

EKSPERTYZA TECHNICZNA

TEMAT OPRACOWANIA: EKSPERTYZA TECHNICZNA DOTYCZĄCA
OCENY MOŻLIWOŚCI NAPRAWY
USZKODZONEJ IGLICY NA WIEŻY RATUSZA
ORAZ DOBUDOWY WINDY DO BUDYNKU
RATUSZA

LOKALIZACJA: 43 – 400 CIESZYN, RYNEK 1

INWESTOR: GMINA CIESZYN
RYNEK 1,
43 – 400 CIESZYN

OPRACOWAŁ: mgr inż. Henryk Borecki upr. nr 82/92

GLIWICE, PAŹDZIERNIK , 2020 r

1. Podstawa opracowania.

- zlecenie Inwestora;
- inwentaryzacja częściowa;
- założenia, opracowane przez firmę Pracownia Architektoniczno – Urbanistyczną A3, Agnieszka Romanowska – Tarczyńska.
- wizja lokalna;
- literatura fachowa, aktualne Normy i Rozporządzenia;

2. Cel opracowania

Celem opracowania jest znalezienie przyczyn uszkodzenia iglicy na wieży ratusza oraz określenie sposobu naprawy uszkodzonej iglicy ~~uraz dobudowy windy zewnętrznej.~~

Lokalizacja: Cieszyn, Ratusz 1.

3. Opis techniczny stanu istniejącego.

Budynek ratusza jest historycznym, zabytkowym budynkiem. W połowie XIX wieku dokonano całkowitej przebudowy ratusza. Za źródłami historycznymi, obecny wygląd zawdzięcza ratusz przebudowie po ostatnim w jego dziejach pożarze w 1836 r. Odbudowany został w 1845 r. wg planów znanego wiedeńskiego architekta Józefa Kornhausla oraz powiatowego architekta Andrzeja Kmenta. Klasycystyczną elewację ozdobiono płaskimi lizenami z imitacją rustyki, podkreślającymi prostotę i skromność wyrazu nowego wystroju. Symetrię podkreślił dorycki portyk kolumnowy i trójkątny przyczółek z herbem miasta, nad którym odtworzono chambrezowską wieżę. W 1845 r. w bani wieży umieszczono blaszaną tubę zawierającą napisany w 1825 roku przez burmistrza Cieszyna Alojzego Kaufmanna rękopis kroniki miasta oraz zalakowaną butelkę, w której znajdował się papier listowy z widokiem Cieszyna i litografie ukazujące mieszczańskie stroje z tej epoki.

Pisząc dalej za źródłami historycznymi.

Latem 1984 roku, ze względu na zły stan techniczny wieży ratuszowej, przystąpiono do jej generalnego remontu. 17 sierpnia zdjęto z hełmu banię, z której wydobyto zestaw dokumentów umieszczonych tam w 1845 roku.

Rozebrany został także cały miedziany hełm oraz jego miedziana więźba. Nową konstrukcję ciesielską wykonali Jan Michałek i Franciszek Waszut z Koniakowa, hełm odtworzył Jan Nizio z Wapiennicy, zaś banię, orły i koronę wykonał cieszyński rzemieślnik Roman Dziobek. Do nowej bani, którą wciągnięto na wieżę 3 października 1984 r., włożono dokumenty zawierające informacje o remoncie wieży, dane o Cieszynie, kalendarium dziejów Cieszyna w XIX i XX w., kopie ważniejszych dokumentów, fotografie, plany miasta i książki o Cieszynie oraz 44 monety (wg źródeł historycznych).

W roku 1984 r wykonano remont wieży ratuszowej będącej w złym stanie, wykonano również nową iglicę na ratuszu. Na iglicy zamontowano od góry chorągiew. Iglicę wykonano jako stalową zamocowaną do drewnianego słupa (osadzoną na drewnianym słupie). Na stalowej iglicy (na której licząc od góry umieszczono chorągiew, orła i banię (kulę)).

W lutym roku 2016 r iglica uległa uszkodzeniu, złamała się górna część iglicy tuż ponad banią.

W marcu 2017 r iglica została naprawiona. Z użyciem urządzenia dźwigowego (zwyżki) zamontowano na drewnianej konstrukcji (w końcowej, górnej części w postaci drewnianego słupa o średnicy około 15,0 cm) stalową konstrukcję w postaci stalowej rury. Na konstrukcji umieszczono od góry: chorągiew z blachy stalowej o wymiarach w rzucie około 0,3 x 1,0 m i grubości 2,0 mm, orzeł z blachy o wymiarach w rzucie około 0,6 x 0,5 m i banię (kulę) o średnicy 80,0 cm z blachy miedzianej.

W sierpniu 2017 roku iglica uległa ponownie uszkodzeniu. Złamał się drewniany słup. Złamanie nastąpiło mniej więcej w połowie odległości między kopułą wieży i banią, w miejscu gdzie znajdowała się dolna część nasadzonej konstrukcji stalowej (w tym miejscu nasadzonej rury stalowej).

Drewniany słup iglicy opiera się na krzyżowo ułożonych belkach drewnianych będących elementami drewnianego rusztu wspartego na murowanych ścianach, stanowiącego podbudowę (dolną część) kopuły i zarazem konstrukcję sklepienia galerii poniżej kopuły. Drewniany maszt wewnątrz kopuły podparty jest trzema drewnianymi zastrzałami. Kształt kopule nadają krążyny oparte na obrzeżu.

Na galerii poniżej kopuły znajdują się dzwony i urządzenia telekomunikacyjne.

Dzwony podwieszone są do stropu nad galerią (dolna część kopuły).
W miejscu uszkodzenia kołowy przekrój drewniany ma średnicę 15,0 cm.

4. Opis ogólny przewidywanych prac.

Przewiduje się naprawę uszkodzonej iglicy. Naprawa polegać będzie na o ile to możliwe odtworzeniu stanu istniejącego w chwili uszkodzenia. Pozostawione zostaną elementy takie jak flaga, orzeł, korona i kula. Konstrukcja masztu iglicy zostanie wykonana tak, aby spełniała wymagania techniczne.

~~Dobudowa windy zewnętrznej w szybie konstrukcji stalowej od strony podwórza budynku Ratusza.~~

5. Ocena stanu technicznego.

Ocenę stanu technicznego przeprowadzono na podstawie przeglądu i obliczeń technicznych. Przeglądem objęto głównie iglicę, elementy dla jej oparcia na konstrukcji i kopułę ratusza.

Ściany murowane wieży – stwierdzono nieliczne pęknięcia i zarysowania nie stwierdzono istotnych uszkodzeń mogących mieć wpływ na nośność ścian. Stan techniczny dobry.

Ściany murowane budynku Ratusza – stwierdzono nieliczne pęknięcia i zarysowania nie stwierdzono istotnych uszkodzeń mogących mieć wpływ na nośność ścian. Stan techniczny dobry.

Strop galerii – nie stwierdzono uszkodzeń. Stan techniczny określono jako dobry.

Drewniana konstrukcja kopuły – do wnętrza kopuły nie ma dostępu. Wykonano otwór w stropie nad galerią czyli w poszyciu dolnym kopuły (konstrukcja drewniana osłonięta od dołu blachą. Stwierdzono (na ile pozwalała sytuacja), że konstrukcja drewniana jest w dobrym stanie technicznym. Nie stwierdzono istotnych uszkodzeń. Należy mieć na uwadze ograniczony dostęp, zatem niektóre elementy mogą być uszkodzone.

Konstrukcja iglicy – w sierpniu 2017 roku iglica uległa uszkodzeniu. Złamał się drewniany słup. Złamanie nastąpiło mniej więcej w połowie odległości między

kopułą wieży i banią, w miejscu gdzie znajdowała się dolna część nasadzonej konstrukcji stalowej (w tym miejscu nasadzonej rury stalowej).

6. Określenie przyczyn uszkodzenia iglicy.

Określenie przyczyn uszkodzenia wykonano na podstawie oceny istniejącego stanu technicznego. Wykonano oględziny i obliczenia statycznie – wytrzymałościowe.

Obliczenia wykonano dla dwóch sytuacji. Pierwsza sytuacja to stan przed uszkodzeniem. Druga sytuacja dotyczy sposobu naprawy uszkodzonej iglicy. W roku 1984 r wykonano remont wieży ratuszowej będącej w złym stanie, wykonano również nową iglicę na ratuszu. Na iglicy zamontowano od góry chorągiew. Iglicę wykonano jako stalową zamocowaną do drewnianego słupa (osadzoną na drewnianym słupie). Na stalowej iglicy (na której licząc od góry umieszczono chorągiew, orła i banię (kulę).

W lutym roku 2016 r iglica uległa uszkodzeniu, złamała się górna część iglicy tuż ponad banią. W marcu 2017 r iglica została naprawiona. Zamontowano na drewnianej konstrukcji (w końcowej, górnej części w postaci drewnianego słupa o średnicy około 15,0 cm) stalową konstrukcję w postaci stalowej rury. Na konstrukcji umieszczono od góry: chorągiew z blachy stalowej o wymiarach w rzucie około 0,3 x 1,0 m i grubości 2,0 mm, orzeł z blachy o wymiarach w rzucie około 0,6 x 0,5 m i banię (kulę) o średnicy 80,0 cm z blachy miedzianej.

W sierpniu 2017 roku iglica uległa ponownie uszkodzeniu. Złamał się drewniany słup. Złamanie nastąpiło mniej więcej w połowie odległości między kopułą wieży i banią, w miejscu gdzie znajdowała się dolna część nasadzonej konstrukcji stalowej (w tym miejscu nasadzonej rury stalowej).

Drewniany słup iglicy opiera się na krzyżowo ułożonych belkach drewnianych będących elementami drewnianego rusztu wspartego na murowanych ścianach, stanowiącego podbudowę (dolną część) kopuły i zarazem konstrukcję sklepienia galerii poniżej kopuły. Drewniany maszt wewnątrz kopuły podparty jest trzema drewnianymi zastrzałami. Kształt kopule nadają krążyny oparte na obrzeżu.

Na galerii poniżej kopuły znajdują się dzwony i urządzenia telekomunikacyjne. Dzwony podwieszone są do stropu nad galerią (dolna część kopuły).

W miejscu uszkodzenia kołowy przekrój drewniany ma średnicę 15,0 cm. Do obliczeń przyjęto średnią klasę drewna C24. Drewniana konstrukcja masztu nie jest w jakikolwiek sposób ogrzewana, jest na zewnątrz, mimo obudowy blachą narażona jest na wpływy atmosferyczne w tym oczywiście duże różnice temperatur i wilgotności. W tej sytuacji wobec istniejących warunków środowiskowych należy przyjąć klasę użytkowania konstrukcji – 3.

Stwierdzono wobec przyjętych założeń, że stany graniczne nośności w momencie złamania były przekroczone, co doprowadziło do uszkodzenia iglicy. Na ocenę wytrzymałości wobec przepisów, norm wpływają dwa zagadnienia. Pierwsze zagadnienie to ocena (przyjęcie) obciążeń. Drugie zagadnienie to obliczenia wytrzymałościowe.

Rozwiązując pierwsze zagadnienie, przyjęto obciążenie wg PN. Istotnym obciążeniem jest obciążenie wiatrem. Ratusz znajduje się w centrum miasta. Pominęto w obliczeniach oblodzenie konstrukcji. Na drewniany maszt iglicy nałożona była stalowa rura. Drewniany maszt uległ złamaniu w miejscu u dołu stalowej nasadzonej rury. Wobec braku odłamanej drewnianej części i braku dostępu do istniejącego pozostałego po złamaniu kikuta nie wiemy jak wygląda przekrój drewniany w miejscu złamania i w związku z tym nie można jednoznacznie powiedzieć, że przekrój w miejscu złamania miał w czasie zdarzenia cechy przyjęte do obliczeń. Można przypuszczać, że miał cechy gorsze od przyjętych w obliczeniach. Nie wiemy również jak faktycznie wyglądało połączenie drewnianej iglicy ze stalową rurą. Iglica siłą rzeczy wystawiona jest na warunki zewnętrzne (czyli bez ogrzewania). W miejscu styku drewna (drewniany maszt iglicy) i metalu (dolna część nasadzonej stalowej rury), wobec zewnętrznych warunków atmosferycznych charakteryzujących się w upływie czasu dużą różnicą temperatur, wilgotności i możliwości dostępu powietrza (nasadzona rura stalowa na drewniany maszt) wpływem powietrza mogło dojść do zmian dotyczących cech wytrzymałościowych drewnianego przekroju iglicy. Drewno to materiał organiczny. Temperatura, skokowe zmiany temperatury, różnica temperatur, wilgotność, różnica wilgotności i wobec tego co wcześniej opisano ograniczony dostęp powietrza (stalowa rura na drewnianym słupie) prowadzą do zmian w drewnie (materiale organicznym). Wobec warunków j.w. można

przypuszczać, że doszło do obniżenia parametrów wytrzymałościowych i geometrycznych.

7. Określenie sposobu naprawy iglicy.

7.1. Opis ogólny.

Sposób naprawy iglicy określono na podstawie analizy konstrukcji, w obliczeń statyczno – wytrzymałościowych opisanych w p.6. Określenie sposobu naprawy wykonano dla dwóch wersji: drewnianej i stalowej.

7.2. Wersja w konstrukcji drewnianej.

Przyjęto nową konstrukcję drewnianą iglicy. Przyjęto nowy maszt iglicy. W dolnej części, wewnątrz kopuły przyjęto drewniany przekrój kwadratowy 20/20 cm oparty na belkach ułożonych na poziomie podstawy kopuły (strop ponad galerią).

Konstrukcja kopuły składa się z krążyn nadających kształt kopule. Tuż ponad krążynami przyjęto przekrój kołowy o średnicy $D = 20,0$ cm. Na części drewnianej o przekroju kołowym nałożono rurę stalową na której umieszczono elementy symbole wg sytuacji przed uszkodzeniem (flagę, orła, koronę, kulę (banię)).

Przyjęto rurę stalową okrągłą. Początek rury znajduje się wewnątrz kopuły tuż ponad krążynami, tak jak przyjęto w miejscu gdzie zmienia się przekrój prostokątnego na kołowy.

Elementy drewniane należy zabezpieczyć ze względów biologicznych i przeciwpożarowych.

7.3. Wersja w konstrukcji stalowej.

~~W wersji stalowej przyjęto stalową iglicę. W wersji stalowej przyjęto stalową iglicę w postaci rury od góry do dołu. Rurę podparto trzema zastrzałami stalowymi z rur okrągłych~~

~~Zastrzały stalowe przyjęto w lokalizacji takiej jak lokalizacja istniejących zastrzałów drewnianych.~~

~~Elementy stalowe należy zabezpieczyć antykorozyjnie farbą do zastosowań zewnętrznych.~~

8. Podsumowanie.

- przedstawiono ~~do wyboru dwa~~ sposoby naprawy ~~jeden~~ w konstrukcji drewnianej, ~~drugi w konstrukcji stalowej~~;
- prace budowlane należy wykonać z zamontowanego wcześniej na poziomie galerii rusztowania, opracowanie nie obejmuje projektu technologii robót budowlanych, w tym prac związanych z wykonaniem rusztowania;
- rusztowanie robocze (jego podstawa) powinno być zamontowane na poziomie galerii, należy zauważyć, że na galerii znajdują się dzwony podwieszone do stropu ponad galerią, czyli stropu będącego podstawą kopuły, stropu na którym oparta jest konstrukcja iglicy;
- opracowanie nie obejmuje projektu technologii robót budowlanych, w tym prac związanych z wykonaniem rusztowania;
- przewidywane prace będą miały miejsce w istniejącym obiekcie, część elementów konstrukcyjnych jest obecnie niedostępna, w trakcie prac budowlanych po umożliwieniu mogą pojawić się nieprzewidzane sytuacje, w sytuacjach wątpliwych należy powiadomić autora opracowania, szczegóły wykonawcze będzie można wykonać w trakcie wykonywania prac budowlanych;
- rozwiązania detali połączeniowych i technicznych należy wykonać zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami, wytycznymi producentów, własnościami technicznymi stosowanych materiałów oraz zasadami sztuki budowlanej;
- wszystkie prace wykonywać na podstawie wcześniej wykonanego i zatwierdzonego projektu zgodnie z obowiązującymi zasadami BHP, normami i sztuką budowlaną pod nadzorem osoby posiadającej odpowiednie uprawnienia.
- dobudowa zewnętrznego szybu windy jest możliwa

9. Obliczenia statyczno – wytrzymałościowe iglicy.

9.1. Obliczenia – stan istniejący przed uszkodzeniem.

9.1.1. Zestawienie obciążeń dla iglicy.

Elementy iglicy – obciążenia pionowe.

Zestawienie służy określeniu ciężaru konstrukcji.

Choraławki.

Wykonana z blachy stalowej. Wymiary w uproszczeniu $0,3 \times 1,0$ m, grubość 2,0 mm. Pole powierzchni uproszczone $F_1 = 0,3 \times 1,0 = 0,3 \text{ m}^2$. Pole przyjęte do obliczeń $A_1 = (2/3) \times 0,3 = 0,2 \text{ m}^2$. Ciężar charakterystyczny $G_{1k} = 78,5 \times 0,20 \times 0,002 = 0,03 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$. Ciężar obliczeniowy $G_1 = 1,1 \times 0,03 = 0,03 \text{ kN}$, Mimośród obciążenia od chorągwi $e_1 = 0,5 \text{ m}$. Moment zginający $\Delta M_1 = 0,03 \times 0,5 = 0,015 \text{ kNm}$

Orzeł.

Wykonany z blachy stalowej. Wymiary w uproszczeniu $0,6 \times 0,5$ m, grubość 2,0 mm. Pole powierzchni uproszczone $F_2 = 0,6 \times 0,5 = 0,3 \text{ m}^2$. Pole przyjęte do obliczeń $A_2 = (1/2) \times 0,3 = 0,15 \text{ m}^2$. Ciężar charakterystyczny $G_{2k} = 78,5 \times 0,15 \times 0,002 = 0,024 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$. Ciężar obliczeniowy $G_2 = 1,1 \times 0,024 = 0,026 \text{ kN}$

Kula.

Wykonana z blachy miedzianej. Średnica zewnętrzna kuli $D = 80,0 \text{ cm}$, grubość 1,0 mm. Objętość części kuli $V = (4/3) \times \pi \times (40,0^3 - 39,9^3) = 2006,0 \text{ cm}^3 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, ciężar właściwy miedzi $\gamma = 89,0 \text{ kN/m}^3$. Ciężar charakterystyczny $G_{3k} = 89,0 \times 2,0 \times 10^{-3} = 0,18 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$. Ciężar obliczeniowy $G_3 = 1,1 \times 0,18 = 0,20 \text{ kN}$

Drzewiec stalowy.

Wykonany z rury stalowej o średnicy $\Phi 40,0 \text{ mm}$, grubość ścianki $g = 5,0 \text{ mm}$, długość $l = 1,62 \text{ m}$. Pole przyjęte do obliczeń $A_3 = \pi \times (4,0^2 - 3,0^2) / 4 = 5,5 \text{ cm}^2 = 5,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Ciężar charakterystyczny $G_{4k} = 78,5 \times 5,5 \times 10^{-4} \times 1,62 = 0,07 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$. Ciężar obliczeniowy $G_4 = 1,1 \times 0,07 = 0,08 \text{ kN}$

Obudowa stalowa rurowa.

Wykonana z rury stalowej o średnicy $\Phi 160,0 \text{ mm}$, grubość ścianki $g = 2,0 \text{ mm}$, długość $l = 2,5 \text{ m}$. Pole przyjęte do obliczeń $A_3 = \pi \times (16,0^2 - 15,6^2) / 4 = 9,93 \text{ cm}^2 = 9,93 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. Ciężar charakterystyczny $G_{5k} = 78,5 \times 9,93 \times 10^{-4} \times 2,5 = 0,20 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$. Ciężar obliczeniowy $G_5 = 1,1 \times 0,20 = 0,22 \text{ kN}$

Sumaryczne obciążenie pionowe.

$G_{6k} = 0,03 + 0,024 + 0,18 + 0,07 + 0,20 = 0,50 \text{ kN}$
 $G_6 = 0,03 + 0,026 + 0,20 + 0,08 + 0,22 = 0,56 \text{ kN} \approx 0,60 \text{ kN}$

Elementy iglicy – obciążenia sumaryczne, pionowe i poziome (stan istniejący przed uszkodzeniem).

Wykorzystano obliczenia powyżej.

Chorągiew.**Obciążenie pionowe.**

Chorągiew wykonana z blachy stalowej. Wymiary w uproszczeniu $0,3 \times 1,0$ m, grubość 2,0 mm. Pole powierzchni uproszczone $F_1 = 0,3 \times 1,0 = 0,3 \text{ m}^2$.

Pole przyjęte do obliczeń $A_1 = (2/3) \times 0,3 = 0,20 \text{ m}^2$.

Ciężar charakterystyczny $G_{1k} = 78,5 \times 0,20 \times 0,002 = 0,03 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$.

Ciężar obliczeniowy $G_1 = 1,1 \times 0,03 = 0,03 \text{ kN}$,

Mimośród obciążenia od chorągwi $e_1 = 0,5 \text{ m}$.

Moment zginający $\Delta M_{1k} = 0,3 \times 0,5 = 0,15 \text{ kNm}$.

Obciążenie poziome.

Rozważono kilka przypadków obciążenia wiatrem. Chorągiew ma możliwość obracania się względem osi iglicy w zależności od tego z której strony wieje wiatr (w przypadku czystym teoretycznie, gdy mechanizm działa bez oporów chorągiew powinna wskazywać kierunek wiatru).

Konserwacja takiego urządzenia ze względu na położenie jest trudna.

Może zaistnieć sytuacja, że chorągiew nie obróci się do kierunku wiatru.

Do obliczeń dla chorągwi przyjęto z pewnym uproszczeniem przypadek oddziaływania wiatru na ścianę lub płytę wg PN-77-B-02011:1977/Az1 lipiec 2009.

Chorągiew mocowana jest do stalowej rury o średnicy 160 mm osadzonej na drewnianym drzewcu o średnicy 150 mm. Współczynnik dynamicznych porywów wiatru dla chorągwi przyjęto taki jak dla drewnianego masztu dla którego przyjęto schemat statyczny wspornika o wysięgu $h = 3,8 \text{ m}$ (licząc od zastrzałów podpierających w kopule do górnej części kuli (bani)).

Całkowite obciążenie charakterystyczne pionowe przypadające na drewniany drzewiec

$Q_{1k} = \Sigma G_{ik} = G_{6k} = 0,50 \text{ kN}$ (stalowa chorągiew, stalowy orzeł, miedziana kula, drzewiec stalowy, stalowa obudowa)

Tok obliczeń współczynnika działania porywów wiatru wg programu Specbud

- Okres drgań własnych budowli $T = 0,089 \text{ s}$

- Logarytmiczny dekrement tłumienia $\delta = 0,02$

-> Budowla niepodatna przyjęto $\beta = 1,80$,

Do dalszych obliczeń przyjęto współczynnik β dynamicznych porywów wiatru $\beta = 1,8$.

Tablica 1. Chorągiew - ściana płaska.

Lp	Opis obciążenia	Obc. char. kN/m^2	γ_f	k_d	Obc. obl. kN/m^2
1.	Obciążenie wiatrem ściany lub płyty wg PN-B-02011:1977/Az1/Z1-23 (strefa III, $H=300 \text{ m}$ n.p.m. -> $q_k = 0,30 \text{ kN/m}^2$, teren A, $z=H=41,0 \text{ m}$, -> $C_e=1,50$ -> wsp. aerodyn. $C=2,0$, $\beta=1,80$) [1,625 kN/m^2]	1,63	1,50	0,00	2,44

Figura chorągwi ma złożony kształt, z wcięciami, z jednej strony powodują zwiększone obciążenia tzw. obciążenia krawędzowe. Do dalszych obliczeń parcia wiatru przyjęto pole powierzchni tzw. uproszczone

$F_1 = 0,3 \times 1,0 = 0,30 \text{ m}^2$.

Siła od wiatru działająca na chorągiew.

$$W_{1k} = 1,63 \cdot 0,30 = 0,49 \text{ kN},$$

$$W_1 = 2,44 \cdot 0,30 = 0,73 \text{ kN}.$$

W obliczeniach od sił poziomych przyjęto dwa mimośrodów określające położenie sił skupionych:

– e_{1a} – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– e_{1b} – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Wielkości mimośródów dla chorągwi:

– $e_{1a} = 3,25 \text{ m}$ – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– $e_{1b} = 5,45 \text{ m}$ – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Orzeł.

Obciążenie pionowe.

Wykonany z blachy stalowej. Wymiary w uproszczeniu $0,6 \times 0,5 \text{ m}$, grubość $2,0 \text{ mm}$. Pole powierzchni uproszczone $F_2 = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ m}^2$.

Pole przyjęte do obliczeń ciężaru $A_2 = (1/2) \cdot 0,3 = 0,15 \text{ m}^2$.

Ciężar charakterystyczny $G_{2k} = 78,5 \cdot 0,15 \cdot 0,002 = 0,024 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$.

Ciężar obliczeniowy $G_2 = 1,1 \cdot 0,024 = 0,026 \text{ kN}$

Obciążenie poziome.

Do obliczeń dla orła przyjęto z pewnym uproszczeniem przypadek oddziaływania wiatru na ścianę lub płytę wg PN-77-B-02011:1977/Az1 lipiec 2009.

Orzeł mocowany jest do stalowej konstrukcji rury osadzonej na drewnianym drzewcu o średnicy 150 mm . Współczynnik dynamicznych porywów wiatru dla chorągwi przyjęto taki jak dla drewnianego masztu dla którego przyjęto schemat statyczny wspornika o wysięgu $h = 3,8 \text{ m}$ (licząc od zastrzałów podpierających w kopule do górnej części kuli (bani)).

Wg wcześniejszych obliczeń przyjęto współczynnik β dynamicznych porywów wiatru $\beta = 1,8$.

Obciążenie na $1,0 \text{ m}^2$ od wiatru przyjęto jak dla chorągwi.

Orzeł wykonany z blachy stalowej. Wymiary w uproszczeniu (po obrysie zewnętrznym, na polu prostokąta) przyjęto $0,6 \times 0,5 \text{ m}$, grubość $2,0 \text{ mm}$.

Figura orła ma złożony kształt, liczne wcięcia z jednej strony prowadzą do tego, że rzeczywiste pole figury jest mniejsze od podanego wyżej, z drugiej powodują zwiększone obciążenia tzw. obciążenia krawędzowe. Do dalszych obliczeń parcia wiatru przyjęto pole powierzchni

$$F_2 = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ m}^2.$$

Siła od wiatru działająca na orła.

$$W_{2k} = 1,63 \cdot 0,30 = 0,49 \text{ kN},$$

$$W_2 = 2,44 \cdot 0,30 = 0,73 \text{ kN}.$$

W obliczeniach od sił poziomych przyjęto dwa mimośrodów określające położenie sił skupionych:

– e_{1a} – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– e_{ib} – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Wielkości mimośrodków dla orła:

– $e_{2a} = 2,75$ m – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– $e_{2b} = 4,95$ m – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Kula.

Obciążenie pionowe.

Wykonana z blachy miedzianej. Średnica zewnętrzna kuli $D = 80,0$ cm, grubość $1,0$ mm. Objętość części kuli

$$V = (4/3) \cdot \pi \cdot (40,0^3 - 39,9^3) = 2006,0 \text{ cm}^3 = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3,$$

ciężar właściwy miedzi $\gamma = 89,0 \text{ kN/m}^3$

Ciężar charakterystyczny $G_{3k} = 89,0 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} = 0,18 \text{ kN}$, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$.

Ciężar obliczeniowy $G_3 = 1,1 \cdot 0,18 = 0,20 \text{ kN}$.

Obciążenie poziome.

Do obliczenia obciążenia wiatrem kuli przyjęto przypadek oddziaływania wiatru wg PN-77-B-02011:1977/Az1 lipiec 2009.

Kula mocowana jest do stalowej rury o średnicy 160 mm osadzonej na drewnianym drzewcu o średnicy 150 mm. Współczynnik dynamicznych porywów wiatru dla chorągwi przyjęto taki jak dla drewnianego masztu dla którego przyjęto schemat statyczny wspornika o wysięgu $h = 3,8$ m (licząc od zastrzałów podpierających w kopule do górnej części kuli (bani)).

Wg wcześniejszych obliczeń przyjęto współczynnik β dynamicznych porywów wiatru $\beta = 1,8$.

Kula ma niewielkie wymiary i ze względu na sposób łączenia blach powłoki powierzchnię chropowatą. Taka sytuacja wpływa na wzrost obciążenia wiatrem.

Do dalszych obliczeń parcia wiatru przyjęto dla kuli pole powierzchni $F_3 = \pi \cdot 0,8^2 / 4 = 0,5 \text{ m}^2$.

Charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru:

strefa obciążenia wiatrem III; $H = 300$ m n.p.m., $q_k = 0,300 \text{ kN/m}^2$

Współczynnik ekspozycji:

rodzaj terenu: A; $z = H = 41,0$ m, $C_e(z) = 1,23 + 0,0067 \cdot 41,0 = 1,50$

Współczynnik działania porywów wiatru: $\beta = 1,80$,

Współczynnik aerodynamiczny przyjęto:

$C = C_x = 1,0$.

Obciążenie charakterystyczne:

$$p_k = q_k \cdot C_e \cdot C \cdot \beta = 0,300 \cdot 1,50 \cdot 1,0 \cdot 1,80 = 0,81 \text{ kN/m}^2$$

Obciążenie obliczeniowe:

$$p = 1,5 \cdot 0,81 = 1,21 \text{ kN/m}^2.$$

Siła od wiatru działająca na kulę.

$$W_{3k} = 0,81 \cdot 0,5 = 0,40 \text{ kN},$$

$$W_3 = 1,5 \cdot 0,40 = 0,60 \text{ kN}.$$

W obliczeniach od sił poziomych przyjęto dwa mimośrodki określające położenie sił skupionych:

- e_{ia} – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);
- e_{ib} – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Wielkości mimośrodków dla kuli:

- $e_{3a} = 1,15$ m – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);
- $e_{3b} = 3,35$ m – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Drzewiec stalowy.

Obciążenia pionowe.

Wykonany z rury stalowej o średnicy $\Phi 40,0$ mm, grubość ścianki $g = 5,0$ mm, długość $l = 1,62$ m.

Pole przyjęte do obliczeń $A_3 = \pi \cdot (4,0^2 - 3,0^2) / 4 = 5,5 \text{ cm}^2 = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Ciężar charakterystyczny $G_{4k} = 78,5 \cdot 5,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,62 = 0,07$ kN, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$.

Ciężar obliczeniowy $G_4 = 1,1 \cdot 0,07 = 0,08$ kN

Obciążenie poziome.

Do obliczenia obciążenia wiatrem drzewca stalowego przyjęto przypadek oddziaływania wiatru wg PN-77-B-02011:1977/Az1 lipiec 2009.

Powierzchnia rzutu na jaką działa wiatr

$A_4 = 4,0 \cdot 75,0 = 300,0 \text{ cm}^2 = 300,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru:

strefa obciążenia wiatrem III; $H = 300$ m n.p.m., $q_k = 0,300 \text{ kN/m}^2$

Współczynnik ekspozycji:

rodzaj terenu: A; $z = H = 41,0$ m, $C_e(z) = 1,23 + 0,0067 \cdot 41,0 = 1,50$

Współczynnik działania porywów wiatru: $\beta = 1,80$,

Współczynnik aerodynamiczny przyjęto:

$C = C_x = 1,0$.

Obciążenie charakterystyczne:

$p_k = q_k \cdot C_e \cdot C \cdot \beta = 0,300 \cdot 1,50 \cdot 1,0 \cdot 1,80 = 0,81 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe:

$p = 1,5 \cdot 0,81 = 1,21 \text{ kN/m}^2$.

Siła od wiatru działająca na drzewiec stalowy.

$W_{4k} = 0,81 \cdot 300,0 \cdot 10^{-4} = 0,024$ kN,

$W_4 = 1,5 \cdot 0,024 = 0,036$ kN.

W obliczeniach od sił poziomych przyjęto dwa mimośrodów określające położenie sił skupionych:

- e_{ia} – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);
- e_{ib} – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Wielkości mimośrodków dla drzewca stalowego:

- $e_{4a} = 3,38$ m – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– $e_{4b} = 5,58$ m – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Obudowa stalowa rurowa.

Obciążenie pionowe.

Wykonana z rury stalowej o średnicy $\Phi 160,0$ mm, grubość ścianki $g = 2,0$ mm, długość $l = 2,5$ m.

Pole przyjęte do obliczeń $A_3 = \pi \cdot (16,0^2 - 15,6^2) / 4 = 9,93 \text{ cm}^2 = 9,93 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Ciężar charakterystyczny $G_{5k} = 78,5 \cdot 9,93 \cdot 10^{-4} \cdot 2,5 = 0,20$ kN, współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$.

Ciężar obliczeniowy $G_5 = 1,1 \cdot 0,20 = 0,22$ kN

Obciążenie poziome – część poniżej kuli.

Do obliczenia obciążenia wiatrem kuli przyjęto przypadek oddziaływania wiatru wg PN-77-B-02011:1977/Az1 lipiec 2009.

Powierzchnia rzutu na jaką działa wiatr

$A_{5d} = 16,0 \cdot 75,0 = 1200,00 \text{ cm}^2 = 1200,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru:

strefa obciążenia wiatrem III; $H = 300$ m n.p.m., $q_k = 0,300 \text{ kN/m}^2$

Współczynnik ekspozycji:

rodzaj terenu: A; $z = H = 41,0$ m, $C_e(z) = 1,23 + 0,0067 \cdot 41,0 = 1,50$

Współczynnik działania porywów wiatru: $\beta = 1,80$,

Współczynnik aerodynamiczny przyjęto:

$C = C_x = 1,0$.

Obciążenie charakterystyczne:

$p_k = q_k \cdot C_e \cdot C \cdot \beta = 0,300 \cdot 1,50 \cdot 1,0 \cdot 1,80 = 0,81 \text{ kN/m}^2$

Obciążenie obliczeniowe:

$p = 1,5 \cdot 0,81 = 1,21 \text{ kN/m}^2$.

Siła od wiatru działająca na obudowę stalową rurową.

$W_{5dk} = 0,81 \cdot 1200,00 \cdot 10^{-4} = 0,10$ kN,

$W_{5d} = 1,5 \cdot 0,10 = 0,15$ kN.

W obliczeniach od sił poziomych przyjęto dwa mimośrodów określające położenie sił skupionych:

– e_{ia} – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– e_{ib} – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Wielkości mimośródów dla obudowy stalowej rurowej – część poniżej kuli:

– $e_{5da} = 0,38$ m – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– $e_{5db} = 2,58$ m – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Obciążenie poziome – część powyżej kuli.

Do obliczenia obciążenia wiatrem kuli przyjęto przypadek oddziaływania wiatru wg PN-77-B-02011:1977/Az1 lipiec 2009.

Powierzchnia rzutu na jaką działa wiatr

$A_{5g} = 16,0 \cdot 95,0 = 1520,00 \text{ cm}^2 = 1520,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru:

strefa obciążenia wiatrem III; $H = 300$ m n.p.m., $q_k = 0,300$ kN/m²

Współczynnik ekspozycji:

rodzaj terenu: A; $z = H = 41,0$ m, $C_e(z) = 1,23 + 0,0067 \cdot 41,0 = 1,50$

Współczynnik działania porywów wiatru: $\beta = 1,80$,

Współczynnik aerodynamiczny przyjęto:

$C = C_x = 1,0$.

Obciążenie charakterystyczne:

$p_k = q_k \cdot C_e \cdot C \cdot \beta = 0,300 \cdot 1,50 \cdot 1,0 \cdot 1,80 = 0,81$ kN/m²

Obciążenie obliczeniowe:

$p = 1,5 \cdot 0,81 = 1,21$ kN/m².

Siła od wiatru działająca na obudowę stalową rurową.

$W_{5gk} = 0,81 \cdot 1520,0 \cdot 10^{-4} = 0,123$ kN,

$W_{5g} = 1,5 \cdot 0,123 = 0,18$ kN.

W obliczeniach od sił poziomych przyjęto dwa mimośrodów określające położenie sił skupionych:

– e_{ia} – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– e_{ib} – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Wielkości mimośródów dla obudowy stalowej rurowej – część powyżej kuli:

– $e_{5ga} = 2,02$ m – mimośród względem początku dolnej części stalowej obudowy rurowej (przekrój $\alpha - \alpha$);

– $e_{5gb} = 4,22$ m – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Słup drewniany.

Obciążenie pionowe.

Słup wykonany z drewna o średnicy $\Phi 150$ mm, długość $l = 2,5$ m (przyjęto do obliczeń przekrój $\Phi 150$ mm całej długości, przyjęto długość pręta do podstawy oparcia na poziomie podstawy kopuły, to uproszczenie po bezpiecznej stronie, w dolnej części słup ma przekrój kwadratowy 16/16 cm).

Pole przyjęte do obliczeń $A_6 = \pi \cdot (16,0)^2 / 4 = 201,0$ cm² = $201,0 \cdot 10^{-4}$ m².

Ciężar charakterystyczny $G_{6k} = 6,0 \cdot 201,0 \cdot 10^{-4} \cdot 2,5 = 0,30$ kN,

współczynnik obciążenia $\gamma_f = 1,1$.

Ciężar obliczeniowy $G_6 = 1,1 \cdot 0,30 = 0,33$ kN

Obciążenie poziome.

Do obliczenia obciążenia wiatrem kuli przyjęto przypadek oddziaływania wiatru wg PN-77-B-02011:1977/Az1 lipiec 2009.

Powierzchnia rzutu na jaką działa wiatr

$A_6 = 16,0 \cdot 140,0 = 2240,00$ cm² = $2240,0 \cdot 10^{-4}$ m²

Charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru:

strefa obciążenia wiatrem III; $H = 300$ m n.p.m., $q_k = 0,300$ kN/m²

Współczynnik ekspozycji:

rodzaj terenu: A; $z = H = 41,0$ m, $C_e(z) = 1,23 + 0,0067 \cdot 41,0 = 1,50$

Współczynnik działania porywów wiatru: $\beta = 1,80$,

Współczynnik aerodynamiczny przyjęto:

$$C = C_x = 1,0.$$

Obciążenie charakterystyczne:

$$p_k = q_k \cdot C_e \cdot C \cdot \beta = 0,300 \cdot 1,50 \cdot 1,0 \cdot 1,80 = 0,81 \text{ kN/m}^2$$

Obciążenie obliczeniowe:

$$p = 1,5 \cdot 0,81 = 1,21 \text{ kN/m}^2.$$

Siła od wiatru działająca na obudowę stalową rurową.

$$W_{6k} = 0,81 \cdot 2240,00 \cdot 10^{-4} = 0,18 \text{ kN},$$

$$W_6 = 1,5 \cdot 0,18 = 0,27 \text{ kN}.$$

W obliczeniach od sił poziomych przyjęto dwa mimośrodów określające położenie sił skupionych:

– e_{1b} – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

Wielkości mimośródów dla chorągwi dla drzewca drewnianego:

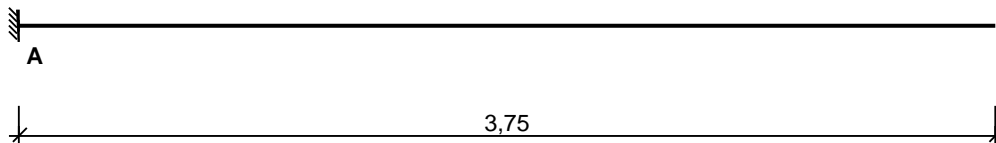
– $e_{2b} = 1,5 \text{ m}$ – mimośród względem początku części wspornikowej drewnianego słupa iglicy, w miejscu mocowania oparcia o zastrzały wewnątrz kopuły (przekrój $\beta - \beta$).

9.1.2. Schemat statyczny, siły wewnętrzne i wymiarowanie – stan przed uszkodzeniem.

Układ 1.

Do obliczeń przyjęto schemat drewnianej belki wspornikowej (plik BD2), której mocowanie jest w miejscu dolnego położenia stalowej rury obudowy. W tym miejscu drewniany maszt uległ złamaniu. Wtedy wysięg wspornika wynosi 3,75 m. Obliczenia wykonano jak dla belki drewnianej obciążonej wiatrem wg programu komputerowego Specbud. Do obliczeń przyjęto układ poziomy ustroju. Przekrój belki wg przyjęto jako drewniany okrągły o średnicy $d = 15,0 \text{ cm}$. Pominęto siły osiowe i ciężar własny konstrukcji. Przyjęto do obliczeń średnią klasę drewna C24. Iglica znajduje się na zewnątrz, jest narażona na warunki atmosferyczne. Przyjęto klasę użytkowania – 3.

SCHEMAT BELKI

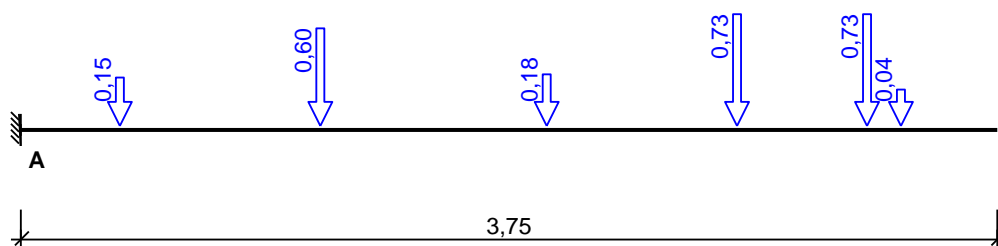


Parametry belki:

OBCIĄŻENIA OBLICZENIOWE BELKI

Przypadek **P1: wiatr** ($\gamma_f = 1,5$, klasa trwania - krótkotrwałe)

Schemat statyczny:



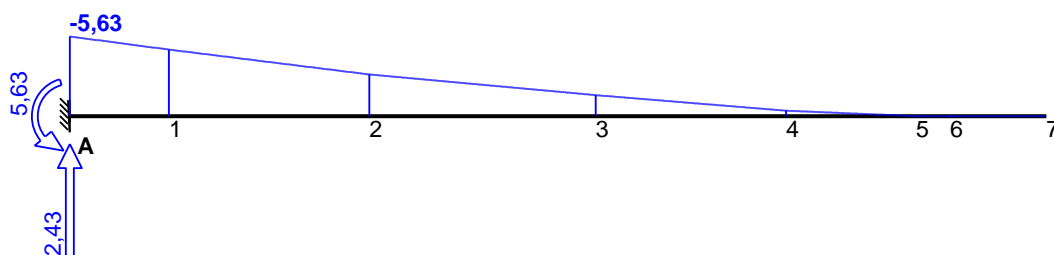
Tablica obciążeń obliczeniowych

Przekrój	x [m]	q_l [kN/m]	q_p [kN/m]	F [kN]	M [kN]
A.	0,00	--	0,00	0,00	0,00
1.	0,38	0,00	0,00	0,15	0,00
2.	1,15	0,00	0,00	0,60	0,00
3.	2,02	0,00	0,00	0,18	0,00
4.	2,75	0,00	0,00	0,73	0,00
5.	3,25	0,00	0,00	0,73	0,00
6.	3,38	0,00	0,00	0,04	0,00
7.	3,75	0,00	--	0,00	0,00

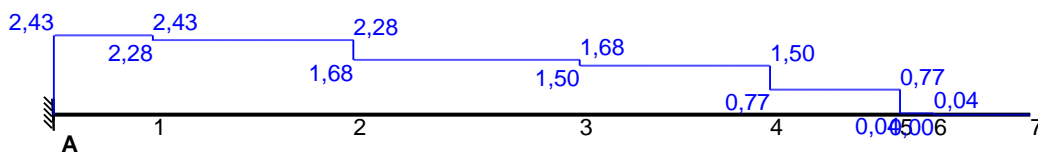
WYKRESY SIŁ WEWNĘTRZNYCH

Przypadek P1: wiatr

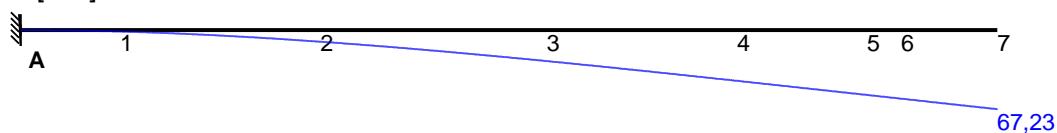
Momenty zginające [kNm]:



Siły poprzeczne [kN]:



Ugięcia [mm]:



Tablica wyników obliczeń statycznych:

L.p.	x [m]	M_l [kNm]	M_p [kNm]	V_l [kN]	V_p [kN]	f [mm]
Prawy wspornik ($l_o = 3,75$ m)						
A.	0,00	--	-5,63	--	2,43	--
1.	0,38	-4,70	-4,70	2,43	2,28	1,22
2.	1,15	-2,95	-2,95	2,28	1,68	9,88

3.	2,02	-1,49	-1,49	1,68	1,50	26,36
4.	2,75	-0,39	-0,39	1,50	0,77	43,13
5.	3,25	-0,01	-0,01	0,77	0,04	55,16
6.	3,38	0,00	0,00	0,04	0,00	58,30
7.	3,75	0,00	--	0,00	--	67,23
Reakcje podporowe: $R_A = 2,43 \text{ kN}$, $M_A = -5,63 \text{ kNm}$						

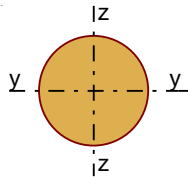
ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE DO WYMIAROWANIA

Klasa użytkowania konstrukcji - 3

Parametry analizy zwichrzenia:

- brak stężeń bocznych na długości belki
- stosunek $l_d/l = 1,00$
- obciążenie przyłożone na pasie ściskowym (górnym) belki

Belka w obiekcie starym, remontowanym

Ugięcie graniczne wspornika przyjęto $u_{\text{net,fin}} = l_o / 100$ **WYNIKI OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH****WYMIAROWANIE WG PN-B-03150:2000**Przekrój okrągły $\phi 15 \text{ cm}$

$$W_y = 331 \text{ cm}^3, J_y = 2485 \text{ cm}^4, m = 6,19 \text{ kg/m}$$

drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C24**

$$\rightarrow f_{m,k} = 24 \text{ MPa}, f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}, f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}, f_{v,k} = 2,5 \text{ MPa}, E_{0,\text{mean}} = 11 \text{ GPa}, \rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

ZginaniePrzekrój $x = 0,00 \text{ m}$ Moment maksymalny $M_{\text{max}} = -5,63 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,y,d} = 16,98 \text{ MPa}, f_{m,y,d} = 12,92 \text{ MPa}$$

Warunek nośności:

$$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} = 1,31 > 1 \quad (!!!)$$

Warunek stateczności:

$$k_{\text{crit}} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 16,98 \text{ MPa} > k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d} = 12,92 \text{ MPa} \quad (131,4\%) \quad (!!!)$$

ŚcinaniePrzekrój $x = 0,00 \text{ m}$ Maksymalna siła poprzeczna $V_{\text{max}} = 2,43 \text{ kN}$

$$\tau_d = 0,18 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,35 \text{ MPa} \quad (13,6\%)$$

Docisk na podporzeReakcja podporowa $R_A = 2,43 \text{ kN}$

(wymiarowanie na docisk pominięto)

Stan graniczny użytkowalnościPrzekrój $x = 3,75 \text{ m}$ Ugięcie maksymalne $u_{\text{fin}} = 67,23 \text{ mm}$

$$\text{Ugięcie graniczne } u_{\text{net,fin}} = 1,5 \cdot l_o / 100 = 1,5 \cdot 3750 / 100 = 56,25 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin}} = 67,23 \text{ mm} > u_{\text{net,fin}} = 56,25 \text{ mm} \quad (120,00\%) \quad (!!!)$$

Układ 2.

Do obliczeń przyjęto słup drewniany o średnicy $d = 15,0 \text{ cm}$. Przyjęto schemat uproszczony. Dół zamocowany góra swobodna. Schemat drewnianej belki wspornikowej, której mocowanie jest na początku stalowej rury obudowy. Przyjęto przy tych teoretycznych założeniach długość słupa drewnianego od początku mocowania stalowej rury obudowy do góry kuli

$l = 1,55$ m. Przyjęto klasę użytkowania – 3.
Siła osiowa $N = 0,60$ kN,
Moment zginający $M = 5,63$ kNm

Element 1

DANE:

Wymiary przekroju: przekrój okrągły

Średnica $d = 15,0$ cm

Drewno:

drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C24**

→ $f_{m,k} = 24$ MPa, $f_{t,0,k} = 14$ MPa, $f_{c,0,k} = 21$ MPa, $f_{v,k} = 2,5$ MPa, $E_{0,mean} = 11$ GPa, $\rho_k = 350$ kg/m³

Klasa użytkowania konstrukcji: klasa 3

Geometria:

Wysokość słupa $l_{col} = 1,55$ m

Współczynniki długości wyboczeniowej:

- względem osi y $\mu_y = 2,00$

- względem osi z $\mu_z = 2,00$

Obciążenia:

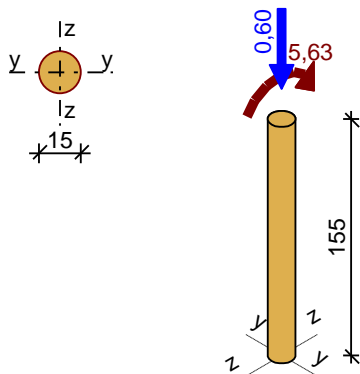
Siła ściskająca $N_c = 0,60$ kN

Moment zginający $M_y = 5,63$ kNm

Moment zginający $M_z = 0,00$ kNm

Klasa trwania obciążenia: krótkotrwałe

WYNIKI:



Zginanie ze ściskaniem:

$N_c = 0,60$ kN; $M_y = 5,63$ kNm

Warunek smukłości:

$\lambda_y = 82,67 < \lambda_c = 150$ (55,1%)

$\lambda_z = 82,67 < \lambda_c = 150$ (55,1%)

Warunek nośności:

$k_{c,y} = 0,438$; $k_{c,z} = 0,438$

$\sigma_{c,0,d} = 0,03$ MPa, $f_{c,0,d} = 11,31$ MPa

$\sigma_{m,y,d} = 16,99$ MPa, $f_{m,y,d} = 12,92$ MPa

$\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,007 + 1,315 = 1,322 > 1$ (!!!)

$\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,007 + 1,315 = 1,322 > 1$ (!!!)

Warunek stateczności:

$k_{crit,y} = 1,000$

$\sigma_{m,y,d} = 16,99$ MPa $>$ $k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d} = 12,92$ MPa (131,5%) (!!!)

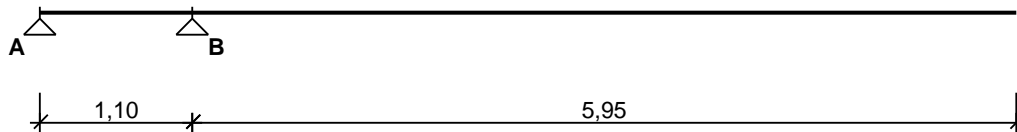
Układ 3.

Przyjęto schemat belki jednoprzęsłowej ze wspornikiem. Rozpiętość przęsła

przyjęto 1,1 m (od podstawy oparcia masztu i zastrzałów na poziomie oparcia kopuły), Wysięg wspornika przyjęto 5,95 m od miejsca mocowania masztu do zastrzałów do wierzchołka masztu.

Na podstawie oględzin w dolnej części wewnątrz kopuły przyjęto przekrój pręta drewnianego 16/16 cm. W górnej części masztu przekrój jest okrągły, o średnicy 15,0 cm. Obliczenia mają na celu sprawdzenie nośności w miejscu początku wspornika (oparcie o zastrzały). Obliczenia dotyczą początku wspornika. Ze względów technicznych przyjęto stały przekrój na długości 16/16 cm. Założono do obliczeń klasę użytkowania – 2.

SCHEMAT BELKI

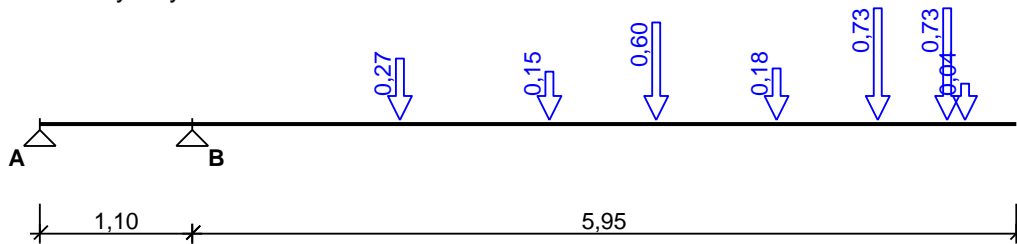


Parametry belki:

OBCIĄŻENIA OBLICZENIOWE BELKI

Przypadek **P1: wiatr** ($\gamma_f = 1,5$, klasa trwania - krótkotrwałe)

Schemat statyczny:



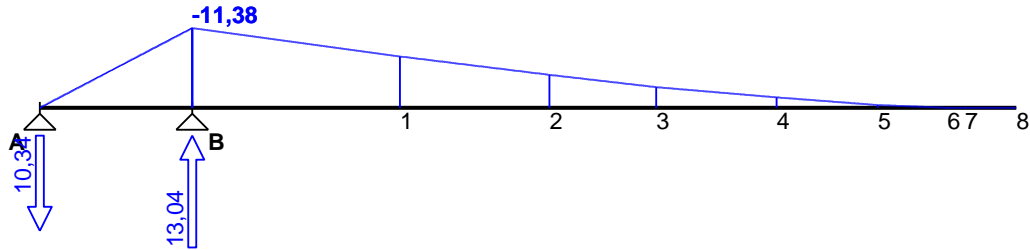
Tablica obciążeń obliczeniowych

Przekrój	x [m]	q_l [kN/m]	q_p [kN/m]	F [kN]	M [kN]
A.	0,00	--	0,00	0,00	0,00
B.	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00
1.	2,60	0,00	0,00	0,27	0,00
2.	3,68	0,00	0,00	0,15	0,00
3.	4,45	0,00	0,00	0,60	0,00
4.	5,32	0,00	0,00	0,18	0,00
5.	6,05	0,00	0,00	0,73	0,00
6.	6,55	0,00	0,00	0,73	0,00
7.	6,68	0,00	0,00	0,04	0,00
8.	7,05	0,00	--	0,00	0,00

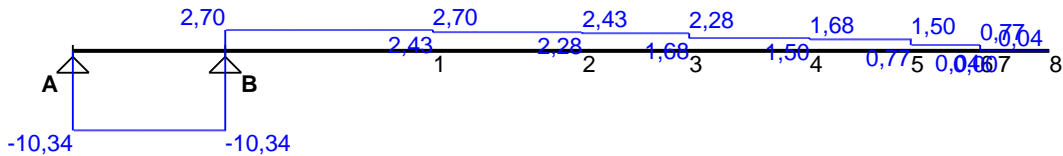
WYKRESY SIŁ WEWNĘTRZNYCH

Przypadek **P1: wiatr**

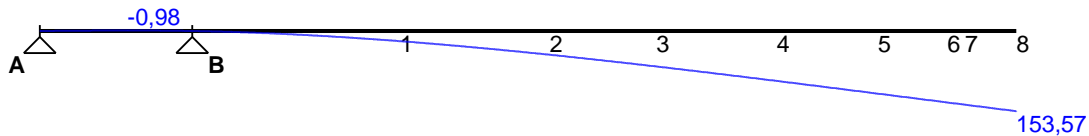
Momenty zginające [kNm]:



Siły poprzeczne [kN]:



Ugięcia [mm]:



Tablica wyników obliczeń statycznych:

L.p.	x [m]	M _l [kNm]	M _p [kNm]	V _l [kN]	V _p [kN]	f [mm]
Przęsło A - B (l_o = 1,10 m)						
A.	0,00	--	0,00	--	-10,34	--
1.	0,63	-6,56	-6,56	-10,34	-10,34	-0,98
B.	1,10	-11,38	--	-10,34	--	--
Prawy wspornik (l_o = 5,95 m)						
B.	1,10	--	-11,38	--	2,70	--
2.	2,60	-7,33	-7,33	2,70	2,43	19,46
3.	3,68	-4,70	-4,70	2,43	2,28	45,45
4.	4,45	-2,95	-2,95	2,28	1,68	67,91
5.	5,32	-1,49	-1,49	1,68	1,50	95,62
6.	6,05	-0,39	-0,39	1,50	0,77	119,91
7.	6,55	-0,01	-0,01	0,77	0,04	136,73
8.	6,68	0,00	0,00	0,04	0,00	141,11
9.	7,05	0,00	--	0,00	--	153,57

Reakcje podporowe: R_A = -10,34 kN, R_B = 13,04 kN

ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE DO WYMIAROWANIA

Klasa użytkowania konstrukcji - 2

Parametry analizy zwichtzenia:

- brak stężeń bocznych na długości belki
- stosunek $I_d/I = 1,00$
- obciążenie przyłożone na pasie ściskanym (górnym) belki

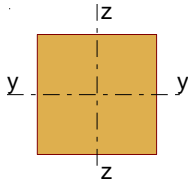
Belka w obiekcie starym, remontowanym

Ugięcie graniczne przęsła $u_{net,fin} = l_o / 150$

Ugięcie graniczne wspornika $u_{net,fin} = l_o / 100$

WYNIKI OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

WYMIAROWANIE WG PN-B-03150:2000



Przekrój prostokątny **16 / 16 cm**

$$W_y = 683 \text{ cm}^3, J_y = 5461 \text{ cm}^4, m = 8,96 \text{ kg/m}$$

drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C24**

$$\rightarrow f_{m,k} = 24 \text{ MPa}, f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}, f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}, f_{v,k} = 2,5 \text{ MPa}, E_{0,mean} = 11 \text{ GPa}, \rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

Belka

Zginanie

Przekrój $x = 1,10 \text{ m}$

Moment maksymalny $M_{max} = -11,38 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,y,d} = 16,67 \text{ MPa}, f_{m,y,d} = 16,62 \text{ MPa}$$

Warunek nośności:

$$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} = 1,00 > 1 \quad (!!!)$$

Warunek stateczności:

$$k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 16,67 \text{ MPa} > k_{crit} \cdot f_{m,y,d} = 16,62 \text{ MPa} \quad (100,3\%) \quad (!!!)$$

Ścinanie

Przekrój $x = 0,00 \text{ m}$

Maksymalna siła poprzeczna $V_{max} = -10,34 \text{ kN}$

$$\tau_d = 0,61 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,73 \text{ MPa} \quad (35,0\%)$$

Docisk na podporze

Reakcja podporowa $R_B = 13,04 \text{ kN}$

(wymiarowanie na docisk pominięto)

Stan graniczny użytkowalności

Przekrój $x = 7,05 \text{ m}$

Ugięcie maksymalne $u_{fin} = 153,57 \text{ mm}$

Ugięcie graniczne $u_{net,fin} = 1,5 \cdot l_o / 100 = 1,5 \cdot 5950 / 100 = 89,25 \text{ mm}$

$$u_{fin} = 153,57 \text{ mm} > u_{net,fin} = 89,25 \text{ mm} \quad (170,0\%) \quad (!!!)$$

Układ 4.

Do obliczeń przyjęto słup drewniany kwadratowy 16/16 cm. Przyjęto schemat uproszczony. Dół zamocowany góra swobodna. Schemat drewnianej belki wspornikowej, której mocowanie jest w miejscu podparcia zastrzałami. Długość pręta od podstawy wspornika do miejsca powyżej górnej części kuli $l = 3,75 \text{ m}$.

Przyjęto klasę użytkowania – 2.

Siła osiowa $N = 0,60 \text{ kN}$,

Moment zginający $M = 11,4 \text{ kNm}$

DANE:

Wymiary przekroju: przekrój prostokątny

Szerokość $b = 16,0 \text{ cm}$

Wysokość $h = 16,0 \text{ cm}$

Drewno:

drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C24**

$$\rightarrow f_{m,k} = 24 \text{ MPa}, f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}, f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}, f_{v,k} = 2,5 \text{ MPa}, E_{0,mean} = 11 \text{ GPa}, \rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$$

Klasa użytkowania konstrukcji: klasa 2

Geometria:

Wysokość słupa $l_{col} = 3,75 \text{ m}$

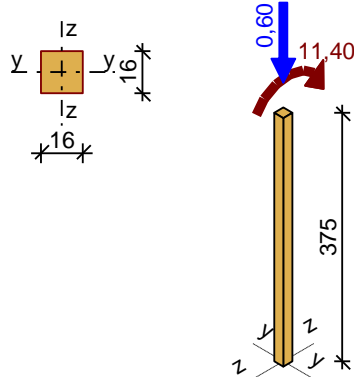
Współczynniki długości wyboczeniowej:

- względem osi y $\mu_y = 2,00$

- względem osi z $\mu_z = 2,00$

Obciążenia:

Siła ściskająca $N_c = 0,60 \text{ kN}$
 Moment zginający $M_y = 11,40 \text{ kNm}$
 Moment zginający $M_z = 0,00 \text{ kNm}$
 Klasa trwania obciążenia: krótkotrwałe

WYNIKI:Zginanie ze ściskaniem:

$N_c = 0,60 \text{ kN}$; $M_y = 11,40 \text{ kNm}$

Warunek smukłości:

$$\lambda_y = 162,38 > \lambda_c = 150 \quad (108,3\%) \quad (!!!)$$

$$\lambda_z = 162,38 > \lambda_c = 150 \quad (108,3\%) \quad (!!!)$$

Warunek nośności:

$$k_{c,y} = 0,124; \quad k_{c,z} = 0,124$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,02 \text{ MPa}, \quad f_{c,0,d} = 14,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 16,70 \text{ MPa}, \quad f_{m,y,d} = 16,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,013 + 1,005 = 1,018 > 1 \quad (!!!)$$

$$\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,013 + 1,005 = 1,018 > 1 \quad (!!!)$$

Do obliczeń układów 3 i 4 (podstawa wspornika) założono klasę użytkowania – 2. Przekrój ten pomimo tego, że jest wewnątrz kopuły węg jest zabezpieczony przed bezpośrednim wpływem warunków atmosferycznych powinien być zaliczony do klasy użytkowania – 3, ze względu na brak ogrzewania, zmienną temperaturę i wilgotność. Trzeba także zwrócić uwagę na smukłość pręta. Przyjmując przekrój 16/16 cm, długość pręta od podstawy wspornika do miejsca powyżej górnej części kuli $l = 3,75 \text{ m}$, współczynnika wybożenia $\mu = 2,0$ (w uproszczeniu z niedomiarem) otrzymujemy długość obliczeniową $l_0 = 2,0 \cdot 3,75 = 7,5 \text{ m}$.

9.1.3. Podsumowanie obliczeń – stan przed uszkodzeniem.

Obliczenia wykonano wg PN-B-03150:2000.

Sprawdzono przekrój w miejscu uszkodzenia konstrukcji masztu, skupiając się na miejscu uszkodzenia. Przekrój w tym miejscu jest drewnianym przekrojem kołowym o średnicy $d = 15,0 \text{ cm}$. Przyjęto do obliczeń średnią klasę drewna C24. Iglica znajduje się na zewnątrz, jest narażona na warunki atmosferyczne. Przyjęto klasę użytkowania – 3. Stwierdzono, że stany graniczne nośności są przekroczone o 30%. Sprawdzono również przekrój wewnątrz kuli w miejscu oparcia wspornika o zastrzały. Przekrój w tym miejscu jest drewnianym przekrojem kwadratowym o przekroju 16/16 cm. Przyjęto do obliczeń średnią klasę drewna C24. Założono klasę użytkowania – 2.

Stwierdzono, że stany graniczne nośności i użytkowania są wykorzystane w ponad 100 %. Przekroczona jest również smukłość pręta o 8,3 %. Do obliczeń wariantów 3 i 4 (podstawa wspornika) założono klasę użytkowania – 2. Przekrój ten pomimo tego, że jest wewnątrz kopuły węc jest zabezpieczony przed bezpośrednim wpływem warunków atmosferycznych powinien być zaliczony do klasy użytkowania – 3, ze względu na brak ogrzewania, zmienną temperaturę i wilgotność. W tej sytuacji przekroczenie stanów granicznych nośności będzie jeszcze większe o około 30 %.

9.1.4. ~~Kkkkkkkkk.~~

9.1.5. ~~Kkkkk.~~

~~E~~

9.2. Obliczenia – stan po proponowanej naprawie.

9.2.1. Opis ogólny.

Przeprowadzono obliczenia w dwóch wariantach: dla konstrukcji drewnianej i konstrukcji stalowej.

9.2.2. Obliczenia konstrukcji drewnianej.

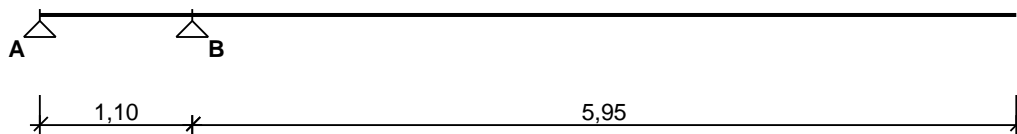
Układ 1n.

Przekrój w miejscu oparcia masztu o zastrzały.

Część wewnątrz kopuły to około 70,0 cm licząc od góry kopuły do oparcia o zastrzały. Do obliczeń przyjęto dla całości słupa drewno klasy C27 i klasę użytkowania – 3. Przyjęto do obliczeń na całej długości stały przekrój 20/20 cm.

Obliczenia masztu jako belki zginanej obciążeniem od wiatru (plik BD4n).

SCHEMAT BELKI

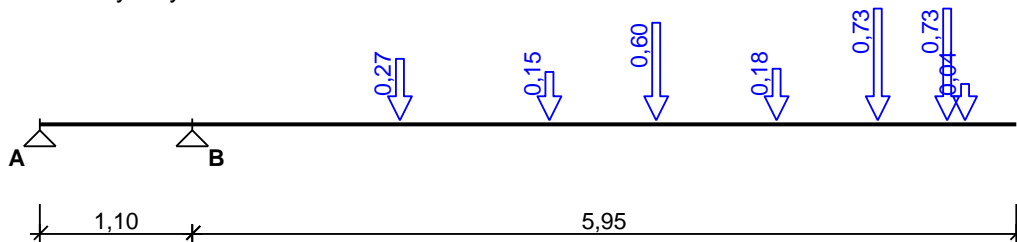


Parametry belki:

OBCIĄŻENIA OBLICZENIOWE BELKI

Przypadek **P1: wiatr** ($\gamma_f = 1,5$, klasa trwania - krótkotrwałe)

Schemat statyczny:



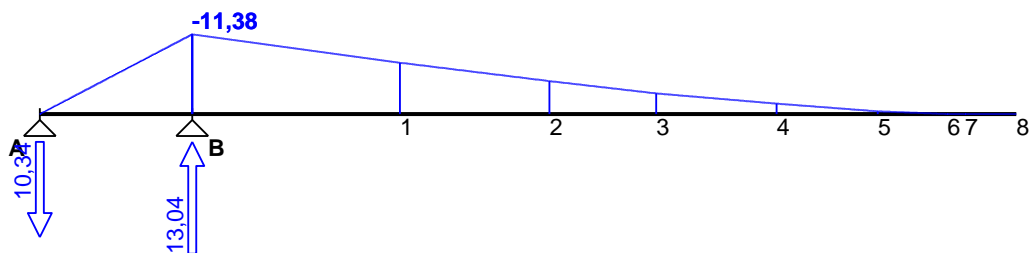
Tablica obciążeń obliczeniowych

Przekrój	x [m]	q_l [kN/m]	q_p [kN/m]	F [kN]	M [kN]
A.	0,00	--	0,00	0,00	0,00
B.	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00
1.	2,60	0,00	0,00	0,27	0,00
2.	3,68	0,00	0,00	0,15	0,00
3.	4,45	0,00	0,00	0,60	0,00
4.	5,32	0,00	0,00	0,18	0,00
5.	6,05	0,00	0,00	0,73	0,00
6.	6,55	0,00	0,00	0,73	0,00
7.	6,68	0,00	0,00	0,04	0,00
8.	7,05	0,00	--	0,00	0,00

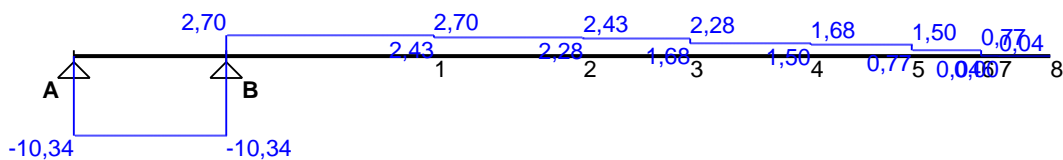
WYKRESY SIŁ WEWNĘTRZNYCH

Przypadek **P1: wiatr**

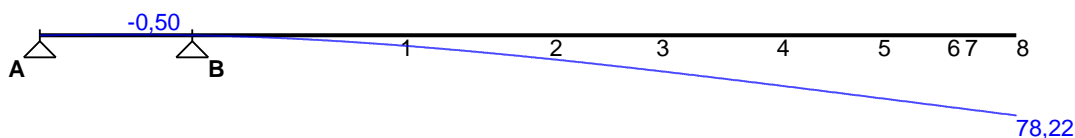
Momenty zginające [kNm]:



Siły poprzeczne [kN]:



Ugięcia [mm]:



Tablica wyników obliczeń statycznych:

L.p.	x [m]	M_l [kNm]	M_p [kNm]	V_l [kN]	V_p [kN]	f [mm]
Przęsło A - B ($l_0 = 1,10$ m)						
A.	0,00	--	0,00	--	-10,34	--
1.	0,63	-6,56	-6,56	-10,34	-10,34	-0,50
B.	1,10	-11,38	--	-10,34	--	--
Prawy wspornik ($l_0 = 5,95$ m)						
B.	1,10	--	-11,38	--	2,70	--
2.	2,60	-7,33	-7,33	2,70	2,43	9,91
3.	3,68	-4,70	-4,70	2,43	2,28	23,15
4.	4,45	-2,95	-2,95	2,28	1,68	34,59
5.	5,32	-1,49	-1,49	1,68	1,50	48,70

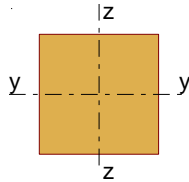
6.	6,05	-0,39	-0,39	1,50	0,77	61,07
7.	6,55	-0,01	-0,01	0,77	0,04	69,64
8.	6,68	0,00	0,00	0,04	0,00	71,87
9.	7,05	0,00	--	0,00	--	78,22
Reakcje podporowe: $R_A = -10,34 \text{ kN}$, $R_B = 13,04 \text{ kN}$						

ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE DO WYMIAROWANIA

Klasa użytkowania konstrukcji - 3

Parametry analizy zwichrzenia:

- brak stężeń bocznych na długości belki
 - stosunek $l_d/l = 1,00$
 - obciążenie przyłożone na pasie ściskowym (górnym) belki
- Belka w obiekcie starym, remontowanym
 Ugięcie graniczne przęsła $u_{net,fin} = l_o / 150$
 Ugięcie graniczne wspornika $u_{net,fin} = l_o / 100$

WYNIKI OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH**WYMIAROWANIE WG PN-B-03150:2000**Przekrój prostokątny **20 / 20 cm**

$$W_y = 1333 \text{ cm}^3, J_y = 13333 \text{ cm}^4, m = 14,8 \text{ kg/m}$$

drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C27**

$$\rightarrow f_{m,k} = 27 \text{ MPa}, f_{t,0,k} = 16 \text{ MPa}, f_{c,0,k} = 22 \text{ MPa}, f_{v,k} = 2,8 \text{ MPa}, E_{0,mean} = 11,5 \text{ GPa}, \rho_k = 370 \text{ kg/m}^3$$

BelkaZginaniePrzekrój $x = 1,10 \text{ m}$ Moment maksymalny $M_{max} = -11,38 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,y,d} = 8,53 \text{ MPa}, f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa}$$

Warunek nośności:

$$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} = 0,59 < 1$$

Warunek stateczności:

$$k_{crit} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 8,53 \text{ MPa} < k_{crit} \cdot f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa} \quad (58,7\%)$$

ŚcinaniePrzekrój $x = 0,00 \text{ m}$ Maksymalna siła poprzeczna $V_{max} = -10,34 \text{ kN}$

$$\tau_d = 0,39 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,51 \text{ MPa} \quad (25,7\%)$$

Docisk na podporzeReakcja podporowa $R_B = 13,04 \text{ kN}$

(wymiarowanie na docisk pominięto)

Stan graniczny użytkowościPrzekrój $x = 7,05 \text{ m}$ Ugięcie maksymalne $u_{fin} = 78,22 \text{ mm}$ Ugięcie graniczne $u_{net,fin} = l_o / 100 = 5950 / 100 = 59,5 \text{ mm}$

$$u_{fin} = 78,22 \text{ mm} < u_{net,fin} = 59,5 \text{ mm} \quad (131,0\%)$$

Obliczenia masztu jako słupa (plik S2n).

Długość części drewnianej wspornikowej części słupa

 $l = 3,75 \text{ m}$. Przekrój 20/20 cm.**Element 1**

DANE:Wymiary przekroju: przekrój prostokątnySzerokość $b = 20,0 \text{ cm}$ Wysokość $h = 20,0 \text{ cm}$ Drewno:drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C27** $\rightarrow f_{m,k} = 27 \text{ MPa}, f_{t,0,k} = 16 \text{ MPa}, f_{c,0,k} = 22 \text{ MPa}, f_{v,k} = 2,8 \text{ MPa}, E_{0,mean} = 11,5 \text{ GPa}, \rho_k = 370 \text{ kg/m}^3$

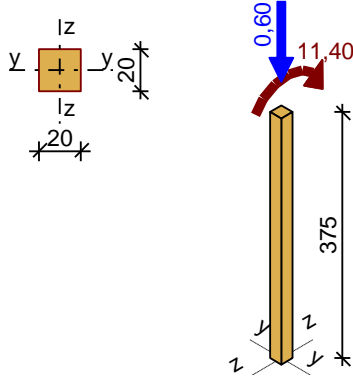
Klasa użytkowania konstrukcji: klasa 3

Geometria:Wysokość słupa $l_{col} = 3,75 \text{ m}$

Współczynniki długości wyboczeniowej:

- względem osi y $\mu_y = 2,00$ - względem osi z $\mu_z = 2,00$ Obciążenia:Siła ściskająca $N_c = 0,60 \text{ kN}$ Moment zginający $M_y = 11,40 \text{ kNm}$ Moment zginający $M_z = 0,00 \text{ kNm}$

Klasa trwania obciążenia: krótkotrwałe

WYNIKI:Zginanie ze ściskaniem: $N_c = 0,60 \text{ kN}; M_y = 11,40 \text{ kNm}$

Warunek smukłości:

 $\lambda_y = 129,90 < \lambda_c = 150 \quad (86,6\%)$ $\lambda_z = 129,90 < \lambda_c = 150 \quad (86,6\%)$

Warunek nośności:

 $k_{c,y} = 0,188; k_{c,z} = 0,188$ $\sigma_{c,0,d} = 0,01 \text{ MPa}, f_{c,0,d} = 11,85 \text{ MPa}$ $\sigma_{m,y,d} = 8,55 \text{ MPa}, f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa}$ $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,007 + 0,588 = 0,595 < 1$ $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,007 + 0,588 = 0,595 < 1$

Warunek stateczności:

 $k_{crit,y} = 1,000$ $\sigma_{m,y,d} = 8,55 \text{ MPa} < k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa} \quad (58,8\%)$ **Układ 2n.**

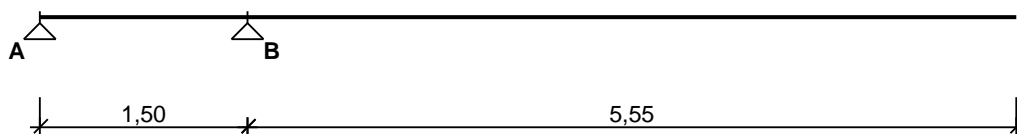
Określenie przekroju kołowego w górnej części.

Obliczenia masztu jako belki zginanej obciążeniem od wiatru (plik BD6n-1).

W górnej masztu założono przekrój okrągły. Do obliczeń przyjęto dla całości słupa drewno klasy C27 i klasę użytkowania – 3. Przyjęto na całą długości stały przekrój kołowy $d = 20 \text{ cm}$. Przyjęto, że część kołowa zaczyna się $70,0 \text{ cm}$ licząc od zastrzałów w górę. W związku z

możliwościami programu komputerowego w celu dokonania obliczeń wytrzymałościowych przesunięto punkt podparcia słupa o 40,0 cm w górę.

SCHEMAT BELKI

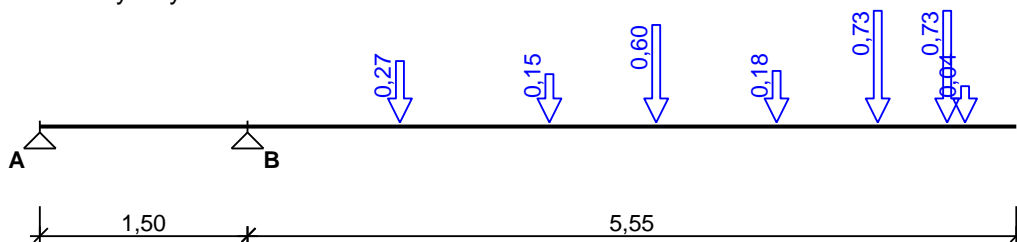


Parametry belki:

OBCIĄŻENIA OBLICZENIOWE BELKI

Przypadek **P1: wiatr** ($\gamma_f = 1,5$, klasa trwania - krótkotrwałe)

Schemat statyczny:



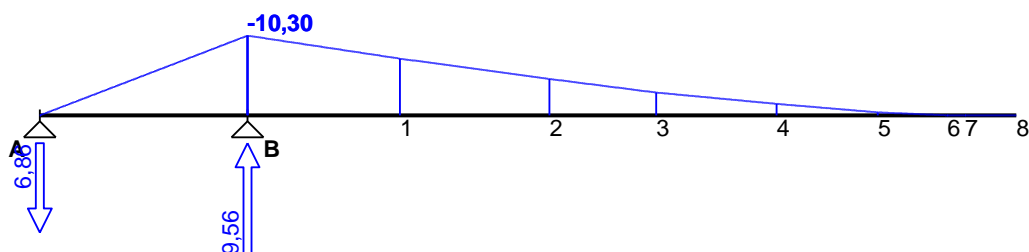
Tablica obciążeń obliczeniowych

Przekrój	x [m]	q_l [kN/m]	q_d [kN/m]	F [kN]	M [kN]
A.	0,00	--	0,00	0,00	0,00
B.	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00
1.	2,60	0,00	0,00	0,27	0,00
2.	3,68	0,00	0,00	0,15	0,00
3.	4,45	0,00	0,00	0,60	0,00
4.	5,32	0,00	0,00	0,18	0,00
5.	6,05	0,00	0,00	0,73	0,00
6.	6,55	0,00	0,00	0,73	0,00
7.	6,68	0,00	0,00	0,04	0,00
8.	7,05	0,00	--	0,00	0,00

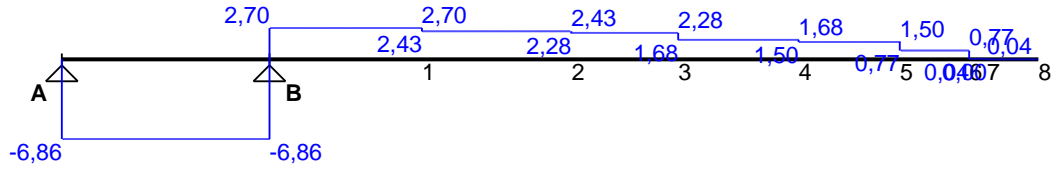
WYKRESY SIŁ WEWNĘTRZNYCH

Przypadek **P1: wiatr**

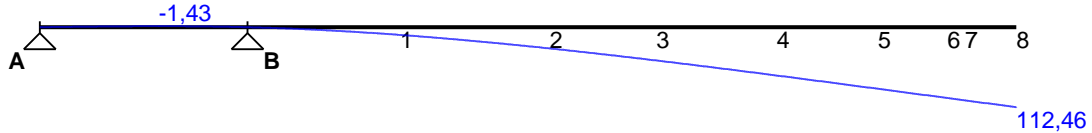
Momenty zginające [kNm]:



Siły poprzeczne [kN]:



Ugięcia [mm]:



Tablica wyników obliczeń statycznych:

L.p.	x [m]	M _l [kNm]	M _p [kNm]	V _l [kN]	V _p [kN]	f [mm]
Przęsło A - B (l_o = 1,50 m)						
A.	0,00	--	0,00	--	-6,86	--
1.	0,86	-5,90	-5,90	-6,86	-6,86	-1,43
B.	1,50	-10,30	--	-6,86	--	--
Prawy wspornik (l_o = 5,55 m)						
B.	1,50	--	-10,30	--	2,70	--
2.	2,60	-7,33	-7,33	2,70	2,43	10,84
3.	3,68	-4,70	-4,70	2,43	2,28	29,83
4.	4,45	-2,95	-2,95	2,28	1,68	46,76
5.	5,32	-1,49	-1,49	1,68	1,50	67,93
6.	6,05	-0,39	-0,39	1,50	0,77	86,57
7.	6,55	-0,01	-0,01	0,77	0,04	99,51
8.	6,68	0,00	0,00	0,04	0,00	102,88
9.	7,05	0,00	--	0,00	--	112,46

Reakcje podporowe: R_A = -6,86 kN, R_B = 9,56 kN

ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE DO WYMIAROWANIA

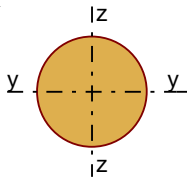
Klasa użytkowania konstrukcji - 3

Parametry analizy zwichrzenia:

- brak stężeń bocznych na długości belki
 - stosunek $I_d/I = 1,00$
 - obciążenie przyłożone na pasie ściskanym (górnym) belki
- Ugięcie graniczne przęsła $u_{net,fin} = l_o / 150$
 Ugięcie graniczne wspornika $u_{net,fin} = 2 \cdot l_o / 150$

WYNIKI OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

WYMIAROWANIE WG PN-B-03150:2000



Przekrój okrągły $\phi 20$ cm

$W_y = 785 \text{ cm}^3$, $J_y = 7854 \text{ cm}^4$, $m = 11,6 \text{ kg/m}$

drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C27**

→ $f_{m,k} = 27 \text{ MPa}$, $f_{t,0,k} = 16 \text{ MPa}$, $f_{c,0,k} = 22 \text{ MPa}$, $f_{v,k} = 2,8 \text{ MPa}$, $E_{0,mean} = 11,5 \text{ GPa}$, $\rho_k = 370 \text{ kg/m}^3$

Belka

Zginanie

Przekrój $x = 1,50 \text{ m}$

Moment maksymalny $M_{\max} = -10,30 \text{ kNm}$

$\sigma_{m,y,d} = 13,11 \text{ MPa}$, $f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa}$

Warunek nośności:

$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} = 0,90 < 1$

Warunek stateczności:

$k_{\text{crit}} = 1,000$

$\sigma_{m,y,d} = 13,11 \text{ MPa} < k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa} \quad (90,2\%)$

Ścinanie

Przekrój $x = 0,00 \text{ m}$

Maksymalna siła poprzeczna $V_{\max} = -6,86 \text{ kN}$

$\tau_d = 0,29 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,51 \text{ MPa} \quad (19,3\%)$

Docisk na podporze

Reakcja podporowa $R_B = 9,56 \text{ kN}$

(wymiarowanie na docisk pominięto)

Stan graniczny użytkowalności

Przekrój $x = 7,05 \text{ m}$

Ugięcie maksymalne $u_{\text{fin}} = 112,46 \text{ mm}$

Ugięcie graniczne $u_{\text{net,fin}} = 2,0 \cdot l_0 / 150 = 5550 / 100 = 56,00 \text{ mm}$

$u_{\text{fin}} = 112,46 \text{ mm} > u_{\text{net,fin}} = 56,00 \text{ mm} \quad (200,0\%) \quad (!!!)$

Obliczenia masztu jako słupa (plik S3n).

Długość części drewnianej wspornikowej części słupa

$l = 2,80 \text{ m} \approx 3,00 \text{ m}$. Przekrój kołowy $d = 20,0 \text{ cm}$. Drewno klasy C27, klasa użytkowania – 3.

Element 1

DANE:

Wymiary przekroju: przekrój okrągły

Średnica $d = 20,0 \text{ cm}$

Drewno:

drewno lite iglaste wg PN-EN 338:2004, klasa wytrzymałości **C27**

→ $f_{m,k} = 27 \text{ MPa}$, $f_{t,0,k} = 16 \text{ MPa}$, $f_{c,0,k} = 22 \text{ MPa}$, $f_{v,k} = 2,8 \text{ MPa}$, $E_{0,\text{mean}} = 11,5 \text{ GPa}$, $\rho_k = 370 \text{ kg/m}^3$

Klasa użytkowania konstrukcji: klasa 3

Geometria:

Wysokość słupa $l_{\text{col}} = 3,00 \text{ m}$

Współczynniki długości wyboczeniowej:

- względem osi y $\mu_y = 2,00$

- względem osi z $\mu_z = 2,00$

Obciążenia:

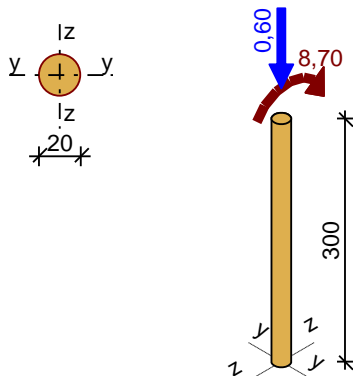
Siła ściskająca $N_c = 0,60 \text{ kN}$

Moment zginający $M_y = 8,70 \text{ kNm}$

Moment zginający $M_z = 0,00 \text{ kNm}$

Klasa trwania obciążenia: krótkotrwałe

WYNIKI:



Zginanie ze ściskaniem:

$$N_c = 0,60 \text{ kN}; \quad M_y = 8,70 \text{ kNm}$$

Warunek smukłości:

$$\lambda_y = 120,00 < \lambda_c = 150 \quad (80,0\%)$$

$$\lambda_z = 120,00 < \lambda_c = 150 \quad (80,0\%)$$

Warunek nośności:

$$k_{c,y} = 0,219; \quad k_{c,z} = 0,219$$

$$\sigma_{c,0,d} = 0,02 \text{ MPa}, \quad f_{c,0,d} = 11,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 11,08 \text{ MPa}, \quad f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,007 + 0,762 = 0,769 < 1$$

$$\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0,007 + 0,762 = 0,769 < 1$$

Warunek stateczności:

$$k_{crit,y} = 1,000$$

$$\sigma_{m,y,d} = 11,08 \text{ MPa} < k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d} = 14,54 \text{ MPa} \quad (76,2\%)$$

9.2.3. Obliczenia konstrukcji stalowej.

Układ 3n.

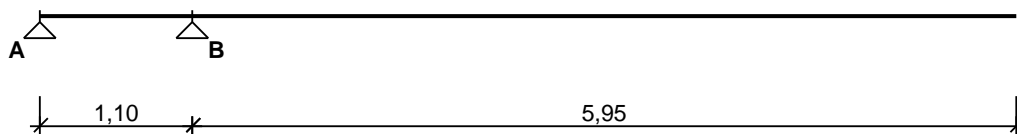
Przekrój w miejscu oparcia masztu o zastrzały.

Część wewnątrz kopuły to około 70,0 cm licząc od góry kopuły do oparcia o zastrzały. Do obliczeń przyjęto dla całości słupa drewno klasy C24 i klasę użytkowania – 3. Przyjęto do obliczeń na całej długości stały przekrój 20/20 cm.

Obliczenia masztu jako belki zginanej obciążeniem od wiatru (plik BD4n).

Przyjęto rurę stalową okrągłą goraczalcowaną $\Phi 159,0/5,6$ ze stali gat.18G2.

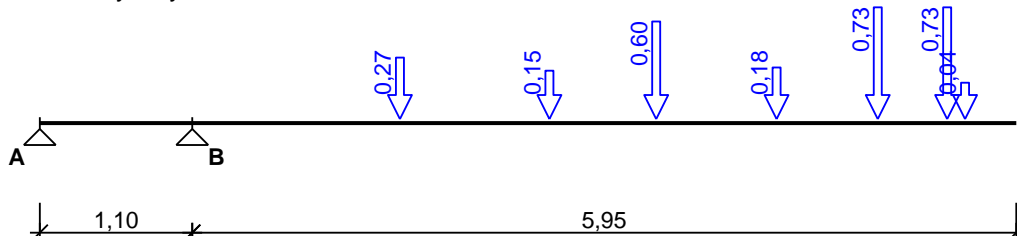
SCHEMAT BELKI



OBCIĄŻENIA OBLICZENIOWE BELKI

Przypadek **P1: wiatr** ($\gamma_f = 1,5$)

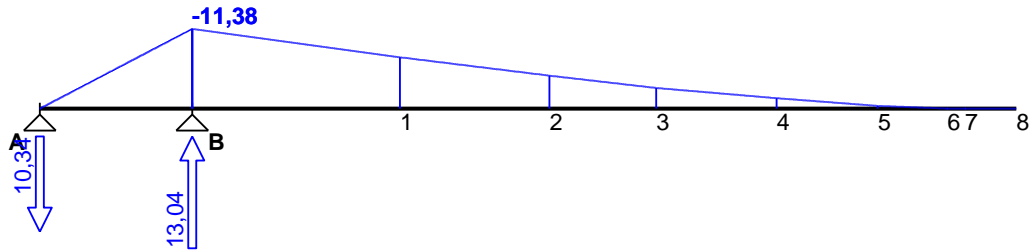
Schemat statyczny:



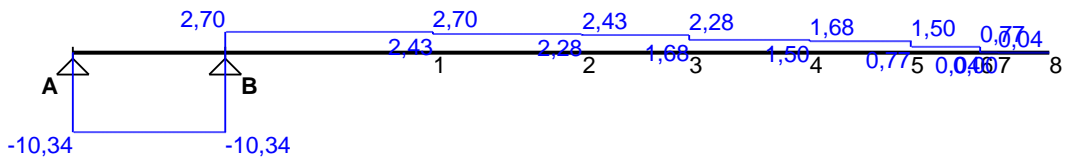
WYKRESY SIŁ WEWNĘTRZNYCH

Przypadek **P1: wiatr**

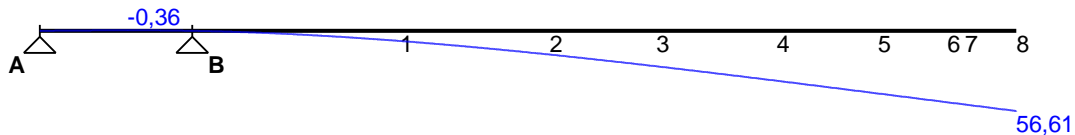
Momenty zginające [kNm]:



Siły poprzeczne [kN]:



Ugięcia [mm]:



Tablica wyników obliczeń statycznych:

L.p.	z [m]	M _l [kNm]	M _p [kNm]	V _l [kN]	V _p [kN]	f _k [mm]
Przęsło A - B (l_o = 1,10 m)						
A.	0,00	--	0,00	--	-10,34	--
1.	0,63	-6,56	-6,56	-10,34	-10,34	-0,36
B.	1,10	-11,38	--	-10,34	--	--
Prawy wspornik (l_o = 5,95 m)						
B.	1,10	--	-11,38	--	2,70	--
2.	2,60	-7,33	-7,33	2,70	2,43	7,17
3.	3,68	-4,70	-4,70	2,43	2,28	16,75
4.	4,45	-2,95	-2,95	2,28	1,68	25,03
5.	5,32	-1,49	-1,49	1,68	1,50	35,25
6.	6,05	-0,39	-0,39	1,50	0,77	44,20
7.	6,55	-0,01	-0,01	0,77	0,04	50,40
8.	6,68	0,00	0,00	0,04	0,00	52,01
9.	7,05	0,00	--	0,00	--	56,61
Reakcje podporowe: R _A = -10,34 kN, R _B = 13,04 kN						

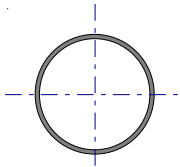
ZAŁOŻENIA OBLICZENIOWE DO WYMIAROWANIA

Wykorzystanie rezerwy plastycznej przekroju: nie;

Parametry analizy zwiczenia:

- obciążenie przyłożone na pasie górnym belki;
- obciążenie działa w dół;
- brak stężeń bocznych na długości przęseł belki;

WYMIAROWANIE WG PN-90/B-03200



Przekrój: $\phi 159,0/5,6$

$$A_v = 17,2 \text{ cm}^2, \quad m = 21,2 \text{ kg/m}$$

$$J_x = 795 \text{ cm}^4, \quad J_y = 795 \text{ cm}^4, \quad J_o = 0,00 \text{ cm}^6, \quad J_T = 1590 \text{ cm}^4, \quad W_x = 100 \text{ cm}^3$$

Stal: **St3**

Nośności obliczeniowe przekroju:

- zginanie: klasa przekroju 1 ($\alpha_p = 1,000$) $M_R = 21,50 \text{ kNm}$

- ścinanie: klasa przekroju 1 $V_R = 214,24 \text{ kN}$

Belka

Nośność na zginanie

Przekrój z = 1,10 m

Współczynnik zwichrzenia $\varphi_L = 1,000$

Moment maksymalny $M_{\max} = -11,38 \text{ kNm}$

$$^{(52)} \quad M_{\max} / (\varphi_L \cdot M_R) = 0,529 < 1$$

Nośność na ścinanie

Przekrój z = 0,00 m

Maksymalna siła poprzeczna $V_{\max} = -10,34 \text{ kN}$

$$^{(53)} \quad V_{\max} / V_R = 0,048 < 1$$

Nośność na zginanie ze ścinaniem

$$V_{\max} = (-)10,34 \text{ kN} < V_o = 0,3 \cdot V_R = 64,27 \text{ kN} \rightarrow \text{warunek niemiernodajny}$$

Stan graniczny użytkowania

Przekrój z = 7,05 m

Ugięcie maksymalne $f_{k,\max} = 56,61 \text{ mm}$

Ugięcie graniczne $f_{gr} = l_o / 100 = 5950 / 100 = 59,50 \text{ mm}$

$$f_{k,\max} = 56,61 \text{ mm} < f_{gr} = 59,50 \text{ mm} \quad (95,1\%)$$

Opracował:

mgr inż. Henryk Borecki