



PRZEDSIĘBIORSTWO USŁUGOWO-HANDLOWE

"Zam'ski"

Dr hab. inż. Jan ZAMOROWSKI
44-105 Gliwice, ul. Strzeleckiego 44
Tel. kom. 0-609-654-098 NIP 631-105-96-36

mBank 90-050 Łódź, al. Mickiewicza 10 nr rach. 7114020040000330231591540

Egz. 3

Inwestor: **Gmina Sosnowiec – Miejski Ośrodek Sportu i Rekreacji**

Obiekt: **Hala Sportowa przy ul. Żeromskiego 9**

Adres obiektu: **41-200 Sosnowiec, ul. Żeromskiego 9**
działka nr 6885 w obrębie Sosnowiec 9
(poprzednie oznaczenia 73/10 karta mapy 64)

**OCENĄ NOŚNOŚCI KONSTRUKCJI DACHU
HALI SPORTOWEJ PRZY UL. ŻEROMSKIEGO W SOSNOWCU
WRAZ Z OCENĄ STANU TECHNICZNEGO LIN STAŁOWYCH**

Opracował: **Dr hab. inż. Jan ZAMOROWSKI**

Dr hab. inż. Jan ZAMOROWSKI
RZECZOWNICZKA BUDOWLANY
z listy Wojewody Śląskiego, decyzja nr 1/02
Centralny Rejestr Rzeczoznawców Budowlanych
poz. 89/02/R/C
44-105 Gliwice, ul. Strzeleckiego 44
tel. 609 654 098

Gliwice, wrzesień 2014 r



**GLÓWNY INSPEKTOR
NADZORU BUDOWLANEGO**

OZ/INN/4611/185/02

Warszawa, 2002-02-19

DECYZJA NR 89/02

Na podstawie art. 88 a pkt 3 lit. „b” ustawy z 7 lipca 1994 roku Prawo budowlane (t.j. Dz. U. z 2000 r. Nr 106, poz. 1126 z późn. zm.) i art. 104 § 1 i § 2 ustawy z 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (t.j. Dz. U. z 2000 r., Nr 98 poz. 1071 z późn. zm.)

Dr inż. Jan Zamorowski

urodzony 20 października 1949 roku w Przybynowie

ustanowiony przez Wojewodę Śląskiego decyzją Nr 1/02 z dnia 24.01.2002 r.

Rzecznawcą Budowlanym

w specjalności konstrukcyjno-budowlanej

obejmującej projektowanie i wykonawstwo

w zakresie wszelkich obiektów budowlanych

z wyłączeniem linii, węzłów i stacji kolejowych, dróg oraz lotniskowych dróg startowych i manipulacyjnych, mostów, budowli hydrotechnicznych i wodnomelioracyjnych

zostaje wpisany do Centralnego Rejestru Rzecznawców Budowlanych

pod pozycją 89/02/R/C

Zgodnie z art. 15 ust. 3 ustawy Prawo budowlane wpis niniejszy stanowi podstawę do podjęcia czynności rzecznawcy budowlanego w zakresie wyżej wymienionej specjalności na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej.

UZASADNIENIE

Wobec uprawomocnienia się decyzji Wojewody Śląskiego, Nr 1/02 z dnia 24.01.2002 r. znak: AG.II-4/2/7133/1/02 w przedmiocie nadania dr inż. Janowi Zamorowskiemu tytułu rzecznawcy budowlanego w specjalności konstrukcyjno-budowlanej obejmującej projektowanie i wykonawstwo w zakresie wszelkich obiektów budowlanych z wyłączeniem linii, węzłów i stacji kolejowych, dróg oraz lotniskowych dróg startowych i manipulacyjnych, mostów, budowli hydrotechnicznych i wodnomelioracyjnych, zgodnie z posiadanymi uprawnieniami budowlanymi i spełniającej pozostałe wymogi określone przepisami prawa materialnego oraz procesowego, należało orzec jak w sentencji.

Decyzja niniejsza jest ostateczna. Zgodnie z art. 127 § 3 Kpa oraz stosownie do uchwały Naczelnego Sądu Administracyjnego, z dnia 09 grudnia 1996 r., sygn. akt OPS 4/96, strona może w terminie 14 dni od daty doręczenia decyzji wystąpić z wnioskiem o ponowne rozpatrzenie sprawy.

Otrzymują:

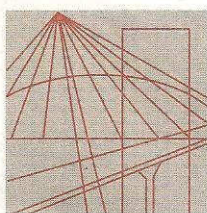
1. Dr inż. Jan Zamorowski
ul. Kusocińskiego 12/33
44-100 Gliwice
2. Wojewoda Śląski
3. aaMPI

GLÓWNY INSPEKTOR NADZORU BUDOWLANEGO
p.o. DYREKTORA DEPARTAMENTU
UPRAWNIEN I ODPOWIEDZIALNOŚCI ZAWODOWEJ

Grażyna Szestakow-Wilamowska

Za zgodność z oryginałem

Dr hab. inż. Jan ZAMOROWSKI
RZECZOWNAWCA BUDOWLANY
z listy Wojewody Śląskiego, decyzja nr 1/02
Centralny Rejestr Rzecznawców Budowlanych
poz. 89/02/R/C
44-105 Gliwice, ul. Strzeleckiego 44
tel. 609 654 098



Ś L Ą S K A
O K R Ę G O W A
I Z B A
I N Ż Y N I E R Ó W
B U D O W N I C T W A

Katowice, 2 grudnia 2013 r.

Pan Jan Zamorowski

ul. Strzeleckiego 44

44-105 Gliwice

ZAŚWIADCZENIE

Pan Zamorowski Jan

jest członkiem Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów
Budownictwa o numerze ewidencyjnym **SLK/BO/3250/02**
i posiada wymagane ubezpieczenie od odpowiedzialności
cywilnej.

Niniejsze zaświadczenie jest ważne do dnia 31.12.2014 r.

PRZEWODNICZĄCY RADY
Śląskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa

mgr inż. Franciszek BUSZKA

JM

40-026 KATOWICE ul. Podgórna 4 tel./fax 32 2554552, 32 6080722 e-mail: biuro@slk.piib.org.pl www.slk.piib.org.pl

Za zgodność
z oryginałem

Dr hab. inż. Jan ZAMOROWSKI
RZECZOZNAWCA BUDOWLANY
z listy Wojewody Śląskiego, decyzja nr 1/02
Centralny Rejestr Rzeczoznawców Budowlanych
poz. 89/02/R/C
44-105 Gliwice, ul. Strzeleckiego 44
tel. 609 654 098

Spis treści

1. Podstawy ekspertyzy	6
1.1. Podstawa formalna	6
1.2. Wykorzystane materiały	6
1.3. Przedmiot ekspertyzy	7
1.4. Cel i zakres ekspertyzy	7
2. Ogólny opis konstrukcji przekrycia	7
3. Pokrycie	9
3.1. Stan istniejący	9
3.1.1. Płyta dachowa wg [10]	9
3.1.2. Płyta uzupełniająca (usytuowana między linami ciągien wg [10]	9
3.1.3. Istniejące pokrycie dachowe przed naprawą w 2011 r wg [10]	10
3.2. Stan projektowany	12
3.2.1. Ciężar pokrycia nad dachem ciągnowym	12
3.2.2. Ciężar pokrycia nad dachem płatwiowym	12
3.2.3. Obliczenia termiczne wg [18] i [19]	12
4. Geometria przekrycia	13
4.1. Łuk paraboliczny 1	13
4.1.1. Geometria łuku	13
4.1.2. Przekrój poprzeczny	15
4.2. Łuk paraboliczny 2	16
4.2.1. Geometria łuku	16
4.3. Geometria łuku kołowego (w rzucie)	16
4.4. Poziomy zawieszenia ciągien, ich rozpiętość i strzałki zwisu	17
4. Obciążenia	19
4.1. Obciążenie pokryciem nad ciągnową częścią dachu	19
4.2. Ciężar własny lin	19
4.3. Obciążenie montażowe	19
4.4. Obciążenie śniegiem	19
4.5. Obciążenie łuku parabolicznego 1 i 2	20
4.5.1. Ciężar własny łuku 1 – wg wykazu materiałów w [2]	20
4. 5.2. Beton na łuku 1	21
4. 5.3. Płatwie kratowe i stężenia	22
4.5.4. Pokrycie i solary	22
4.5.5. Przeszklenie dolne	23
4.5.6. Ciężar własny łuku 2	25
4.5.7. Oświetlenie	25
4.5.8. Obciążenie sumaryczne łuku 1 w węzłach płatwi	26
4.5.9. Obciążenie sumaryczne łuku 2 w węzłach płatwi	30
4.5.10. Obciążenie śniegiem	34
5. Obliczenia ciągien	35
5.1. Algorytm	35
5.1.1. Rozwiązanie dla obciążenia stałego	36
5.1.2. Rozwiązanie dla obciążenia stałego + śnieg	36
5.2. Wyniki obliczeń ciągna dla obciążenia stałego	38
6. Obciążenie wiatrem	40
6.1. Charakterystyki obiektu:	40
6.2. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego jak dla dachu o powierzchni walcowej przy linii wiatru wschód – zachód	40

6.3. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego jak dla dachu o powierzchni walcowej przy linii wiatru północ – południe	40
6.4. Współczynnik ciśnienia zewnętrznego jak budowli o walcowej osi pionowej	40
6.5. Wartości obciążeń	41
7. Wyniki obliczeń konstrukcji dachu	41
7.1. Zakres obliczeń	41
7.2. Schematy i kombinacje obciążeń	44
7.3. Ciężna	44
7.4. Układ łuk1-łuk2-płatwie-stężenia	45
7.4.1. Łuk 1	46
7.4.2. Łuk 2	49
7.4.3. Płatwie między łukami	53
7.4.4. Płatwie między segmentami	55
7.4.5. Stężenia połączeniowe	57
8. Kontrola stanu technicznego lin stalowych	60
8.1. Metoda kontroli	60
8.2. Zakres badań	60
8.3. Cel badań	60
8.4. Podsumowanie badań lin	60
9. Wnioski i zalecenia	61
9.1. Wnioski	61
9.1.1. Wnioski dotyczące pokrycia	61
9.1.2. Wnioski dotyczące cięgien (lin)	61
9.1.3. Wnioski dotyczące stanu technicznego stalowej konstrukcji nośnej dachu hali	62
9.2. Zalecenia	62
10. Wnioski końcowe	63

Załącznik Z1:

Zawada K.: Sprawozdanie z badania magnetycznego lin nośnych dachu hali sportowej „MOSIR” w Sosnowcu wykonanego w dniach 24-28 lipca 2014 r.

1. Podstawy ekspertyzy

1.1. Podstawa formalna

Formalną podstawę wykonania ekspertyzy stanowi umowa nr 64/2014 z dnia 18.06.2014 r. zawarta pomiędzy Miejskim Ośrodkiem Sportu i Rekreacji 41-200 Sosnowiec, ul. 3Maja 41 i Janem Zamorowskim działającym pod nazwą Przedsiębiorstwo Usługowo-Handlowe „Zam’ski” 44-100 Gliwice, ul. Strzeleckiego 44.

1.2. Wykorzystane materiały

- [1] Miastoprojekt – Katowice: Hala widowiskowo – sportowa w Sosnowcu. Projekt wstępny konstrukcji. Maj 1967 r.
- [2] Miastoprojekt – Katowice: Hala widowiskowo – sportowa w Sosnowcu. Rysunki konstrukcyjne. Marzec 1968 r.
- [3] Miastoprojekt – Katowice: Hala widowiskowo – sportowa w Sosnowcu. Obliczenia statyczne. Marzec 1968 r.
- [4] Miastoprojekt – Katowice: Hala widowiskowo – sportowa w Sosnowcu. Projekt organizacji budowy. Marzec 1969 r.
- [5] Inż. Piotrowski Stefan: Ekspertyza w sprawie metody pokrycia dachu o konstrukcji nośnej z lin stalowych przekrytych prefabrykatami żelbetowymi małowymiarowymi hali sportowej w Sosnowcu. Piastów k. Warszawy. Czerwiec 1969 r.
- [6] Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa. Zespół Rzeczoznawców. Ekspertyza górnicza-geologiczna dla hali widowiskowo-sportowej przy ul. Żeromskiego w Sosnowcu. Listopad 1989 r.
- [7] Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa. Zespół Rzeczoznawców. Ekspertyza budowlano-konstrukcyjna hali widowiskowo-sportowej w Sosnowcu przy ul. Żeromskiego wraz z wytycznymi naprawy uszkodzeń. Czerwiec 1990 r.
- [8] Goik H.: Opinia konstrukcyjna i ekspertyza techniczna lin w hali sportowej w Sosnowcu przy ul. Żeromskiego. Katowice, styczeń 1996 r.
- [9] Wyższy Urząd Górniczy: Informacje o warunkach geologiczno-górnich. 18.12.2006 r.
- [10] Zamorowski J., Niewiadomski J.: Ekspertyza techniczna dachu hali przy ul. Żeromskiego w Sosnowcu. Gliwice maj 2007 r.
- [11] Zamorowski J.: Projekt budowlany remontu pokrycia dachu hali sportowej przy ul. Żeromskiego w Sosnowcu. Gliwice, maj-czerwiec 2011 r.
- [12] PN-EN 1991-1-3 zastępuje Eurokod 1. Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem.
- [13] PN-80/B-02010 Obciążenia w obliczeniach statycznych. Obciążenie śniegiem.
- [14] Kaczurin W.K.: Teoria konstrukcji wiszących, Arkady Warszawa 1965 r.
- [15] Miastoprojekt – Katowice: Hala widowiskowo – sportowa w Sosnowcu. Ślusarka stalowa. Przeszklenie łuków. 1970 r.
- [16] PN-B-03204, maj 2002 Konstrukcje stalowe. Wieże i maszty. Projektowanie i wykonanie.
- [17] Poradnik projektanta konstrukcji metalowych, t. 2, Arkady 1982 r.
- [18] PN-EN ISO 6946:2008 Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.
- [19] Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej. Poz 926. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r.

1.3. Przedmiot ekspertyzy

Przedmiotem ekspertyzy jest przekrycie hali sportowej zlokalizowanej w Sosnowcu przy ulicy Żeromskiego.

1.4. Cel i zakres ekspertyzy

Celem ekspertyzy jest sprawdzenie stanu technicznego lin stalowych na wybranym (najbardziej narażonym na korozję) fragmencie dachu hali oraz ocena nośności konstrukcji dachu z uwzględnieniem możliwości wymiany pokrycia hali.

2. Ogólny opis konstrukcji przekrycia

Hala o ciągnowo-płatwiowej konstrukcji przekrycia została wybudowana około 1970 roku. Konstrukcja nośna przekrycia hali składa się z dwóch samostatecznych, symetrycznie względem siebie ułożonych części – rys. 1, 2 i 3, połączonych w osi symetrii przesuwnie podpartymi płatwiami.



Rys. 1. Widok ogólny hali



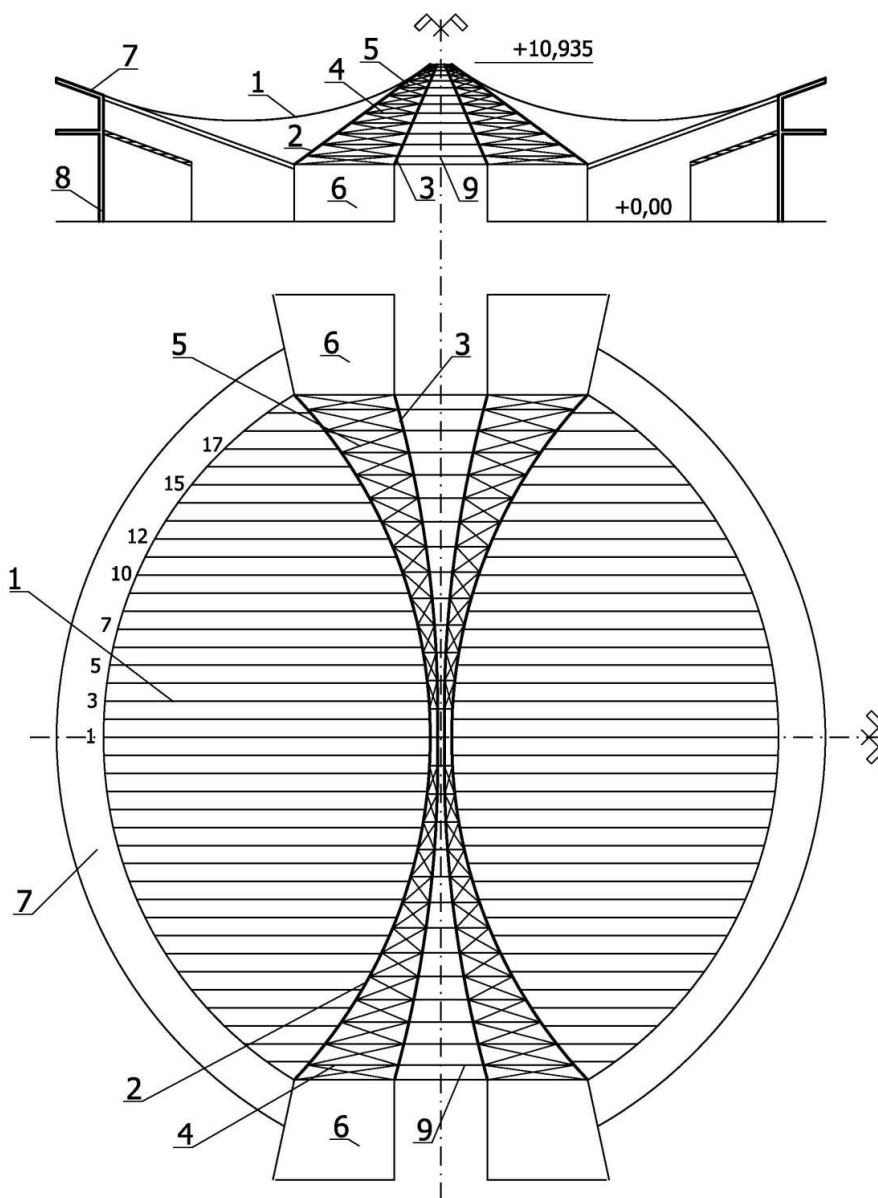
Rys. 2. Wnętrze hali

Każda z części składa się z dwóch konstrukcji wsporczych – stalowej i żelbetowej oraz rozpiętych między nimi ciągien nośnych (1). Stalowa konstrukcja wsporcza jest złożona z dwóch parabolicznych łuków stalowych o rozpiętości 48 m - z łuku wewnętrznego (2) i zewnętrznego (3) spiętych kratowymi płatwiami (4) i stężeniami (5) założonymi na dwóch powierzch-

niach wyznaczonych przez dolne i górne pasy tych płatwi. Stalowe łuki posadowiono na blokach oporowych (6), Konstrukcja żelbetowa składa się łuku obrzeżnego (7) o rozpiętości 48.0 m oraz konstrukcji wsporczej tego łuku (8). Obie części przekrycia połączono w osi symetrii kratowymi płatwiami (9), podpartymi przegubowo-przesuwnie, z których pionowe obciążenie jest przekazywane na zewnętrzne łuki stalowe.

Wewnętrzne, stalowe łuki nośne (2) usytuowano w płaszczyznach nachylonych do poziomu pod kątem $36,385^\circ$, a łuki zewnętrzne (3) w płaszczyznach nachylonych pod kątem $67,332^\circ$. Strzałki tych łuków wynoszą odpowiednio 11.8 m i 7.586 m, a odległości w kluczu między łukami zewnętrznymi i wewnętrznymi oraz między łukami zewnętrznymi wynoszą po 0.5 m. Obrzeżne łuki żelbetowe wykonano jako kołowe w rzucie poziomym. Ich płaszczyzny nachylone są do poziomu pod kątem 20° , a strzałki w poziomym rzucie wynoszą 13.33 m. Stalowe i żelbetowe łuki zaprojektowano jako trójprzegubowe.

Maksymalna szerokość hali (w kierunku łuków) wynosi 46.35 m, jej długość 49.40 m, a maksymalna wysokość 10.935 m.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny i rzut dachu hali

3. Pokrycie

3.1. Stan istniejący

3.1.1. Płyta dachowa wg [10]

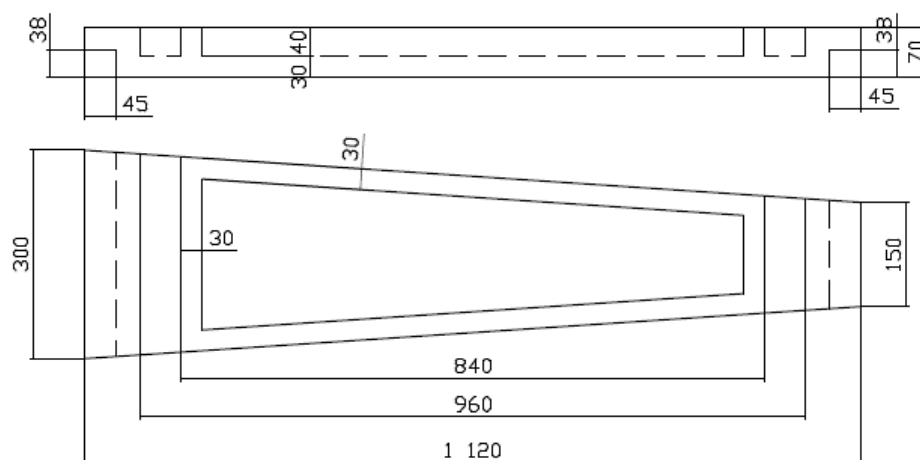
Charakterystyki geometryczne płyty zamieszczono na rys. 4.

W celu określenia ciężaru objętościowego betonu płyt dachowych pobrano próbkę o ciężarze 0,42 N. Objętość próbki wynosiła 26 cm³.

Ciężar objętościowy betonu wynosi zatem [10]

$$g = \frac{0,42}{26 \cdot 10^{-6}} = 16153,8 \text{ N/m}^3 \approx 16,15 \text{ kN/m}^3.$$

PLYTA DACHOWA



POWIERZCHNIA PŁYTY: 2520 cm²
 OBJĘTOŚĆ PŁYTY 10646,7 cm³
 OBJĘTOŚĆ BETONU W PŁYTCIE: 10191,9 cm³
 OBJĘTOŚĆ STALI W PŁYTCIE: 454,8 cm³
 MASA BETONU W PŁYTCIE: 16,46 kg
 MASA STALI W PŁYTCIE: 3,57 kg
 SUMARYCZNA MASA PŁYTY: 20,03 kg

Rys. 4. Charakterystyki płyty

Obciążenie płytami dachowymi

$$0,2003/0,2520 = 0,795 \text{ kN/m}^2.$$

3.1.2. Płyta uzupełniająca (usytuowana między linami cięgien wg [10])

Teoretyczna odległość między płytami pokrycia – 8,0 cm.

Szerokość płyty uzupełniającej 17 cm.

Budowa płyty: 2 warstwy płyty pilśniowej porowatej 2x19,5 mm.

Ciężar płyty uzupełniającej

- płyta pilśniowa porowata $0,039 \times 3,0 \times 1,2 = 0,117 \times 1,2 = 0,140 \text{ kN/m}^2$.

3.1.3. Istniejące pokrycie dachowe przed naprawą w 2011 r wg [10]

a) pokrycie ciągłowej części dachu od strony podpiwniczonej



Rys. 5. Warstwy pokrycia przy łuku 1a od strony frontowej

Warstwy pokrycia:

- nawierzchniowa papa zgrzewalna
- podkładowa papa zgrzewalna klejona do płyt styropianowych
 $\text{Łączna masa pap wg pomiarów wynosi: } 0.318/0.04 = 7.95 \text{ kg/m}^2$.
 $\text{Ciężar pap z uwzględnieniem zakładów: } 0.0795/0.9 = 0.088 \text{ kN/m}^2$.
- styropian twardy 6 cm klejony lepikiem do podłoża, o masie
 $0.038/0.0144 = 2.64 \text{ kg/m}^2$,
- płyta pilśniowa twarda 3.2 mm klejona lepikiem do podłoża, o masie
 $0.072/0.0225 = 3.2 \text{ kg/m}^2$,
- styropian miękki 4 cm, klejony lepikiem do podłoża, o masie
 $0.012/0.01 = 1.2 \text{ kg/m}^2$,
- płyta pilśniowa twarda 3.2 mm klejona lepikiem do podłoża, o masie
 $0.072/0.0225 = 3.2 \text{ kg/m}^2$,
- asfaltowa papa podkładowa klejona lepikiem do podłoża, o masie 3.0 kg/m^2 .

Sumaryczny ciężar pokrycia:

- papy zgrzewalne	$0.0880 \times 1.2 = 0.1056 \text{ kN/m}^2$,
- styropian twardy z lepikiem	$0.0264 \times 1.2 = 0.0317 \text{ kN/m}^2$,
- 2 płyty pilśniowe twarde	$0.0640 \times 1.2 = 0.0768 \text{ kN/m}^2$,
- styropian miękki z lepikiem	$0.0120 \times 1.2 = 0.0144 \text{ kN/m}^2$,
- asfaltowa papa podkładowa	$0.0300 \times 1.2 = 0.0360 \text{ kN/m}^2$,
Suma	$0.2204 \quad 0.2645 \text{ kG/m}^2$,
- płyta prefabrykowana	$0.7950 \times 1.1 = 0.8745 \text{ kN/m}^2$
Razem:	$1.0154 \quad 1.1390 \text{ kN/m}^2$.

b) pokrycie ciągłowej części dachu od strony nie podpiwniczonej

Warstwy pokrycia:

- nawierzchniowa papa zgrzewalna
- podkładowa papa zgrzewalna klejona do płyt styropianowych
Łączna masa pap wg pomiarów wynosi: $0.318/0.04 = 7.95 \text{ kg/m}^2$.
Ciężar pap z uwzględnieniem zakładów: $0.0795/0.9 = 0.088 \text{ kN/m}^2$.
- styropian twardy 6 cm klejony lepikiem do podłoża, o masie
 $0.038/0.0144 = 2.64 \text{ kg/m}^2$,
- styropian miękki 4 cm, klejony lepikiem do podłoża, o masie
 $0.012/0.01 = 1.2 \text{ kg/m}^2$,
- płyta pilśniowa twarda 3.2 mm klejona lepikiem do podłoża, o masie
 $0.072/0.0225 = 3.2 \text{ kg/m}^2$,
- asfaltowa papa podkładowa klejona lepikiem do podłoża, o masie 3.0 kg/m^2 .

Sumaryczny ciężar pokrycia:

- papy zgrzewalne	$0.0880 \times 1.2 = 0.1056 \text{ kN/m}^2$,
- styropian twardy z lepikiem	$0.0264 \times 1.2 = 0.0317 \text{ kN/m}^2$,
- 1x płyta pilśniowa twarda	$0.0320 \times 1.2 = 0.0384 \text{ kN/m}^2$,
- styropian miękki z lepikiem	$0.0120 \times 1.2 = 0.0144 \text{ kN/m}^2$,
- asfaltowa papa podkładowa	$0.0300 \times 1.2 = 0.0360 \text{ kN/m}^2$,
Suma:	$0.1884 \quad 0.2261 \text{ kN/m}^2$,
- płyta prefabrykowana	$0.7950 \times 1.1 = 0.8745 \text{ kN/m}^2$
Razem:	$0.9834 \quad 1.1006 \text{ kN/m}^2$.

c) pokrycie części środkowej dachu

- nawierzchniowa papa zgrzewalna
- podkładowa papa zgrzewalna klejona do płyt styropianowych
Łączna masa pap wg pomiarów wynosi: $0.318/0.04 = 7.95 \text{ kg/m}^2$.
Ciężar pap z uwzględnieniem zakładów: $0.0795/0.9 = 0.088 \text{ kN/m}^2$.
- styropian twardy 6 cm klejony lepikiem do podłoża, o masie
 $0.038/0.0144 = 2.64 \text{ kg/m}^2$,
- blacha trapezowa T18x72/0.88 o masie 9.58 kg/m^2
układana na zakład $0.0958/0.9 \times 1.1 = 0.1064 \times 1.1 = 0.1171 \text{ kN/m}^2$.

Sumaryczny ciężar pokrycia:

- papy zgrzewalne	$0.0880 \times 1.2 = 0.1056 \text{ kN/m}^2$,
- styropian twardy z lepikiem	$0.0264 \times 1.2 = 0.0317 \text{ kN/m}^2$,
- blacha trapezowa	$0.1064 \times 1.1 = 0.1171 \text{ kN/m}^2$,
Razem:	$0.2208 \quad 0.2544 \text{ kN/m}^2$.

d) pokrycie w miejscach naprawianych w 2011 r

W miejscach naprawianych usunięto istniejące warstwy papy oraz górną warstwę styropianu, a następnie przyklejono lepikiem na gorąco nową warstwę styropianu, ułożono podkładową papę zgrzewalną WENTYLACJA BAZA 3 SZYBKI SYNTAN SBS firmy Icopal Zduńska Wola, a na nią nawierzchniową papę zgrzewalną EXTRA WENTYLACJA TOP 5,2 SZYBKI SYNTAN SBS firmy Icopal Zduńska Wola.

3.2. Stan projektowany

Przewiduje się usunięcie wszystkich warstw pokrycia aż do żelbetowych płyt na ciągnowych częściach dachu i na żelbetowych pierścieniach. W celu zapewnienia dostępu do stalowej konstrukcji w części środkowej dachu należy zdemonstrować również blachę trapezową w taki sposób aby można było wykorzystać ją do odtworzenia pokrycia, po wzmocnieniu konstrukcji stalowej.

Na nośnej warstwie pokrycia dachowego przewiduje się ułożenie na mokro warstwy pianki poliuretanowej o grubości 15 cm (gęstość pozorna 55 kg/m^3 , współczynnik przewodzenia ciepła $0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), a na nią układaną na mokro membranę z polimocznika nierozprzestrzeniającego ognia, o masie do 2.5 kg/m^2 .

3.2.1. Ciężar pokrycia nad dachem ciągnowym

- polimocznik	$0,025 \times 1,3 =$	$0,033 \text{ kN/m}^2$,
- pianka PUR $0,15 \cdot 0,55 \times 1,3 =$	$\frac{0,083 \times 1,3 =}{0,108}$	$\frac{0,107 \text{ kN/m}^2}{0,140 \text{ kN/m}^2}$,
- płyty żelbetowe wg [10]	$\frac{0,795 \times 1,1 =}{0,903}$	$\frac{0,875 \text{ kN/m}^2}{1,015 \text{ kN/m}^2}$,
Razem		

3.2.2. Ciężar pokrycia nad dachem płaskim

- polimocznik	$0,025 \times 1,3 =$	$0,033 \text{ kN/m}^2$,
- pianka PUR $0,15 \cdot 0,55 \times 1,3 =$	$\frac{0,083 \times 1,3 =}{0,108}$	$\frac{0,107 \text{ kN/m}^2}{0,140 \text{ kN/m}^2}$,
- blacha trapezowa wg [10]	$\frac{0,106 \times 1,1 =}{0,214 \text{ kN/m}^2}$	$\frac{0,117 \text{ kN/m}^2}{0,257 \text{ kN/m}^2}$,
Razem		

3.2.3. Obliczenia termiczne wg [18] i [19]

Obliczenia termiczne przeprowadzono dla stropodachu w przekroju przez ciągnową część dachu.

Grubości warstw i współczynniki przewodności cieplnej:

- płyty żelbetowe	$d = 3.0 \text{ cm}$,	$\lambda = 1,70 \text{ W/mK}$,
- pianka PUR	$d = 10.0 \text{ cm}$,	$\lambda = 0.022 \text{ W/mK}$,
- warstwa polimocznika	$d = 0.2 \text{ cm}$,	$\lambda = \text{brak danych}$.

Odwrotność współczynników przejmowania ciepła dla kierunku w górę $R_{si} + R_{se} = 0.10 + 0.04 = 0.14 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Obliczenia współczynnika przenikania ciepła w ciągnowej części dachu :

- przy grubości pianki 15 cm

$$R_{15} = 0.14 + 0.03/1.70 + 0.15/0.022 = 0.14 + 0.018 + 6,818 = 6,976 \text{ m}^2\text{K/W},$$

$$U_{15} = 0.143 \text{ W/m}^2\text{K},$$

- przy grubości pianki 12 cm

$$R_{12} = 0.14 + 0.03/1.70 + 0.12/0.022 = 0.14 + 0.018 + 5.455 = 5.612 \text{ m}^2\text{K/W},$$

$$U_{12} = 0.178 \text{ W/m}^2\text{K},$$

- przy grubości pianki 11 cm

$$R_{11} = 0.14 + 0.03/1.70 + 0.11/0.022 = 0.14 + 0.018 + 5.000 = 5.158 \text{ m}^2\text{K/W},$$

$$U_{11} = 0.194 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

4. Geometria przekrycia

4.1. Łuk paraboliczny 1 (patrz rys. 3)

4.1.1. Geometria łuku

Kąt nachylenia płaszczyzny łuku $\alpha = 36^\circ 23'$, $\cos\alpha = 0.80507$, $\sin\alpha = 0.59318$.

Rozpiętość łuku $l = 48$ m. Strzałka $f = 11.80$ m. Równanie osi łuku

$$y = \frac{4f}{l^2} \left(\frac{l}{2} - x \right) \left(\frac{l}{2} + x \right).$$

Tablica 1a . Geometria łuku 1 – węzły zawieszenia cięgien

Numer ciągną	W układzie wsp. łuku		W układzie wsp hali	
	x	y	h ₁	y ₁
	[m]	[m]	[m]	[m]
1 klucz)	0	11.800	7.000	9.500
2	1.199	11.771	6.982	9.476
3	2.403	11.682	6.929	9.405
4	3.598	11.535	6.842	9.286
5	4.768	11.334	6.723	9.125
6	5.940	11.077	6.571	8.918
7	7.099	10.768	6.387	8.669
8	8.243	10.408	6.174	8.379
9	9.372	10.001	5.932	8.051
10	10.483	9.549	5.664	7.687
11	11.576	9.055	5.371	7.290
12	12.651	8.521	5.055	6.860
13	13.706	7.952	4.717	6.402
14	14.743	7.347	4.358	5.915
15	15.760	6.712	3.981	5.403
16	16.759	6.046	3.586	4.868
17	17.738	5.354	3.176	4.311
18	18.700	4.636	2.750	3.732
19	19.643	3.895	2.311	3.136

Tablica 1b. Geometria łuku – węzły podparcia płatwi

Płatw	W układzie wsp. łuku		W układzie wsp hali	
	x	y	h ₁	y ₁
	[m]	[m]	[m]	[m]
Klucz	0.000	11.800	7.000	9.500

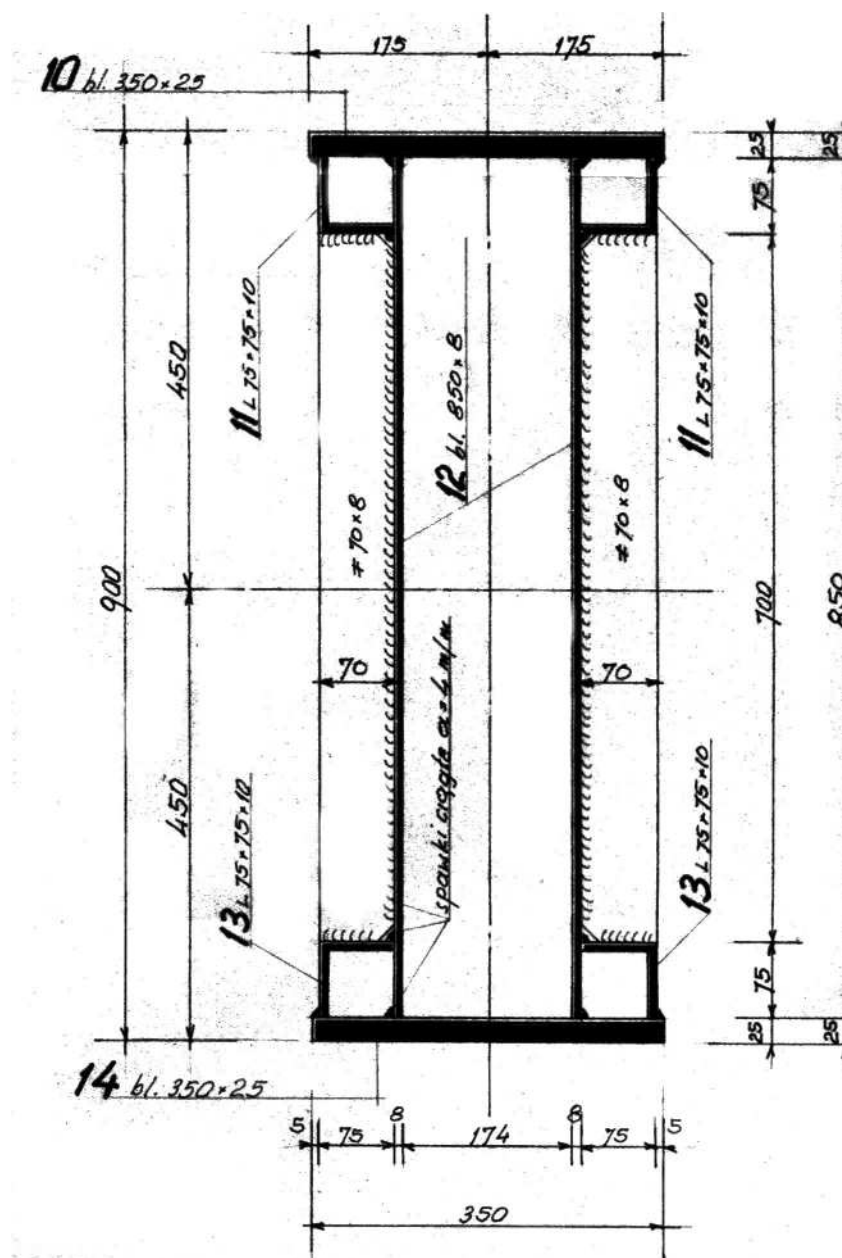
K13	1.998	11.718	6.951	9.434
K12	3.983	11.475	6.807	9.238
K11	5.943	11.076	6.570	8.917
K10	7.867	10.532	6.247	8.479
K9	9.748	9.853	5.845	7.933
K8	11.581	9.052	5.370	7.288
K7	13.362	8.142	4.830	6.555
K6	15.090	7.135	4.232	5.744
K5	16.765	6.042	3.584	4.864
K4	18.388	4.873	2.891	3.923
K3	19.961	3.637	2.158	2.928
K2	21.4855	2.343	1.390	1.886
K1	22.964	0.997	0.591	0.802
Podpora	24.000	0.000	0.000	0.000

Tablica 1c. Geometria łuku 1 – zbiorcze zestawienie węzłów

Numer węzła	Oznaczenie węzła	W układzie wsp. łuku		W układzie wsp hali	
		x	y	h ₁	y ₁
		[m]	[m]	[m]	[m]
1	1 (klucz)	0	11.800	7.000	9.500
2	2	1.199	11.771	6.982	9.476
3	K13	1.998	11.718	6.951	9.434
4	3	2.403	11.682	6.929	9.405
5	4	3.598	11.535	6.842	9.286
6	K12	3.983	11.475	6.807	9.238
7	5	4.768	11.334	6.723	9.125
8	6	5.940	11.077	6.571	8.918
9	K11	5.943	11.076	6.570	8.917
10	7	7.099	10.768	6.387	8.669
11	K10	7.867	10.532	6.247	8.479
12	8	8.243	10.408	6.174	8.379
13	9	9.372	10.001	5.932	8.051
14	K9	9.748	9.853	5.845	7.933
15	10	10.483	9.549	5.664	7.687
16	11	11.576	9.055	5.371	7.290
17	K8	11.581	9.052	5.370	7.288
18	12	12.651	8.521	5.055	6.860
19	K7	13.362	8.142	4.830	6.555
20	13	13.706	7.952	4.717	6.402
21	14	14.743	7.347	4.358	5.915
22	K6	15.090	7.135	4.232	5.744
23	15	15.760	6.712	3.981	5.403
24	16	16.759	6.046	3.586	4.868
25	K5	16.765	6.042	3.584	4.864
26	17	17.738	5.354	3.176	4.311
27	K4	18.388	4.873	2.891	3.923
28	18	18.700	4.636	2.750	3.732
29	19	19.643	3.895	2.311	3.136

30	K3	19.961	3.637	2.158	2.928
31	K2	21.4855	2.343	1.390	1.886
32	K1	22.964	0.997	0.591	0.802
33	Podpora	24.000	0.000	0.000	0.000

4.1.2. Przekrój poprzeczny



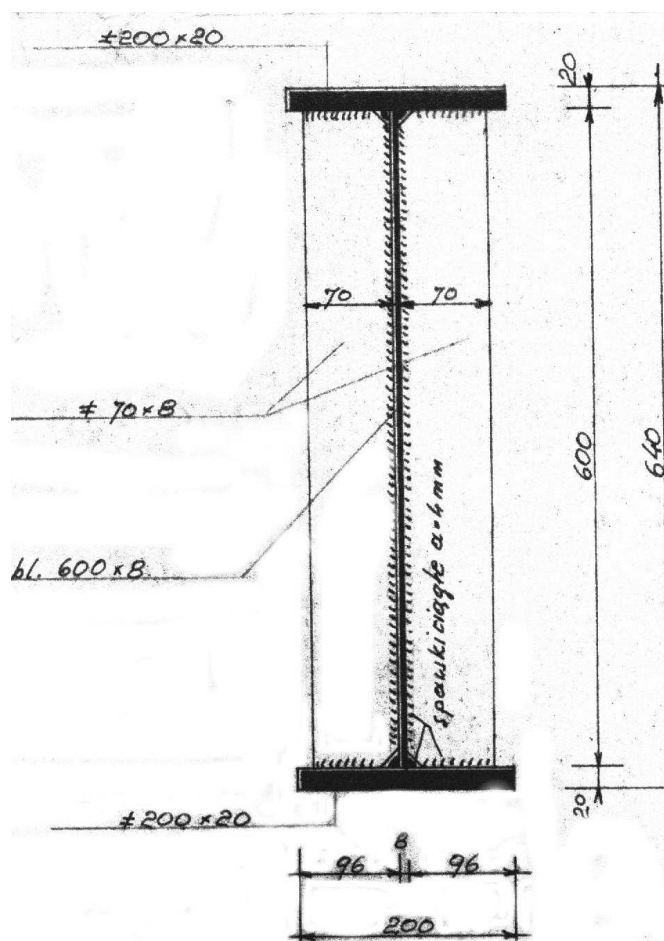
Rys. 6. Przekrój poprzeczny parabolicznego łuku 1 wg [2]

4.2. Łuk paraboliczny 2

4.2.1. Geometria łuku

Tablica 2. Geometria łuku
węzły podparcia płatwi

Pła- tew	W układzie wsp. łuku		W układzie wsp. hali	
	x	y	h_1	y_2
	[m]	[m]	[m]	[m]
Klucz	0.000	7.586	7.000	3.000
K13	1.998	7.533	6.951	2.979
K12	3.983	7.377	6.807	2.917
K11	5.943	7.121	6.571	2.816
K10	7.867	6.771	6.248	2.678
K9	9.748	6.335	5.845	2.505
K8	11.581	5.820	5.370	2.301
K7	13.362	5.235	4.830	2.070
K6	15.090	4.587	4.233	1.814
K5	16.765	3.884	3.584	1.536
K4	18.388	3.133	2.891	1.239
K3	19.961	2.338	2.158	0.925
K2	21.4855	1.506	1.390	0.596
K1	22.964	0.641	0.591	0.253
Pod- pora	24.000	0.000	0.000	0.000



Rys. 7. Przekrój poprzeczny łuku 2 wg [2]

4.3. Geometria łuku kołowego (w rzucie)

Wg [3] str 85 i 86

Łuk kołowy w rzucie o promieniu $R = 29.0$ m

Strzałka łuku $f = 14.6$ m.

Kąt nachylenia płaszczyzny łuku $\beta = 20^\circ$

Tablica 3. Geometria łuku kołowego

Nr ciągna	W układzie wsp. hali		
	x	y_2	h_2
	[m]	[m]	[m]
1	0	13.330	4.852
2	1.199	13.305	4.843
3	2.403	13.230	4.815
4	3.598	13.106	4.770
5	4.768	12.935	4.708
6	5.940	12.715	4.628
7	7.099	12.448	4.531
8	8.243	12.134	4.416

9	9.372	5.932	4.285	1.647	8.051	11.774	19.825
10	10.483	5.664	4.138	1.526	7.687	11.369	19.056
11	11.576	5.371	3.974	1.397	7.290	10.919	18.209
12	12.651	5.055	3.794	1.261	6.860	10.425	17.285
13	13.706	4.717	3.598	1.119	6.402	9.887	16.289
14	14.743	4.358	3.386	0.972	5.915	9.303	15.218
15	15.760	3.981	3.157	0.824	5.403	8.674	14.077
16	16.759	3.586	2.911	0.675	4.868	7.997	12.865
17	17.738	3.176	2.647	0.529	4.311	7.273	11.584
18	18.700	2.750	2.364	0.386	3.732	6.496	10.228
19	19.643	2.311	2.062	0.249	3.136	5.664	8.800

Tablica 4 c.d. Charakterystyki geometryczne cięgien

Nr	x	L ₀	f ₀	L _z	a	b	α	β	α _{sr}
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[°]
1	0	22.830	2.782	27.237	13.619	9.211	16.211	11.125	13.668
2	1.199	22.781	2.770	27.179	13.590	9.191	16.178	11.102	13.640
3	2.403	22.635	2.734	27.010	13.505	9.130	16.083	11.029	13.556
4	3.598	22.392	2.676	26.726	13.363	9.029	15.923	10.910	13.416
5	4.768	22.060	2.597	26.339	13.169	8.891	15.703	10.747	13.225
6	5.940	21.633	2.498	25.840	12.920	8.713	15.420	10.537	12.978
7	7.099	21.117	2.380	25.234	12.617	8.500	15.075	10.285	12.680
8	8.243	20.513	2.246	24.527	12.264	8.249	14.671	9.988	12.330
9	9.372	19.825	2.098	23.716	11.858	7.967	14.206	9.652	11.929
10	10.483	19.056	1.938	22.807	11.404	7.652	13.682	9.278	11.480
11	11.576	18.209	1.770	21.803	10.901	7.308	13.101	8.867	10.984
12	12.651	17.285	1.595	20.702	10.351	6.934	12.461	8.420	10.441
13	13.706	16.289	1.416	19.507	9.753	6.536	11.762	7.943	9.852
14	14.743	15.218	1.236	18.210	9.105	6.113	11.000	7.435	9.217
15	15.760	14.077	1.058	16.819	8.409	5.668	10.178	6.899	8.538
16	16.759	12.865	0.883	15.323	7.661	5.204	9.289	6.339	7.814
17	17.738	11.584	0.716	13.723	6.862	4.722	8.334	5.757	7.045
18	18.700	10.228	0.558	11.996	5.998	4.230	7.297	5.160	6.228
19	19.643	8.800	0.413	10.125	5.063	3.737	6.169	4.562	5.365

4. Obciążenia

4.1. Obciążenie pokryciem nad ciągnową częścią dachu

- pokrycie	$0,108 \times 1,2 \times 1,30 = 0,130 \times 1,3 = 0,169 \text{ kN/m},$
- płyta prefabrykowana	$0,7950 \times 1,12 \times 1,1 = 0,890 \times 1,1 = 0,979 \text{ kN/m},$
- płyta uzupełniająca	$0,117 \times 0,17 \times 1,2 = 0,020 \times 1,2 = 0,024 \text{ kN/m}$
Razem:	1.040 kN/m 1.172 kN/m.

4.2. Ciężar własny lin

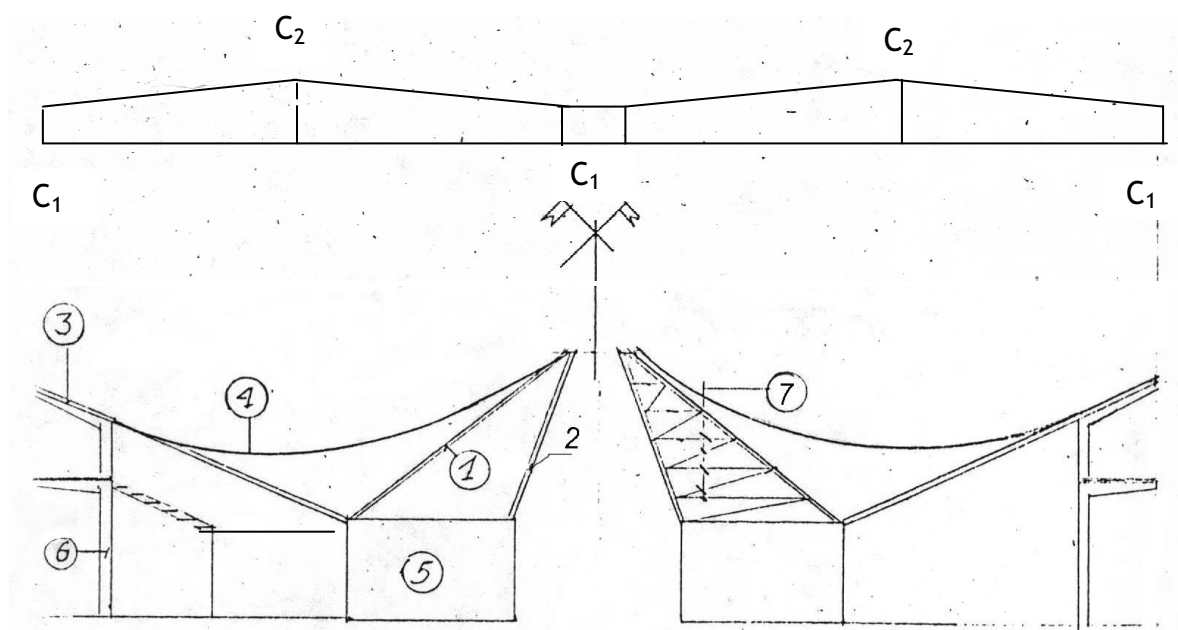
$$\frac{2 \times 0,006 \times 1,1 = 0,012 \times 1,1 = 0,014 \text{ kN/m},}{\text{Suma} \quad g_k = 1,052 \quad g = 1,186 \text{ kN/m}.}$$

4.3. Obciążenie montażowe

- ciężar własny lin	$= 0,012 \times 1,1 = 0,014 \text{ kN/m},$
- płyta prefabrykowana	$0,7950 \times 1,12 \times 1,1 = 0,890 \times 1,1 = 0,979 \text{ kN/m},$
- płyta uzupełniająca	$0,117 \times 0,17 \times 1,2 = 0,020 \times 1,2 = 0,024 \text{ kN/m}$
Razem:	0,922 kN/m 1,017 kN/m.

4.4. Obciążenie śniegiem

Obliczenia wykonano wg normy [11], z uwzględnieniem podziału kraju na strefy i nowego współczynnika obciążenia zawartego w poprawce Az1/2010 do normy PN-80/B-02010, przyjmując współczynnik kształtu dachu jak dla dachów wklęsłych. Dla strefy 2, wg [10] $s_k = 0.9 \text{ kN/m}^2$.



Rys. 12. Rozkład obciążenie śniegiem na dachu

Tablica 5. Obciążenie śniegiem

Ciężno	α	β	α_{sr}	C_1	C_2	S_1	S_2	c	S_{11}	S_{21}
	[°]	[°]	[°]			kN/m ²	kN/m ²	m	kN/m	kN/m
						Dla $\gamma=1.5$			Dla $\gamma=1.5$	
1	16.211	11.125	13.668	0.800	1.164	1.080	1.572	1.199	1.295	1.885
2	16.178	11.102	13.640	0.800	1.164	1.080	1.571	1.202	1.298	1.888
3	16.083	11.029	13.556	0.800	1.161	1.080	1.568	1.200	1.295	1.881
4	15.923	10.910	13.416	0.800	1.158	1.080	1.563	1.183	1.277	1.848
5	15.703	10.747	13.225	0.800	1.153	1.080	1.556	1.171	1.265	1.822
6	15.420	10.537	12.978	0.800	1.146	1.080	1.547	1.166	1.259	1.803
7	15.075	10.285	12.680	0.800	1.138	1.080	1.536	1.152	1.244	1.769
8	14.671	9.988	12.330	0.800	1.129	1.080	1.524	1.137	1.227	1.732
9	14.206	9.652	11.929	0.800	1.118	1.080	1.509	1.120	1.210	1.691
10	13.682	9.278	11.480	0.800	1.106	1.080	1.493	1.102	1.190	1.646
11	13.101	8.867	10.984	0.800	1.093	1.080	1.475	1.084	1.171	1.599
12	12.461	8.420	10.441	0.800	1.078	1.080	1.456	1.065	1.150	1.550
13	11.762	7.943	9.852	0.800	1.063	1.080	1.435	1.046	1.130	1.501
14	11.000	7.435	9.217	0.800	1.046	1.080	1.412	1.027	1.109	1.450
15	10.178	6.899	8.538	0.800	1.028	1.080	1.387	1.008	1.089	1.398
16	9.289	6.339	7.814	0.800	1.008	1.080	1.361	0.989	1.068	1.346
17	8.334	5.757	7.045	0.800	0.988	1.080	1.334	0.970	1.048	1.294
18	7.297	5.160	6.228	0.800	0.966	1.080	1.304	0.953	1.029	1.242
19	6.169	4.562	5.365	0.800	0.943	1.080	1.273	0.943	1.018	1.201

Gdzie: $S_1 = 0.9 \cdot C_1 \cdot 1.5$, $S_2 = 0.9 \cdot C_2 \cdot 1.5$ oraz $S_{11} = 0.9 \cdot C_1 \cdot 1.5 \cdot c$, $S_{21} = 0.9 \cdot C_2 \cdot 1.5 \cdot c$.

c – odległość między ciężnami

4.5. Obciążenie łuku parabolicznego 1 i 2

4.5.1. Ciężar własny łuku 1 – wg wykazu materiałów w [2]

Ciężar ½ blachownicy – 91.324 kN.

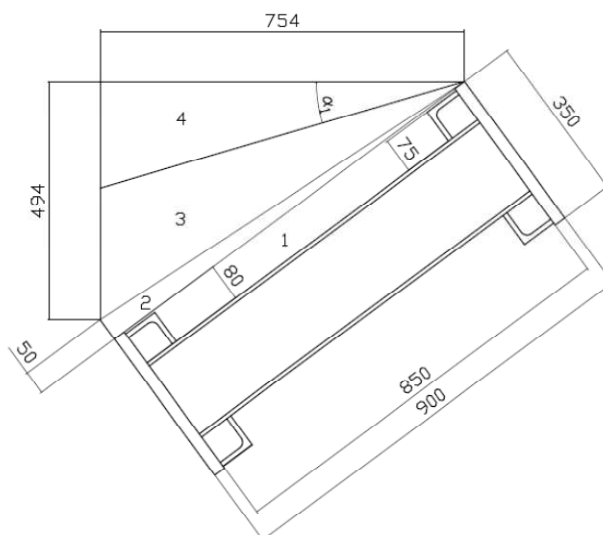
Długość ½ blachownicy po łuku $0.5(27.0+26.5)+0.94+0.12 = 27.81$ m.

Tablica 6. Ciężar własny łuku 1 sprowadzony do punktów podparcia płatwi

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość od klucza po łuku 1	Odległość między węzłami płatwi	Obciążenie łuku 1 w węzłach płatwi	
	[m]	[m]	[m]	G_k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]
Klucz	0	0		6.568	7.224
13	1.998	2	2	6.568	7.224
12	3.983	4	2	6.568	7.224
11	5.943	6	2	6.568	7.224
10	7.867	8	2	6.568	7.224
9	9.748	10	2	6.568	7.224
8	11.581	12	2	6.568	7.224
7	13.362	14	2	6.568	7.224
6	15.090	16	2	6.568	7.224
5	16.765	18	2	6.568	7.224
4	18.388	20	2	6.568	7.224

3	19.961	22	2	6.568	7.224
2	21.4855	24	2	6.568	7.224
1	22.964	26	2	5.645	6.210
podpora	24	27.437	1.438	2.361	2.597

4. 5.2. Beton na łuku 1



Rys. 13. Przekrój przez łuk 1 z betonem (pole 3)

Tablica 7. Beton na łuku 1 sprowadzony do punktów podparcia płatwi

Płatew	Odległość od klucza w poziomie	α_1	Pole powierzchni					Obc. węzła	
			Figura 1	Figura 2	Figura 3+4	Figura 4	Pow. betonu	G_k	G $\gamma=1.3$
	[m]	[°]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[kN]	[kN]
Klucz	0	30.18	0.0568	0.0238	0.1862	0.1653	0.1015	4.870	6.331
13	1.998	30.03	0.0568	0.0238	0.1862	0.1643	0.1024	4.916	6.390
12	3.983	29.60	0.0568	0.0238	0.1862	0.1615	0.1053	5.052	6.568
11	5.943	28.88	0.0568	0.0238	0.1862	0.1568	0.1099	5.277	6.861
10	7.867	27.87	0.0568	0.0238	0.1862	0.1503	0.1164	5.588	7.265
9	9.748	26.57	0.0568	0.0238	0.1862	0.1421	0.1246	5.981	7.776
8	11.581	24.95	0.0568	0.0238	0.1862	0.1323	0.1345	6.454	8.391
7	13.362	23.02	0.0568	0.0238	0.1862	0.1208	0.1459	7.005	9.107
6	15.090	20.75	0.0568	0.0238	0.1862	0.1077	0.1590	7.633	9.923
5	16.765	18.11	0.0568	0.0238	0.1862	0.0929	0.1738	8.342	10.845
4	18.388	15.02	0.0568	0.0238	0.1862	0.0763	0.1904	9.141	11.883
3	19.961	11.41	0.0568	0.0238	0.1862	0.0574	0.2094	10.050	13.065
2	21.4855	6.97	0.0568	0.0238	0.1862	0.0348	0.2320	11.135	14.476
1	22.964	3.47	0.0568	0.0238	0.1862	0.0172	0.2495	10.293	13.381
podpora	24	0.74	0.0568	0.0238	0.1862	0.0037	0.2630	4.539	5.901

Kąt α_1 obliczono dla obciążeń montażowych.

4. 5.3. Płatwie kratowe i stężenia

Tablica 8. Ciężar własny płatwi i stężeń sprowadzony do punktów podparcia płatwi

Pła- tew	Odległość od klucza w poziomie	Odległość od klucza po łuku	Łuk 1		Łuk 2	
			G_k	G	G_k	G
	m	m	kN	KN	kN	KN
K ₁₃	1.998	2	0.113	0.125	0.247	0.272
K ₁₂	3.983	4	0.129	0.141	0.234	0.257
K ₁₁	5.943	6	0.245	0.270	0.361	0.397
K ₁₀	7.867	8	0.336	0.369	0.472	0.520
K ₉	9.748	10	0.441	0.485	0.596	0.655
K ₈	11.581	12	0.534	0.588	0.739	0.812
K ₇	13.362	14	0.686	0.755	0.942	1.037
K ₆	15.090	16	0.831	0.914	1.141	1.255
K ₅	16.765	18	0.989	1.088	1.302	1.432
K ₄	18.388	20	1.359	1.495	1.742	1.917
K ₃	19.961	22	1.565	1.722	2.012	2.213
K ₂	21.4855	24	1.989	2.188	2.476	2.724
K ₁	22.964	26	4.588	5.047	5.099	5.608

4.5.4. Pokrycie i solary

A. Pokrycie

Tablica 9a. Ciężar pokrycia sprowadzony do punktów podparcia płatwi

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość między płatwiami	Odległość między łukami	Odległość od osi hali do łuku 2	Obciążenie łuku 1 w węzłach płatwi		Obciążenie łuku 2 w węzłach płatwi	
					G_k	G	G_k	G
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Klucz	0	1.999	0.500	0.500	0,107	0,128	0,321	0,385
13	1.998	1.990	0.545	0.521	0,116	0,140	0,337	0,405
12	3.983	1.974	0.679	0.583	0,144	0,173	0,389	0,467
11	5.943	1.951	0.899	0.684	0,189	0,227	0,472	0,567
10	7.867	1.924	1.199	0.822	0,248	0,298	0,584	0,702
9	9.748	1.894	1.572	0.995	0,321	0,386	0,721	0,866
8	11.581	1.861	2.014	1.199	0,404	0,486	0,878	1,054
7	13.362	1.828	2.515	1.430	0,496	0,596	1,051	1,262
6	15.090	1.796	3.070	1.686	0,595	0,715	1,238	1,486
5	16.765	1.765	3.672	1.964	0,700	0,840	1,435	1,723
4	18.388	1.735	4.316	2.261	0,808	0,971	1,641	1,971
3	19.961	1.707	4.996	2.575	0,920	1,105	1,854	2,226
2	21.4855	1.680	5.709	2.904	1,035	1,243	1,928	2,315
1	22.964	1.193	6.451	3.247	0,992	1,191	1,406	1,689
podpora	24		7.000	3.500	0,447	0,536	0,447	0,536

B. Solary

Przyjęto obciążenie solarami $q = 0,250 \text{ kN/m}^2$ ze współczynnikiem obciążenia $\gamma = 1,2$.

Tablica 9b. Ciężar pokrycia sprowadzony do punktów podparcia płatwi

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość między płatwiami	Odległość między łukami	Odległość od osi hali do łuku 2	Obciążenie łuku 1 w węzłach płatwi		Obciążenie łuku 2 w węzłach płatwi	
					G_k	G	G_k	G
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Klucz	0	1.999	0.500	0.500	0,125	0,150	0,375	0,450
13	1.998	1.990	0.545	0.521	0,136	0,163	0,394	0,473
12	3.983	1.974	0.679	0.583	0,168	0,202	0,454	0,545
11	5.943	1.951	0.899	0.684	0,220	0,265	0,552	0,662
10	7.867	1.924	1.199	0.822	0,290	0,348	0,683	0,819
9	9.748	1.894	1.572	0.995	0,375	0,450	0,842	1,011
8	11.581	1.861	2.014	1.199	0,473	0,567	1,025	1,230
7	13.362	1.828	2.515	1.430	0,580	0,696	1,228	1,473
6	15.090	1.796	3.070	1.686	0,695	0,834	1,446	1,735
5	16.765	1.765	3.672	1.964	0,817	0,981	1,676	2,012
4	18.388	1.735	4.316	2.261	0,944	1,133	1,917	2,300
3	19.961	1.707	4.996	2.575	1,075	1,290	2,165	2,598
2	21.4855	1.680	5.709	2.904	1,209	1,450	2,252	2,702
1	22.964	1.193	6.451	3.247	1,158	1,390	1,643	1,971
podpora	24		7.000	3.500	0,522	0,626	0,522	0,626

4.5.5. Przeszklenie dolne

A. Wersja istniejąca ze szkłem

Szacunkowa powierzchnia przeszklenia – 495.35 m^2 .

Konstrukcja stalowa wg [13] $48.02 \times 1.1 = 52.82 \text{ kN}$.

Szkło zbrojone 6 mm $0.006 \times 405.7 \times 27.0 \times 1.2 = 65.72 \times 1.2 = 78.87 \text{ kN}$.

Razem $113.74 \text{ kN} \quad 131.69 \text{ kN}$.

Obciążenie na jednostkę powierzchni

$q_k = 113.74 / 439.33 = 0.259 \text{ kN/m}^2$,

$q = 131.68 / 439.33 = 0.300 \text{ kN/m}^2$.

B. Wersja projektowana z drewnianą sklejką

Szacunkowa powierzchnia przeszklenia – 495.35 m^2 .

Konstrukcja stalowa wg [13] $48.02 \times 1.1 = 52.82 \text{ kN}$.

Sklejka drewniana 6 mm $0.006 \times 405.7 \times 7.0 \times 1.2 = 17.04 \times 1.2 = 20.45 \text{ kN}$.

Razem $65.06 \text{ kN} \quad 73.27 \text{ kN}$.

Obciążenie na jednostkę powierzchni

$q_k = 65.06 / 439.33 = 0.148 \text{ kN/m}^2$,

$q = 73.27 / 439.33 = 0.167 \text{ kN/m}^2$.

Tablica 10a. Ciężar przeszklenia dolnego sprowadzony do punktów podparcia płatwi

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość między płatwiami	Odległość między łukami	Odległość od osi hali do łuku 2	Obciążenie łuku 1 w węzłach płatwi		Obciążenie łuku 2 w węzłach płatwi	
					G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Klucz	0	1.999	0.500	0.500	0.129	0.150	0.388	0.450
13	1.998	1.990	0.545	0.521	0.141	0.163	0.410	0.475
12	3.983	1.974	0.679	0.583	0.174	0.202	0.473	0.548
11	5.943	1.951	0.899	0.684	0.228	0.265	0.576	0.667
10	7.867	1.924	1.199	0.822	0.301	0.348	0.713	0.826
9	9.748	1.894	1.572	0.995	0.389	0.450	0.880	1.020
8	11.581	1.861	2.014	1.199	0.490	0.567	1.072	1.242
7	13.362	1.828	2.515	1.430	0.601	0.696	1.284	1.487
6	15.090	1.796	3.070	1.686	0.720	0.834	1.512	1.751
5	16.765	1.765	3.672	1.964	0.847	0.981	1.752	2.030
4	18.388	1.735	4.316	2.261	0.978	1.133	2.003	2.320
3	19.961	1.707	4.996	2.575	1.114	1.290	2.262	2.620
2	21.4855	1.680	5.709	2.904	1.252	1.450	2.526	2.926
1	22.964	1.193	6.451	3.247	1.200	1.390	2.408	2.789
podpora	24		7.000	3.500	0.541	0.626	1.081	1.252

Tablica 10b. Ciężar dolnego opierzenia (ze sklejk) w punktach podparcia płatwi

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość między płatwiami	Odległość między łukami	Odległość od osi hali do łuku 2	Obciążenie łuku 1 w węzłach płatwi		Obciążenie łuku 2 w węzłach płatwi	
					G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Klucz	0	1.999	0.500	0.500	0,074	0,083	0,222	0,250
13	1.998	1.990	0.545	0.521	0,080	0,091	0,234	0,264
12	3.983	1.974	0.679	0.583	0,100	0,112	0,271	0,305
11	5.943	1.951	0.899	0.684	0,131	0,147	0,329	0,371
10	7.867	1.924	1.199	0.822	0,172	0,194	0,408	0,460
9	9.748	1.894	1.572	0.995	0,222	0,251	0,503	0,568
8	11.581	1.861	2.014	1.199	0,280	0,316	0,613	0,691
7	13.362	1.828	2.515	1.430	0,343	0,387	0,734	0,828
6	15.090	1.796	3.070	1.686	0,412	0,465	0,864	0,975
5	16.765	1.765	3.672	1.964	0,484	0,546	1,001	1,130
4	18.388	1.735	4.316	2.261	0,559	0,631	1,145	1,292
3	19.961	1.707	4.996	2.575	0,636	0,718	1,292	1,458
2	21.4855	1.680	5.709	2.904	0,716	0,807	1,444	1,629
1	22.964	1.193	6.451	3.247	0,686	0,774	1,376	1,553
podpora	24		7.000	3.500	0,309	0,349	0,618	0,697

4.5.6. Ciężar własny łuku 2

Ciężar ½ blachownicy – 30.31 kN.

Tablica 11. Ciężar własny łuku 2 sprowadzony do punktów podparcia płatwi

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość od klucza po łuku 1	Odległość między węzłami płatwi	Obciążenie łuku 2 w węzłach płatwi	
				G_k	G
	[m]	[m]		[kN]	[kN]
Klucz	0	0.000		2.375	2.612
13	1.998	1.999	1.999	2.370	2.607
12	3.983	3.990	1.991	2.357	2.593
11	5.943	5.967	1.977	2.336	2.569
10	7.867	7.922	1.956	2.309	2.540
9	9.748	9.853	1.931	2.278	2.506
8	11.581	11.757	1.904	2.245	2.469
7	13.362	13.632	1.875	2.210	2.431
6	15.090	15.477	1.845	2.175	2.393
5	16.765	17.293	1.816	2.141	2.356
4	18.388	19.082	1.788	2.109	2.320
3	19.961	20.844	1.762	2.079	2.286
2	21.4855	22.581	1.737	2.049	2.254
1	22.964	24.294	1.713	1.741	1.915
podpora	24	25.512	1.218	0.724	0.796

4.5.7. Oświetlenie

Przyjęto obciążenie $q_k = 0.15 \text{ kN/m}$,

$q = 0.15 \times 1.2 = 0.18 \text{ kN/m}$ po łuku 1.

Tablica 12. Obciążenie oświetleniem w węzłach podparcia płatwi

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość od klucza po łuku 1	Odległość między węzłami płatwi	Obciążenie łuku 1 w węzłach płatwi	
				G_k	G
	[m]	[m]		[kN]	[kN]
Klucz	0	0		0.30	0.36
13	1.998	2	2	0.30	0.36
12	3.983	4	2	0.30	0.36
11	5.943	6	2	0.30	0.36
10	7.867	8	2	0.30	0.36
9	9.748	10	2	0.30	0.36
8	11.581	12	2	0.30	0.36
7	13.362	14	2	0.30	0.36
6	15.090	16	2	0.30	0.36
5	16.765	18	2	0.30	0.36

4	18.388	20	2	0.30	0.36
3	19.961	22	2	0.30	0.36
2	21.4855	24	2	0.30	0.36
1	22.964	26	2	0.258	0.310
podpora	24	27.437	1.438	0.108	0.129

4.5.8. Obciążenie sumaryczne łuku 1 w węzłach płatwi

A. Tablica 13a. Obciążenie stałe z dachu łukowego bez solarów ze szkleniem

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość od klucza po łuku 1	Odległość między węzłami płatwi	Ciężar własny łuku		Beton na pierścieniu		Płatwie i stężenia		Pokrycie	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	kN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0		6.568	7.224	4.870	6.331	0	0	0,107	0,128
13	1.998	2	2	6.568	7.224	4.916	6.390	0.113	0.125	0,116	0,140
12	3.983	4	2	6.568	7.224	5.052	6.568	0.129	0.141	0,144	0,173
11	5.943	6	2	6.568	7.224	5.277	6.861	0.245	0.270	0,189	0,227
10	7.867	8	2	6.568	7.224	5.588	7.265	0.336	0.369	0,248	0,298
9	9.748	10	2	6.568	7.224	5.981	7.776	0.441	0.485	0,321	0,386
8	11.581	12	2	6.568	7.224	6.454	8.391	0.534	0.588	0,404	0,486
7	13.362	14	2	6.568	7.224	7.005	9.107	0.686	0.755	0,496	0,596
6	15.090	16	2	6.568	7.224	7.633	9.923	0.831	0.914	0,595	0,715
5	16.765	18	2	6.568	7.224	8.342	10.845	0.989	1.088	0,700	0,840
4	18.388	20	2	6.568	7.224	9.141	11.883	1.359	1.495	0,808	0,971
3	19.961	22	2	6.568	7.224	10.050	13.065	1.565	1.722	0,920	1,105
2	21.485	24	2	6.568	7.224	11.135	14.476	1.989	2.188	1,035	1,243
1	22.964	26	2	5.645	6.210	10.293	13.381	4.588	5.047	0,992	1,191
podpora	24	27.437	1.438	2.361	2.597	4.539	5.901	0	0	0,447	0,536

Tablica 13a. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego bez solarów ze szkleniem

Nr płatwi	Przeszklenie dolne		Oświetlenie		Suma		W pł. łuku x 1/sin β ₁		Pozioma x 1/tg β ₁	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[kN]	[kN]	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	0.129	0.150	0.30	0.36	11,974	14,193	20,185	23,926	16,250	19,263
13	0.141	0.163	0.30	0.36	12,154	14,402	20,489	24,277	16,495	19,545
12	0.174	0.202	0.30	0.36	12,367	14,668	20,847	24,726	16,784	19,907
11	0.228	0.265	0.30	0.36	12,807	15,207	21,588	25,634	17,381	20,638
10	0.301	0.348	0.30	0.36	13,341	15,864	22,490	26,743	18,106	21,530
9	0.389	0.450	0.30	0.36	14,000	16,681	23,600	28,119	19,000	22,638
8	0.490	0.567	0.30	0.36	14,750	17,616	24,865	29,695	20,019	23,907

7	0.601	0.696	0.30	0.36	15,656	18,738	26,392	31,587	21,248	25,430
6	0.720	0.834	0.30	0.36	16,647	19,970	28,063	33,663	22,593	27,102
5	0.847	0.981	0.30	0.36	17,746	21,338	29,914	35,970	24,083	28,959
4	0.978	1.133	0.30	0.36	19,154	23,066	32,288	38,882	25,995	31,303
3	1.114	1.290	0.30	0.36	20,517	24,766	34,586	41,748	27,845	33,611
2	1.252	1.450	0.30	0.36	22,279	26,941	37,555	45,414	30,235	36,562
1	1.200	1.390	0.258	0.310	22,976	27,529	38,730	46,406	31,181	37,361
podpora	0.541	0.626	0.108	0.129	7,996	9,789	13,478	16,502	10,851	13,286

B. Tablica 13b. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze szkleniem

Nr płatwi	Odle- głość od klucza w po- ziomie	Odle- głość od klucza po łuku 1	Odle- głość mię- dzy wę- złami płatwi	Ciężar własny łuku		Beton na pierście- niu		Płatwie i stęże- nia		Pokrycie z solarami	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	KN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0		6.568	7.224	4.870	6.331	0	0	0,232	0,278
13	1.998	2	2	6.568	7.224	4.916	6.390	0.113	0.125	0,252	0,303
12	3.983	4	2	6.568	7.224	5.052	6.568	0.129	0.141	0,312	0,375
11	5.943	6	2	6.568	7.224	5.277	6.861	0.245	0.270	0,409	0,491
10	7.867	8	2	6.568	7.224	5.588	7.265	0.336	0.369	0,539	0,647
9	9.748	10	2	6.568	7.224	5.981	7.776	0.441	0.485	0,696	0,836
8	11.581	12	2	6.568	7.224	6.454	8.391	0.534	0.588	0,877	1,053
7	13.362	14	2	6.568	7.224	7.005	9.107	0.686	0.755	1,076	1,292
6	15.090	16	2	6.568	7.224	7.633	9.923	0.831	0.914	1,291	1,549
5	16.765	18	2	6.568	7.224	8.342	10.845	0.989	1.088	1,517	1,821
4	18.388	20	2	6.568	7.224	9.141	11.883	1.359	1.495	1,752	2,104
3	19.961	22	2	6.568	7.224	10.050	13.065	1.565	1.722	1,995	2,395
2	21.485	24	2	6.568	7.224	11.135	14.476	1.989	2.188	2,243	2,693
1	22.964	26	2	5.645	6.210	10.293	13.381	4.588	5.047	2,150	2,581
pod- pora	24	27.437	1.438	2.361	2.597	4.539	5.901	0	0	0,969	1,163

Tablica 13b. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze szkleniem

Nr płatwi	Przeszklenie dolne		Oświetlenie		Suma		W pł. łuku $\times 1/\sin \beta_1$		Pozioma $\times 1/\tan \beta_1$	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[kN]	[kN]	kN	KN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	0.129	0.150	0.30	0.36	12,099	14,343	20,395	24,179	16,420	19,466
13	0.141	0.163	0.30	0.36	12,290	14,565	20,718	24,552	16,680	19,767
12	0.174	0.202	0.30	0.36	12,535	14,870	21,131	25,066	17,012	20,181
11	0.228	0.265	0.30	0.36	13,027	15,471	21,960	26,080	17,680	20,997
10	0.301	0.348	0.30	0.36	13,632	16,213	22,979	27,330	18,500	22,003

9	0.389	0.450	0.30	0.36	14,375	17,131	24,233	28,878	19,509	23,249
8	0.490	0.567	0.30	0.36	15,223	18,183	25,662	30,651	20,660	24,677
7	0.601	0.696	0.30	0.36	16,236	19,434	27,370	32,760	22,035	26,375
6	0.720	0.834	0.30	0.36	17,343	20,804	29,235	35,070	23,536	28,234
5	0.847	0.981	0.30	0.36	18,563	22,319	31,291	37,623	25,192	30,290
4	0.978	1.133	0.30	0.36	20,098	24,199	33,880	40,792	27,276	32,841
3	1.114	1.290	0.30	0.36	21,592	26,056	36,398	43,923	29,304	35,362
2	1.252	1.450	0.30	0.36	23,487	28,391	39,593	47,859	31,876	38,531
1	1.200	1.390	0.258	0.310	24,134	28,919	40,683	48,749	32,753	39,247
podpora	0.541	0.626	0.108	0.129	8,518	10,416	14,358	17,558	11,560	14,136

C. Tablica 13a. Obciążenie stałe z dachu łukowego bez solarów ze sklejką

Nr płatwi	Odle- głość od klucza w po- ziumie	Odle- głość od klucza po łuku l	Odle- głość mię- dzy wę- złami płatwi	Ciężar własny łuku		Beton na pierście- niu		Płatwie i stężę- nia		Pokrycie	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	KN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0		6.568	7.224	4.870	6.331	0	0	0,107	0,128
13	1.998	2	2	6.568	7.224	4.916	6.390	0.113	0.125	0,116	0,140
12	3.983	4	2	6.568	7.224	5.052	6.568	0.129	0.141	0,144	0,173
11	5.943	6	2	6.568	7.224	5.277	6.861	0.245	0.270	0,189	0,227
10	7.867	8	2	6.568	7.224	5.588	7.265	0.336	0.369	0,248	0,298
9	9.748	10	2	6.568	7.224	5.981	7.776	0.441	0.485	0,321	0,386
8	11.581	12	2	6.568	7.224	6.454	8.391	0.534	0.588	0,404	0,486
7	13.362	14	2	6.568	7.224	7.005	9.107	0.686	0.755	0,496	0,596
6	15.090	16	2	6.568	7.224	7.633	9.923	0.831	0.914	0,595	0,715
5	16.765	18	2	6.568	7.224	8.342	10.845	0.989	1.088	0,700	0,840
4	18.388	20	2	6.568	7.224	9.141	11.883	1.359	1.495	0,808	0,971
3	19.961	22	2	6.568	7.224	10.050	13.065	1.565	1.722	0,920	1,105
2	21.485	24	2	6.568	7.224	11.135	14.476	1.989	2.188	1,035	1,243
1	22.964	26	2	5.645	6.210	10.293	13.381	4.588	5.047	0,992	1,191
pod- pora	24	27.437	1.438	2.361	2.597	4.539	5.901	0	0	0,447	0,536

Tablica 13a. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego bez solarów ze sklejką

Nr płatwi	Opierzenie dolne		Oświetlenie		Suma		W pł. łuku x 1/sin β ₁		Pozioma x 1/tg β ₁	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[kN]	[kN]	kN	KN	kN	KN	kN	kN	kN	kN
Klucz	0,074	0,083	0.30	0.36	11,919	14,127	20,092	23,814	16,176	19,172
13	0,080	0,091	0.30	0.36	12,094	14,330	20,387	24,155	16,413	19,447
12	0,100	0,112	0.30	0.36	12,293	14,578	20,722	24,575	16,683	19,785
11	0,131	0,147	0.30	0.36	12,709	15,089	21,424	25,436	17,248	20,478

10	0,172	0,194	0.30	0.36	13,212	15,710	22,272	26,483	17,931	21,321
9	0,222	0,251	0.30	0.36	13,833	16,481	23,319	27,783	18,774	22,367
8	0,280	0,316	0.30	0.36	14,540	17,364	24,511	29,271	19,733	23,566
7	0,343	0,387	0.30	0.36	15,399	18,430	25,958	31,067	20,898	25,011
6	0,412	0,465	0.30	0.36	16,339	19,600	27,543	33,041	22,174	26,601
5	0,484	0,546	0.30	0.36	17,382	20,903	29,302	35,236	23,590	28,368
4	0,559	0,631	0.30	0.36	18,735	22,563	31,582	38,035	25,426	30,622
3	0,636	0,718	0.30	0.36	20,040	24,194	33,781	40,784	27,197	32,835
2	0,716	0,807	0.30	0.36	21,742	26,298	36,651	44,331	29,507	35,690
1	0,686	0,774	0.258	0.310	22,461	26,913	37,864	45,367	30,483	36,524
podpora	0,309	0,349	0.108	0.129	7,764	9,512	13,087	16,035	10,536	12,909

D. Tablica 13b. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze sklejką

Nr płatwi	Odle- głość od klucza w po- ziomie	Odle- głość od klucza po łuku l	Odle- głość mię- dy wę- złami płatwi	Ciężar własny łuku		Beton na pierście- niu		Płatwie i stęże- nia		Pokrycie z solarami	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	KN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0		6.568	7.224	4.870	6.331	0	0	0,232	0,278
13	1.998	2	2	6.568	7.224	4.916	6.390	0.113	0.125	0,252	0,303
12	3.983	4	2	6.568	7.224	5.052	6.568	0.129	0.141	0,312	0,375
11	5.943	6	2	6.568	7.224	5.277	6.861	0.245	0.270	0,409	0,491
10	7.867	8	2	6.568	7.224	5.588	7.265	0.336	0.369	0,539	0,647
9	9.748	10	2	6.568	7.224	5.981	7.776	0.441	0.485	0,696	0,836
8	11.581	12	2	6.568	7.224	6.454	8.391	0.534	0.588	0,877	1,053
7	13.362	14	2	6.568	7.224	7.005	9.107	0.686	0.755	1,076	1,292
6	15.090	16	2	6.568	7.224	7.633	9.923	0.831	0.914	1,291	1,549
5	16.765	18	2	6.568	7.224	8.342	10.845	0.989	1.088	1,517	1,821
4	18.388	20	2	6.568	7.224	9.141	11.883	1.359	1.495	1,752	2,104
3	19.961	22	2	6.568	7.224	10.050	13.065	1.565	1.722	1,995	2,395
2	21.485	24	2	6.568	7.224	11.135	14.476	1.989	2.188	2,243	2,693
1	22.964	26	2	5.645	6.210	10.293	13.381	4.588	5.047	2,150	2,581
pod- pora	24	27.437	1.438	2.361	2.597	4.539	5.901	0	0	0,969	1,163

Tablica 13b. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze sklejką

Nr płatwi	Przeszklenie dolne		Oświetlenie		Suma		W pł. łuku x $1/\sin \beta_1$		Pozioma x $1/\tan \beta_1$	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[kN]	[kN]	kN	KN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	0,074	0,083	0.30	0.36	12,044	14,277	20,303	24,067	16,345	19,376
13	0,080	0,091	0.30	0.36	12,230	14,493	20,616	24,430	16,598	19,669
12	0,100	0,112	0.30	0.36	12,461	14,780	21,006	24,915	16,911	20,059
11	0,131	0,147	0.30	0.36	12,930	15,353	21,796	25,882	17,547	20,837

10	0,172	0,194	0.30	0.36	13,503	16,059	22,761	27,070	18,325	21,794
9	0,222	0,251	0.30	0.36	14,208	16,931	23,951	28,542	19,283	22,978
8	0,280	0,316	0.30	0.36	15,013	17,931	25,307	30,227	20,374	24,336
7	0,343	0,387	0.30	0.36	15,979	19,125	26,935	32,240	21,685	25,956
6	0,412	0,465	0.30	0.36	17,034	20,435	28,715	34,447	23,118	27,733
5	0,484	0,546	0.30	0.36	18,200	21,884	30,679	36,890	24,699	29,699
4	0,559	0,631	0.30	0.36	19,679	23,696	33,174	39,945	26,708	32,159
3	0,636	0,718	0.30	0.36	21,114	25,484	35,593	42,959	28,655	34,586
2	0,716	0,807	0.30	0.36	22,951	27,748	38,689	46,776	31,148	37,659
1	0,686	0,774	0.258	0.310	23,620	28,303	39,816	47,711	32,056	38,411
podpora	0,309	0,349	0.108	0.129	8,286	10,138	13,967	17,090	11,245	13,759

4.5.9. Obciążenie sumaryczne łuku 2 w węzłach płatwi

A. Tablica 14a. Obciążenie stałe z dachu łukowego bez solarów ze szkleniem

Nr płatwi	Odległość od klucza w poziomie	Odległość od klucza po łuku 1	Odległość między węzłami płatwi	Ciężar własny łuku		Płatwie i stężenia		Pokrycie		Przeszklenie dolne	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	kN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0.000		2.375	2.612	0	0	0,321	0,385	0.388	0.450
13	1.998	1.999	1.999	2.370	2.607	0.247	0.272	0,337	0,405	0.410	0.475
12	3.983	3.990	1.991	2.357	2.593	0.234	0.257	0,389	0,467	0.473	0.548
11	5.943	5.967	1.977	2.336	2.569	0.361	0.397	0,472	0,567	0.576	0.667
10	7.867	7.922	1.956	2.309	2.540	0.472	0.520	0,584	0,702	0.713	0.826
9	9.748	9.853	1.931	2.278	2.506	0.596	0.655	0,721	0,866	0.880	1.020
8	11.581	11.757	1.904	2.245	2.469	0.739	0.812	0,878	1,054	1.072	1.242
7	13.362	13.632	1.875	2.210	2.431	0.942	1.037	1,051	1,262	1.284	1.487
6	15.090	15.477	1.845	2.175	2.393	1.141	1.255	1,238	1,486	1.512	1.751
5	16.765	17.293	1.816	2.141	2.356	1.302	1.432	1,435	1,723	1.752	2.030
4	18.388	19.082	1.788	2.109	2.320	1.742	1.917	1,641	1,971	2.003	2.320
3	19.961	20.844	1.762	2.079	2.286	2.012	2.213	1,854	2,226	2.262	2.620
2	21.4855	22.581	1.737	2.049	2.254	2.476	2.724	1,928	2,315	2.526	2.926
1	22.964	24.294	1.713	1.741	1.915	5.099	5.608	1,406	1,689	2.408	2.789
podpora	24	25.512	1.218	0.724	0.796	0	0	0,447	0,536	1.081	1.252

Tablica 14a. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego

Nr płatwi	Suma		W pł. łuku $\times 1/\sin \beta_2$		Pozioma $\times 1/\tg \beta_2$	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	3,084	3,447	3,342	3,736	1,322	1,477
13	3,364	3,759	3,646	4,074	1,442	1,611
12	3,453	3,865	3,742	4,188	1,480	1,656

11	3,745	4,200	4,059	4,552	1,605	1,800
10	4,078	4,588	4,420	4,972	1,748	1,966
9	4,475	5,047	4,849	5,469	1,918	2,163
8	4,934	5,577	5,347	6,044	2,114	2,390
7	5,487	6,217	5,946	6,738	2,352	2,664
6	6,066	6,885	6,573	7,462	2,600	2,951
5	6,630	7,541	7,185	8,173	2,841	3,232
4	7,495	8,528	8,122	9,242	3,212	3,655
3	8,207	9,345	8,894	10,127	3,517	4,005
2	8,979	10,219	9,730	11,074	3,848	4,380
1	10,654	12,001	11,546	13,005	4,566	5,143
podpora	2,252	2,584	2,440	2,801	0,965	1,108

B. Tablica 14b. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze szkleniem

Nr płatwi	Odle- głość od klucza w po- ziomie	Odle- głość od klucza po łuku 1	Odle- głość między węzła- mi płatwi	Ciężar własny łuku		Płatwie i stę- żenia		Pokrycie		Przeszklenie dolne	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	KN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0.000		2.375	2.612	0	0	0,696	0,835	0.388	0.450
13	1.998	1.999	1.999	2.370	2.607	0.247	0.272	0,731	0,878	0.410	0.475
12	3.983	3.990	1.991	2.357	2.593	0.234	0.257	0,843	1,012	0.473	0.548
11	5.943	5.967	1.977	2.336	2.569	0.361	0.397	1,024	1,229	0.576	0.667
10	7.867	7.922	1.956	2.309	2.540	0.472	0.520	1,267	1,521	0.713	0.826
9	9.748	9.853	1.931	2.278	2.506	0.596	0.655	1,563	1,876	0.880	1.020
8	11.581	11.757	1.904	2.245	2.469	0.739	0.812	1,903	2,284	1.072	1.242
7	13.362	13.632	1.875	2.210	2.431	0.942	1.037	2,279	2,735	1.284	1.487
6	15.090	15.477	1.845	2.175	2.393	1.141	1.255	2,684	3,221	1.512	1.751
5	16.765	17.293	1.816	2.141	2.356	1.302	1.432	3,112	3,735	1.752	2.030
4	18.388	19.082	1.788	2.109	2.320	1.742	1.917	3,558	4,271	2.003	2.320
3	19.961	20.844	1.762	2.079	2.286	2.012	2.213	4,019	4,824	2.262	2.620
2	21.4855	22.581	1.737	2.049	2.254	2.476	2.724	4,179	5,017	2.526	2.926
1	22.964	24.294	1.713	1.741	1.915	5.099	5.608	3,049	3,660	2.408	2.789
podpo- ra	24	25.512	1.218	0.724	0.796	0	0	0,969	1,163	1.081	1.252

Tablica 14b. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze szkleniem

Nr płatwi	Suma		W pł. łuku x 1/sin β ₂		Pozioma x 1/tg β ₂	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	3,459	3,897	3,748	4,223	1,482	1,670
13	3,758	4,232	4,073	4,586	1,611	1,814
12	3,907	4,410	4,234	4,779	1,674	1,890

11	4,297	4,862	4,657	5,269	1,842	2,084
10	4,761	5,407	5,160	5,860	2,040	2,317
9	5,317	6,057	5,762	6,564	2,279	2,596
8	5,959	6,807	6,458	7,377	2,554	2,917
7	6,715	7,690	7,277	8,334	2,878	3,296
6	7,512	8,620	8,140	9,342	3,219	3,694
5	8,307	9,553	9,002	10,353	3,560	4,094
4	9,412	10,828	10,200	11,735	4,034	4,641
3	10,372	11,943	11,240	12,943	4,445	5,119
2	11,230	12,921	12,171	14,003	4,813	5,538
1	12,297	13,972	13,326	15,141	5,270	5,988
podpora	2,774	3,211	3,006	3,480	1,189	1,376

C. Tablica 14c. Obciążenie stałe z dachu łukowego bez solarów ze sklejką

Nr płatwi	Odle- głość od klucza w po- ziomie	Odle- głość od klucza po łuku 1	Odle- głość między węzła- mi płatwi	Ciężar własny łuku		Płatwie i stę- żenia		Pokrycie		Przeszklenie dolne	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	KN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0.000		2.375	2.612	0	0	0,321	0,385	0.388	0.450
13	1.998	1.999	1.999	2.370	2.607	0.247	0.272	0,337	0,405	0.410	0.475
12	3.983	3.990	1.991	2.357	2.593	0.234	0.257	0,389	0,467	0.473	0.548
11	5.943	5.967	1.977	2.336	2.569	0.361	0.397	0,472	0,567	0.576	0.667
10	7.867	7.922	1.956	2.309	2.540	0.472	0.520	0,584	0,702	0.713	0.826
9	9.748	9.853	1.931	2.278	2.506	0.596	0.655	0,721	0,866	0.880	1.020
8	11.581	11.757	1.904	2.245	2.469	0.739	0.812	0,878	1,054	1.072	1.242
7	13.362	13.632	1.875	2.210	2.431	0.942	1.037	1,051	1,262	1.284	1.487
6	15.090	15.477	1.845	2.175	2.393	1.141	1.255	1,238	1,486	1.512	1.751
5	16.765	17.293	1.816	2.141	2.356	1.302	1.432	1,435	1,723	1.752	2.030
4	18.388	19.082	1.788	2.109	2.320	1.742	1.917	1,641	1,971	2.003	2.320
3	19.961	20.844	1.762	2.079	2.286	2.012	2.213	1,854	2,226	2.262	2.620
2	21.4855	22.581	1.737	2.049	2.254	2.476	2.724	1,928	2,315	2.526	2.926
1	22.964	24.294	1.713	1.741	1.915	5.099	5.608	1,406	1,689	2.408	2.789
podpo- ra	24	25.512	1.218	0.724	0.796	0	0	0,447	0,536	1.081	1.252

Tablica 14c. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego bez solarów ze sklejką

Nr pła- twi	Suma		W pł. łuku x 1/sin β ₂		Pozioma x 1/tg β ₂	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	2,918	3,248	3,162	3,519	1,250	1,392
13	3,188	3,548	3,455	3,845	1,366	1,521
12	3,250	3,622	3,522	3,925	1,393	1,552
11	3,498	3,905	3,791	4,231	1,499	1,673
10	3,773	4,222	4,089	4,575	1,617	1,809

9	4,098	4,594	4,441	4,979	1,756	1,969
8	4,474	5,026	4,849	5,447	1,918	2,154
7	4,937	5,558	5,350	6,023	2,116	2,382
6	5,418	6,109	5,871	6,621	2,322	2,618
5	5,879	6,641	6,372	7,197	2,520	2,846
4	6,637	7,499	7,192	8,127	2,844	3,214
3	7,237	8,183	7,843	8,868	3,102	3,507
2	7,896	8,922	8,557	9,669	3,384	3,824
1	9,622	10,764	10,428	11,665	4,124	4,613
podpora	1,789	2,030	1,938	2,200	0,767	0,870

D. Tablica 14d. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze sklejką

Nr płatwi	Odle- głość od klucza w po- ziomie	Odle- głość od klucza po łuku 1	Odle- głość między węzła- mi płatwi	Ciężar własny łuku		Płatwie i stę- żenia		Pokrycie		Przeszklenie dolne	
				G _k	G	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	kN	KN	[kN]	[kN]
Klucz	0	0.000		2.375	2.612	0	0	0,696	0,835	0.388	0.450
13	1.998	1.999	1.999	2.370	2.607	0.247	0.272	0,731	0,878	0.410	0.475
12	3.983	3.990	1.991	2.357	2.593	0.234	0.257	0,843	1,012	0.473	0.548
11	5.943	5.967	1.977	2.336	2.569	0.361	0.397	1,024	1,229	0.576	0.667
10	7.867	7.922	1.956	2.309	2.540	0.472	0.520	1,267	1,521	0.713	0.826
9	9.748	9.853	1.931	2.278	2.506	0.596	0.655	1,563	1,876	0.880	1.020
8	11.581	11.757	1.904	2.245	2.469	0.739	0.812	1,903	2,284	1.072	1.242
7	13.362	13.632	1.875	2.210	2.431	0.942	1.037	2,279	2,735	1.284	1.487
6	15.090	15.477	1.845	2.175	2.393	1.141	1.255	2,684	3,221	1.512	1.751
5	16.765	17.293	1.816	2.141	2.356	1.302	1.432	3,112	3,735	1.752	2.030
4	18.388	19.082	1.788	2.109	2.320	1.742	1.917	3,558	4,271	2.003	2.320
3	19.961	20.844	1.762	2.079	2.286	2.012	2.213	4,019	4,824	2.262	2.620
2	21.4855	22.581	1.737	2.049	2.254	2.476	2.724	4,179	5,017	2.526	2.926
1	22.964	24.294	1.713	1.741	1.915	5.099	5.608	3,049	3,660	2.408	2.789
podpo- ra	24	25.512	1.218	0.724	0.796	0	0	0,969	1,163	1.081	1.252

Tablica 14d. c.d. Obciążenie stałe z dachu łukowego z solarami ze sklejką

Nr płatwi	Suma		W pł. łuku x 1/sin β ₂		Pozioma x 1/tg β ₂	
	G _k	G	G _k	G	G _k	G
	kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	3,292	3,697	3,568	4,007	1,411	1,585
13	3,582	4,021	3,882	4,358	1,535	1,723
12	3,704	4,167	4,015	4,516	1,588	1,786
11	4,050	4,567	4,389	4,949	1,736	1,957
10	4,456	5,041	4,829	5,463	1,910	2,160
9	4,940	5,605	5,354	6,074	2,117	2,402
8	5,500	6,257	5,960	6,780	2,357	2,681
7	6,164	7,031	6,680	7,620	2,642	3,013

6	6,863	7,844	7,438	8,501	2,941	3,362
5	7,556	8,653	8,188	9,377	3,238	3,708
4	8,554	9,800	9,270	10,620	3,666	4,200
3	9,402	10,782	10,189	11,684	4,030	4,621
2	10,148	11,624	10,997	12,597	4,349	4,982
1	11,265	12,735	12,208	13,801	4,828	5,458
podpora	2,310	2,656	2,504	2,878	0,990	1,138

4.5.10. Obciążenie śniegiem

Obciążenie charakterystyczne $0.8 \times 0.9 = 0.72 \text{ kN/m}^2$.

Obciążenie obliczeniowe $0.72 \times 1.5 = 1.08 \text{ kN/m}^2$.

Obciążenie w węzłach płatwi

Tablica 15. Obciążenie śniegiem łuku 1

Nr płatwi	Odległość między płatwiami w rzucie m	Obc. pionowe		W pł. łuku $\times 1/\sin \beta_1$		Pozioma $\times 1/\tg \beta_1$	
		S_k	S	S_k	S	S_k	S
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	1.998	0.360	0.540	0.606	0.910	0.488	0.732
13	1.992	0.391	0.586	0.659	0.988	0.530	0.796
12	1.973	0.482	0.723	0.813	1.220	0.654	0.982
11	1.942	0.628	0.942	1.059	1.589	0.853	1.279
10	1.903	0.821	1.231	1.384	2.076	1.114	1.671
9	1.857	1.051	1.577	1.772	2.658	1.427	2.140
8	1.807	1.310	1.965	2.208	3.312	1.778	2.666
7	1.755	1.588	2.383	2.678	4.017	2.156	3.233
6	1.702	1.880	2.820	3.170	4.755	2.552	3.828
5	1.649	2.180	3.270	3.674	5.512	2.958	4.437
4	1.598	2.483	3.724	4.185	6.278	3.369	5.054
3	1.549	2.786	4.179	4.696	7.044	3.780	5.670
2	1.502	3.086	4.629	5.202	7.804	4.188	6.282
1	1.257	2.920	4.380	4.922	7.383	3.962	5.943
podpora	0.518	1.305	1.958	2.200	3.301	1.771	2.657

Tablica 16. Obciążenie śniegiem łuku 2

Nr płatwi	Odległość między płatwiami w rzucie m	Obc. pionowe		W pł. łuku $\times 1/\sin \beta_2$		Pozioma $\times 1/\tg \beta_2$	
		S_k	S	S_k	S	S_k	S
		kN	kN	kN	kN	kN	kN
Klucz	1.998	1.079	1.619	1.169	1.754	0.451	0.676
13	1.992	1.138	1.706	1.233	1.849	0.475	0.713
12	1.973	1.310	1.965	1.419	2.129	0.547	0.821
11	1.942	1.585	2.377	1.717	2.576	0.662	0.993
10	1.903	1.947	2.921	2.110	3.166	0.813	1.220
9	1.857	2.381	3.572	2.581	3.871	0.995	1.492
8	1.807	2.869	4.304	3.109	4.664	1.199	1.798

7	1.755	3.395	5.092	3.679	5.518	1.418	2.127
6	1.702	3.946	5.919	4.276	6.414	1.648	2.472
5	1.649	4.511	6.767	4.889	7.334	1.884	2.827
4	1.598	5.084	7.626	5.510	8.265	2.124	3.186
3	1.549	5.657	8.486	6.131	9.196	2.363	3.545
2	1.502	6.226	9.339	6.747	10.121	2.601	3.901
1	1.257	5.859	8.788	6.349	9.524	2.447	3.671
podpora	0.518	2.611	3.916	2.829	4.244	1.091	1.636

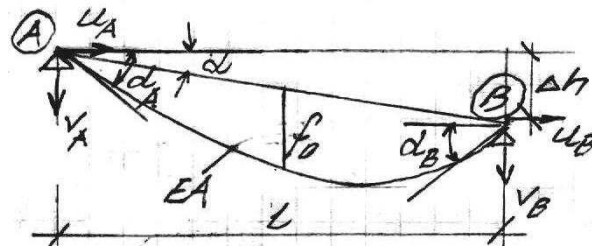
5. Obliczenia cięgien

5.1. Algorytm

Zgodnie z [14] przyjęto następujące równanie cięgna odkształcalnego

$$H_1^3 + \left\{ \frac{EA \cos^5 \alpha}{2lH_0^2} \int_l Q_0^2 dx - H_0 + [(u_A - u_B) \cos \alpha + (v_A - v_B) \sin \alpha \cos^2 \alpha + l \varepsilon_T \Delta T \cos \alpha] \frac{EA}{l} \right\} H_1^2 - \frac{EA \cos^5 \alpha}{2l} \int_l Q_1^2 dx = 0,$$

gdzie: H_0 i H_1 – odpowiednio znana i poszukiwana siła naciągu, a pozostałe wielkości wg rys. 14.



Rys. 14. Cięgno

Dane ogólne:

$q_0 = g = 0,014$ kN/m – ciężar cięgien,

$q_1 = g + p = 1,186$ kN/m – obciążenie stałe,

$EA = 20910$ kN,

$\varepsilon_T = 1,2 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $\Delta T = \pm 30^\circ\text{C}$.

Dane dla poszczególnych cięgien: l , Δh , f_0 , a ponadto: u_A , v_A , u_B , v_B ,

$\tan \alpha = \Delta h / l$, $\sin \alpha = \tan \alpha / (1 + \tan^2 \alpha)^{1/2}$, $\cos \alpha = 1 / (1 + \tan^2 \alpha)^{1/2}$,

s_{11} , s_{21} – obciążenie śniegiem,

$q_{21} = q_1 + s_{11}$, $q_{22} = q_1 + s_{21}$ – obciążenie stałe + śnieg.

5.1.1. Rozwiązanie dla obciążenia stałego

$$k = \frac{EA \cos^5 \alpha}{2l}, \quad H_0 = \frac{q_0 l^2}{8f_0},$$

$$C_0 = \int_l Q_0^2 dx = \frac{q_0^2 l^3}{12}, \quad C_1 = \int_l Q_1^2 dx = \frac{q_1^2 l^3}{12},$$

$$\Delta = \left[(u_A - u_B) \cos \alpha + (v_A - v_B) \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha + l \varepsilon_T \Delta T \cos \alpha \right] \frac{EA}{l},$$

$$a_o = k \cdot C_1, \quad a_1 = \frac{k}{H_0^2} C_0 - H_0 + \Delta,$$

$$H_1^3 + a_1 H_1^2 - a_o = 0 \rightarrow H_1,$$

$$R_A^{(b)} = R_B^{(b)} = \frac{q_1 l}{2}, \quad \Delta R = H_1 \tan \alpha,$$

$$R_A = R_A^{(b)} + \Delta R, \quad R_B = R_B^{(b)} - \Delta R,$$

$$S_{max} = S_A = \sqrt{(H_1^2 + R_A^2)},$$

$$\tan \alpha_A = \frac{R_A}{H_1}, \quad \tan \alpha_B = \frac{R_B}{H_1}.$$

5.1.2. Rozwiązanie dla obciążenia stałego + śnieg

$$C_2 = \int_l Q_2^2 dx = \left[\frac{q_{21}^2}{12} + \frac{(q_{22} - q_{21})^2}{30} + \frac{5}{48} q_{21} (q_{22} - q_{21}) \right] l^3$$

$$a_o = k \cdot C_2, \quad a_1 = \frac{k}{H_0^2} C_0 - H_0 + \Delta,$$

$$H_2^3 + a_1 H_2^2 - a_o = 0 \rightarrow H_2,$$

$$R_A^{(b)} = R_B^{(b)} = \frac{(q_{21} + q_{22})l}{4}, \quad \Delta R = H_2 \tan \alpha,$$

$$R_A = R_A^{(b)} + \Delta R, \quad R_B = R_B^{(b)} - \Delta R,$$

$$S_{max} = S_A = \sqrt{(H_2^2 + R_A^2)},$$

$$\tan \alpha_A = \frac{R_A}{H_2}, \quad \tan \alpha_B = \frac{R_B}{H_2}.$$

5.2. Wyniki obliczeń ciągła dla obciążenia stałego

q_0	0,014 kN/m
q_1	1,186 kN/m
EA	20910 kN

N _c	l	f_0	Δh	tg α	α [rad]	sin α	cos α
	[m]	[m]	[m]		[rad]		
1	22,83	2,782	2,148	0,09409	0,094	0,09367	0,9956
2	22,781	2,77	2,139	0,09389	0,094	0,09348	0,9956
3	22,635	2,734	2,114	0,09340	0,093	0,09299	0,9957
4	22,392	2,676	2,072	0,09253	0,092	0,09214	0,9957
5	22,06	2,597	2,015	0,09134	0,091	0,09096	0,9959
6	21,633	2,498	1,943	0,08982	0,090	0,08946	0,9960
7	21,117	2,38	1,856	0,08789	0,088	0,08755	0,9962
8	20,513	2,246	1,758	0,08570	0,085	0,08539	0,9963
9	19,825	2,098	1,647	0,08308	0,083	0,08279	0,9966
10	19,056	1,938	1,526	0,08008	0,080	0,07982	0,9968
11	18,209	1,77	1,397	0,07672	0,077	0,07650	0,9971
12	17,285	1,595	1,261	0,07295	0,073	0,07276	0,9973
13	16,289	1,416	1,119	0,06870	0,069	0,06854	0,9976
14	15,218	1,236	0,972	0,06387	0,064	0,06374	0,9980
15	14,077	1,058	0,824	0,05854	0,058	0,05844	0,9983
16	12,865	0,883	0,675	0,05247	0,052	0,05240	0,9986
17	11,584	0,716	0,529	0,04567	0,046	0,04562	0,9990
18	10,228	0,558	0,386	0,03774	0,038	0,03771	0,9993
19	8,8	0,413	0,249	0,02830	0,028	0,02828	0,9996

k	H ₀	C ₀	C ₁	a ₀	Δ	a ₁
447,97	0,328	0,194	1394,8	624820,1	0	809,62
448,97	0,328	0,193	1385,8	622196,7	0	806,18
451,97	0,328	0,189	1359,3	614389,4	0	795,70
457,06	0,328	0,183	1316,0	601507,5	0	779,24
464,19	0,328	0,175	1258,4	584120,1	0	756,57
473,68	0,328	0,165	1186,7	562111,1	0	728,38
485,67	0,328	0,154	1103,8	536070,2	0	694,47
500,44	0,328	0,141	1011,8	506320,1	0	656,03
518,37	0,328	0,127	913,3	473446,4	0	613,49
539,95	0,328	0,113	811,1	437960,9	0	567,25
565,80	0,328	0,099	707,7	400416,9	0	518,86
596,89	0,328	0,084	605,3	361316,5	0	468,21
634,33	0,328	0,071	506,6	321358,1	0	416,11
680,06	0,328	0,058	413,1	280935,7	0	363,78
736,38	0,328	0,046	327,0	240779	0	311,96
807,10	0,328	0,035	249,6	201440,6	0	260,55
897,85	0,328	0,025	182,2	163594	0	211,59
1018,56	0,328	0,017	125,4	127746,3	0	165,04
1185,69	0,328	0,011	79,9	94712,78	0	122,24

H_i	ΔR	R_A	R_B	S_{\max}	$\operatorname{tg} \alpha_A$	$\operatorname{tg} \alpha_B$
27,323	2,571	16,109	10,97	31,718	0,5896	0,4014
27,322	2,565	16,074	10,94	31,700	0,5883	0,4005
27,322	2,552	15,974	10,87	31,649	0,5847	0,3979
27,309	2,527	15,805	10,75	31,553	0,5788	0,3937
27,298	2,493	15,575	10,59	31,429	0,5706	0,3879
27,274	2,450	15,278	10,38	31,262	0,5602	0,3805
27,254	2,395	14,918	10,13	31,069	0,5474	0,3716
27,222	2,333	14,497	9,83	30,842	0,5326	0,3612
27,184	2,258	14,015	9,50	30,584	0,5155	0,3494
27,144	2,174	13,474	9,13	30,304	0,4964	0,3362
27,082	2,078	12,876	8,72	29,987	0,4754	0,3220
27,011	1,971	12,221	8,28	29,647	0,4524	0,3065
26,932	1,850	11,510	7,81	29,288	0,4274	0,2900
26,819	1,713	10,737	7,31	28,889	0,4004	0,2726
26,665	1,561	9,909	6,79	28,446	0,3716	0,2545
26,491	1,390	9,019	6,24	27,984	0,3405	0,2355
26,228	1,198	8,067	5,67	27,441	0,3076	0,2162
25,868	0,976	7,041	5,09	26,809	0,2722	0,1967
25,333	0,717	5,935	4,50	26,019	0,2343	0,1777

5.3. Wyniki obliczeń cięga dla obciążenia stałego + śnieg

q_0	0,014 kN/m
q_1	1,186 kN/m
EA	20910 kN

Nc	l	f_0	Δh	$\operatorname{tg} \alpha$	α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$
	[m]	[m]	[m]		[rad]		
1	22,83	2,782	2,148	0,09409	0,094	0,09367	0,9956
2	22,781	2,77	2,139	0,09389	0,094	0,09348	0,9956
3	22,635	2,734	2,114	0,09340	0,093	0,09299	0,9957
4	22,392	2,676	2,072	0,09253	0,092	0,09214	0,9957
5	22,06	2,597	2,015	0,09134	0,091	0,09096	0,9959
6	21,633	2,498	1,943	0,08982	0,090	0,08946	0,9960
7	21,117	2,38	1,856	0,08789	0,088	0,08755	0,9962
8	20,513	2,246	1,758	0,08570	0,085	0,08539	0,9963
9	19,825	2,098	1,647	0,08308	0,083	0,08279	0,9966
10	19,056	1,938	1,526	0,08008	0,080	0,07982	0,9968
11	18,209	1,77	1,397	0,07672	0,077	0,07650	0,9971
12	17,285	1,595	1,261	0,07295	0,073	0,07276	0,9973
13	16,289	1,416	1,119	0,06870	0,069	0,06854	0,9976

14	15,218	1,236	0,972	0,06387	0,064	0,06374	0,9980
15	14,077	1,058	0,824	0,05854	0,058	0,05844	0,9983
16	12,865	0,883	0,675	0,05247	0,052	0,05240	0,9986
17	11,584	0,716	0,529	0,04567	0,046	0,04562	0,9990
18	10,228	0,558	0,386	0,03774	0,038	0,03771	0,9993
19	8,8	0,413	0,249	0,02830	0,028	0,02828	0,9996

k	S ₁₁	S ₂₁	q ₂₁	q ₂₂	H ₀	C ₀	C ₂	a ₀	Δ	a ₁
447,97	1,295	1,885	2,481	3,071	0,328	0,194	8056,1	3608890	0	809,62
448,97	1,298	1,888	2,484	3,074	0,328	0,193	8021,2	3601305	0	806,18
451,97	1,295	1,881	2,481	3,067	0,328	0,189	7837,6	3542403	0	795,70
457,06	1,277	1,848	2,463	3,034	0,328	0,183	7442,6	3401718	0	779,24
464,19	1,265	1,822	2,451	3,008	0,328	0,175	7012,0	3254906	0	756,57
473,68	1,259	1,803	2,445	2,989	0,328	0,165	6546,0	3100691	0	728,38
485,67	1,244	1,769	2,43	2,955	0,328	0,154	5971,6	2900198	0	694,47
500,44	1,227	1,732	2,413	2,918	0,328	0,141	5357,1	2680914	0	656,03
518,37	1,21	1,691	2,396	2,877	0,328	0,127	4723,1	2448342	0	613,49
539,95	1,19	1,646	2,376	2,832	0,328	0,113	4084,4	2205338	0	567,25
565,80	1,171	1,599	2,357	2,785	0,328	0,099	3466,4	1961302	0	518,86
596,89	1,15	1,55	2,336	2,736	0,328	0,084	2878,6	1718196	0	468,21
634,33	1,13	1,501	2,316	2,687	0,328	0,071	2338,5	1483414	0	416,11
680,06	1,109	1,45	2,295	2,636	0,328	0,058	1847,8	1256641	0	363,78
736,38	1,089	1,398	2,275	2,584	0,328	0,046	1416,3	1042911	0	311,96
807,10	1,068	1,346	2,254	2,532	0,328	0,035	1045,9	844187,4	0	260,55
897,85	1,048	1,294	2,234	2,48	0,328	0,025	738,6	663161	0	211,59
1018,56	1,029	1,242	2,215	2,428	0,328	0,017	491,7	500789,1	0	165,04
1185,69	1,018	1,201	2,204	2,387	0,328	0,011	305,3	361936,1	0	122,24

H ₁	ΔR	R _A	R _B	S _{max}	tgα _A	tgα _B
64,263	6,046	37,734	25,64	74,523	0,5872	0,3990
64,320	6,039	37,693	25,61	74,551	0,5860	0,3982
64,184	5,994	37,389	25,40	74,280	0,5825	0,3957
63,532	5,879	36,651	24,89	73,346	0,5769	0,3918
63,019	5,756	35,863	24,35	72,509	0,5691	0,3864
62,610	5,623	35,012	23,77	71,735	0,5592	0,3796
61,921	5,442	33,871	22,99	70,580	0,5470	0,3712
61,141	5,240	32,579	22,10	69,279	0,5328	0,3614
60,281	5,008	31,142	21,13	67,850	0,5166	0,3505
59,327	4,751	29,562	20,06	66,284	0,4983	0,3381
58,294	4,472	27,880	18,94	64,618	0,4783	0,3248
57,187	4,172	26,089	17,75	62,857	0,4562	0,3103

56,051	3,851	24,224	16,52	61,062	0,4322	0,2948
54,793	3,500	22,260	15,26	59,142	0,4063	0,2785
53,425	3,127	20,227	13,97	57,126	0,3786	0,2615
51,973	2,727	18,120	12,67	55,041	0,3486	0,2437
50,319	2,298	15,950	11,35	52,786	0,3170	0,2256
48,434	1,828	13,700	10,04	50,334	0,2829	0,2074
46,336	1,311	11,411	8,79	47,720	0,2463	0,1897

6. Obciążenie wiatrem

6.1. Charakterystyki obiektu:

- szerokość hali ~54,5,0 m,
- długość hali: 66,2 m,
- maksymalna wysokość hali ~11,6 m,
- wysokość hali od strony północnej i południowej ~ 10,2 m,
- wysokość hali w siodle ~ 7,5 m,
- wysokość hali od strony wschodniej i zachodniej ~ 5,5 m.
- Wg PN-B-02011:1977 + Az1:2009: strefa I, teren B.

6.2. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego jak dla dachu o powierzchni walcowej przy linii wiatru wschód – zachód

A. Przekrój w siodle:

$$f/B = 2,0/55,5 \text{ m} = 0,036,$$

- parcie: brak
- powierzchnia a o szerokości $0,2B = 0,2 \cdot 54,5 = 10,9 \text{ m}$: $C_z = -0,9$,
- powierzchnia b o szerokości $0,4B = 0,4 \cdot 54,5 = 21,8 \text{ m}$: $C_z = -0,6$,
- powierzchnia c o szerokości $0,4B = 21,8 \text{ m}$: $C_z = -0,6$.

B. Przekrój środkowy:

$$f/B = (11,6-5,5)/66,2 \text{ m} = 0,092,$$

- parcie: brak
- powierzchnia a o szerokości $0,2B = 0,2 \cdot 66,2 = 13,24 \text{ m}$: $C_z = -0,9$,
- powierzchnia b o szerokości $0,4B = 0,2 \cdot 66,2 = 26,48 \text{ m}$: $C_z = -0,6$,
- powierzchnia c o szerokości $0,4B = 0,2 \cdot 66,2 = 26,48 \text{ m}$: $C_z = -0,4$.

6.3. Współczynniki ciśnienia zewnętrznego jak dla dachu o powierzchni walcowej przy linii wiatru północ - południe

Zgodnie z tablicą Z1-7 $C_z = -0,5$.

6.4. Współczynnik ciśnienia zewnętrznego jak budowli o walcowej osi pionowej

$$H/D = 11,6/54,5 = 0,213 \rightarrow C_z = -0,65.$$

6.5. Wartości obciążeń

Szacowany okres drgań własnych budowli $T = 0,1 \frac{H}{\sqrt{B}} = 0,1 \frac{11,6}{\sqrt{0,5(66,2 + 54,5)}} = 0,149$.

Dla $\Delta \geq 0,01$ budowla niepodatna

Dla $h \leq 10,0$ m $C_e = 0,65$,

Dla $h = 11,6$ m $C_e = 0,55 + 0,02 \cdot 11,6 = 0,782$.

Dla strefy I, terenu B: $q_H = 0,3$, $\gamma_f = 1,5$.

Maksymalna wartość ssania wyniesie:

- do wysokości 10,0 m (dach ciągłowy)

$$p = -0,3 \cdot 0,65 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1,5 = 0,474 \text{ kN/m}^2,$$

- dla wysokości 11,6 m (dach płatwiowy w najwyższym punkcie)

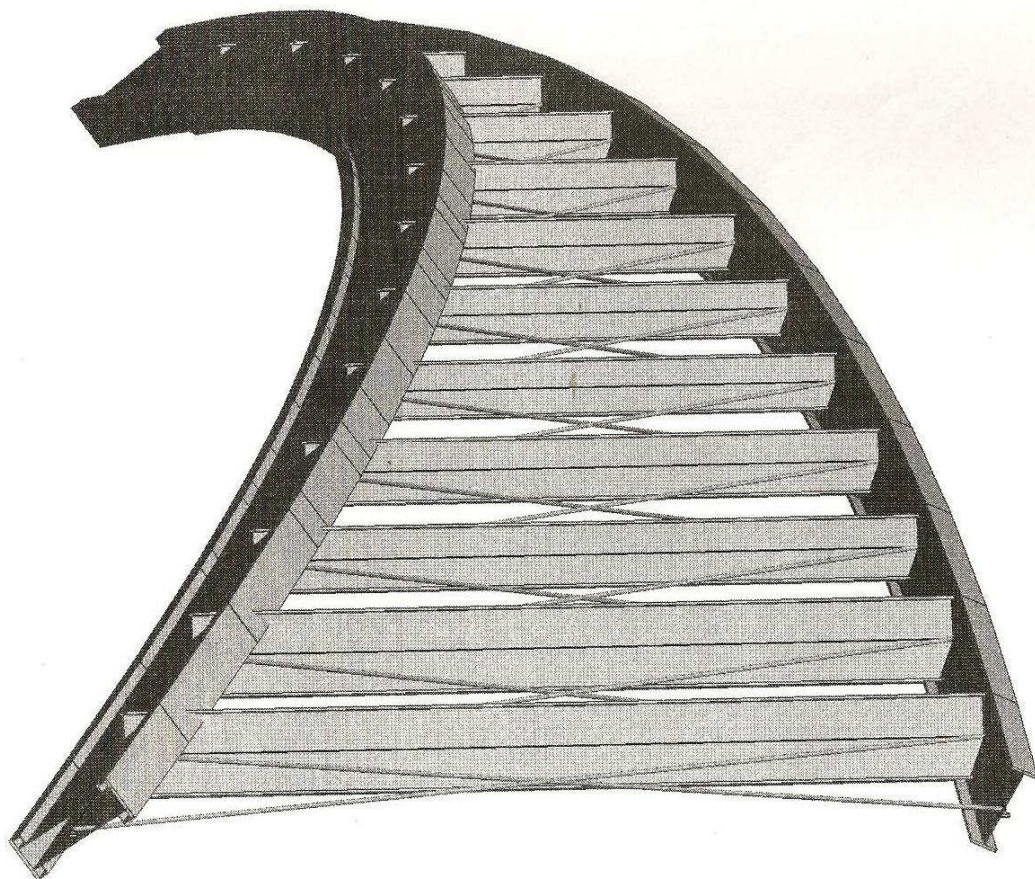
$$p = -0,3 \cdot 0,782 \cdot 0,9 \cdot 1,8 \cdot 1,5 = 0,570 \text{ kN/m}^2.$$

Obciążenie wiatrem dachu jest mniejsze od ciężaru własnego przekrycia.

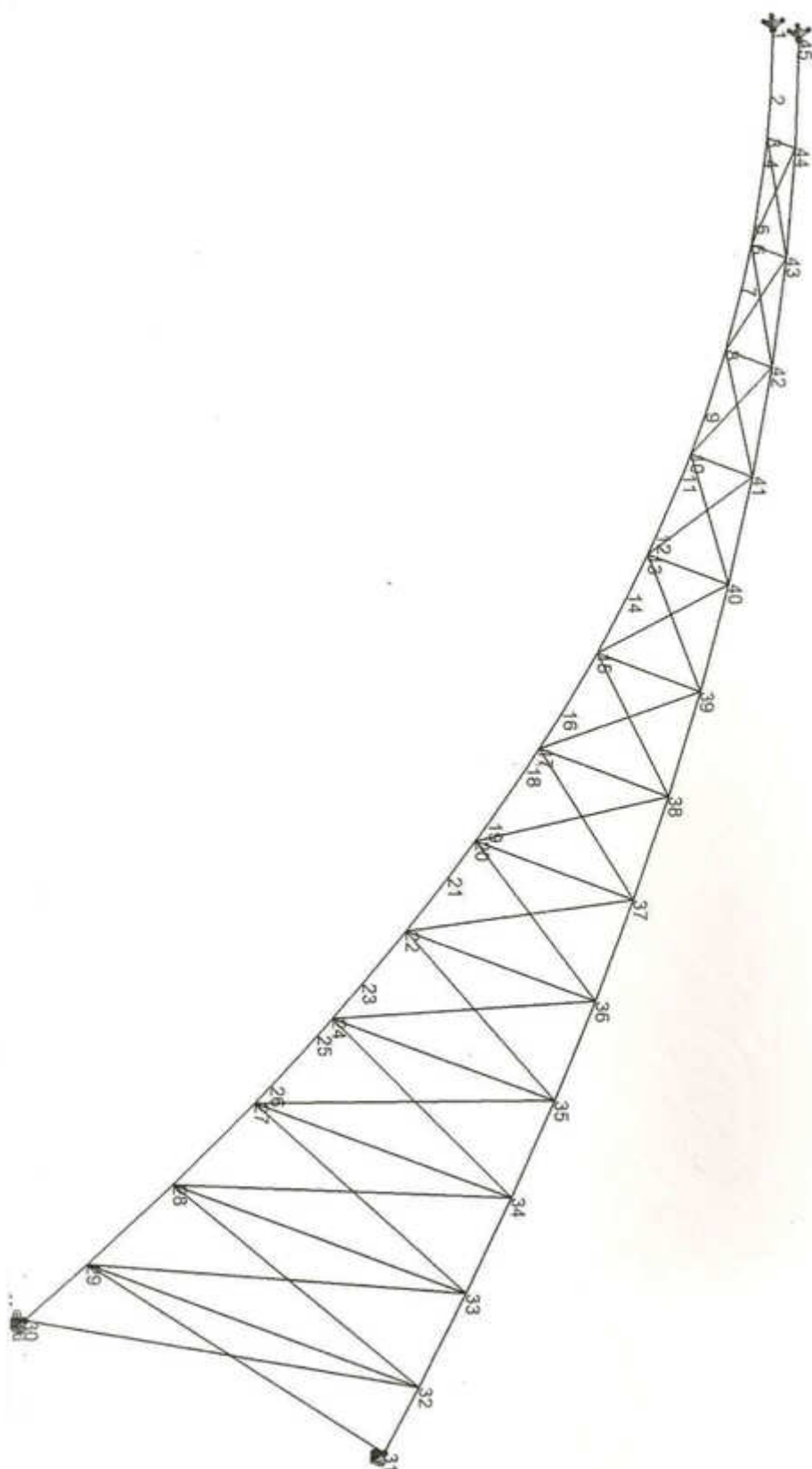
7. Wyniki obliczeń konstrukcji dachu

7.1. Zakres obliczeń

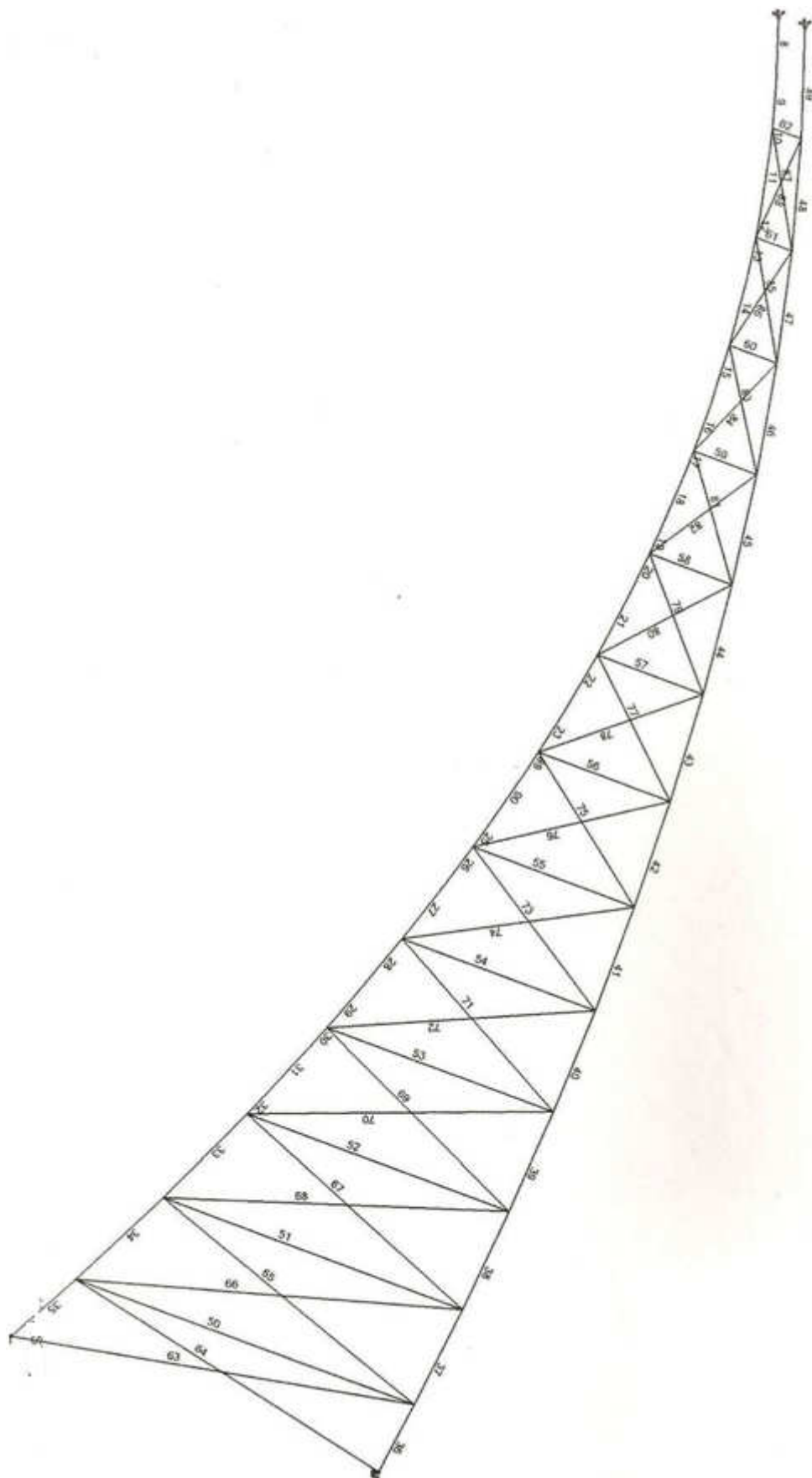
Analizie poddano wydzieloną, niezależną konstrukcję dachu złożoną z dwóch stalowych łuków połączonych kratowymi płatwiami i stężeniami – rys. 15. W zastosowanym modelu prętowym, płatwie zastąpiono elementami pełnościennymi o zastępczej sztywności osiowej i sztywności na zginanie. Numerację węzłów i prętów modelu obliczeniowego przedstawiono na rys. 16 i 17.



Rys. 15. Model płatwiowej konstrukcji dachu



Rys. 16. Oznaczenia węzłów



Rys. 17. Oznaczenia prętów

7.2. Schematy i kombinacje obciążeń

W obliczeniach uwzględniono następujące schematy i kombinacje obciążeń:

A. Schematy obciążeń

2. Obciążenie stałe z dachu płatwiowego, bez solarów, ze szkleniem,
3. Obciążenie stałe z dachu płatwiowego, z solarami, ze szkleniem,
4. Obciążenie stałe z dachu płatwiowego, bez solarów, ze sklejką,
5. Obciążenie stałe z dachu płatwiowego, z solarami, ze sklejką,
6. Obciążenia śniegiem z dachu płatwiowego,
7. Obciążenia stałe z dachu cięgnowego,
8. Obciążenia stałe oraz obc. śnieg z dachu cięgnowego.

B. Kombinacje obciążeń:

9. Schematy 2+6+8 obciążenie stałe (bez solarów, ze szkleniem) i obc. śniegiem,
10. Schematy 3+6+8 obciążenie stałe (z solarami, ze szkleniem) i obc. śniegiem,
11. Schematy 4+6+8 obciążenie stałe (bez solarów, ze sklejką) i obc. śniegiem,
12. Schematy 5+6+8 obciążenie stałe (z solarami, ze sklejką) i obc. śniegiem,
13. Schematy 2+7 obciążenie stałe (bez solarów, ze szkleniem),
14. Schematy 3+7 obciążenie stałe (z solarami, ze szkleniem),
15. Schematy 4+7 obciążenie stałe (bez solarów, ze sklejką),
16. Schematy 5+7 obciążenie stałe (z solarami, ze sklejką).
17. Schematy 2+8 obciążenie stałe (bez solarów, ze szkleniem) + śnieg na cięgnowym,
18. Schematy 3+8 obciążenie stałe (z solarami, ze szkleniem) + śnieg na cięgnowym,
19. Schematy 4+8 obciążenie stałe (bez solarów, ze sklejką) + śnieg na cięgnowym,
20. Schematy 5+8 obciążenie stałe (z solarami, ze sklejką) + śnieg na cięgnowym,
21. Schematy 2+6+7 obciążenie stałe (bez solarów, ze szkleniem) + śnieg na płatwiowym,
22. Schematy 3+6+7 obciążenie stałe (z solarami, ze szkleniem) + śnieg na płatwiowym,
23. Schematy 4+6+7 obciążenie stałe (bez solarów, ze sklejką) + śnieg na płatwiowym,
24. Schematy 5+6+7 obciążenie stałe (z solarami, ze sklejką) + śnieg na płatwiowym.

7.3. Cięgna

Maksymalna siła w cięgnię złożonym z dwóch lin $S_{max} = 74,523 \text{ kN}$.

Stan techniczny cięgien w stosunku do 2007 r [10] nie uległ zmianie.

Nominalne pole powierzchni przekroju poprzecznego cięgna złożonego z dwóch lin T1x19φ11 wynosi

$$A = 2 \cdot 72,10 \text{ mm}^2 = 144,2 \text{ mm}^2.$$

Uwzględniając ubytki korozyjne drutów zewnętrznych – 0,15 mm na powierzchni zewnętrznej i 0,05 mm na powierzchni wewnętrznej – otrzymuje się wg [10]

$$A_{kor} = 2 \cdot 64,4 \text{ mm}^2 = 128,8 \text{ mm}^2,$$

co stanowi 89,32 % powierzchni nominalnej.

A. Warunek nośności cięgna wg stosowanej w praktyce metody współczynnika pewności s

$$\eta N_n / S_{max} \geq s,$$

gdzie:

$\eta = 0,9$ – współczynnik sprawności dla lin jednozwitych,

$s = 2,5 \div 3,0$.

$$\eta N_n = 0,9 \cdot 128,8 \cdot 10^{-6} \cdot 1600 \cdot 10^3 = 185,47 \text{ kN},$$

$$\eta N_n / S_{max} = 185,47 / 74,523 = 2,489.$$

W stosunku do stanu obecnego wartość współczynnika pewności wzrośnie o

$$\frac{2,489}{2,37} \cdot 100\% = 5,0\%.$$

B. Nośność ciągną wg [16]

Wg normy [16] obliczeniowa nośność ciągną

$$S_{Rd} = \eta \cdot m \cdot R_m A_m / \gamma_m,$$

gdzie: $\eta = 0,9$, $m = 0,7$, $\gamma_m = 1,33$.

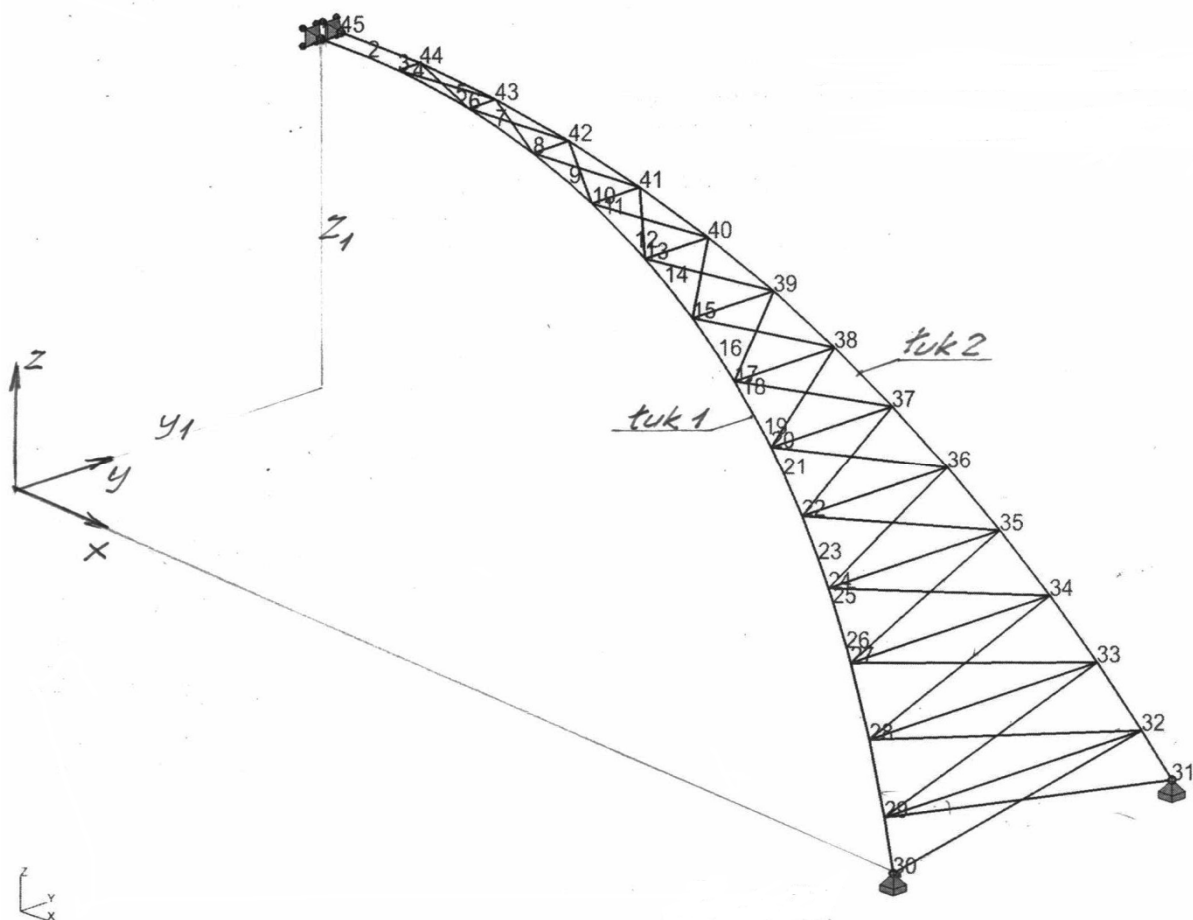
Uwzględniając $R_m = 1600$ MPa, $A_m = A_{kor} = 128,8 \text{ mm}^2$ otrzymujemy się

$$S_{Rd} = 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1600 \cdot 10^3 \cdot 128,8 \cdot 10^{-6} / 1,33 = 97,62 \text{ kN},$$

$$S_{max} = 74,52 \text{ kN} < S_{Rd} = 97,62 \text{ kN}.$$

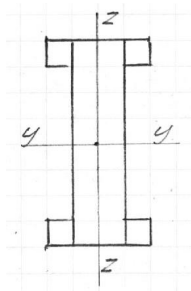
7.4. Układ łuk1-łuk2-płatwie-stężenia

Współrzędne globalne układu podano w tabl. 1a, 1c (łuk 1) oraz 2 (łuk 2), a na rys. 18 przedstawiono strukturę konstrukcji wsporczej w aksonometrii i oznaczenia węzłów, które przyjęto w obliczeniach komputerowych.



Rys. 18. Aksonometria układu

7.4.1. Łuk 1



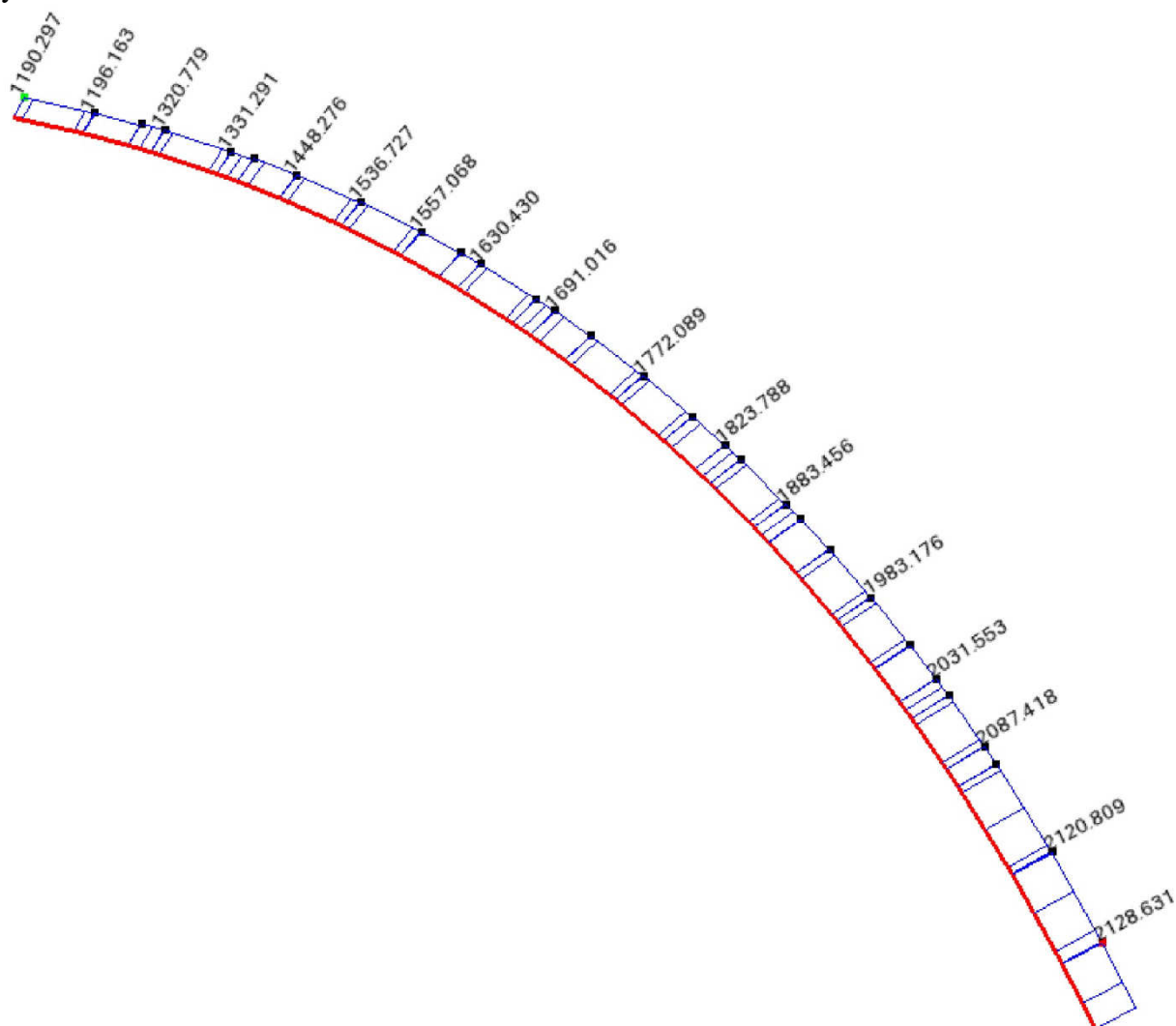
Przyjęto oznaczenia sił przekrojowych w łuku zgodnie z oznaczeniami osi przekroju poprzecznego jak na rys. 19.

Charakterystyki łuku:

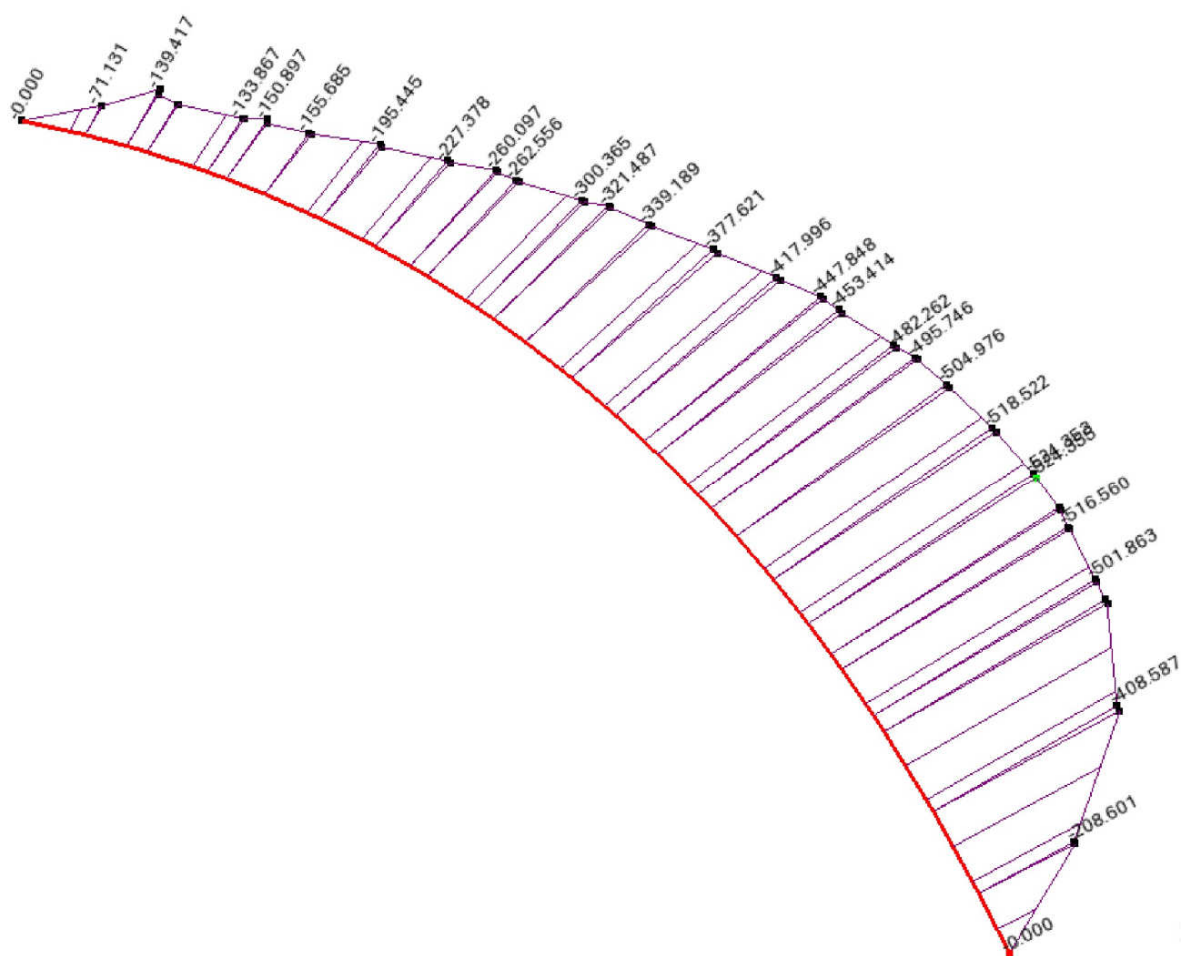
$l = 48$ m, długość połowy łuku $s = 27,44$ m,

$A = 367,4$ cm², $A_w = 136$ cm², $I_y = 495354$ cm⁴, $W_y = 11000$ cm³, $I_z = 41708$ cm⁴, $W_z = 2383$ cm³.

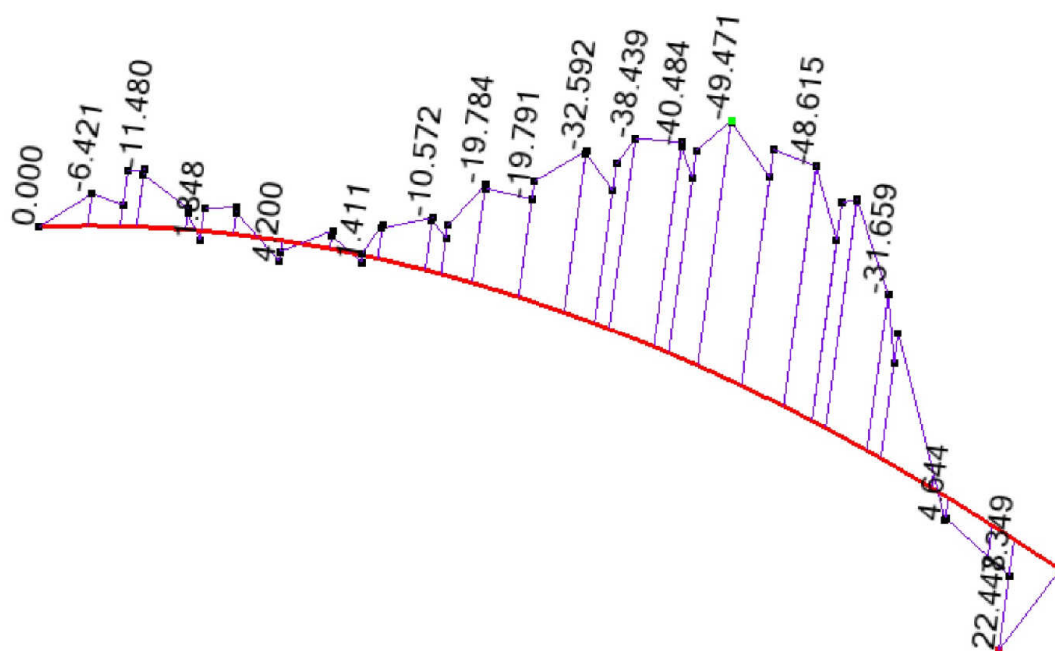
Rys. 19



Rys. 20a. Siła osiowa w łuku 1 (komb. 19, $N_{\min} = 2128,63$ kN)



Rys. 20b. Moment M_y w łuku 1 (komb. 19, $M_{y,\min} = -524,4$ kNm)



Rys. 20c. Moment M_z w łuku 1 (komb. 19)

Siły wewnętrzne:

Przypadek 19: $N_{\min} = 2128,63 \text{ kN}$, $M_{y,\text{odp}} = -209,1 \text{ kNm}$, $M_{z,\text{odp}} = 22,45 \text{ kNm}$,

Przypadek 19a: $N_{\text{odp}} = 2012,5 \text{ kN}$, $M_{y,\min} = -524,4 \text{ kNm}$, $M_{z,\text{odp}} = -48,62 \text{ kNm}$,

Przypadek 22: $N_{\text{odp}} = 884,0 \text{ kN}$, $M_{y,\text{odp}} = 135,2 \text{ kNm}$, $M_{z,\max} = 93,83 \text{ kNm}$.

A. Przypadek 19

Obliczanie współczynnika $\psi = \varphi_p$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{70}{90} \frac{M_y}{W_y} + \frac{17,4}{35} \frac{M_z}{W_z} = \frac{2128 \cdot 10^{-3}}{367,4 \cdot 10^{-4}} + \frac{70}{90} \frac{209,1 \cdot 10^{-3}}{11000 \cdot 10^{-6}} + \frac{17,4}{35} \frac{22,45 \cdot 10^{-3}}{2383 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 57,92 + 14,78 + 4,68 = 77,38 \text{ MPa},$$

$$\nu = \frac{57,92 + 4,68}{77,38} = 0,809, \quad K_2 = 0,4 + 0,6\nu = 0,4 + 0,6 \cdot 0,809 = 0,885,$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \frac{K_2}{56} \sqrt{\frac{70}{90} \frac{f_d}{215}} = \frac{70}{0,8} \cdot \frac{0,885}{56} \sqrt{\frac{70}{90} \cdot \frac{205}{215}} = 1,191 \rightarrow \varphi_p = 0,605,$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 0,605 \cdot 367,4 \cdot 10^{-4} \cdot 205 \cdot 10^3 = 4556,7 \text{ kN},$$

$$M_{Ry} = \psi W_y f_d = 0,605 \cdot 11000 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 1364,3 \text{ kNm},$$

$$M_{Rz} = \psi W_z f_d = 0,605 \cdot 2383 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 295,5 \text{ kNm},$$

Obliczanie siły krytycznej N_{cr}

Wg [17] dla trójpřzegubowego łuku parabolicznego, przy $f/l = 11,8/48 = 0,246$, współczynnik długości wyboczeniowej łuku $\mu = 1,146$, a stąd

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu \cdot s)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 495354 \cdot 10^{-8}}{(1,146 \cdot 27,44)^2} = 10135 \text{ kN}.$$

Względna smukłość łuku

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{4556,7}{10135}} = 0,771 \rightarrow \varphi = 0,798$$

Warunek nośności

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{2128}{0,798 \cdot 4556,7} + \frac{209,1}{1364,3} + \frac{22,45}{295,5} = 0,595 + 0,153 + 0,076 = 0,824 < 1 - \Delta,$$

przy $\Delta \leq 0,1$.

B. Przypadek 19a

Obliczanie współczynnika $\psi = \varphi_p$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{70}{90} \frac{M_y}{W_y} + \frac{17,4}{35} \frac{M_z}{W_z} = \frac{2012,5 \cdot 10^{-3}}{367,4 \cdot 10^{-4}} + \frac{70}{90} \frac{524,4 \cdot 10^{-3}}{11000 \cdot 10^{-6}} + \frac{17,4}{35} \frac{48,62 \cdot 10^{-3}}{2383 \cdot 10^{-6}}$$

$$= 54,78 + 37,08 + 10,14 = 102,0 \text{ MPa},$$

$$\nu = \frac{54,78 + 10,14}{102,0} = 0,636, \quad K_2 = 0,4 + 0,6\nu = 0,4 + 0,6 \cdot 0,636 = 0,782,$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \frac{K_2}{56} \sqrt{\frac{70}{90} \frac{f_d}{215}} = \frac{70}{0,8} \cdot \frac{0,782}{56} \sqrt{\frac{70}{90} \cdot \frac{205}{215}} = 1,052 \rightarrow \varphi_p = 0,737,$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 0,737 \cdot 367,4 \cdot 10^{-4} \cdot 205 \cdot 10^3 = 5550,9 \text{ kN},$$

$$M_{Ry} = \psi W_y f_d = 0,737 \cdot 11000 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 1661,9 \text{ kNm},$$

$$M_{Rz} = \psi W_z f_d = 0,737 \cdot 2383 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 360,0 \text{ kNm},$$

Obliczanie siły krytycznej N_{cr}

Wg [17] dla trójpřzegubowego łuku parabolicznego, przy $f/l = 11,8/48 = 0,246$, współczynnik długości wyboćeniowej łuku $\mu = 1,146$, a stąd

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu \cdot s)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 495354 \cdot 10^{-8}}{(1,146 \cdot 27,44)^2} = 10135 \text{ kN}.$$

Względna smukłość łuku

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{5550,9}{10135}} = 0,851 \rightarrow \varphi = 0,746$$

Warunek nośności

$$\Delta_y = 1,25 \cdot 0,746 \cdot 0,851^2 \cdot \frac{524,4}{1661,9} \cdot \frac{2012,5}{5550,9} = 0,077.$$

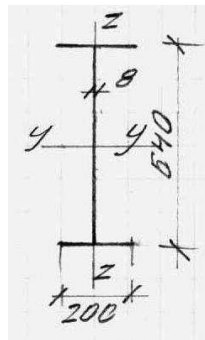
$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{2012,5}{0,746 \cdot 5550,9} + \frac{524,4}{1661,9} + \frac{48,62}{360,0} = 0,486 + 0,315 + 0,135 = 0,936 > 1 - \Delta$$

$$1 - 0,077 = 0,923.$$

Przekroczenie o 1,4%.

Przekroczenie to może wystąpić w przypadku gdy szkło w oknach środkowej części dachu zostanie zastąpione sklejką i środkowa część dachu nie będzie obciążona solarami i śniegiem.

7.4.2. Łuk 2



Rys. 21

Przyjęto oznaczenia sił przekrojowych w łuku zgodnie z oznaczeniami osi przekroju poprzecznego jak na rys. 21

Charakterystyki łuku 2:

$l = 48 \text{ m}$, długość połowy łuku $s = 25,515 \text{ m}$,

$A = 128 \text{ cm}^2$, $A_w = 148 \text{ cm}^2$, $I_y = 91306 \text{ cm}^4$,
 $W_y = 2852 \text{ cm}^3$, $I_z = 16030 \text{ cm}^4$, $W_z = 500,9 \text{ cm}^3$.

Siły wewnętrzne

Przypadek 22: $N_{\min} = 730,7 \text{ kN}$, $M_{y,\text{odp}} = -13,31 \text{ kNm}$, $M_{z,\text{odp}} = -5,26 \text{ kNm}$,

Przypadek 15: $N_{\text{odp}} = 363,8 \text{ kN}$, $M_{y,\min} = -136,95 \text{ kNm}$, $M_{z,\text{odp}} = 0,21 \text{ kNm}$,

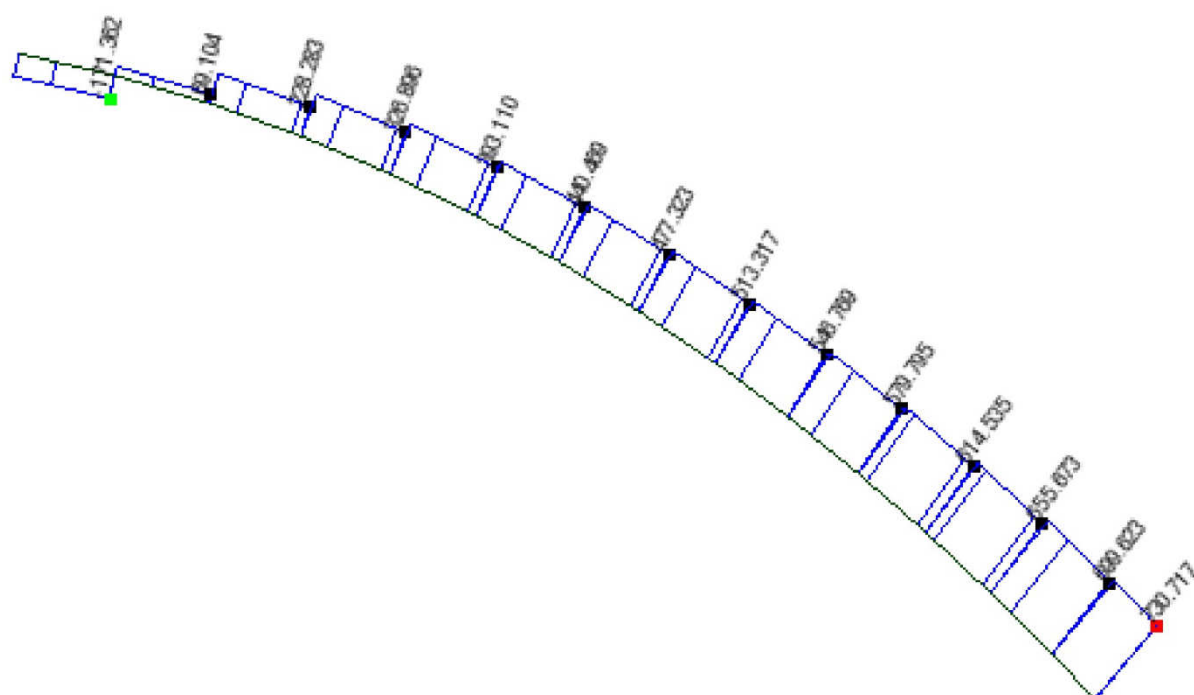
Przypadek 10: $N_{\text{odp}} = 273,7 \text{ kN}$, $M_{y,\max} = 85,61 \text{ kNm}$, $M_{z,\text{odp}} = -2,86 \text{ kNm}$,

Przypadek 22a: $N = 655,7 \text{ kN}$, $M_y = -49,14 \text{ kNm}$, $M_z = -4,52 \text{ kNm}$,

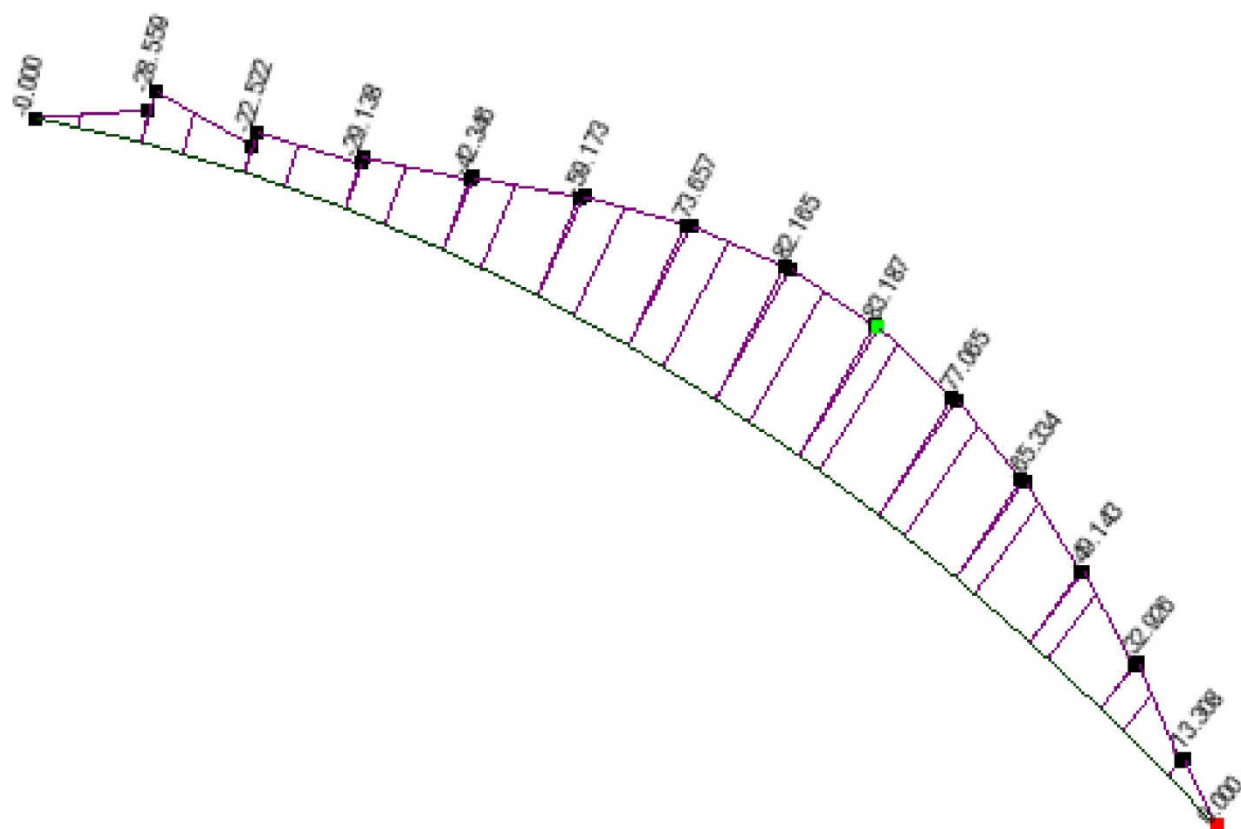
Przypadek 22b: $N = 546,8 \text{ kN}$, $M_y = -83,19 \text{ kNm}$, $M_z = -1,30 \text{ kNm}$,

Przypadek 10: $N_{\text{odp}} = 547,10 \text{ kN}$, $M_{y,\text{odp}} = 26,59 \text{ kNm}$, $M_{z,\max} = 16,19 \text{ kNm}$,

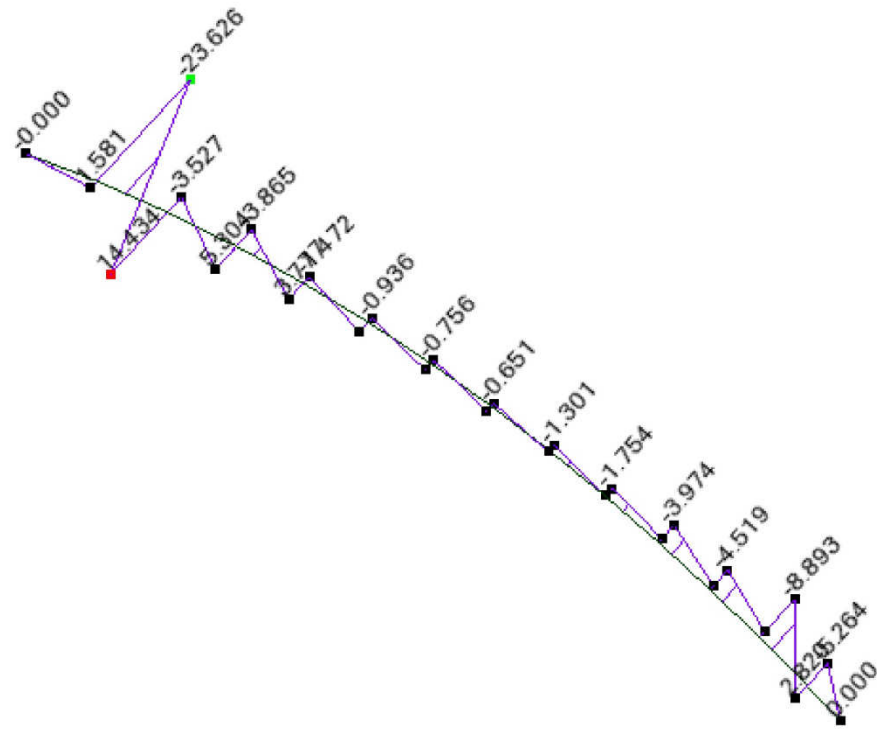
Przypadek 23: $N_{\text{odp}} = 39,19 \text{ kN}$, $M_{y,\text{odp}} = -27,95 \text{ kNm}$, $M_{z,\min} = -23,89 \text{ kNm}$,



Rys. 22a. Siła osiowa w łuku 2 (komb. 22, $N_{\min} = 730,717$ kN)



Rys. 22b. Moment M_y w łuku 2 (komb. 22)

Rys. 22c. Moment M_z w łuku 2 (komb. 22)**A. Przypadek 22**

Obliczanie współczynnika $\psi = \varphi_p$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{730,7 \cdot 10^{-3}}{128 \cdot 10^{-4}} + \frac{13,31 \cdot 10^{-3}}{2852 \cdot 10^{-6}} = 57,09 + 4,67 = 61,75 \text{ MPa},$$

$$\nu = \frac{57,09}{4,67} = 0,924, \quad K_2 = 0,4 + 0,6\nu = 0,4 + 0,6 \cdot 0,924 = 0,955,$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \frac{K_2}{56} \sqrt{\frac{f_d}{215}} = \frac{60}{0,8} \cdot \frac{0,955}{56} \sqrt{\frac{205}{215}} = 1,000 \rightarrow \varphi_p = 0,800,$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 0,800 \cdot 128 \cdot 10^{-4} \cdot 205 \cdot 10^3 = 2098,8 \text{ kN},$$

$$M_{Ry} = \psi W_y f_d = 0,800 \cdot 2852 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 467,6 \text{ kNm},$$

$$M_{Rz} = \psi W_z f_d = 0,800 \cdot 500,9 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 82,13 \text{ kNm},$$

Obliczanie siły krytycznej N_{cr}

Wg [17] dla trójprzegubowego łuku parabolicznego, przy $f/l = 7,586/48 = 0,158$, współczynnik długości wyboczeniowej łuku $\mu = 1,152$, a stąd

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu \cdot s)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 91306 \cdot 10^{-8}}{(1,152 \cdot 25,515)^2} = 2138 \text{ kN}.$$

Względna smukłość łuku

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{2098,8}{2138}} = 1,139 \rightarrow \varphi = 0,561.$$

Warunek nośności

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{730,7}{0,561 \cdot 2098,8} + \frac{13,31}{467,6} + \frac{5,26}{82,13} = 0,620 + 0,028 + 0,064 = 0,713 < 1 - \Delta,$$

przy $\Delta \leq 0,1$.

B. Przypadek 15

Obliczanie współczynnika $\psi = \varphi_p$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{363,8 \cdot 10^{-3}}{128 \cdot 10^{-4}} + \frac{136,95 \cdot 10^{-3}}{2852 \cdot 10^{-6}} = 28,42 + 48,02 = 76,44 \text{ MPa},$$

$$\nu = \frac{28,42}{76,44} = 0,372, \quad K_2 = 0,4 + 0,6\nu = 0,4 + 0,6 \cdot 0,372 = 0,623,$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \frac{K_2}{56} \sqrt{\frac{f_d}{215}} = \frac{60}{0,8} \cdot \frac{0,623}{56} \sqrt{\frac{205}{215}} = 0,653 \rightarrow \varphi_p = 1,0,$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 128 \cdot 10^{-4} \cdot 205 \cdot 10^3 = 2624 \text{ kN},$$

$$M_{Ry} = \psi W_y f_d = 1,0 \cdot 2852 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 584,7 \text{ kNm},$$

$$M_{Rz} = \psi W_z f_d = 1,0 \cdot 500,9 \cdot 10^{-6} \cdot 205 \cdot 10^3 = 102,68 \text{ kNm},$$

Obliczanie siły krytycznej N_{cr}

Wg [17] dla trójpřzegubowego łuku parabolicznego, przy $f/l = 7,586/48 = 0,158$, współczynnik długości wyboczeniowej łuku $\mu = 1,152$, a stąd

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu \cdot s)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 91306 \cdot 10^{-8}}{(1,152 \cdot 25,515)^2} = 2138 \text{ kN}.$$

Względna smukłość łuku

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{2624}{2138}} = 1,274 \rightarrow \varphi = 0,486.$$

Warunek nośności

A. Przypadek 2: $N_{odp} = 363,8 \text{ kN}$, $M_{y,min} = -136,95 \text{ kNm}$, $M_{z,odp} = 0,21 \text{ kNm}$,

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{363,8}{0,486 \cdot 2624} + \frac{136,95}{584,7} + \frac{0,21}{102,68} = 0,285 + 0,234 + 0,002 = 0,521 < 1 - \Delta.$$

przy $\Delta \leq 0,1$.

C. Przypadek 22a

Uzyskano

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{655,7}{0,530 \cdot 2305,5} + \frac{49,14}{513,7} + \frac{4,52}{90,22} = 0,537 + 0,096 + 0,050 = 0,683 < 1 - \Delta.$$

D. Przypadek 10

Uzyskano

$$\frac{N}{\varphi N_{Rc}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{547,1}{0,543 \cdot 2215,1} + \frac{26,59}{493,5} + \frac{16,19}{86,68} = 0,455 + 0,054 + 0,187 = 0,695 < 1 - \Delta.$$

7.4.3. Płatwie między łukami

A. Płatew nr 1 (pręt 29-32 wg rys. 18)

$l = 6,50 \text{ m}$, $h = 0,60 \text{ m}$, pasy 2L90x90x8

$$A = 27,80 \text{ cm}^2, I_z = 442 \text{ cm}^4, W_z = 442/9,4 = 47,0 \text{ cm}^3$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 27,8 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 597,70 \text{ kN},$$

$$M_{R,z} = \psi W_z f_d = 1,0 \cdot 47 \cdot 10^{-6} \cdot 215 \cdot 10^3 = 10,11 \text{ kNm},$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 442 \cdot 10^{-8}}{6,5^2} = 211,67 \text{ kN},$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{597,70}{211,67}} = 1,932 \rightarrow \varphi = 0,229,$$

Przypadek 10: obciążenie stałe (z solarami, ze szkleniem) i obc. śniegiem na całej powierzchni dachu:

Siły przywęzłowe:

$$N_{29} = -36,310 \text{ kN}, M_{y,29} = 33,036 \text{ kNm}, M_{z,29} = -3,598 \text{ kNm},$$

$$N_{32} = -36,310 \text{ kN}, M_{y,32} = -2,279 \text{ kNm}, M_{z,32} = 3,70 \text{ kNm},$$

Obciążenie ciągłe:

- ciężar własny $g = 0,586 \text{ kN/m}$,

- pokrycie $g = 0,369 \text{ kN/m}$,

- solary $g = 0,431 \text{ kN/m}$,

- przeszklenie $g = 0,431 \text{ kN/m}$,

Razem: $g = 1,817 \text{ kN/m}$,

- śnieg $s = 1,490 \text{ kN/m}$,

Ogółem $g+s = 3,307 \text{ kN/m}$,

$$M(l/2) = 0,125 \cdot 3,307 \cdot 6,5^2 = 17,465 \text{ kNm}.$$

Siła w pasie górnym

$$N(l/2) = -17,465 / 0,6 - 0,5 \cdot 36,310 - 0,5(33,036 - 2,279) / 0,6 = -29,108 - 29,429 - 25,630 = -84,167 \text{ kN}.$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{84,167}{0,229 \cdot 597,70} + \frac{0,5 \cdot 0,5(-3,598 + 3,7)}{10,11} = 0,615 + 0,002 = 0,617 < 1.$$

Krzyżulec 2L25x25x3

$$A = 2 \cdot 1,42 = 2,84 \text{ cm}^2, I_y = 2 \cdot 1,01 = 2,02 \text{ cm}^4, I_z = 2(1,01 + 1,42 \cdot 1,03^2) = 5,033 \text{ cm}^4,$$

$$i_\eta = 0,47 \text{ cm}, l_z = 0,885 \text{ m}, l_y = 0,8 \cdot 0,885 = 0,708 \text{ m}, l_\eta = 0,9 \cdot 0,885 = 0,797 \text{ m},$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 2,84 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 61,06 \text{ kN}.$$

Przy braku przewiązek

$$l_{w\eta} = 0,5(60,0 + 84,8) = 72,4 \text{ cm},$$

$$\lambda = 72,4 / 0,47 = 154,0, \lambda / \lambda_p = 154,0 / 84 = 1,834, \varphi = 0,250$$

Reakcja dla przypadku 22

$$M_{y,29} = -15,088 \text{ kNm}, M_{y,32} = -4,133 \text{ kNm}$$

$$R = 3,307 \cdot 6,5 / 2 + \frac{15,088 - 4,133}{6,5} = 10,748 + 1,685 = 12,433 \text{ kN},$$

$$K_1 = \frac{R}{\cos 45^\circ} = \frac{12,433}{0,7071} = 17,583 \text{ kN.}$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} = \frac{17,583}{0,250 \cdot 61,06} = 1,142 < 1.$$

Krzyżulec wymaga wzmocnienia.

Przypadek 22: obciążenie stałe (z solarami, ze szkleniem) i obc. śniegiem na dachu płatwio-
wym:

$$N_{29} = -85,466 \text{ kN}, M_{y,29} = -15,088 \text{ kNm}, M_{z,29} = -8,124 \text{ kNm},$$

$$N_{32} = -85,466 \text{ kN}, M_{y,32} = -4,133 \text{ kNm}, M_{z,32} = 7,595 \text{ kNm},$$

Siła w pasie górnym

$$N(l/2) = -17,465 / 0,6 - 0,5 \cdot 85,466 - 0,5(-15,088 - 4,133) / 0,6 = -29,108 - 42,733 + 16,018 \\ = -55,823 \text{ kN.}$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} + \frac{M_z}{M_{Rz}} = \frac{55,823}{0,229 \cdot 597,70} + \frac{0,5 \cdot 0,5(8,124 - 7,595)}{10,11} = 0,408 + 0,013 = 0,422 < 1.$$

B. Płatew nr 2 (pręt 28-33 wg rys. 18)

$l = 5,90 \text{ m}$, $h = 0,60 \text{ m}$, pasy 2L90x90x8

$$A = 27,80 \text{ cm}^2, I_z = 442 \text{ cm}^4, W_z = 442/9,4 = 47,0 \text{ cm}^3$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 27,8 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 597,70 \text{ kN},$$

$$M_{R,z} = \psi W_z f_d = 1,0 \cdot 47 \cdot 10^{-6} \cdot 215 \cdot 10^3 = 10,11 \text{ kNm},$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_y}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 442 \cdot 10^{-8}}{5,9^2} = 256,9 \text{ kN},$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{597,70}{256,9}} = 1,754 \rightarrow \varphi = 0,268,$$

Przypadek 10: obciążenie stałe (z solarami, ze szkleniem) i obc. śniegiem:

Siły przywęzłowe:

$$N_{29} = -42,831 \text{ kN}, M_{y,29} = 7,468 \text{ kNm}, M_{z,29} = -3,037 \text{ kNm},$$

$$N_{32} = -42,831 \text{ kN}, M_{y,32} = -1,830 \text{ kNm}, M_{z,32} = 2,945 \text{ kNm},$$

Obciążenie ciągłe:

- ciężar własny $g = 0,586 \text{ kN/m}$,

- pokrycie $g = 0,369 \text{ kN/m}$,

- solary $g = 0,431 \text{ kN/m}$,

- przeszklenie $g = 0,431 \text{ kN/m}$,

Razem: $g = 1,817 \text{ kN/m}$,

- śnieg $s = 1,490 \text{ kN/m}$,

Ogółem $g+s = 3,307 \text{ kN/m}$,

$$M(l/2) = 0,125 \cdot 3,307 \cdot 5,9^2 = 14,390 \text{ kNm.}$$

Siła w pasie górnym

$$N(l/2) = -14,390 / 0,6 - 0,5 \cdot 42,831 - 0,5(7,468 - 1,830) / 0,6 = -23,983 - 21,416 - 4,698 \\ = -50,097 \text{ kN.}$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} + \frac{M_z}{M_{Rc}} = \frac{50,097}{0,268 \cdot 597,70} + \frac{0,5(3,037 - 2,935)}{10,11} = 0,313 + 0,005 = 0,318 < 1.$$

7.4.4. Płatwie między segmentami

A. Płatew K₁ (w osi płatwi 1)

$l = 6,50 \text{ m}$, $h = 0,60 \text{ m}$, pas górny 2L45x45x5, pas dolny 2L30x30x4, krzyżulce 2L25x25x3,

Obciążenie ciągłe:

- ciężar własny $g = 0,173 \text{ kN/m}$,

- pokrycie $g = 0,369 \text{ kN/m}$,

- solary $g = 0,431 \text{ kN/m}$,

- przeszklenie $g = 0,431 \text{ kN/m}$,

Razem: $g = 1,404 \text{ kN/m}$,

- śnieg $s = 1,490 \text{ kN/m}$,

Ogółem $g+s = 2,894 \text{ kN/m}$,

$$R = 2,894 \cdot 6,5 / 2 = 9,406 \text{ kN},$$

$$M(l/2) = 0,125 \cdot 2,894 \cdot 6,5^2 = 15,284 \text{ kNm.}$$

Siły w pasach

$$N(l/2) = \mp 15,284 / 0,6 = \mp 25,473 \text{ kN.}$$

Siła w ściskany krzyżulcu

$$K = \frac{9,406 - 2,894 \cdot 0,65}{\cos 47,3^\circ} = \frac{7,525}{0,6782} = 11,096 \text{ kN.}$$

Pas górny

$$A = 8,60 \text{ cm}^2, I_y = 15,7 \text{ cm}^4, I_z = 37,1 \text{ cm}^4, i_z = 2,077 \text{ cm}, i_\eta = 0,87 \text{ cm}$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 184,9 \text{ kN},$$

Przy braku przytrzymania płatwi z płaszczyzny

$$\lambda_z = 650 / 2,077 = 312,9 > 250.$$

Pas górny płatwi wymaga bocznego podparcia.

W płaszczyźnie płatwi

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_y}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 15,7 \cdot 10^{-8}}{0,65^2} = 751,8 \text{ kN},$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{184,9}{751,8}} = 0,570 \rightarrow \varphi = 0,825,$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} = \frac{25,473}{0,825 \cdot 184,9} = 0,167 < 1.$$

Pas dolny 2L30x30x4

$$A = 2 \cdot 2,27 = 4,54 \text{ cm}^2,$$

$$N_{Rt} = A f_d = 4,54 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 97,61 \text{ kN.}$$

$$\frac{N}{N_{Rt}} = \frac{25,473}{97,61} = 0,261 < 1.$$

Krzyżulec 2L25x25x3

$$A = 2 \cdot 1,42 = 2,84 \text{ cm}^2, I_y = 2 \cdot 1,01 = 2,02 \text{ cm}^4, I_z = 2(1,01 + 1,42 \cdot 1,03^2) = 5,033 \text{ cm}^4,$$

$$i_\eta = 0,47 \text{ cm}, l_z = 0,885 \text{ m}, l_y = 0,8 \cdot 0,885 = 0,708 \text{ m}, l_\eta = 0,9 \cdot 0,885 = 0,797 \text{ m},$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 2,84 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 61,06 \text{ kN}.$$

Przy braku przewiązek

$$\lambda = 79,7/0,47 = 169,6, \lambda/\lambda_p = 169,6/84 = 2,019, \varphi = 0,213$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} = \frac{11,096}{0,213 \cdot 61,06} = 0,853 < 1.$$

B. Płatew K₂ (w osi płatwi 2)

$l = 5,845 \text{ m}$, $h = 0,60 \text{ m}$, pas górny 2L45x45x5, pas dolny 2L30x30x4, krzyżulec 2L25x25x3,

Obciążenie ciągłe:

- ciężar własny $g = 0,180 \text{ kN/m}$,

- pokrycie $g = 0,435 \text{ kN/m}$,

- solary $g = 0,508 \text{ kN/m}$,

- przeszklenie $g = 0,508 \text{ kN/m}$,

Razem: $g = 1,631 \text{ kN/m}$,

- śnieg $s = 1,647 \text{ kN/m}$,

Ogółem $g+s = 3,278 \text{ kN/m}$,

$$R = 3,278 \cdot 5,845 / 2 = 9,580 \text{ kN},$$

$$M(l/2) = 0,125 \cdot 3,278 \cdot 5,845^2 = 14,0 \text{ kNm}.$$

Siły w pasach

$$N(l/2) = \mp 14,0 / 0,6 = \mp 23,331 \text{ kN}.$$

Siła w ściskanym krzyżulcu

$$K = \frac{9,580 - 3,278 \cdot 0,65}{\cos 47,3^\circ} = \frac{7,449}{0,6782} = 10,984 \text{ kN}.$$

Pas górny

$$A = 8,60 \text{ cm}^2, I_y = 15,7 \text{ cm}^4, I_z = 37,1 \text{ cm}^4, i_z = 2,077 \text{ cm}, i_\eta = 0,87 \text{ cm}$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 8,6 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 184,9 \text{ kN},$$

Przy braku przytrzymania płatwi z płaszczyzny

$$\lambda_z = 584,5 / 2,077 = 281,4 > 250.$$

Pas górny płatwi wymaga bocznego podparcia .

W płaszczyźnie płatwi

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205 \cdot 10^6 \cdot 15,7 \cdot 10^{-8}}{0,65^2} = 751,8 \text{ kN},$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,15 \sqrt{\frac{N_{Rc}}{N_{cr}}} = 1,15 \sqrt{\frac{184,9}{751,8}} = 0,570 \rightarrow \varphi = 0,825,$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} = \frac{23,331}{0,825 \cdot 184,9} = 0,153 < 1.$$

Pas dolny 2L30x30x4

$$A = 2 \cdot 2,27 = 4,54 \text{ cm}^2,$$

$$N_{Rt} = A f_d = 4,54 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 97,61 \text{ kN}.$$

$$\frac{N}{N_{Rt}} = \frac{23,331}{97,61} = 0,239 < 1.$$

Krzyżulec 2L25x25x3

$$A = 2 \cdot 1,42 = 2,84 \text{ cm}^2, I_y = 2 \cdot 1,01 = 2,02 \text{ cm}^4, I_z = 2(1,01 + 1,42 \cdot 1,03^2) = 5,033 \text{ cm}^4,$$

$$i_\eta = 0,47 \text{ cm}, l_z = 0,885 \text{ m}, l_y = 0,8 \cdot 0,885 = 0,708 \text{ m}, l_\eta = 0,9 \cdot 0,885 = 0,797 \text{ m},$$

$$N_{Rc} = \psi A f_d = 1,0 \cdot 2,84 \cdot 10^{-4} \cdot 215 \cdot 10^3 = 61,06 \text{ kN}.$$

Przy braku przewiązek

$$\lambda = 79,7/0,47 = 169,6, \lambda/\lambda_p = 169,6/84 = 2,019, \varphi = 0,213,$$

$$\frac{N}{\varphi \cdot N_{Rc}} = \frac{10,984}{0,213 \cdot 61,06} = 0,844 < 1.$$

7.4.5. Stężenia połaciowe

A. Ciężno 30-32 (pole 2) 2φ 24 mm,

$S_{\max} = 122,013$ – komb. 24 (śnieg na dachu płatwiowym)

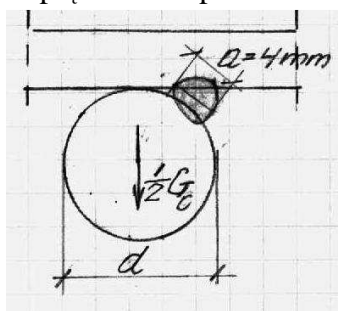
$S = -76,344 \text{ kN}$ – komb. 14 (bez śniegu)

$$A = 2 \cdot 4,52 = 9,04 \text{ cm}^2,$$

$$\sigma = \frac{122,01 \cdot 10^{-3}}{9,04 \cdot 10^{-4}} = 135,0 \text{ MPa} < f_d = 205 \text{ MPa}.$$

Pręt stężenia (ciężno) połączono z blachą węzłową za pomocą jednostronnej spoiny pachwinowej (szeroko bruzdowej). Grubość spoiny oceniono na 4 mm, a jej długość na 120 mm.

Naprężenia w spoinie



Rys. 23a

$$A_{sp} = 0,4 \cdot 12,0 = 4,80 \text{ cm}^2,$$

$$W_{sp} = 0,4 \cdot 12,0^2 / 6 = 9,60 \text{ cm}^3,$$

$$W_{sp\perp} = 12 \cdot 0,4^2 / 6 = 0,32 \text{ cm}^3,$$

$$S_{sp} = 122,01 / 2 = 61,01 \text{ kN},$$

$$M_{sp} = 61,01 \cdot 0,5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-2} = 0,732 \text{ kNm},$$

$$G_c = g \cdot l = 0,0355 \cdot 7 = 0,2485 \text{ kN},$$

$$M_{sp\perp} = 0,5 \cdot 0,2485 \cdot 0,5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-2} = 0,00149 \text{ kNm},$$

$$\sigma_{sp} = \frac{0,732 \cdot 10^{-3}}{9,60 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,00149 \cdot 10^{-3}}{0,32 \cdot 10^{-6}} = 76,25 + 4,66 = 80,91 \text{ MPa},$$

$$\tau_{sp} = \frac{61,01 \cdot 10^{-3}}{4,80 \cdot 10^{-4}} = 127,10 \text{ MPa}.$$

Przyjmując do sprawdzenia nośności połączenia wzór

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\alpha_{\parallel}}\right)^2} \leq f_d,$$

w którym współczynniki $\alpha_{\perp}, \alpha_{\parallel}$ zmniejszono o 30 % jak dla spoin pułapowych wykonanych na montażu, otrzymuje się

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{80,91}{0,7 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{127,10}{0,7 \cdot 0,8}\right)^2} = \sqrt{128,42^2 + 226,96^2} = 260,80 \text{ MPa} > f_d = 205 \text{ MPa};$$

$$\mu = 127,2\%.$$

Połączenie wymaga wzmocnienia.

B. Ciężno 28-34 (pole 3) 2 ϕ 24 mm,

$S_{\max} = 102,921$ – komb. 24 (śnieg na dachu płatwiowym)

$$A = 2 \cdot 4,52 = 9,04 \text{ cm}^2,$$

$$\alpha = \frac{102,921}{122,013} = 0,8435,$$

Naprężenia w przęcie

$$\sigma = 0,8435 \cdot 135,0 = 113,9 \text{ MPa} < f_d = 205 \text{ MPa}.$$

Naprężenia w spoinie

$$\sigma_z = 0,8435 \cdot 260,8 = 220 \text{ MPa} > f_d = 205 \text{ MPa}.$$

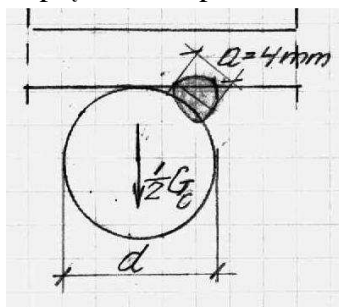
C. Ciężno 22-37 (pole 6) 2 ϕ 22 mm,

$S_{\max} = 61,63$ – komb. 22 (śnieg na dachu płatwiowym)

$$A = 2 \cdot 3,8 = 7,60 \text{ cm}^2,$$

$$\sigma = \frac{61,63 \cdot 10^{-3}}{7,60 \cdot 10^{-4}} = 81,09 \text{ MPa} < f_d = 205 \text{ MPa}.$$

Naprężenia w spoinie



Rys. 23b

$$A_{sp} = 0,4 \cdot 12,0 = 4,80 \text{ cm}^2,$$

$$W_{sp} = 0,4 \cdot 12,0^2 / 6 = 9,60 \text{ cm}^3,$$

$$W_{sp\perp} = 12 \cdot 0,4^2 / 6 = 0,32 \text{ cm}^3,$$

$$S_{sp} = 61,63 / 2 = 30,82 \text{ kN},$$

$$M_{sp} = 30,82 \cdot 0,5 \cdot 2,2 \cdot 10^{-2} = 0,339 \text{ kNm},$$

$$\sigma_{sp} = \frac{0,339 \cdot 10^{-3}}{9,60 \cdot 10^{-6}} = 35,31 \text{ MPa},$$

$$\tau_{sp} = \frac{30,82 \cdot 10^{-3}}{4,80 \cdot 10^{-4}} = 64,21 \text{ MPa.}$$

Przyjmując do sprawdzenia nośności połączenia wzór

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\alpha_{\parallel}}\right)^2} \leq f_d,$$

w którym współczynniki $\alpha_{\perp}, \alpha_{\parallel}$ zmniejszono o 30 % jak dla spoin pułapowych wykonanych na montażu, otrzymuje się

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{35,31}{0,7 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{64,21}{0,7 \cdot 0,8}\right)^2} = \sqrt{56,05^2 + 114,66^2} = 127,63 \text{ MPa} < f_d = 205 \text{ MPa;}$$

$$\mu = 62,3\%.$$

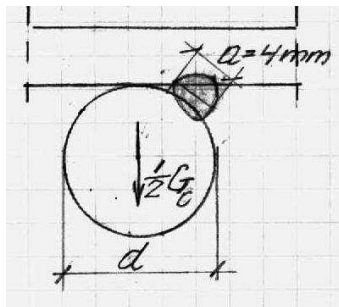
D. Ciężno 10-42 (pole 6) 2 ϕ 20 mm,

$S_{\max} = -87,672$ – komb. 24 (śnieg na dachu płaskim)

$$A = 2 \cdot 3,14 = 6,28 \text{ cm}^2,$$

$$\sigma = \frac{87,672 \cdot 10^{-3}}{6,28 \cdot 10^{-4}} = 139,6 \text{ MPa} < f_d = 205 \text{ MPa.}$$

Napężenia w spoinie



Rys. 23b

$$\begin{aligned} A_{sp} &= 0,4 \cdot 12,0 = 4,80 \text{ cm}^2, \\ W_{sp} &= 0,4 \cdot 12,0^2 / 6 = 9,60 \text{ cm}^3, \\ W_{sp\perp} &= 12 \cdot 0,4^2 / 6 = 0,32 \text{ cm}^3, \\ S_{sp} &= 87,67 / 2 = 43,84 \text{ kN}, \\ M_{sp} &= 43,84 \cdot 0,5 \cdot 2,0 \cdot 10^{-2} = 0,438 \text{ kNm}, \end{aligned}$$

$$\sigma_{sp} = \frac{0,438 \cdot 10^{-3}}{9,60 \cdot 10^{-6}} = 45,63 \text{ MPa}, \quad \tau_{sp} = \frac{43,84 \cdot 10^{-3}}{4,80 \cdot 10^{-4}} = 91,33 \text{ MPa.}$$

Przyjmując do sprawdzenia nośności połączenia wzór

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\alpha_{\parallel}}\right)^2} \leq f_d,$$

w którym współczynniki $\alpha_{\perp}, \alpha_{\parallel}$ zmniejszono o 30 % jak dla spoin pułapowych wykonanych na montażu, otrzymuje się

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{45,63}{0,7 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{91,33}{0,7 \cdot 0,8}\right)^2} = \sqrt{72,43^2 + 163,09^2} = 178,45 \text{ MPa} < f_d = 205 \text{ MPa.}$$

$$\mu = 87,0\%.$$

8. Kontrola stanu technicznego lin stalowych

8.1. Metoda kontroli

Do oceny stanu technicznego lin zastosowano dwie nieniszczące metody badań:

- a) Wizualną, polegającą na bezpośrednich oględzinach lin stalowych przeprowadzonych z rusztowania przesuwne,
- b) MTR – to jest metodę magnetyczną pola stałego z użyciem podwójnego czujnika indukcyjnych typu LD (LF) i czujnika halotronowego typu LMA. Z uwagi na istniejące warunki do przeprowadzenia tych badań (jednostronny dostęp do lin) wykonano specjalny przyrząd o wymiarach umożliwiających bezpośredni dostęp do lin, które są usytuowane we wnękach żelbetowych płyt. Podczas badań głowica pomiarowa urządzenia była przemieszczana wzdłuż badanych lin. W celu umożliwienia rejestracji sygnałów głowicę połączono przewodem z defektografem-rejestratorem. Przebiegi sygnałów rejestrowano w pamięci cyfrowej defektografu i wizualizowano je na ekranie oraz na papierowej wstędze wykresowej (drukowane). Każdy odcinek liny badano dwukrotnie, podczas przemieszczania głowicy w górę i w dół liny. Pełne sprawozdanie z przebiegu badań zamieszczono w załączniku nr Z1.

8.2. Zakres badań

Badaniom poddano liny dostępne z przesuwne rusztowania. Przebadano liny po wschodniej i zachodniej części dachu. W każdej części zbadano 38 lin w środkowej części dachu, na długości 18,0 m w części wschodniej oraz 12,0 m w części zachodniej. W obu częściach zbadano liny w siodłach dachu na długości 12,0 m tam gdzie warunki użytkowania lin były najgorsze oraz dodatkowo w części wschodniej bezpośrednio przy dachu płatwiowym na długości 6,0 m. W sumie przebadano liny na dachu o powierzchni około 680 m².

8.3. Cel badań

Głównym celem badań magnetycznych było poszukiwanie zerwanych drutów w linach, a celem drugorzędnym – próba oceny wartości ubytków korozyjnych przekroju poprzecznego lin. Celem badań wizualnych było sprawdzenie czy uległ pogorszeniu stan techniczny lin w porównaniu z rokiem 2007r. [10].

8.4. Podsumowanie badań lin

Z uwagi na utrudniony dostęp do lin, które są usytuowane we wnękach płyt dachowych oraz zbrojenie płyt, czas wykonywania badań uległ znacznemu wydłużeniu. Każdą linię badano przynajmniej dwukrotnie, a w przypadku jakichkolwiek wątpliwości badania prowadzono wielokrotnie aż do wyjaśnienia przyczyn powstania zakłóceń sygnału. Była zatem potrzeba analizowania i interpretowania wyników na bieżąco w czasie wykonywania badań, co pozwoliło na jednoznaczną ich interpretację.

Na przebadanej powierzchni dachu nie stwierdzono zerwanych drutów w linach. W wyniku oględzin lin stwierdzono, że ich stan techniczny nie uległ pogorszeniu w porównaniu z 2007 r. Liny są kotwione w pierścieniu żelbetowym (zewnątrznym) za pomocą dodatkowego elementu stalowego. Zakotwienie lin jest zabetonowane w żelbetowej powłoce dachowej wykonanej na mokro. Między żelbetowym pierścieniem i żelbetową powłoką dachową występuje rysa, która pojawiła się na skutek odkształceń dachu przy różnych obciążeniach. Rozwartość tej rysy nie uległa zmianie od 2007 r. W ciągu ostatnich kilku lat wykonuje się pomiary ugięć

konstrukcji dachowej w wyznaczonych punktach pomiarowych. Uzyskane wyniki z tych pomiarów nie uległy zmianie od początku wykonywania pomiarów.

Uwzględniając wyniki pomiarów i oględzin lin, stabilne wyniki pomiarów rozwarcia rysy między żelbetowym pierścieniem i żelbetową powłoką dachową oraz stabilne wyniki ugięć konstrukcji dachowej wnioskuję się, że liny stalowe mogą być nadal bezpiecznie użytkowane. Zaleca się jednak nadal prowadzenia pomiarów ugięć konstrukcji dachu w wyznaczonych punktach pomiarowych przynajmniej dwukrotnie w ciągu roku – latem i zimą przy dużym obciążeniu śniegiem.

9. Wnioski i zalecenia

9.1. Wnioski

Przedstawione niżej wnioski opracowano na podstawie: przeprowadzanych corocznych oględzin konstrukcji dachu począwszy od 2007 r., corocznych pomiarów ugięć konstrukcji dachu wykonywanych od 2011 r, obserwacji rozwarcia rys od 2007 r, które występują między żelbetowymi pierścieniami zewnętrznymi i wykonaną na mokro powłoką dachową, wykonanych w sierpniu 2014 r magnetycznych pomiarów lin, wizualnego porównania stanu technicznego lin w latach 2007 i 2014, analizy obowiązujących akt normatywnych oraz wykonanych w 2014 r. wariantowych obliczeń statyczno-wytrzymałościowych stalowej konstrukcji nośnej dachu.

9.1.1. Wnioski dotyczące pokrycia

1. Stan techniczny pokrycia dachowego ocenia się jako niezadowolający. Na dachu widoczne są liczne pofałdowania w pobliżu, których często pojawiają się nieszczelności. Dotyczy to szczególnie styku między starym pokryciem i pokryciem ułożonym pod kablami grzewczymi. Wynika to z tej przyczyny, że latem w górnej, środkowej części dachu na skutek nagrzewania papa uległa wydłużeniu i spływa do najniższych części dachu - siodła, tworząc liczne pofałdowania. Każde z takich pofałdowań znajdujących się na styku arkuszy pap może powodować rozszczelnienie tego styku. Wtedy woda opadowa dostaje się do wnętrza hali, co może być przyczyną korozji cięgien. Konieczna jest częsta naprawa pokrycia w uszkodzonych miejscach.
2. Z uwagi na wykorzystanie nośności głównych elementów konstrukcji dachu (cięgien, łuków, stężeń połaciowych – patrz wniosek 9) nie można zwiększać istniejącego ciężaru pokrycia. Przewidziano demontaż istniejącego pokrycia aż do żelbetowych płyt na dachu ciągłym oraz do płatwi (łącznie z blachą fałdową) na dachu płatwiowym. Po wzmocnieniu stężeń w środkowej części dachu przewidziano pokrycie środkowej części dachu blachą fałdową, a następnie całego dachu pianką PUR o grubości 15 cm i powłoką wierzchnią z polimocznika nie rozprzestrzeniającego ognia. Aby ograniczyć możliwość zsuwania się śniegu z wyższych części dachu do siodła, na dachu należy zamontować odpowiednie drabinki śniegowe.
3. Wymagany Rozporządzeniem [19] współczynnik przenikania ciepła dla dachów powinien wynosić: w 2014 r – 0,20 W/(m²·K), w 2017 r – 0,18 W/(m²·K), w 2021 r – 0,15 W/(m²·K). Wartości te można uzyskać przy grubości pianki ($\lambda = 0.022$ W/mK) ułożonej bezpośrednio na płytach, wynoszącej odpowiednio: 11 cm, 12 cm i 15 cm. W projekcie remontu pokrycia proponuje się uwzględnić warstwę pianki PUR o grubości 15 cm.

9.1.2. Wnioski dotyczące ciągów (lin)

4. Oceniany wizualnie stan techniczny lin w stosunku do stanu w 2007 r. nie uległ pogorszeniu. W ekspertyzie [10] z 2007 r. stwierdzono, że stan techniczny lin jest podobny do stanu w 1990 r [7]. Powyższe obserwacje świadczą, że pojawiające się różnorakie nieszczelności dachu w latach 1990 – 2014 były usuwane na bieżąco i nie spowodowały procesu korozji ciągów.
5. Obecnie, podobnie jak w 1990 r., powierzchnie zewnętrzne drutów zewnętrznej warstwy lin są skorodowane w niewielkim stopniu. Średnia głębokość wżerów korozyjnych na tych powierzchniach nie przekracza 0.15 mm. Stan powierzchni wewnętrznych drutów jest znacznie lepszy o czym świadczą wyniki pomiarów średnic lin, niewiele odbiegające od ich wartości nominalnych. Ocenia się, że średnia wartość ubytków korozyjnych na całej powierzchni drutów zewnętrznej warstwy lin nie przekracza wartości określonej w [7] to jest 0.1 mm.
6. W celu sprawdzenia czy w linach są przerwane druty wykonano badania magnetyczne lin z przesuwne rusztowania za pomocą specjalnie do tego celu wykonanego przyrządu przez firmę Zawada NTD. Przebadano liny na dachu o powierzchni około 680 m² w miejscach szczególnie narażonych na korozję, to jest w siodłach i przy stalowej konstrukcji nośnej w środkowej części hali. Na przebadanej powierzchni dachu nie stwierdzono zerwanych drutów w linach. W wyniku badań magnetycznych stwierdzono, że ubytki korozyjne nie przekraczają 5 % pierwotnego pola powierzchni przekroju poprzecznego lin.
7. Obecnie maksymalne wyężenie stalowych lin wynosi około 80 % ich obliczeniowej nośności określonej jak dla odciągów masztów, a minimalny współczynnik pewności określany jako stosunek nośności liny do siły rozciągającej wynosi około 2.37. Po wymianie pokrycia (przy grubości warstwy pianki PUR 15 cm z wierzchnią warstwą z polimocznika) wartość współczynnika pewności wzrośnie o około 5 % i zbliży się do pożądanej wartości 2,5.

9.1.3. Wnioski dotyczące stanu technicznego stalowej konstrukcji nośnej dachu hali

8. Konstrukcja wsporcza dachu składa się z dwóch niezależnych części. Każda z części składa się z zewnętrznego łuku żelbetowego oraz dwóch wewnętrznych łuków stalowych połączonych kratowymi płatwiami oraz krzyżowo ułożonymi stężeniami z prętów okrągłych, założonymi na powierzchniach utworzonych przez górne i dolne pasy płatwi. Łuk żelbetowy i para łuków stalowych przenosi obciążenie z cięgnowej części dachu. Łuki – żelbetowy i stalowe, usytuowane są w płaszczyznach ukośnych. O wyężeniu stalowych łuków oraz stężeń decydują nie tylko obciążenia dachu na cięgnach (ciągnowego) i płatwiach (płatwiowego) ale również wzajemne proporcje tych obciążeń.
9. Wykonano obliczenia przy różnych kombinacjach obciążeń. W efekcie stwierdzono: konieczność wzmocnienia połączeń prętów stężeń w środkowej części dachu, z blachami węzłowymi, konieczność zabezpieczenia górnych pasów płatwi w środkowej części dachu (między układami) przed wyboczeniem z ich płaszczyzny oraz konieczność wzmocnienia krzyżulców w płatwiach usytuowanych w dolnej części dachu między łukami. Rozpatrywane kombinacje obciążeń przedstawiono w pkt. 7.2. na str. 44.
10. Istnieje możliwość montażu solarów na płatwiowej części dachu pod warunkiem wykonania wzmocnień jak w pkt. 9. Nośność stalowych łuków będzie zapewniona.
11. Istnieje również możliwość montażu solarów na pierścieniach żelbetowych. Nie można natomiast montować solarów na pokryciu dachu cięgnowego, zarówno w części wykonanej na mokro jak i prefabrykowanych płytach. (Żelbetowy pierścień jest oddzielony widoczną od dołu rysą od powłoki dachowej wykonanej na mokro.)
12. W projekcie remontu pokrycia należy przewidzieć możliwość montażu klap dymowych na płatwiowej części dachu, jeśli zajdzie taka potrzeba.

13. Przy odpowiednim stosunku obciążeń pokrycia dachu płatwiowego i dachu ciągnowego oraz odpowiednio dobranej wartości tych obciążeń, nośność stalowych łuków będzie zapewniona. Może jedynie wystąpić przekroczenie nośności łuku 1 o 1,4 % w przypadku gdy szkło w oknach środkowej części dachu zostanie zastąpione sklejką i środkowa część dachu nie będzie obciążona solarami i śniegiem.
14. W wyniku remontu pokrycia, przy ciężarze nowego pokrycia nie większym niż pokrycia istniejącego, wyężenie żelbetowego łuku nie będzie większe w porównaniu z obecnym.

9.2. Zalecenia

Zaleca się prowadzenie pomiarów ugięć konstrukcji dachu w wyznaczonych punktach pomiarowych jak dotychczas przynajmniej dwukrotnie w ciągu roku – latem i zimą przy dużym obciążeniu śniegiem.

10. Wnioski końcowe

Przedmiotowy dach można wykorzystać do posadowienia instalacji solarnej usytuowanej w środkowej części na dachu płatwiowym i w skrajnych częściach – na pierścieniach żelbetowych. Solary w części środkowej dachu należy zamontować do konstrukcji wsporczej opartej na kratowych płatwiach. Nie można montować solarów na ciągnowej części dachu. Przed wykonaniem robót należy wzmocnić wymienione we wniosku 9 elementy konstrukcji stalowej dachu.

Dr hab. inż. Jan ZAMOROWSKI
RZECZOSZNAWCA BUDOWLANY
z listy Wojewody Śląskiego, decyzja nr 1/02
Centralny Rejestr Rzeczoznawców Budowlanych
poz. 89/02/R/C
44-105 Gliwice, ul. Strzeleckiego 44
tel. 609 654 098



SPRAWOZDANIE Z BADANIA MAGNETYCZNEGO

LIN NOŚNYCH DACHU HALI SPORTOWEJ „MOSIR” W SOSNOWCU

WYKONANEGO W DNIACH 24-28 LIPCA 2014 R.

Wykonujący badania i sprawozdanie:

mgr Kazimierz Zawada

Zawada NDT

Roosevelta 120 bud. B-5, 41-800 Zabrze

REGON 276557792 Wpis w C. E. i I. o Dz. G. R P
z-ndt.com

Data i podpis:

31-07-2014



Zawada NDT

Kazimierz Zawada
ul. Tatarkiewicza 8, 41-819 Zabrze
NIP 648-157-50-87 REGON 276557792

1. OCENA STOPNIA ZUŻYCIA LIN NA PODSTAWIE BADANIA MAGNETYCZNEGO

- 1.1. Oszacowane na podstawie analizy zarejestrowanych sygnałów badania
procentowe ZUŻYCIE każdej przebadanej liny NIE PRZEKRACZA 1 %
i **NIE PRZEKRACZA** przyjętego **DOPUSZCZALNEGO** zużycia (przyjętego 5%).

Założono tu kryteria odkładania badanych lin takie jak „kryteria proponowane” dla lin odciągowych, wg literatury –
Andrzej Tytko „Eksplotacja lin stalowych”, „Śląsk” Wydawnictwo Naukowe, 2003 , tj.:

ubytek pola przekroju drutów liny o 5% na długości 6d lub o **10% na długości 30d**
(gdzie **d** jest nominalną średnicą liny);
pęknięcia koło uchwytu.

- 1.2. We wszystkich przebadanych linach **nie stwierdzono lokalnych nieciągłości** drutów lin ani nie stwierdzono starć drutów.
Nie stwierdzono impulsów czujnika indukcyjnego LD odzwierciedlających pęknięcie drutów. Szum tła sygnałów LD, pochodzący od zwicia drutów stalowych, był regularny i nie wykazał wyraźnych zmian przekroju stali drutów w rodzaju starć lub korozji drutów (zewnętrznych lub wewnętrznych).
Gdyby stwierdzono wystąpienie pęknięcia zaledwie jednego drutu liny to oznaczałoby to przekroczenie dopuszczalnego zużycia liny wg przyjętych kryteriów odkładania (1.1.) ponieważ pole przekroju jednego drutu stanowi aż 5,3 % łącznego przekroju wszystkich drutów liny.
- 1.3. W przebadanej linie **nie stwierdzono istotnych anomalii w rozkładzie stali w linie**, które mogłyby świadczyć o rozłożonych ubytkach powstałych w wyniku korozji drutów, starć drutów czy o wyraźnej nierównomierności skoku zwicia liny. Analiza sygnału LMA nie wykazała występowania zmian większych niż zmiany w granicach **1 %** przekroju poprzecznego liny, **szacunkowo**, po uwzględnieniu wpływu pobliskich prętów zbrojeniowych, zakłócającego pomiar. Jednak **nie można z całkowitą pewnością określić wartości zmian** właściwej składowej sygnału LMA z powodu silnego i nieregularnego wpływu prętów zbrojeniowych na sygnał LMA.
- 1.4. We wszystkich dostępnych do **wizualnych oględzin** odcinkach przebadanych lin **nie stwierdzono widocznych istotnych anomalii w linie**, takich jak, znaczna korozja drutów, starcia i deformacje drutów, poluzowane druty, pęknięcia koło uchwytu.

Nie stwierdzono znacznych ubytków powłoki konserwującej linę (smaru) i nie stwierdzono nalotów korozyjnych, które powodowałyby zauważalny, mierzalny ubytek stali w drutach.

Dostępny do dokonania wizualnych oględzin odcinkami lin były wszystkie przebadane magnetycznie odcinki jednak jedynie na około połowie swojego obwodu powodu przylegania do stropu i braku możliwości odsunięcia od niego.

2. OPIS PRZEDMIOTU, METODY I ŚRODKÓW

2.1. PRZEDMIOT BADANIA

Na podstawie informacji zamawiającego, obserwacji i pomiarów suwmiarką na obiekcie, zebrano następujące dane badanych lin.

Typ liny:	jednozwita 1*19, spiralna splotka (12+6+1) , wykonana z drutów okrągłych, zakonserwowana powłoką farby i smaru
Ilość drutów:	19
Średnica lin:	11 mm (wg informacji zlecającego i zgrubnych pomiarów)
Przekrój nominalny drutów liny (stali):	72,225 mm² (przybliżony, wyliczony)
Średnica pojedynczego drutu:	2,2 mm (wyliczona)
Przekrój pojedynczego drutu:	3,80 mm² (przybliżony, wyliczony)
Ilość lin badanych:	76
Dostępność lin, warunki badania:	liny przylegały do dwóch prostopadłych lub jednej powierzchni elementów stropu, w sposób uniemożliwiający objęcie ich dookoła obwodami głowicy/czujnika, a były dostępne jedynie na około połowie obwodu



Fig.1. Typowe położenie badanej liny

2.2. METODA I ŚRODKI BADANIA

2.2.1. Zastosowana **metoda badań nieniszczących lin (MTR)** to magnetyczna metoda pola stałego z użyciem podwójnego czujnika indukcyjnych typu LD (LF) i czujnika halotronowego typu LMA. Głowica pomiarowa była przemieszczana po nieruchomych linach badanych, połączona przewodem z defektografem-rejestratorem, a przebiegi sygnałów jej czujników były rejestrowane w pamięci cyfrowej przez defektograf i wizualizowane na jego ekranie oraz na papierowej wstędze wykresowej (drukowane).

Badanie każdego odcinka liny zostało dokonane co najmniej dwukrotnie, podczas przemieszczania głowicy w górę i w dół liny.

2.2.2. **Aparatura i oprogramowanie** zastosowane:

2.2.2.1. **Defektograf Lin Stalowych MD121** (Fig.2) nr f. AD00003.A z jego oprogramowaniem;

2.2.2.2. **Głowica pomiarowa** specjalnie wykonana do zrealizowania badania, oznaczona **GPZ-12MM1** (Fig.3), z zestawem zależności kalibracyjnych (jednostronna, z czujnikiem zawierającym jeden kanał LD)

2.2.2.3. Głowica pomiarowa specjalnie przystosowana do zrealizowania badania - górna część Testera Lin Stalowych **MD-25H** nr f. 223, z zestawem zależności kalibracyjnych (jednostronna, z czujnikiem zawierającym jeden kanał LD i jeden kanał LMA)

2.2.3. **Dane kalibracyjne** kanału sygnału **LD1** (INNER COIL - cewka wewnętrzna) dla uszkodzenia standardowego ($s=1$, $\zeta=0$), odpowiadającego **pęknięciu 1 drutu** badanych lin czyli **5,3 %** zmiany przekroju stali, przy prędkości badania $v=1$ m/s:

głowica **GPZ-12MM1** $U_{sw} = 73$ mV przy $\Delta S_{Fe} = 3,80$ mm²

głowica **MD-25H** $U_{sw} = 75$ mV przy $\Delta S_{Fe} = 3,80$ mm²

Przy praktycznie uzyskiwanej prędkości badania **około 0,3 m/s** i braku możliwości zastosowania kompensacji wpływu prędkości dane kalibracyjne w warunkach badania były w przybliżeniu jak następuje:

głowica **GPZ-12MM1** $U_{sw} = 22$ mV przy $\Delta S_{Fe} = 3,80$ mm²

głowica **MD-25H** $U_{sw} = 23$ mV przy $\Delta S_{Fe} = 3,80$ mm²

Podczas rejestracji, z reguły zastosowano stałe przetwarzania kanału LD / COIL cewki podane niżej:

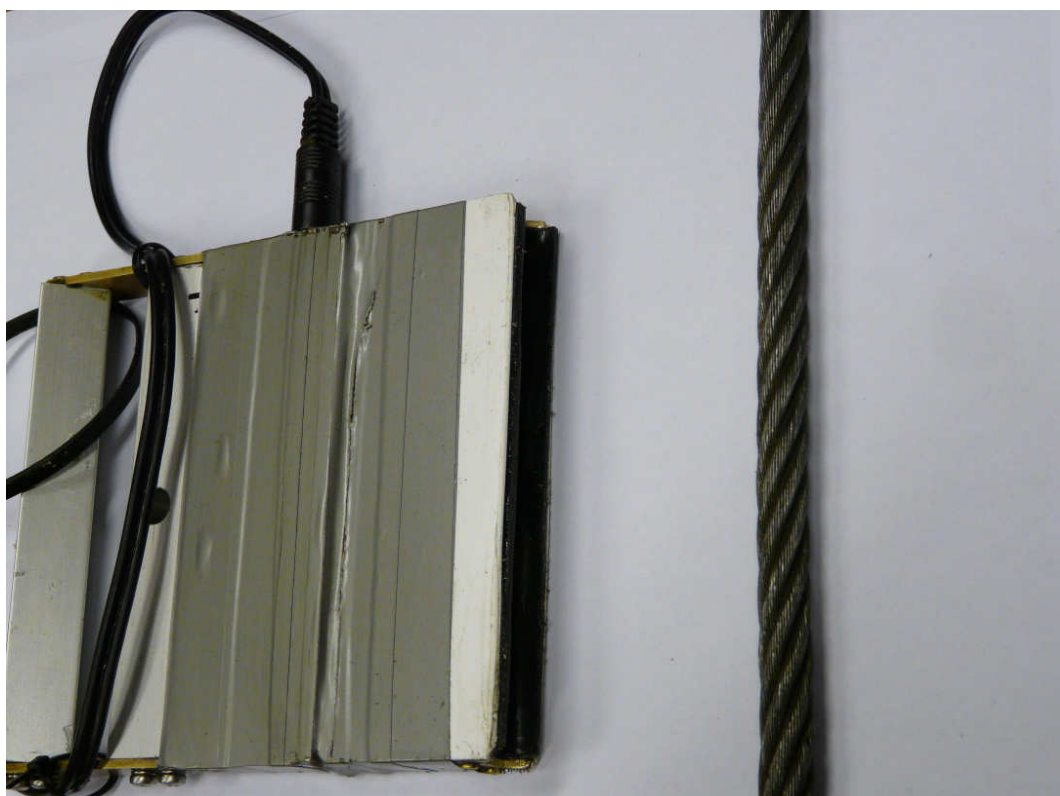
LD1 cewki wewnętrznej **5 mV/div (działkę)**, co oznaczało wskazywanie **5,3 %** zmiany przekroju stali w warunkach standardowych (pęknięcia 1 drutu w osi liny, ze szczeliną 1 mm) **jako około 4,5 działek** na wydruku wykresu, a np. **5,3 %** zmiany przekroju stali **na długości 3 mm jako około 9 działek**.

Przy odtwarzaniu i na zamieszczonym tutaj przykładowym zapisie, stosowano stałą **2,5 mV/div (działkę)** co oznaczało wskazywanie **5,3 %** zmiany przekroju **na długości 1 mm jako 9 działek**.

2.2.4. **Kalibracja** kanału sygnału **LMA** (HALL) wykonana na obiekcie badanym

Zmiana poziomu sygnału LMA (HALL) spowodowana dołożeniem do liny w głowicy pomiarowej lub usunięciem **pręta kalibracyjnego** o średnicy 2,2 mm / przekroju **3,8 mm²** wynosiła **1,0 mV** (+1,0 mV przy przyroście stali, a -1,0 mV przy ubytku stali)

Zastosowano stałą przetwarzania kanału LMA / HALL **0,1 mV/mm(działkę)**, co oznaczało wskazywanie **5,3 %** zmiany przekroju stali **jako 10 działek** na wydruku wykresu, względem poziomu odniesienia (NULL)



3. ZAPISY SYGNAŁÓW BADAŃ MAGNETYCZNYCH Z KOMETARZAMI I OBLICZENIAMI

Pliki danych z zarejestrowanymi przebiegami sygnałów zostają przekazane z niniejszym Sprawozdaniem a ich kopie pozostają archiwowane bezterminowo w zakładzie Zawada NDT Kazimierz Zawada, ul. Roosevelta 120 bud. B-5, 41-800 Zabrze i mogą być przekazywane zgodnie z dyspozycjami otrzymanymi od zamawiającego badania.

Ilość plików: **460** (147 MB)

Nazwy plików: **20140724_105023.rdc** do **20140728_173019.rdc** gdzie pierwsza grupa cyfr przedstawia datę rejestracji a druga grupa czas rozpoczęcia rejestracji sygnału.

W sprawozdaniu przedstawiono jedynie przykładowe, reprezentatywne ilustracje wydrukowanych obrazów przebiegów sygnałów zarejestrowanych Defektografem MD121. Detale wszystkich przebiegów, kształty i rozmiary impulsów sygnałów, potrzebne do ich szczegółowej analizy, widoczne są przy korzystaniu z Defektografu MD121 lub jego przeglądarki plików – oprogramowania Zawada NDT MD121 VIEW. Wszystkie przebiegi zostały dokładnie przejrane i przeanalizowane przed sporządzeniem sprawozdania.

3.1. Przykład zarejestrowanego przebiegu sygnałów badania

Zamieszczony przykład jest reprezentatywny - pokazany sygnał jest podobny do sygnałów wszystkich innych zarejestrowanych, objętych niniejszym sprawozdaniem.

Przebiegi sygnałów pokazane na ilustracjach Fig. 4. i Fig. 5. pochodzą z pliku archiwowanego o nazwie **20140728_152713.rdc**

Przebiegi sygnału pokazane na Fig.4. zostały zarejestrowane podczas przesuwania głowicy **GPZ-12MM1** po linie, na długości odcinka liny około 2,7 m, w czasie 9 s przy prędkości około 0,3 m/s.

Nie stwierdzono tu istotnych anomalii w rozkładzie stali w linie, tak jak nie stwierdzono ich we wszystkich pozostałych zapisach sygnału objętych niniejszym sprawozdaniem.

Analiza wszystkich impulsów widocznych na Fig. 4. wykazała, że nie są impulsami odzwierciedlającymi pęknięcia drutów liny, a są jedynie –

(1) **impulsami tła sygnału** (szumu liny) – widoczne szersze impulsy

lub

(2) **impulsami zakłóceń elektromagnetycznych**, powstałych w rezultacie nierównomiernego przesuwu głowicy po linie, powodowanego nieregularną powłoką farby konserwującej i nieregularną powierzchnią stropu w bezpośrednim sąsiedztwie liny – widoczne wąskie impulsy

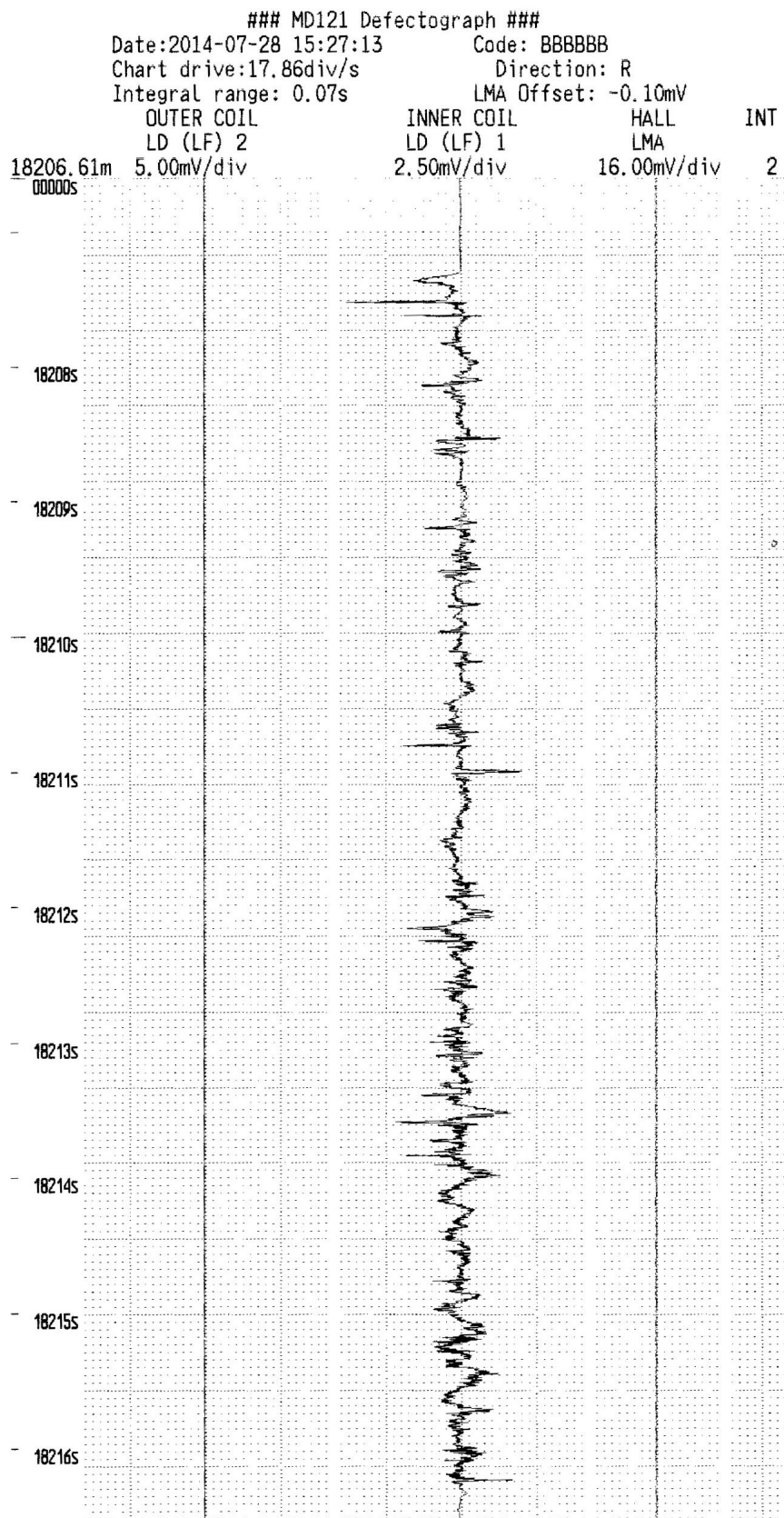


Fig.4. Przykład przebiegu sygnału generowanego przez czujnik LD podczas badania liny

Widoczny w dalszej części zapisu impuls, niżej przedstawiony na Fig. 5., nie jest impulsem pochodzącym od nieciągłości liny, lecz jest impulsem generowanym podczas odejmowania głowicy od liny - pochodzącym od gwałtownej zmiany rozkładu pola magnetycznego podczas odsuwania głowicy od liny. Podobne impulsy zarejestrowane były również podczas zbliżania głowicy do liny, a także podczas odrywania i przykładania głowicy w trakcie przesuwania spowodowanego nierównomierną powłoką liny lub nierówną powierzchnią stropu w bezpośrednim sąsiedztwie badanej liny.

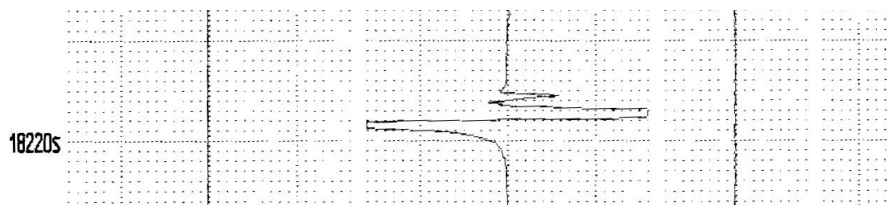


Fig.5. Przykład impulsu generowanego przez czujnik LD podczas zbliżania lub odejmowania głowicy od liny

W celu poglądowym, poniżej przedstawiono przykład sygnału pochodzącego od pęknięcia drutu identycznego z drutami badanej liny, zarejestrowanego w warunkach zbliżonych do badania lin objętego Sprawozdaniem. Stała przetwarzania zastosowana jest 2,7 razy większą (2.7 razy gorsza czułość), aby zmieścić cały impuls generowany przez pęknięcie drutu.

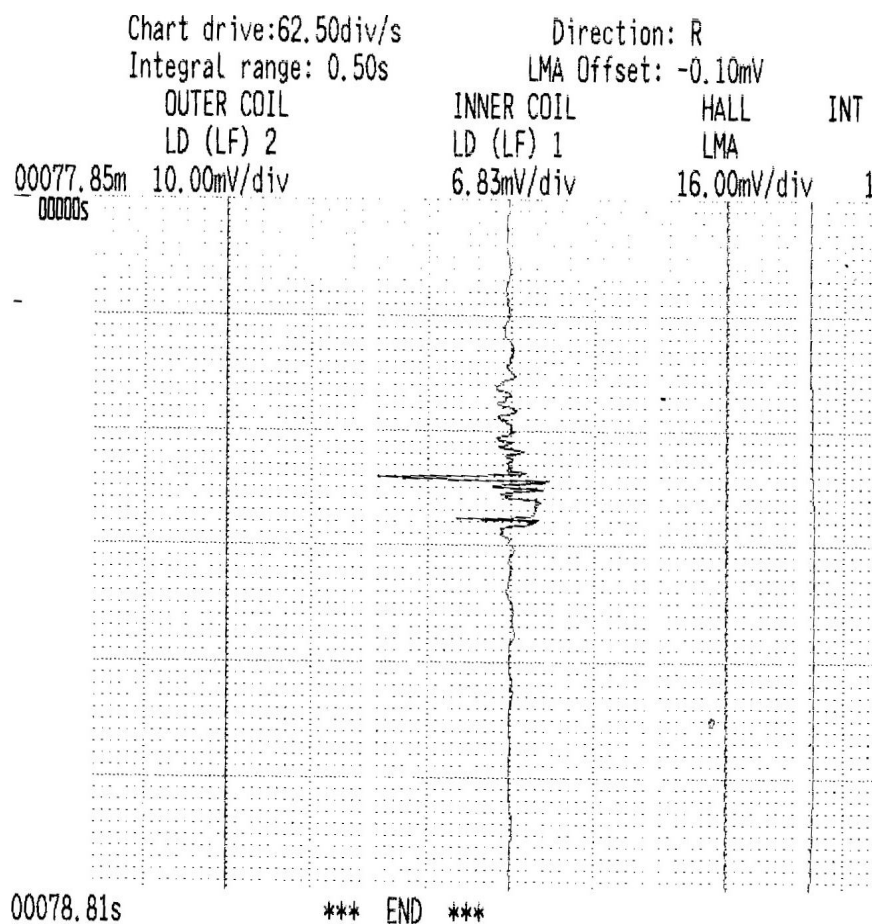


Fig.6. Przykład impulsu generowanego przez czujnik LD przez pęknięty drut liny o przekroju identycznym z przekrojem drutu badanych lin

KONIEC SPRAWOZDANIA