obecności śladów porażenia drewnojadami.

### **3.3. Ocena stanu zachowania drewnianych elementów stropu i więźby w obrębie pomieszczenia szatni.**

Ogólny stan techniczny drewnianego stropu nad parterem szatni Sali Senackiej Uniwersytetu Ekonomicznego przy ul. Rakowickiej 27 w Krakowie można ocenić jako awaryjny. Oznacza to duże narastające prawdopodobieństwo wystąpienia katastrofy budowlanej oraz narzuca konieczność natychmiastowego podjęcia prac naprawczych i zabezpieczających.

#### **a) Pokrycie, obróbka blacharska**

Pokrycie dachu budynku wykonane z dachówki ceramicznej układanej na ażurowym układzie łat jest w stanie zadowalającym. Nie ma widocznych ubytków dachówki. Łaty nie wykazują nadmiernych ugięć, jednak są na nich widoczne ślady wcześniejszych zacieków, przebarwień i oznaki korozji biologicznej. Opisane ślady świadczą o nieszczelnościach jakie miały miejsce w przeszłości. Przeprowadzone prace remontowe mające na celu wymianę/uzupełnienie obróbek blacharskich oraz zabezpieczenia korony ściany szczytowej zostały wykonane w sposób poprawny.

Istniejący układ rur spustowych działa sprawnie, nie stwierdzono widocznych nieszczelności bądź zacieków na ścianach elewacyjnych.

Podsumowując należy stwierdzić, że pokrycie budynku znajduje się w zadowalającym stanie technicznym.

#### **b) Więźba dachowa**

Konsekwencją występujących w przeszłości nieszczelności pokrycia i obróbek blacharskich są widoczne ślady po zawilgoceniu na elementach drewnianych. Wpływ tego zjawiska jest szczególnie zauważalny w postaci przebarwień na elementach więźby dachowej. W dniu przeprowadzonych oględzin nie zaobserwowano jednak śladów aktywnych przecieków wody opadowej. Nie stwierdzono również występowania uszkodzeń powierzchniowych oraz ubytków pokrycia dachowego.

Badania rezystograficzne oraz makroskopowa ocena poszczególnych elementów więźby dachowej wykazała w obrębie strefy oparcia na ścianie murowanej drewnianych tramów oraz murlat wykazujących zaawansowaną korozję biologiczną. Elementy te w strefie oparcia są skorodowane w całym przekroju. Dotyczy to tramu usytuowanego od strony Sali Senackiej, gdzie w obu gniazdach stwierdzono ślady całkowitej korozji oraz środkowego tramu, w którym uszkodzona jest wyłączenie strefa oparcia znajdująca się nad korytarzem szatni. Konieczna jest wymiana tych elementów.

Widoczne są ślady wykonanych w przeszłości wzmocnień bądź wymiany poszczególnych elementów. W trakcie prac związanych z wymianą pokrycia dachowego została wymieniona część krokwi dachowych. Zastosowano wtedy krokwie o mniejszym przekroju w



stosunku do pierwotnych. Przeprowadzona analiza statyczno-wytrzymałościowa wykazała, iż te krokwie nie spełniają warunków stanu granicznego nośności.

W procesie korozji drewna biorą udział w dużym stopniu czynniki fizyczne, związane z wpływem warunków atmosferycznych. Pęcznienie i skurcz, wynikające ze zmian wilgotności drewna, powodują odkształcanie się i pękanie drewna wzdłuż włókien. W licznych miejscach zaobserwowano spękania drewna więźby o zróżnicowanym zasięgu. Pęknięcia te mają w przeważającej większości charakter powierzchniowy i nie sięgają głęboko w przekrój poprzeczny elementów więźby. W kilkunastu miejscach zaobserwowano głębsze spękania wzdłużne, jednak na żadnym odcinku nie obejmują szczelinami całego przekroju poprzecznego. Pęknięć wskrośnych należy się obawiać, ponieważ przy bardzo określonych warunkach obciążenia mogą osłabić sztywność elementów konstrukcji. We wszystkich zaobserwowanych przypadkach były to pęknięcia sięgające nie głębiej niż na kilka centymetrów. Zasięg uszkodzenia obejmował w przeważającej większości całą długość elementu. Pęknięcia takie oprócz aspektu wizualnego i ewentualnego wpływu na spadek nośności konstrukcji, stanowią przede wszystkim otwartą drogę do wnikania w głąb drewna zarodników grzybn i owadów. Równocześnie należy uwzględnić redukcję sztywności giętnej spękanych elementów. Redukcja jest proporcjonalna w strefie do wielkości względnej głębokości pęknięcia.

Ogólny stan więźby dachowej należy ocenić jako niezadowalający, a w strefie oparcia tramów określany jest jako awaryjny. Należy podjąć prace mające na celu wzmocnienie, uzupełnienie bądź wymianę elementów konstrukcji.

### c) Stropy

Strop nad parterem w zakresie nośnych drewnianych belek stropowych w części pomieszczeń przyległych do Sali Senackiej wykazuje oznaki zaawansowanej korozji biologicznej. Strefą szczególnie dotkniętą zjawiskami korozyjnymi są odcinki oparcia belek stropowych w gniazdach. Dotyczy to czterech belek drewnianych usytuowanych od strony Sali Senackiej. W pozostałej części belki stropowej nie wykazują oznak świadczących o jego nieprawidłowej pracy oraz nie wykazuje nadmiernych ugięć bądź oznak porażenia grzybami lub drewnojadami. Zaobserwowano lokalnie niewielkie spękania belek o zróżnicowanym zasięgu ich długości i głębokości. Pęknięcia te mają w przeważającej większości charakter powierzchniowy i nie sięgają głęboko w przekrój poprzeczny belek. Ze względu na ich charakter oprócz aspektu wizualnego nie mają wpływu na nośność w zakresie stanów ich użytkowości.

Przeprowadzona analiza statyczno-wytrzymałościowa stropu wykazała, że spełnione są warunki stanu granicznego nośności i użytkowania dla nieuszkodzonych przez korozję belek drewnianych.

Z uwagi na zaawansowaną korozję belek drewnianych w obrębie oparcia na ścianach murowanych, a więc w strefach przypodporowych stan techniczny stropu określany jest jako awaryjny.

#### **4. Program przeprowadzonych badań**

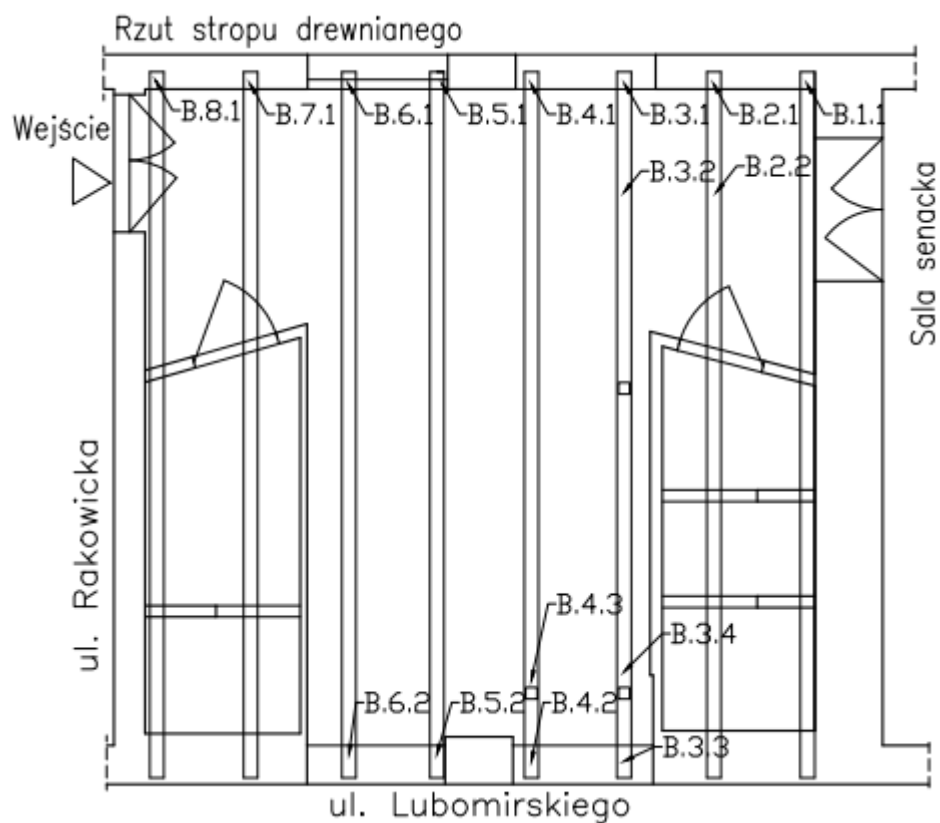
W celu określenia stanu technicznego belek drewnianych stropu oraz konstrukcji więźby dachowej przy ul. Rakowickiej 27 w Krakowie jak również przydatności istniejącej struktury budowlano-konstrukcyjnej do dalszego użytkowania zrealizowano w kolejności następujący program badań i prac rozpoznawczych:

- Wykonano inwentaryzację konstrukcyjną obiektów, przeprowadzono ich przeglądy w celu określenia ich ogólnego stanu technicznego oraz wytypowania miejsc do przeprowadzenia kolejnych szczegółowych badań.
- Przeprowadzono oceny drewnianych elementów więźby i ich połączeń.
- Przeprowadzono badania quasi-nieniszczące weryfikujące stan techniczny i budowę drewna w obrębie więźby za pomocą rezystografu, mierzącego oporność wiercenia. Badania wykonano urządzeniem typu IML RESI. Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów określających opór na głębokości skrawania odwiertu.

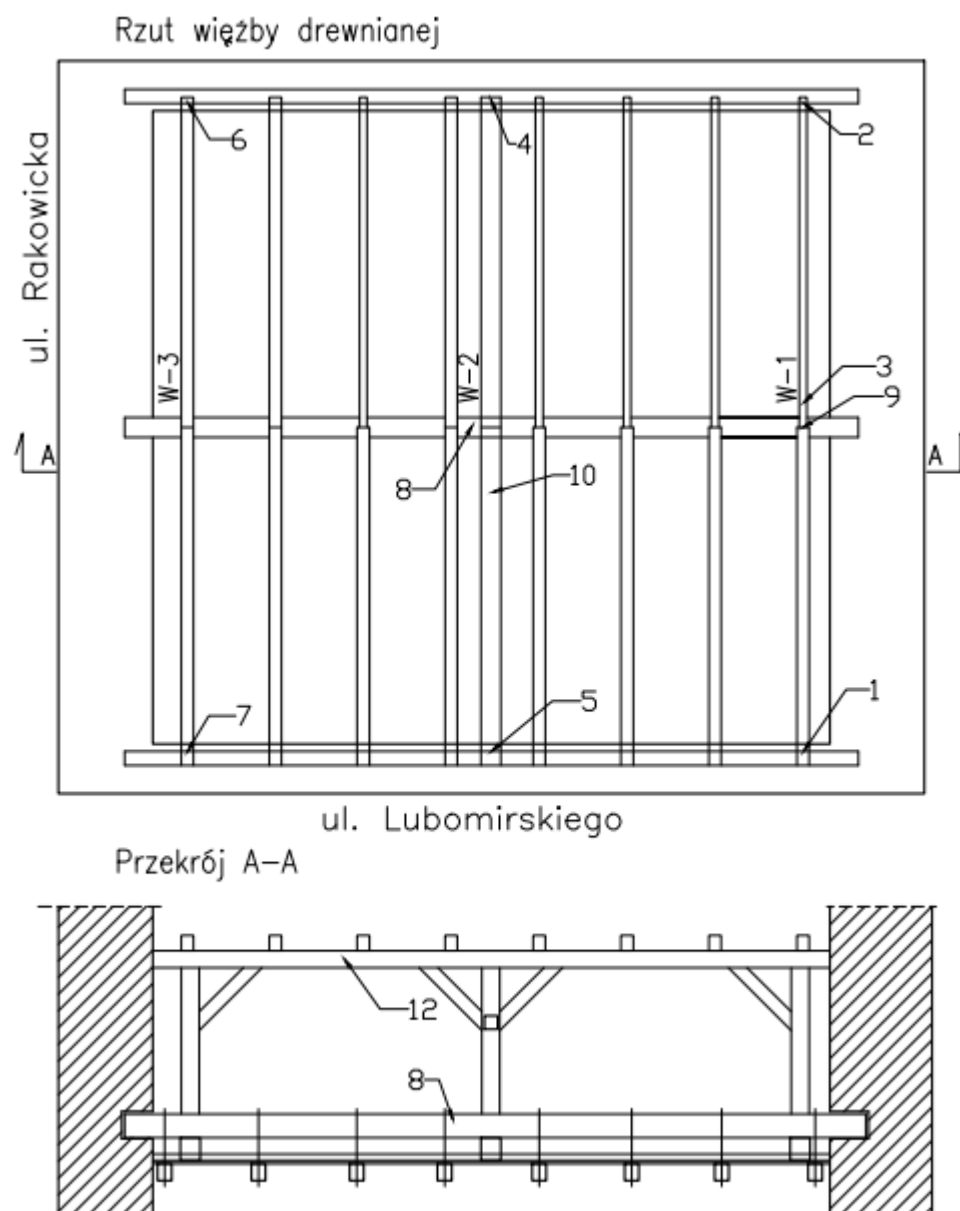
## 5. Opis i analiza wyników badań

### 5.1. Analiza zapisów oporu wiercenia urządzeniem typu RESI.

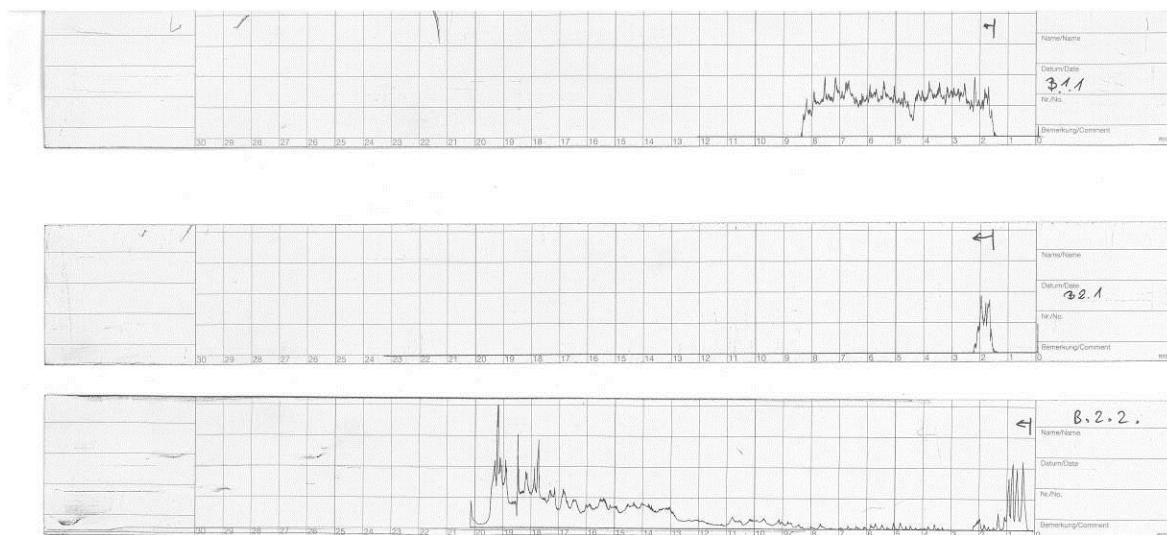
Zapisy oporu wiercenia urządzeniem typu RESI zrealizowane w wytypowanych elementach konstrukcyjnych opiniowanego budynku odwzorowują spadki wytrzymałości drewna spowodowanego korozją biologiczną.



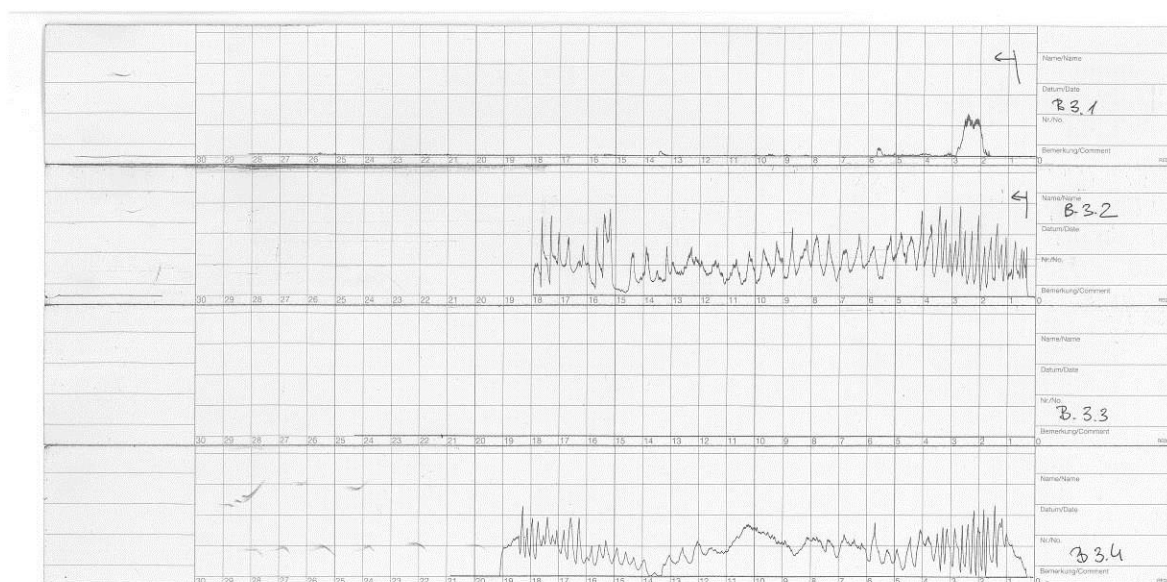
Lokalizacje wiercenia urządzeniem typu RESI w elementach stropu drewnianego.



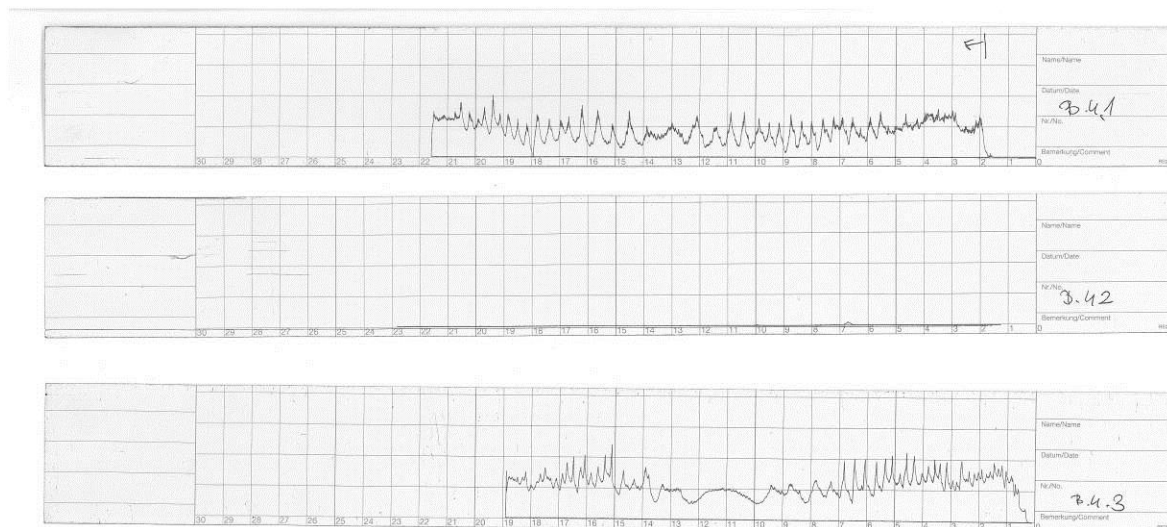
Lokalizację punktów wiercenia urządzeniem typu RESI w elementach więźby dachowej.



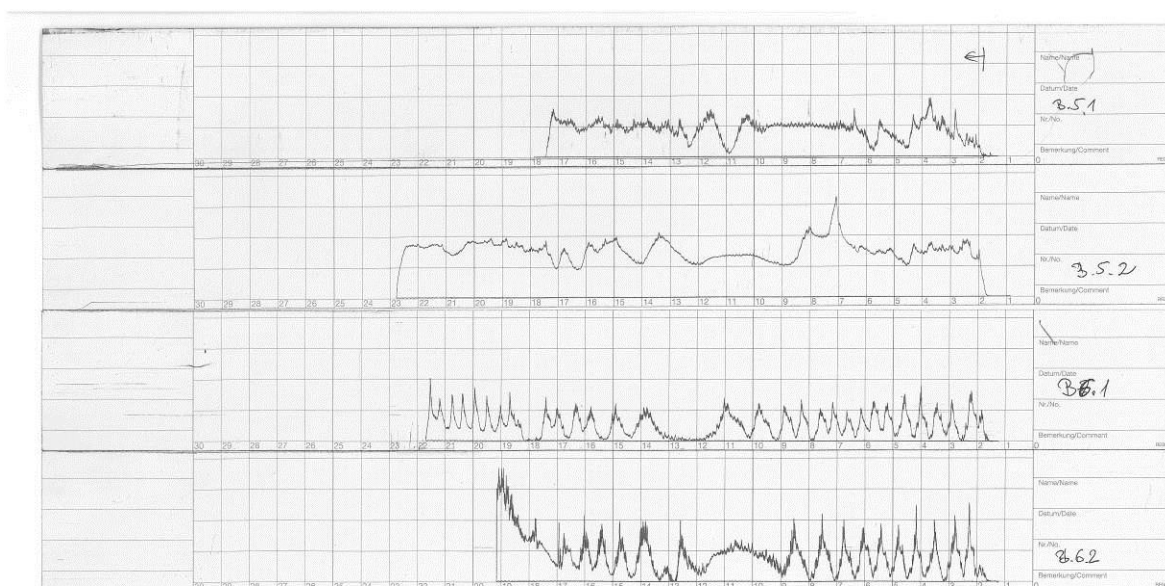
Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Belki stropowe B-1 i B-2.



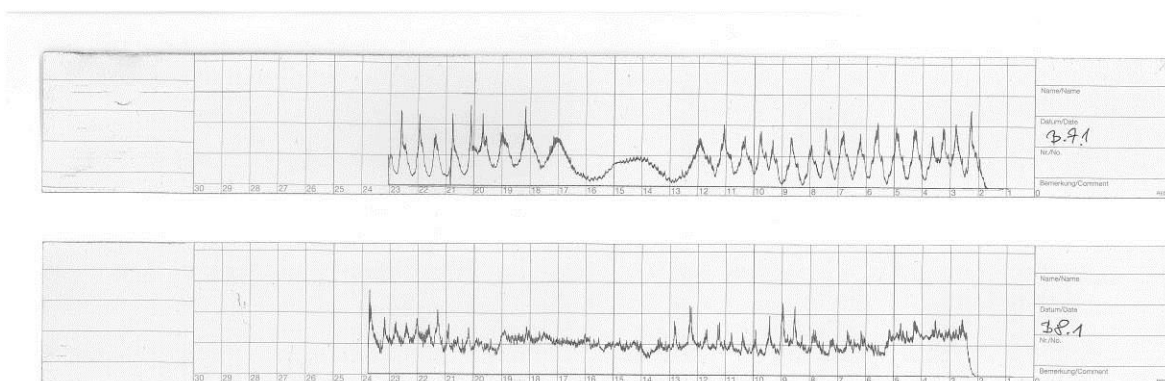
Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Belka stropowa B-3.



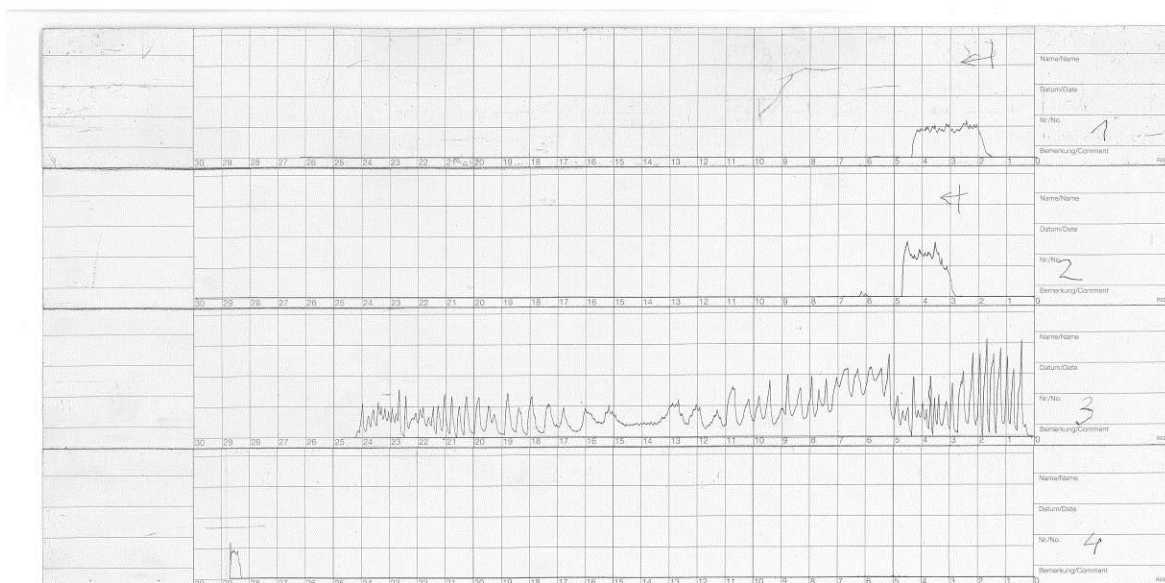
Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Belka stropowa B-4.



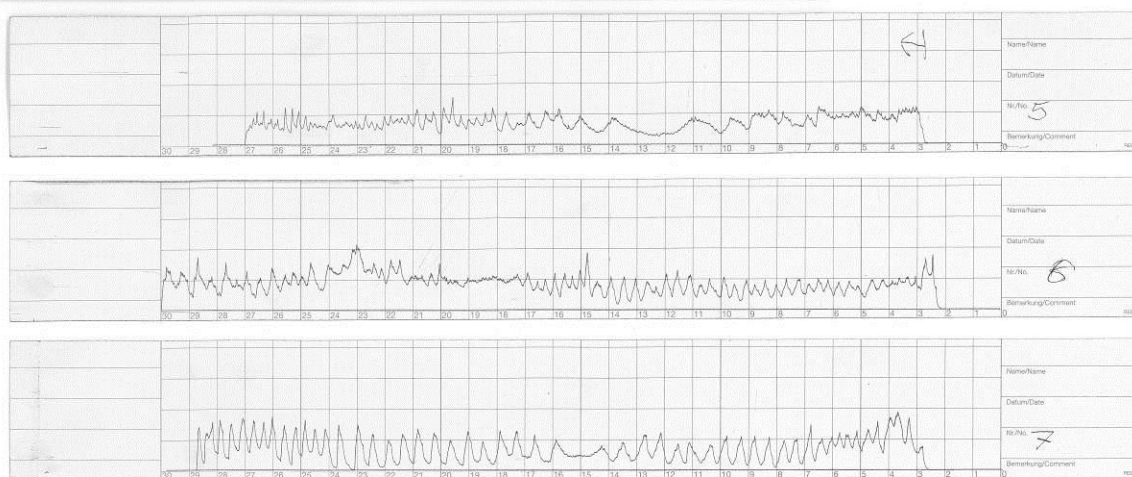
Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Belki stropowe B-5 i B-6.



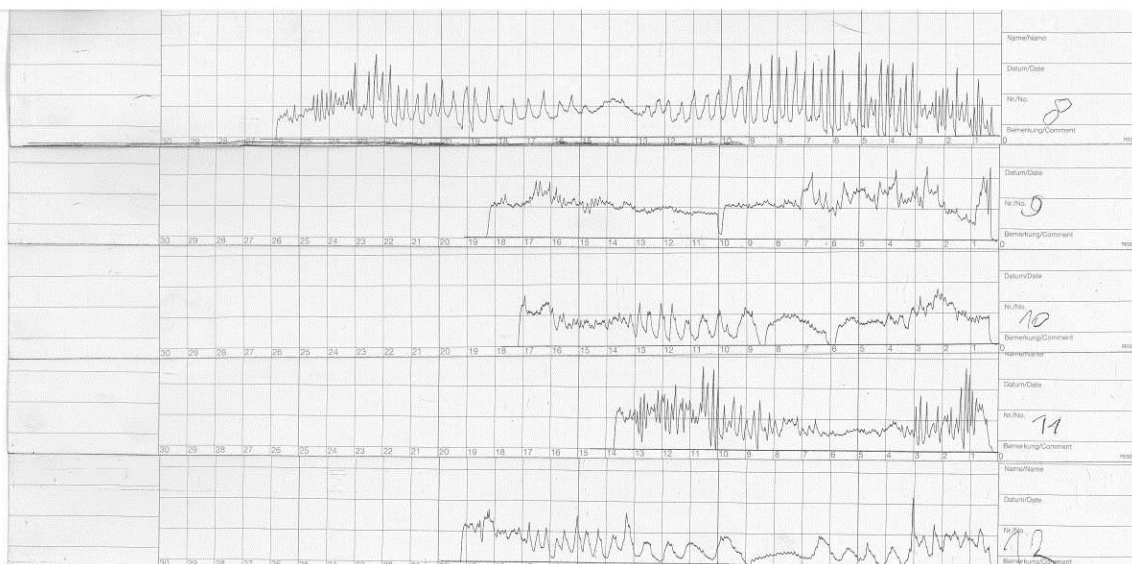
Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Belki stropowe B-7 i B-8.



Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Więźba dachowa. Tramy(1,2,3-w więźzarze W-1; 4-w więźzarze W-2).



Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Więźba dachowa. Tramy(5-w wiązarze W-2; 6,7-w wiązarze W-3).



Wyniki badań urządzeniem typu RESI. Więźba dachowa. (8-tram podłużny; 9-wieszak w wiązarze W-1; 10-zastrzał w wiązarze W-2; 11-krokiew; 12-platew kalenicowa).

Z uwagi na brak dostępu nie przeprowadzono badań elementów drewnianych nad pomieszczeniami łazienek. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono klasę wytrzymałościową drewna iglastego jako odpowiadającą klasie C24 dla belek stropowych i dla elementów więźby dachowej. Badania rezystograficzne wykazały strukturalną degradację drewna w strefie oparcia belek stropowych (badania B.1.1, B.2.1, B.3.1, B.3.3 i B.4.2) i tramów więźby dachowej (badania 1,2 oraz 4). Zasięg obniżenia własności struktury drewna obserwowano na odcinkach do 0,8 m od lica ścian, na których oparto elementy. Uszkodzenia są konsekwencją korozji biologicznej elementów. Poza tymi miejscami ogólny stan zachowania drewna jest zadowalający. Wyniki wskazują, iż część elementów drewnianych stropu, ze względu na zupełną degradację ich właściwości w miejscach oparcia, nie może być zakwalifikowana jako elementy konstrukcyjne. Natomiast elementy więźby dachowej, poza tramami w strefie oparcia, wykazują dobry stan zachowania cech wytrzymałościowych.

## 6. Wnioski i zalecenia

Przeprowadzony przegląd i ocena stanu technicznego stropu drewnianego oraz więźby drewnianej budynku szatni Sali Senackiej Uniwersytetu Ekonomicznego przy ul. Rakowickiej w Krakowie, jak również przeglądy obiektu wzbogacone badaniami dają podstawę do sformułowania następujących ocen, wniosków i zaleceń:

### 6.1. Wnioski

Budynek w formie łącznika między frontowym budynkiem Uniwersytetu Ekonomicznego i Sala senacką wykazuje na ogół zadowalający stan zachowania poza konstrukcją nagiego drewnianego stropu. Belki nośne tego stropu wykazują rozległe uszkodzenia korozyjne spowodowane prażeniami przez grzyby. Strefy przypodporowe części drewnianych belek nośnych uległy nieodwracalnej destrukcji w następstwie brunatnego rozkładu przez grzyby domowe. Spowodowało to utratę wytrzymałości belek nośnych. Następstwem utraty wytrzymałości są odkształcenia tych belek sygnalizujące zagrożenie awarią stropu. Gdyby belki były zabudowane tynkowanym sufitem a ich narastająca deformacje nie były widoczne awaria stropu mogłaby nastąpić w sposób niesygnalizowany.

Przeprowadzone badania i analiza obliczeniowa drewnianego stropu i więźby dachu dają podstawę do sformułowania następujących wniosków:

- a) Belki nośne drewnianego stropu nad pomieszczeniem szatni przy Sali senackiej UE wykazują na odcinkach przypodporowych oznaki całkowitej utraty cech wytrzymałościowych w następstwie rozkładu brunatnego spowodowanego przez grzyba domowego. Proces rozkładu został zainicjowany w okresie kiedy występowały cykliczne przecieki z pokrycia dachu. Wynika stąd, że w momencie wymiany pokrycia przeoczone zostały oznaki zagrożenia belek stropu korozją biologiczną.
- b) Przekrój belek nośnych stropu nad szatnią został najprawdopodobniej dobrany w oparciu o kryterium estetyczne. Stąd też wystąpiła konieczność ich podwieszenia do konstrukcji więźby. Przeprowadzona analiza obliczeniowa więźby wykazała niedobory nośności tych przekrojów krokwi, które zostały wymienione na etapie ostatniego remontu połączonego z wymianą pokrycia dachu.
- c) W ramach programu zabezpieczeń należy wymienić istniejące belki na nowe z drewna litego (np. sosnowego) o identycznym uformowaniu przekroju poprzecznego.
- d) Elementy drewnianej więźby i drewnianego stropu nie wykazują oznak impregnacji środkami ochrony przed korozją biologiczną i przed pożarem. Należy w ramach wnioskowanego remontu uwzględnić zabieg impregnacji z uwzględnieniem obecnej oferty środków ochronnych. Należy wykluczyć stosowanie środków solnych.
- e) W ramach wnioskowanej modernizacji i remontu zabezpieczającego należy wymienić ocieplenie stropu. Należy stosować ocieplenie z wełny mineralnej z ochroną zewnętrzną powierzchni przed zapylaniem przy pomocy folii paroprzepuszczalnej.
- f) Elementy więźby wykazujące obliczeniowe braki nośności należy wzmocnić przykładkami z drewna iglastego, klasy C27 (świerk, jodła lub sosna).



## **6.2. Zalecenia**

Prace remontowo- zabezpieczające w budynku szatni Sali Senackiej Uniwersytetu Ekonomicznego przy ul. Rakowickiej 27 w Krakowie należy prowadzić jako prace skoordynowane dla całego obiektu w oparciu o ustalony program prac zabezpieczających obejmujących:

- wymianę uszkodzonych korozyjnie elementów drewnianej więźby dachowej oraz oczyszczenie i zabezpieczenie drewna więźby środkami impregnacji przeciwkorozyjnej i przeciwpożarowej; ( np. Remmers Brandschutz lub równorzędnych o zbliżonych parametrach do klasy odporności ogniowej niepalnej )
- wymianę skorodowanych elementów drewnianego stropu oraz oczyszczenie i zabezpieczenie belek stropu i drewnianego sufitu środkami impregnacji przeciwkorozyjnej i przeciwpożarowej; ( np. Remmers Brandschutz lub równorzędnych o zbliżonych parametrach do klasy odporności ogniowej niepalnej)
- wzmocnienie elementów krokwi wykazujących niedobory nośności przez zastosowanie przykładek z drewna iglastego,
- wymianę istniejącej warstwy polepy stanowiącej ocieplenie stropu na materiał o lepszych właściwościach izolacyjnych i mniejszych ciężarze objętościowym (np. wełną mineralną),
- z uwagi na wysokie zagrożenie awarią uszkodzonych przez brunatny rozkład drewna belek stropowych i części elementów więźby należy zalecane prace wykonać w pilnym trybie.

## 7. Obliczenia statyczno-wytrzymałościowe

### Poz. 1.1. Krokwie drewniane:

Nachylenie połaci dachu:

$$\alpha = 28^\circ$$

#### Zestawienie obciążeń dla dachu (wg PN-EN 1991-1-1):

dachówka ceramiczna				0,500	x	1,35	0,675	
łaty	4x5 cm	0,010	x	4,5	0,045	x	1,35	0,061
deskowanie pełne	3,2 cm	0,032	x	4,5	0,144	x	1,35	0,194
krokwie	ciężar uwzgl. w modelu konstrukcji							
							<b>0,689</b>	<b>0,930 kN/m2</b>
obciążenie użytkowe								
dach kat. H				0,400	x	1,50	0,600	<b>kN/m2</b>

#### Zestawienie obciążeń dla stropu (wg PN-EN 1991-1-1):

polepa z gruzem	3,0 cm	0,030	x	12,0	0,360	x	1,35	0,486
filc	4,0 cm	0,040	x	5,0	0,200	x	1,35	0,270
deskowanie pełne	3,2 cm	0,032	x	4,5	0,144	x	1,35	0,194
belki	ciężar uwzgl. w modelu konstrukcji							
							<b>0,704</b>	<b>0,950 kN/m2</b>
obciążenie użytkowe								
dach kat. H				0,400	x	1,50		<b>0,600 kN/m2</b>

Obciążenie śniegiem (wg PN-EN 1991-1-3):

Lokalizacja budynku: **Kraków**

Strefa obciążenia śniegiem [Tab. NB.1]:

**3**

Wysokość nad poziomem morza:

**A = 212** m.n.p.m

Kąt nachylenia połaci dachowej

**$\alpha_1 = 28$**  °

**$\alpha_1 = 62,22$**  %

Rodzaj warunków terenowych [Tab. 5.1]:

**Normalny**

Obciążenie śniegiem dachów w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

**$s_k = 1,20$**  kN/m<sup>2</sup> - wartość charakter. obciążenia śniegiem gruntu [Tab. NB.1]

**$C_t = 1,00$**  - współczynnik termiczny [pkt. 5.2 (8)]

**$C_e = 1,00$**  - współczynnik ekspozycji [Tab. 5.1]

**$\mu_1(\alpha_1) = 0,8$**  - współczynnik kształtu dachu [pkt. 5.3, Tab. 5.2]

**$s = 0,96$**  kN/m<sup>2</sup> - wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu

**$\gamma_f = 1,5$**  - wartość współczynnika obciążeniowego

$$s_d = s_k \cdot \gamma_f$$

**$s_d = 1,44$**  - wartość obliczeniowa obciążenia śniegiem dachu

### Obciążenie wiatrem (wg PN-EN 1991-1-4):

Lokalizacja budynku: **Kraków**

Strefa obciążenia wiatrem [rys. NB.1]: **1**

Kategoria terenu [tab.4.1]:

**IV - obszary, na których przynajmniej 15% powierzchni pokrywają budynki o średniej wysokości przekraczającej 15m**

Wysokość nad poziomem morza

$a = 212$  m.n.p.m

Wysokość nad poziomem terenu:

$z = 6,5$  m

Bazowa prędkość wiatru [pkt 4.2]:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0}$$

$v_{b,0} = 22,00$  m/s

- wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru [tab.NB.1]

$c_{dir} = 1,0$

- współczynnik kierunkowy [tab. NB.2]

$c_{season} = 1,0$

- współczynnik sezonowy

$v_b = 22,00$  m/s

Średnia prędkość wiatru [pkt 4.3]:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$$

$c_r(z) = 0,559$

- współczynnik chropowatości [tab. NB.3]

$c_o(z) = 1,0$

- współczynnik rzeźby terenu (orografii)

$v_m(z) = 12,30$  m/s

Turbulencja wiatru [pkt 4.4]:

$$I_v(z) = \sigma_v / v_m(z) = k_f / (c_o(z) * \ln(z/z_0))$$

dla  $z_{min} \leq z \leq z_{max}$

$$I_v(z) = I_v(z_{min})$$

dla  $z \leq z_{min}$

$z_{min} = 10,0$  m

- wysokość minimalna [tab. 4.1]

$z_{max} = 200$  m

- wysokość maksymalna

$z_0 = 1,000$  m

- wysokość chropowatości [tab. 4.1]

$k_f = 1,0$

- współczynnik turbulencji

$I_v(z) = 0,434$

- intensywność turbulencji na wysokości "z"

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości [tab. 4.5]:

$$q_p(z) = [1 + 7 * (I_v(z))] * 0,5 * \rho * v_m^2(z) = c_e(z) * q_b$$

$\rho = 1,25$  kg/m<sup>3</sup>

- gęstość powietrza

$q_{b,0} = 0,300$  kN/m<sup>2</sup>

- podstawowa wartość ciśnienia prędkości wiatru [tab. NB.1]

$$q_b = 0,5 * \rho * v_b^2$$

- wartość bazowa ciśnienia prędkości

$q_b = 0,303$  kN/m<sup>2</sup>

5,0%

-akceptowalny błąd zwiększenia prędkości wiatru [pkt 4.3.3]

0,95 ≤  $q_{b,0}/q_b$  ≤ 1,05

0,95 ≤ 0,99 ≤ 1,05

**Warunek spełniony**

$$q_b = \max(q_b, q_{b,0})$$

$q_b = 0,303$  kN/m<sup>2</sup>

$c_e(z) = 1,292$

- współczynnik ekspozycji [tab. NB.3]

$q_p(z) = 0,391$  kN/m<sup>2</sup>

### Ciśnienie zewnętrzne działające na powierzchnie zewnętrzne (przypadek 1):

Ciśnienie wiatru działające na powierzchnie zewnętrzne konstrukcji [pkt. 5.2]:

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

$q_p(z)$  - wartość szczytowa ciśnienia prędkości

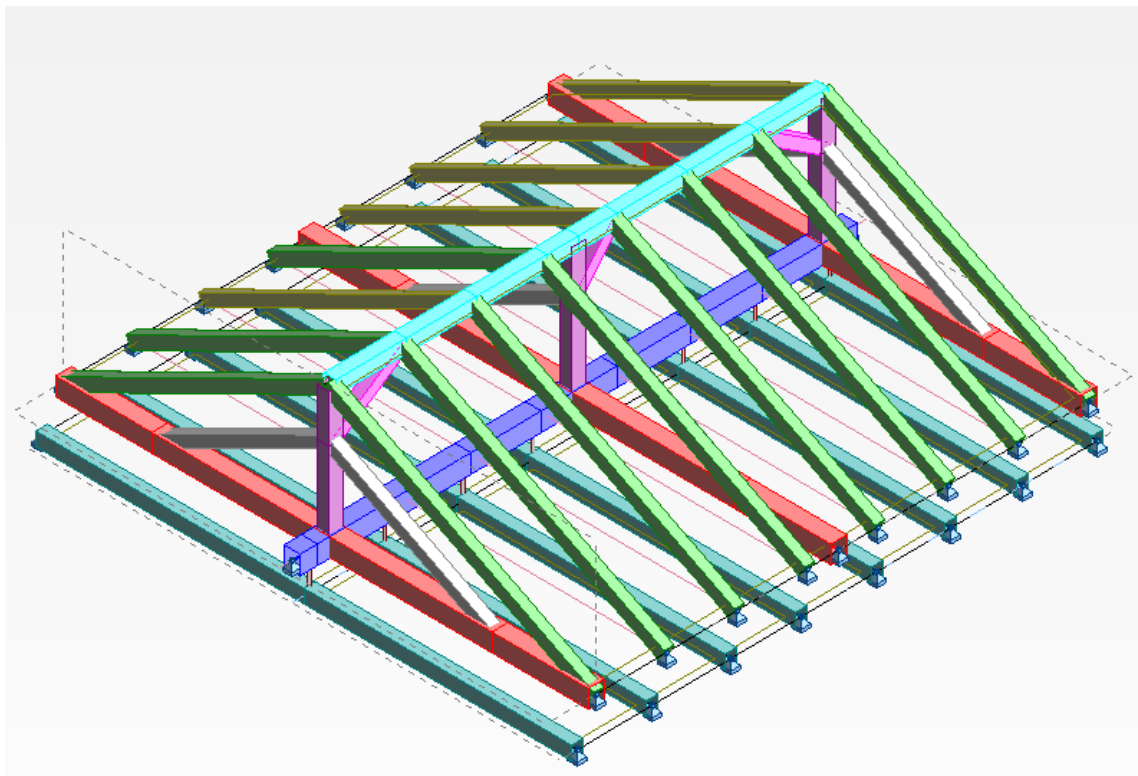
$c_{pe}$  - współczynnik ciśnienia zewnętrznego

Pole dla kierunku wiatru  $\Theta = 0^\circ$

Pole	$w_e = q_p(h) \cdot c_{pe,10}(-)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$w_e = q_p(h) \cdot c_{pe,1}(-)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Odcinek [m]	
			szerokość	długość
<b>F</b>	-0,215	-0,609	0,85	2,13
<b>G</b>	-0,210	-0,583	0,85	4,25
<b>H</b>	-0,083	-0,083		8,50
<b>I</b>	-0,156	-0,156		8,50
<b>J</b>	-0,220	-0,246	0,85	8,50

Pole dla kierunku wiatru  $\Theta = 0^\circ$

Pole	$w_e = q_p(h) \cdot c_{pe,10}(+)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$w_e = q_p(h) \cdot c_{pe,1}(+)$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Odcinek [m]	
			szerokość	długość
<b>F</b>	0,246	0,246	0,85	2,13
<b>G</b>	0,246	0,246	0,85	4,25
<b>H</b>	0,145	0,145		8,50
<b>I</b>	0,000	0,000		8,50
<b>J</b>	0,000	0,000	0,85	8,50



Model przestrzenny konstrukcji więźby i stropu

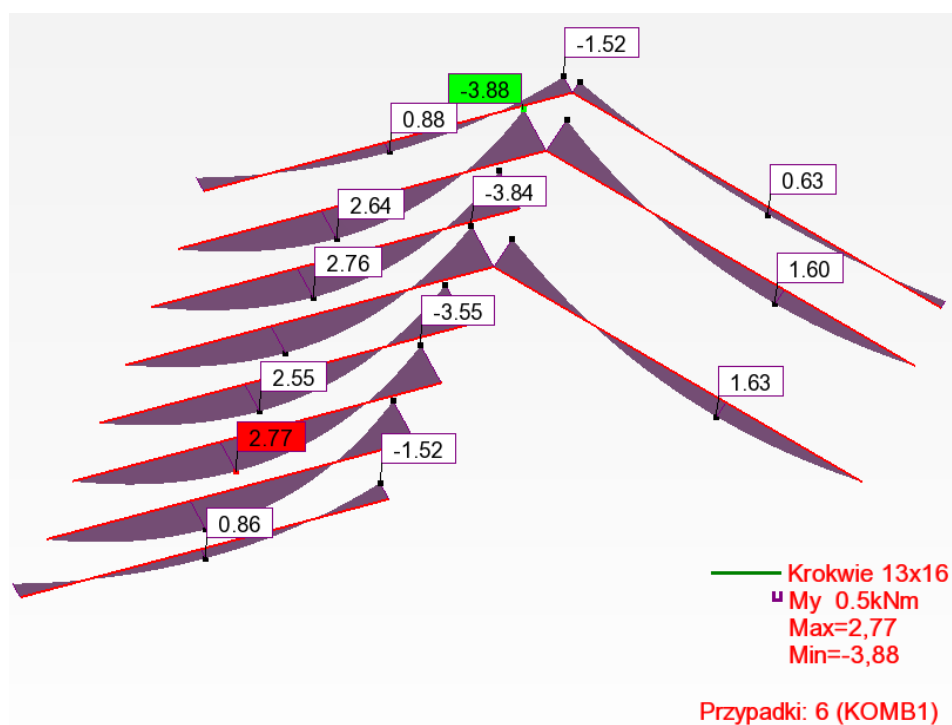
Schemat pracy krokwi:

Krokwie dachu drewnianego poddasza pracują jako elementy belkowe o schemacie elementu wolnopodpartego, opartego przegubowo z obu stron na murlacie.

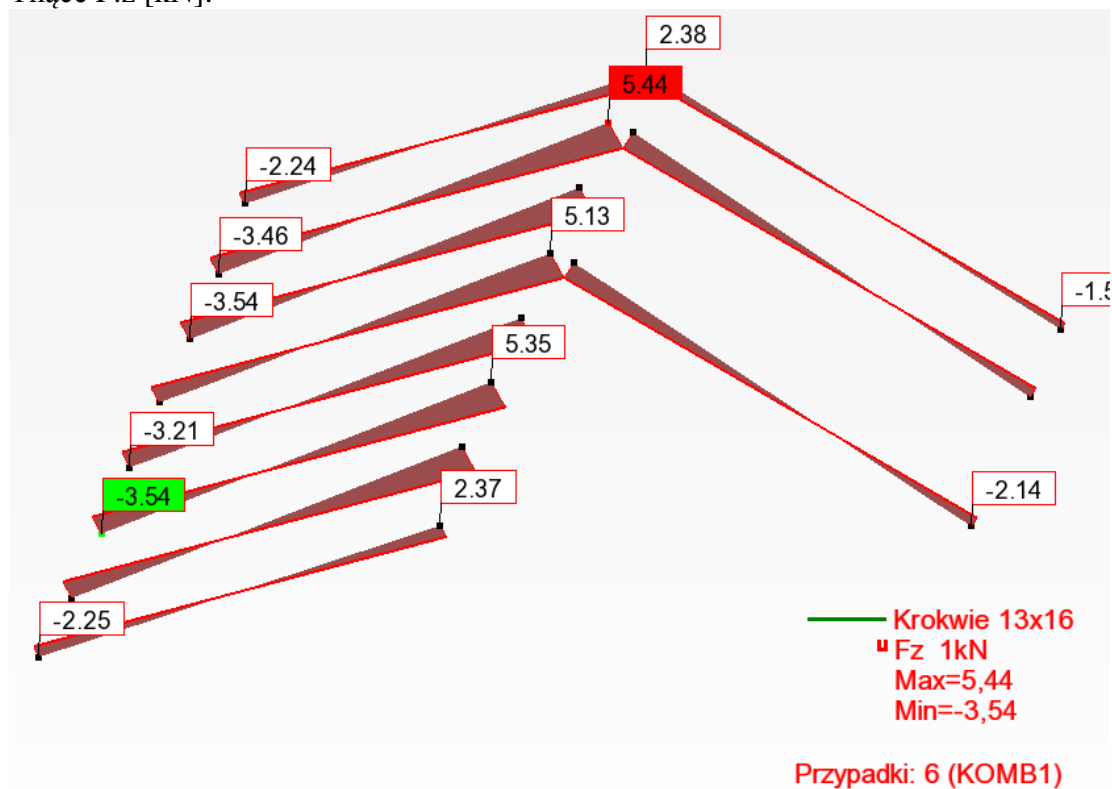
**Krokwie 13x16cm**

Siły wewnętrzne:

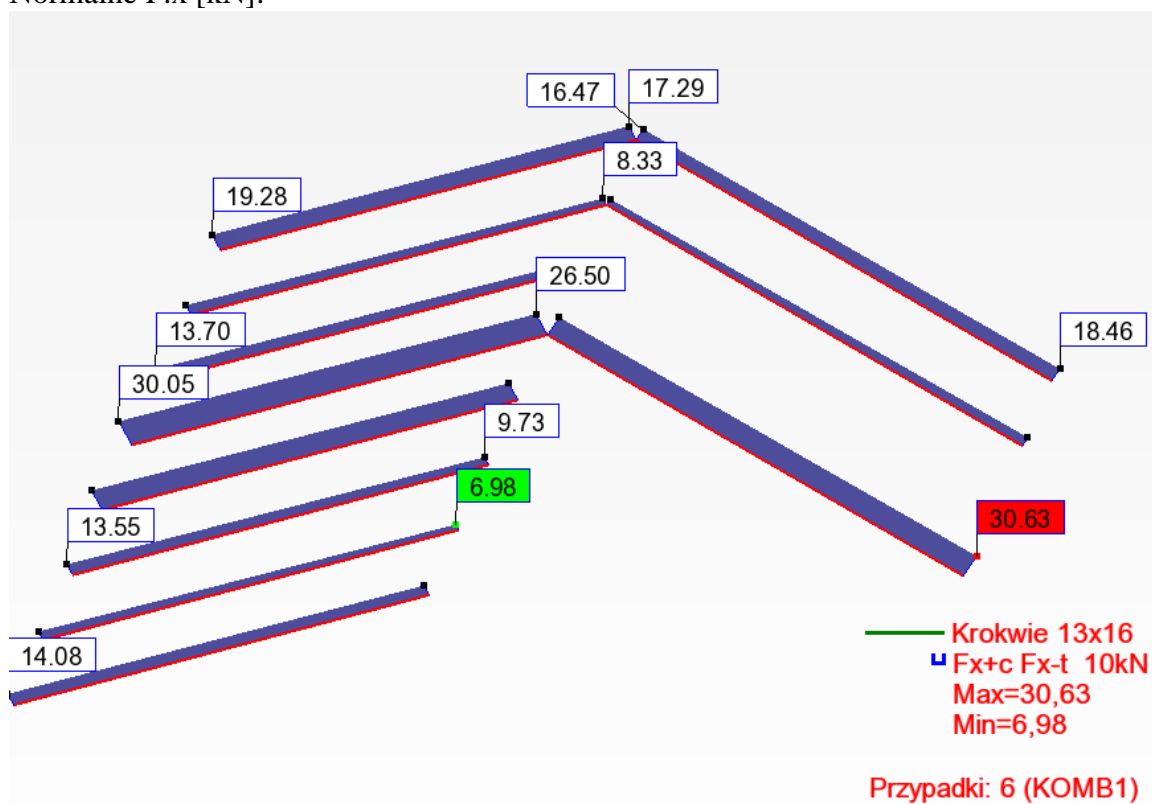
Momenty  $M_y$  [kNm]:



Tnące F.z [kN]:



Normalne F.x [kN]:





Krokwie pracują jako elementy zginane i ściskane:

**drewno klasy C24**

$f_{c,0,k}$	21000	kPa
$f_{m,k}$	24000	kPa
$E_{0,05}$	7400	MPa
$\gamma_m$	1,3	
$k_{mod}$	0,8	
<b><math>f_{c,0,d}</math></b>	<b>12923</b>	kPa
<b><math>f_{m,d}</math></b>	<b>14769</b>	kPa

**belka**

$L_y =$	392	cm
$L_z =$	392	cm
$b =$	<b>13,0</b>	cm
$h =$	<b>16,0</b>	cm
$A =$	208	cm <sup>2</sup>
$W_y =$	554,67	cm <sup>3</sup>
$I_y =$	4437,33	cm <sup>4</sup>
$I_z =$	2929,33	cm <sup>4</sup>
$i_y =$	4,62	cm
$i_z =$	3,75	cm
$\lambda_y =$	84,87	
$\lambda_z =$	104,46	

$\sigma_{c,crit,y} =$	10,13	MPa
$\sigma_{c,crit,z} =$	6,69	MPa
$\lambda_{rel,y} =$	1,44	
$\lambda_{rel,z} =$	1,77	
$\beta_c =$	0,2	
$k_y =$	1,63	
$k_z =$	2,20	
$k_{c,y} =$	0,417	
$k_{c,z} =$	0,286	

**siły przekrojowe**

$N =$	28,63	kN
$M =$	2,53	kNm
$\sigma_{c,0,d} =$	4813,15	kPa
$\sigma_{m,y,d} =$	4561,30	kPa

**war. noś.                      0,45                      warunek spełniony**

Sprawdzenie warunku dopuszczalnych ugięć i ścinania krokwi:

**ugięcie**

$L = 3,92 \text{ m}$   
 $E_{0,\text{mean}} = 11000 \text{ MPa}$   
 $I = 4437,33 \text{ cm}^4$   
 $M_k = 1,92 \text{ kNm}$   
 $\text{współ. } \alpha = 0,8$   
 $u_{\text{net}} = 0,50 \text{ cm}$   
klasa użytkowania konstrukcji: 2  
klasa obciążenia dominującego: średniotrwale  
 $k_{\text{def}} = 0,80$   
 $u_{\text{fin}} = 0,91 \text{ cm}$   
 $u_{\text{net,fin}} = L / 200$   
 $u_{\text{net,fin}} = 1,96 \text{ cm}$  **Warunek spełniony**

**warunek na ścinanie**

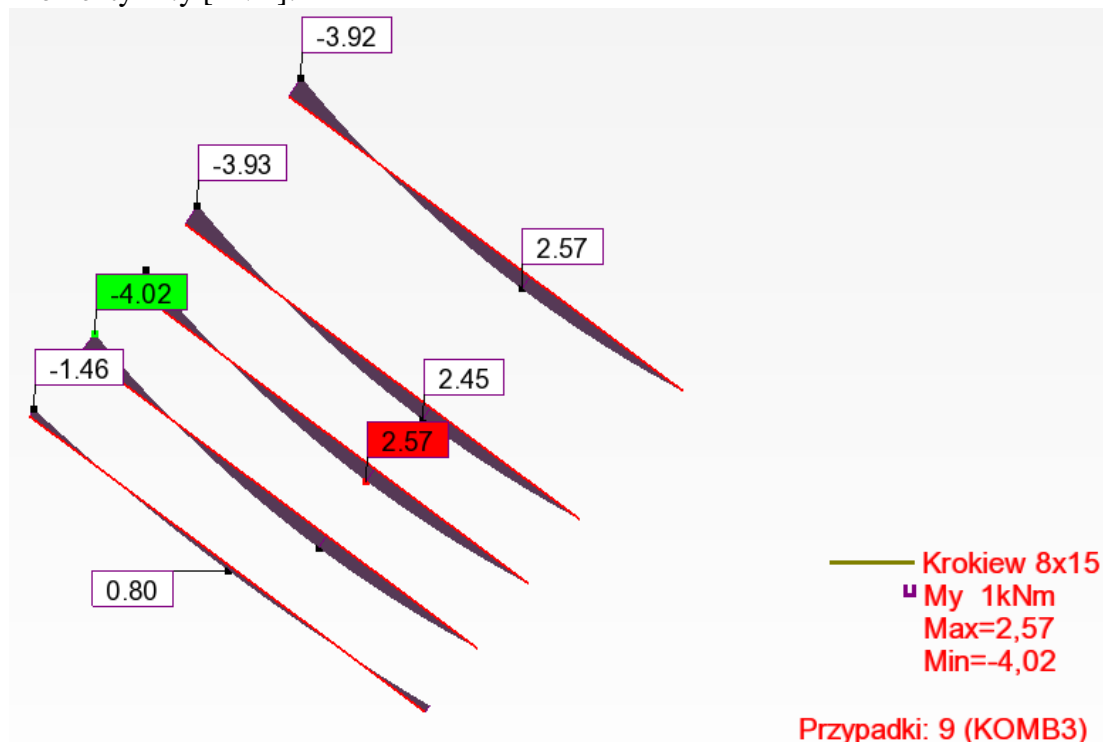
$V_{\text{max}} = 5,44 \text{ kN}$   
 $\tau_d = 1,5 \times V_{\text{max}}/A$   
 $\tau_d = 392,31 \text{ kPa}$   
 $\tau_d / f_{v,d} = 0,16 < 1,00$

Oryginalne krokwie drewniane o przekroju 13x16cm mają wystarczającą nośność wg PN-EN 1995-1.

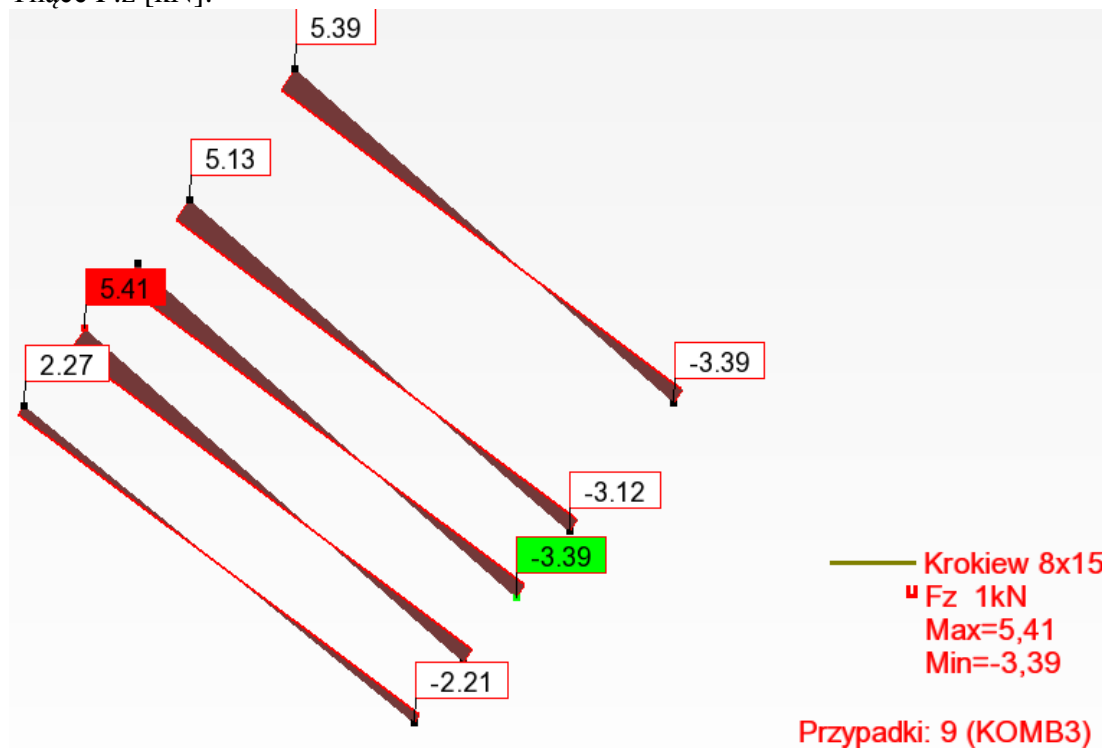
**Krokwie 8x15cm(wymienione)**

Siły wewnętrzne:

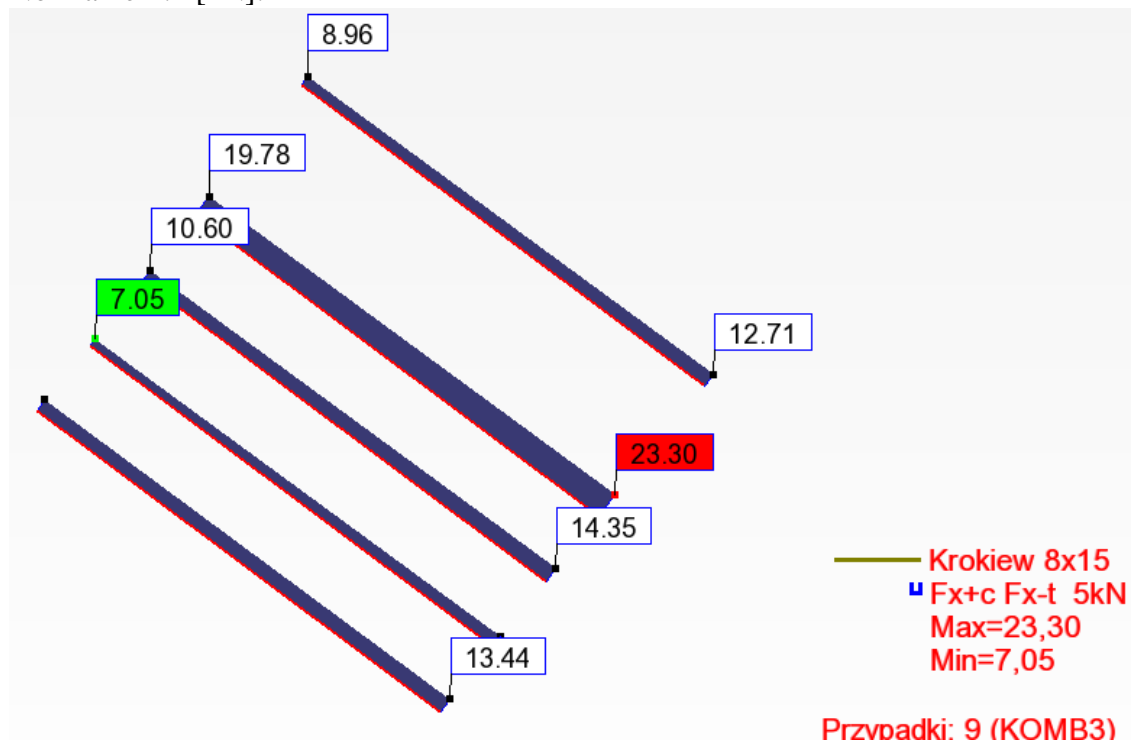
Momenty  $M_y$  [kNm]:



Tnące  $F_z$  [kN]:



Normalne  $F_x$  [kN]:



Analiza krokwi jako elementów zginanych i ściskanych:

**drewno klasy C24**

$f_{c,0,k}$	21000	kPa
$f_{m,k}$	24000	kPa
$E_{0,05}$	7400	MPa
$\gamma_m$	1,3	
$k_{mod}$	0,8	
$f_{c,0,d}$	<b>12923</b>	kPa
$f_{m,d}$	<b>14769</b>	kPa

**belka**

$L_y =$	392	cm
$L_z =$	392	cm
$b =$	<b>8,0</b>	cm
$h =$	<b>15,0</b>	cm
$A =$	120	cm <sup>2</sup>
$W_y =$	300,00	cm <sup>3</sup>
$I_y =$	2250,00	cm <sup>4</sup>
$I_z =$	640,00	cm <sup>4</sup>
$i_y =$	4,33	cm
$i_z =$	2,31	cm
$\lambda_y =$	90,53	
$\lambda_z =$	169,74	

$\sigma_{c,crit,y} =$	8,90	MPa
$\sigma_{c,crit,z} =$	2,53	MPa
$\lambda_{rel,y} =$	1,54	
$\lambda_{rel,z} =$	2,88	
$\beta_c =$	0,2	
$k_y =$	1,78	
$k_z =$	4,88	
$k_{c,y} =$	0,372	
$k_{c,z} =$	0,113	

**siły przekrojowe**

$N =$	21,5	kN
$M =$	2,6	kNm
$\sigma_{c,0,d} =$	15819,60	kPa
$\sigma_{m,y,d} =$	8666,67	kPa

**war. noś.                      2,09                      warunek niespełniony**

Sprawdzenie warunku dopuszczalnych ugięć i ścinania krokwi:

**ugięcie**

$L =$	3,92 m	
$E_{0,mean} =$	11000 MPa	
$I =$	2250,00 cm <sup>4</sup>	
$M_k =$	1,78 kNm	
współ. $\alpha =$	0,8	
$u_{net} =$	<b>0,92</b> cm	
klasa użytkowania konstrukcji: 2		
klasa obciążenia dominującego: średniotrwale		
$k_{def} =$	0,80	
$u_{fin} =$	<b>1,66</b> cm	
$u_{net,fin} =$	L / 133	
$u_{net,fin} =$	<b>2,95</b> cm	<b>Warunek spełniony</b>

**warunek na ścinanie**

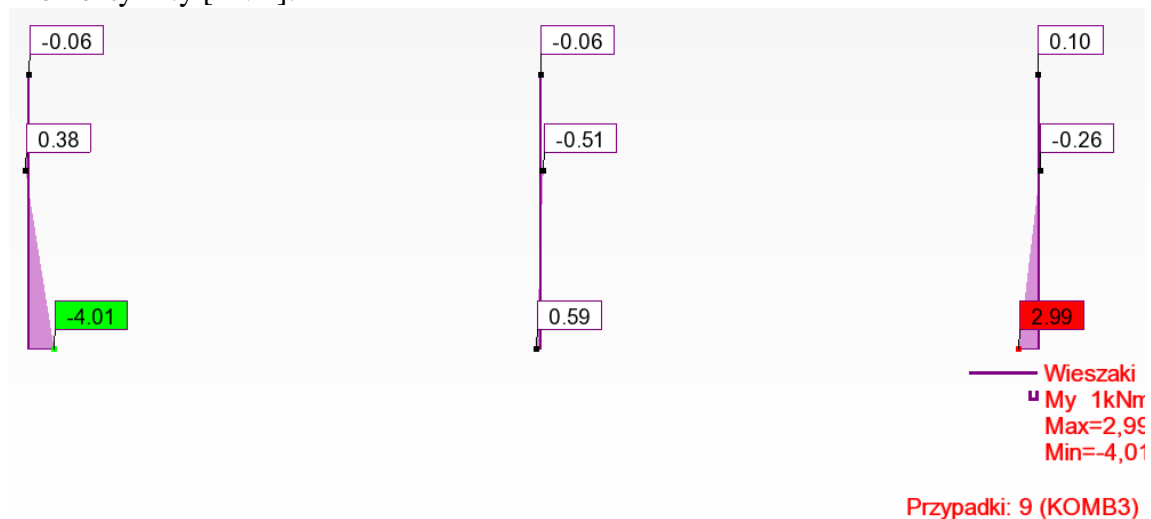
$V_{max} =$	5,40 kN	
$\tau_d = 1,5 \times V_{max}/A$		
$\tau_d =$	<b>675,00 kPa</b>	
$\tau_d / f_{v,d} =$	<b>0,27</b>	<b>&lt; 1,00</b>

Krokwie nie mają wystarczającej nośności na zginanie ze ściskaniem. Nośność na ścinanie jest zapewniona. Ugięcia nie przekraczają wartości dopuszczalnej(dla elementów w obiektach zabytkowych).

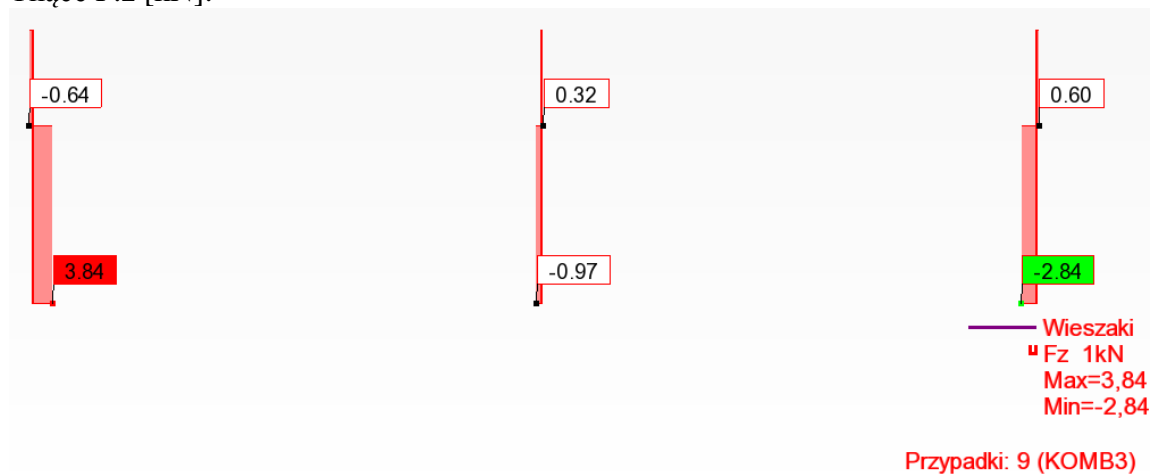
Poz. 1.2. Wieszaki drewniane:

Siły wewnętrzne:

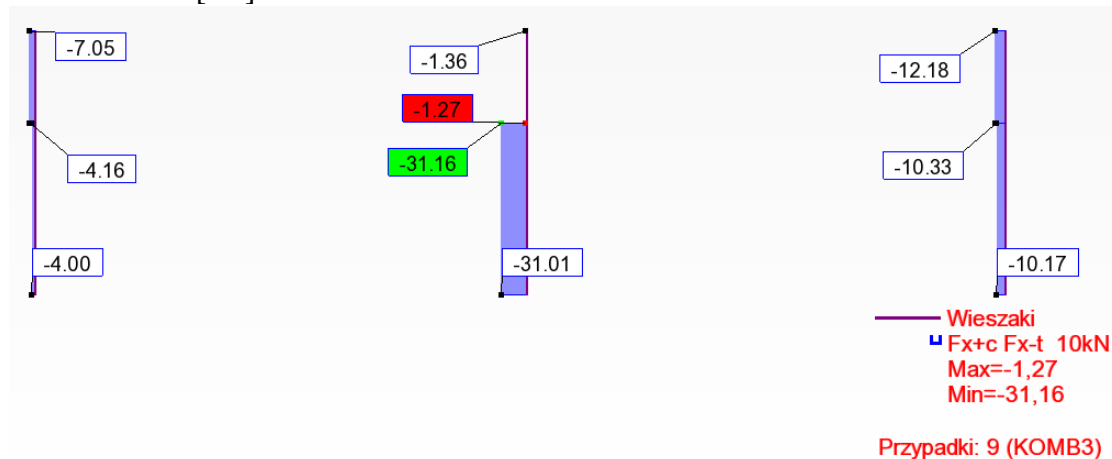
Momenty  $M_y$  [kNm]:



Tnące  $F_z$  [kN]:



Normalne  $F_x$  [kN]:



Element obciążony jest siłami rozciągającymi i momentami zginającymi, sprawdzono również nośność na ścinanie.

**drewno klasy C24**

$f_{t,0,k}$	14500	kPa
$f_{m,k}$	24000	kPa
$f_{v,k}$	4000	kPa
$E_{0,05}$	7400	MPa
$\gamma_m$	1,3	
$k_{mod}$	0,8	
$f_{t,0,d}$	<b>8923</b>	kPa
$f_{m,d}$	<b>14769</b>	kPa
$f_{v,d}$	<b>2461,54</b>	kPa

**belka**

$b$	<b>16,0</b>	cm
$h$	<b>18,0</b>	cm
$A$	288	cm <sup>2</sup>
$W_y$	864,00	cm <sup>3</sup>

**warunek na zginanie z rozciąganiem**

siły przekrojowe

$N$	31,16	kN
$M$	4,01	kNm
$\sigma_{t,0,d}$	1081,94	kPa
$\sigma_{m,y,d}$	4641,20	kPa

**war. noś. 0,44 warunek spełniony**

**warunek na ścinanie**

$V_{max}$	3,84	kN
-----------	------	----

$$\tau_d = 1,5 \times V_{max} / A$$

$\tau_d$	<b>200,00</b>	<b>kPa</b>
----------	---------------	------------

$\tau_d / f_{v,d}$	<b>0,08</b>	<b>&lt;</b>	<b>1,00</b>
--------------------	-------------	-------------	-------------

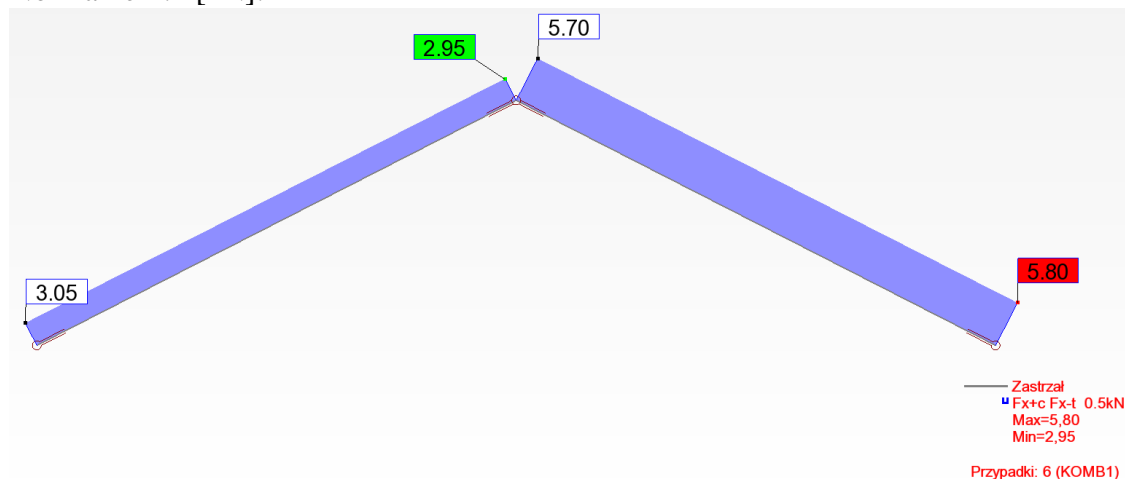
:

Nośność wieszaków we wszystkich analizowanych przypadkach wytrzymałościowych jest wystarczająca.

### Poz. 1.3. Zastrzały drewniane:

#### Siły wewnętrzne:

Normalne F.x [kN]:



Zastrzały drewniane sprawdzono na działanie sił ściskających, analizie poddano element o najmniejszym ze zmierzonych przekrojów, tj. 14x14cm:

#### drewno klasy C24

<b>b</b>	14	cm
<b>h</b>	14	cm
<b>f<sub>c,0,k</sub></b>	21	MPa
<b>γ<sub>m</sub></b>	1,3	
<b>k<sub>mod</sub></b>	0,8	
<b>f<sub>c,0,d</sub></b>	<b>12,923</b>	kPa
dlugość wyboczeniowa	305	cm
minimalny promień bezwładności	<b>4,046</b>	cm
smukłość	<b>75,383</b>	

#### Współczynnik wyboczenia

$\sigma = (\pi^2 * E_{0,05}) / \lambda^2$	12,839	MPa
$\lambda_{rel} = (f_{c,0,k} / \sigma)^{0.5}$	1,28	
<b>β</b> (drewno lite)	0,2	
<b>k</b>	<b>1,40</b>	
<b>k<sub>c</sub></b>	0,51	

Powierzchnia przekroju 196 cm<sup>2</sup>

**Nośność na ściskanie 129,59 kN**

Siła ściskająca N = 5,8 kN

**war. noś. 0,04 warunek spełniony**

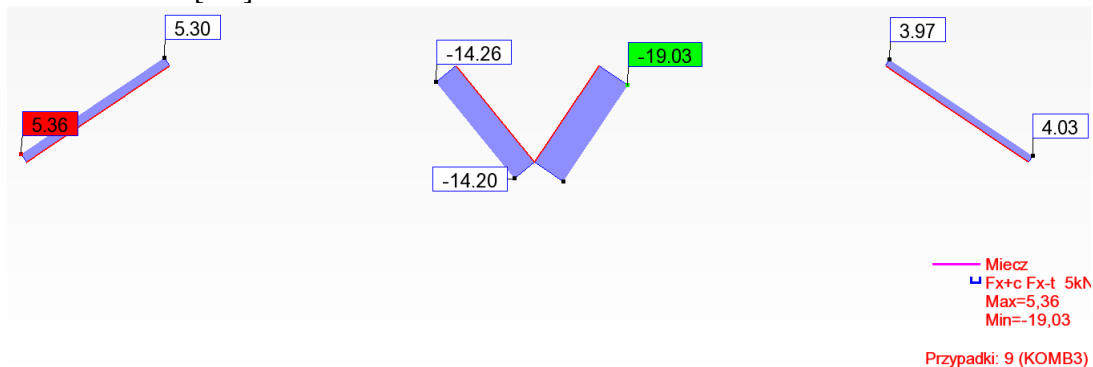
Zastrzały przenoszą siłę ściskającą z dużym zapasem nośności.



Poz. 1.4. Miecze:

Siły wewnętrzne:

Normalne  $F_x$  [kN]:



Miecze poddane są działaniu sił osiowych-ściskających(miecze w skrajnych więzarach) i rozciągających(więzar środkowy). Elementy te mają przekrój 14x14cm:

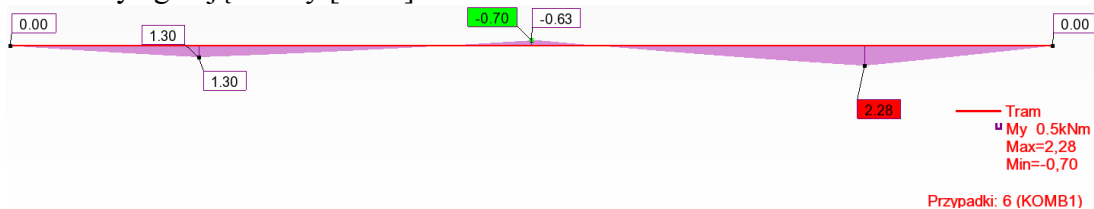
### drewno klasy C24

<b>b</b>	14	cm
<b>h</b>	14	cm
<b>f<sub>c,0,k</sub></b>	21	MPa
<b>f<sub>t,0,k</sub></b>	14,5	MPa
<b>γ<sub>m</sub></b>	1,3	
<b>k<sub>mod</sub></b>	0,8	
<b>f<sub>c,0,d</sub></b>	<b>12,923</b>	MPa
<b>f<sub>t,0,d</sub></b>	<b>8,923</b>	MPa
dlugość wyboczeniowa	112	cm
minimalny promień bezwładności	<b>4,046</b>	cm
smukłość	<b>27,682</b>	
<b>Współczynnik wyboczenia</b>		
$\sigma = (\pi^2 * E_{0,05}) / \lambda^2$	95,215	MPa
$\lambda_{rel} = (f_{c,0,k} / \sigma)^{0.5}$	0,47	
<b>β</b> (drewno lite)	0,2	
<b>k</b>	<b>0,61</b>	
<b>k<sub>c</sub></b>	1,01	
Powierzchnia przekroju	196	cm <sup>2</sup>
<b>Nośność na ściskanie</b>	<b>255,29</b>	<b>kN</b>
Siła ściskająca	N = 5,36	kN
<b>war. noś.</b>	<b>0,02</b>	<b>warunek spełniony</b>
<b>Nośność na rozciąganie</b>	<b>174,89</b>	<b>kN</b>
Siła rozciągająca	N = 19,03	kN
<b>war. noś.</b>	<b>0,11</b>	<b>warunek spełniony</b>

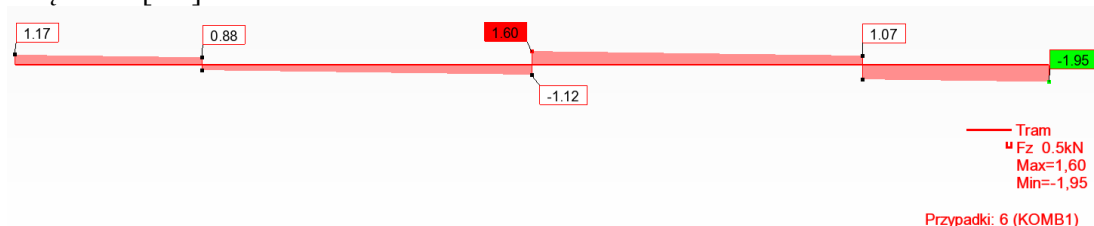
### Poz. 1.5. Tramy poprzeczne:

#### Siły wewnętrzne:

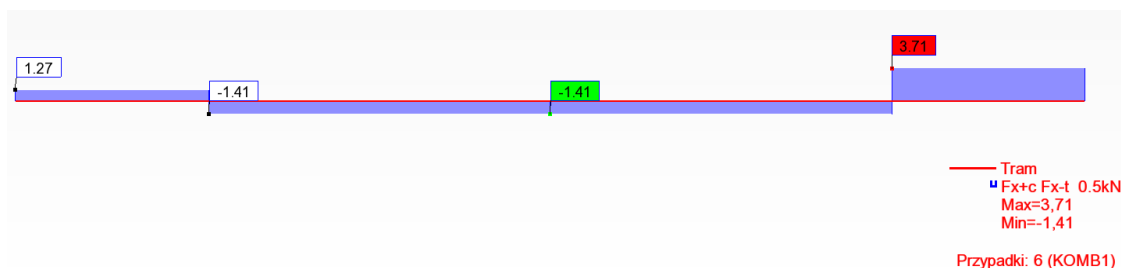
Momenty zginające M.y [kNm]:



Tnące F.z [kN]:



Normalne F.x [kN]:



### Schemat pracy:

Element jest zginany i ścinany.

#### **drewno klasy C24**

$$Y_m = 1,30$$

$$k_m = 0,70$$

$$k_{mod} = 0,80$$

$$f_{m,k} = 24000,00 \text{ kPa}$$

$$f_{m,d} = 14769,23 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 4000,00 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d} = 2461,54 \text{ kPa}$$

$$b = 21,00 \text{ cm}$$

$$h = 24,00 \text{ cm}$$

$$A = b \times h = 504,00 \text{ cm}^2$$

$$W = (b \times h^2) / 6 =$$

$$W = 2016,00 \text{ cm}^3$$

#### **warunek na zginanie**

$$M_{max} = 2,03 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = 1006,94 \text{ kPa}$$

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} = 0,048 < 1,00$$

#### **ugięcie**

$$L = 5,43 \text{ m}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$$

$$I = 24192,00 \text{ cm}^4$$

$$M_k = 1,43 \text{ kNm}$$

$$\text{współ. } \alpha = 0,8$$

$$u_{net} = 0,13 \text{ cm}$$

klasa użytkowania konstrukcji: 2

klasa obciążenia dominującego: średniotrwale

$$k_{def} = 0,80$$

$$u_{fin} = 0,24 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = L / 200$$

$$u_{net,fin} = 2,72 \text{ cm} \quad \text{Warunek spełniony}$$

#### **warunek na ścinanie**

$$V_{max} = 1,75 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \times V_{max} / A$$

$$\tau_d = 52,08 \text{ kPa}$$

$$\tau_d / f_{v,d} = 0,02 < 1,00$$

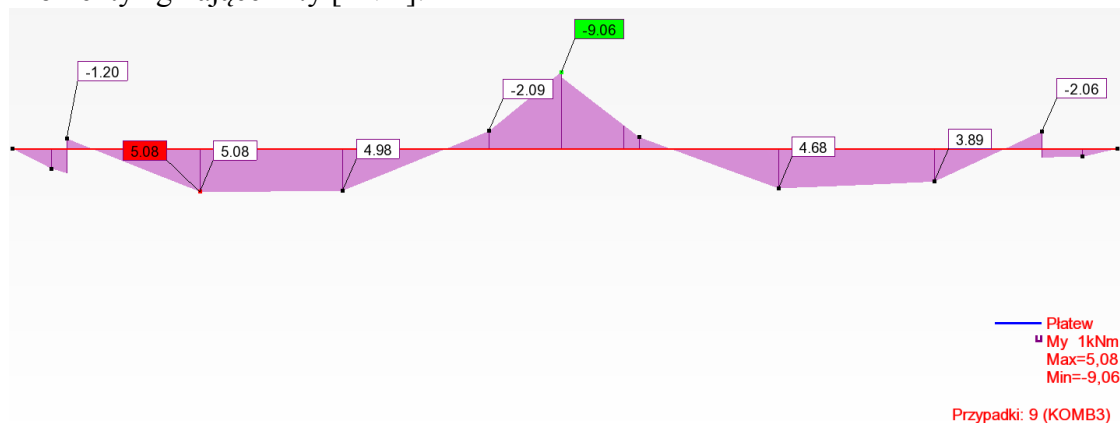
Tramy wiązarów poprzecznych pracują w stanie niskiego wyężenia, nośność jest wystarczająca, a ugięcia nie przekroczyły wartości dopuszczalnej.

Poz. 1.6. Tram podłużny:

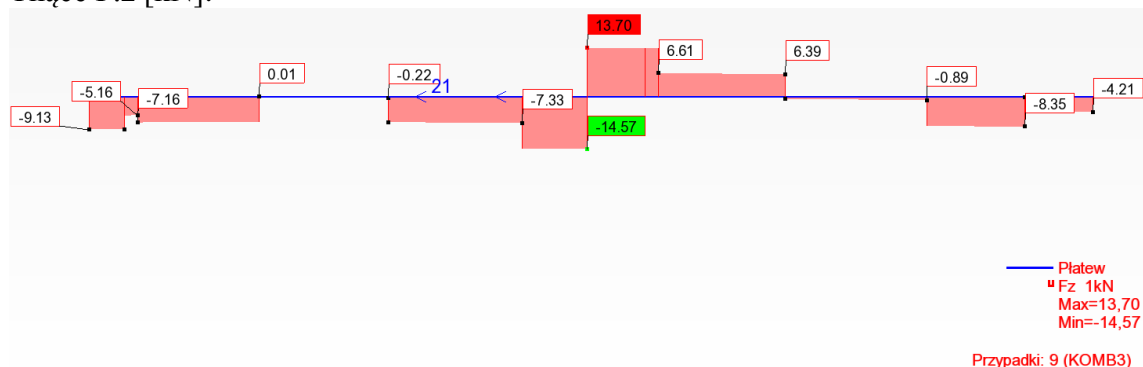
Jest to belka biegnąca wzdłuż całej konstrukcji dachu, do której podwieszone są za pomocą prętów stalowych belki stropowe nad pomieszczeniem szatni.

Siły wewnętrzne:

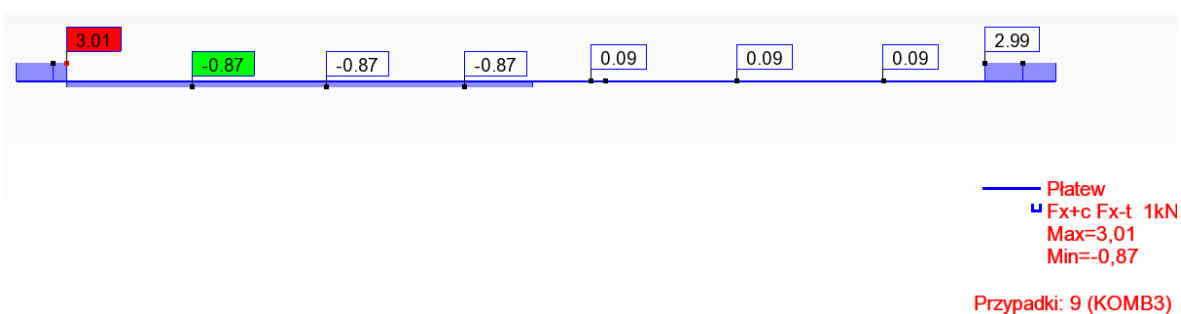
Momenty zginające  $M_y$  [kNm]:



Tnące  $F_z$  [kN]:



Normalne  $F_x$  [kN]:



Schemat pracy:

Element jest zginany i ścinany. W analizie przyjęto stały przekrój 21x25cm.

**drewno klasy C24**

$$Y_m = 1,30$$

$$k_m = 0,70$$

$$k_{mod} = 0,80$$

$$f_{m,k} = 24000,00 \text{ kPa}$$

$$f_{m,d} = 14769,23 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 4000,00 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d} = 2461,54 \text{ kPa}$$

$$b = 21,00 \text{ cm}$$

$$h = 25,00 \text{ cm}$$

$$A = b \times h = 525,00 \text{ cm}^2$$

$$W = (b \times h^2) / 6 =$$

$$W = 2187,50 \text{ cm}^3$$

**warunek na zginanie**

$$M_{max} = 9,06 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = 4141,71 \text{ kPa}$$

$$k_m \sigma_{m,d} / f_{m,d} = 0,196 < 1,00$$

**ugięcie**

$$L = 3,27 \text{ m}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$$

$$I = 27343,75 \text{ cm}^4$$

$$M_k = 3,62 \text{ kNm}$$

$$\text{współ. } \alpha = 0,8$$

$$u_{net} = 0,11 \text{ cm}$$

klasa użytkowania konstrukcji: 2

klasa obciążenia dominującego: średniotrwałe

$$k_{def} = 0,80$$

$$u_{fin} = 0,19 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = L / 250$$

$$u_{net,fin} = 1,31 \text{ cm} \quad \textbf{Warunek spełniony}$$

**warunek na ścinanie**

$$V_{max} = 14,57 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \times V_{max} / A$$

$$\tau_d = 416,29 \text{ kPa}$$

$$\tau_d / f_{v,d} = 0,17 < 1,00$$

Nośność tramu podłużnego jest wystarczająca we wszystkich sprawdzonych przypadkach.

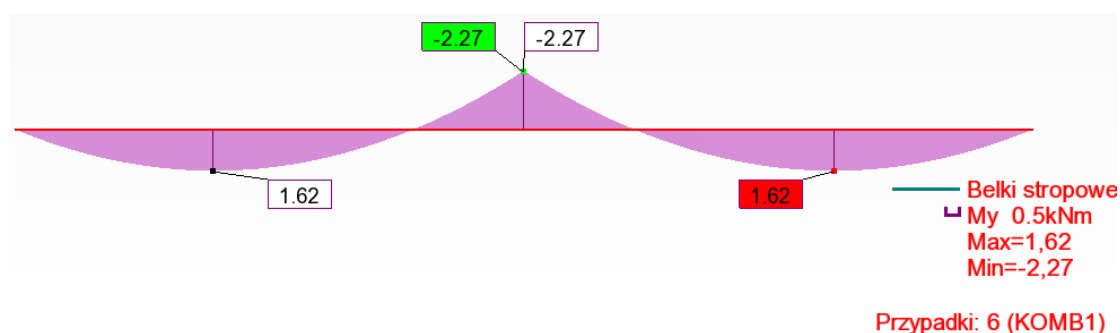
### Poz. 2.1. Belki stropowe:

#### Schemat pracy belki:

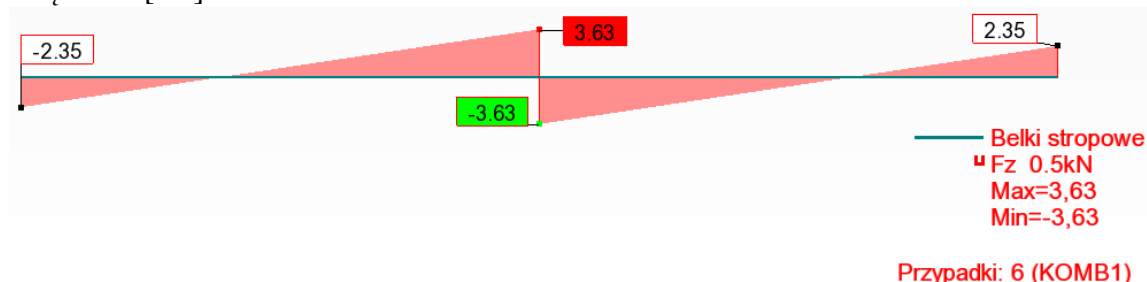
Belki stropu drewnianego poddasza pracują jako elementy wolnopodparte, oparte przegubowo z obu stron na murze ceglanym (w gniazdach), dodatkowo podwieszone w środku rozpiętości do tramu podłużnego więźby dachowej. Podwieszenie wykonane jest za pomocą stalowych prętów gwintowanych o średnicy 16mm.

#### Siły wewnętrzne:

Momenty  $M_y$  [kNm]:



Tnące  $F_z$  [kN]:



Belki drewniane w postaci elementów zginanych i ścinanych:

**drewno klasy C24**

$$Y_m = 1,30$$

$$k_m = 0,70$$

$$k_{mod} = 0,80$$

$$f_{m,k} = 24000,00 \text{ kPa}$$

$$f_{m,d} = 14769,23 \text{ kPa}$$

$$f_{v,k} = 4000,00 \text{ kPa}$$

$$f_{v,d} = 2461,54 \text{ kPa}$$

$$b = 15,00 \text{ cm}$$

$$h = 18,00 \text{ cm}$$

$$A = b \times h = 270,00 \text{ cm}^2$$

$$W = (b \times h^2) / 6 =$$

$$W = 810,00 \text{ cm}^3$$

**warunek na zginanie**

$$M_{max} = 2,27 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,d} = 2802,47 \text{ kPa}$$

$$k_m \cdot \sigma_{m,d} / f_{m,d} = 0,133 < 1,00$$

**ugięcie**

$$L = 3,55 \text{ m}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ MPa}$$

$$I = 7290,00 \text{ cm}^4$$

$$M_k = 1,16 \text{ kNm}$$

$$\text{współ. } \alpha = 0,8$$

$$u_{net} = 0,15 \text{ cm}$$

klasa użytkowania konstrukcji: 2

klasa obciążenia dominującego: średniotrwale

$$k_{def} = 0,80$$

$$u_{fin} = 0,27 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = L / 250$$

$$u_{net,fin} = 1,42 \text{ cm} \quad \textbf{Warunek spełniony}$$

**warunek na ścinanie**

$$V_{max} = 3,63 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 \times V_{max} / A$$

$$\tau_d = 201,67 \text{ kPa}$$

$$\tau_d / f_{v,d} = 0,08 < 1,00$$

Zarówno nośność na zginanie, jak i na ścinanie jest wystarczająca. Ugięcia nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

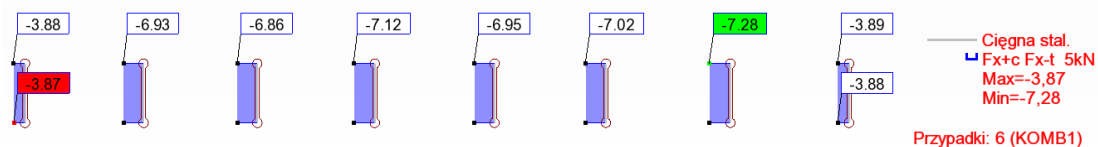


Poz. 3.1. Cięgna stalowe - podwieszenie belek stropowych:

Pręty stalowe o średnicy 16mm łączą belki stropowe w połowie ich rozpiętości z tramem podłużnym więźby dachowej. Jedynymi siłami wewnętrznymi są siły rozciągające.

Siły wewnętrzne:

Normalne F.x [kN]:



obliczeniowa granica plastyczności stali	$f_{yd}$	215 Mpa
pole przekroju	A	2,01 cm <sup>2</sup>
<b>Nośność przekroju ściskanego <math>N_{Rd}=A \times f_d</math></b>		
	$N_{Rd}$	<b>43,23 kN</b>
siła osiowa:	$N_{Ed}$	7,28 kN
<b>Sprawdzenie warunku nośności: <math>N_{Ed}/N_{Rd} \leq 1</math></b>		
		0,17 < 1

Nośność stalowych prętów jest wystarczająca.

Poz. 4.1. Wzmocnienie krokwi drewnianych 8x15cm:

Analiza krokwi jako elementów zginanych i ściskanych:

**drewno klasy C24**

$f_{c,0,k}$	21000	kPa
$f_{m,k}$	24000	kPa
$E_{0,05}$	7400	MPa
$\gamma_m$	1,3	
$k_{mod}$	0,8	
$f_{c,0,d}$	<b>12923</b>	kPa
$f_{m,d}$	<b>14769</b>	kPa

**belka**

$L_y =$	392	cm
$L_z =$	392	cm
$b =$	<b>10,5</b>	cm
$h =$	<b>15,0</b>	cm
$A =$	157,5	cm <sup>2</sup>
$W_y =$	393,75	cm <sup>3</sup>
$I_y =$	2953,13	cm <sup>4</sup>
$I_z =$	1447,03	cm <sup>4</sup>
$i_y =$	4,33	cm
$i_z =$	3,03	cm
$\lambda_y =$	90,53	
$\lambda_z =$	129,33	
$\sigma_{c,crit,y} =$	8,90	MPa
$\sigma_{c,crit,z} =$	4,36	MPa
$\lambda_{rel,y} =$	1,54	
$\lambda_{rel,z} =$	2,19	
$\beta_c =$	0,2	
$k_y =$	1,78	
$k_z =$	3,08	
$k_{c,y} =$	0,372	
$k_{c,z} =$	0,191	
<b>siły przekrojowe</b>		
$N =$	21,5	kN
$M =$	2,6	kNm
$\sigma_{c,0,d} =$	7143,22	kPa
$\sigma_{m,y,d} =$	6603,17	kPa
<b>war. noś.</b>	<b>0,75</b>	<b>warunek spełniony</b>

Należy wzmocnić istniejące krokwie drewniane o przekroju 8x15cm poprzez przybicie desek grubości 25mm z drewna klasy C27, w ten sposób zwiększając szerokość przekroju do 10,5cm.

## 8. Dokumentacja fotograficzna



Fot.1. Sala senacka UEK - Widok elewacji budynku szatni.



Fot.2. Sala senacka UEK – Widok stropu drewnianego. Widoczne spękania belek.



Fot.3. Sala senacka UEK – Widok belek stropowych z widocznymi uszkodzeniami w strefie oparcia



Fot.4. Sala senacka UEK – Widok zniszczonej belki stropowej w strefie oparcia





Fot.5. Sala senacka UEK – Widok uszkodzonych belek stropowych ze słupami podpierającymi



Fot.6. Sala senacka UEK – Widok podparcia uszkodzonej belki stropowej



Fot.7. Sala senacka UEK – Widok stropu drewnianego. Widoczne deformacje skrętne belek.



Fot.8. Sala senacka UEK – Więźba dachowa. Oparcie krokwi i tramów więzara W-1.





Fot.9. Sala senacka UEK – Więźba dachowa. Widok krokwi i więzara W-3.



Fot.10. Sala senacka UEK – Więźba dachowa. Widok oparcia tramu podłużnego.





Fot.11. Sala senacka UEK – Więźba dachowa. Węzeł wieszaka, tramu poprzecznego i podłużnego.



Fot.12. Sala senacka UEK – Więźba dachowa. Połączenie wieszaka więzara z zastrzałami i mieczem.





Fot.13. Sala senacka UEK – Więźba dachowa. Oparcie krokwi na płatwi kalenicowej.



Fot.14. Sala senacka UEK – Więźba dachowa. Oparcie krokwi na murłacie. Widoczny gruz(cegły i dachówki) zalegający na stropie drewnianym

## **9. Dokumentacja rysunkowa**

KE-01 Inwentaryzacja więźby dachowej.

KE-02 Inwentaryzacja stropu drewnianego oraz więźarów dachowych.

KE-03 Wzmocnienie krokwi 8x15cm.