

KONSULTACYJNE BIURO PROJEKTOWE KRZYSZTOF ŻÓŁTOWSKI

80-172 Gdańsk, ul. Nobla 16
tel. (58) 718-40-50, fax (58) 718-40-50
e-mail: KBP@bridges.pl

RAPORT TECHNICZNY

z analizy nośności węzłów zakotwień w pomoście mostu przez rzekę
Brdę w ciągu Trasy Uniwersyteckiej w Bydgoszcy

INWESTOR: **ZARZĄD DRÓG MIEJSKICH I KOMUNIKACJI PUBLICZNEJ**
ul. Toruńska 174a, 85-844 Bydgoszcz

ZLECENIODAWCA: **KORMOST SP. z o.o.**
ul. Glinki 144, 85-861 Bydgoszcz

WYKONAWCA: **Konsultacyjne Biuro Projektowe „Krzysztof Żółtowski”**
ul. Nobla 16, 80-172 Gdańsk

ZESPÓŁ AUTORSKI:

dr hab. inż. **Krzysztof Żółtowski** prof. nadzw. PG

upr. bud. nr 5506/Gd/93 w spec.: konstrukcje budowlane w zakresie mostów
upr. bud. nr POM/0135/POOK/11 do proj. w spec.: konstrukcyjno-budowlanej bez ograniczeń
Rzeczoznawca bud. – projektowanie w zakresie mostów RZE/X/0009/12,
Nr ewid. POM/BM/5710/01

mgr inż. **Daniel Pełka**

mgr inż. **Agnieszka Nowak**

Gdańsk, grudzień 2020

| | | | | | |
|--------|---|---|---|---|---|
| EGZ NR | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------|---|---|---|---|---|

SPIS TREŚCI

| | | |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. | Podstawa opracowania | 3 |
| 2. | Wykorzystane materiały i opracowania | 3 |
| 3. | Cel opracowania..... | 3 |
| 4. | Charakterystyka obiektu badawczego | 3 |
| 5. | Wykonanie globalnego modelu MES mostu w celu określenia teoretycznych sił w linach podwieszenia dla klasy A obciążeń wg PN-85/S-10030 | 5 |
| 6. | Skanowanie 3D zakotwień want w celu określenia ich aktualnej geometrii | 7 |
| 7. | Wykonanie niwelacji pomostu w celu odtworzenia aktualnego kształtu (niwelety) | 18 |
| 8. | Inspekcja skrzynek dźwigarów głównych | 20 |
| 9. | Inspekcja pylonu..... | 22 |
| 10. | Ocena nośności zakotwień..... | 25 |
| 11. | Podsumowanie | 106 |

1. PODSTAWA OPRACOWANIA

Raport opracowano w ramach umowy podwykonawczej z firmą KORMOST na zlecenie Zarządu Dróg Miejskich i Komunikacji Publicznej w Bydgoszczy.

2. WYKORZYSTANE MATERIAŁY I OPRACOWANIA

- [1] Projekt Wykonawczy – Budowa ul. Ogińskiego w Bydgoszczy na odcinku od ul. Powstańców Wielkopolskich do ul. Wojska Polskiego wraz z obiektami inżynierskimi i dojazdami – Most Nurtowy Podwieszony M-2 – Transprojekt Gdański Sp. z o. o. -
- [2] Dokumentacja powykonawcza podwieszenia BBR HiAm CONA – wanty Mostu nurtowego podwieszono M-2 – BBR Polska – Listopad 2013
- [3] Zieliński, T. P. (2002). Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów. Wydział EAIiE AGH.
- [4] Caetano Elsa, Cunha Álvaro, Dynamic testing of cable structures, (2015).
- [5] R.S. Pappa, J.N. Juang, An Eigensystem Realization Algorithm (ERA) for modal parameter identification and model reduction, in: JPL Proc. of the Workshop on Identification and Control of Flexible Space Struct., Vol. 3, San Diego, CA, United States, 1985.
- [6] J. Biliszczuk, Mosty podwieszono: projektowanie i realizacja, Arkady, 2005.
- [7] K. Żółtowski, M. Binczyk, P. Kalitowski. Pomiary naciągu want Mostu Uniwersyteckiego (most podwieszony M2) wraz z oceną techniczną. Ekspertyza. Kormost. 2020,

3. CEL OPRACOWANIA

Celem opracowania jest:

- Obliczeniowa analiza nośności węzłów zakotwień want w pomoście.
- Opracowanie koncepcji wzmocnienia węzłów zakotwień want w pomoście.

W ramach prac określono następujące działania:

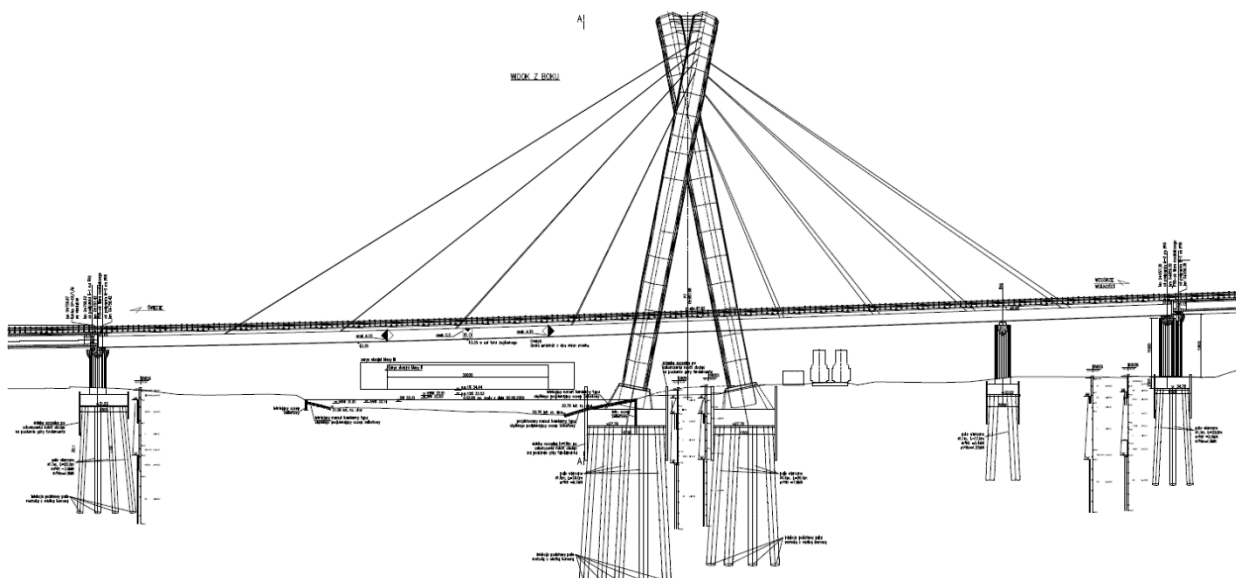
1. Wykonanie globalnego modelu MES mostu w celu określenia teoretycznych sił w linach podwieszenia dla klasy A obciążeń wg PN-85/S-10030 (P.5)
2. Skanowanie 3D zakotwień want w celu określenia ich aktualnej geometrii (P.6)
3. Wykonanie niwelacji pomostu w celu odtworzenia aktualnego kształtu (niwelety) (P. 7)
4. Inspekcja skrzynek dźwigarów głównych (P.8)
5. Inspekcja pylonu (P.9)
6. Wykonanie modeli MES węzłów zakotwień P.10)
7. Diagnostyka spoin w zakotwieniach (wg. odrębnego opracowania)
8. Opracowanie koncepcji wzmocnienia węzłów (wg. odrębnego opracowania)

4. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

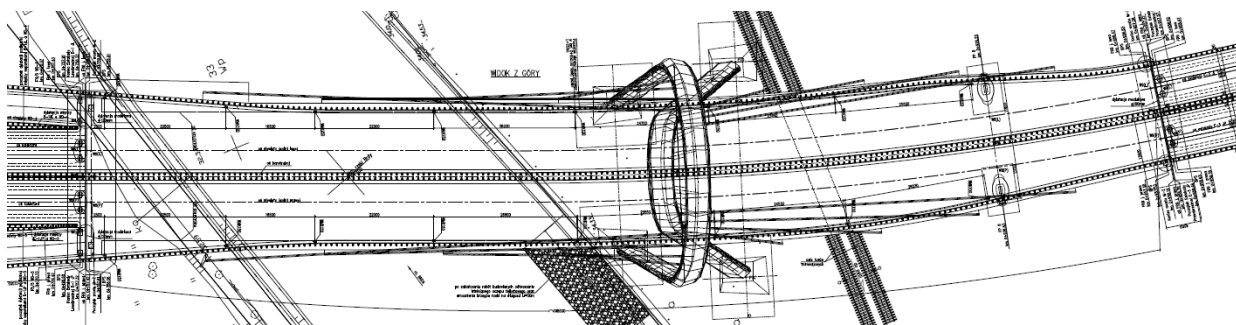
Przedmiotem opracowania jest most M-2 w ciągu Trasy Uniwersyteckiej w Bydgoszczy (rys. 4.1-4.3). Schemat statyczny mostu to belka ciągła, podwieszona do pylonu o rozpiętościach 110+90m. Przekrój poprzeczny stanowi układ zespolony: żelbetowa płyta z betonu B60 oparta na ruszcie belek stalowych ze stali S420 M.

System podwieszenia

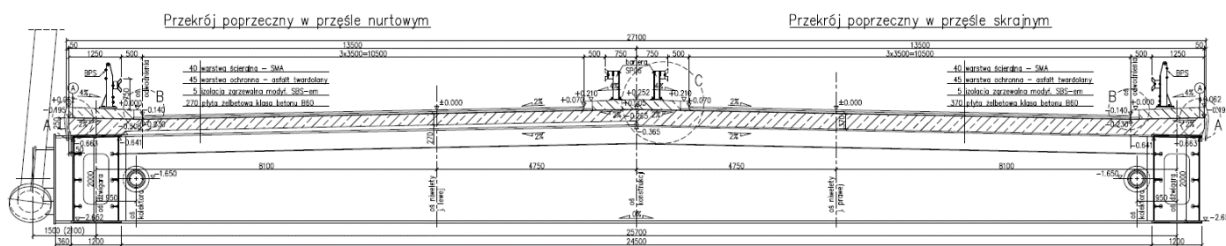
Liny podwieszenia zaprojektowano o zróżnicowanym przekroju od 72 do 109 splotów 7 drutowych ze stali Y1860 o polu przekroju jednego splotu 150mm². Sploty umieszczono w osłonie z HDPE. Wanty zakotwiono z jednej strony w stalowych zakotwieniach wykonanych z boku dźwigarów pomostu, a z drugiej strony w pylonie. Stwierdzono przy okazji wykonania opracowania [7] deformacje plastyczne elementów zakotwień want w pomoście. Była to bezpośrednia przyczyna podjęcia działań eksperckich zmierzających do określenia przyczyn deformacji i oceny bezpieczeństwa mostu



Rys. 4.1. Widok z boku na przęsło podwieszone [1]



Rys. 4.2. Widok z góry na przęsło podwieszone [1]



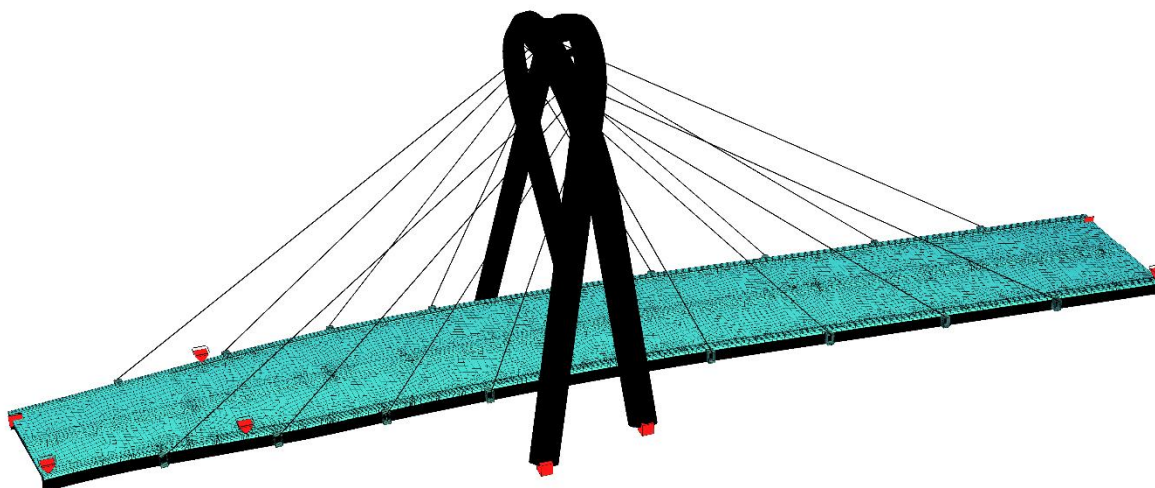
Rys. 4.3. Przekrój poprzeczny przez przęsło podwieszone [1]

5. WYKONANIE GLOBALNEGO MODELU MES MOSTU W CELU OKREŚLENIA TEORETYCZNYCH SIŁ W LINACH PODWIESZENIA DLA KLASY A OBCIĄŻEŃ WG PN-85/S-10030

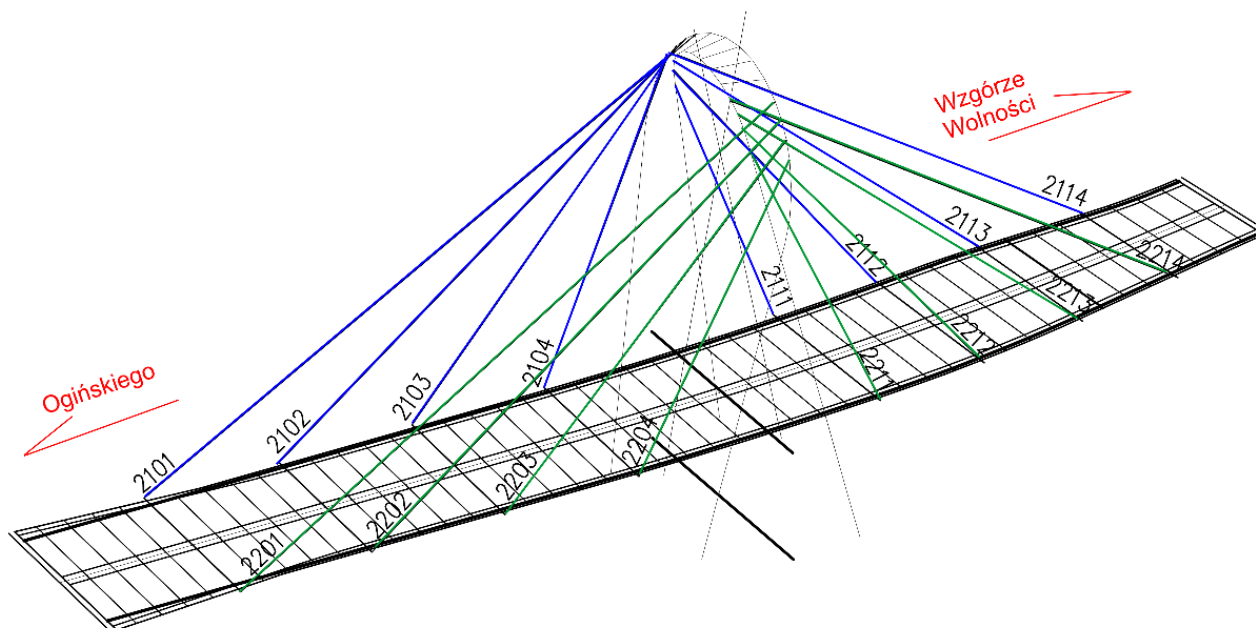
Identyfikacja sił wantach została wykonana i opisana w [7]. Siły w wantach określono na podstawie pomiarów odpowiedzi swobodnej drgań want po ich wzbudzeniu. Siły określone w [7] odpowiadają stanowi bezużytkowemu obciążeniu.

W celu określenia sił projektowych w linach wykonano przestrzenny model MES konstrukcji mostu na podstawie modelu CAD dostarczonego przez firmę KORMOST. W fazie I (ciężar własny) zdefiniowano wstępne napięcia want tak, aby uzyskać pomierzone i podane w [7] siły. Następnie wykonano analizę obciążeń ruchomych na przęśle dla klasy obciążenia A wg PN-85/S-10030

Wykonanie globalnego modelu MES mostu w celu określenia teoretycznych sił w linach podwieszenia dla klasy A obciążeń wg PN-85/S-10030



Rys. 5.1. Model numeryczny mostu w środowisku MES SOFiSTiK.



Rys. 5.2. Schemat numeracji want i węzłów ich zamocowania w pomoście mostu podwieszanego

Poniżej w tabeli przedstawiono wyniki dotyczące sił w wantach obliczone przy zastosowaniu obciążenia dla klasy A wg PN-85/S-10030.

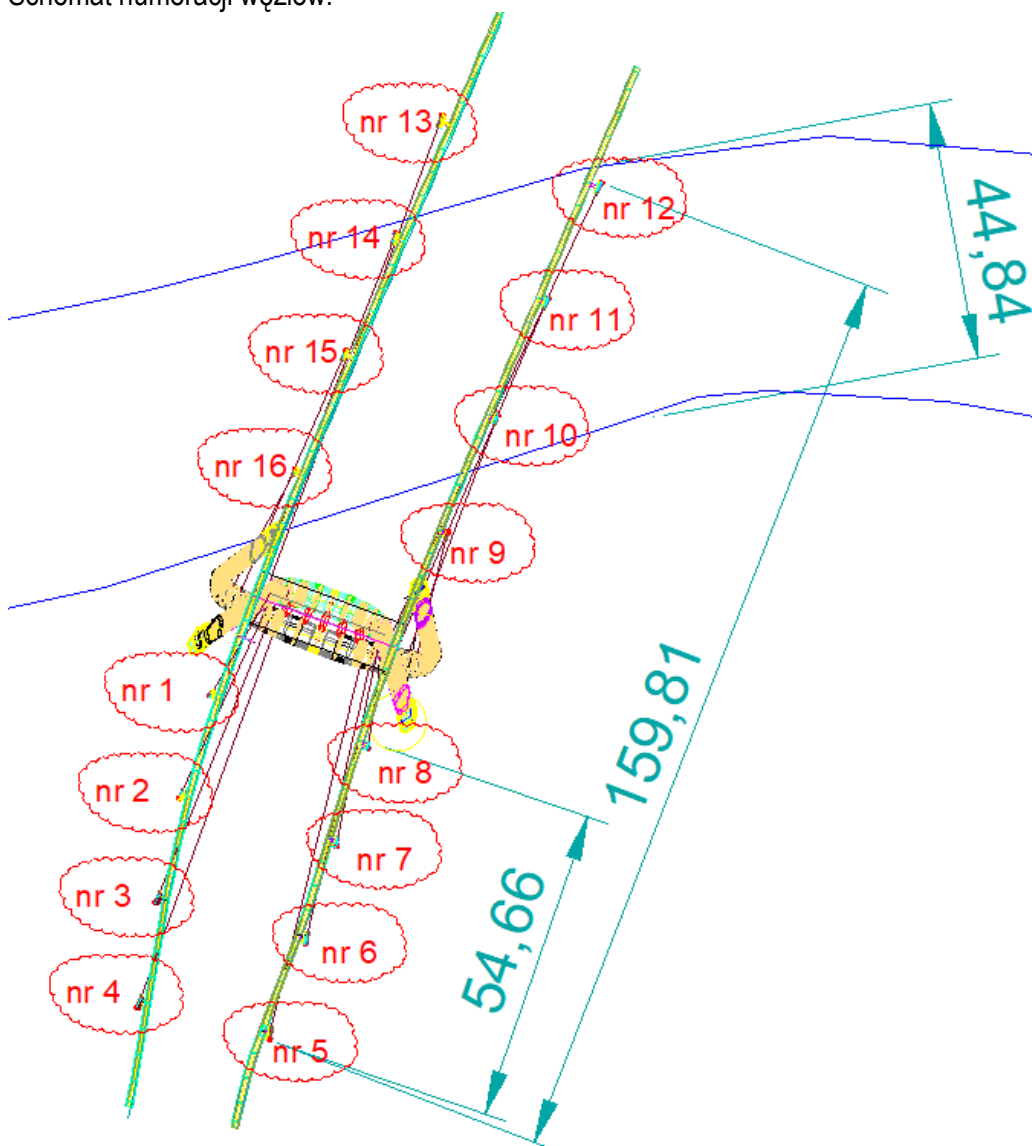
Tabela 5.1. Zestawienie sił w linach podwieszenia podano charakterystyczne siły w wantach pod ciężarem własnym (Cw. pomierzone). Charakterystyczne siły maksymalne dla klasy A i Cw (obliczone). Obliczeniowe siły maksymalne w wantach dla klasy A i Cw (obliczone).

| Nr wanty | char. Cw [kN] | char. Max [kN] | obl. Max [kN] |
|----------|---------------|----------------|---------------|
| 2101 | 9883 | 10283 | 10576 |
| 2102 | 3239 | 4768 | 6504 |
| 2103 | 6660 | 8352 | 10313 |
| 2104 | 8819 | 11653 | 15011 |
| 2111 | 6173 | 8162 | 10347 |
| 2112 | 5167 | 6133 | 7248 |
| 2113 | 9895 | 10932 | 12104 |
| 2114 | 7570 | 8765 | 10067 |
| | | | |
| 2201 | 10440 | 10874 | 11208 |
| 2202 | 3758 | 5270 | 7005 |
| 2203 | 7067 | 8731 | 10684 |
| 2204 | 8045 | 10799 | 14108 |
| 2211 | 5875 | 7879 | 10077 |
| 2212 | 5082 | 6059 | 7189 |
| 2213 | 9924 | 10973 | 12167 |
| 2214 | 8158 | 9515 | 11002 |

6. SKANOWANIE 3D ZAKOTWIEŃ WANT W CELU OKREŚLENIA ICH AKTUALNEJ GEOMETRII

Skanowanie obiektu miało na celu inwentaryzację geometryczną stref zakotwień. Pomiary prowadzono nocą w celu wyeliminowania efektów dynamicznych. Skanowanie można było prowadzić jedynie z terenu wokół mostu. Dlatego nie wszystkie obszary zakotwień zostały udokumentowane. Pozyskane dane geometryczne są pomocne w określeniu przemieszczeń blach. Mapy wraz ze szkicem sytuacyjnym przedstawiono poniżej.

Schemat numeracji węzłów:



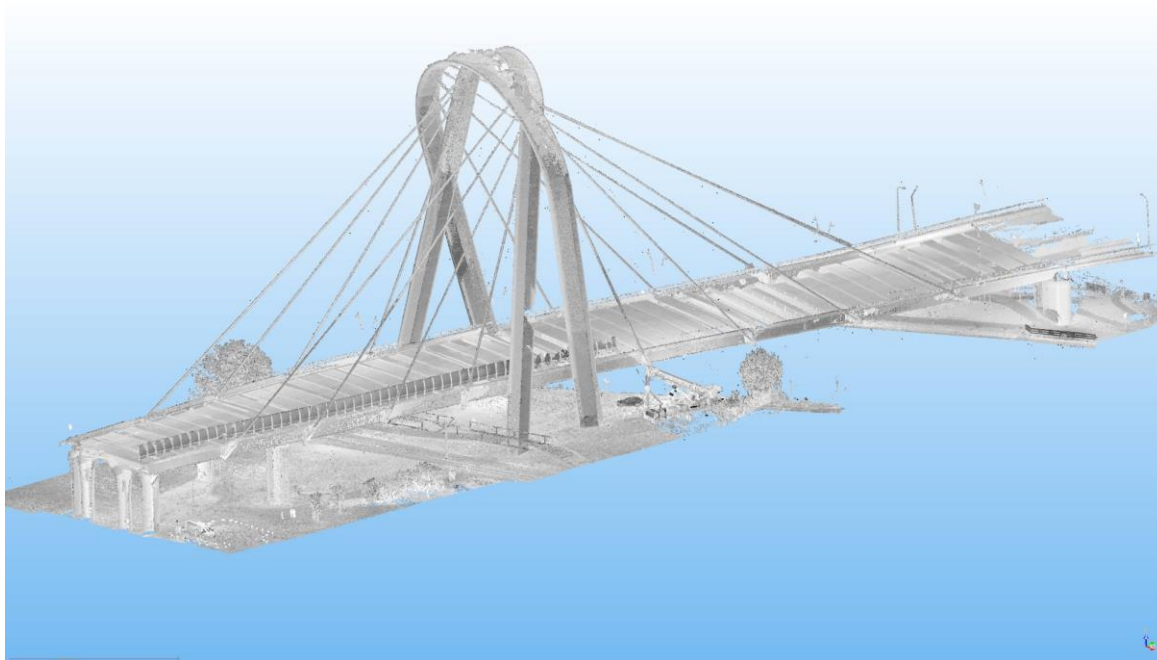
Zwrócono szczególną uwagę na blachy czołowe do których mocowane są rury zakotwienia poprzez żebra podłużne. Blachy ponumerowano zgodnie z powyższym szkicem.

Wykonano pomiary z 18 stanowisk. Połączenie chmur punktów wykonano przy wykorzystaniu 6 kul orientujących. Otrzymana chmura punktów dokumentuje aktualną geometrię mostu.

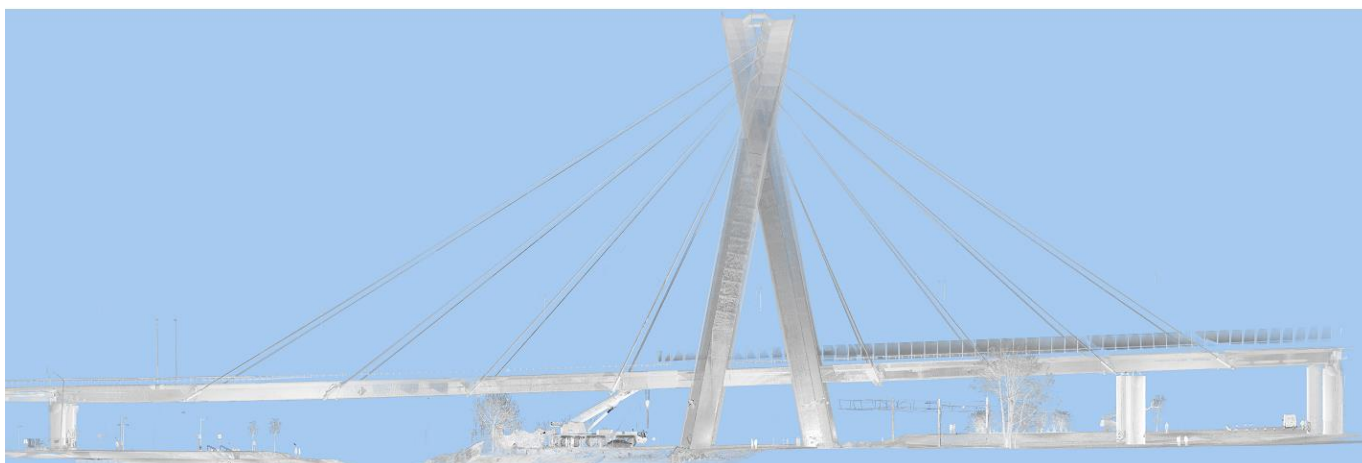


Całość pomiarów wykonano przy pomocy skanera Focus Faro 130X Wizualizacje chmury punktów:

a) Widok 3D



Widok z boku całej most odcienie szarości:

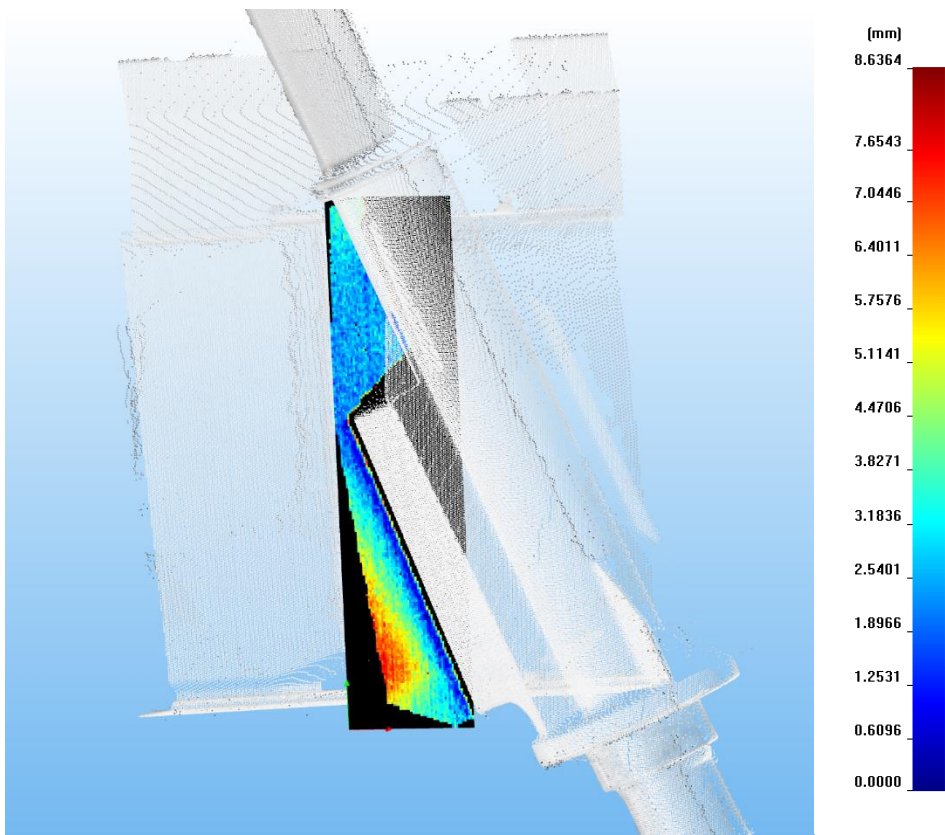


b) Przekrój poprzeczny (widok z południowej strony na północną)

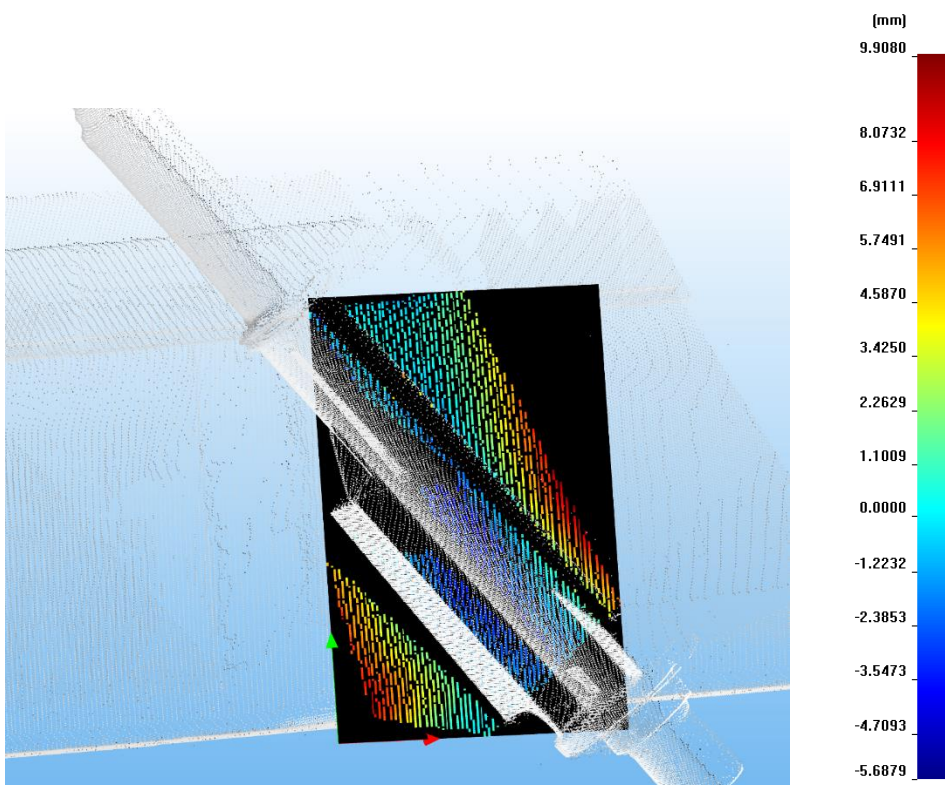


1. Analiza zakotwień:

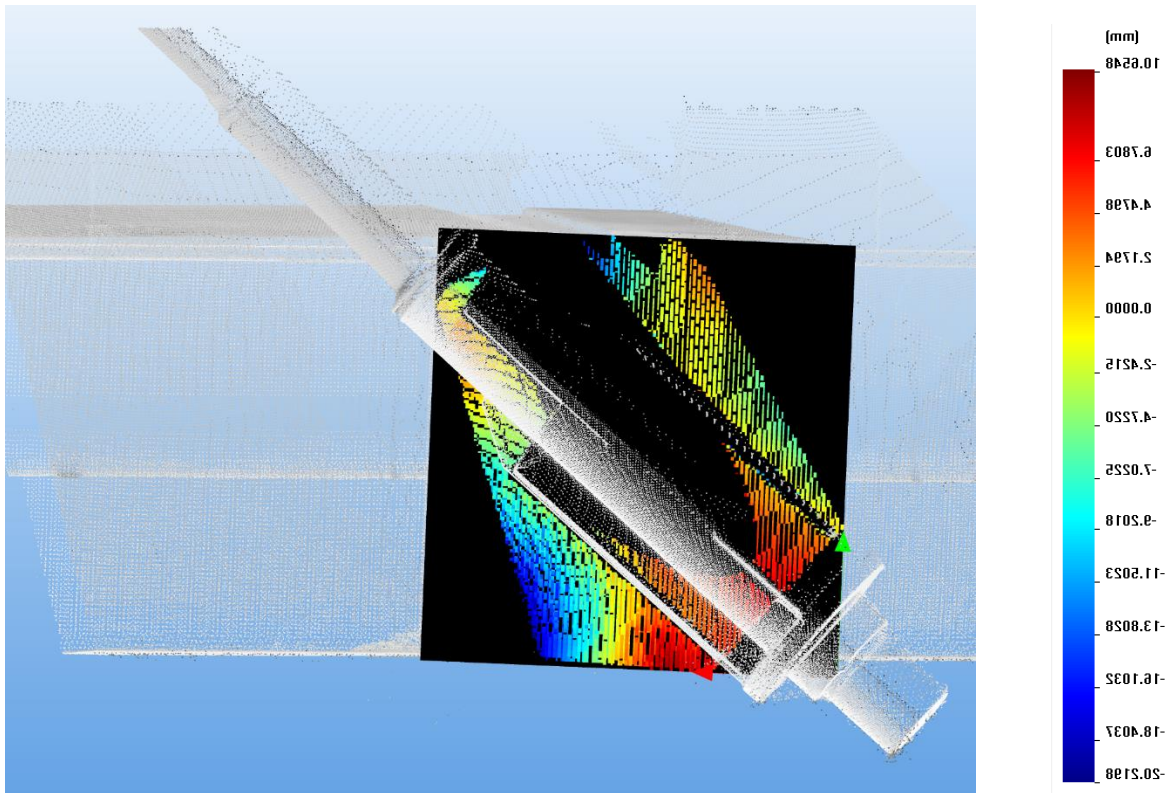
Blacha numer 1:



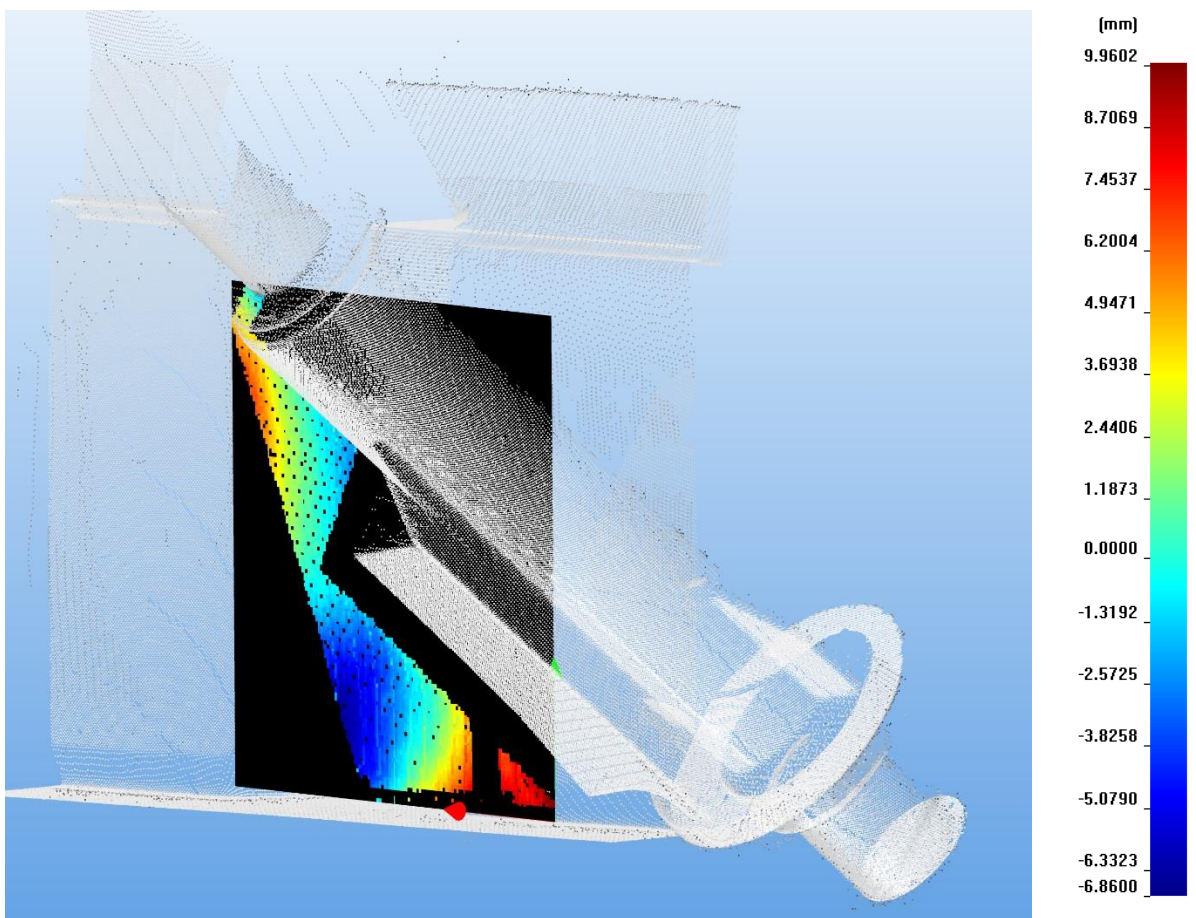
Blacha numer 2:



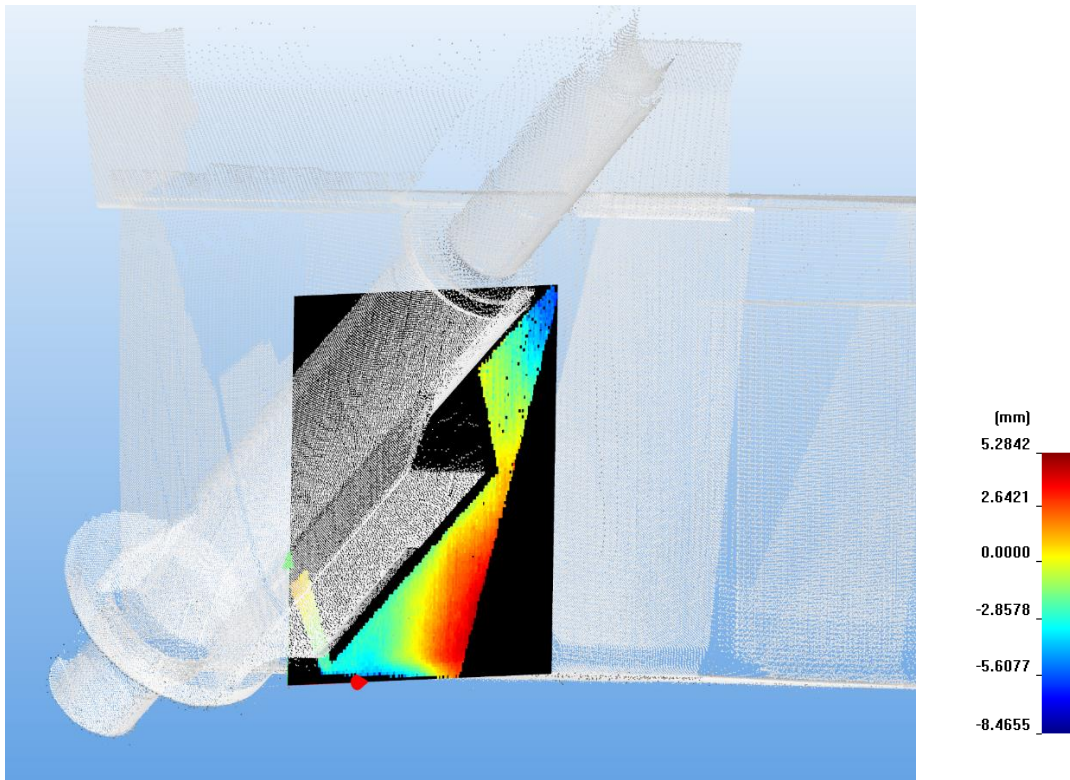
Blacha numer 3:



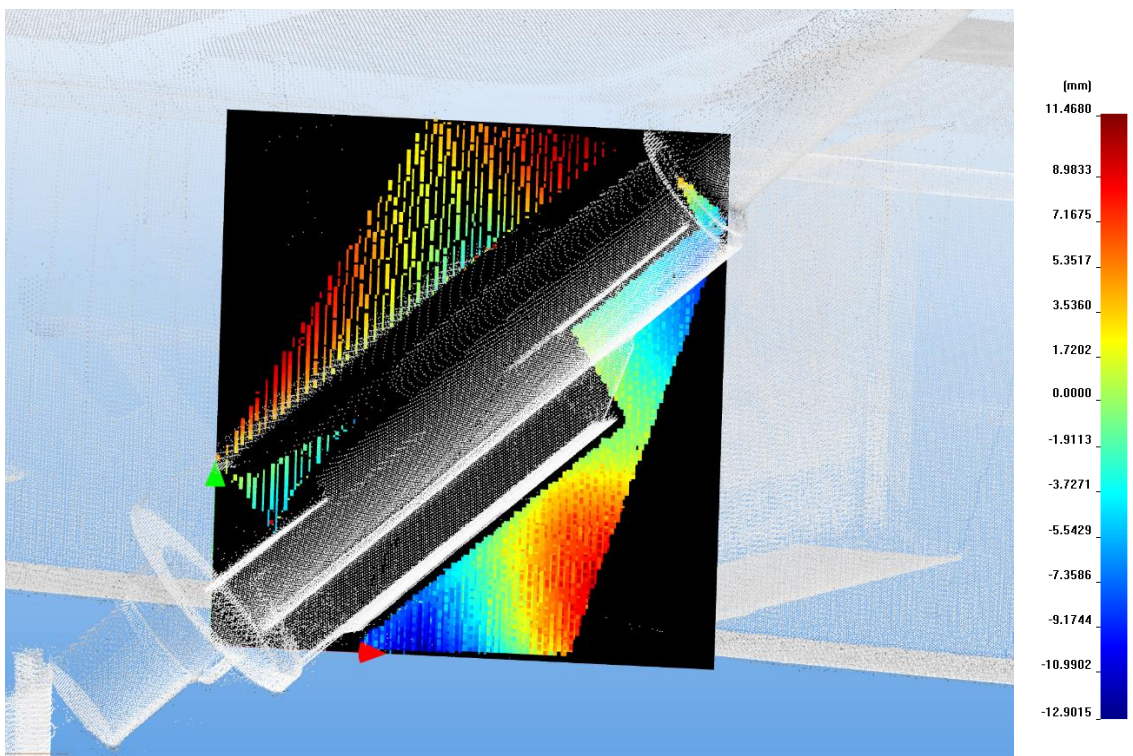
Blacha numer 4:



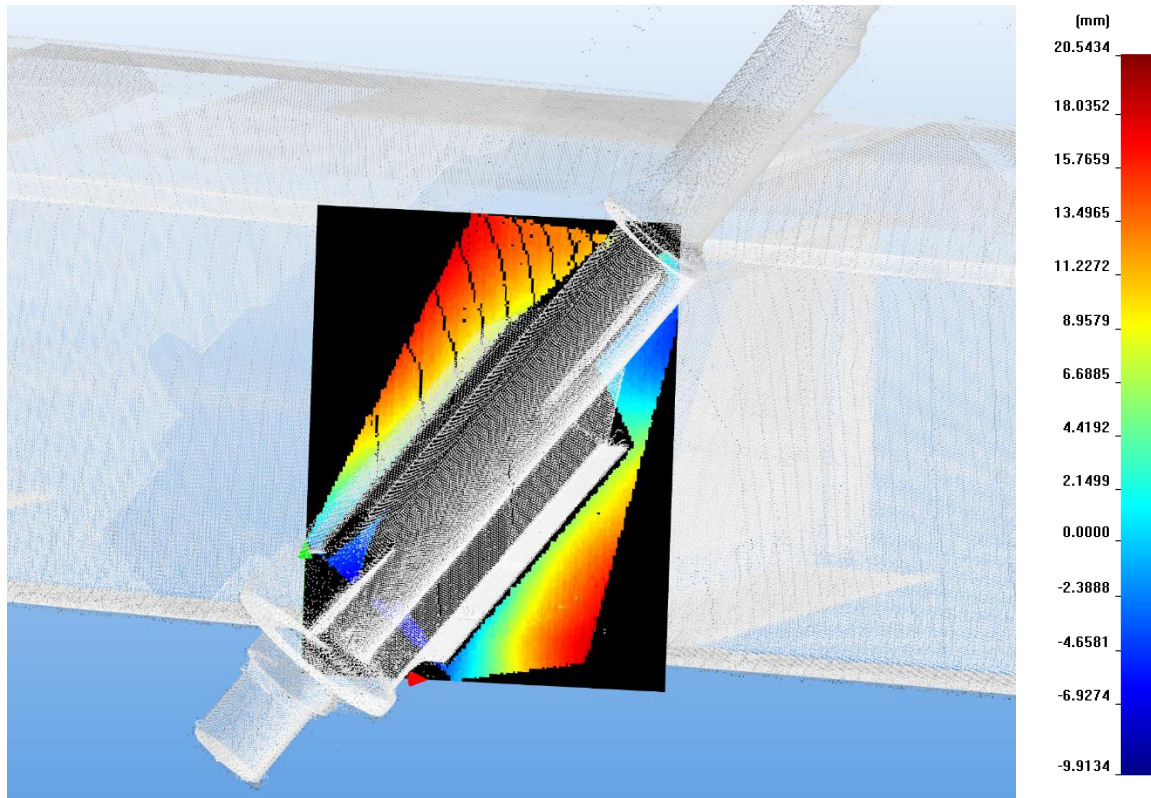
Blacha numer 5:



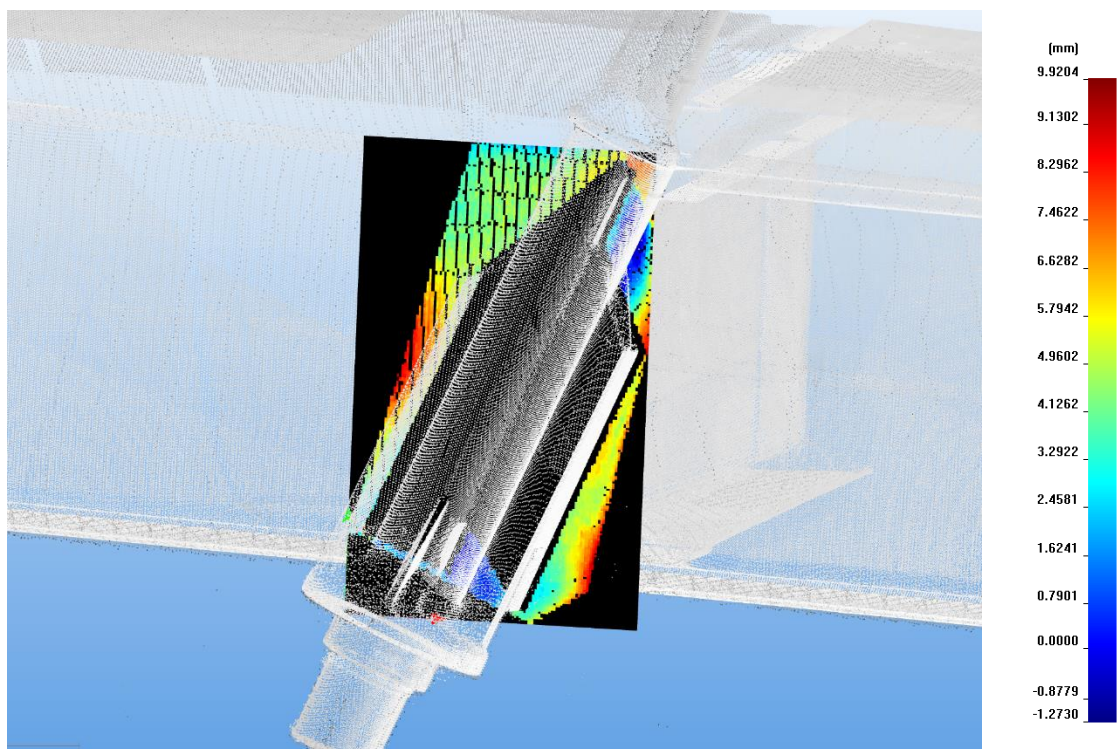
Blacha numer 6:



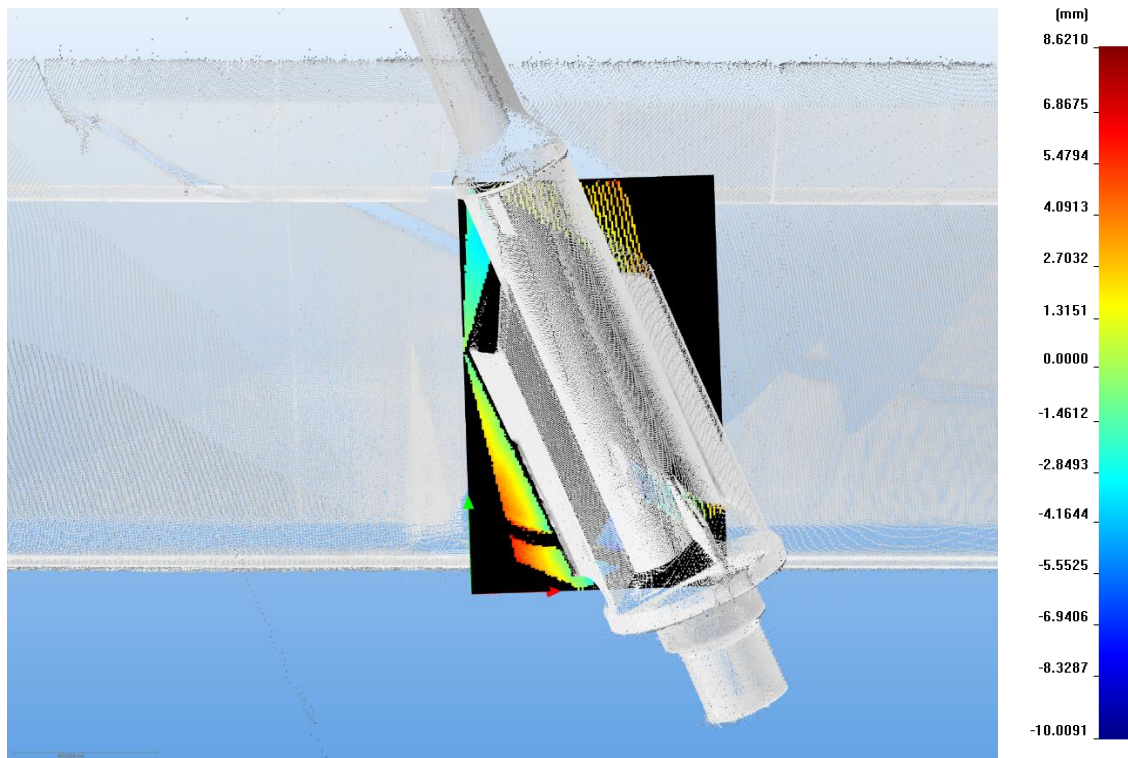
Blacha numer 7:



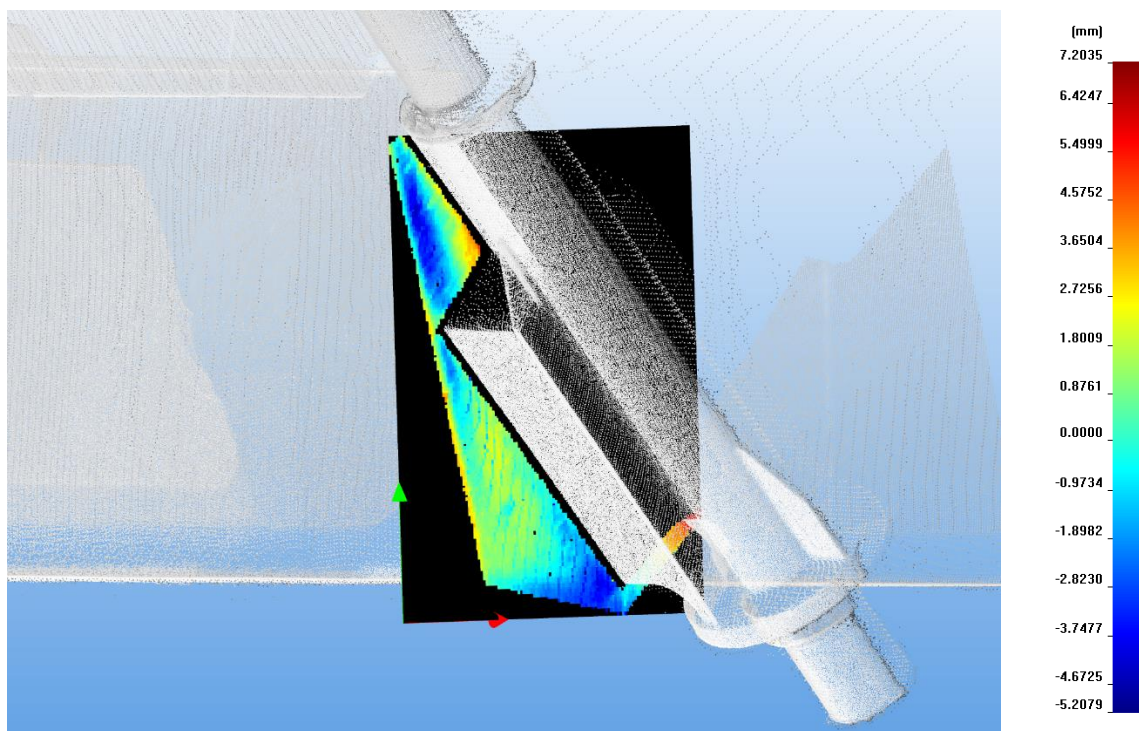
Blacha numer 8:



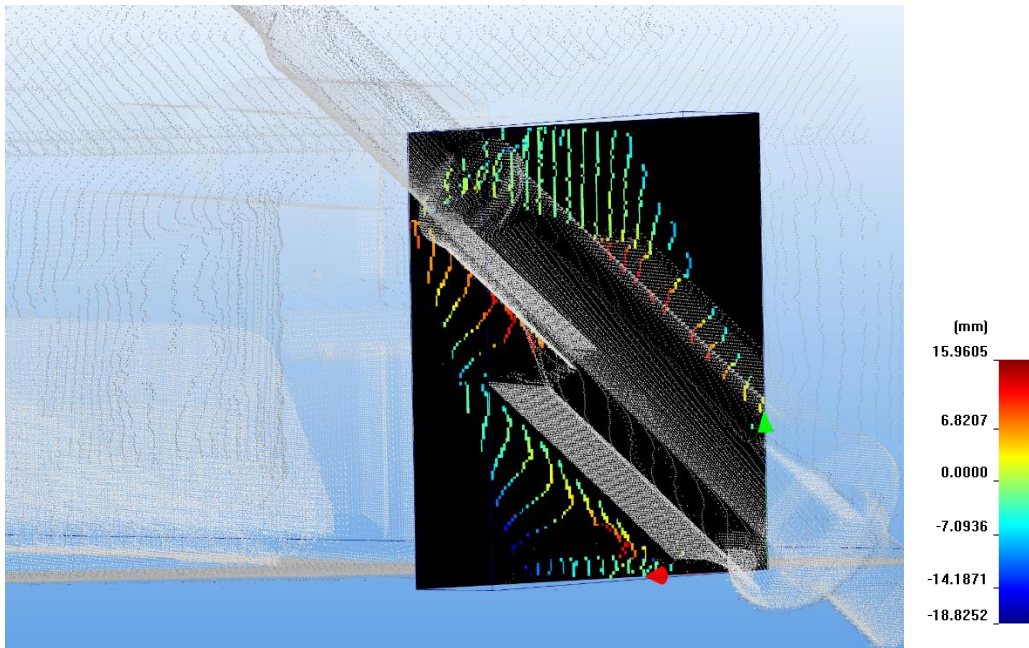
Blacha numer 9:



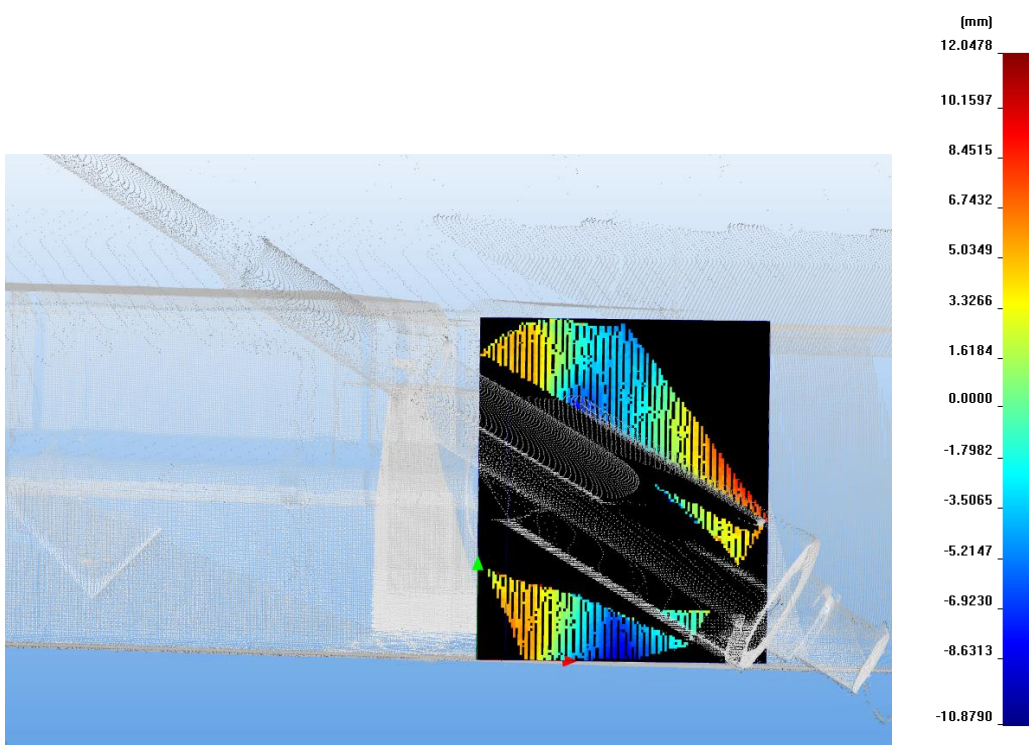
Blacha numer 10:



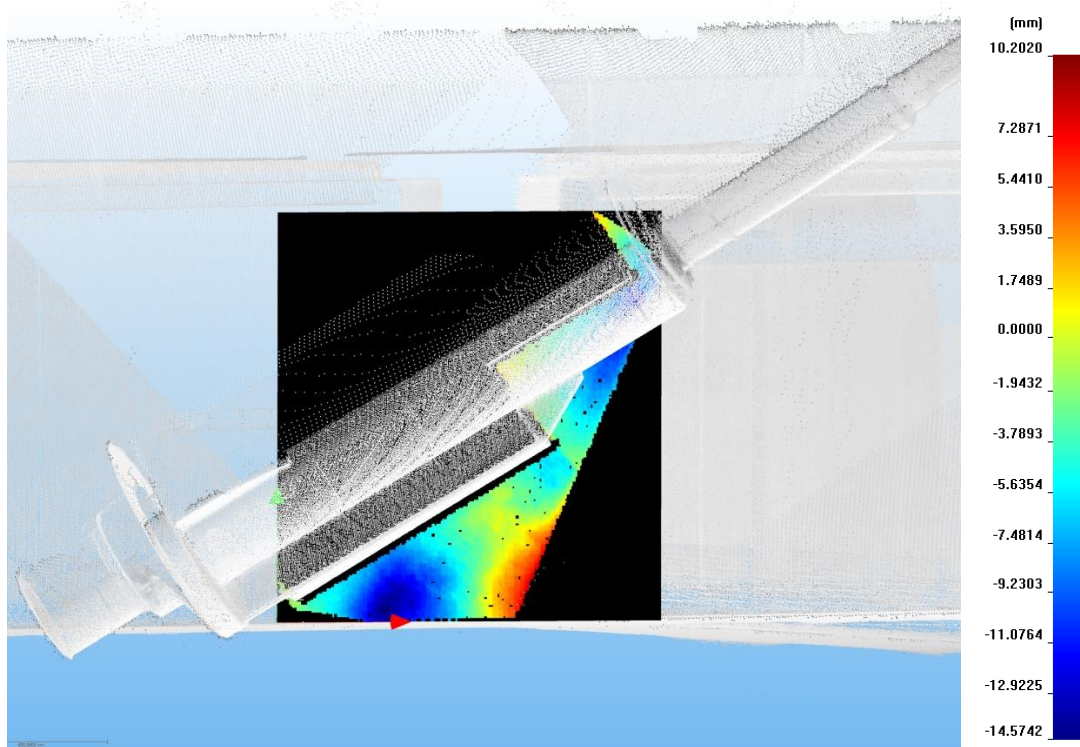
Blacha numer 11:



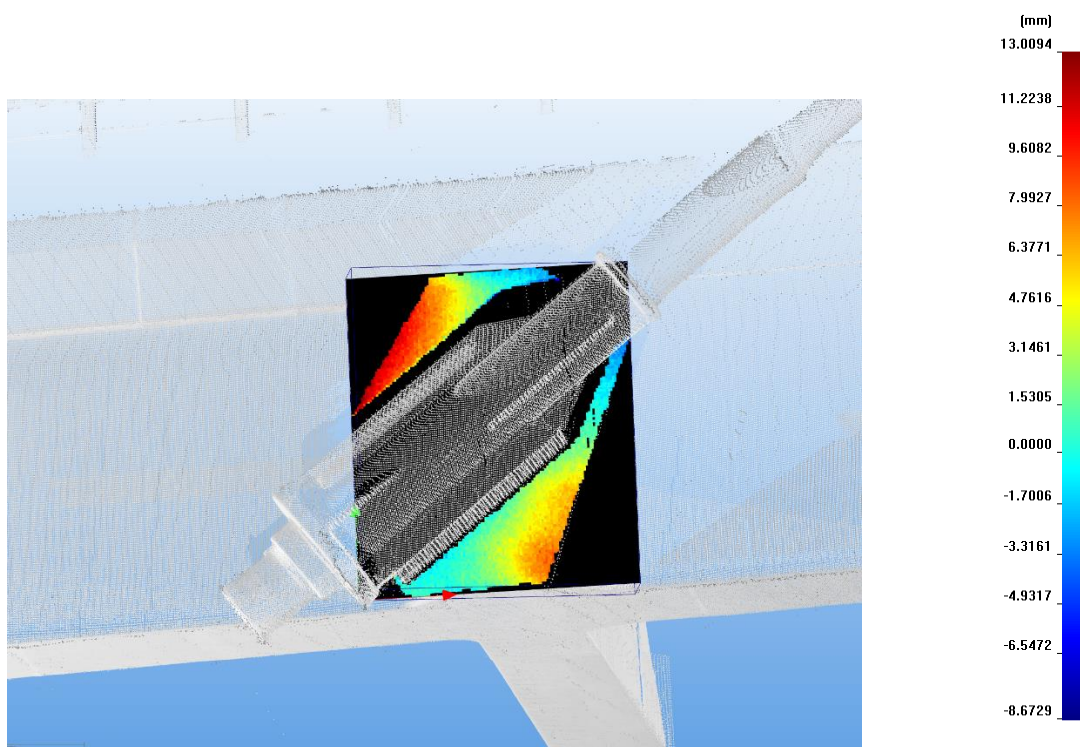
Blacha numer 12:



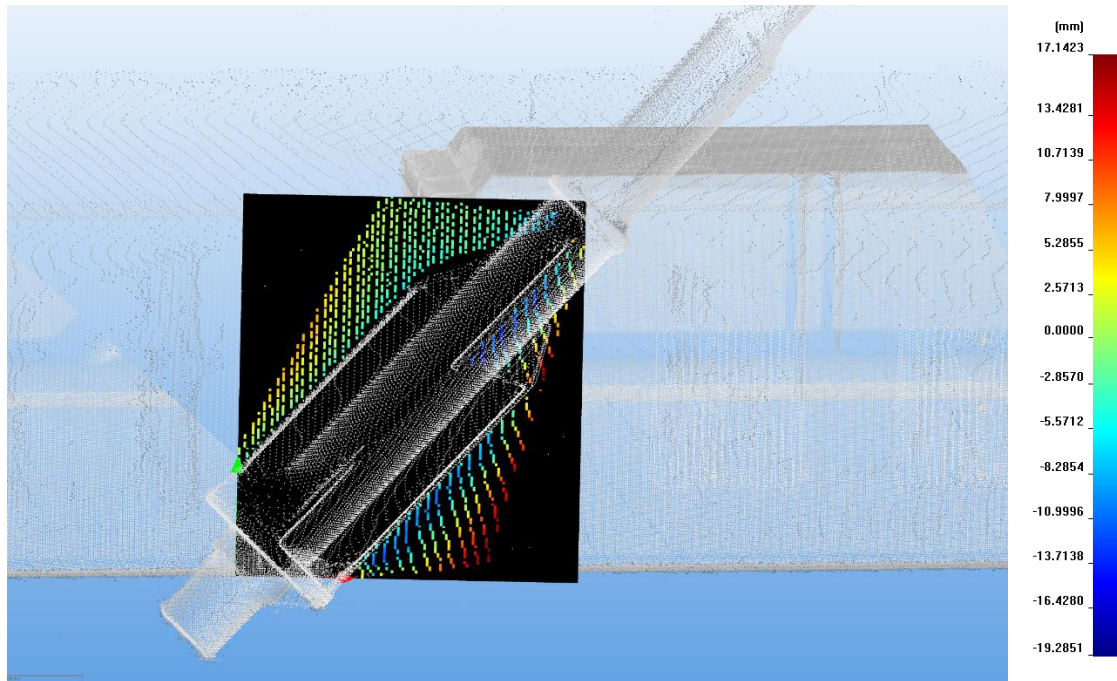
Blacha numer 13:



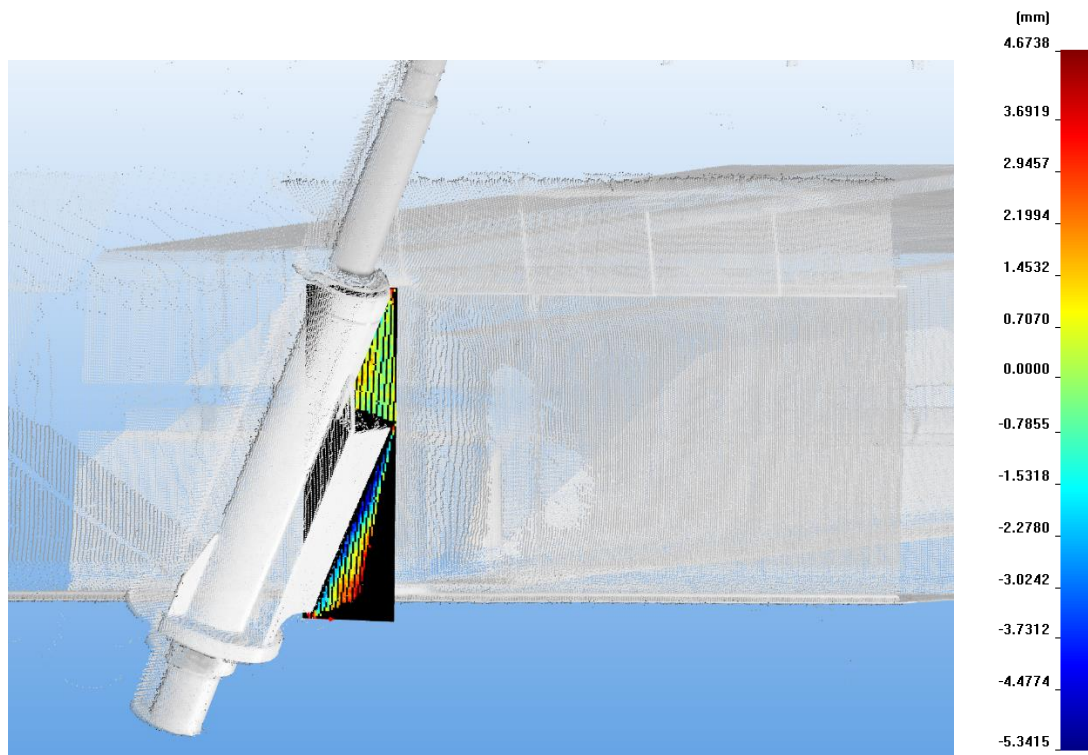
Blacha numer 14:



Blacha numer 15:



Blacha numer 16:

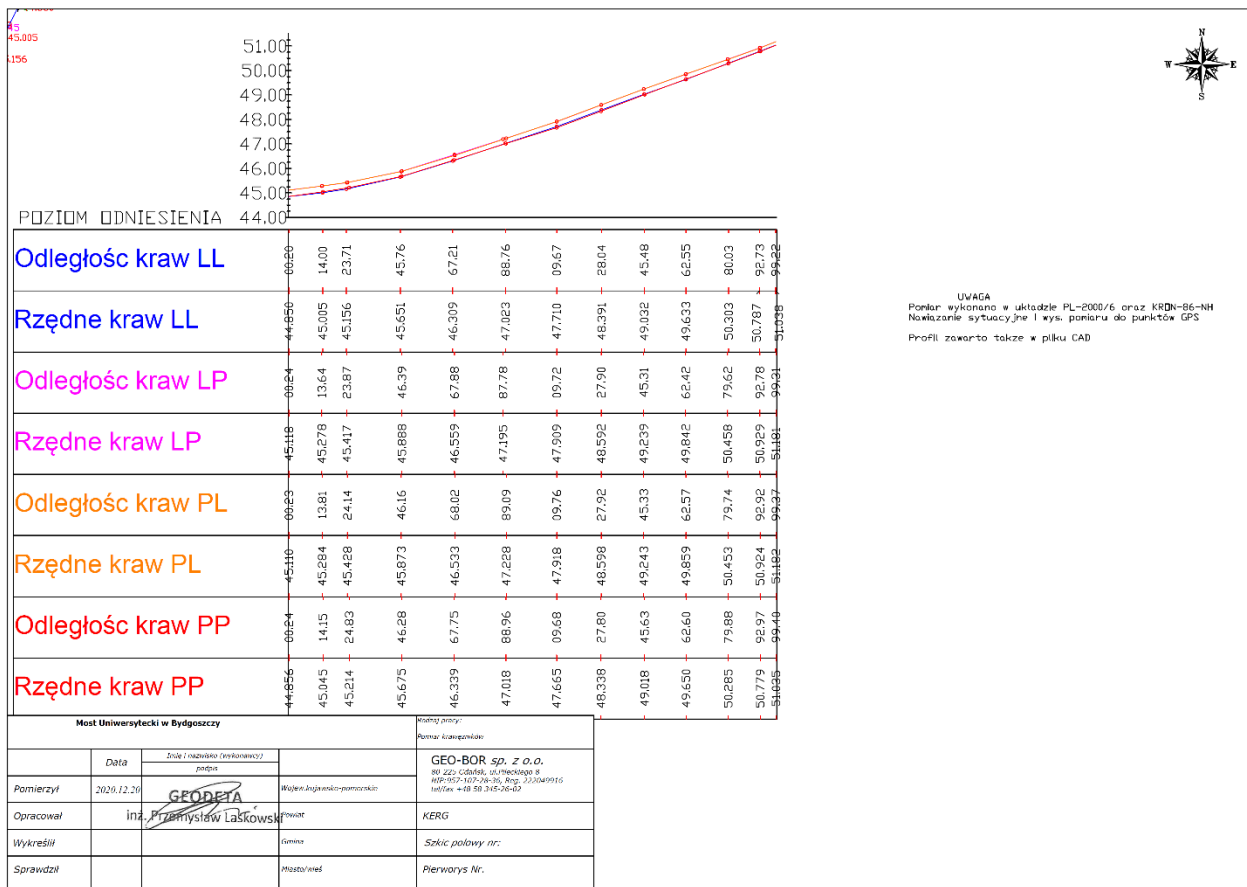


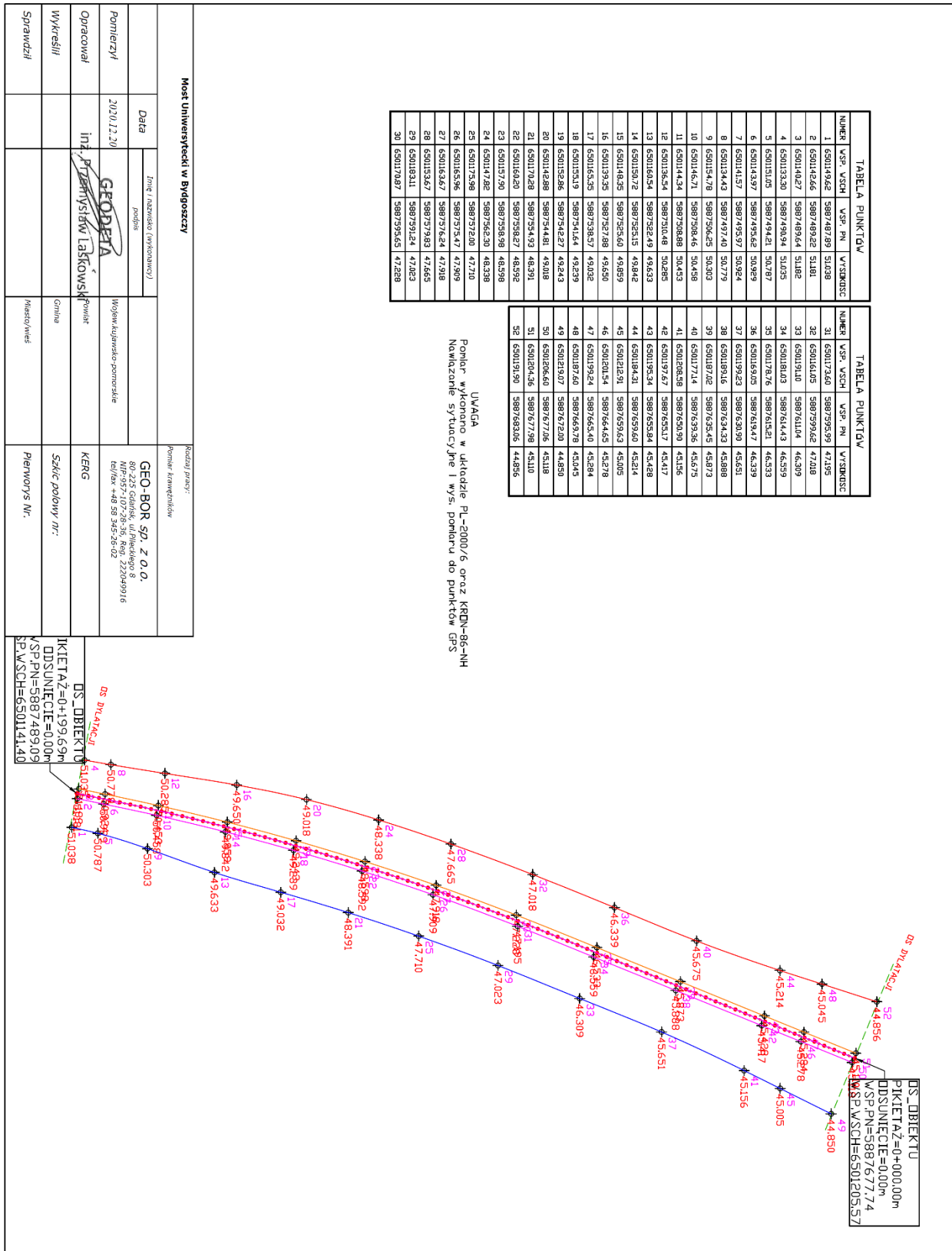
7. WYKONANIE NIWELACJI POMOSTU W CELU ODTWORZENIA AKTUALNEGO KSZTAŁTU (NIWELETY)

Pomiar wykonano w godzinach 20.00-23.00, przy temp 2 stopni Celjusza i 85 proc wilgotności. Pomiar na górze krawężników (górze fazy od strony asfaltu, czyli około 4cm od krawędzi asfaltu, wysokościowo góra krawężnika). Pomiaru nawiązano do państwowego układu przez zamierzenie GPS.

Ruch na moście nie został zamknięty. Starano się mierzyć bez obecności dużej ilości aut. W czasie pomiaru na środku prześła ugięcia podczas przejazdów aut osobowych nie przekraczały 2-3 mm. Dlatego dla podniesienia precyzji wykonywano kilka pomiarów do uśrednienia.

Pomiar wykonano z dwóch stanowisk na końcach mostu na filarach w pobliżu dylatacji poza obiektem podwieszonym.





8. INSPEKCJA SKRZYNEK DŹWIGARÓW GŁÓWNYCH

W dniu 2.12.2020 dokonano przeglądu skrzynek dźwigarów głównych mostu. (rys. 8.1, 8.3.). Stwierdzono silne zanieczyszczenie odchodami ptaków stref wejściowych od strony PKS oraz szereg miejsc występowania drobnych nalotów korozyjnych. Naloty korozyjne mają charakter powierzchniowy i obecnie stanowią problem „kosmetyczny”.

Nie stwierdzono widocznych gołym okiem oznak uszkodzeń lub przeciążeń konstrukcji.



Rys. 8.1. Konstrukcja wewnątrz skrzynek mostu. Widoczne drobne naloty korozyjne.



Rys. 8.2. Konstrukcja wewnątrz skrzynek mostu. Poprawki malarskie



Rys. 8.3. Konstrukcja wewnątrz skrzynek mostu. Widoczne drobne naloty korozyjne

W trakcie inspekcji zauważono objawy przeciążenia na łożysku stałym od strony PKS (rys. 8.4 8.6)



Rys. 8.4. Oznaki przeciążenia łożyska stałego od strony PKS

Zalecenia:

Po wykonaniu wzmocnień stref zakotwień należy wykonać poprawki malarskie wewnątrz skrzynek.

Należy zamknąć wejścia do skrzynek tak, aby nie miały tam dostępu ptaki.

Należy obserwować łożysko stałe od strony PKS. Działania naprawcze należy uzależnić od wyniku obserwacji.

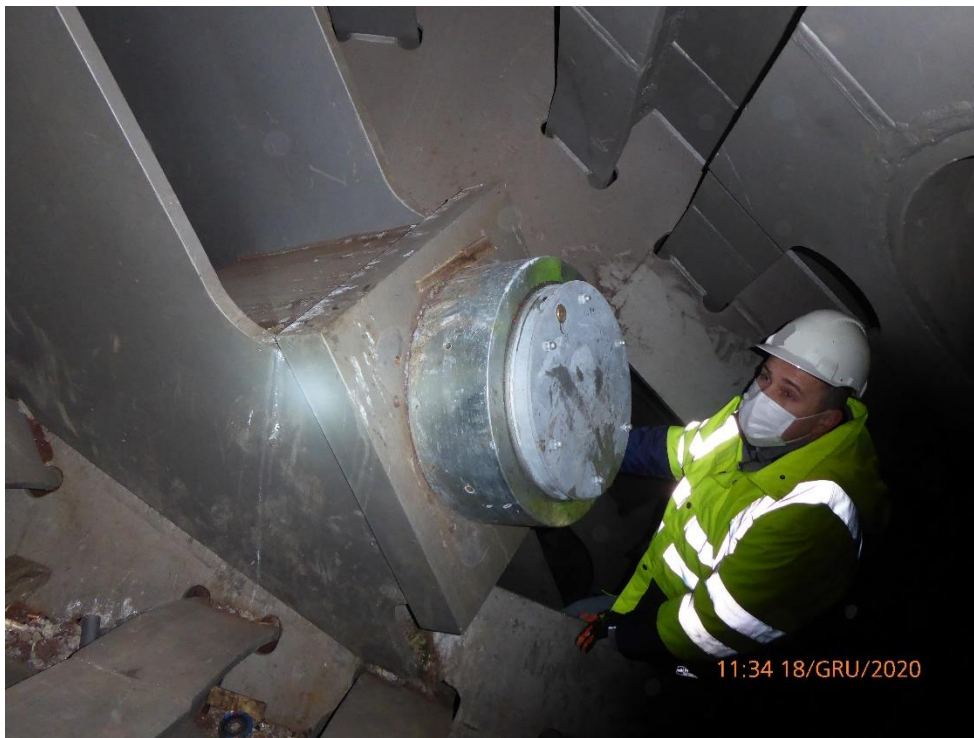
9. INSPEKCJA PYLONU

W dniu 19.12.2020 przeprowadzono inspekcję pylonu. Dokonano przeglądu konstrukcji wewnątrz. Stwierdzono występowanie niewielkich obszarów z nalotem korozyjnym. Zwrócono szczególną uwagę na strefy zakotwień want. Wybrane fotografie zamieszczono poniżej.

Nie stwierdzono widocznych gołym okiem oznak uszkodzeń lub przeciążeń konstrukcji.



Rys. 9.1. Konstrukcja płaszczu pylonu z widocznymi obszarami z nalotem korozyjnym (wybrany przykład)



Rys. 9.2. Konstrukcje zakotwień want. Widoczne drobne nacieki korozyjne na blachach i spoinach.

Nie stwierdzono widocznych gołym okiem oznak uszkodzeń lub przeciążeń konstrukcji.

Nie stwierdzono widocznych gołym okiem oznak uszkodzeń głowic want

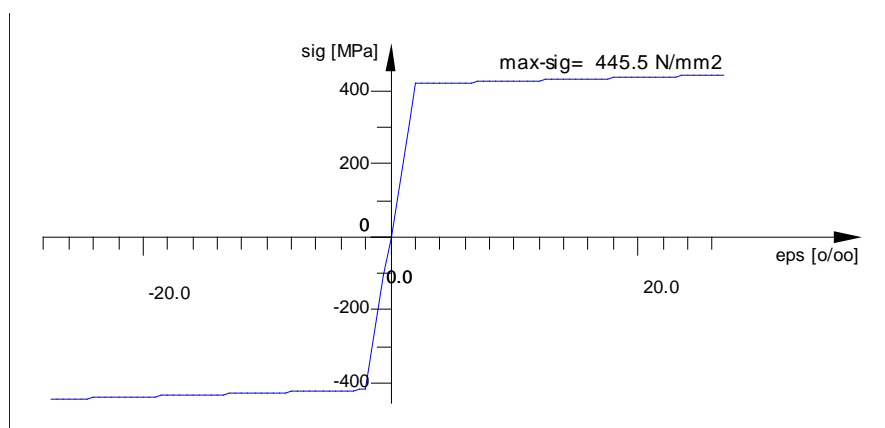
Naloty korozyjne mają charakter powierzchniowy i obecnie stanowią problem „kosmetyczny”.

Zalecenia:

Należy wysprzątać konstrukcję wewnątrz i dokonać poprawek malarskich.

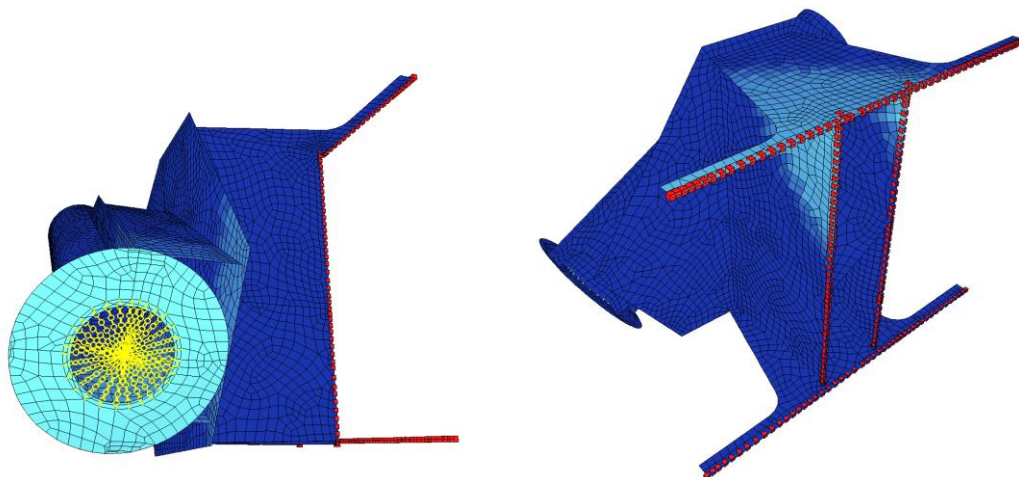
10. OCENA NOŚNOŚCI ZAKOTWIEŃ

Ocenę nośności zakotwień przeprowadzono na podstawie obliczeń numerycznych detali węzłów zakotwień. Każdy węzeł był modelowany powłokowo z zachowaniem wymiarów warsztatowych. Na etapie ekspertyzy przeanalizowano węzły jako elementy zamocowane do dźwigarów. Nie uwzględniono podatności dźwigara w ocenie nośności. Do analizy przyjęto teoretyczny model materiały odpowiadający stali S420M, pokazany na rysunku poniżej (rys.6.1)



Rys. 10.1. Teoretyczny model materiału zastosowany w analizach.

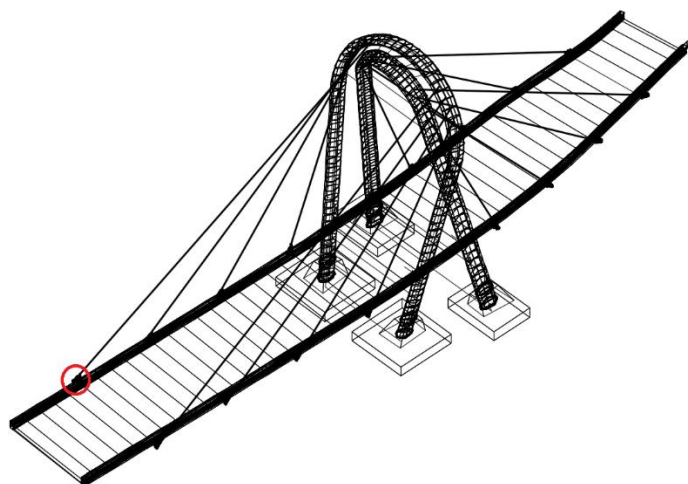
Całość zakotwień modelowano elementami powłoki cienkiej typu QUAD4.



Rys. 6.2. Model MES zakotwienia z typowym układem warunków brzegowych i sposobem obciążania.

Warunku brzegowe pokazano na rys. 6.2. Wycinek konstrukcji analizowano jako utwierdzony w oznaczonych miejscach odpowiadających połączeniu z dźwigarem. Obciążenia przykładano do pierścienia oporowego w postaci siły skupionej w węzle sprężniętym kinematycznie z obwodem pierścienia (rys. 6.2). We wszystkich analizach mnożnik obciążenia o wartości 1 odpowiada maksymalnej obliczeniowej sile w wancie dla wszystkich obciążeń stałych i obciążenia klasy A wg PN. W dalszych analizach związanych z projektowaniem wzmocnienia rozszerzono zakres modelu o część dźwigara stalowego.

10.1 Zakotwienie nr 2101



Rys. 10.1.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|-------|-----------|-------|
| 2101 | | 9883 | | 10283 | | 10576 |

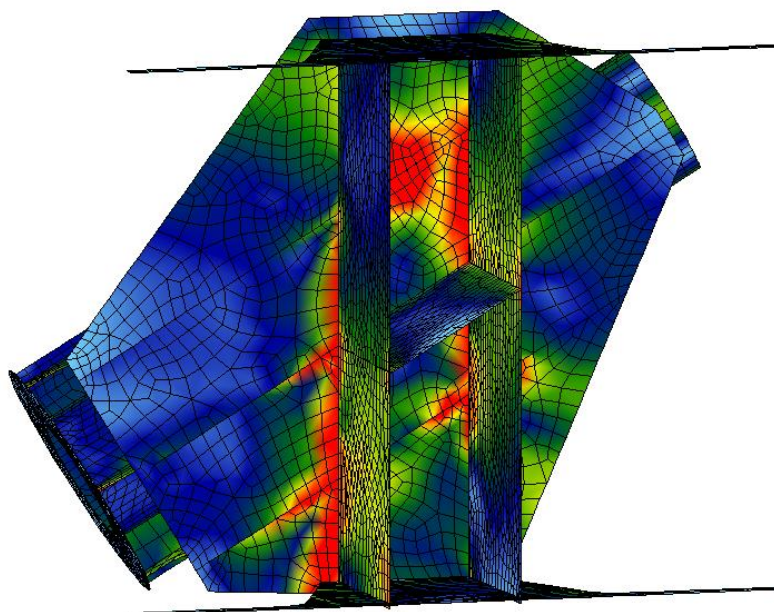
Tab.6.1.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

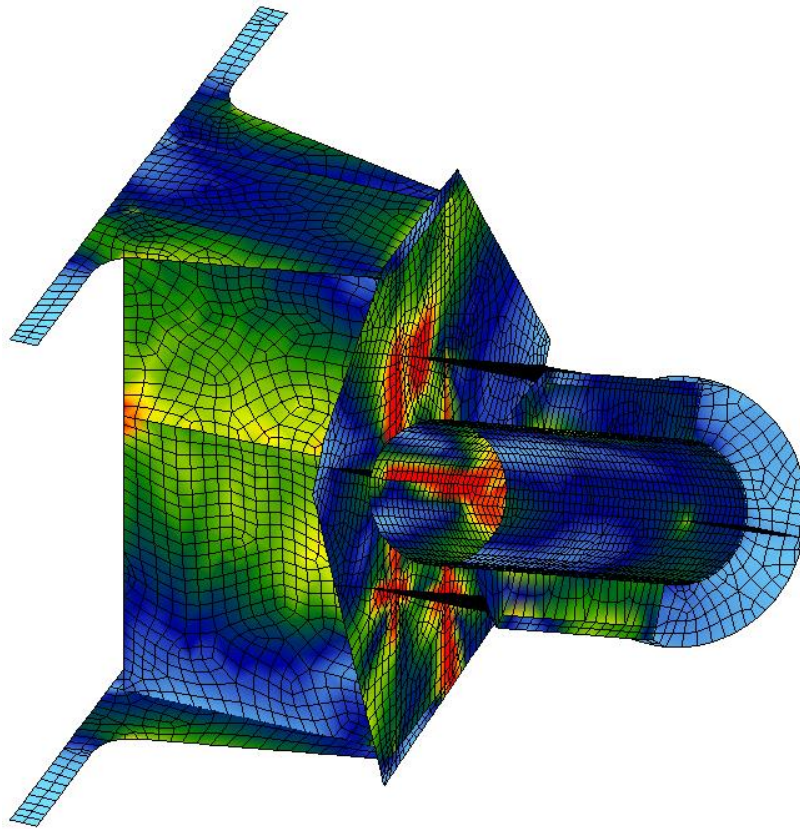
Liczba splotów: 91

Stal: Y 1860

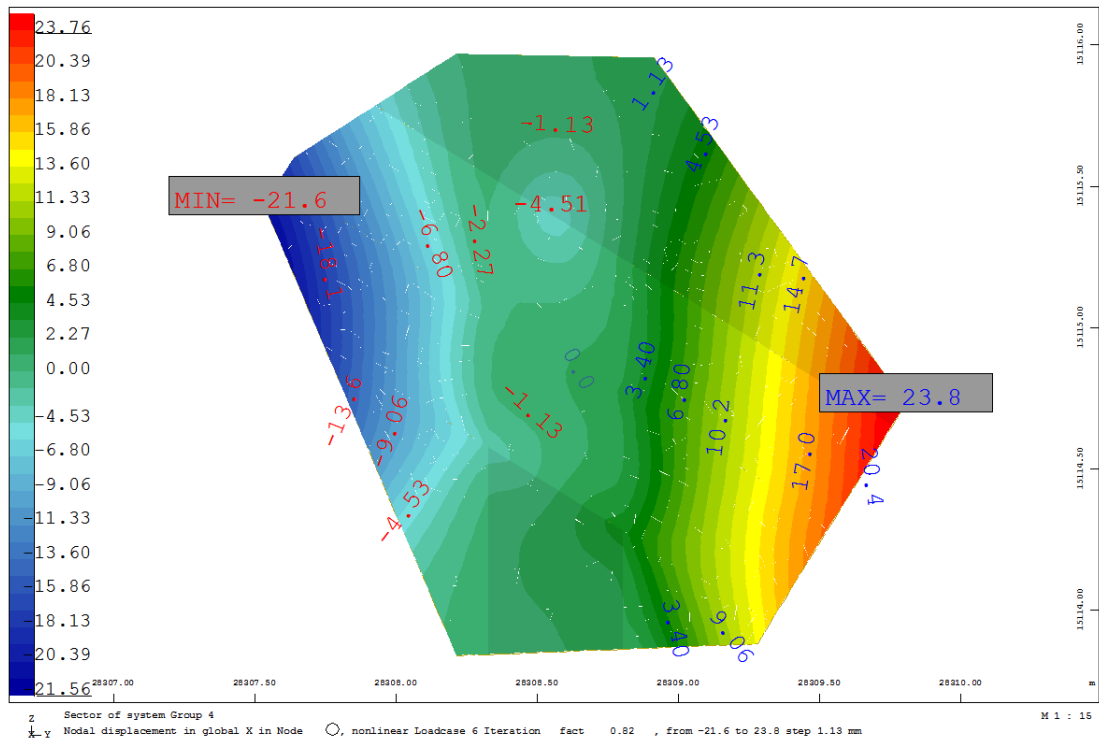
Siła zrywająca [kN]: 25389



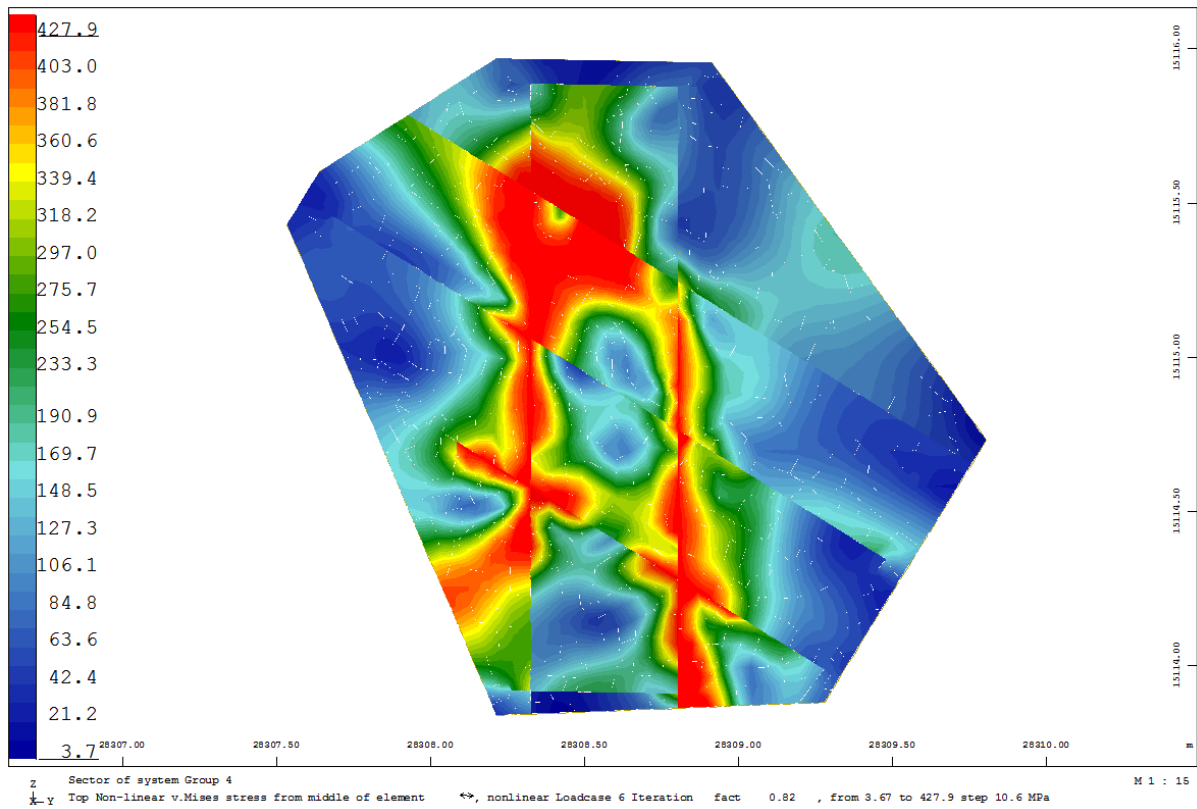
Rys.10.1.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



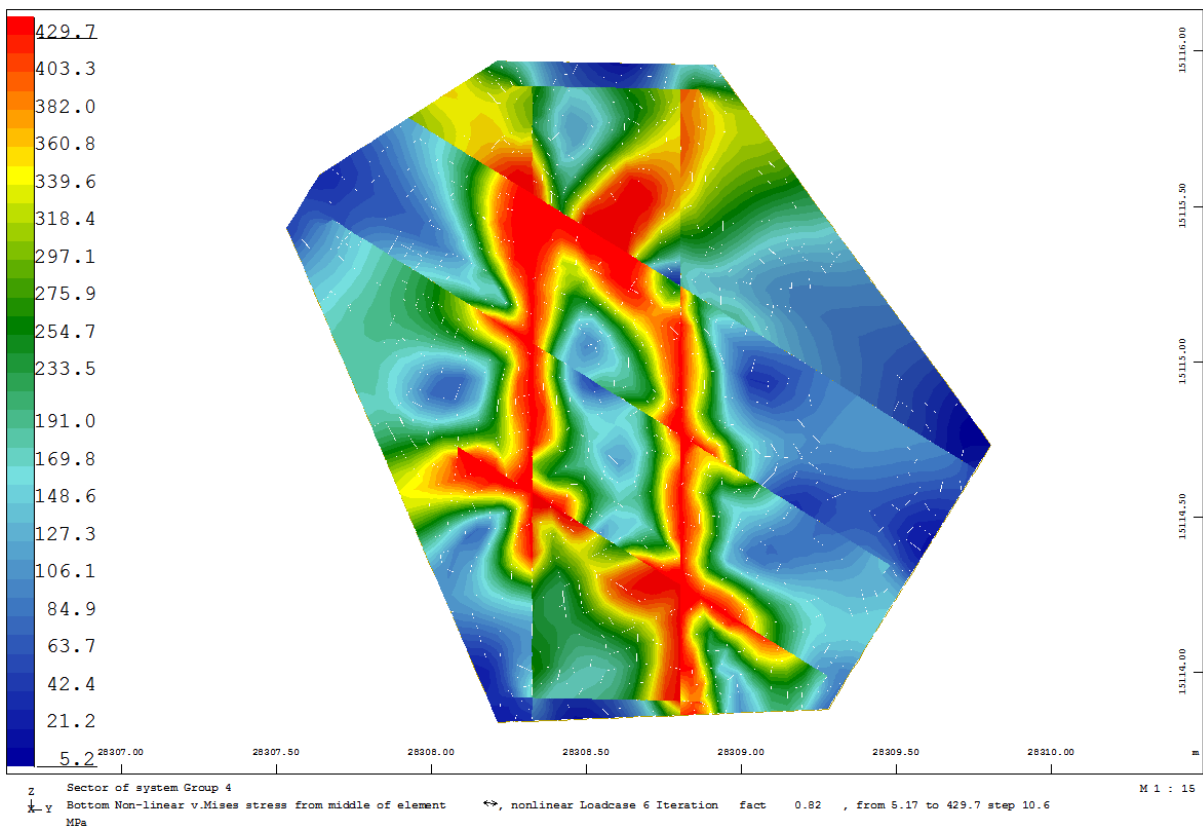
Rys. 10.1.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



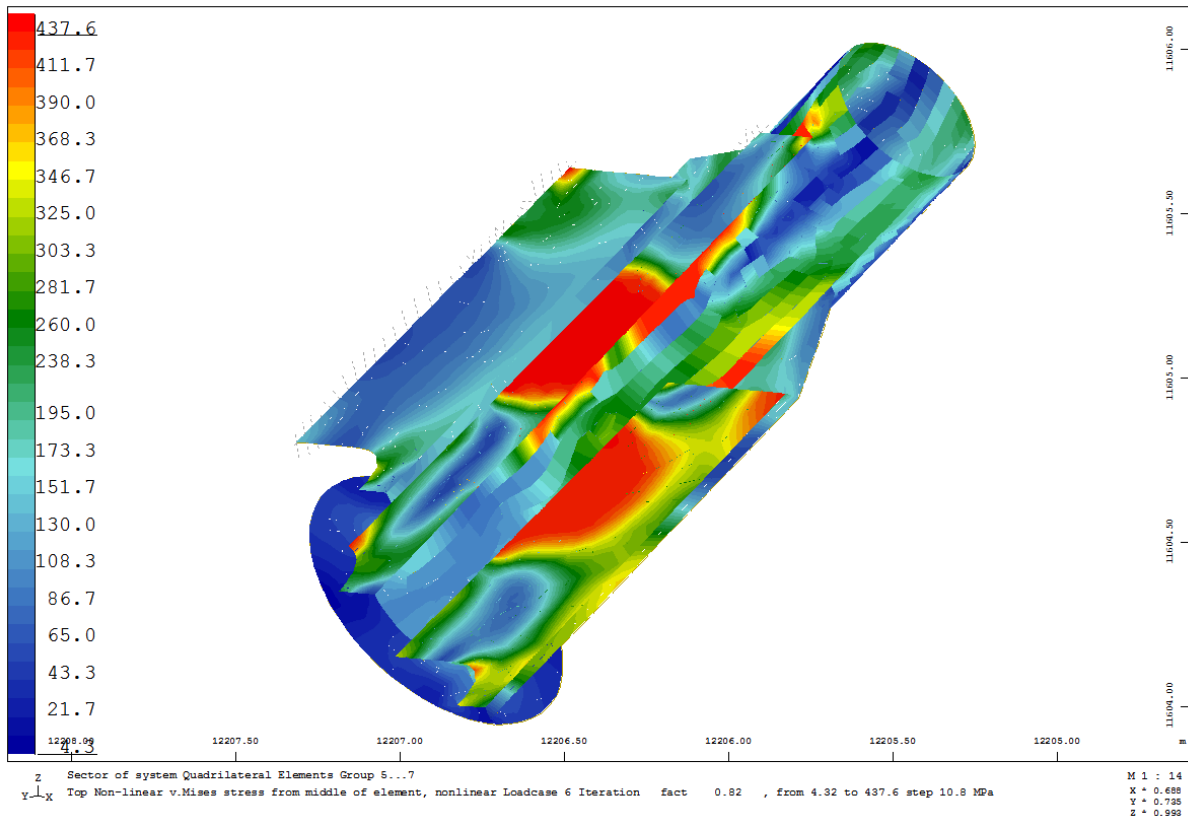
Rys. 10.1.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



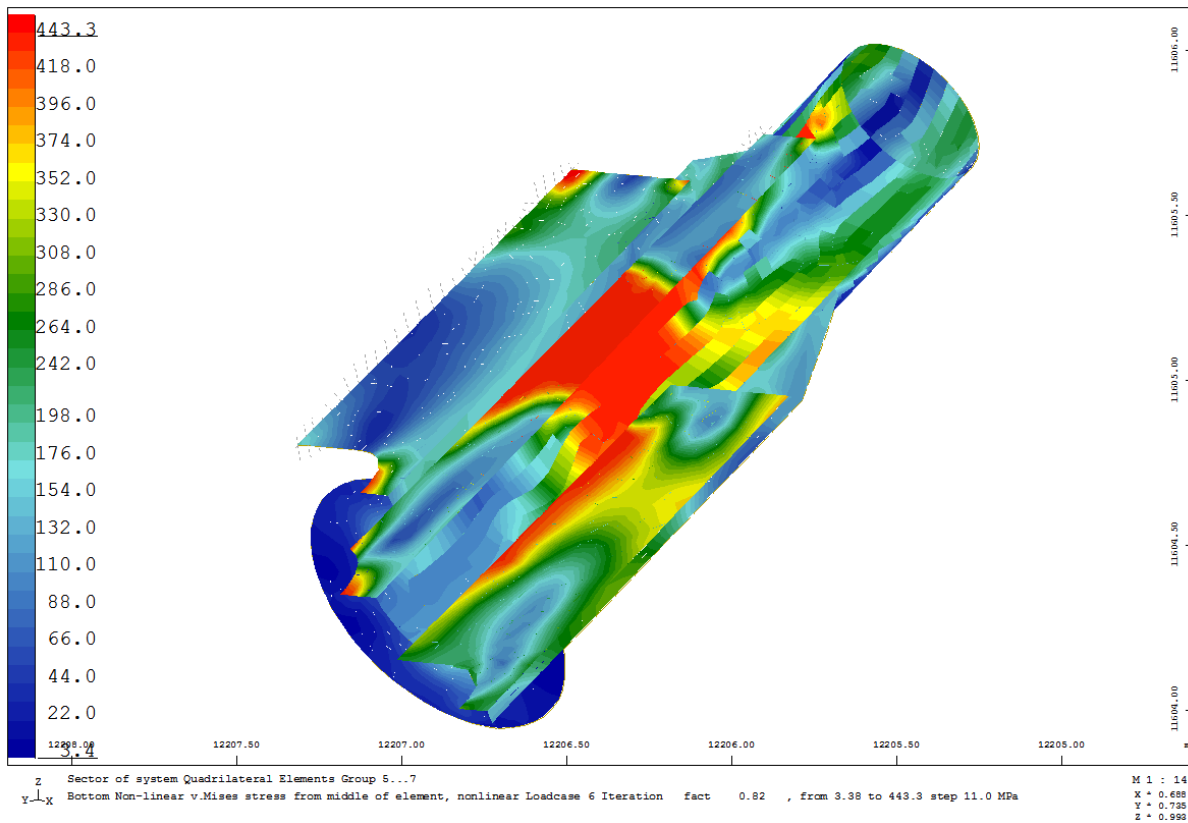
Rys. 10.1.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.1.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.1.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.1.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

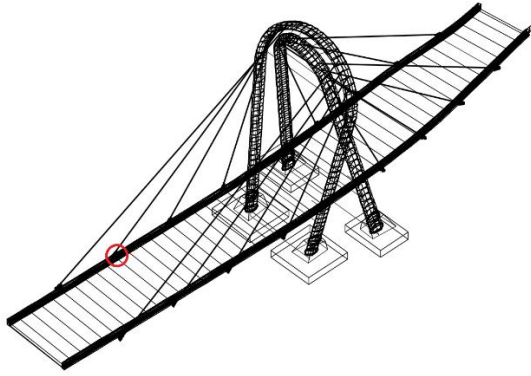


Rys. 10.1.9. Wykres siła-przemieszczenie. (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 34390 |
| number of plastified gausspoints: | 3205 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 455.00 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 39.71 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -36.30 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 28.11 [o/oo] |

Tab. 10.1.2. Raport z analizy

10.2. Węzeł 2102



Rys. 10.2.1.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|------|
| 2102 | | 3239 | | 4768 | | 6504 |

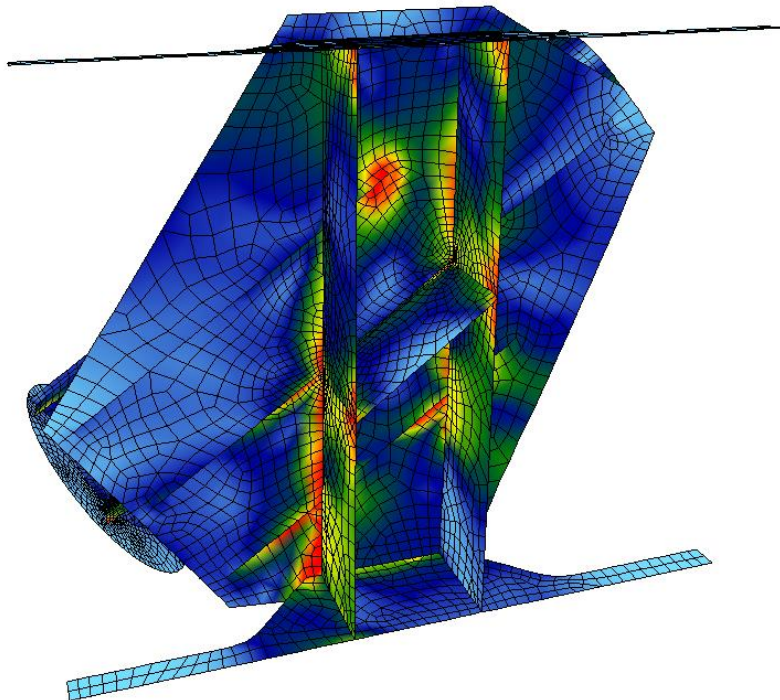
Tab. 10.2.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

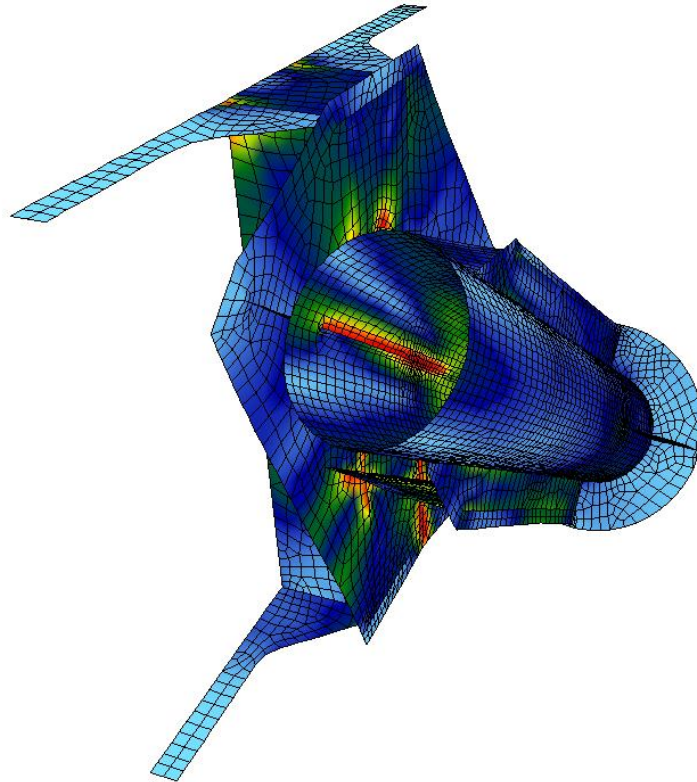
Liczba splotów: 91

Stal: Y 1860

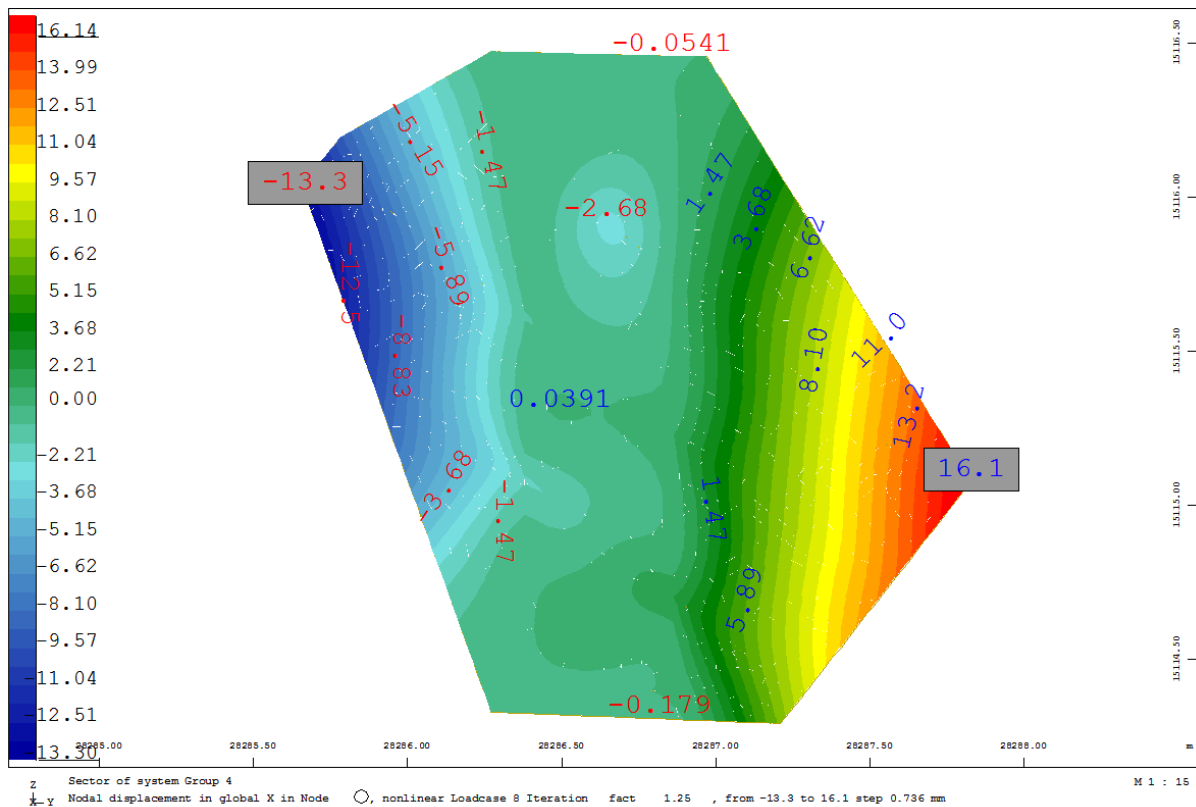
Siła zrywająca [kN]: 25389



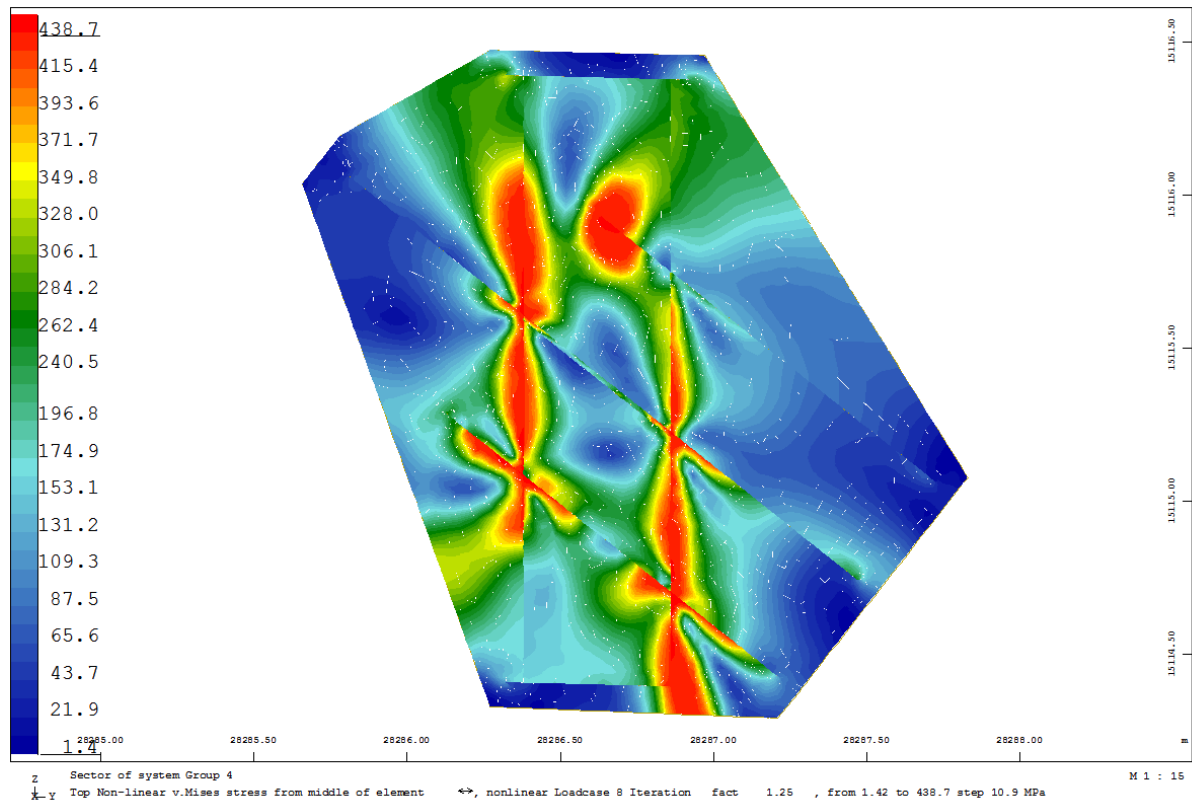
Rys. 10.2.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



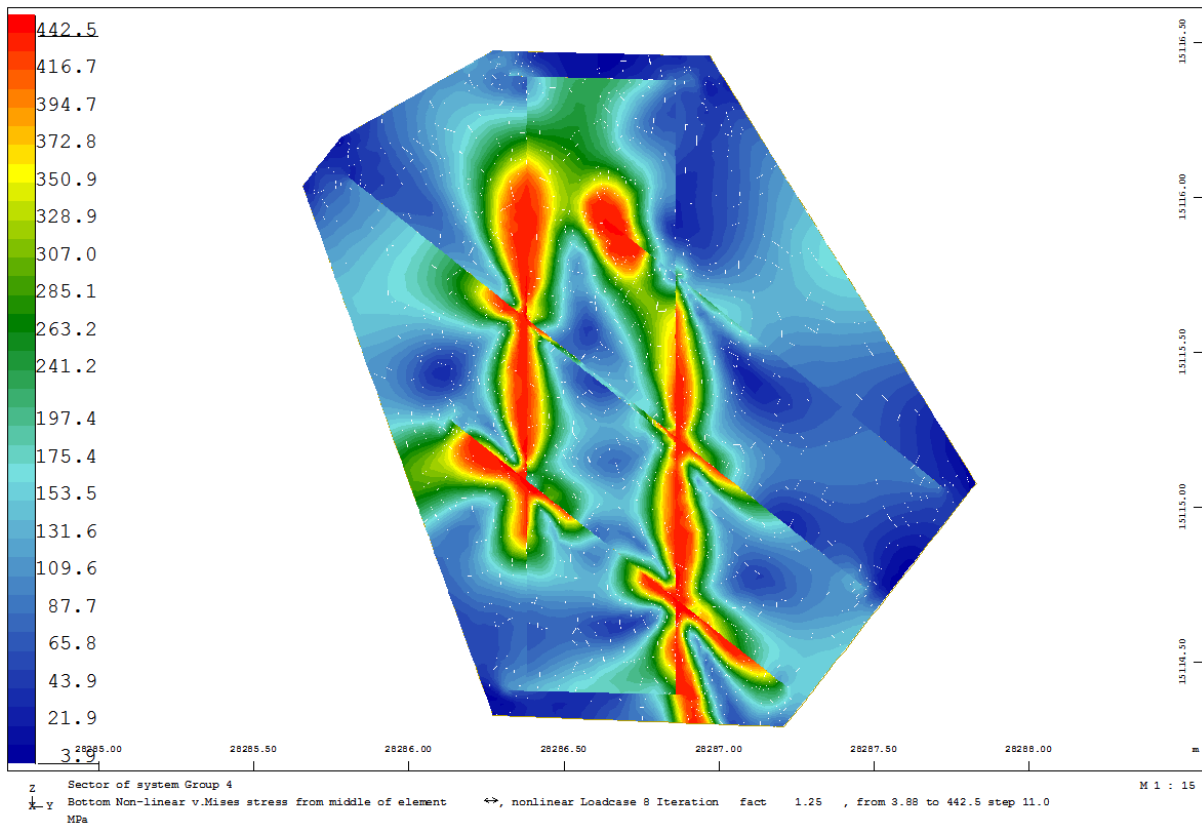
Rys. 10.2.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



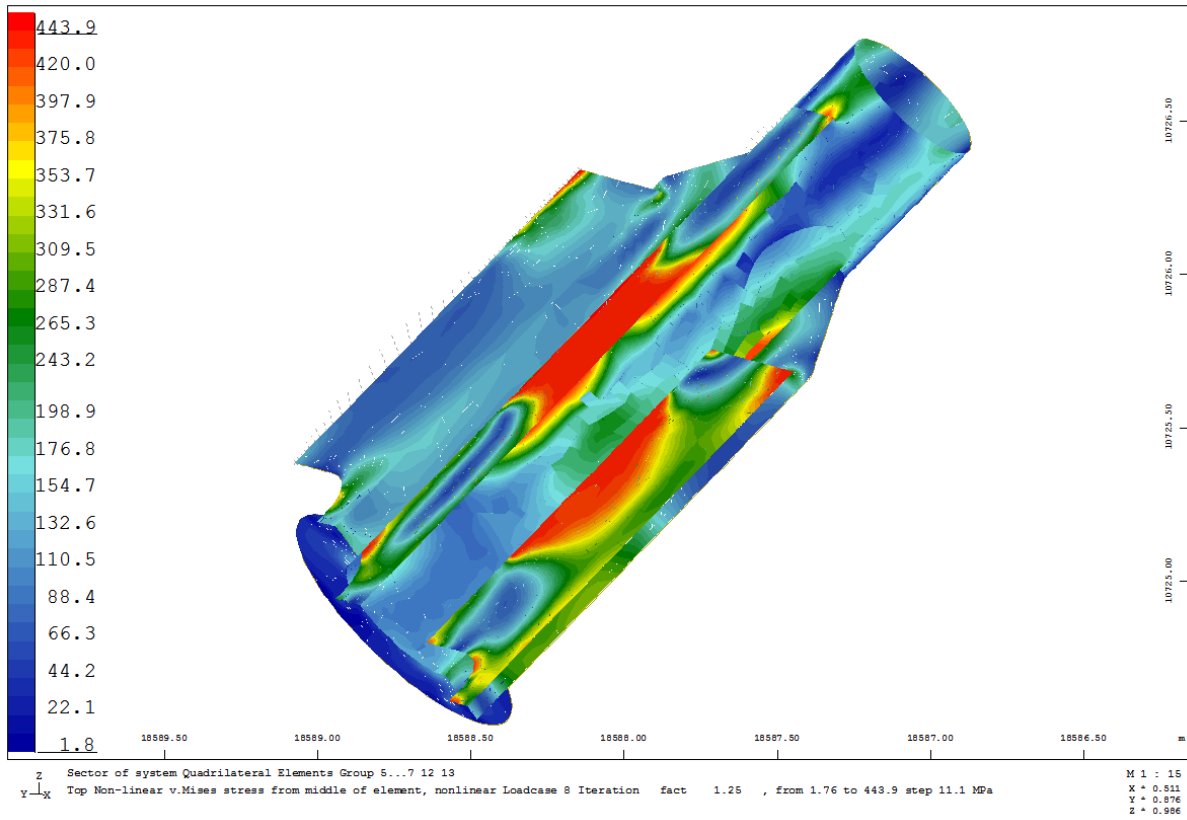
Rys. 10.2.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



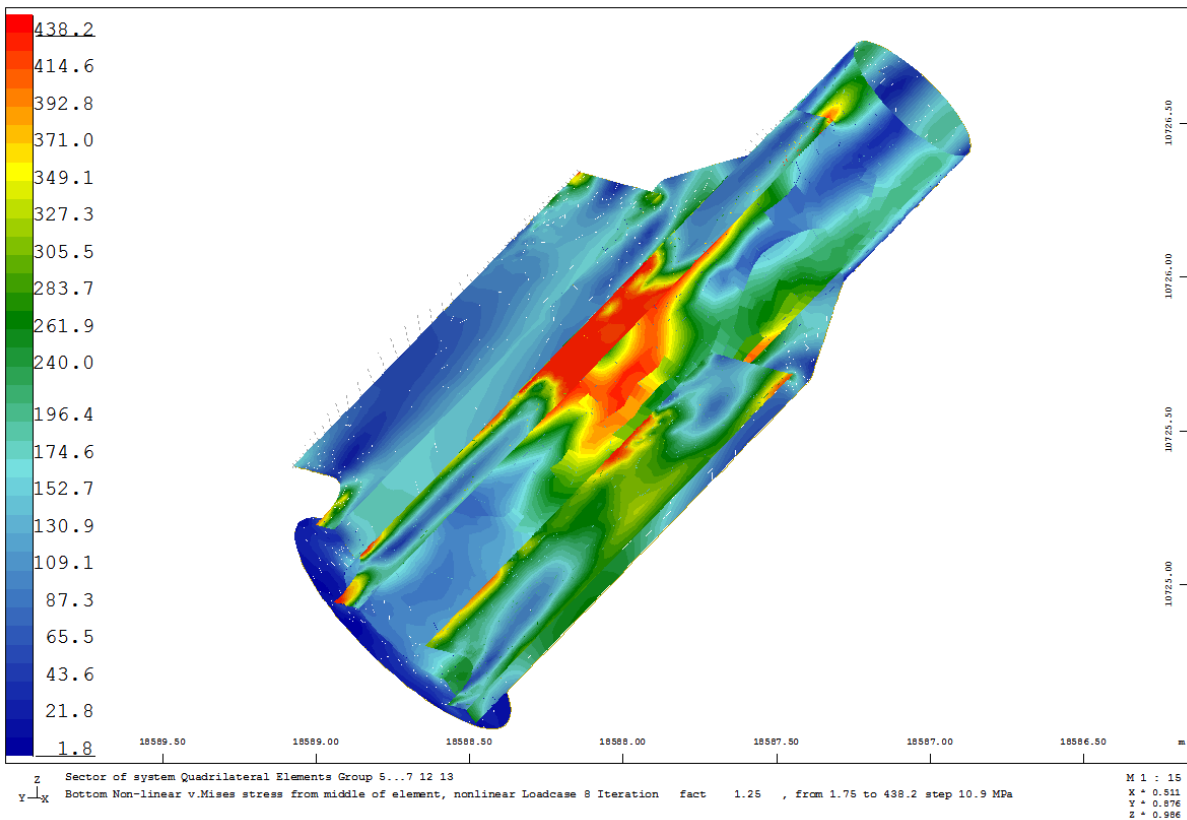
Rys. 10.2.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



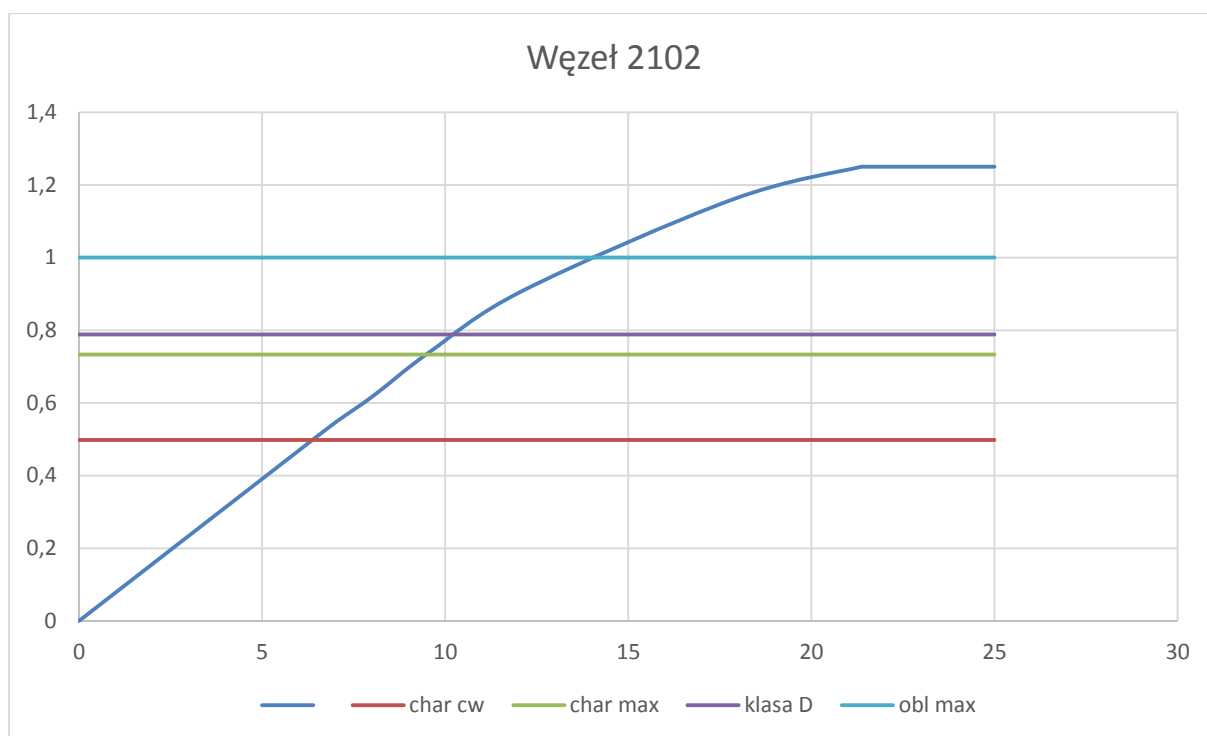
Rys. 10.2.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.2.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.2.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

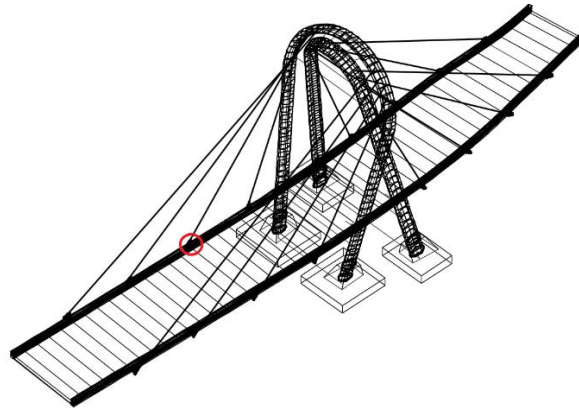


Rys. 10.2.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 64245 |
| number of plastified gausspoints: | 6002 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 459.42 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 38.76 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -40.63 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 32.81 [o/oo] |

Tab.10.2.2. Raport z analizy.

10.3. Węzeł 2103



Rys.10.3.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanciu | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|-----------|------------|------|------------|------|-----------|-------|
| 2103 | | 6660 | | 8352 | | 10313 |

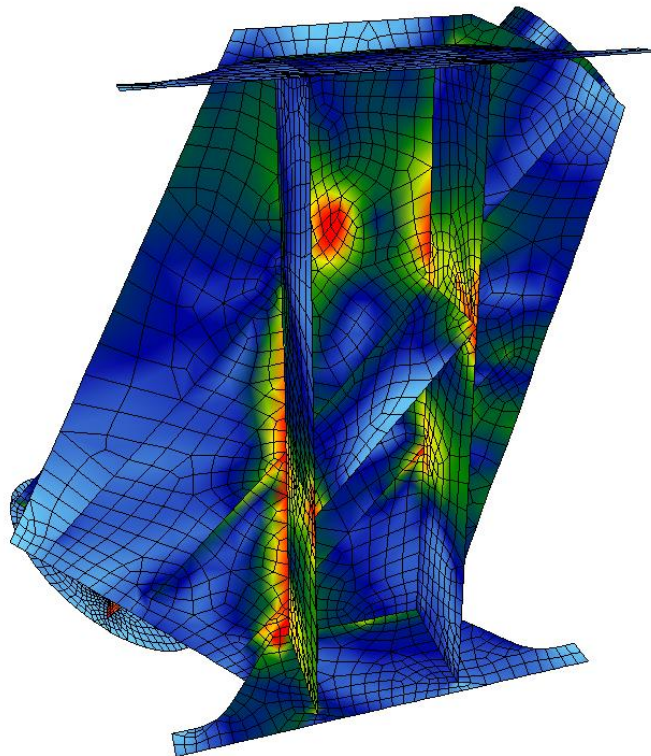
Tab.10.3.1. Siły w wanciu dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

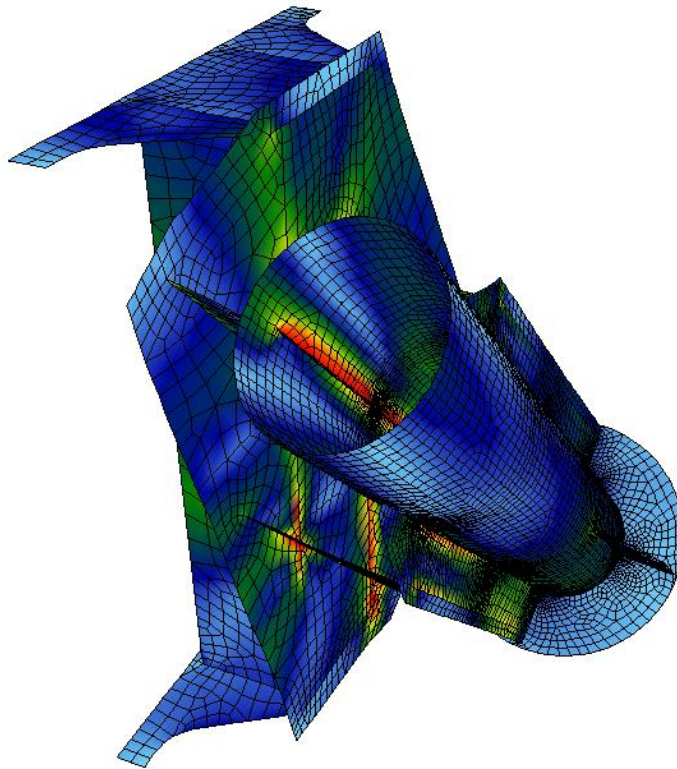
Liczba splotów: 72

Stal: Y 1860

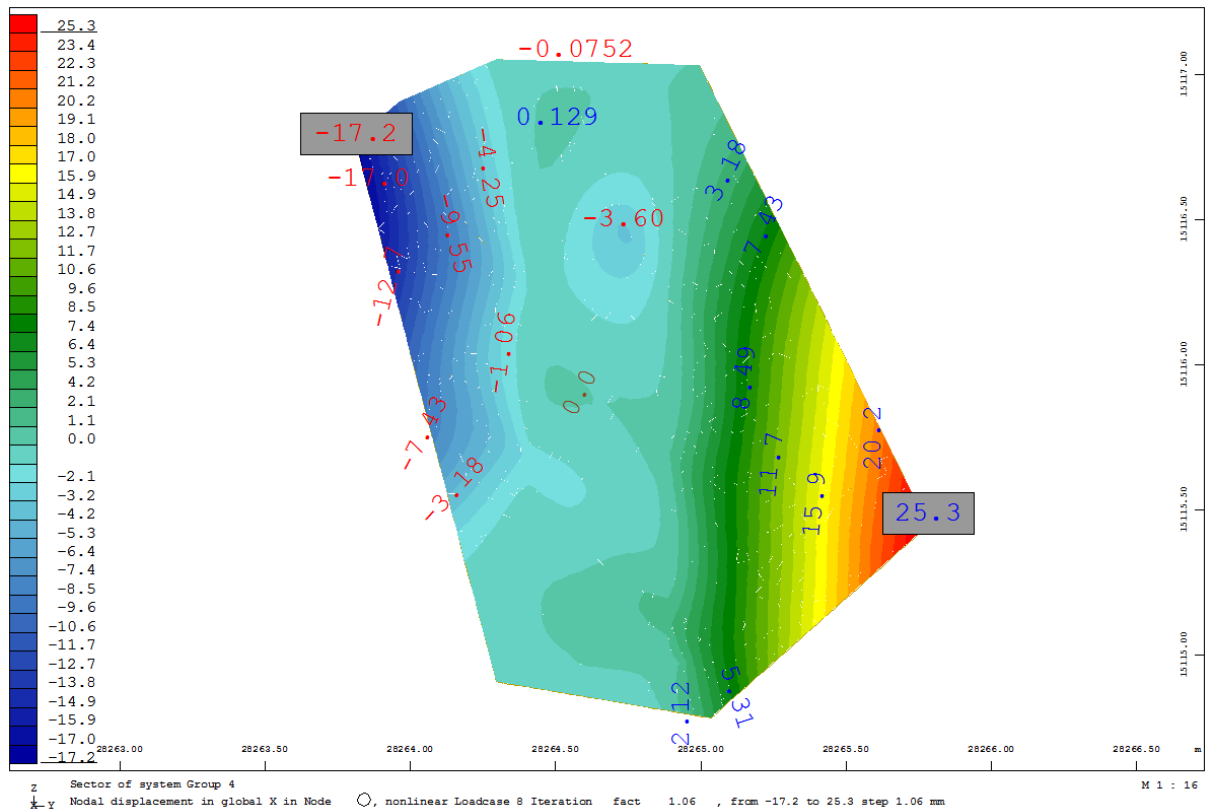
Siła zrywająca [kN]: 20088



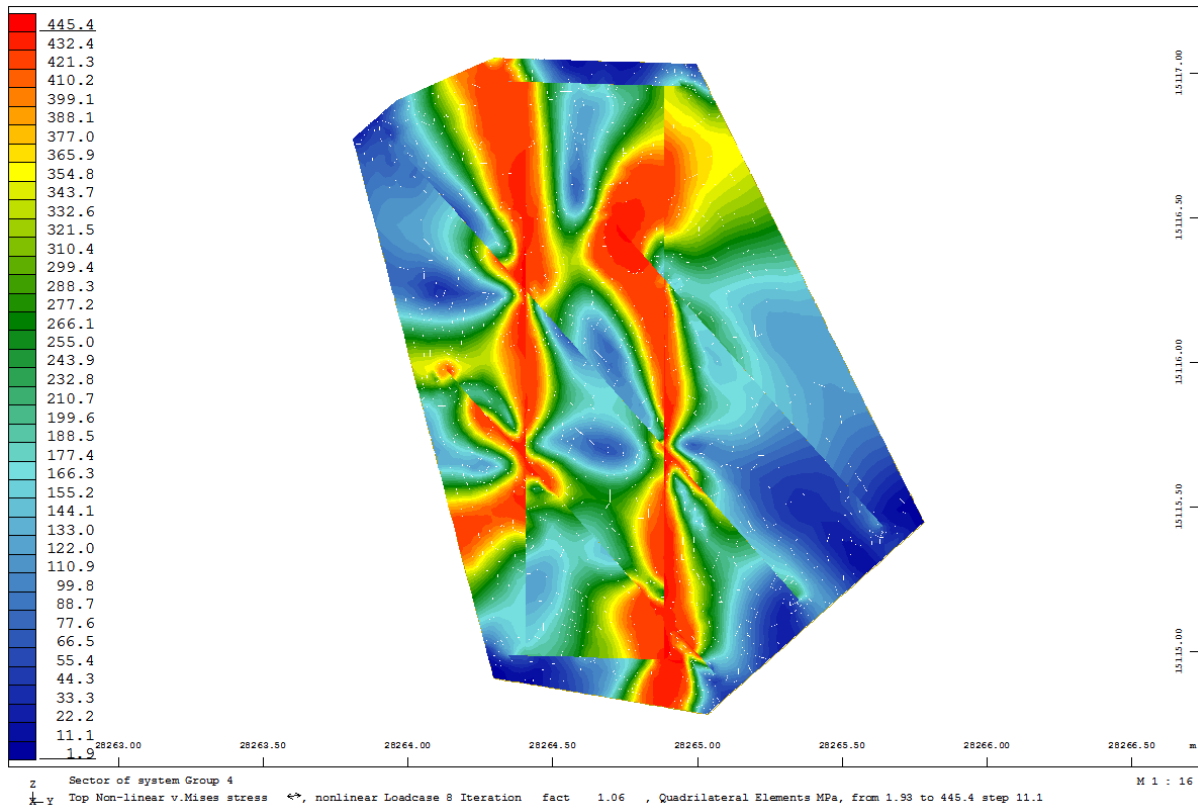
Rys. 10.3.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



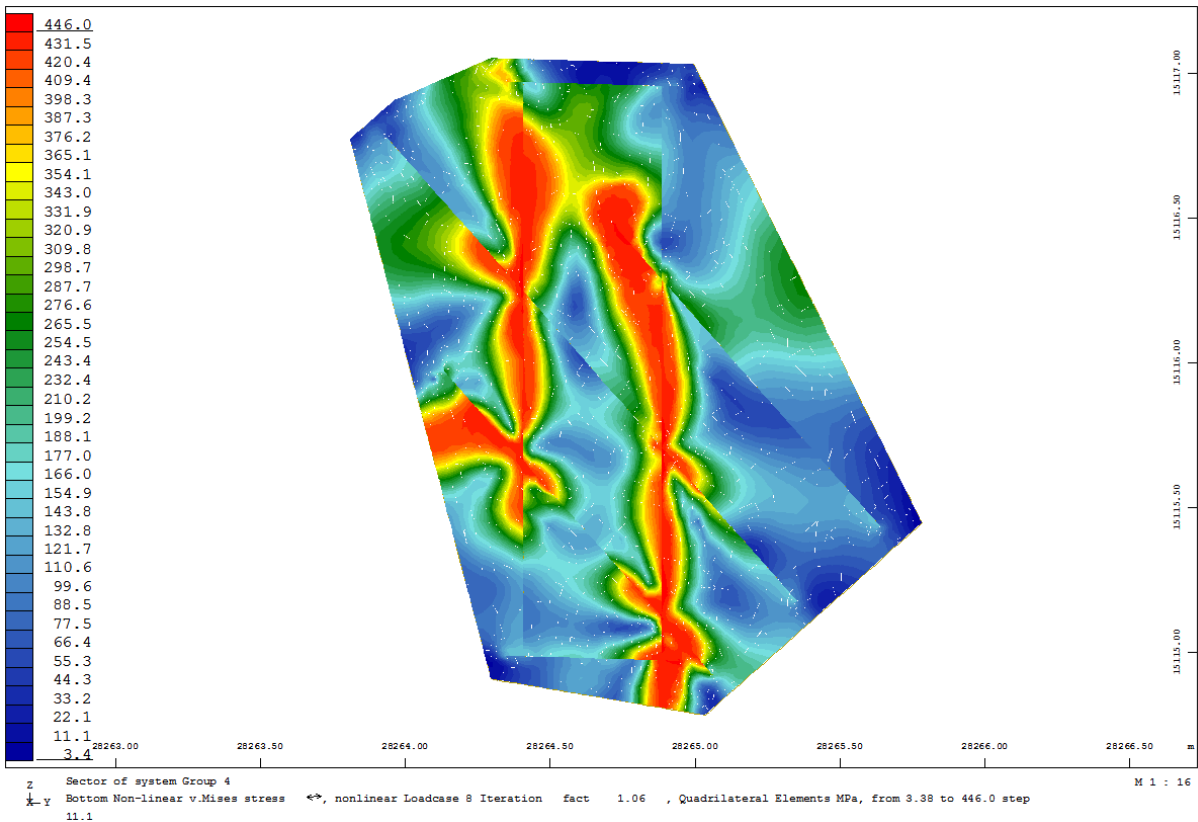
Rys. 10.3.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



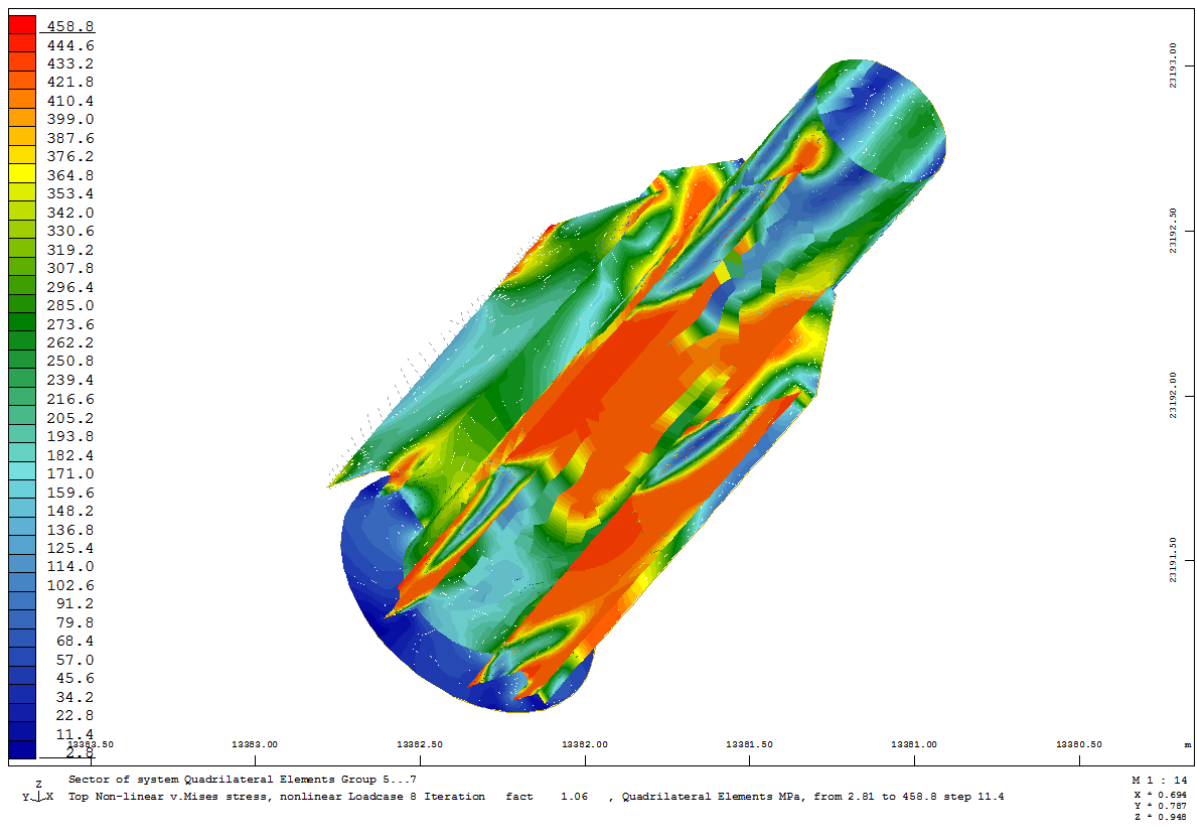
Rys. 10.3.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



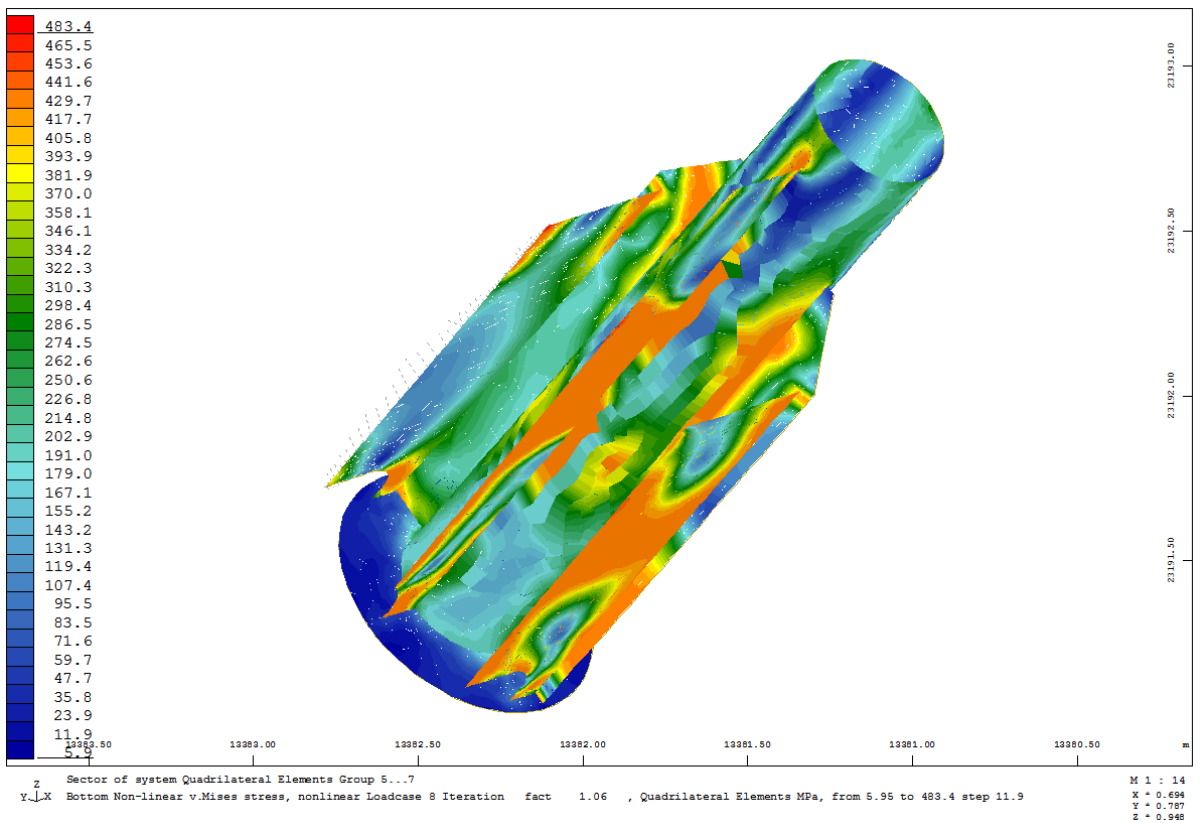
Rys. 10.3.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



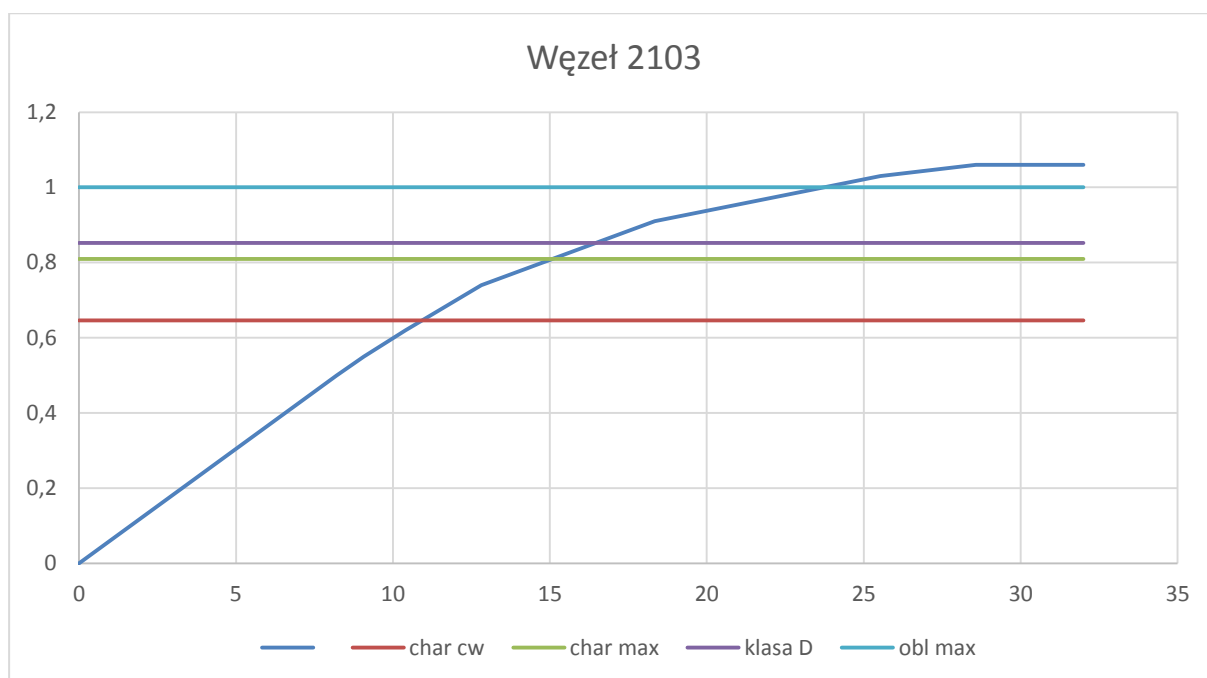
Rys. 10.3.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.3.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.3.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

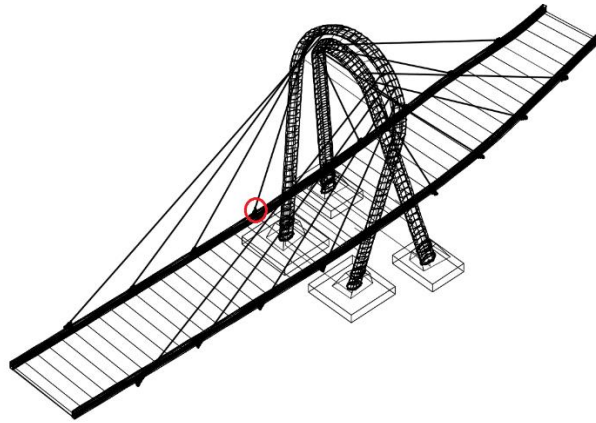


Rys. 10.3.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 58705 |
| number of plastified gausspoints: | 12844 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 491.59 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 44.97 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -85.41 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 85.55 [o/oo] |

Tab.10.3.2. Raport z analizy

10.4. Węzeł 2104



Rys.10.4.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|-------|-----------|-------|
| 2104 | | 8819 | | 11653 | | 15011 |

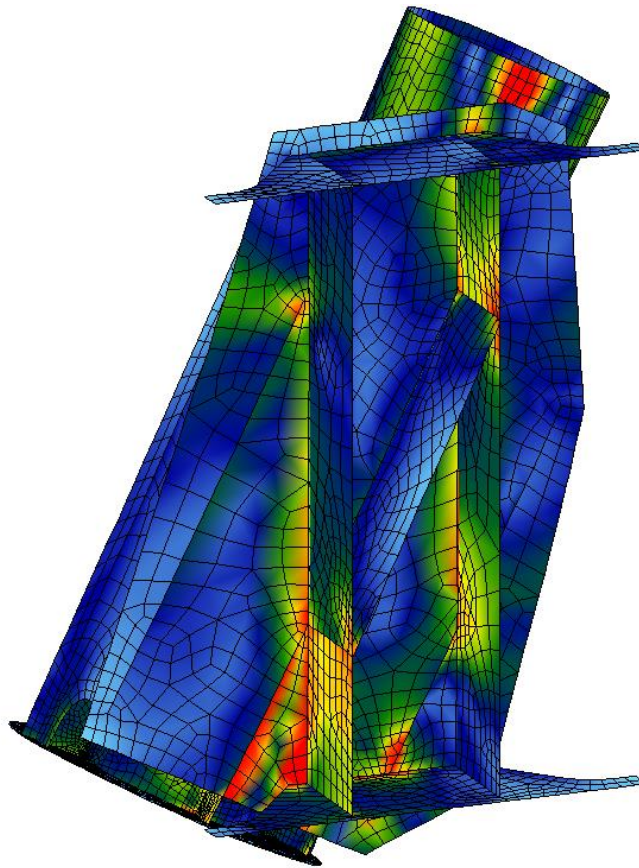
Tab.10.4.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

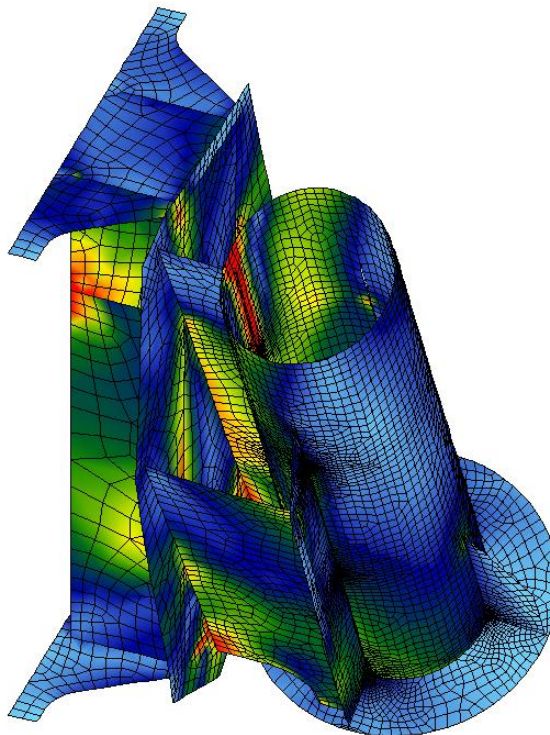
Liczba splotów: 109

Stal: Y 1860

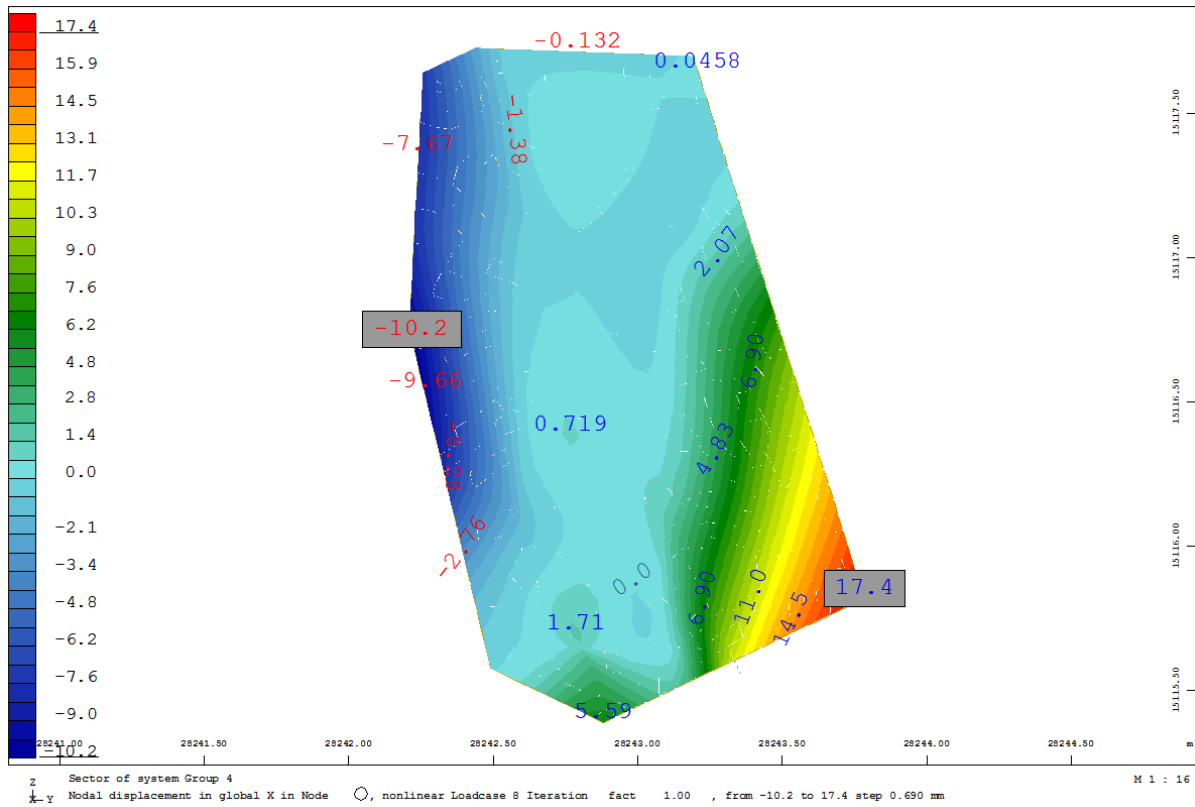
Siła zrywająca [kN]: 30411



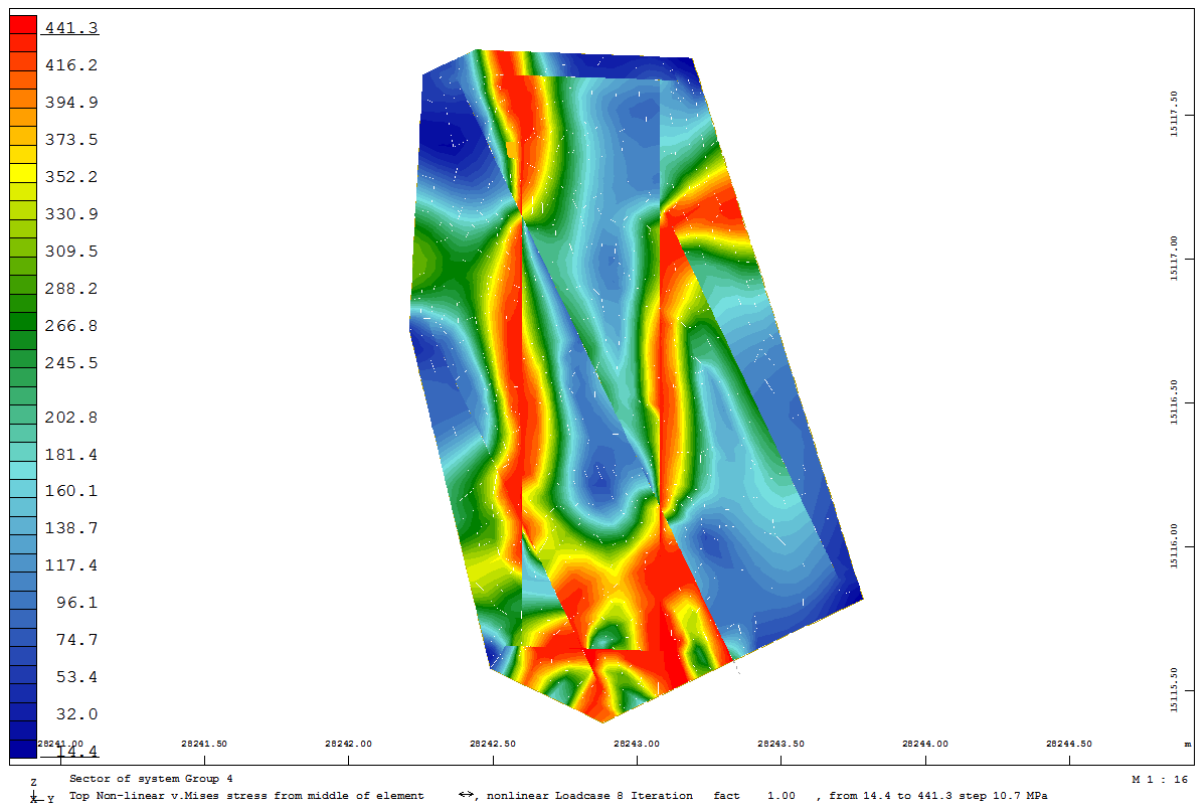
Rys. 10.4.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



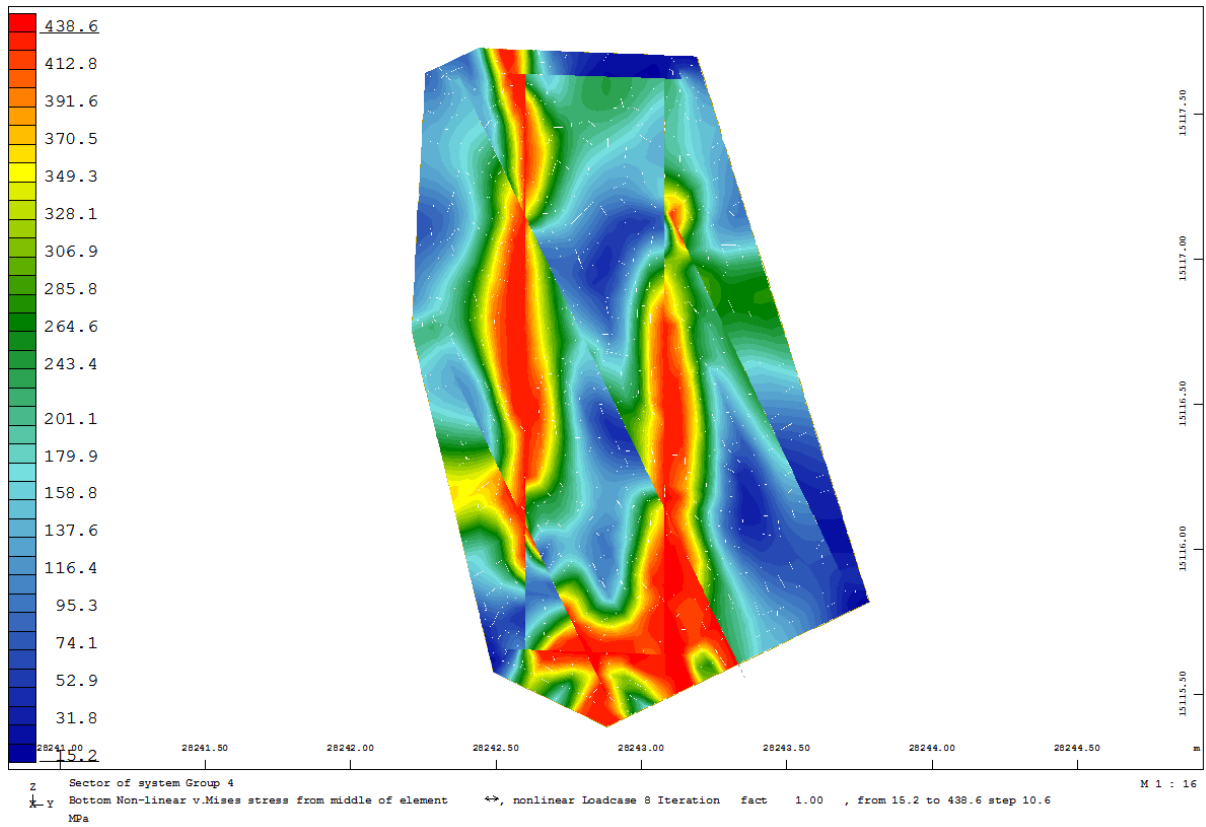
Rys. 10.4.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



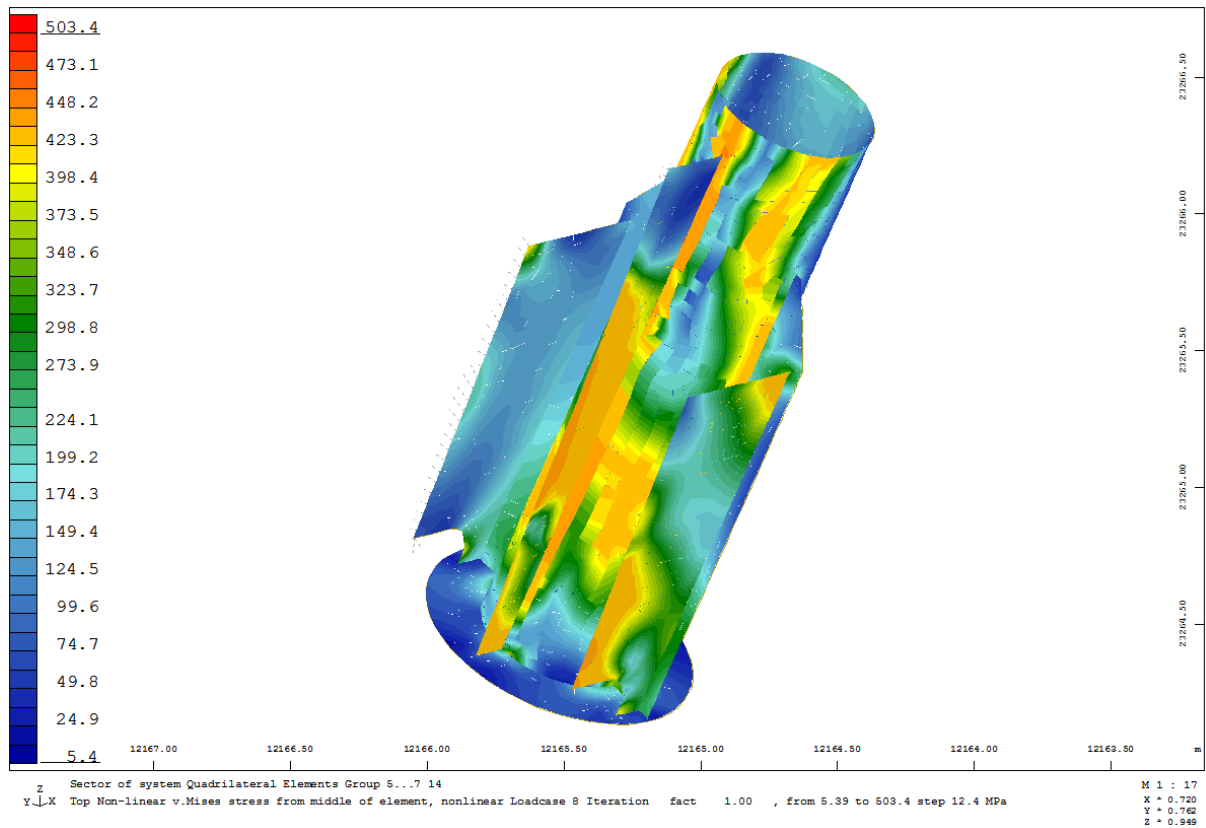
Rys. 10.4.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



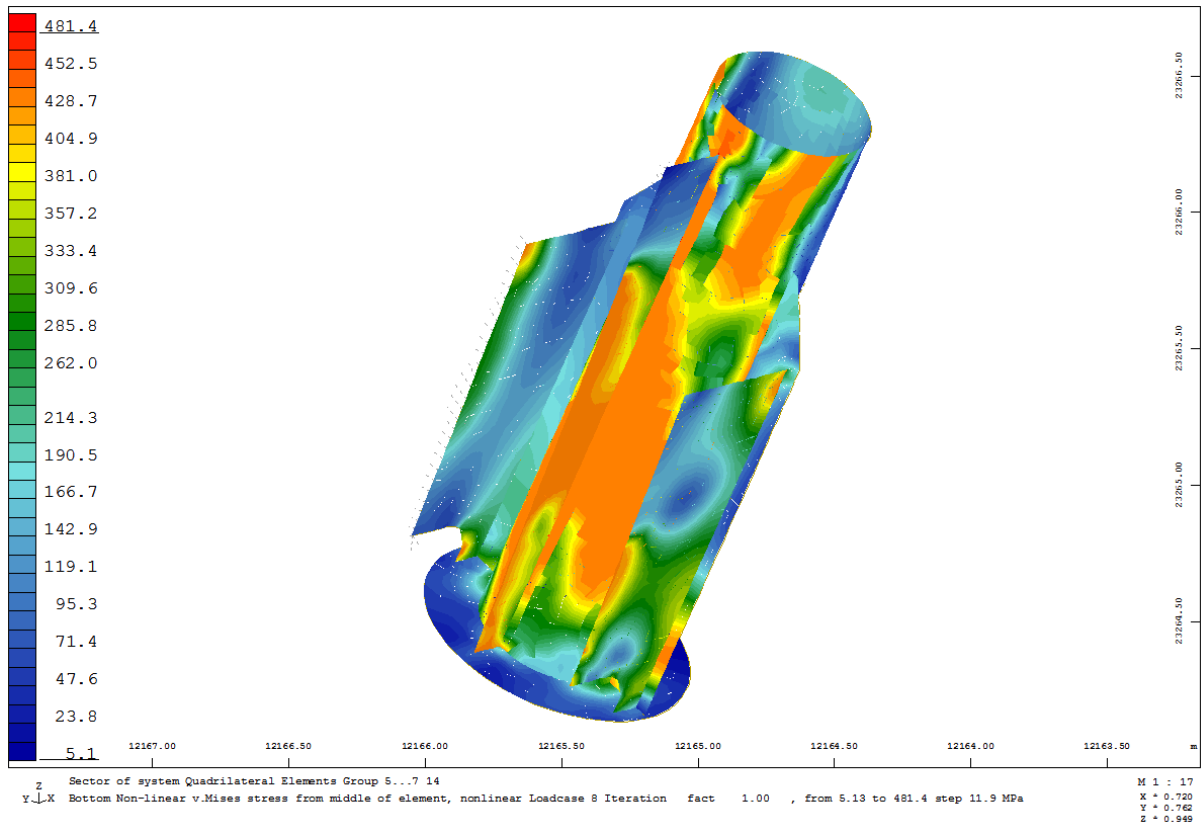
Rys. 10.4.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



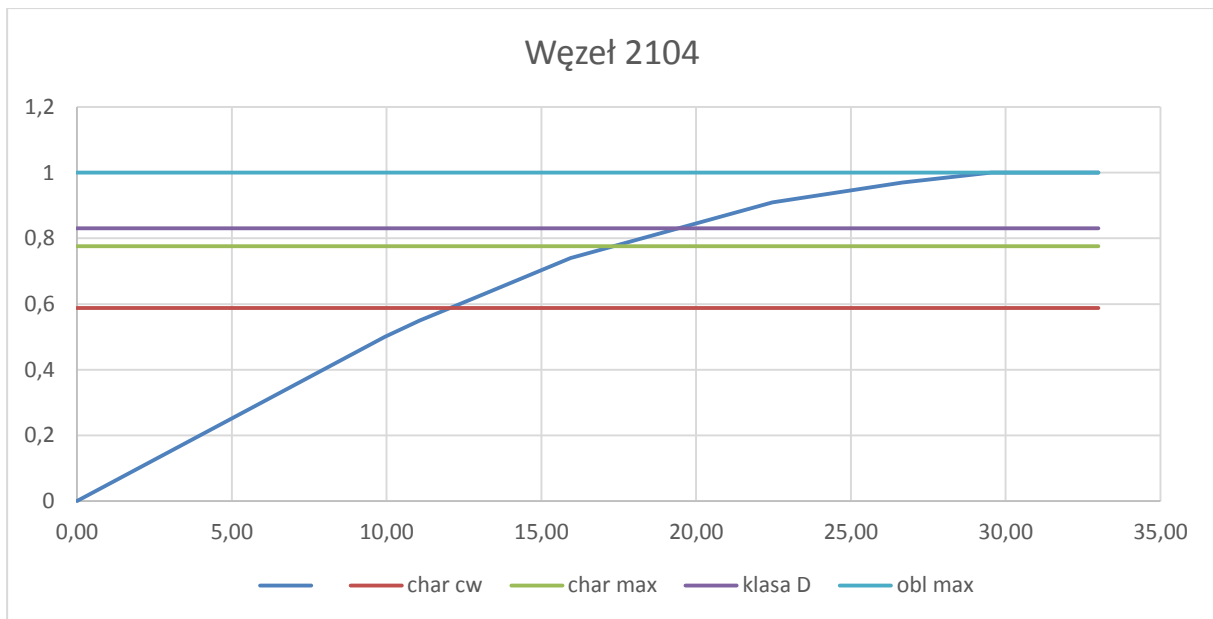
Rys. 10.4.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.4.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.4.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

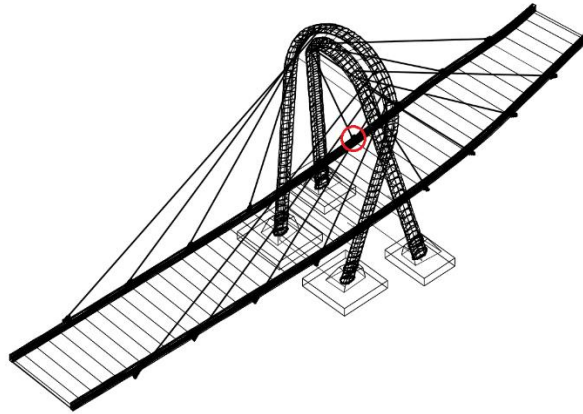


Rys. 10.4.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 28860 |
| number of plastified gausspoints: | 6037 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 508.67 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 48.12 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -88.90 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 63.31 [o/oo] |

Tab.10.4.2. Raport z analizy.

10.5 Węzeł 2111



Rys.10.5.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanku | char. Cw [kN] | char. Max [kN] | obl. Max [kN] |
|----------|---------------|----------------|---------------|
| 2111 | 6173 | 8162 | 10347 |

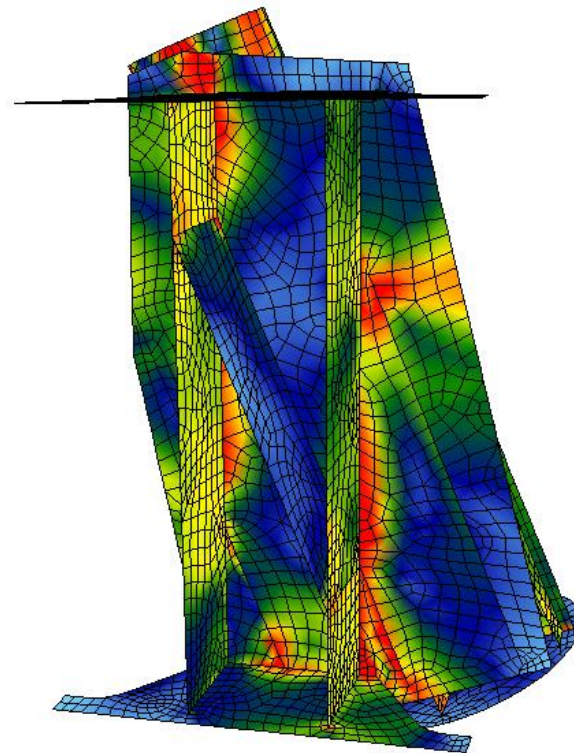
Tab. 10.5.1. Siły w wanku dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

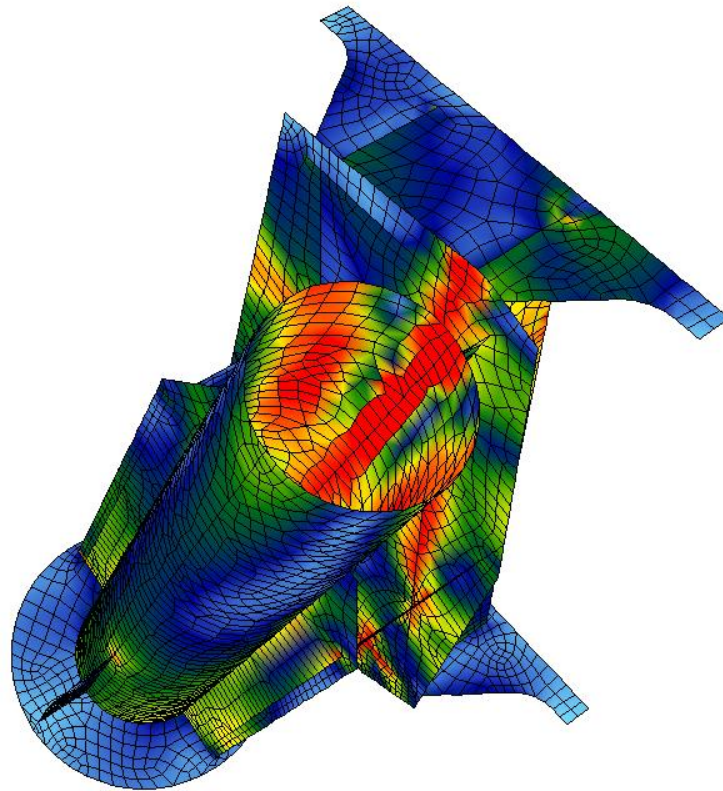
Liczba splotów: 91

Stal: Y 1860

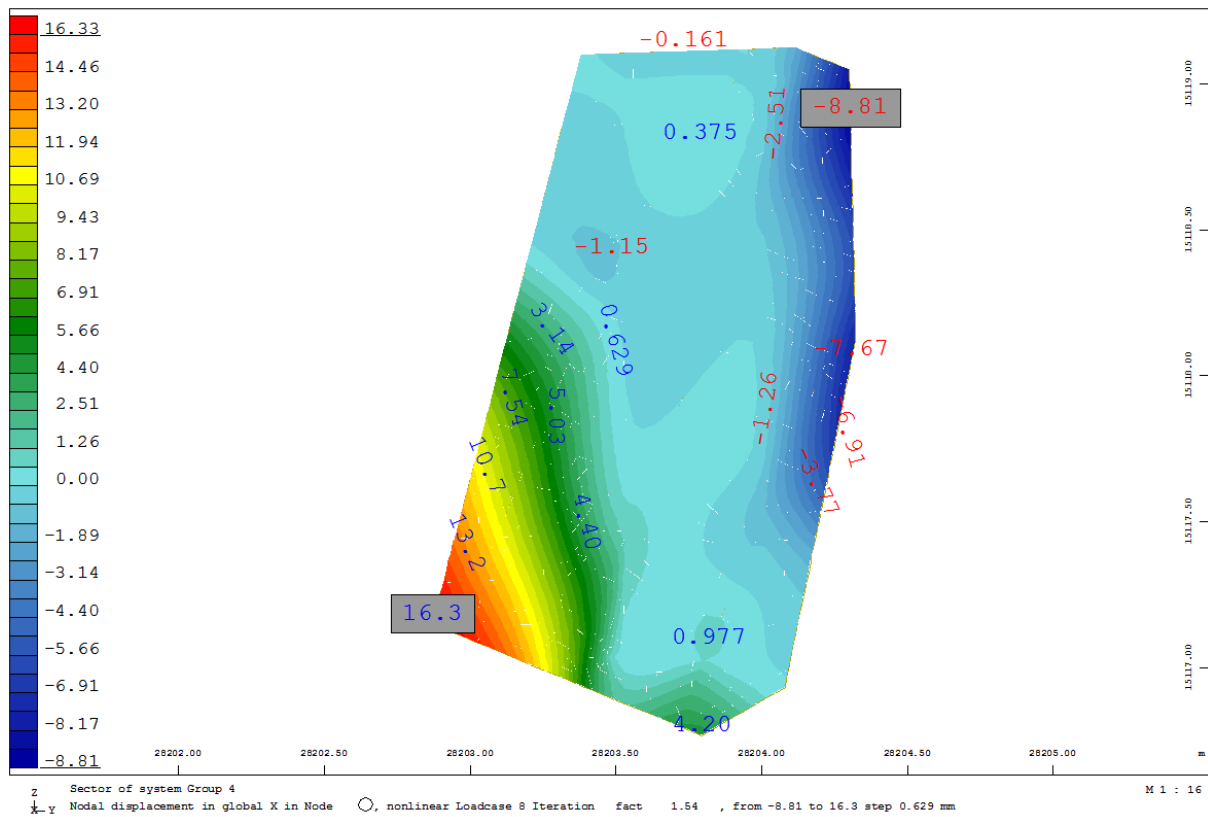
Siła zrywająca [kN]: 25389



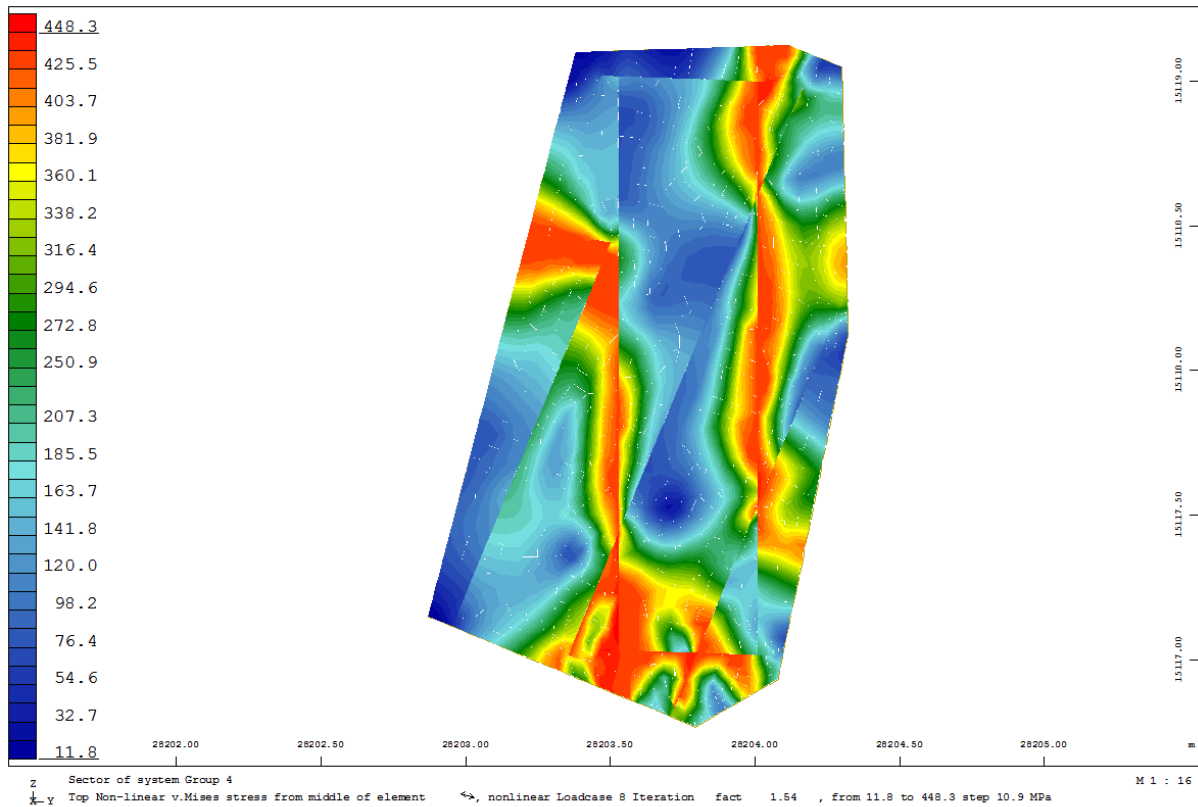
Rys. 10.5.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



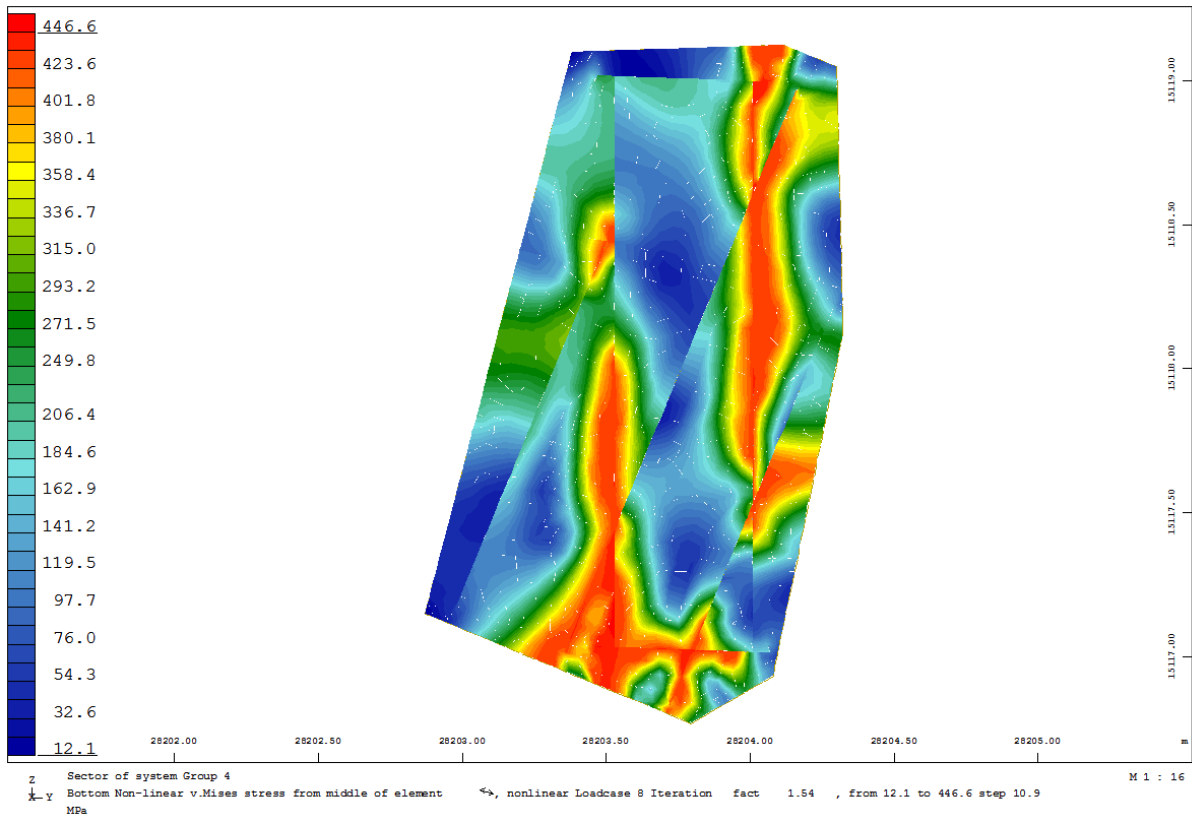
Rys. 10.5.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



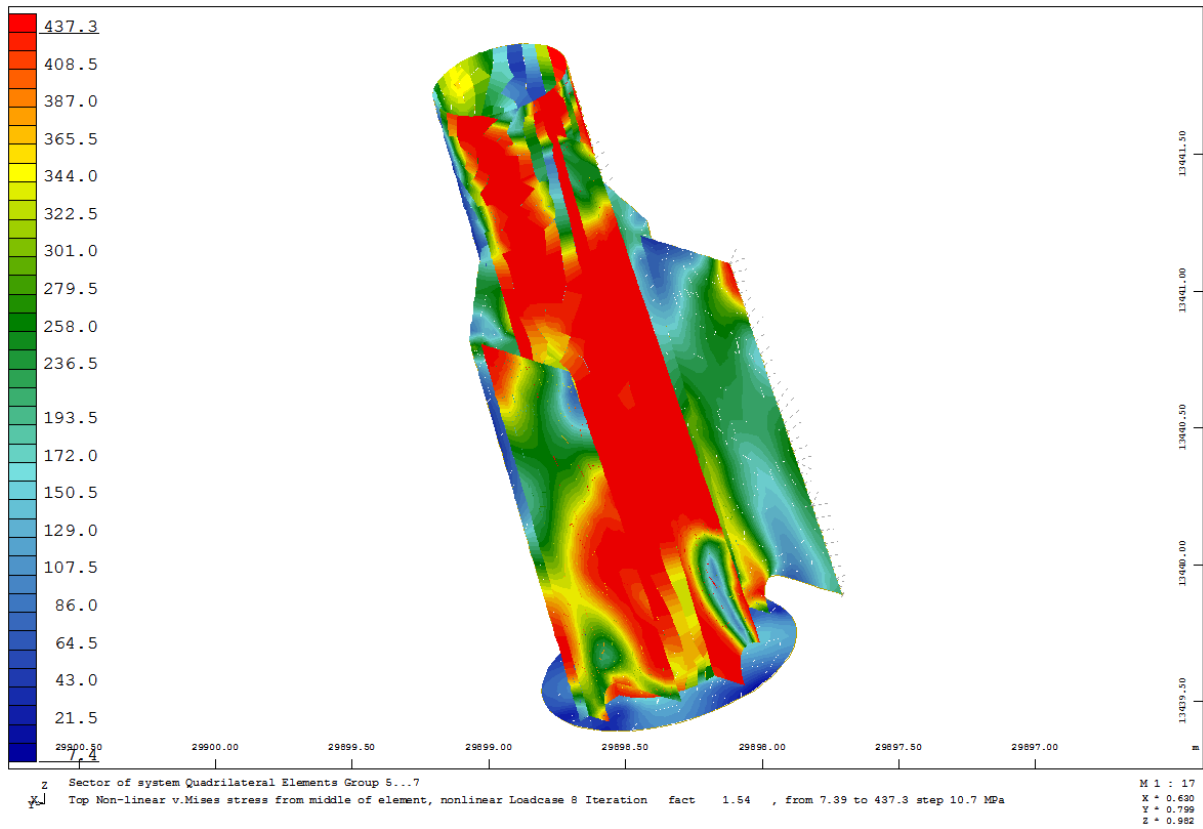
Rys. 10.5.4. Przeszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



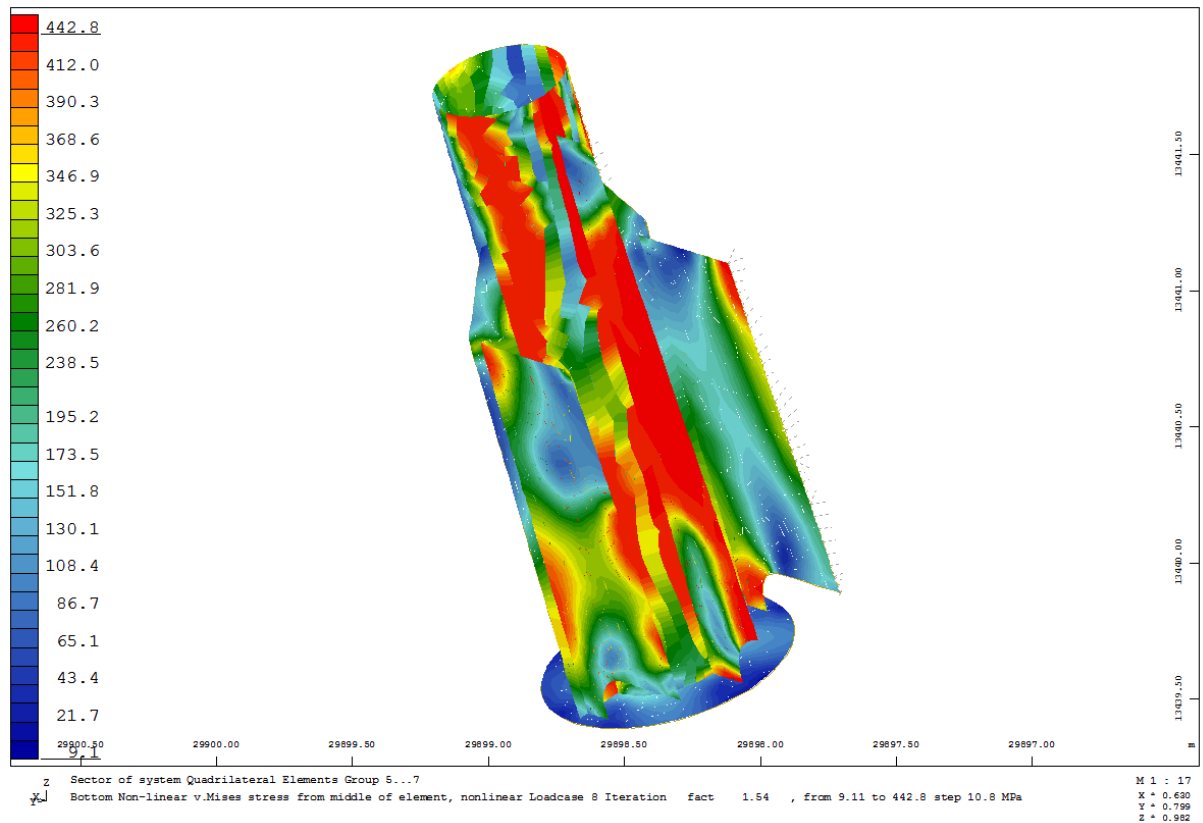
Rys. 10.5.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



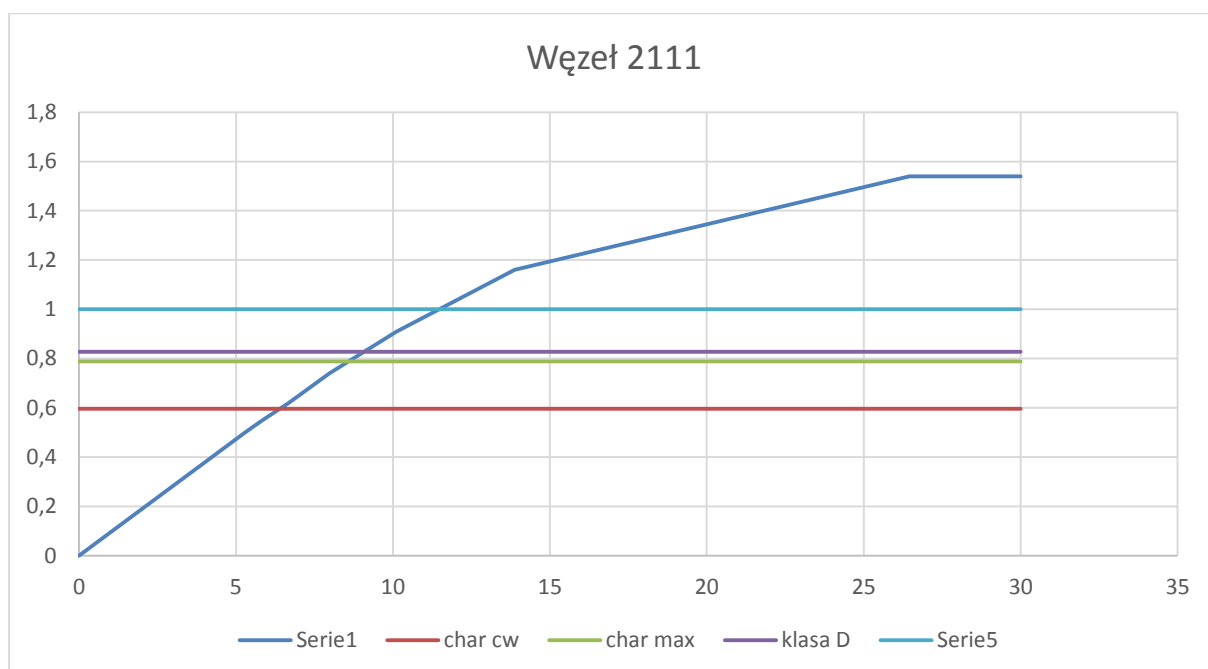
Rys. 10.5.10. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.5.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.5.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

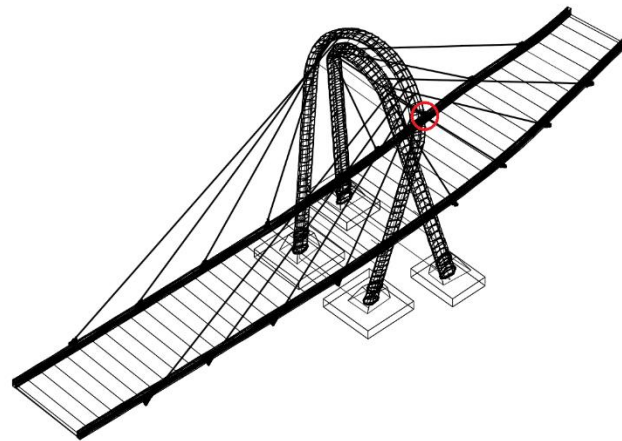


Rys. 10.5.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 29855 |
| number of plastified gausspoints: | 7245 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 460.37 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 82.34 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -45.83 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 45.68 [o/oo] |

Tab. 10.5.2. Wynik analizy nieliniowej.

10.6 Węzeł 2112



Rys. 10.6.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|-------|
| 2112 | | 6173 | | 8162 | | 10347 |

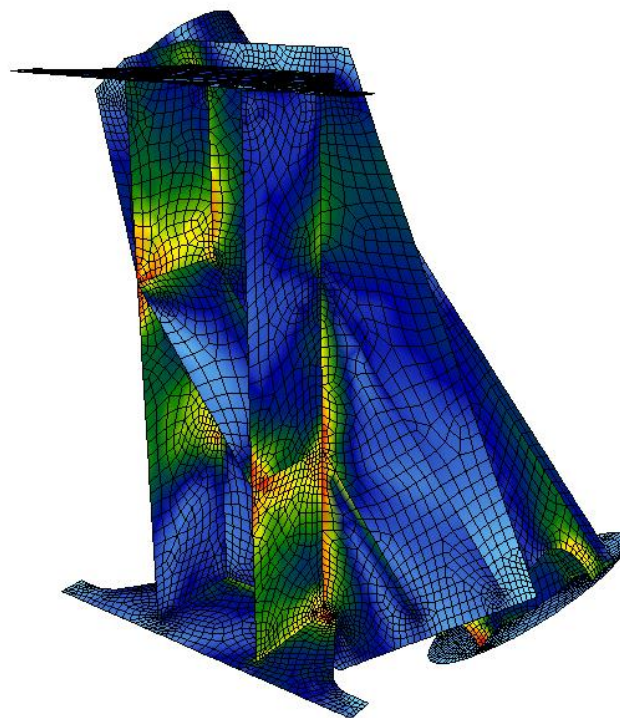
Tab.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

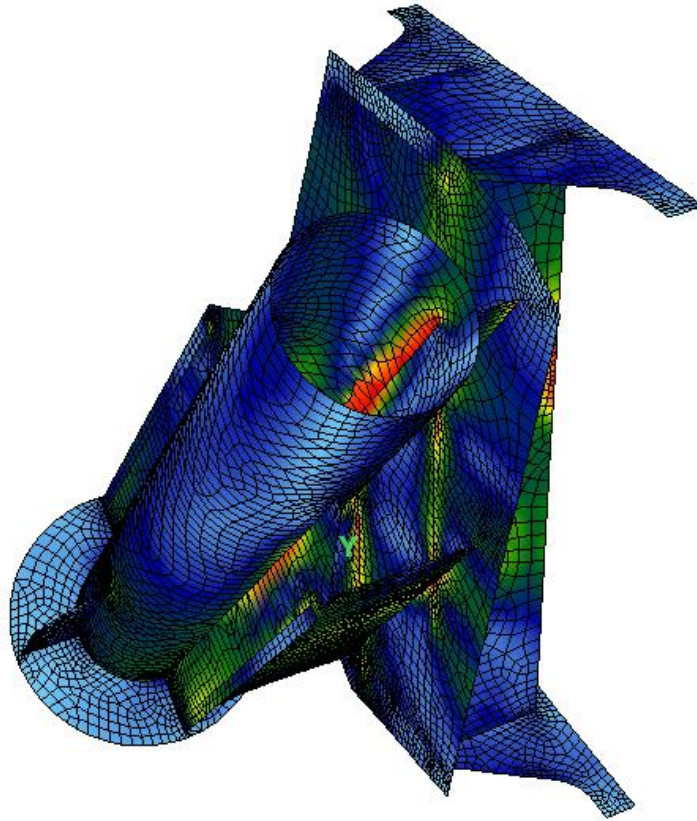
Liczba splotów: 72

Stal: Y 1860

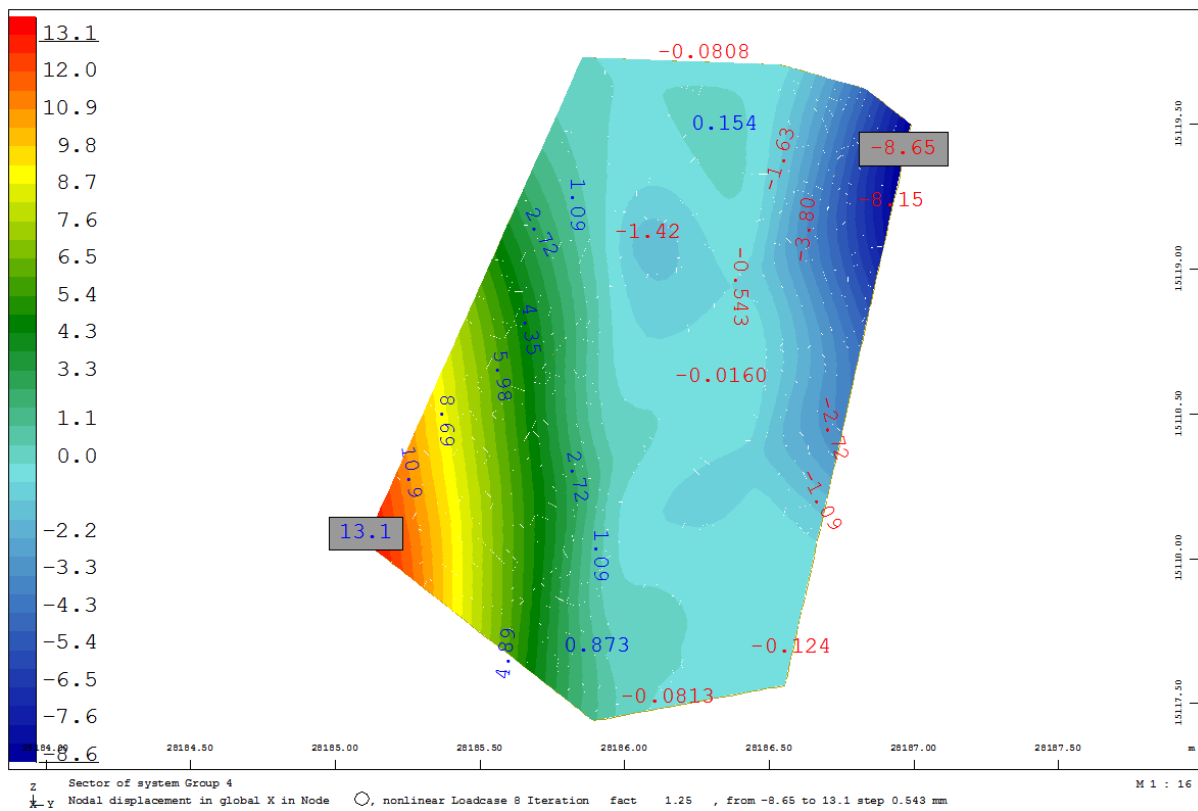
Siła zrywająca [kN]: 20088



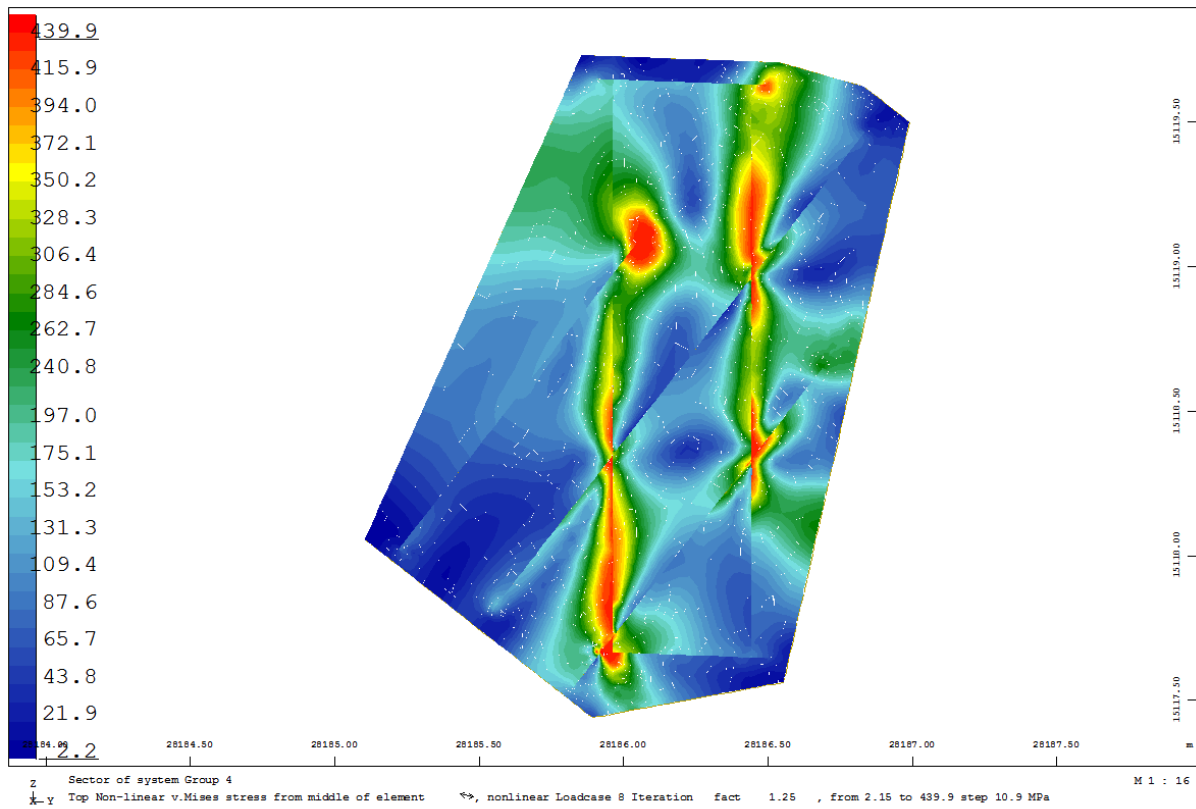
Rys. 10.6.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



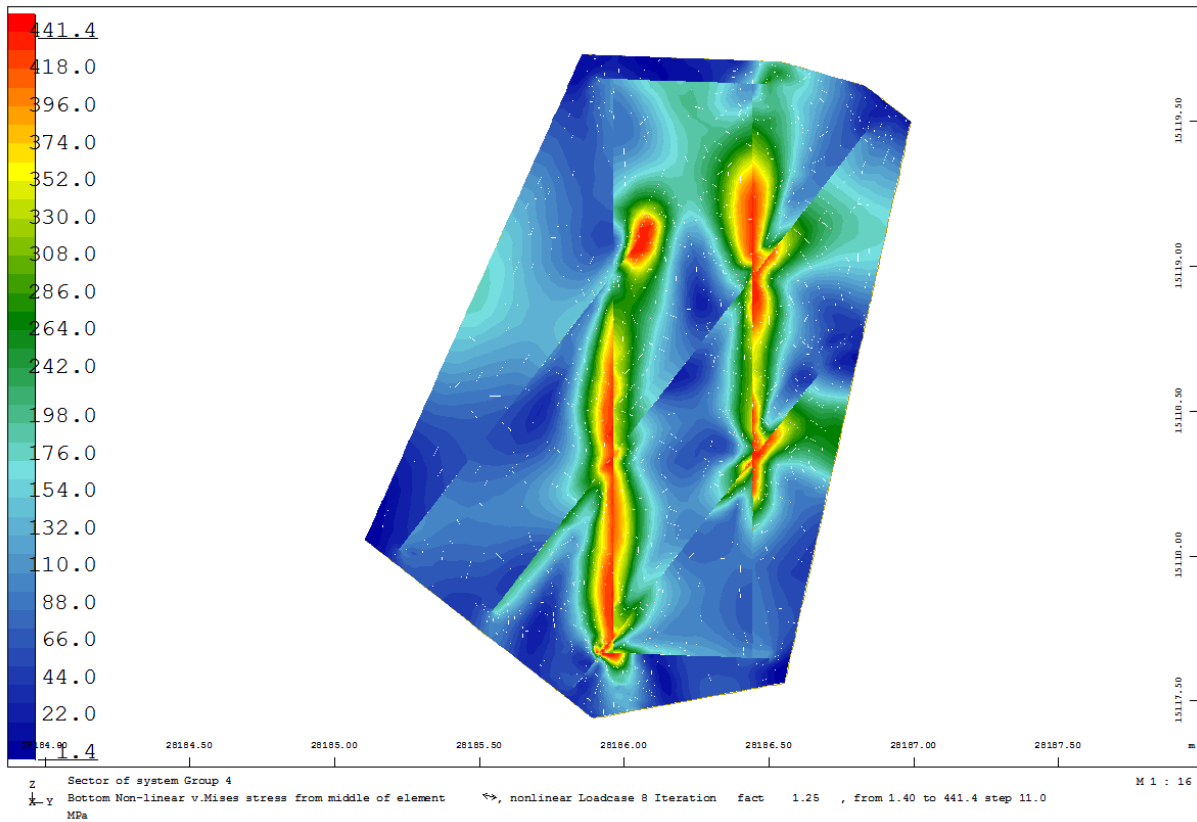
Rys. 10.6.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



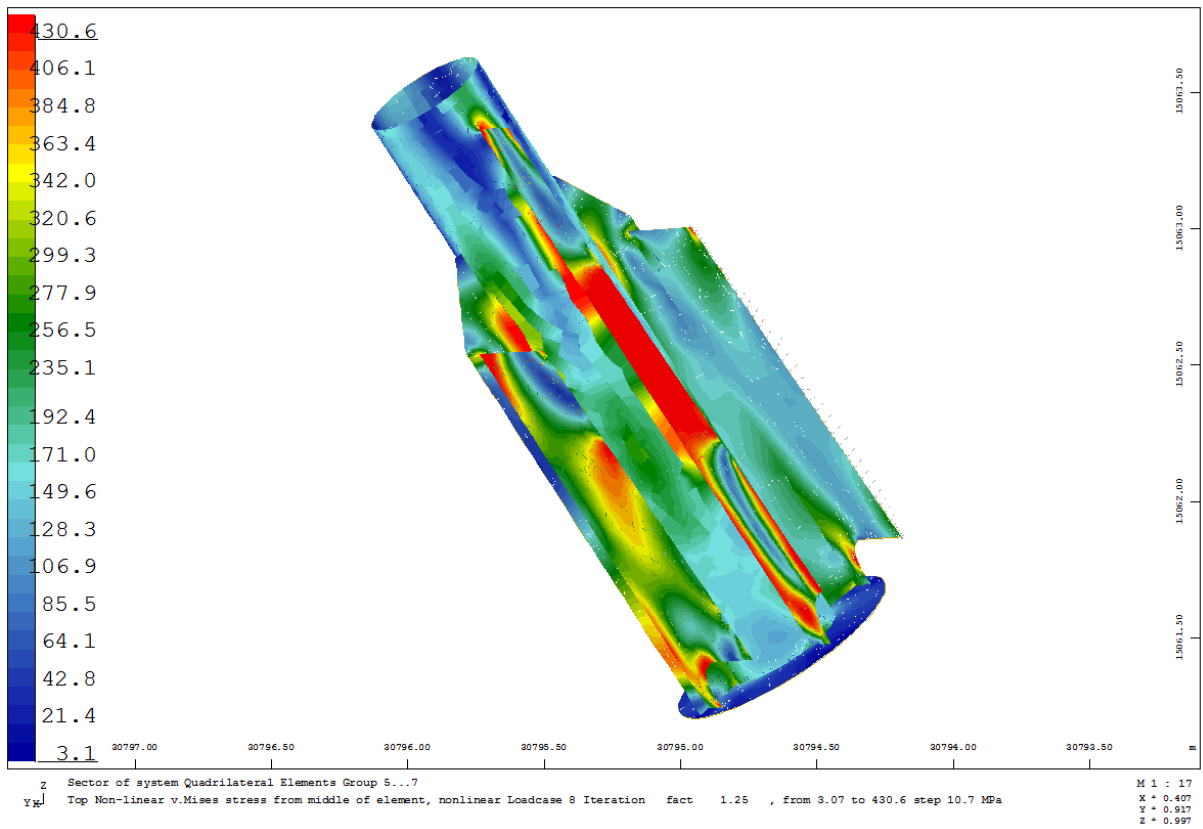
Rys. 10.6.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



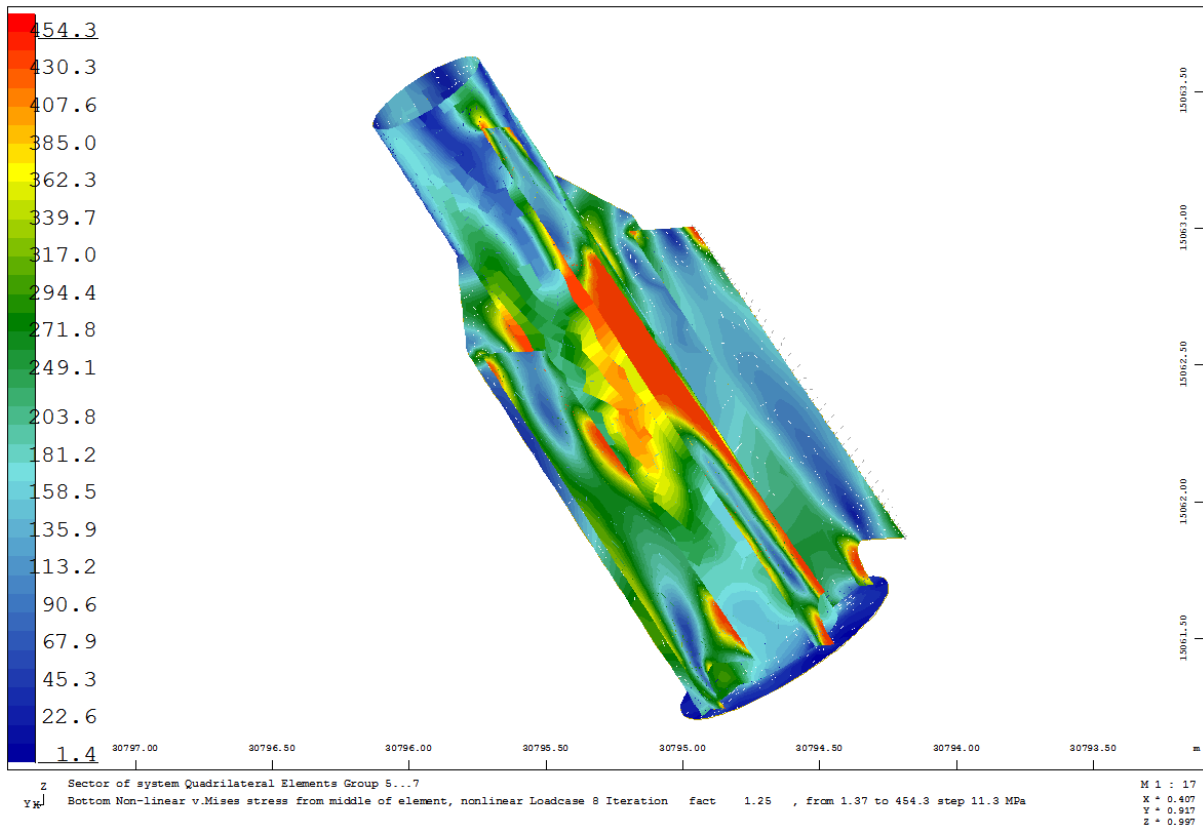
Rys. 10.6.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



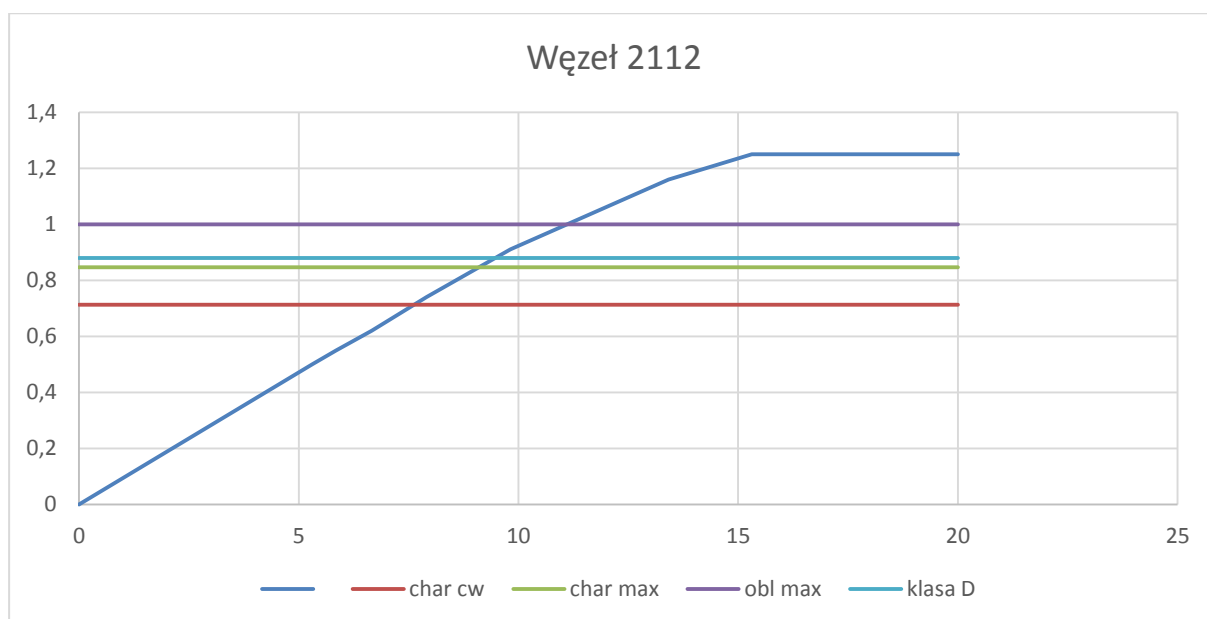
Rys. 10.6.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.6.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.6.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

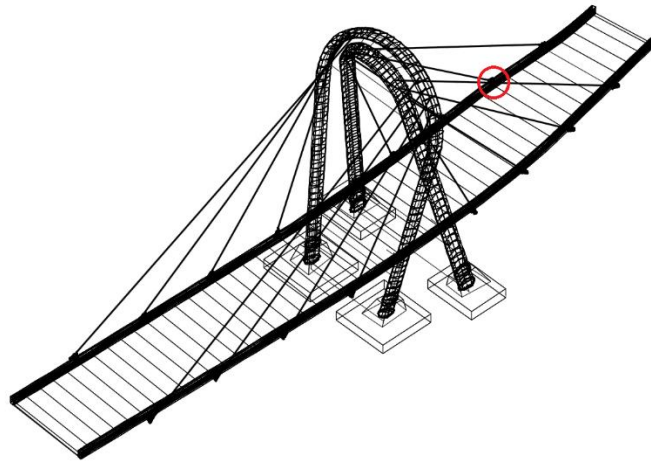


Rys. 10.6.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 58890 |
| number of plastified gausspoints: | 4803 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 504.91 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 41.07 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -62.49 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 85.21 [o/oo] |

Tab.10.6.2. Raport z analizy

10.7. Węzeł 2113



Rys.10.7.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|-------|-----------|-------|
| 2113 | | 9895 | | 10932 | | 12104 |

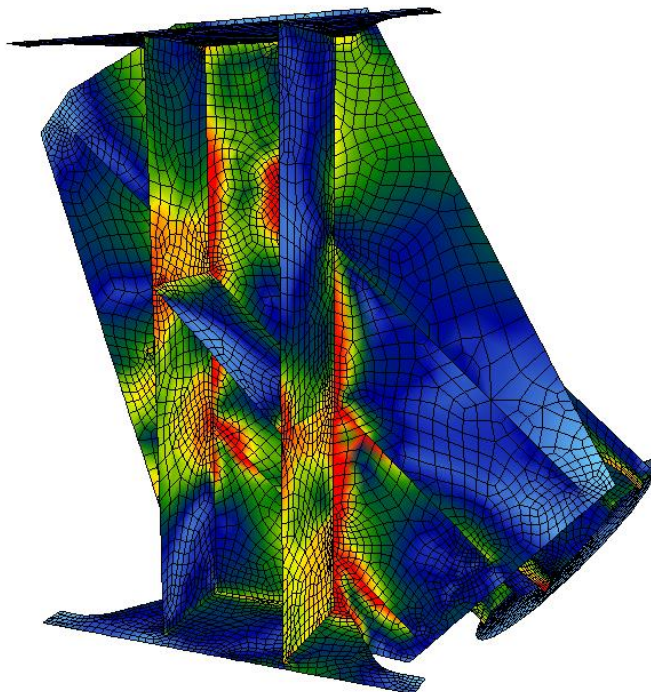
Tab.10.7.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

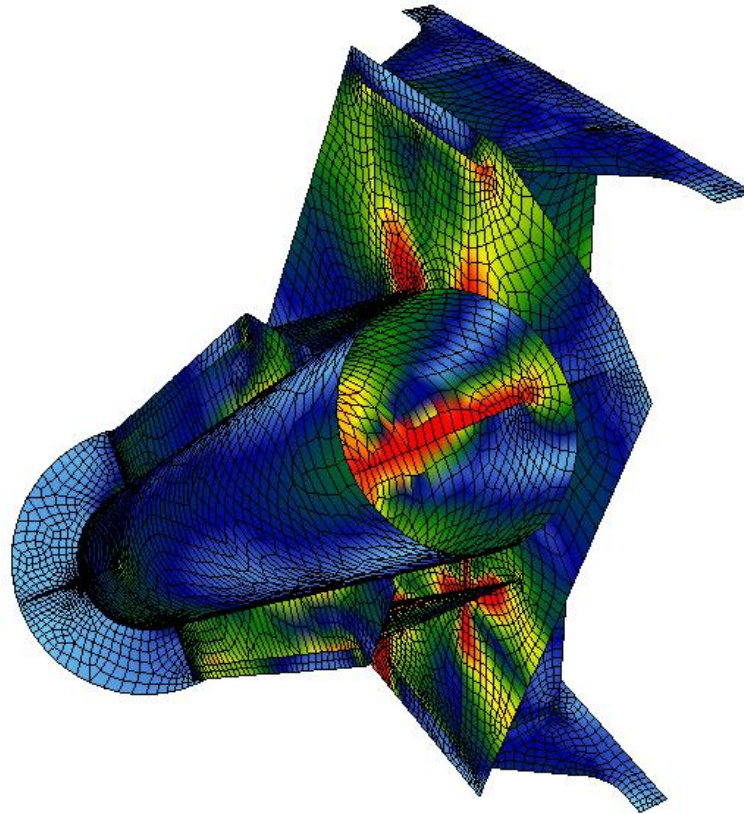
Liczba splotów: 91

Stal: Y 1860

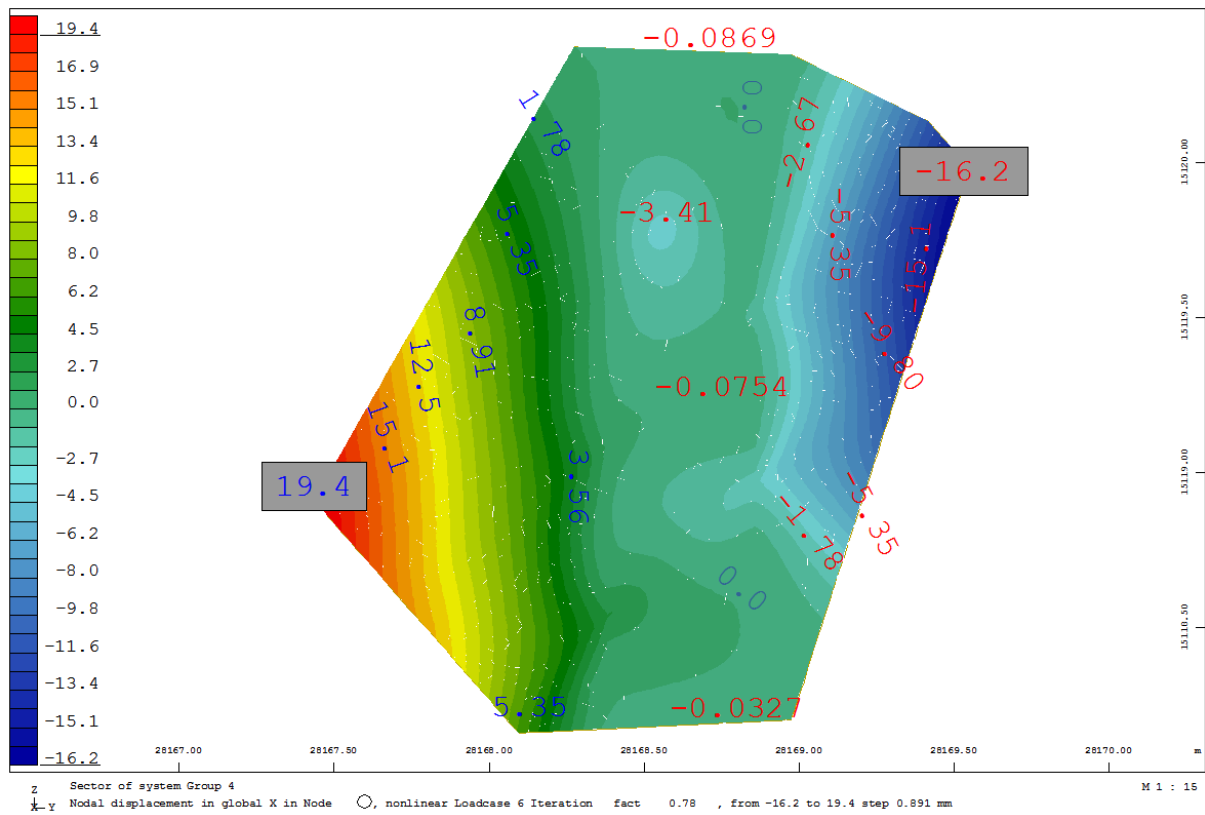
Siła zrywająca [kN]: 25389



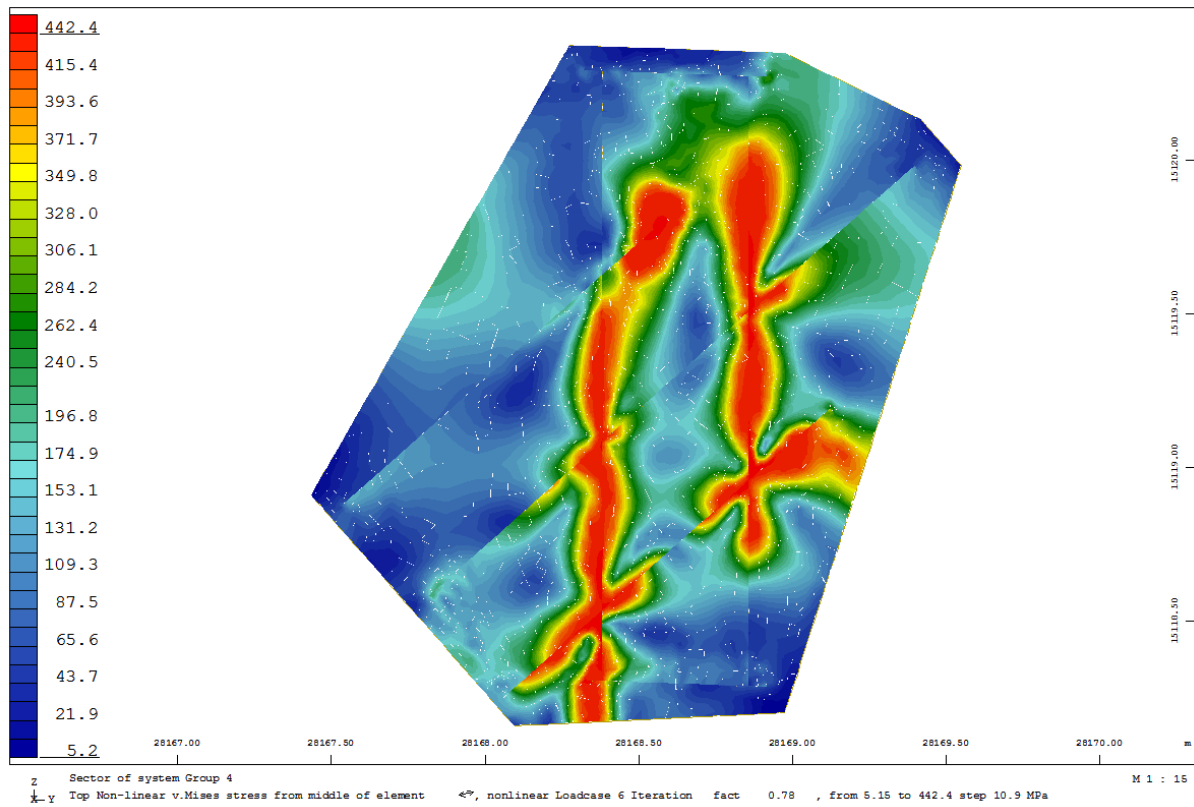
Rys. 10.7.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



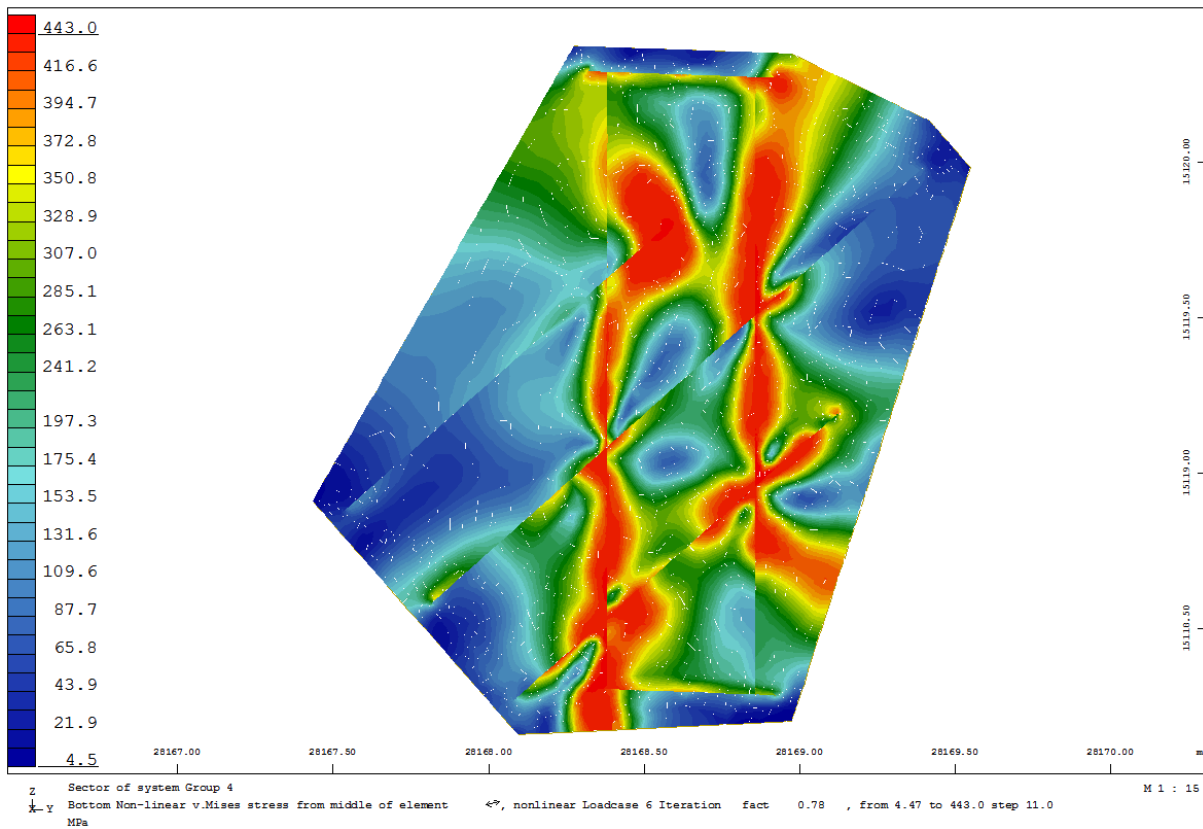
Rys. 10.7.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



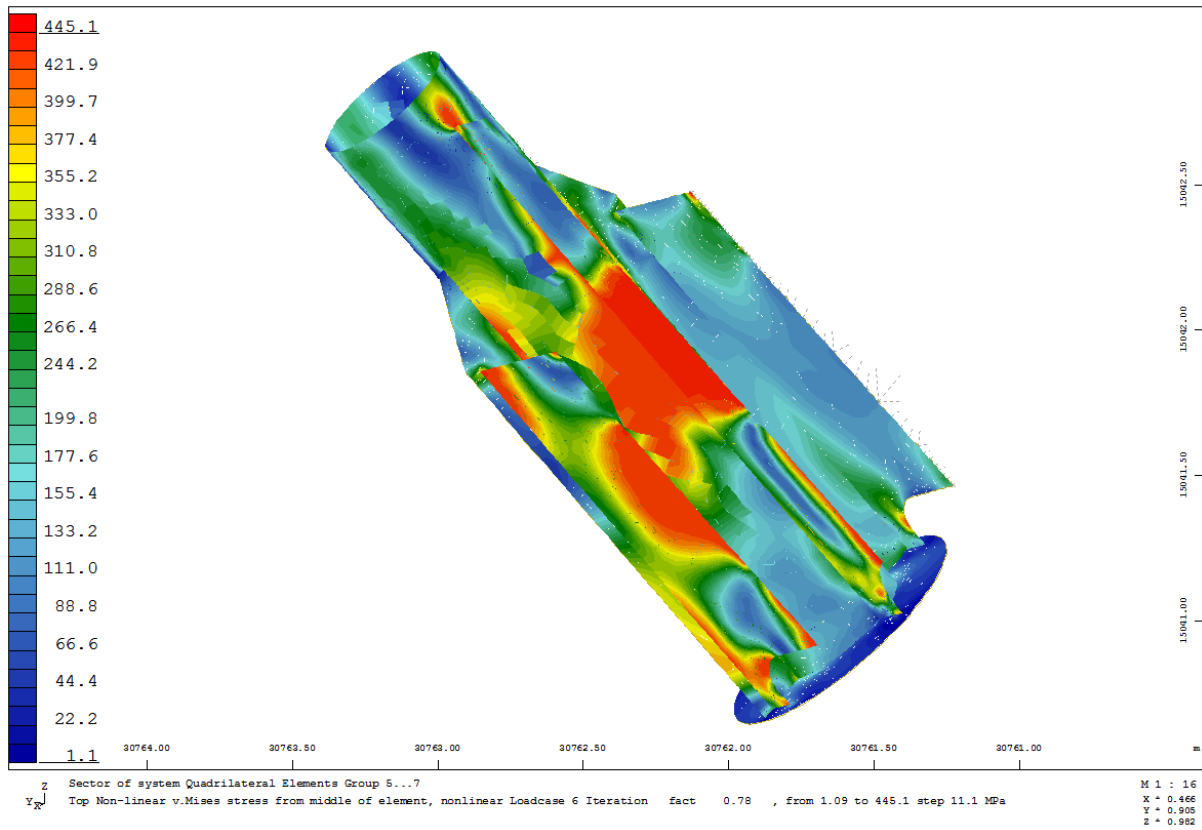
Rys. 10.7.4. Przeszyczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



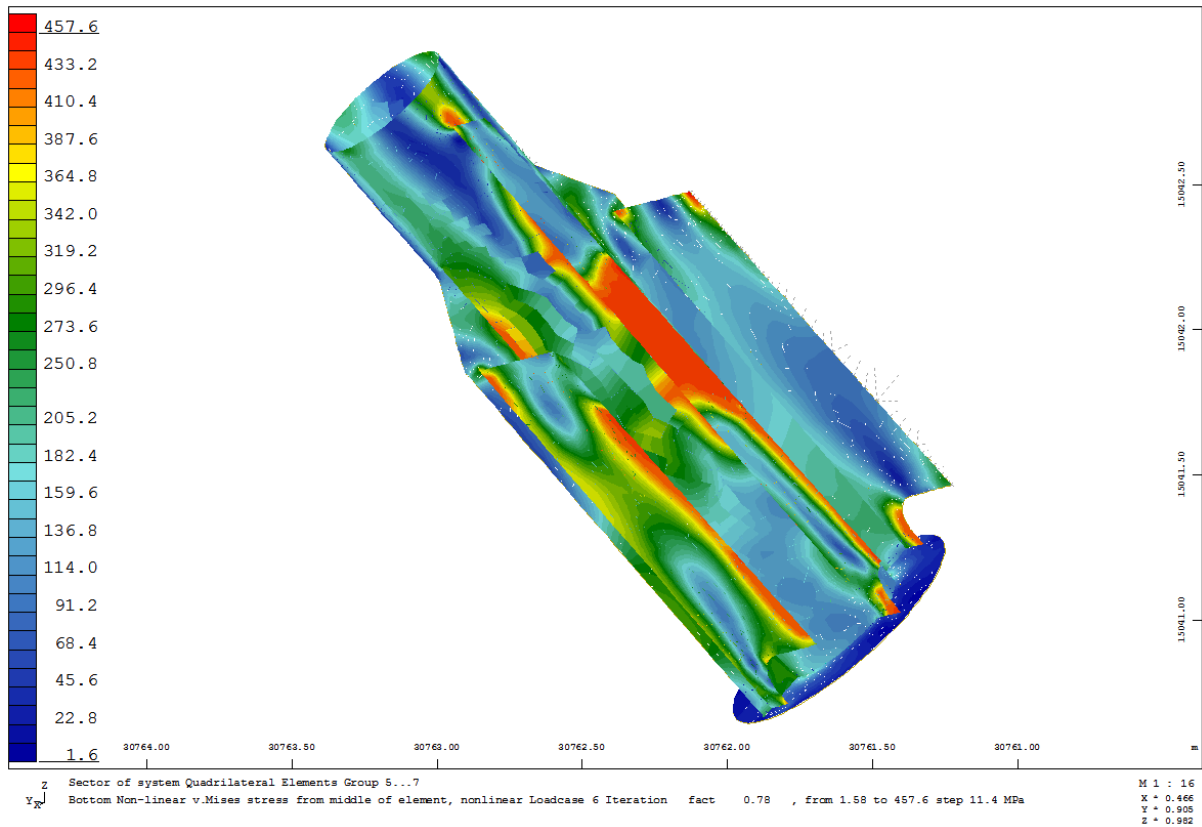
Rys. 10.7.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



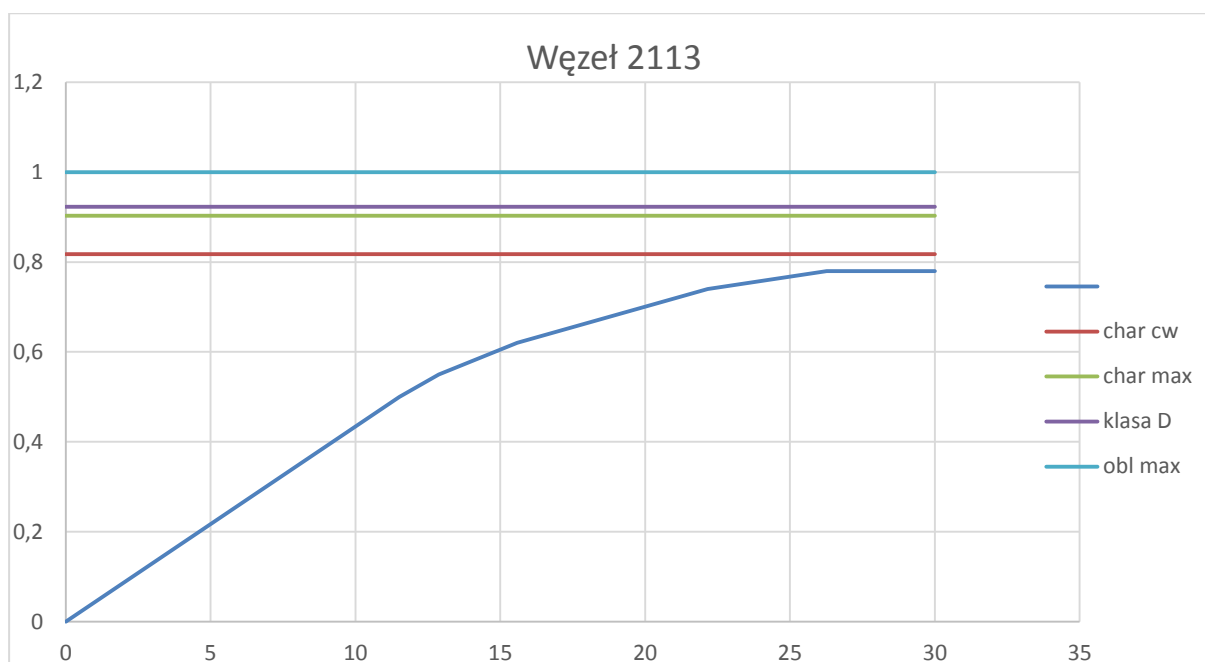
Rys. 10.7.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.7.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.7.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

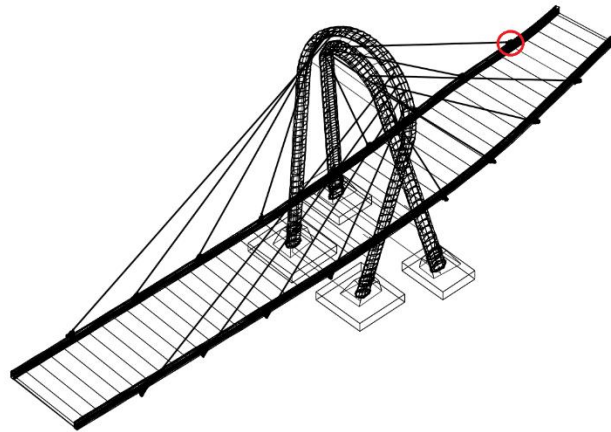


Rys.10.7.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A).

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 64695 |
| number of plastified gausspoints: | 8332 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 477.15 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 48.67 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -58.01 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 40.57 [o/oo] |

Tab.10.7.2. Raport z analizy

10.8. Węzeł 2114



Rys. 10.8.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|-------|
| 2114 | | 7570 | | 8765 | | 12104 |

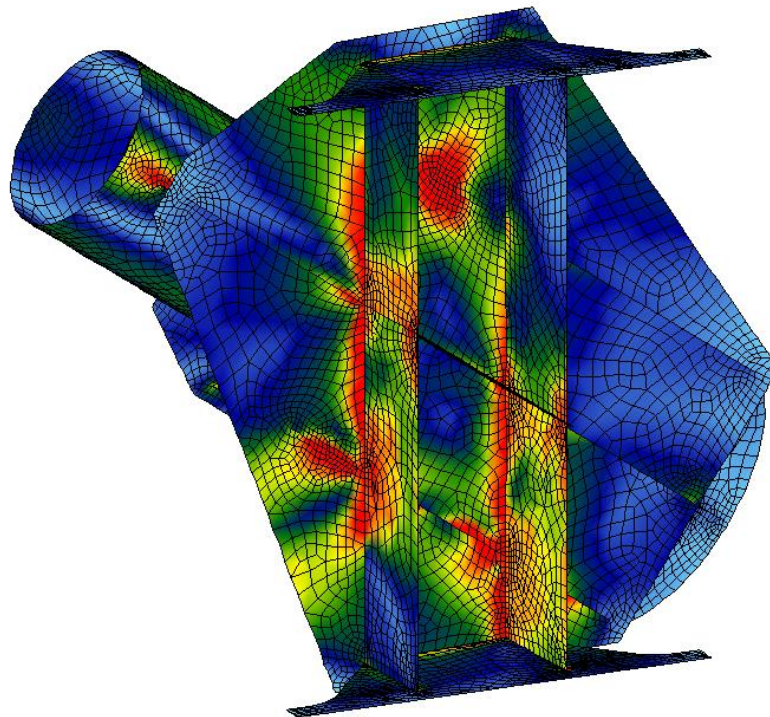
Tab.10.8.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

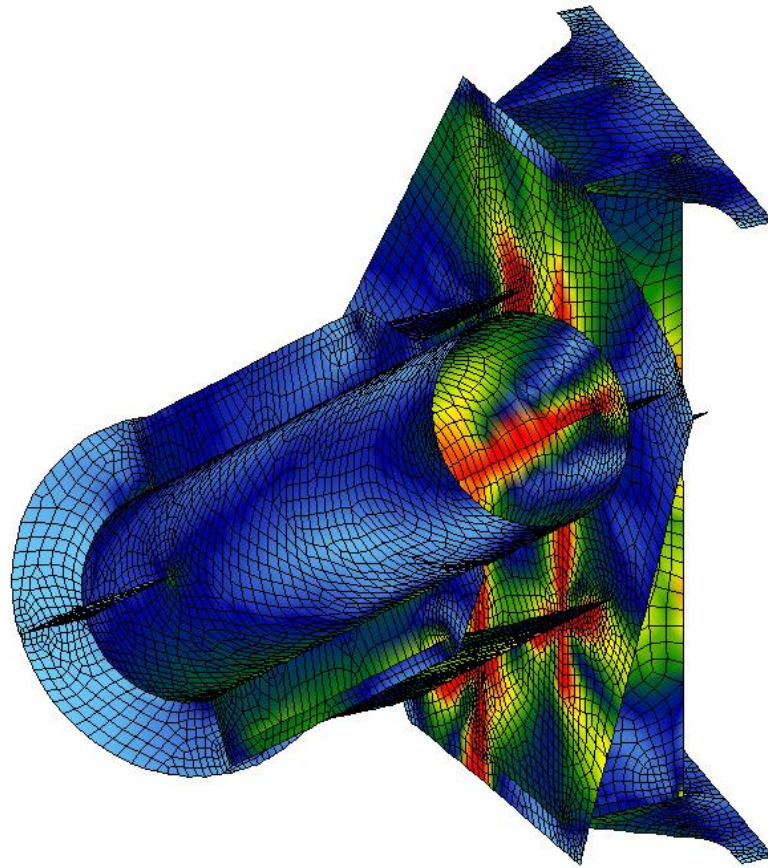
Liczba splotów: 96

Stal: Y 1860

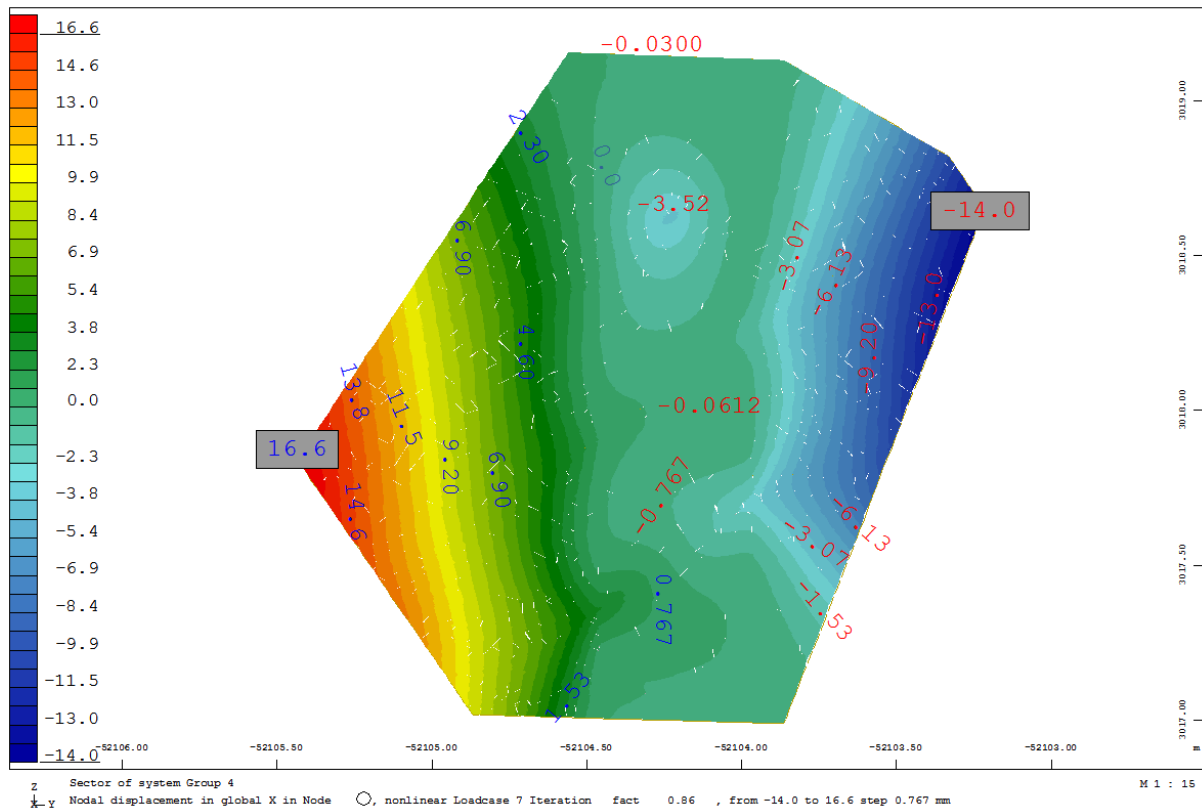
Siła zrywająca [kN]: 26784



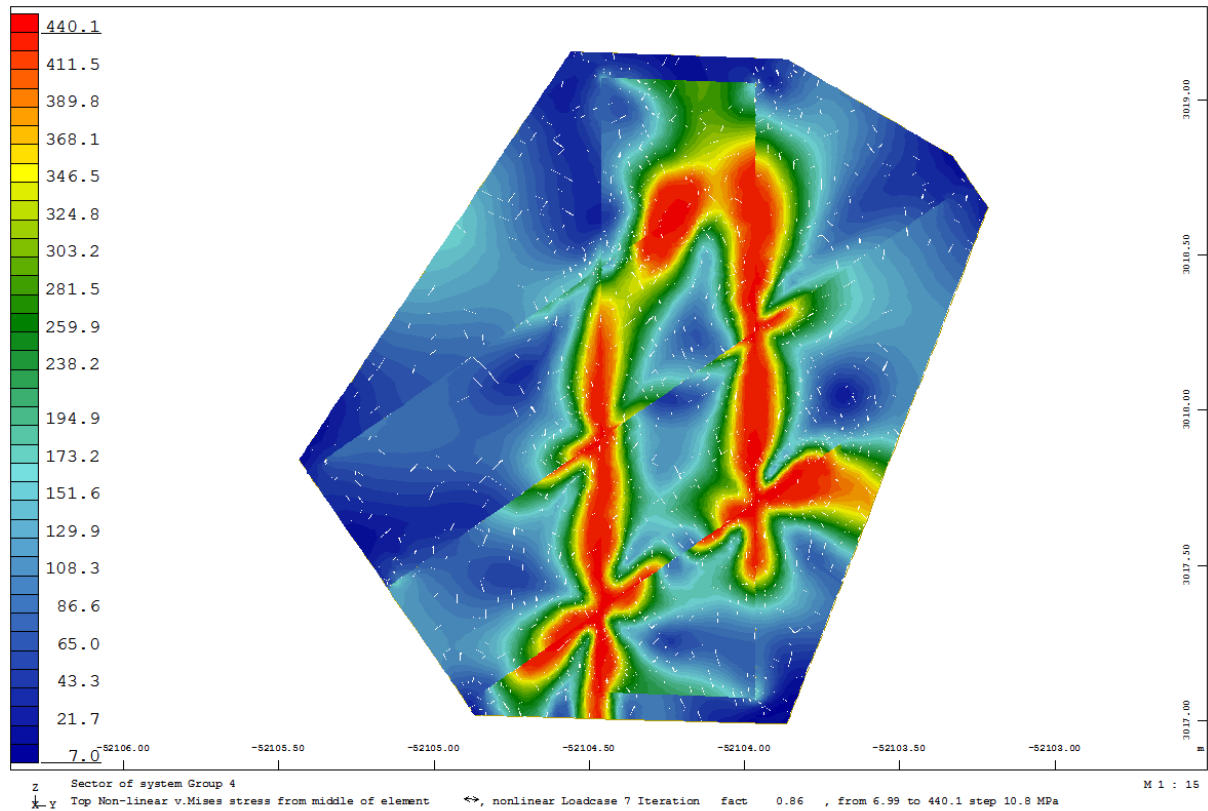
Rys. 10.8.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



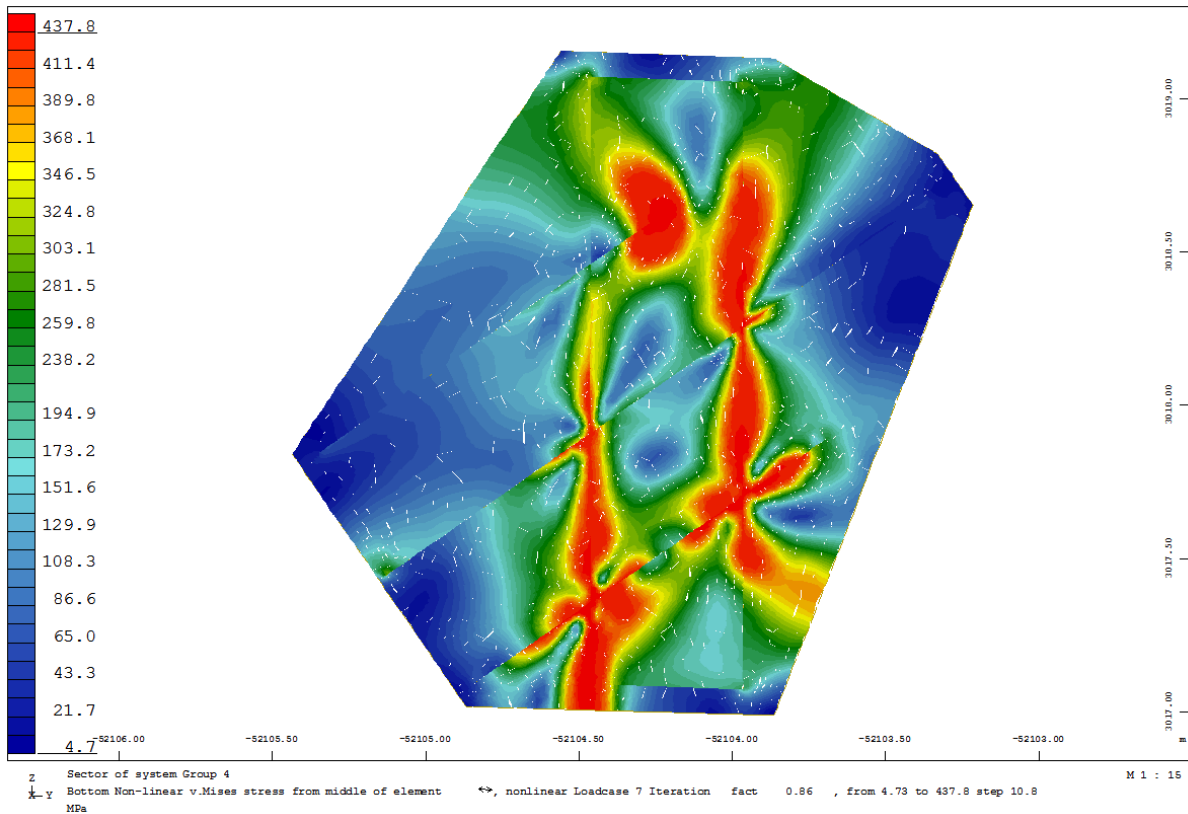
Rys. 10.8.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



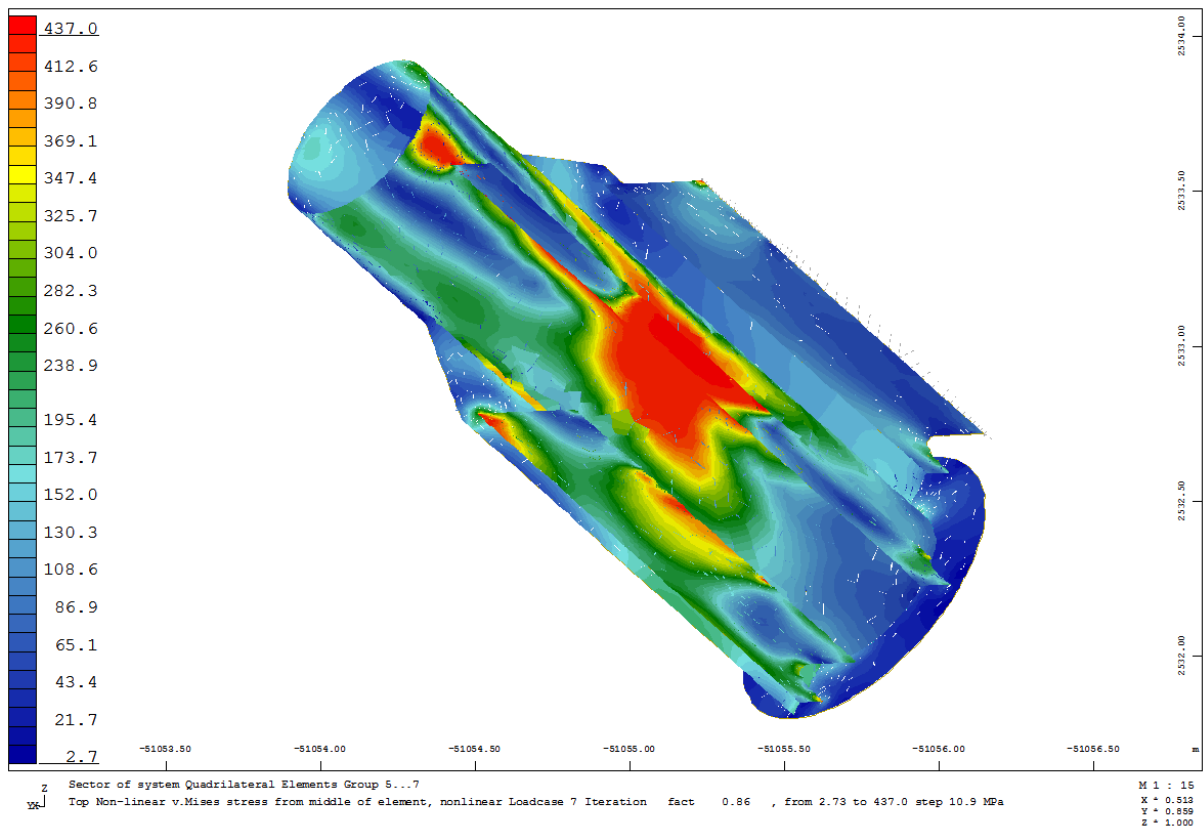
Rys.10.8.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



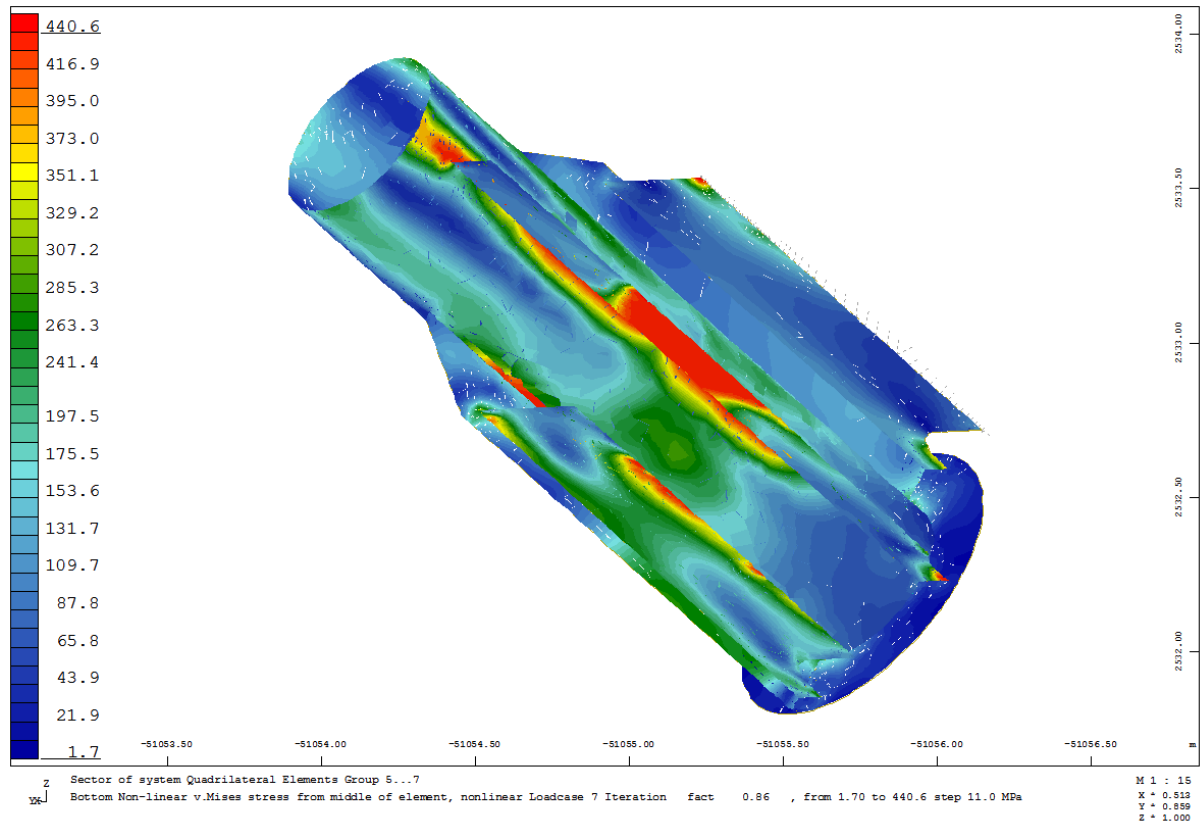
Rys. 10.8.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



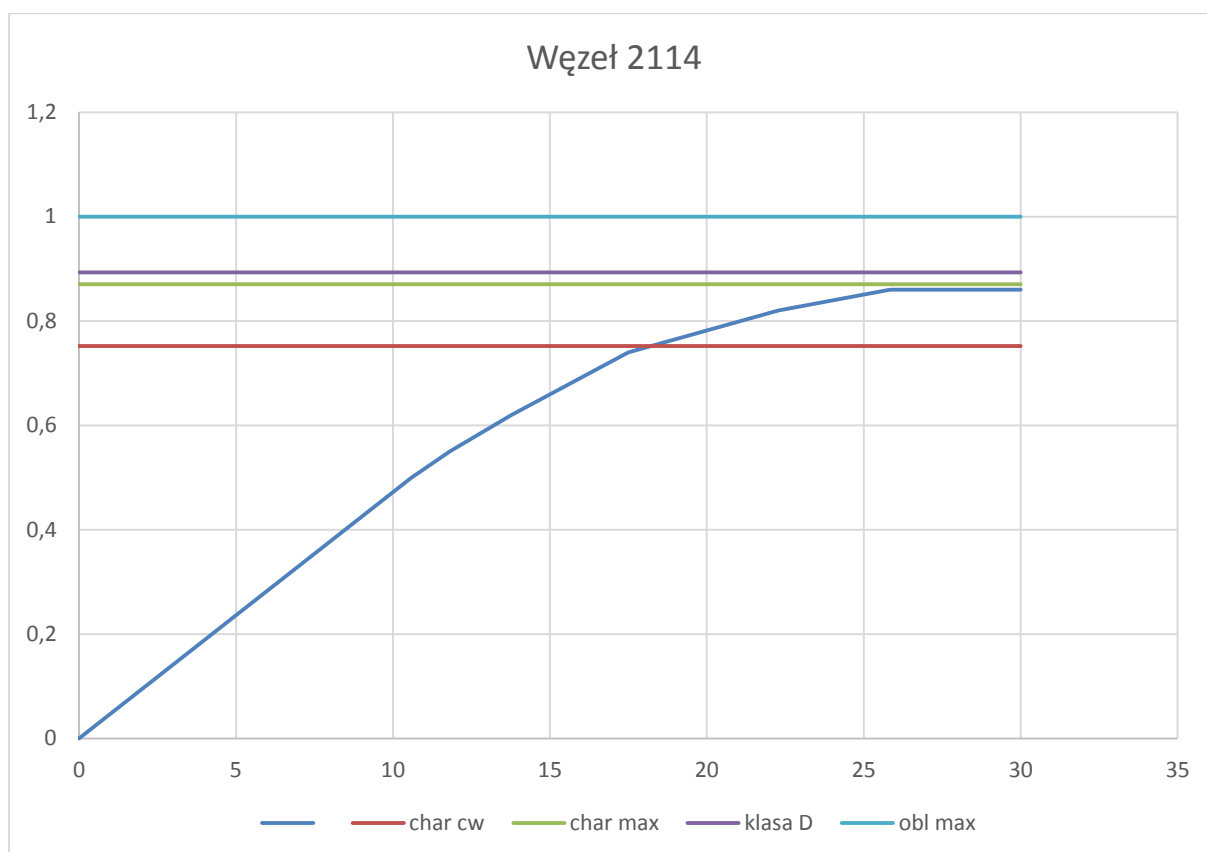
Rys. 10.8.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.8.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.8.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

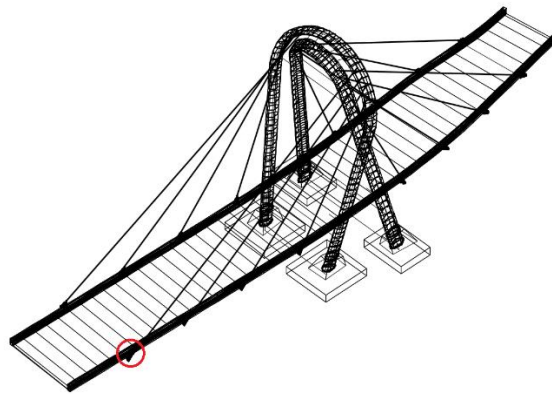


Rys. 10.8.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 63630 |
| number of plastified gausspoints: | 7250 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 495.31 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 45.00 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -58.90 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 75.80 [o/oo] |

Tab. 10.8.2. Raport z analizy.

10.9. Węzeł 2201



Rys. 10.9.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wany | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|---------|------------|----|------------|-----|-----------|-----|
| 2201 | 10440 | | 10874 | | 11208 | |

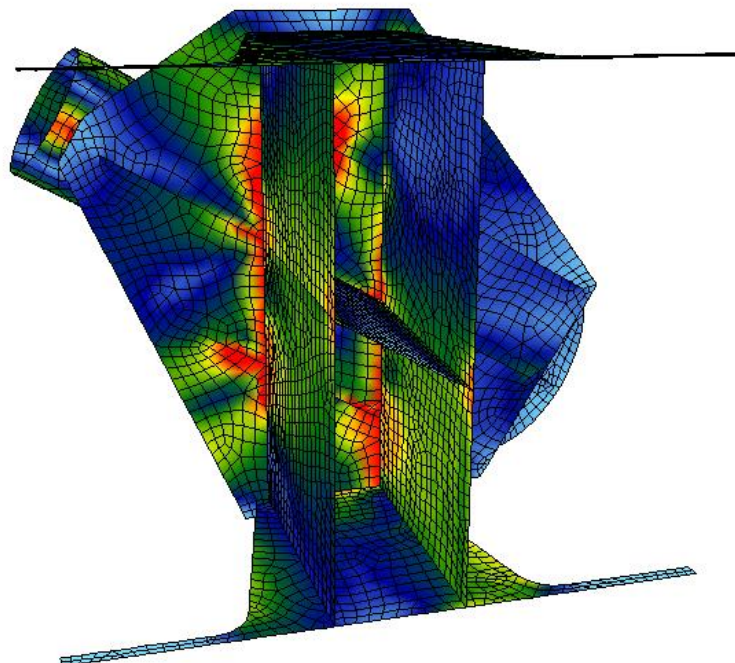
Tab.10.9.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

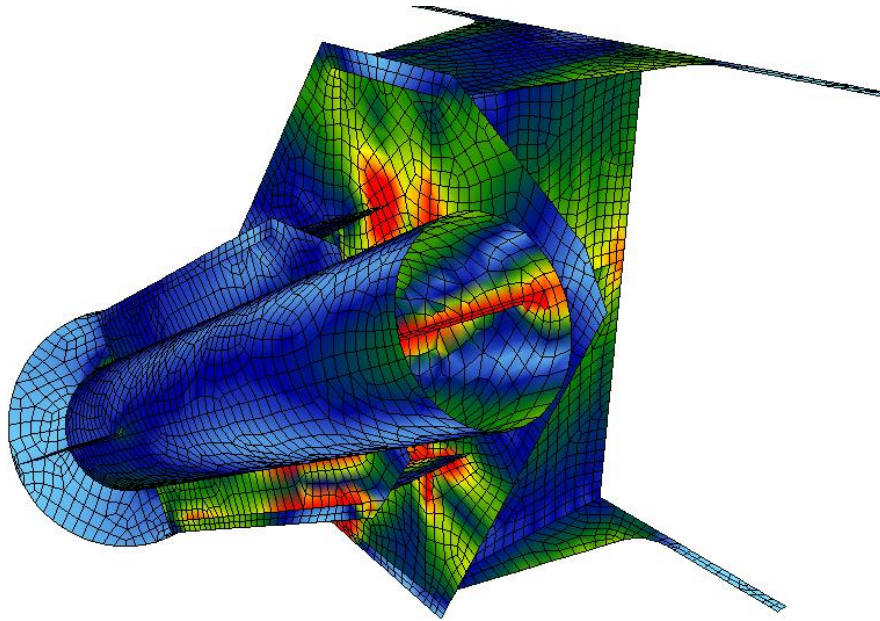
Liczba splotów: 96

Stal: Y 1860

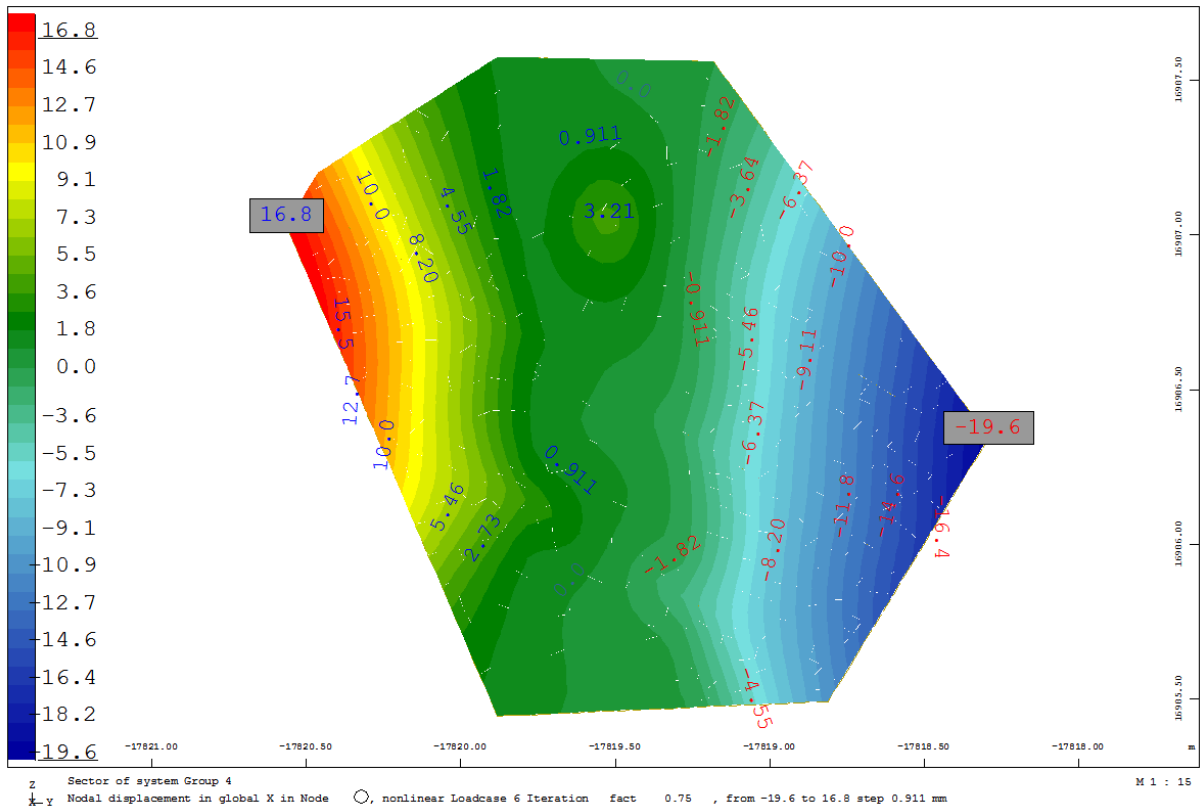
Siła zrywająca [kN]: 26784



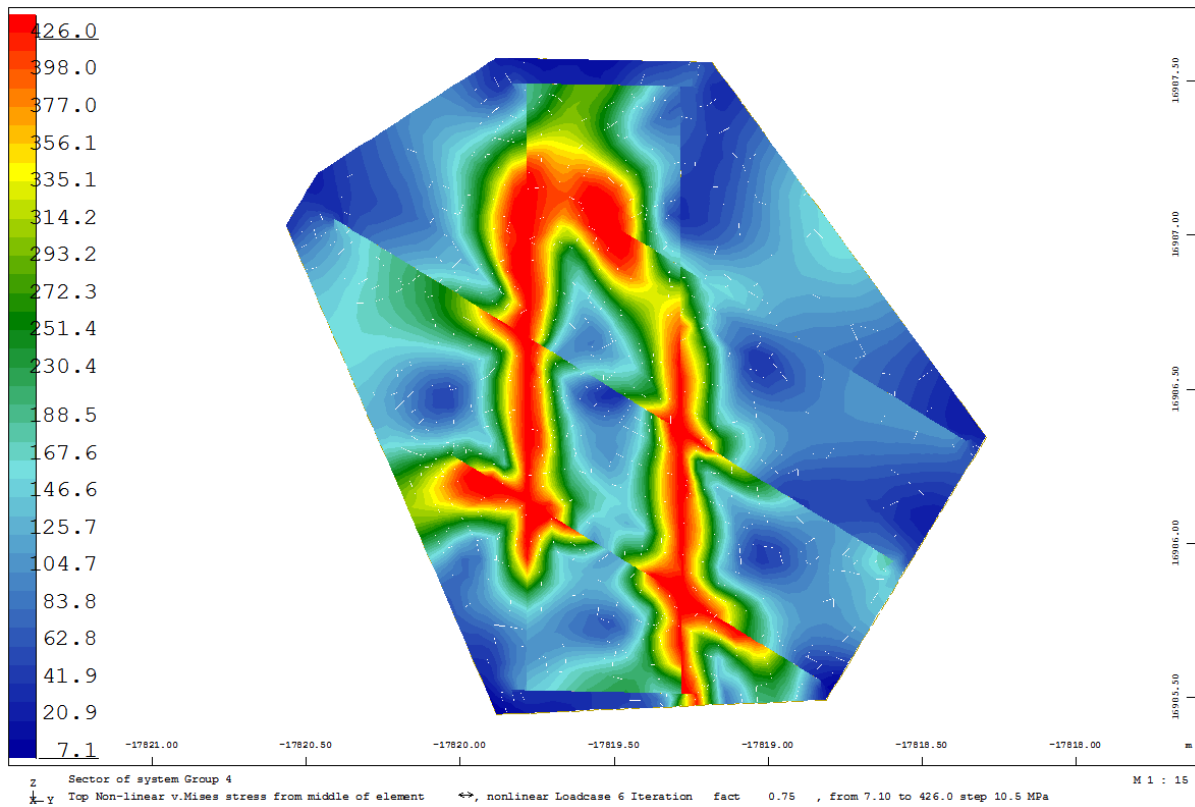
Rys. 10.9.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



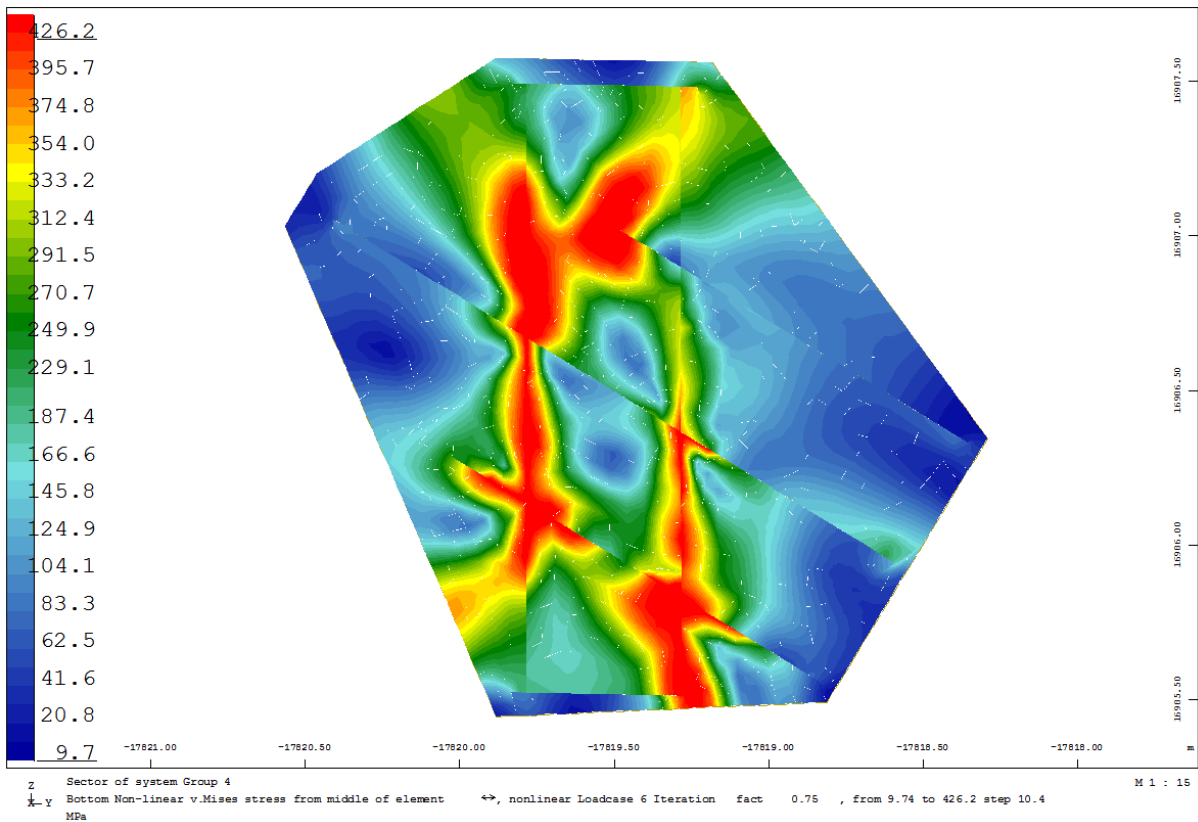
Rys. 10.9.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



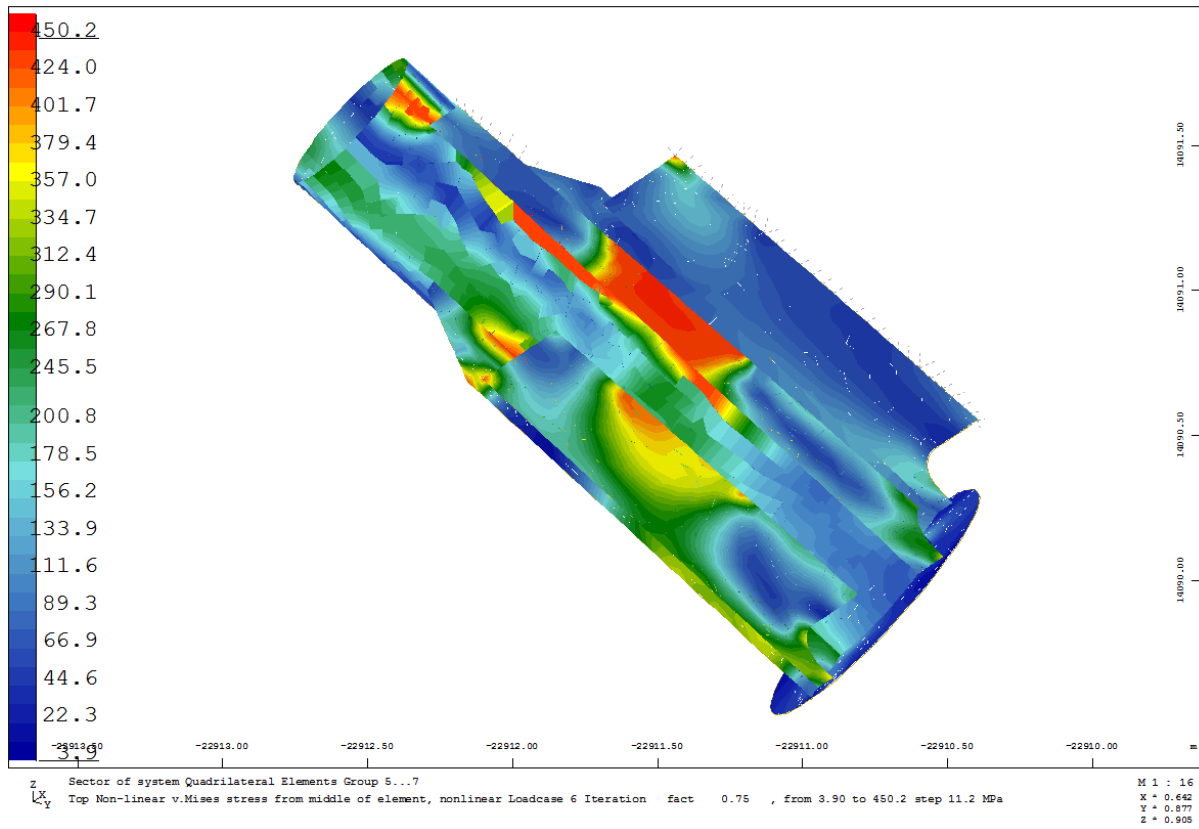
Rys. 10.9.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



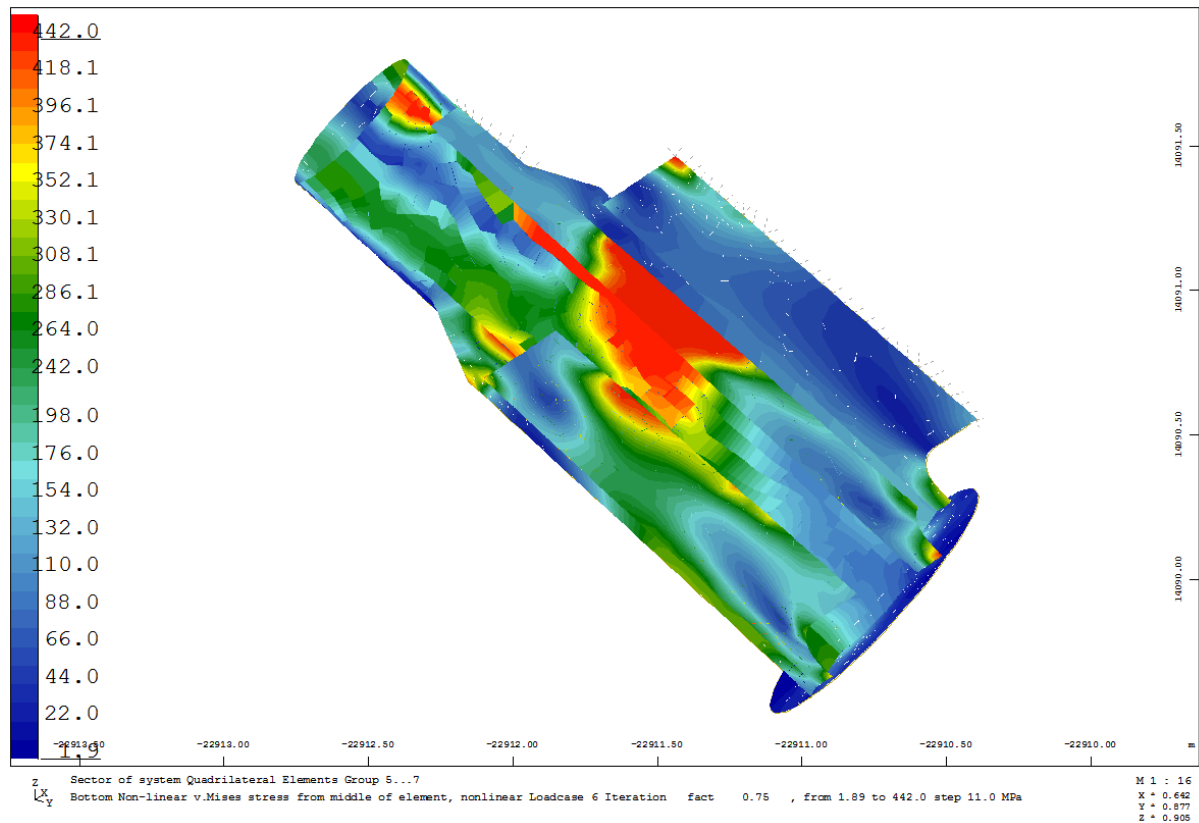
Rys. 10.9.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



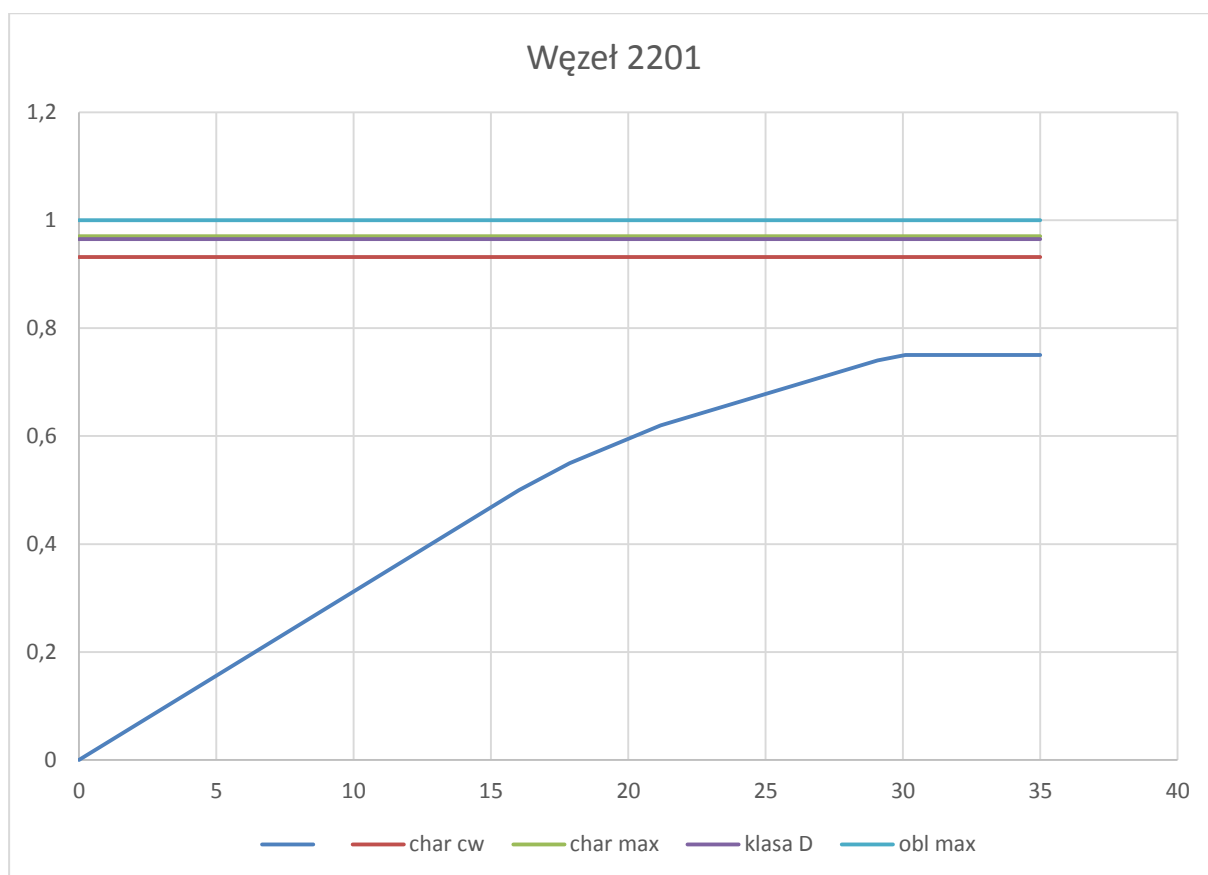
Rys. 10.9.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.9.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.9.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

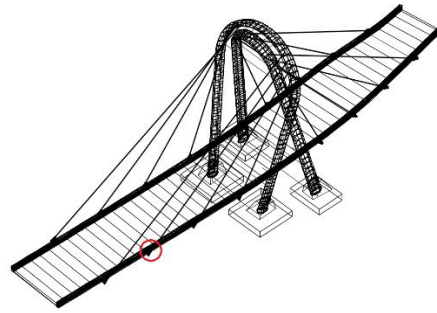


Rys. 10.9.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A).

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 37905 |
| number of plastified gausspoints: | 2674 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 456.11 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 39.62 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -37.39 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 25.08 [o/oo] |

Tab.10.9.2. Raport z analizy.

10.10. Węzeł 2202



Rys. 10.10.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|------|
| 2202 | | 3758 | | 5270 | | 7005 |

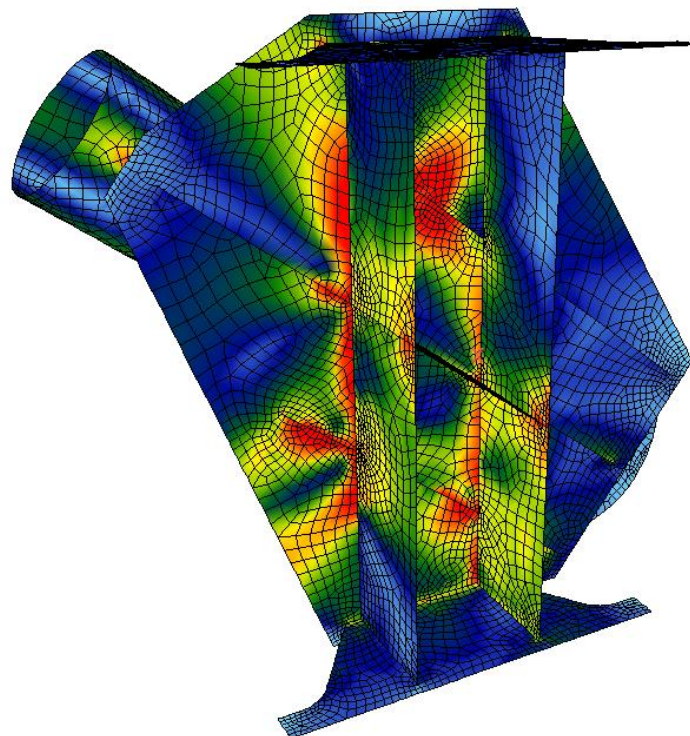
Tab.10.10.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

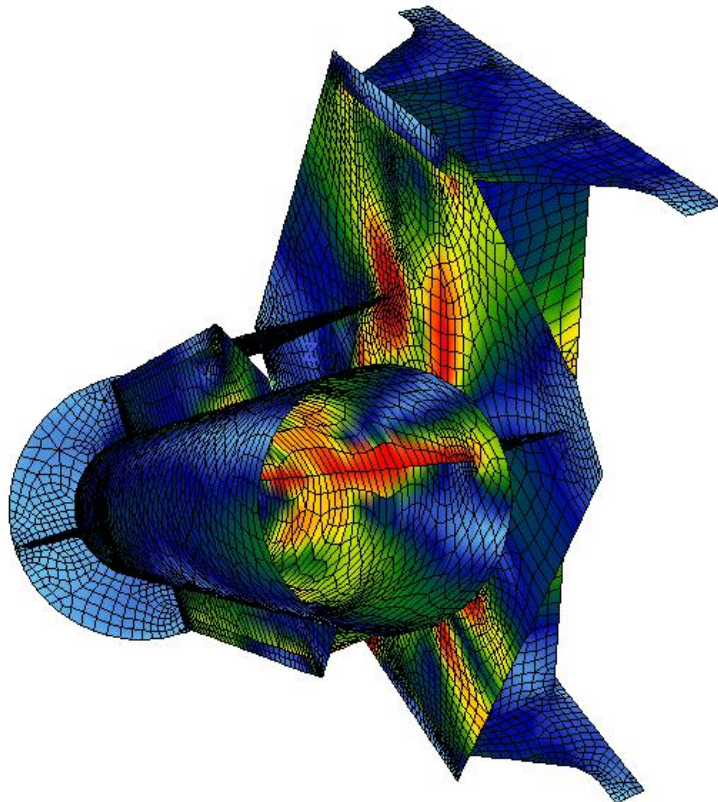
Liczba splotów: 91

Stal: Y 1860

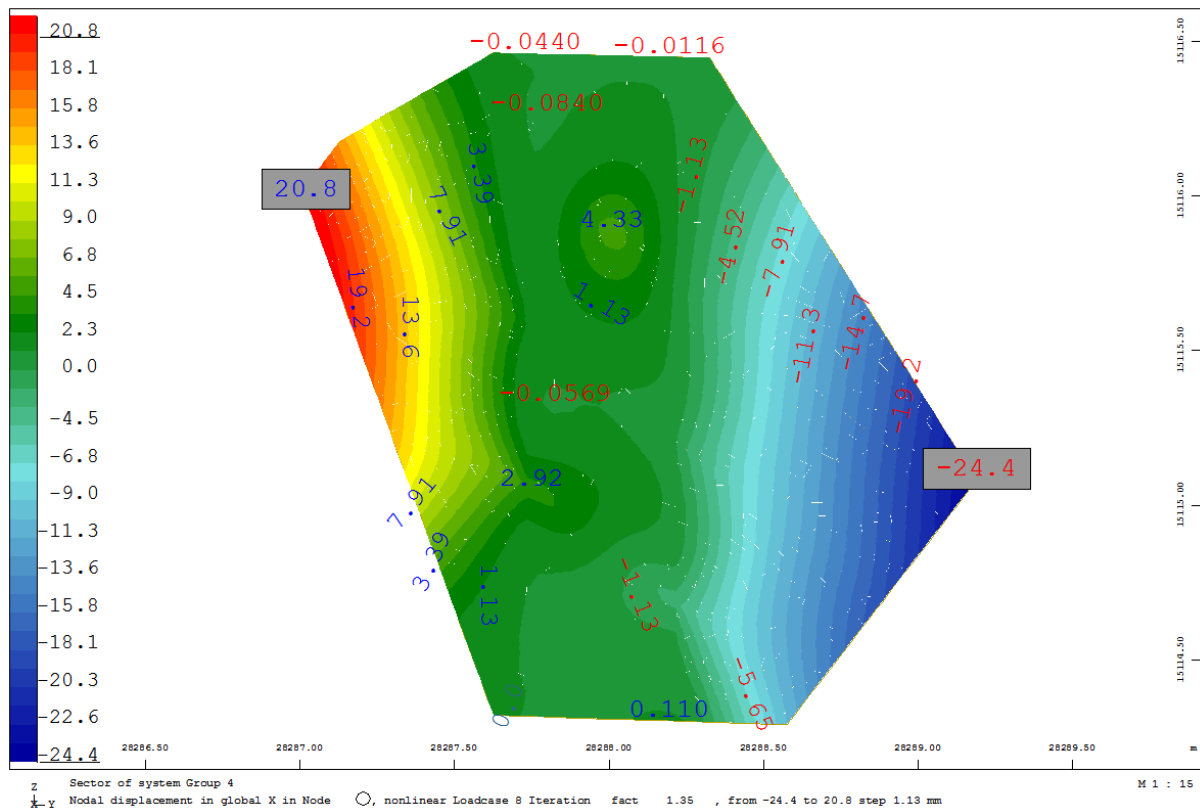
Siła zrywająca [kN]: 25389



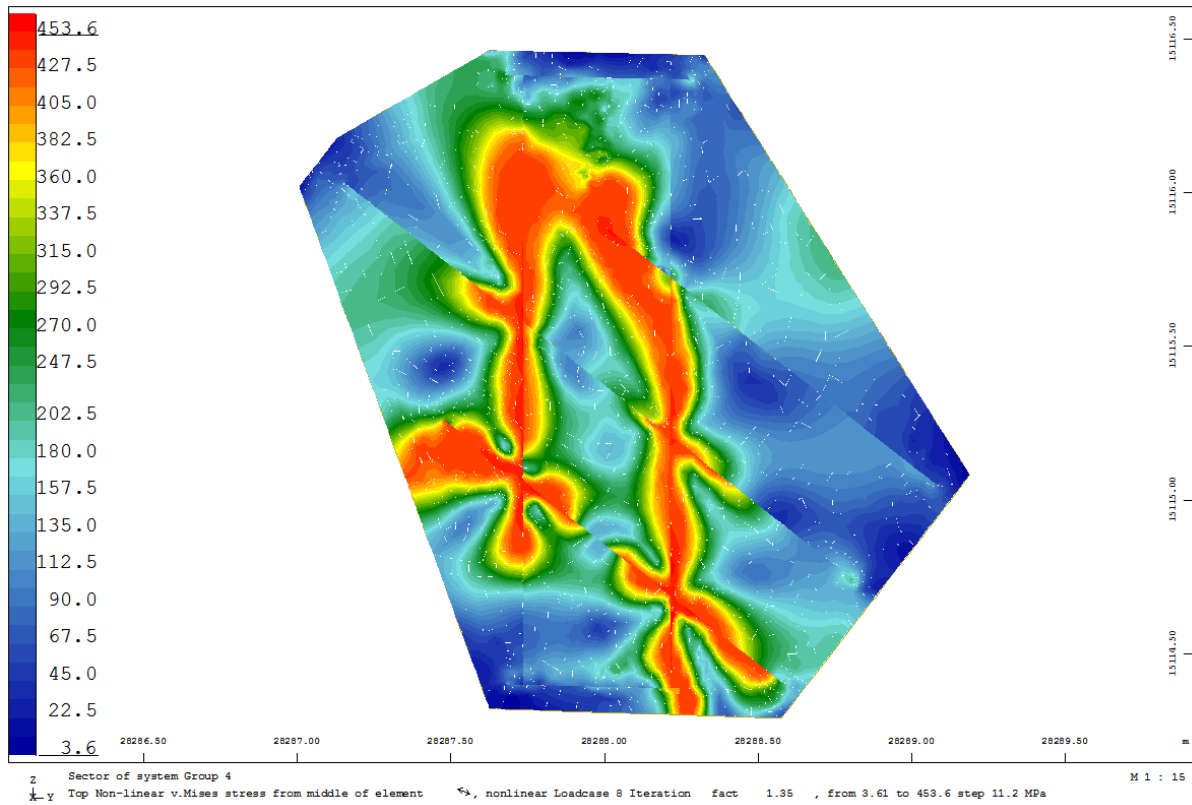
Rys. 10.10.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



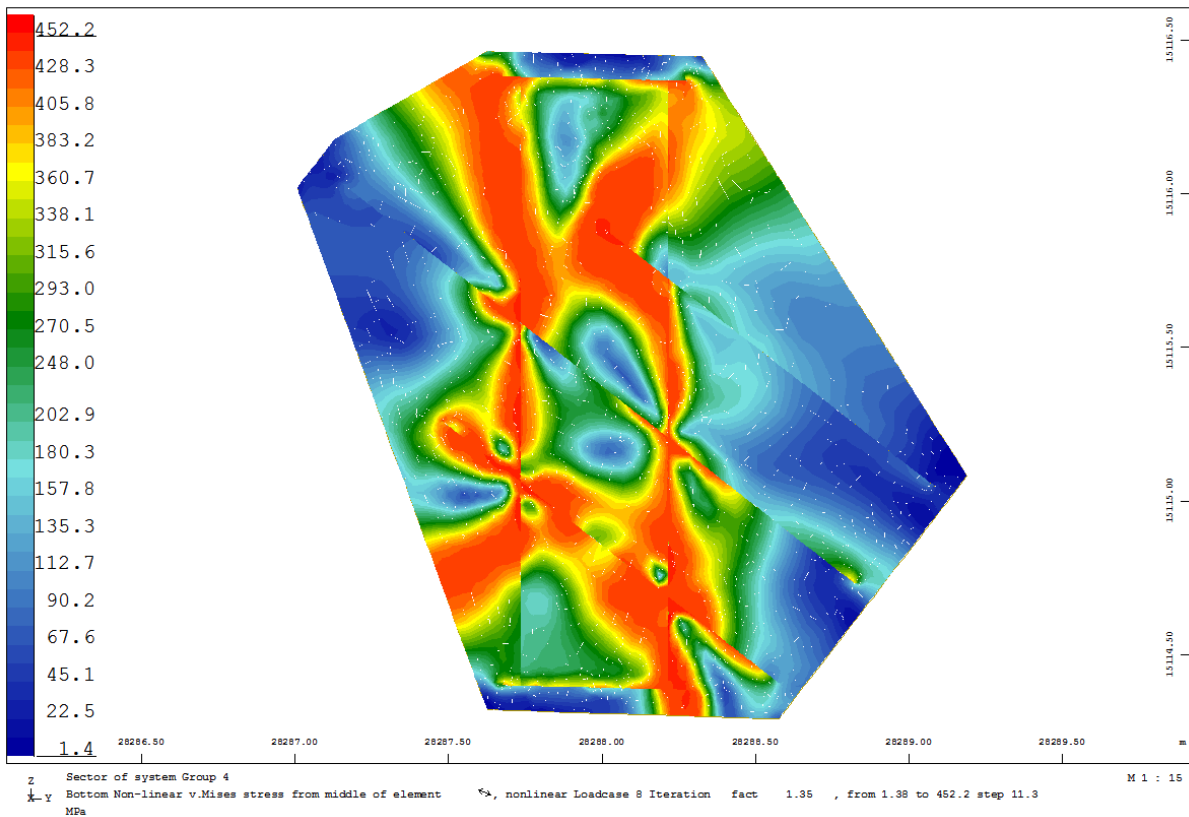
Rys. 10.10.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



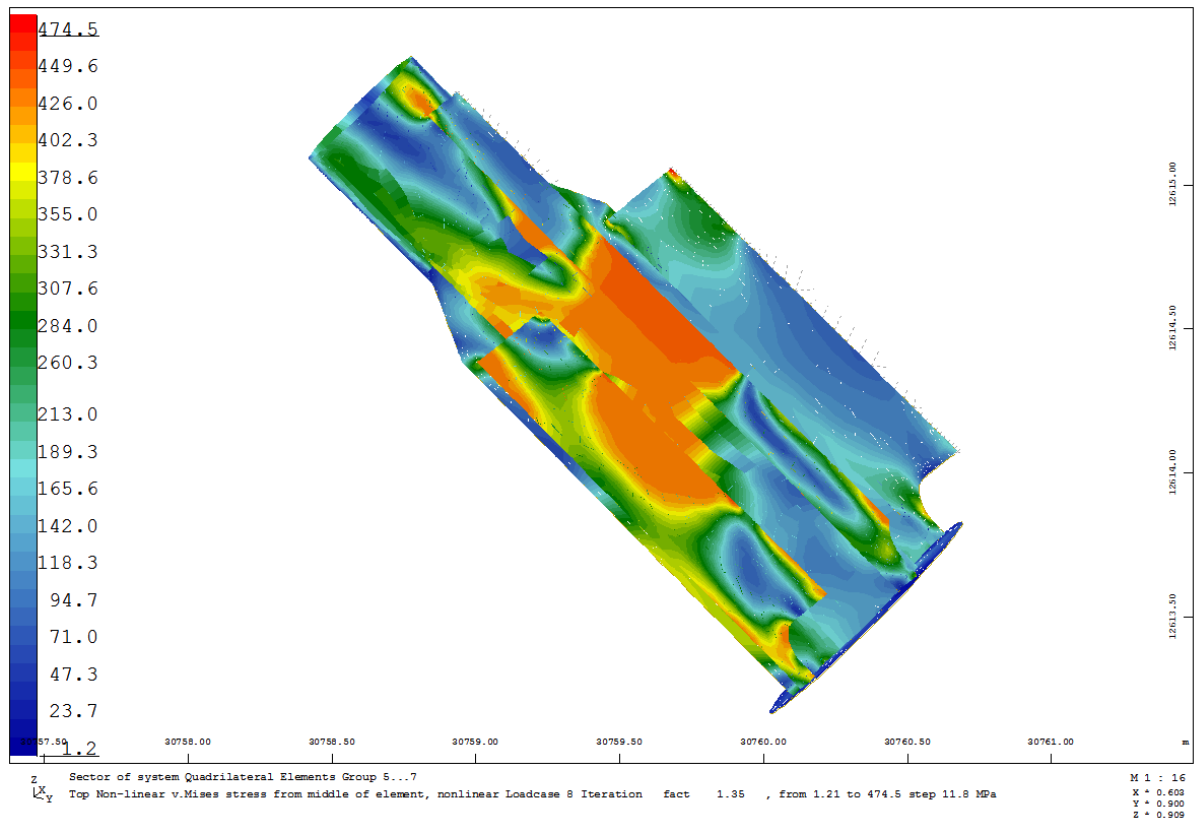
Rys. 10.10.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



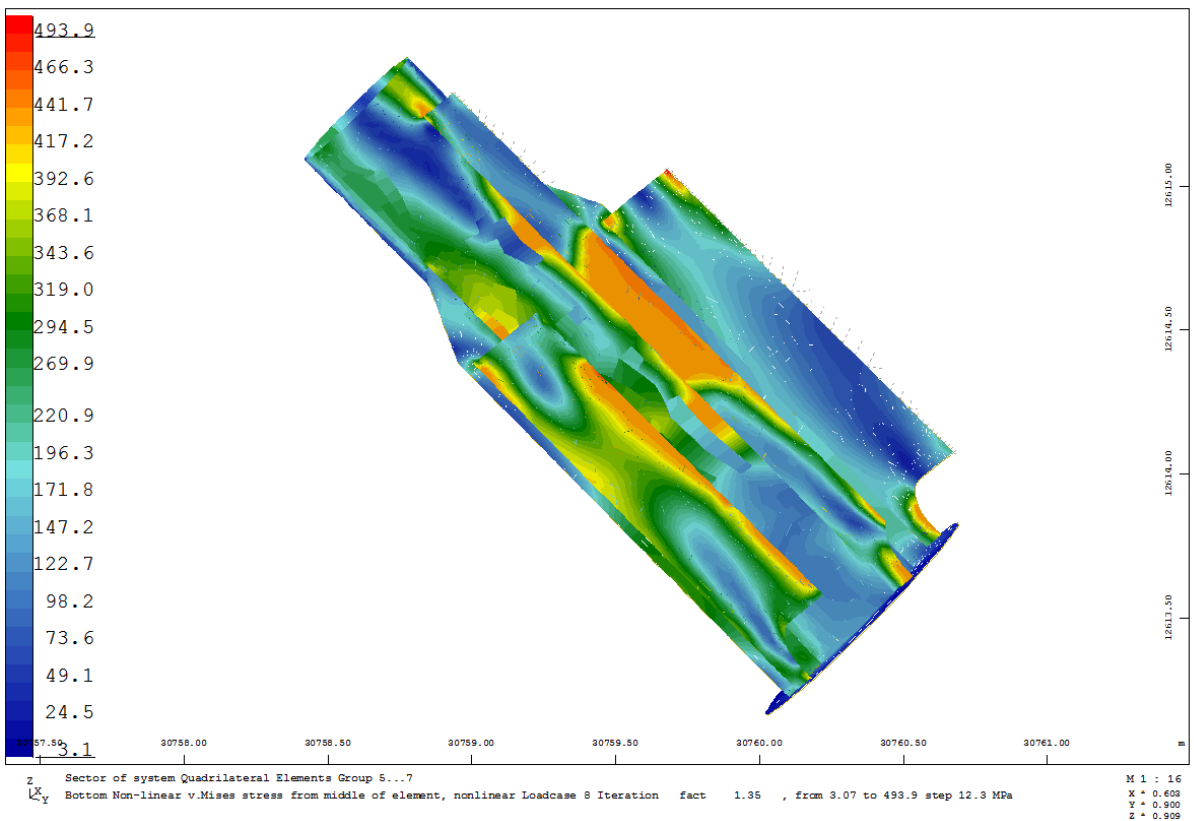
Rys. 10.10.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



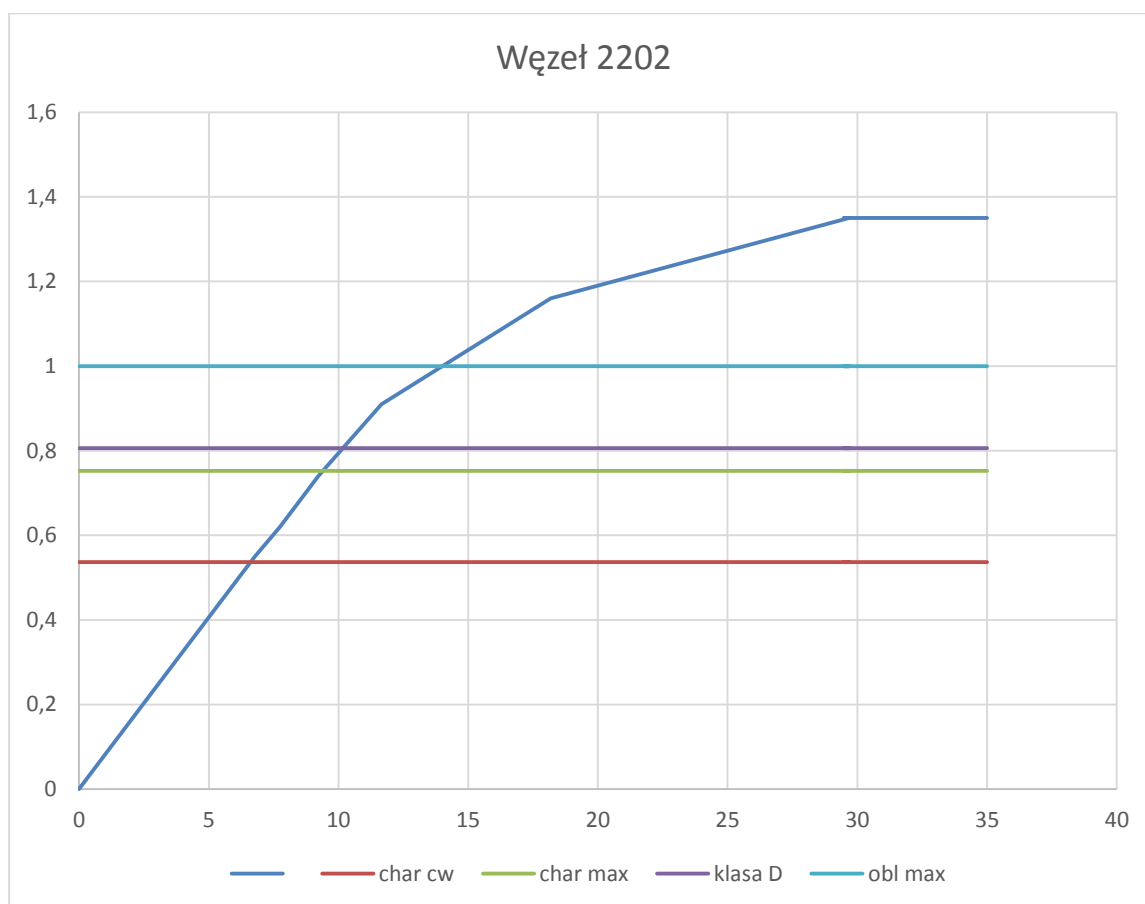
Rys. 10.10.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.10.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.10.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

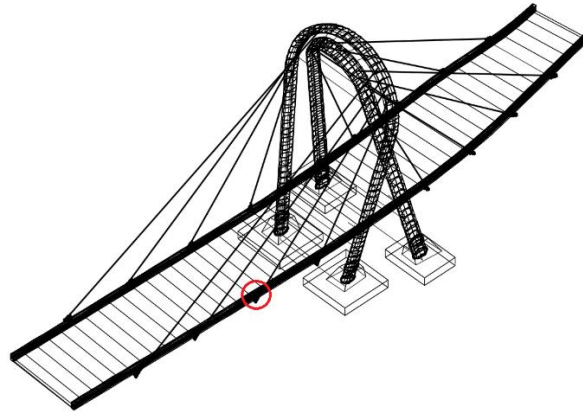


Rys. 10.10.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 9790 |
| number of plastified gausspoints: | 9827 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 510.31 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 48.86 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -90.50 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 57.79 [o/oo] |

Tab. 10.10.2. Raport z analizy

10.11. Węzeł 2203



Rys.10.11.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|-------|
| 2203 | | 7067 | | 8731 | | 10684 |

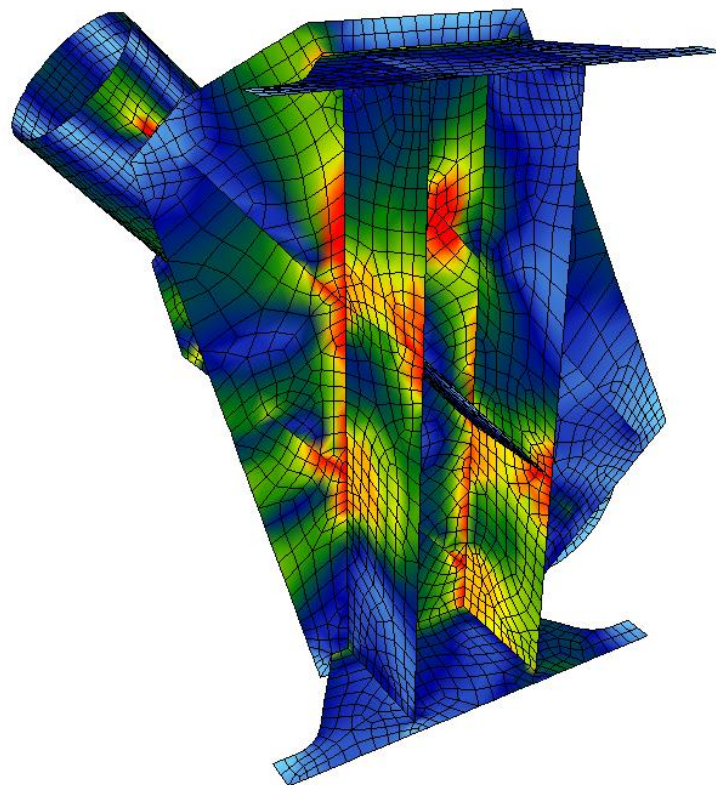
Tab. 10.11.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

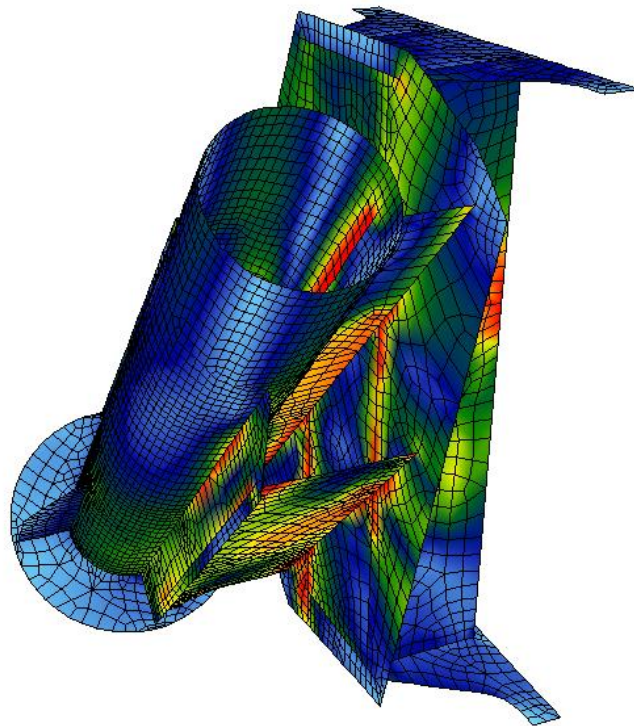
Liczba splotów: 72

Stal: Y 1860

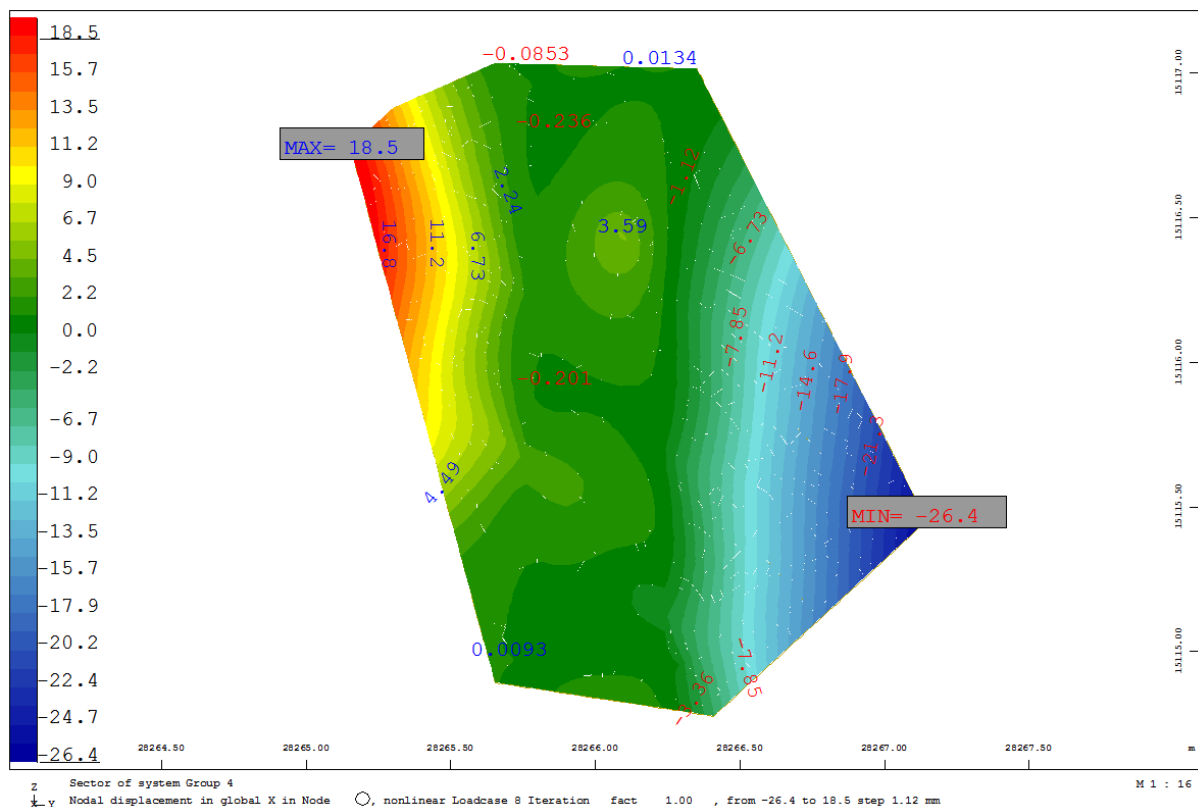
Siła zrywająca [kN]: 20088



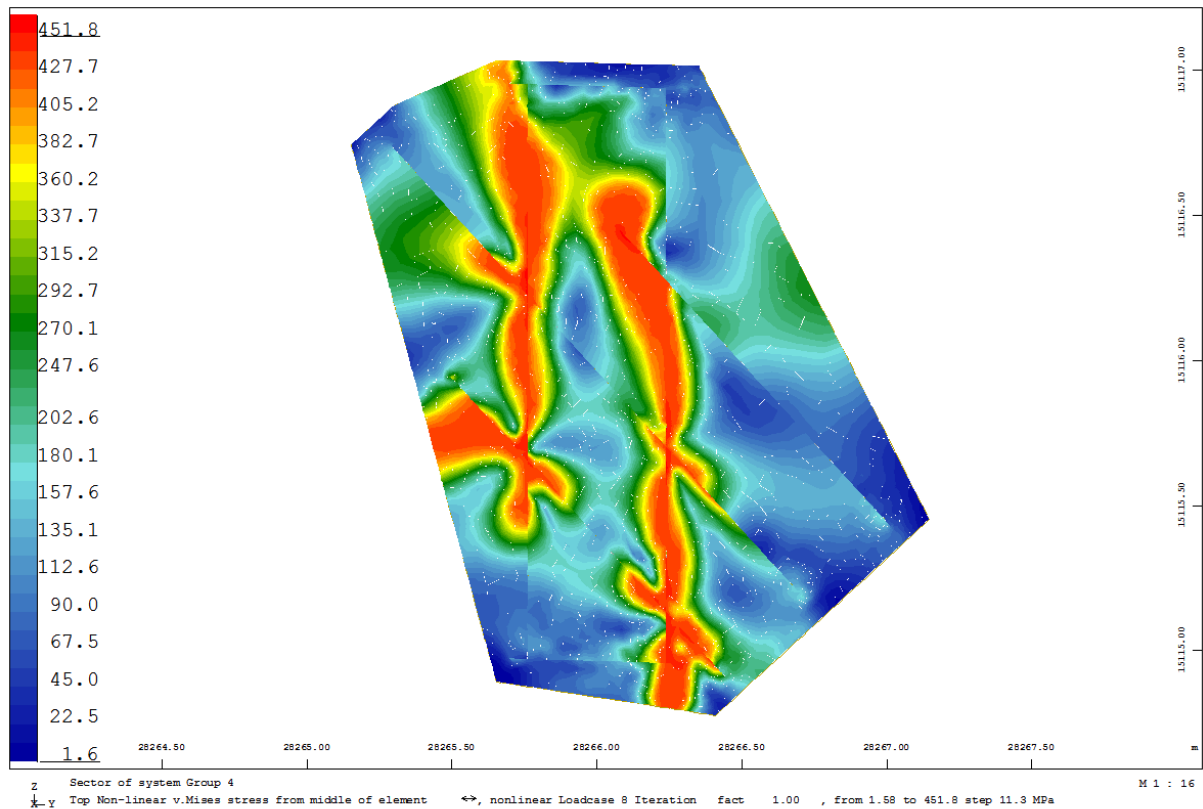
Rys. 10.11.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



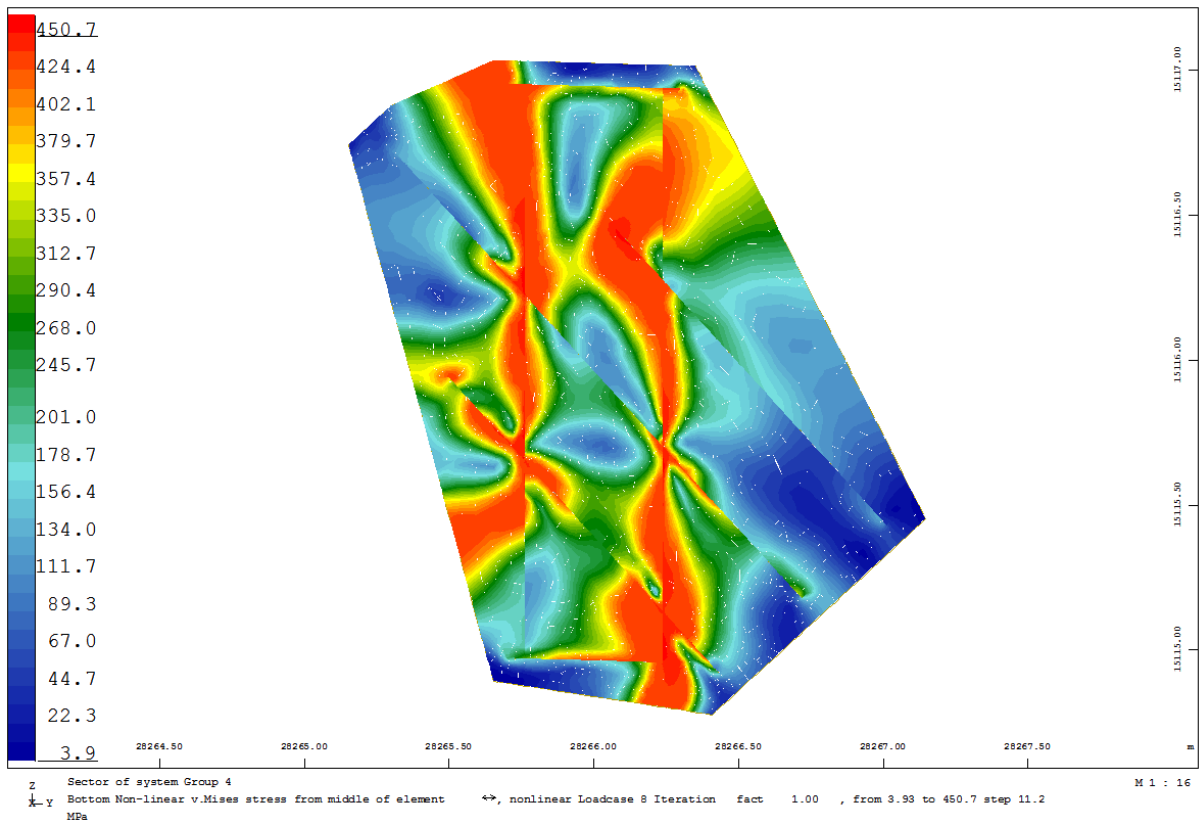
Rys. 10.11.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



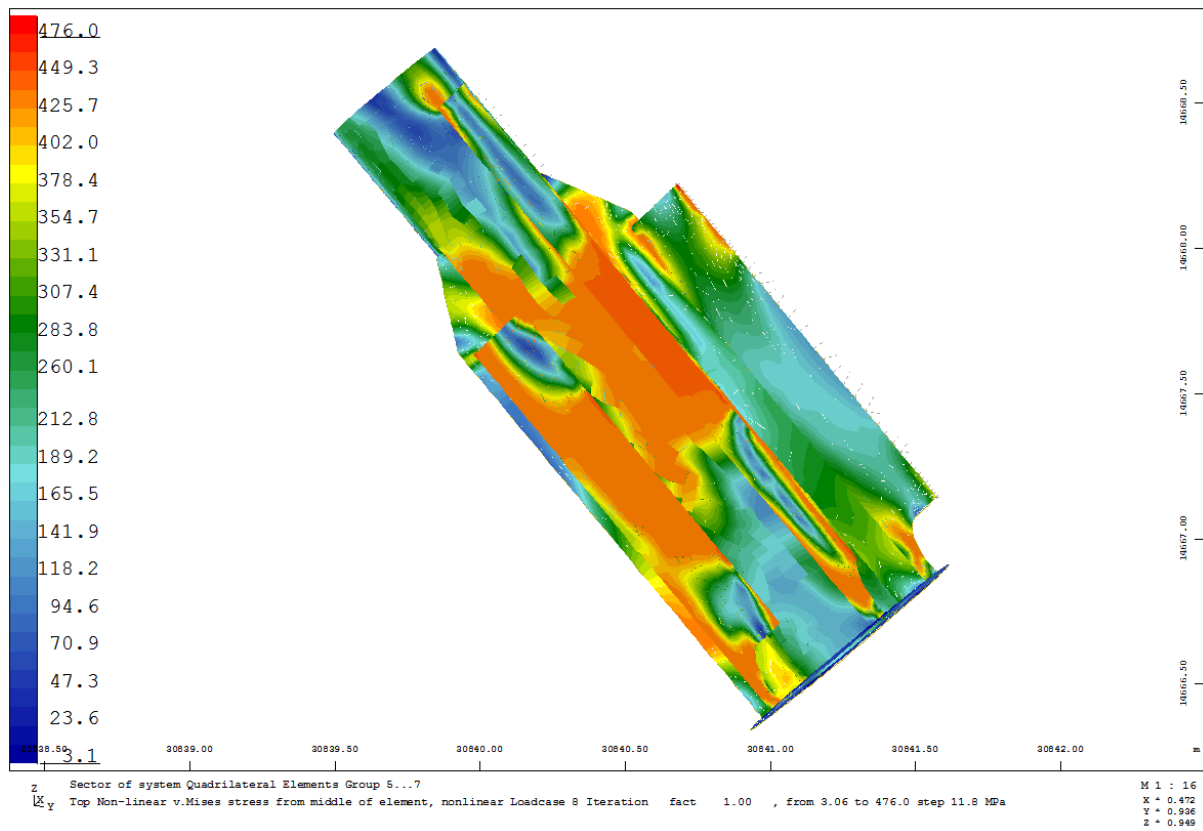
Rys. 10.11.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



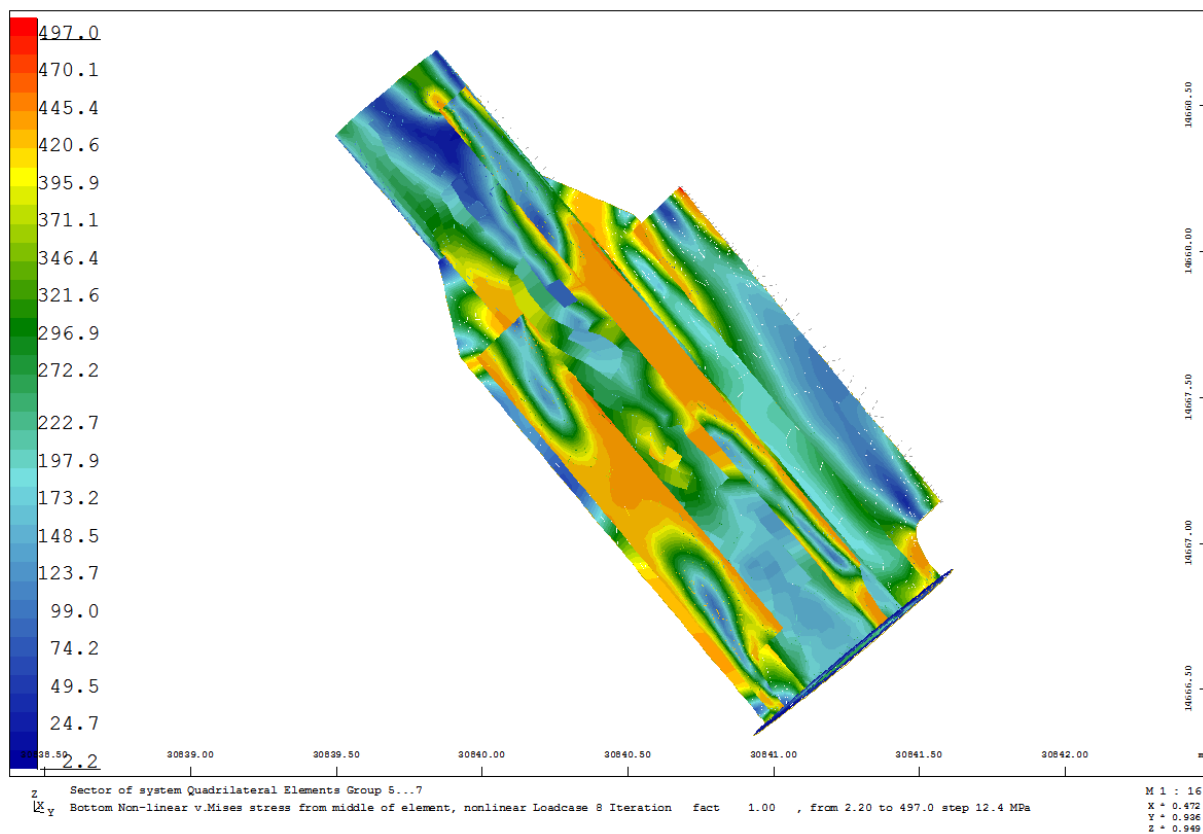
Rys. 10.11.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.11.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.11.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.11.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

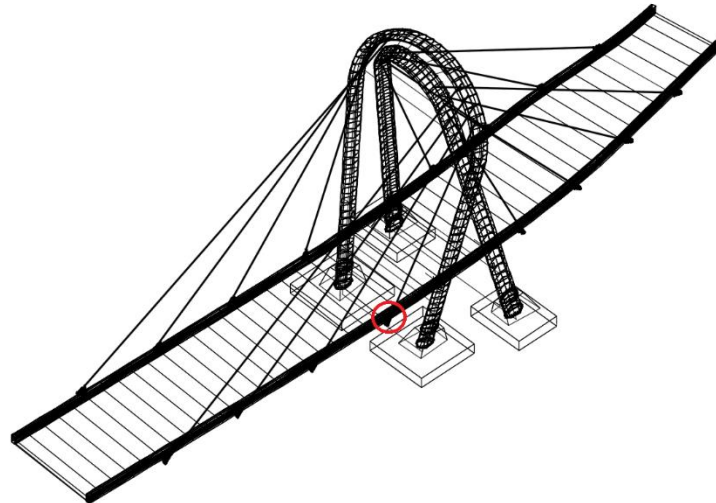


Rys. 10.11.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 8180 |
| number of plastified gausspoints: | 13041 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 511.23 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 43.45 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -91.40 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 65.62 [o/oo] |

Tab. 10.11.2. Wynik analizy nieliniowej.

10.12. Węzeł 2204



Rys.10.12.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanki | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|-------|-----------|-------|
| 2204 | | 8045 | | 10799 | | 14108 |

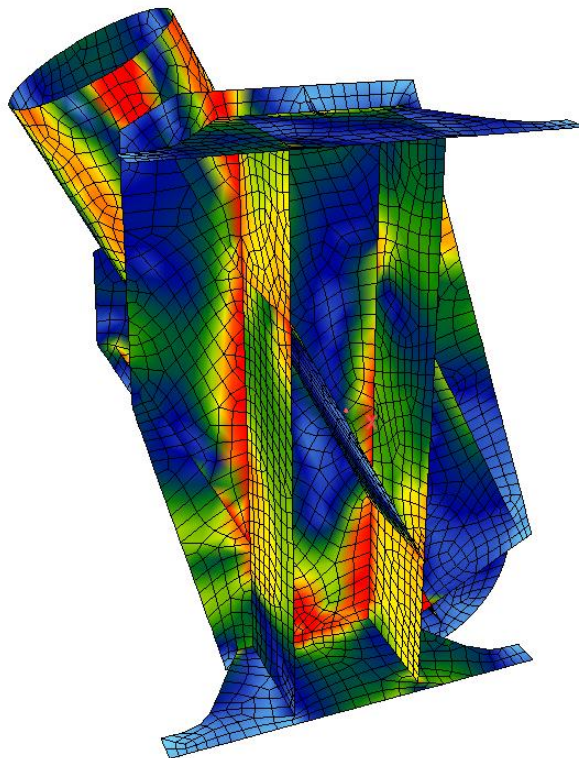
Tab. 10.12.1. Siły w wanku dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

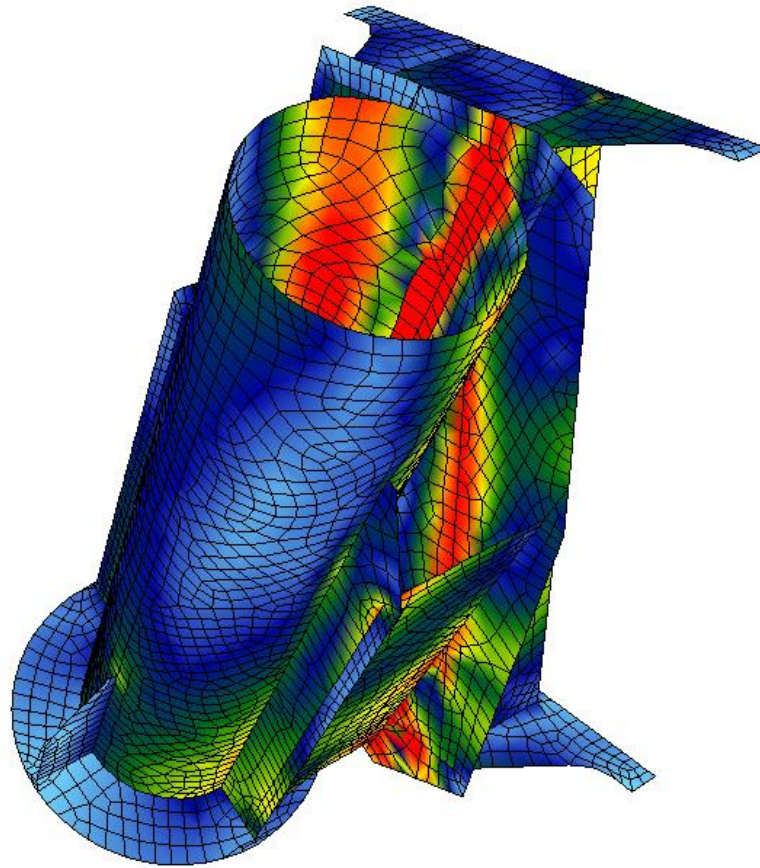
Liczba splotów: 109

Stal: Y 1860

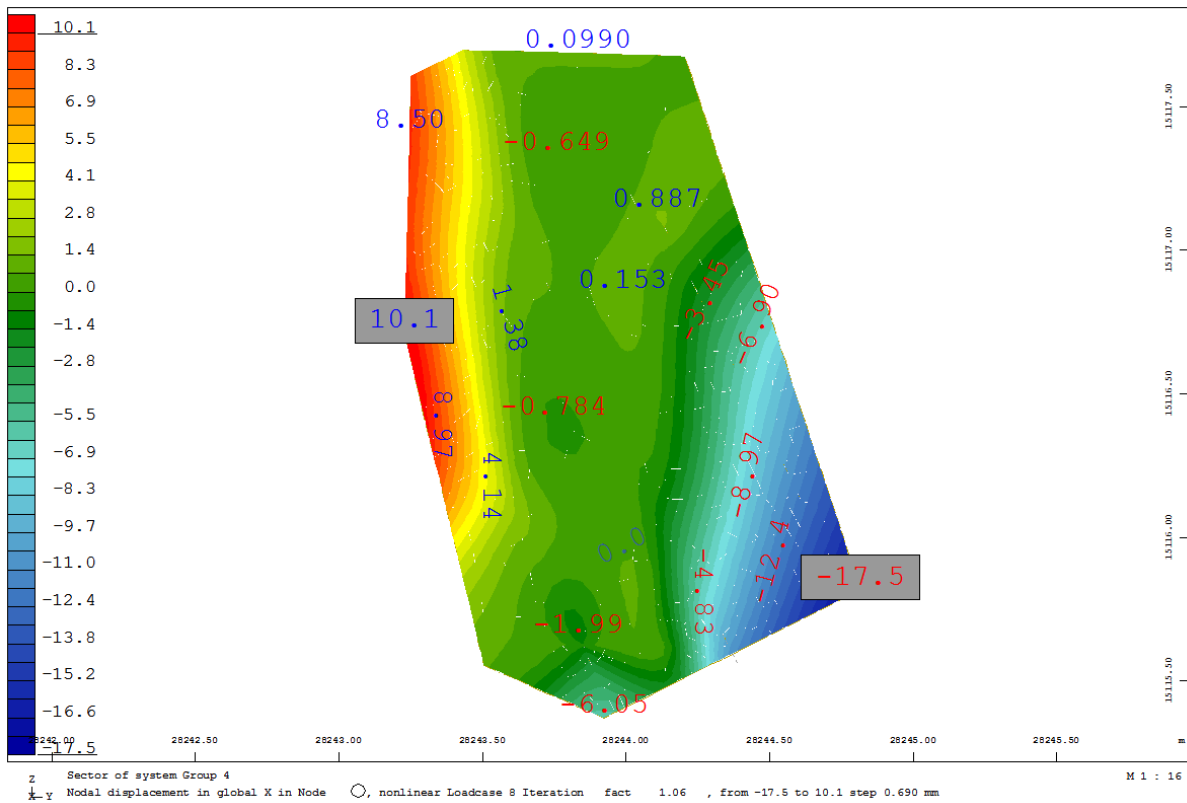
Siła zrywająca [kN]: 30411



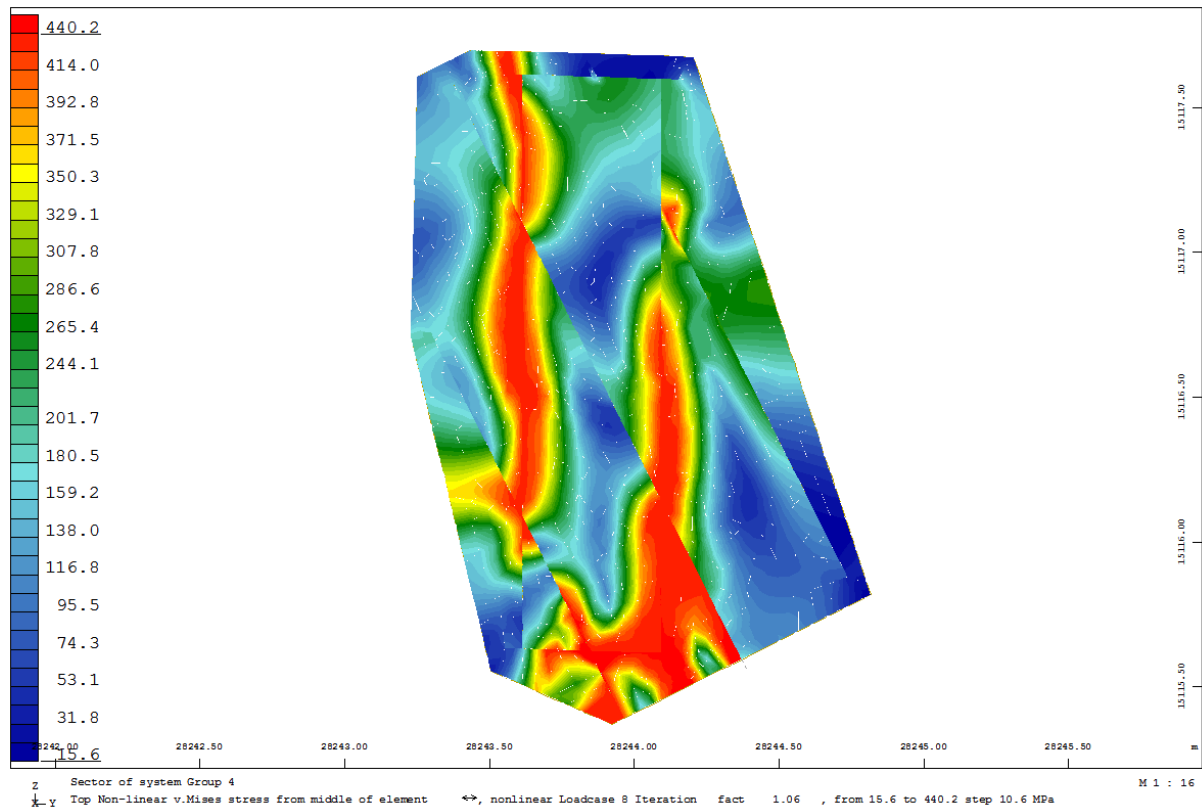
Rys. 10.12.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



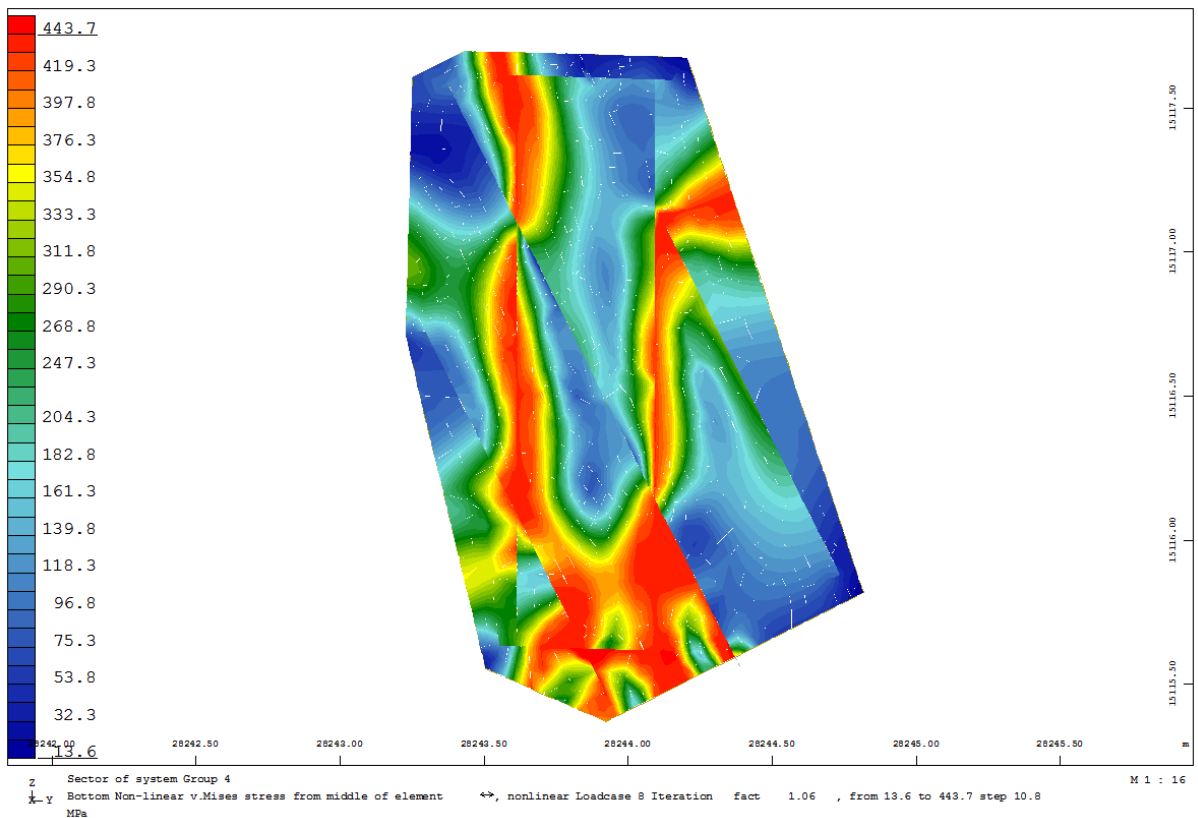
Rys. 10.12.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



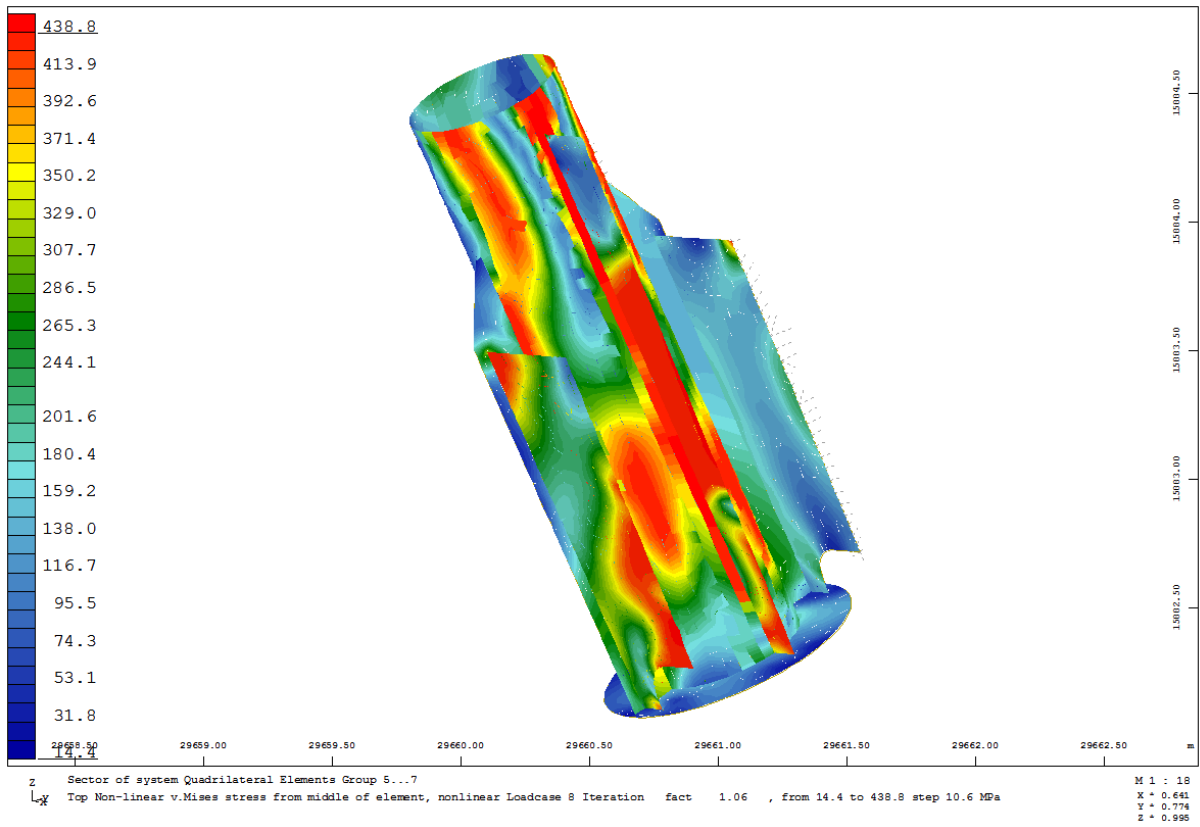
Rys. 10.12.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



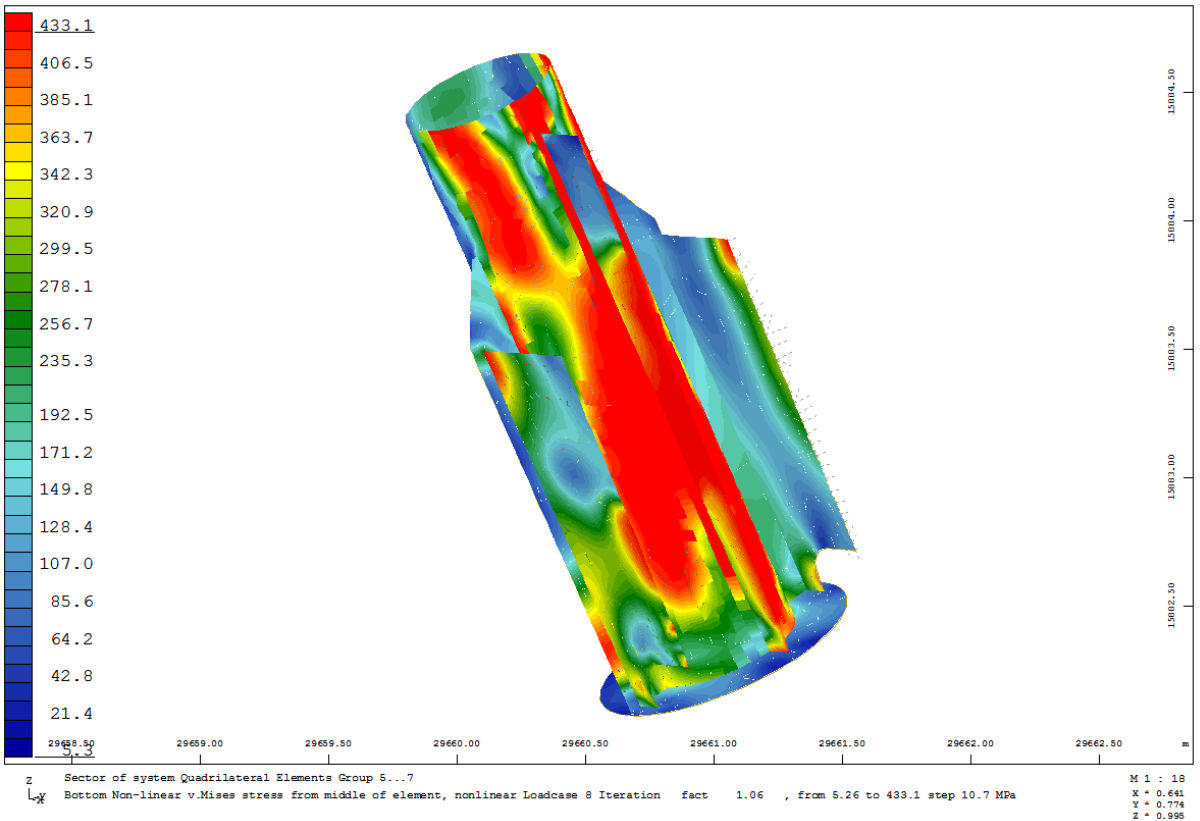
Rys. 10.12.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



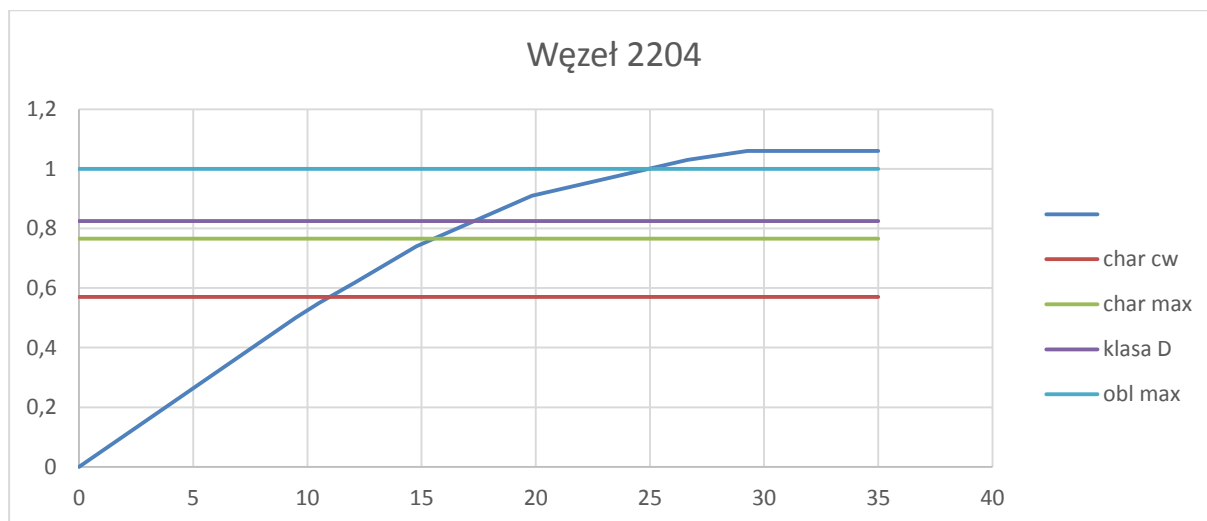
Rys. 10.12.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.12.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.12.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

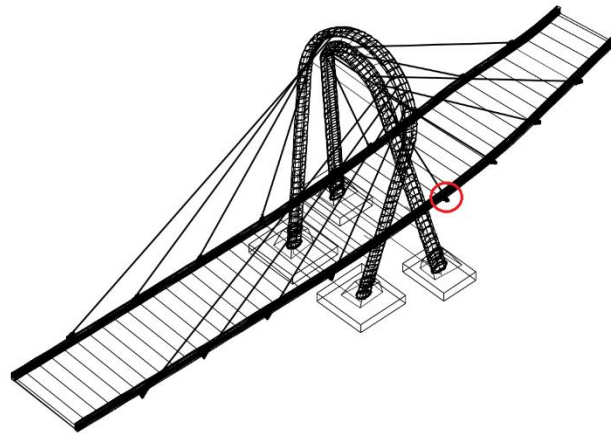


Rys. 10.12.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 28480 |
| number of plastified gausspoints: | 5764 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 448.98 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 59.44 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -48.66 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 44.51 [o/oo] |

Tab. 10.12.2. Raport z analizy

10.13. Węzeł 2211



Rys. 10.13.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|-------|
| 2211 | | 5875 | | 7879 | | 10077 |

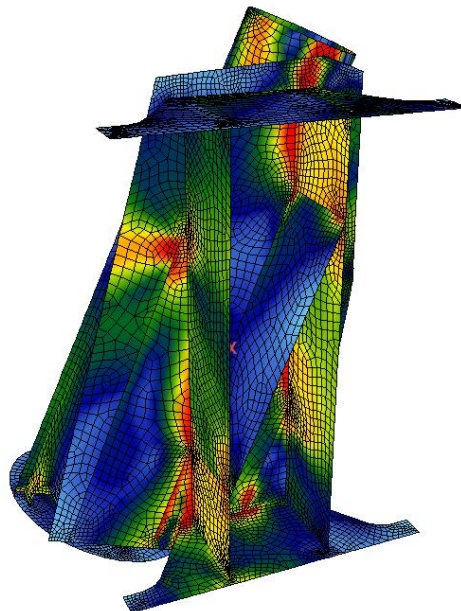
Tab. 10.13.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

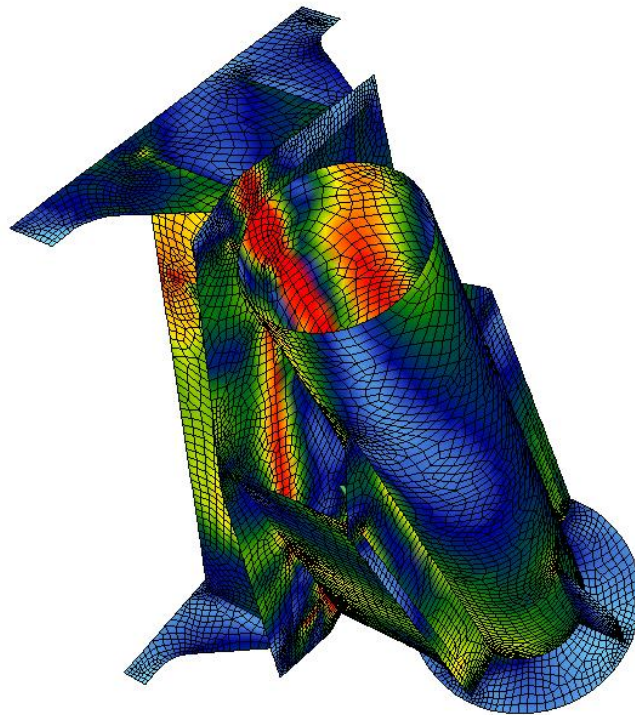
Liczba splotów: 91

Stal: Y 1860

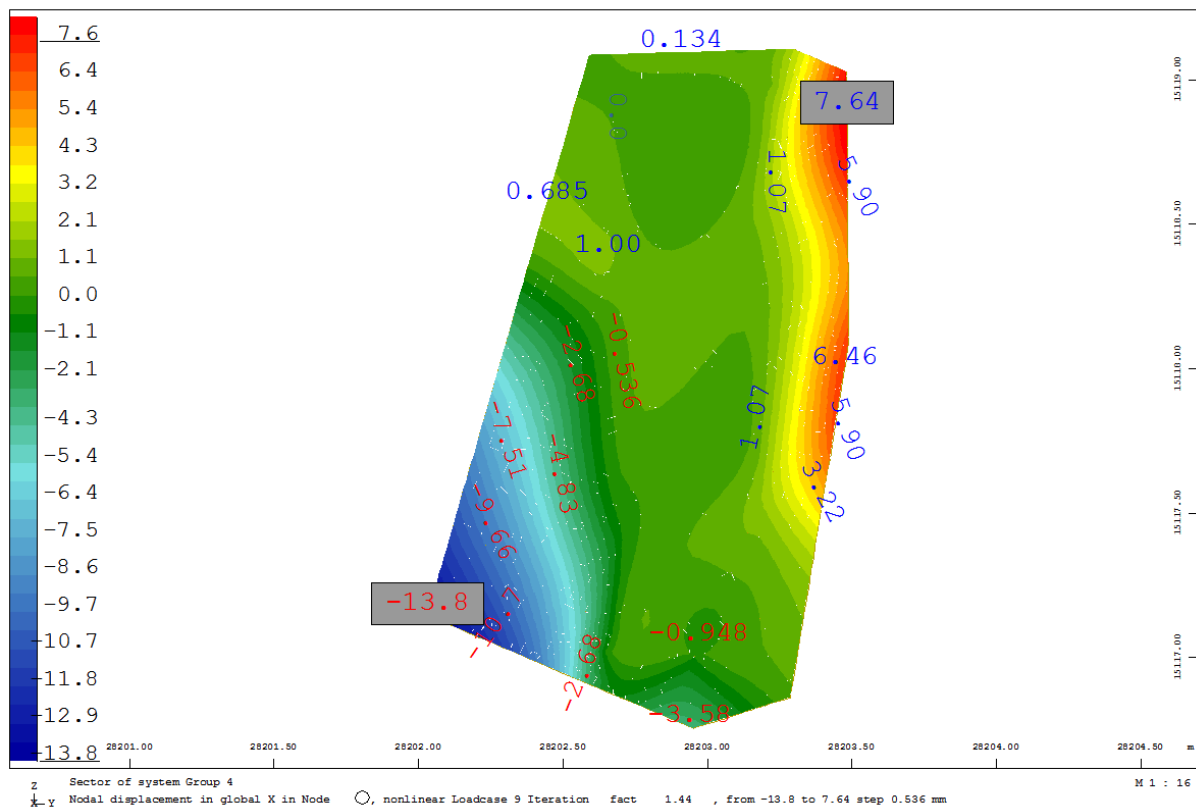
Siła zrywająca [kN]: 25389



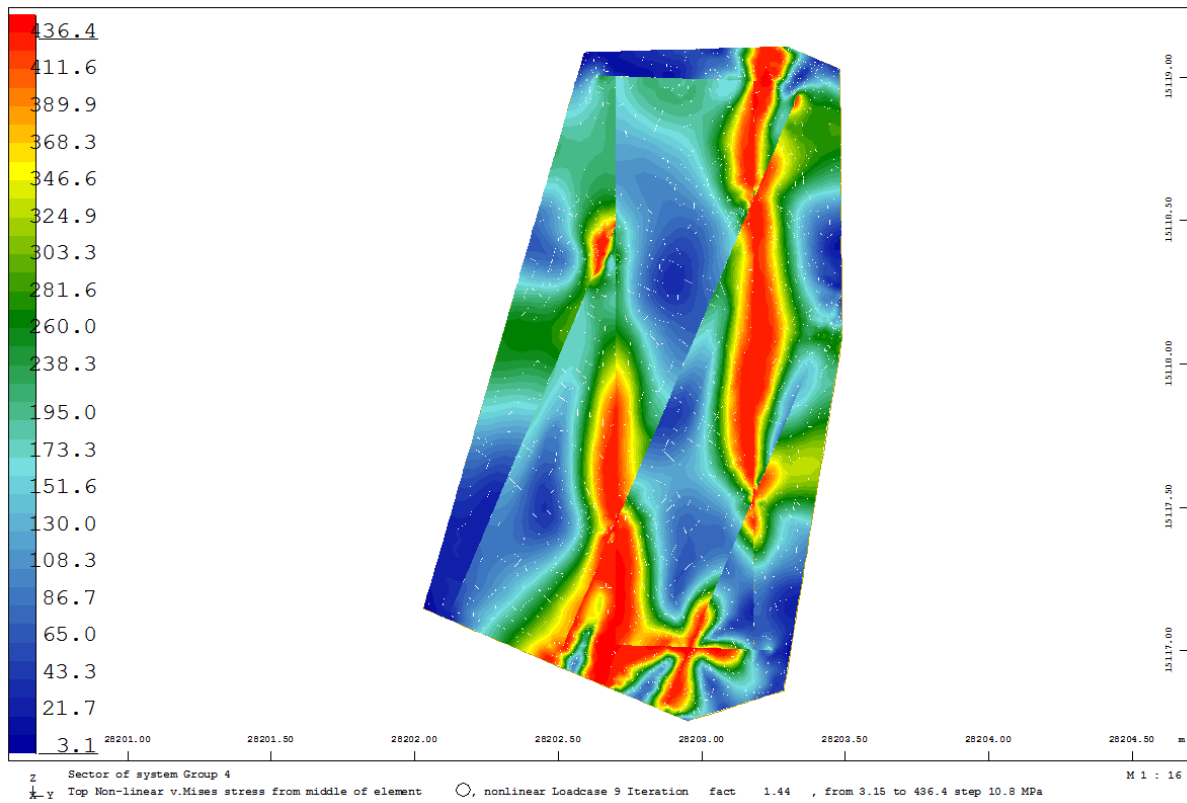
Rys. 10.13.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



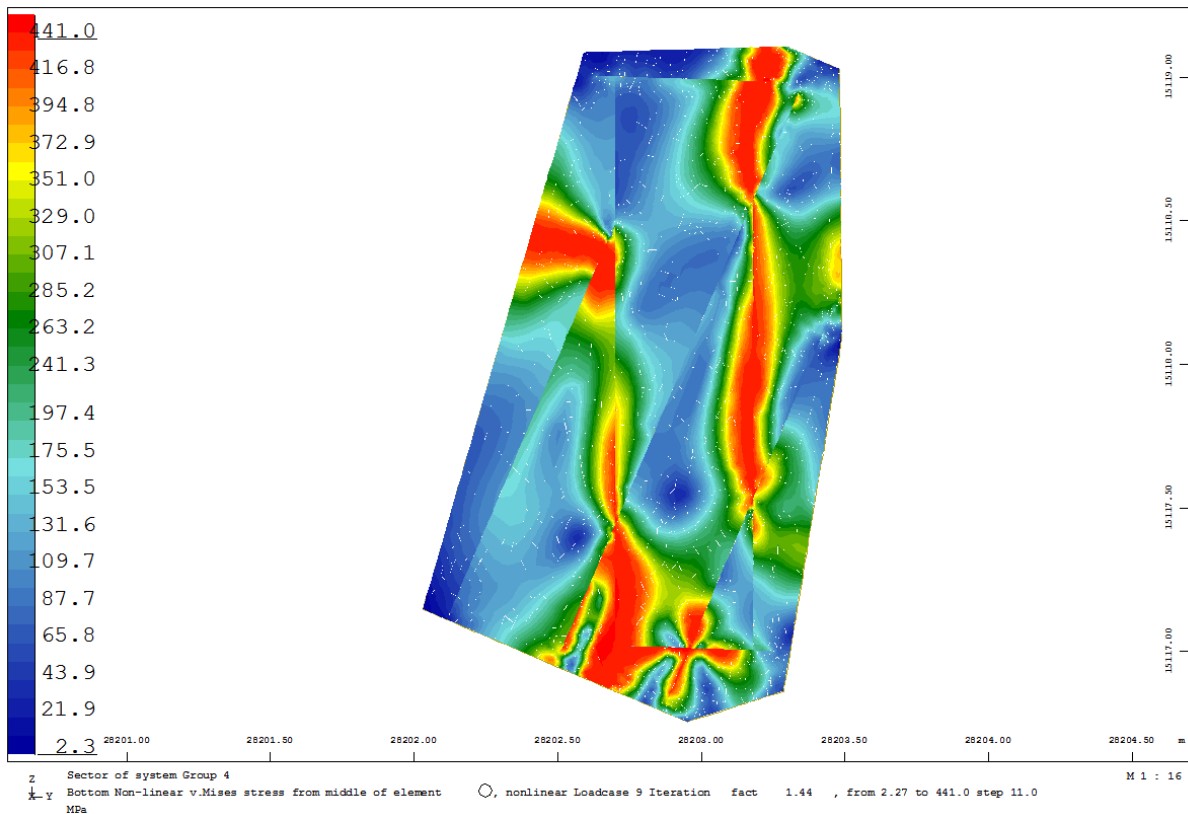
Rys. 10.13.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



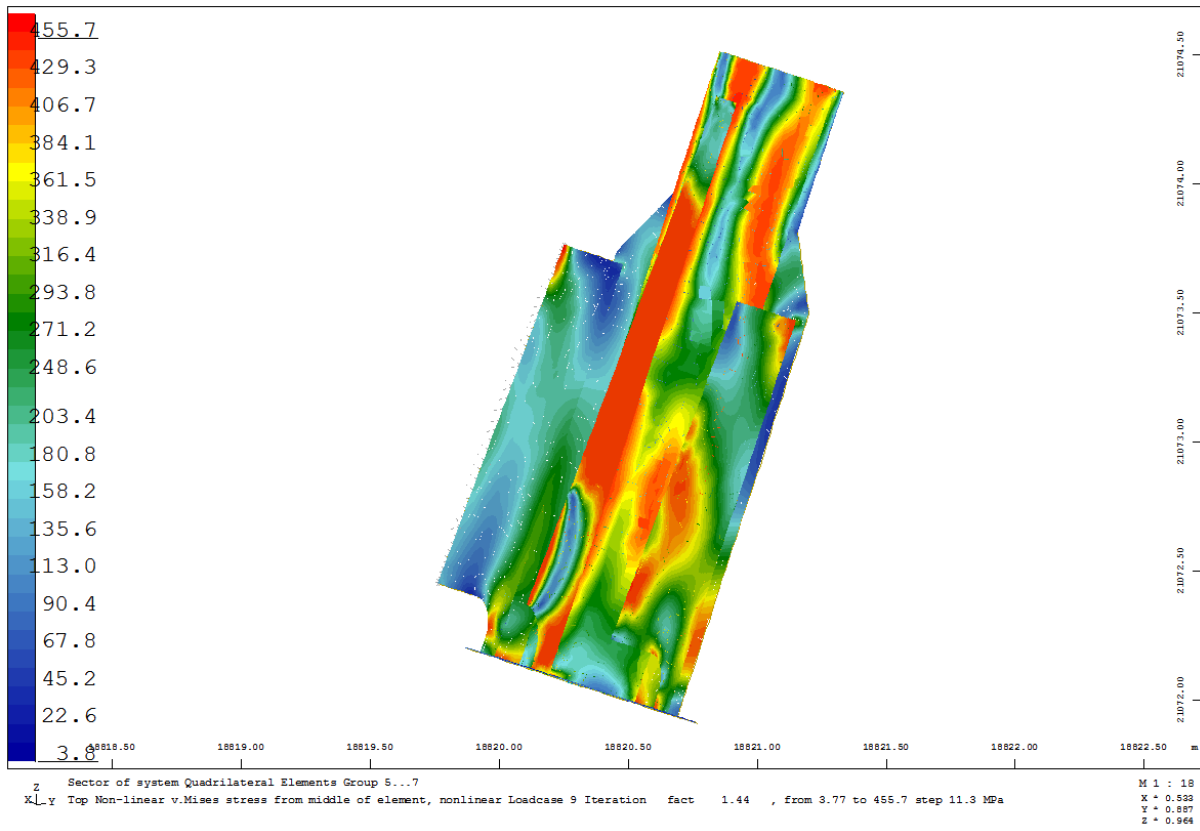
Rys. 10.13.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



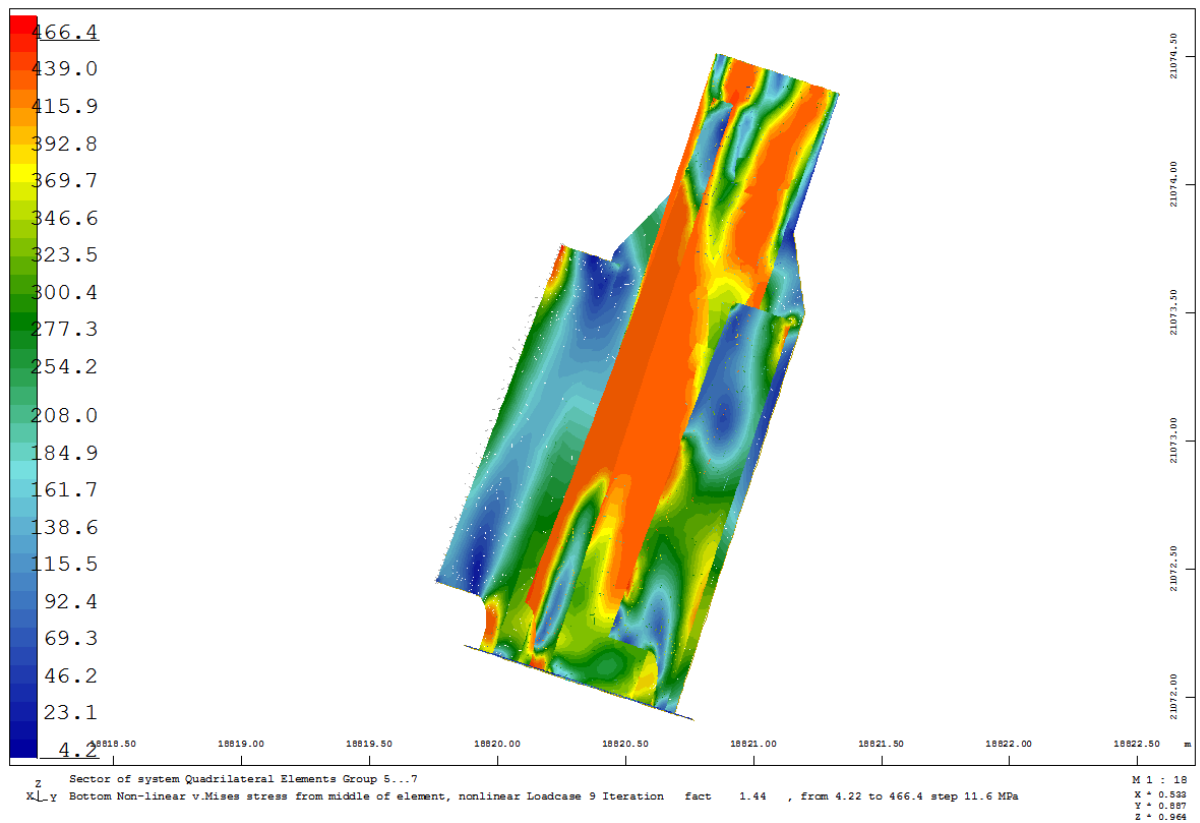
Rys. 10.13.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



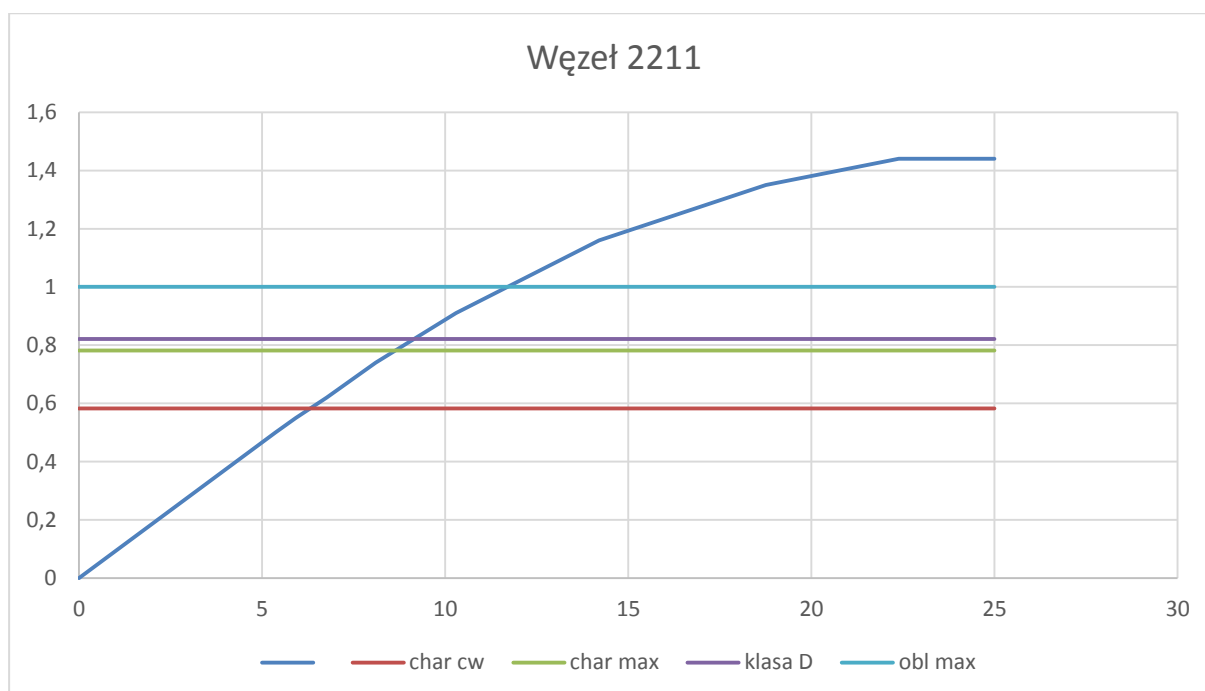
Rys. 10.13.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.13.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.13.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

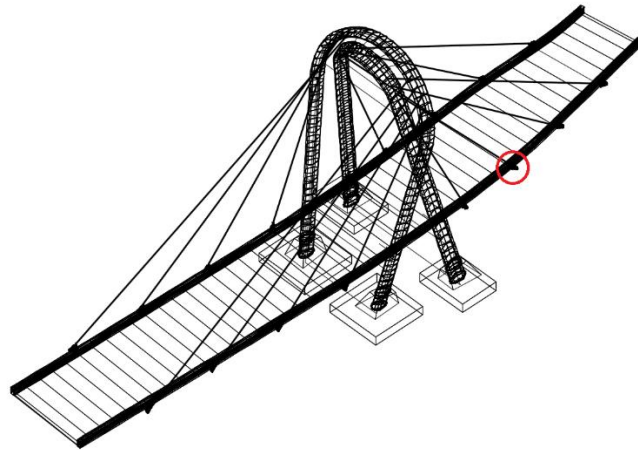


Rys. 10.13.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 76785 |
| number of plastified gausspoints: | 14685 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 495.44 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 77.50 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -79.47 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 67.32 [o/oo] |

Tab. 10.13.2. Wynik analizy nieliniowej.

10.14. Węzeł 2212



Rys.10.14.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|------|
| 2212 | | 5082 | | 6059 | | 7189 |

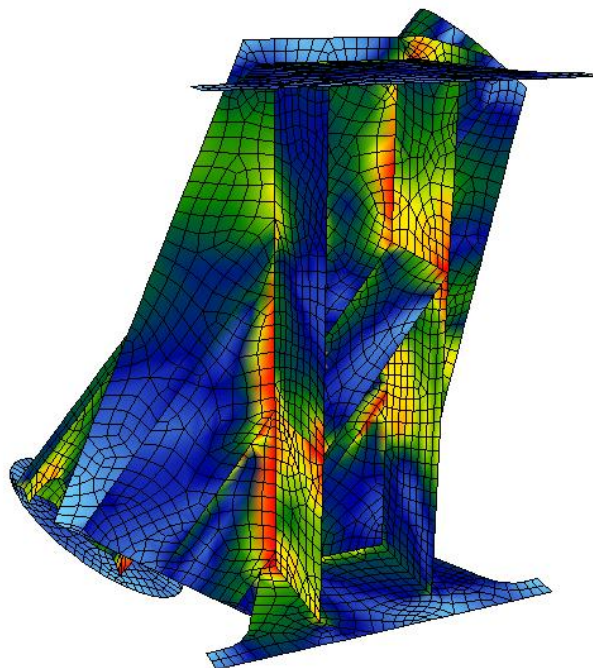
Tab. 10.14.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

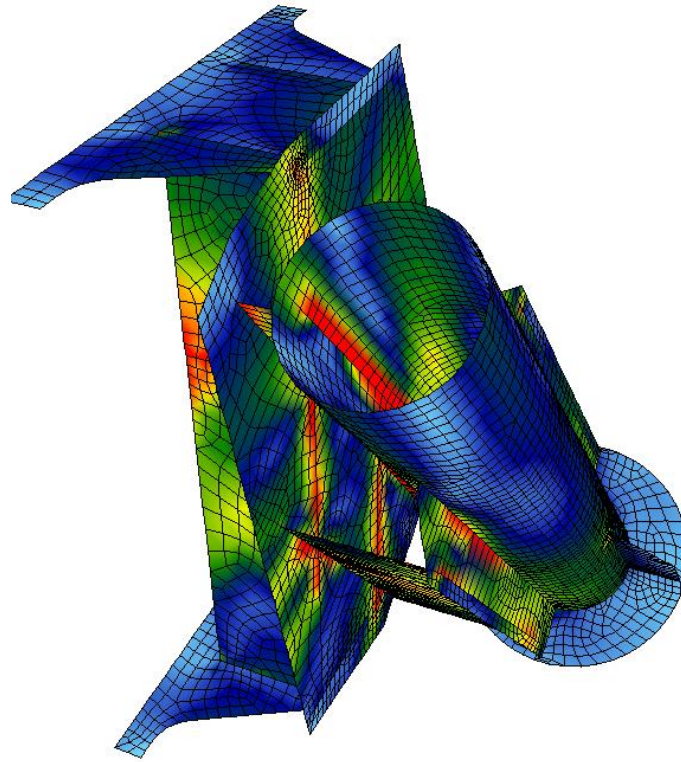
Liczba splotów: 72

Stal: Y 1860

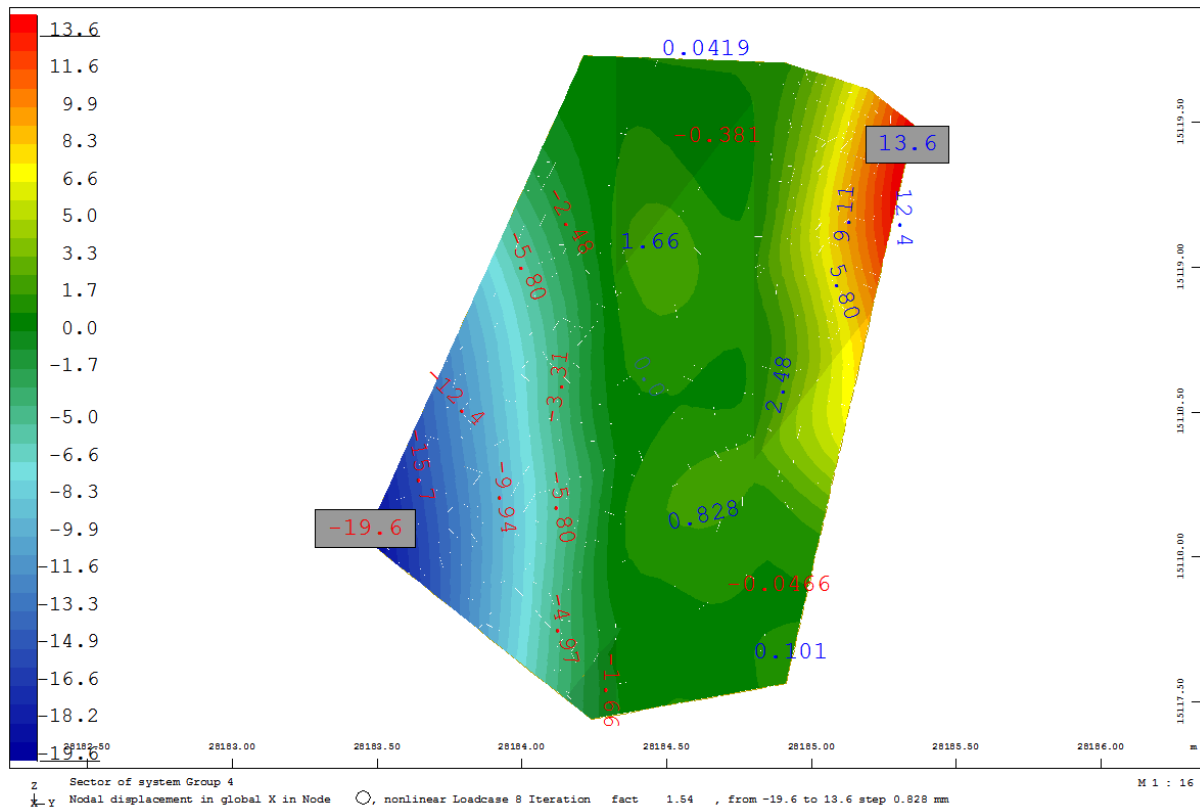
Siła zrywająca [kN]: 20088



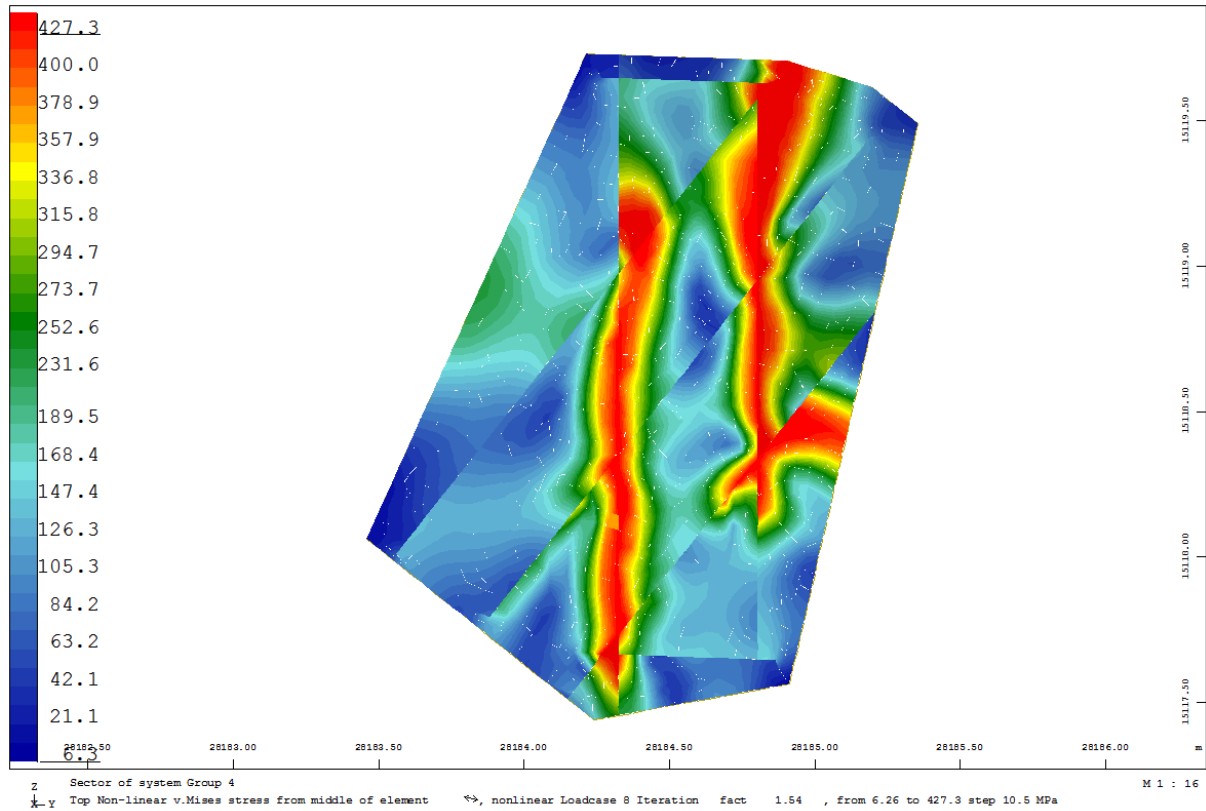
Rys. 10.14.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



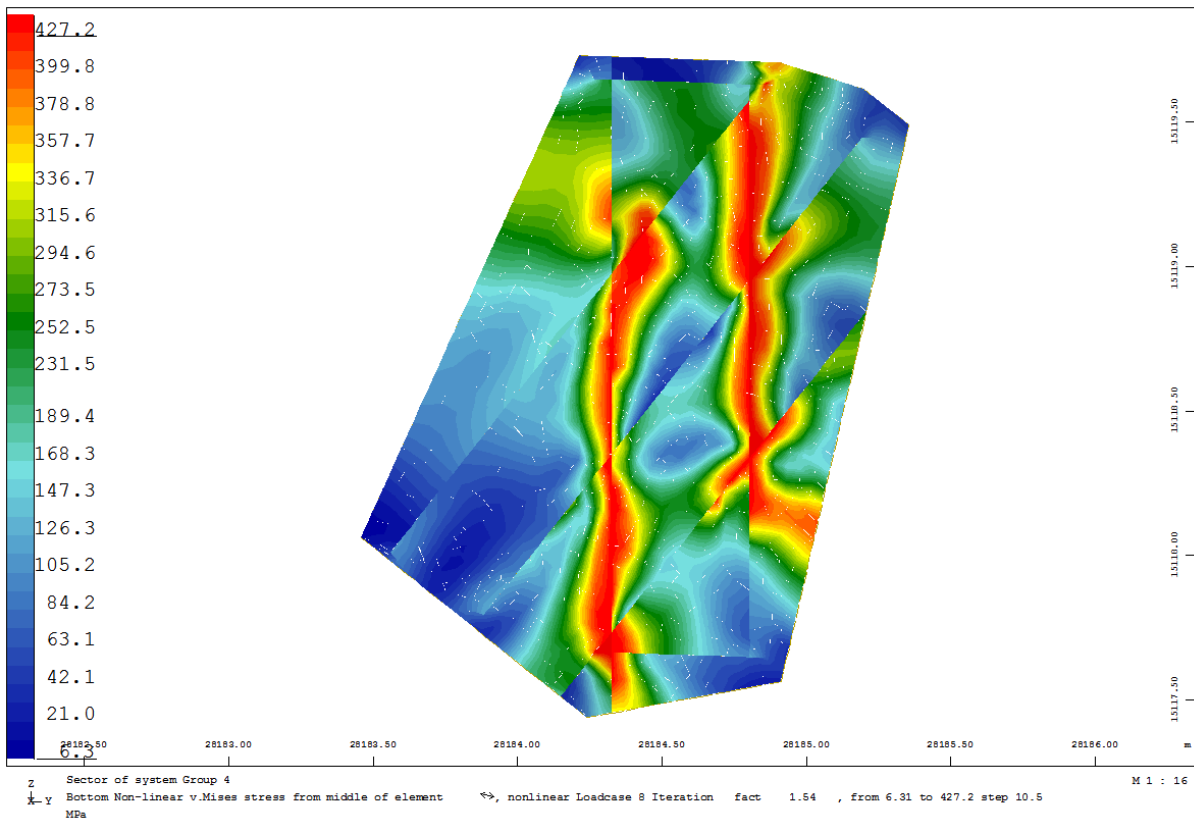
Rys. 10.14.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



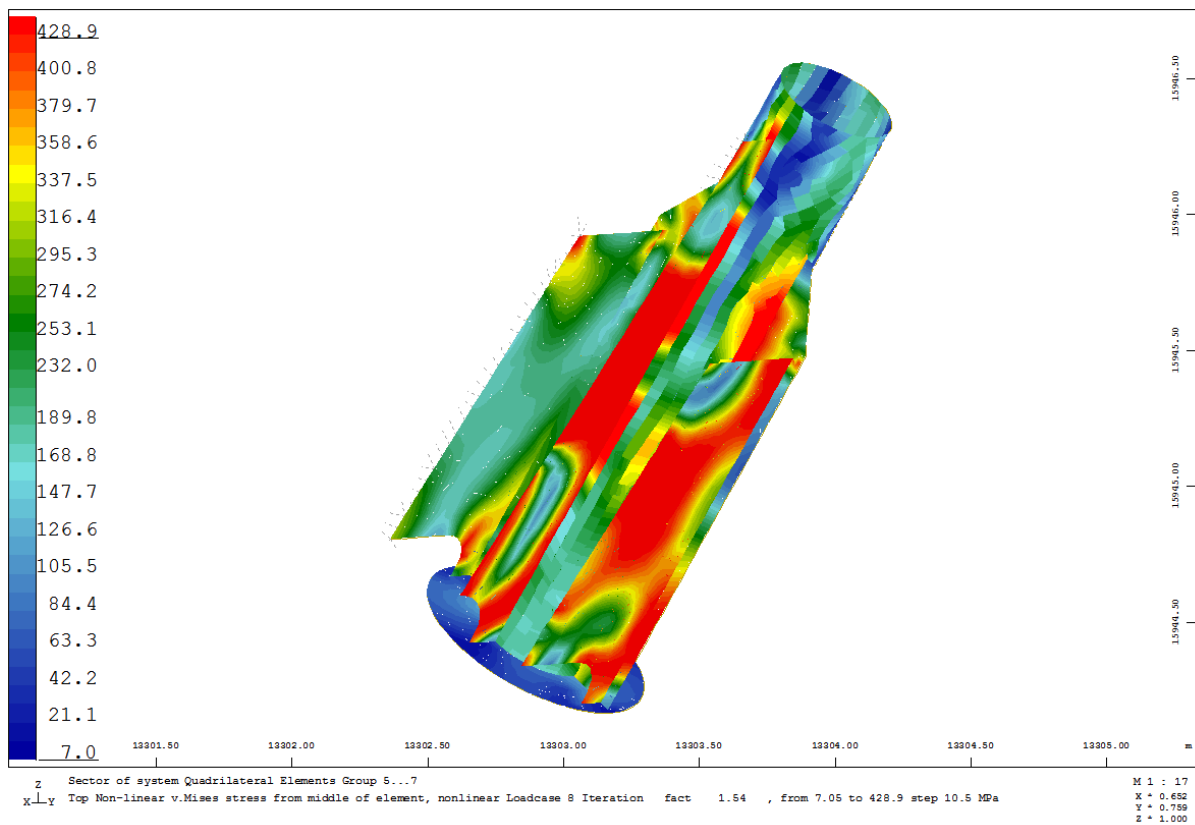
Rys. 10.14.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



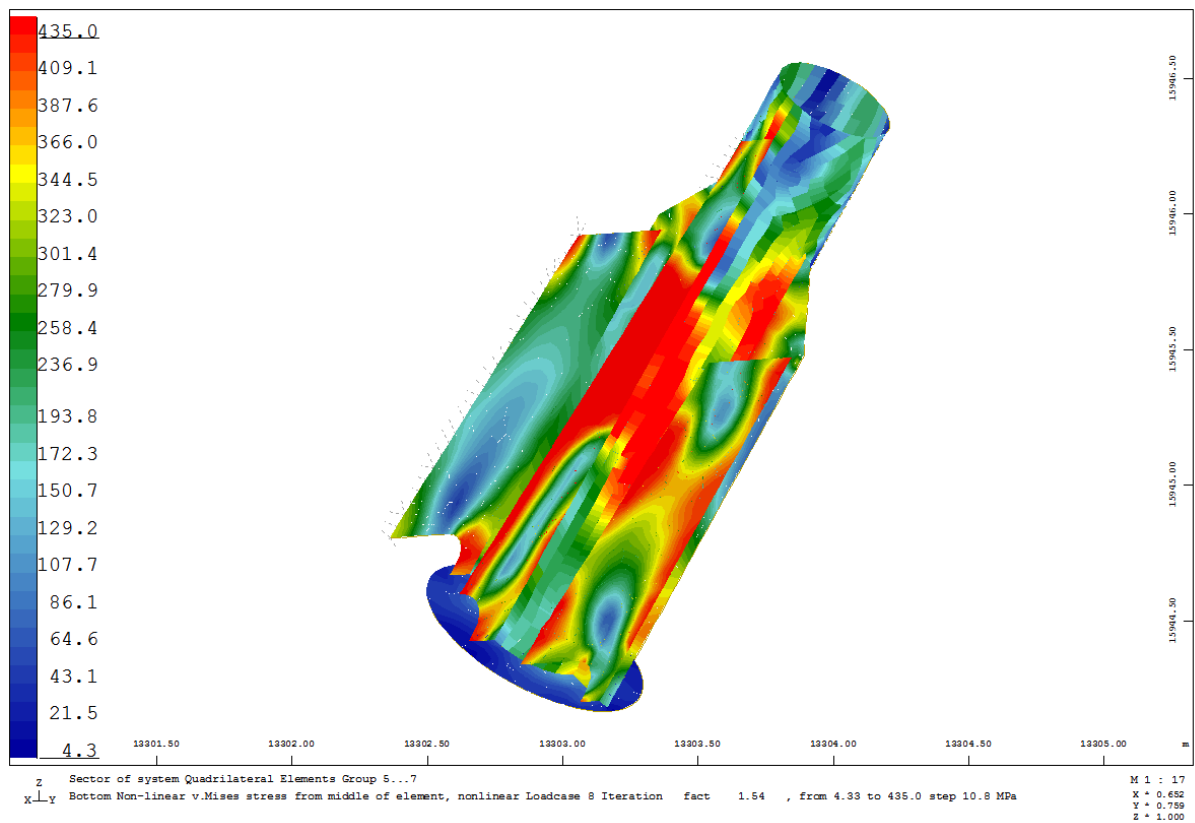
Rys. 10.14.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



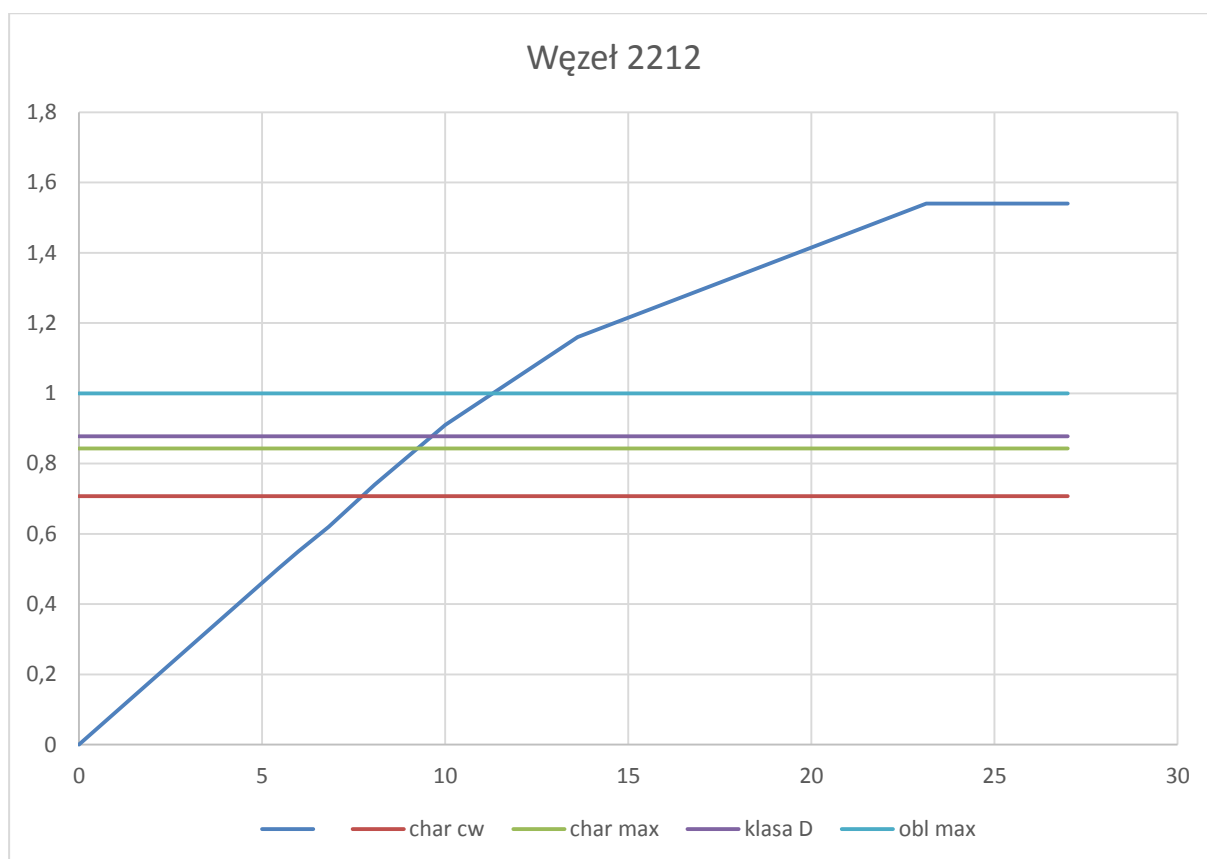
Rys. 10.14.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.14.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.14.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

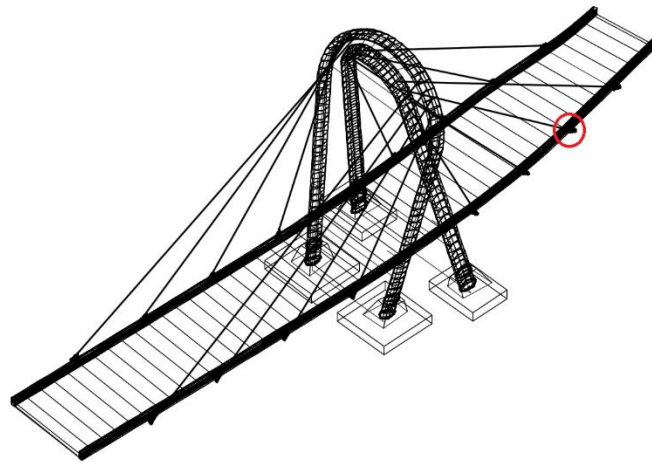


Rys. 10.14.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A)

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 26985 |
| number of plastified gausspoints: | 4018 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 445.37 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 45.00 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -22.39 [o/oo] |

Tab. 10.14.2. Wynik analizy nieliniowej.

10.15. Węzeł 2213



Rys.10.15.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|-------|-----------|-------|
| 2213 | | 9924 | | 10973 | | 12167 |

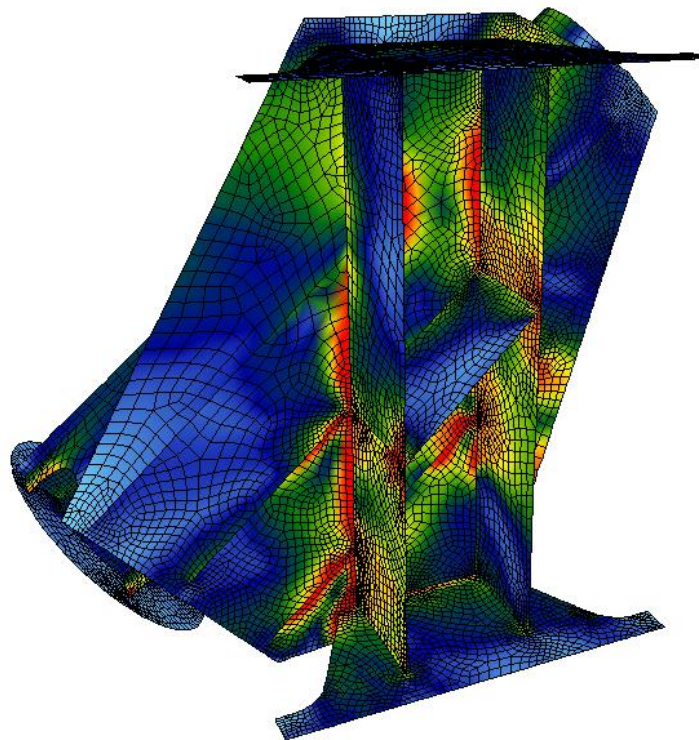
Tab. 10.15.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

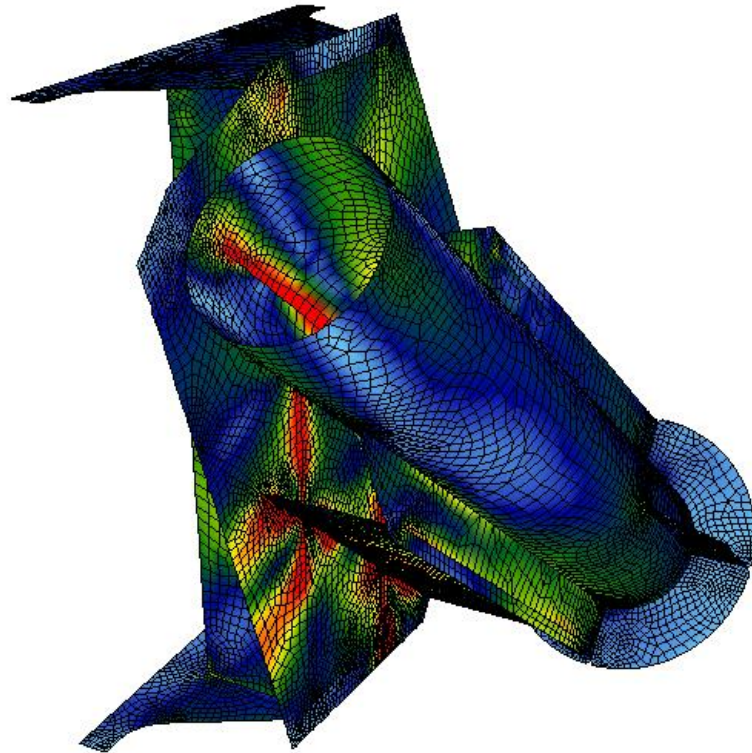
Liczba splotów: 91

Stal: Y 1860

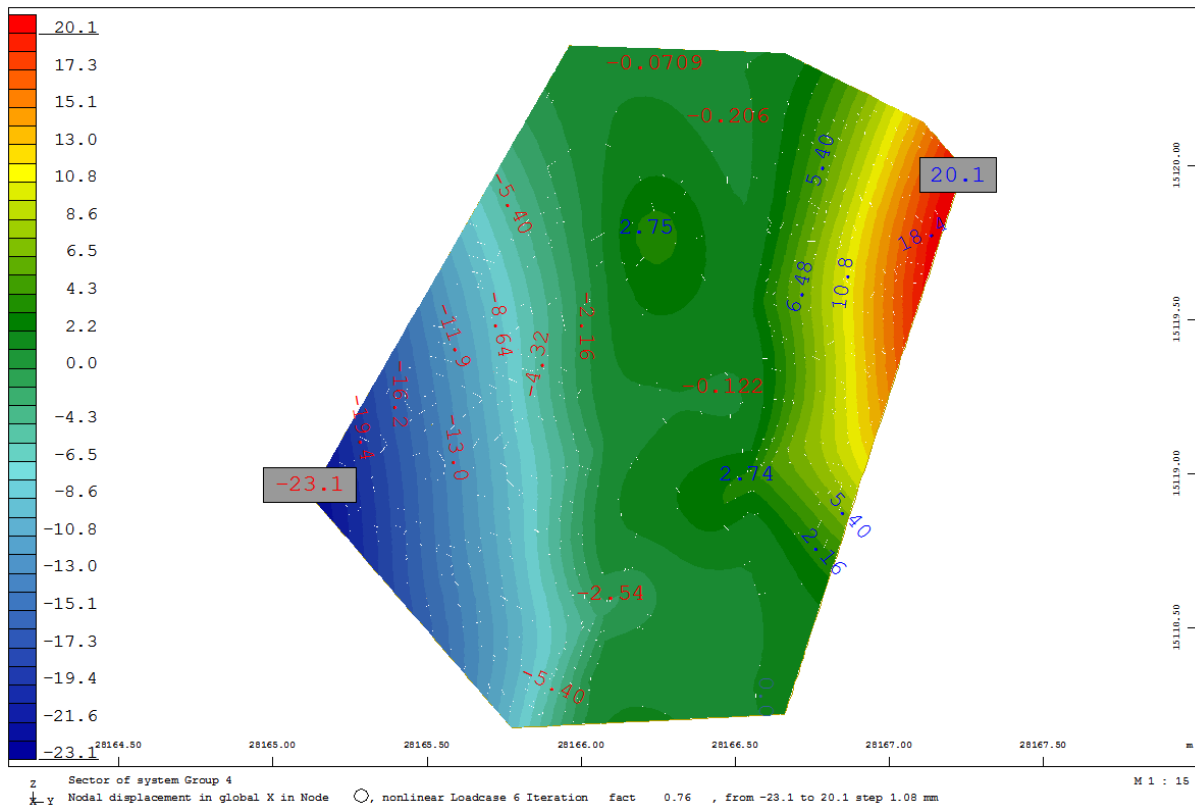
Siła zrywająca [kN]: 25389



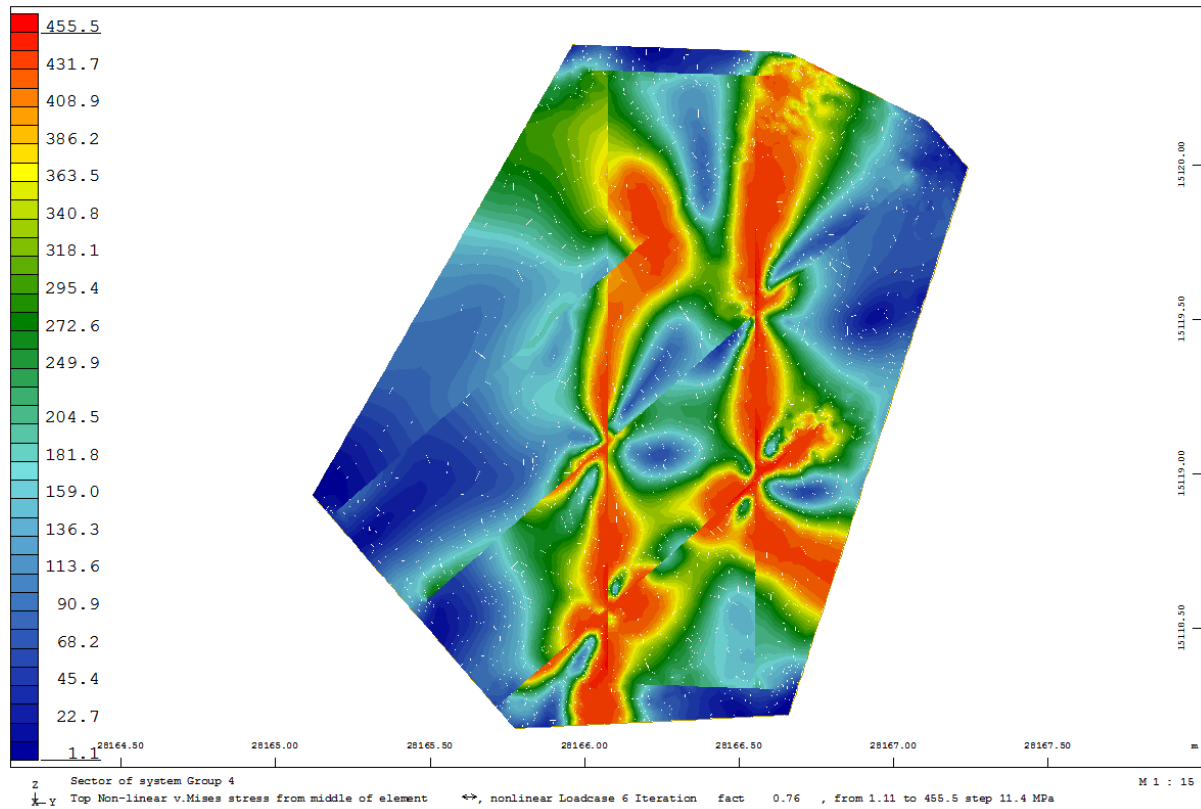
Rys. 10.15.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



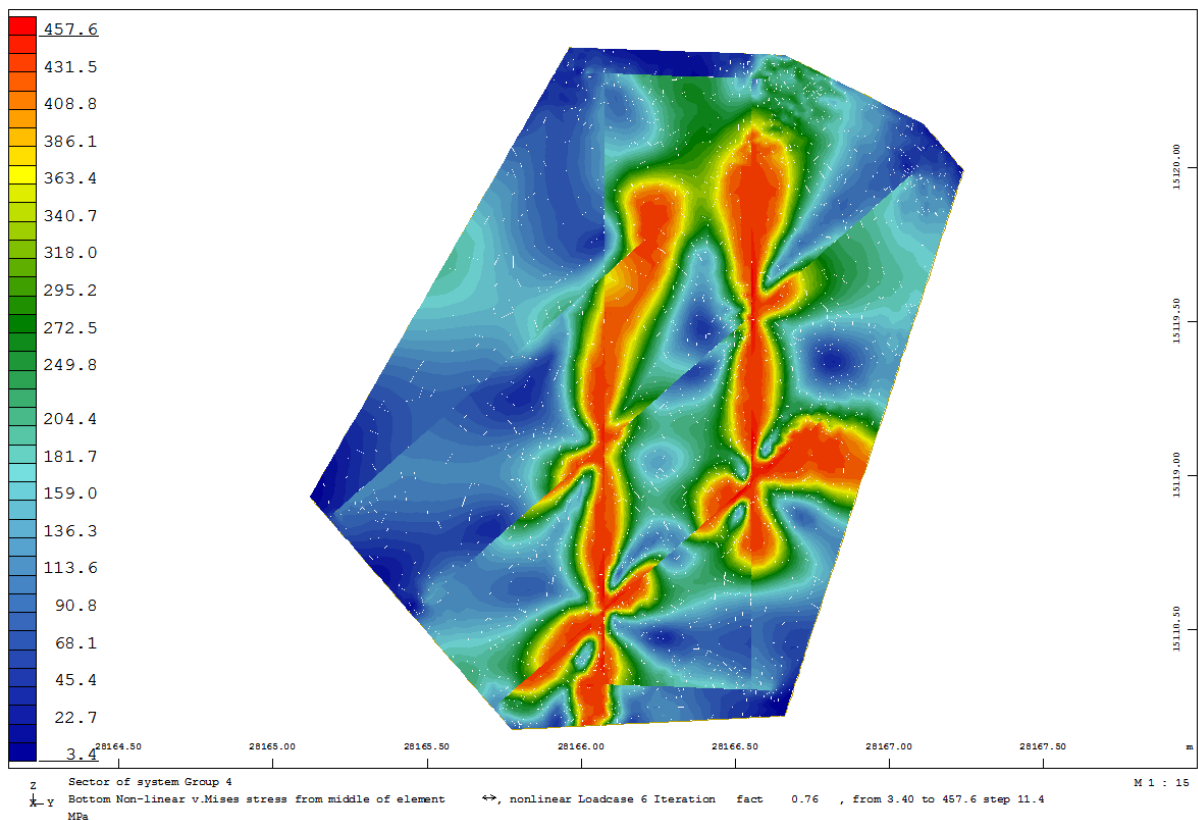
Rys. 10.15.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



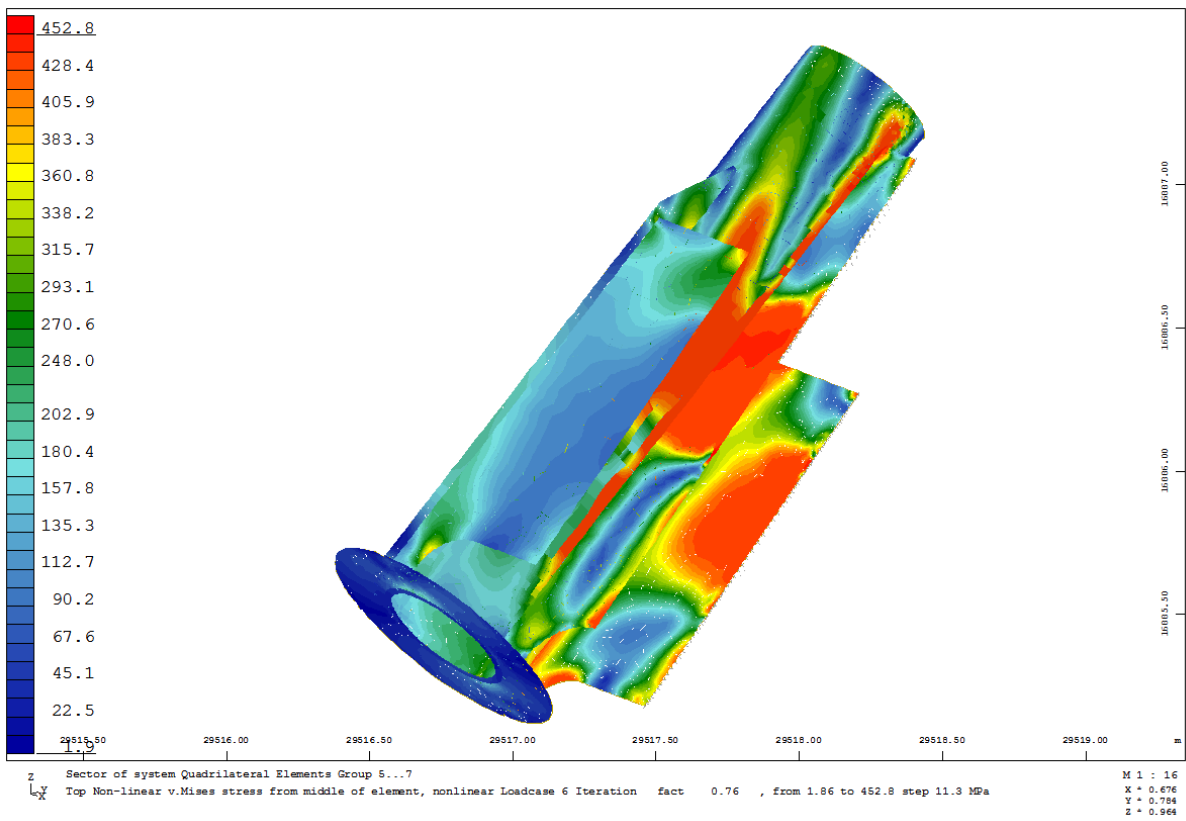
Rys. 10.15.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



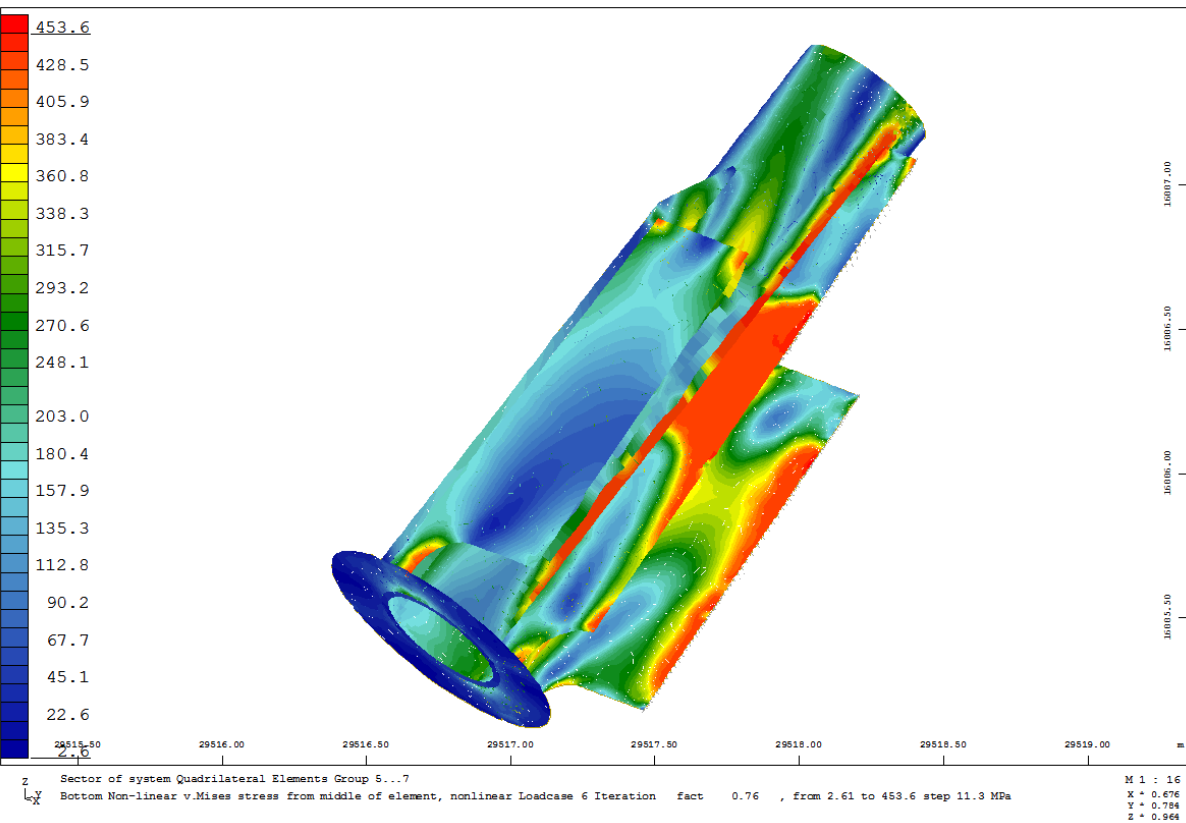
Rys. 10.15.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.15.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.15.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.15.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].

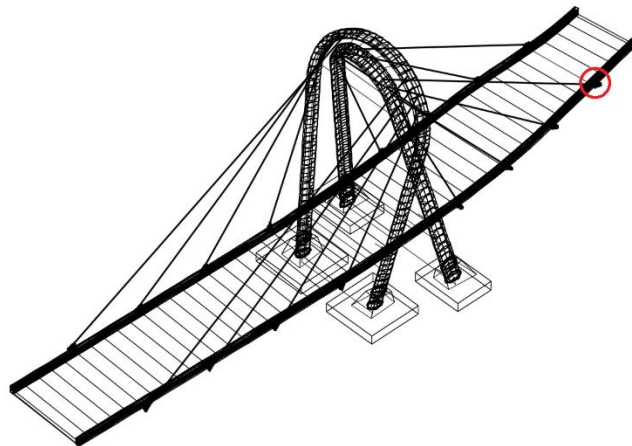


Rys. 10.15.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A).

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 98625 |
| number of plastified gausspoints: | 14984 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 513.06 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 45.00 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -93.19 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 71.95 [o/oo] |

Tab. 10.15.2. Raport z analizy nieliniowej.

10.16. Węzeł 2214



Rys.10.16.1. Lokalizacja węzła.

| Nr wanty | char. [kN] | Cw | char. [kN] | Max | obl. [kN] | Max |
|----------|------------|------|------------|------|-----------|-------|
| 2214 | | 8158 | | 9515 | | 11002 |

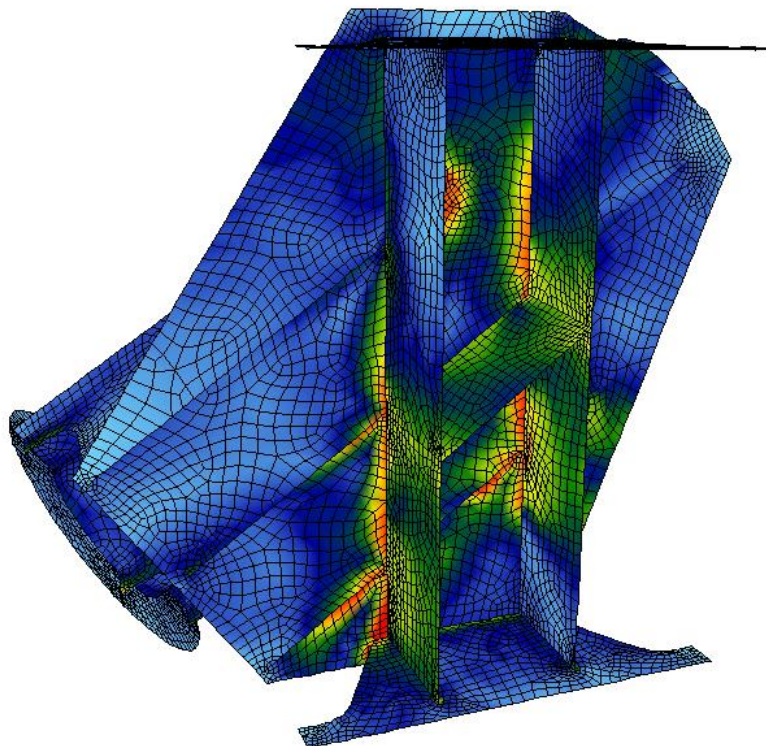
Tab. 10.16.1. Siły w wancie dla różnych kombinacji obciążenia.

Typ liny:

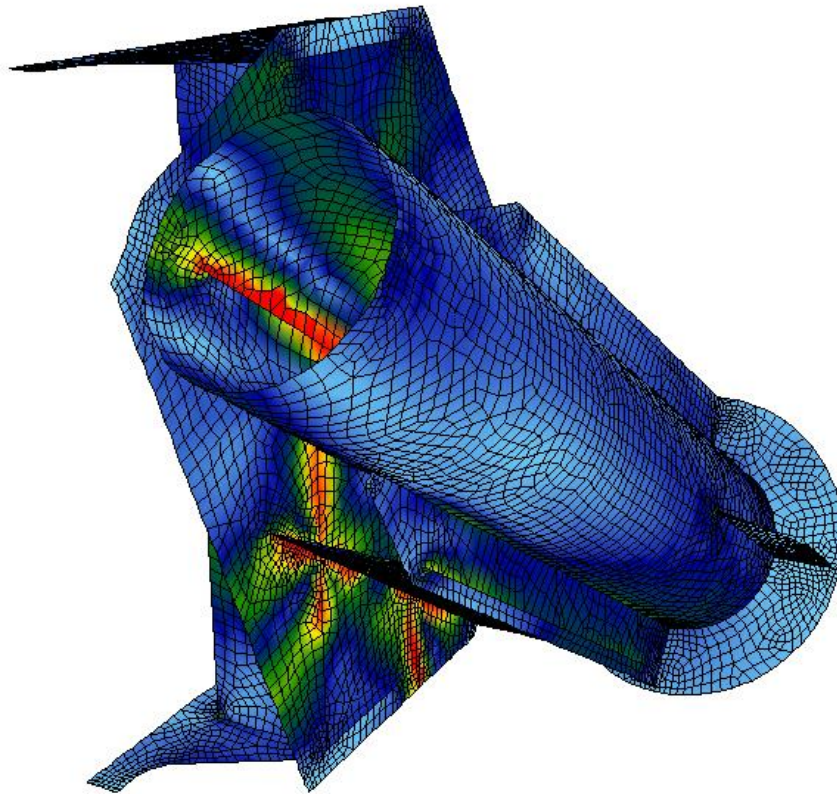
Liczba splotów: 109

Stal: Y 1860

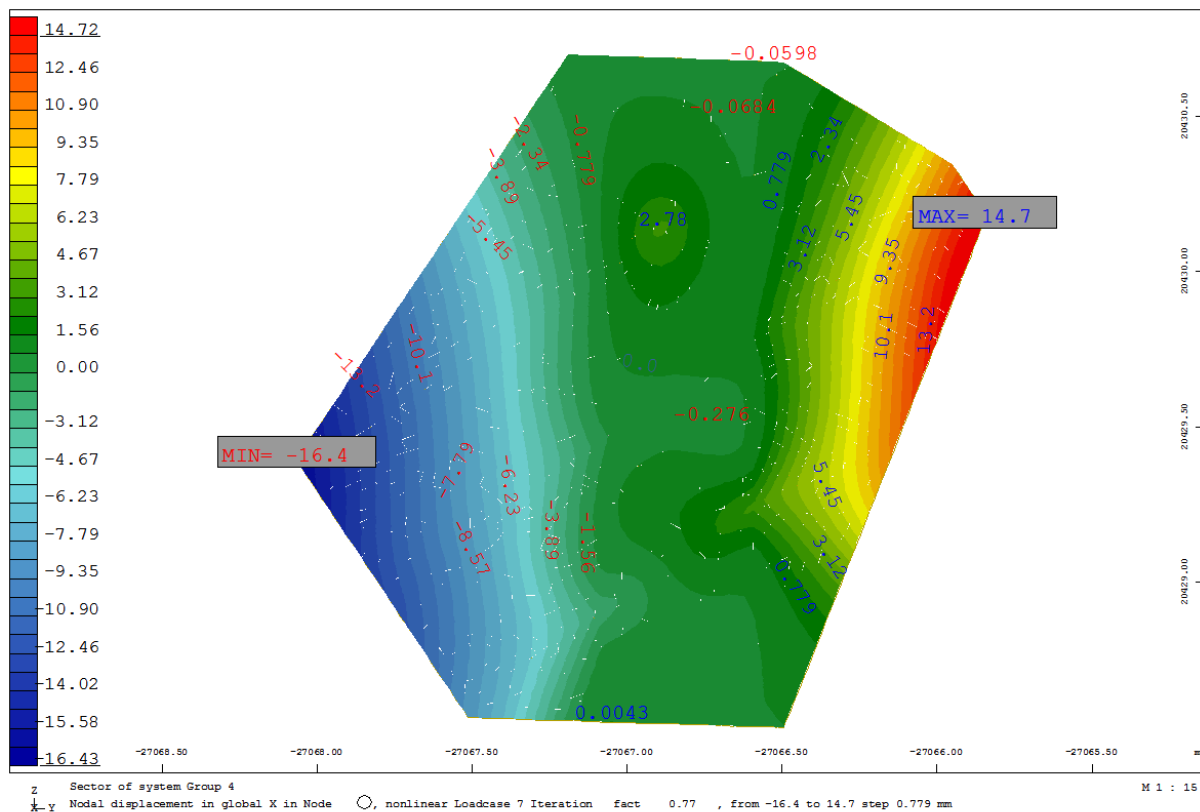
Siła zrywająca [kN]: 30411



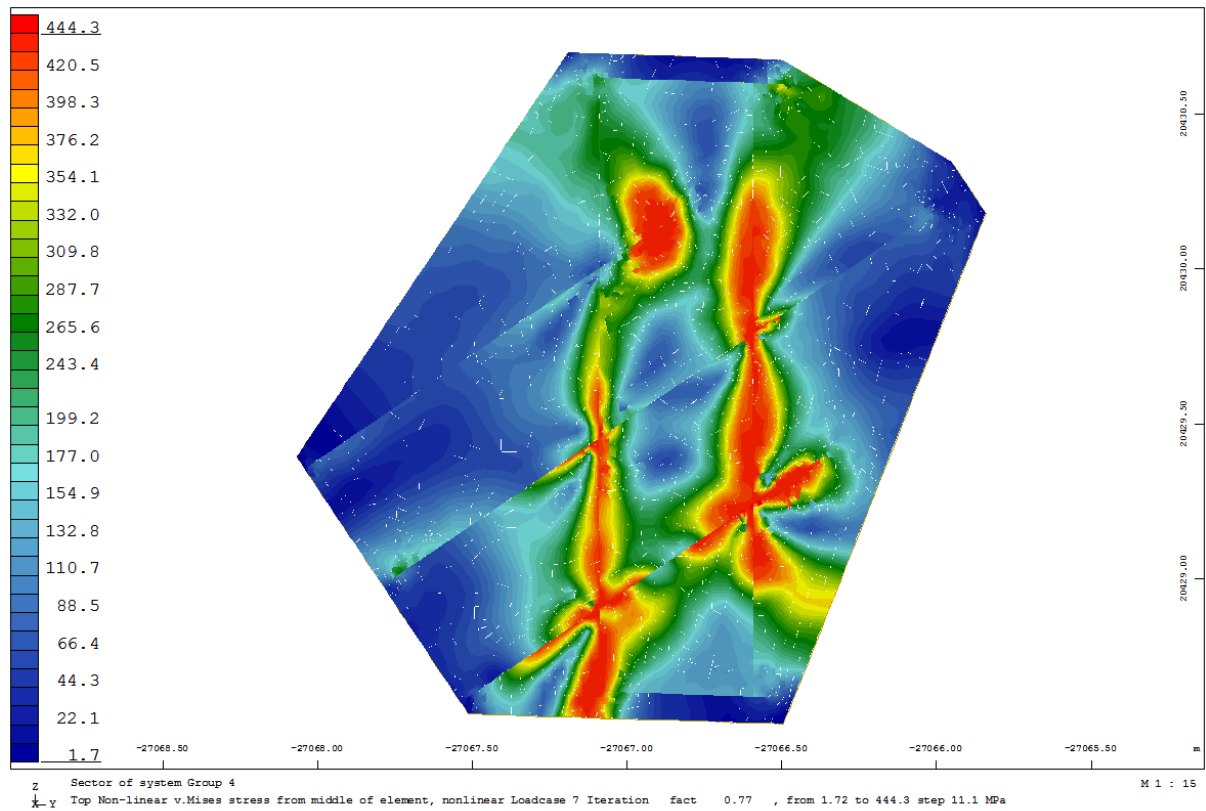
Rys. 10.16.2. Wizualizacja nr 1 węzła.



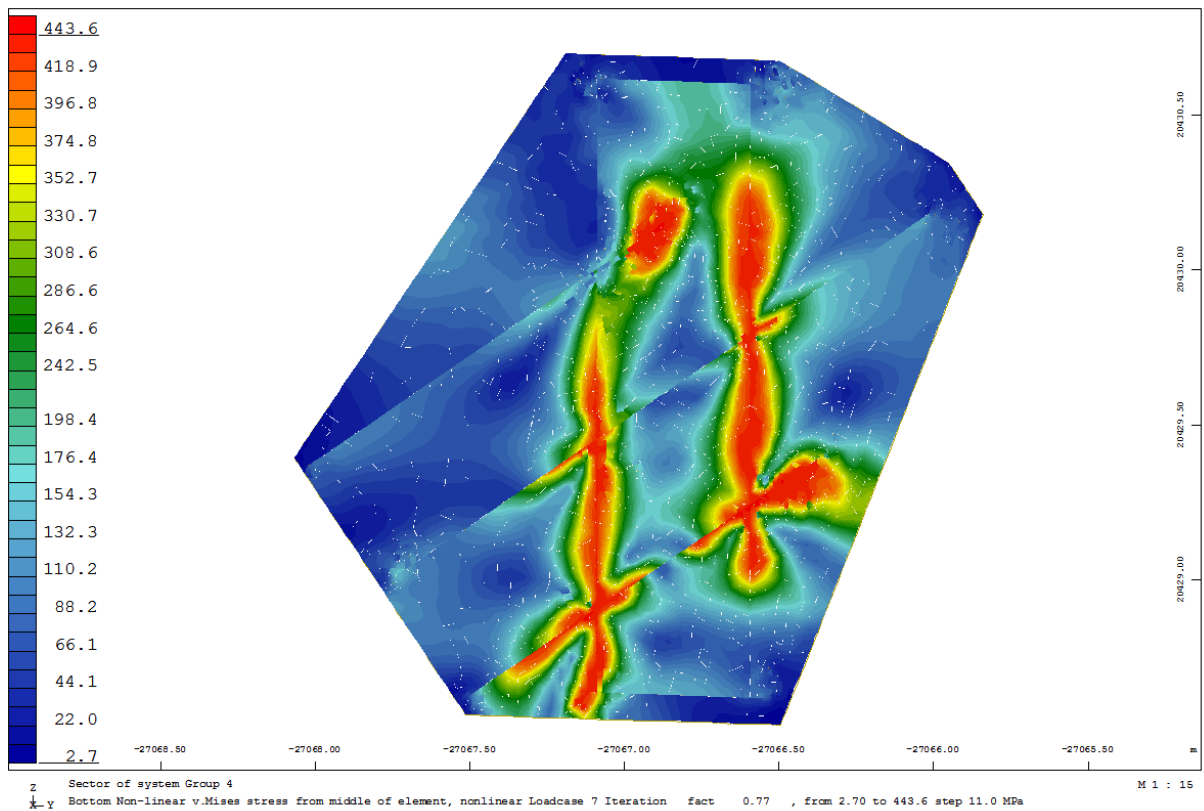
Rys. 10.16.3. Wizualizacja nr 2 węzła.



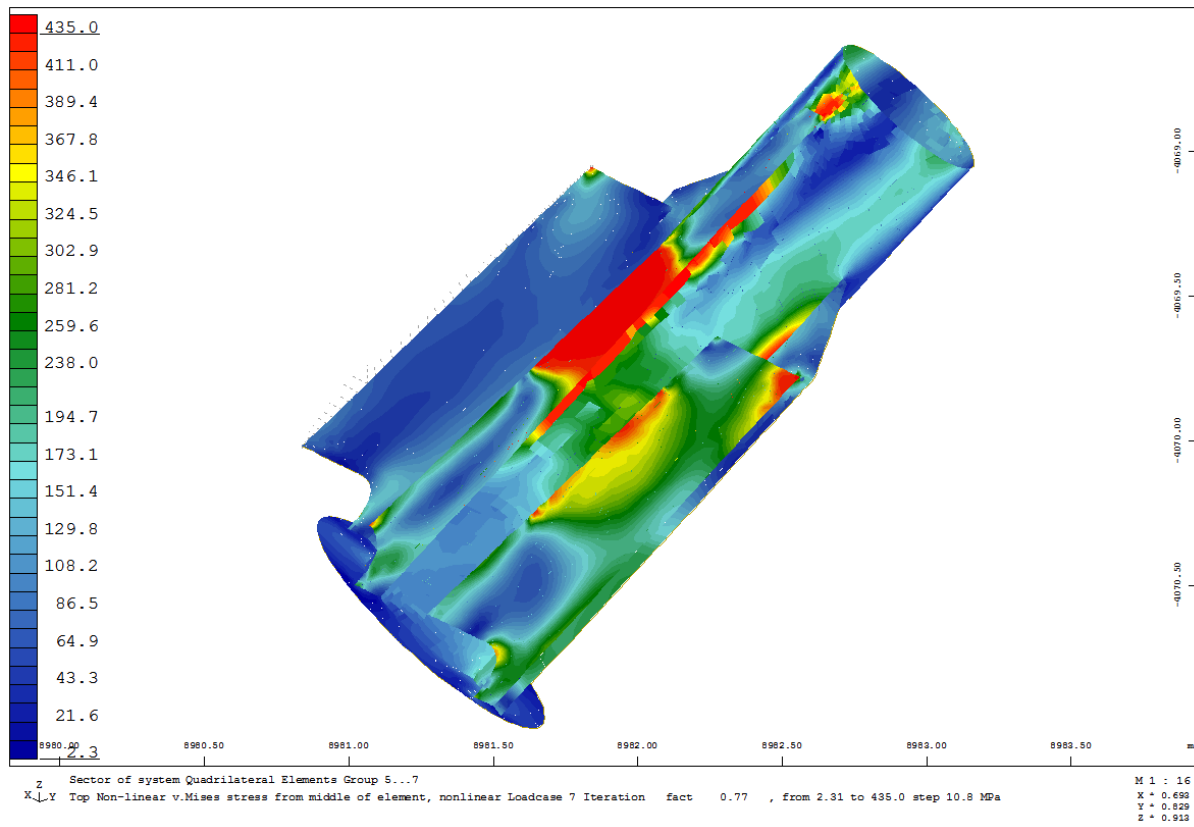
Rys. 10.16.4. Przemieszczenia na kierunku X od siły wywołującej niestabilność modelu [mm].



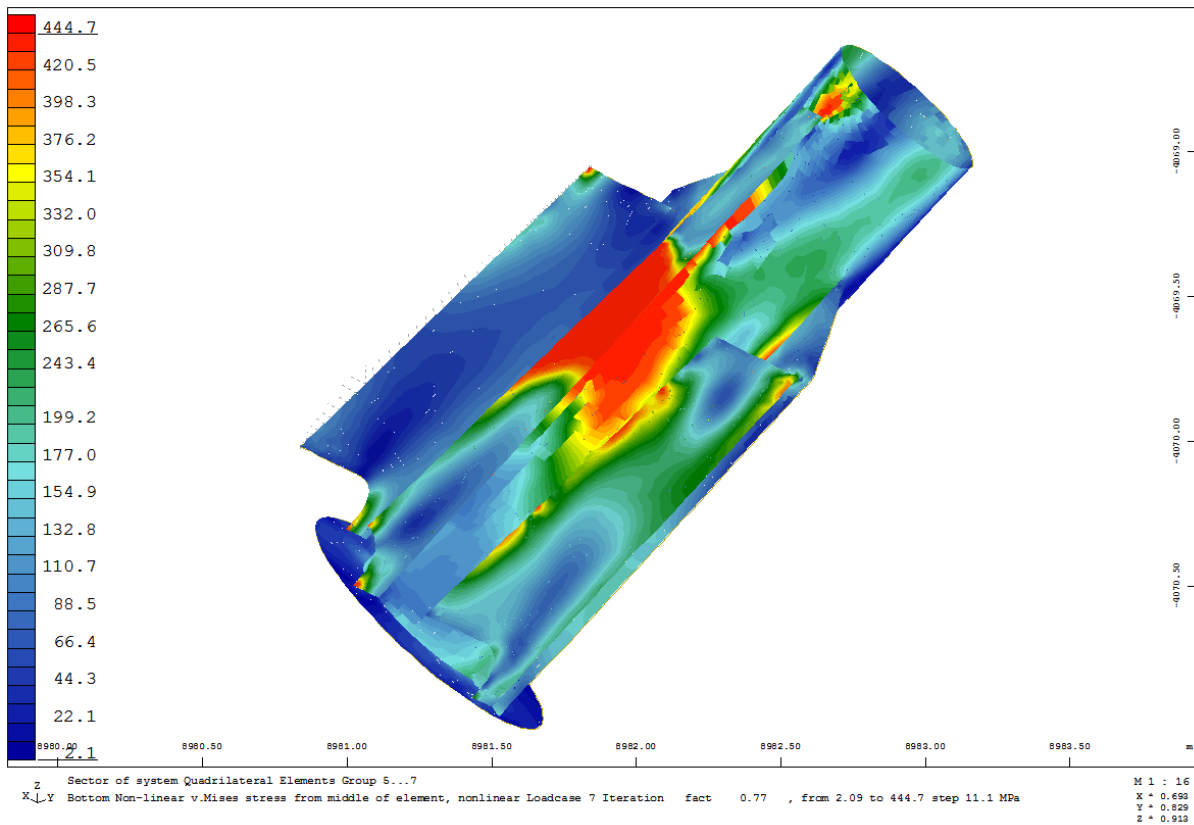
Rys. 10.16.5. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



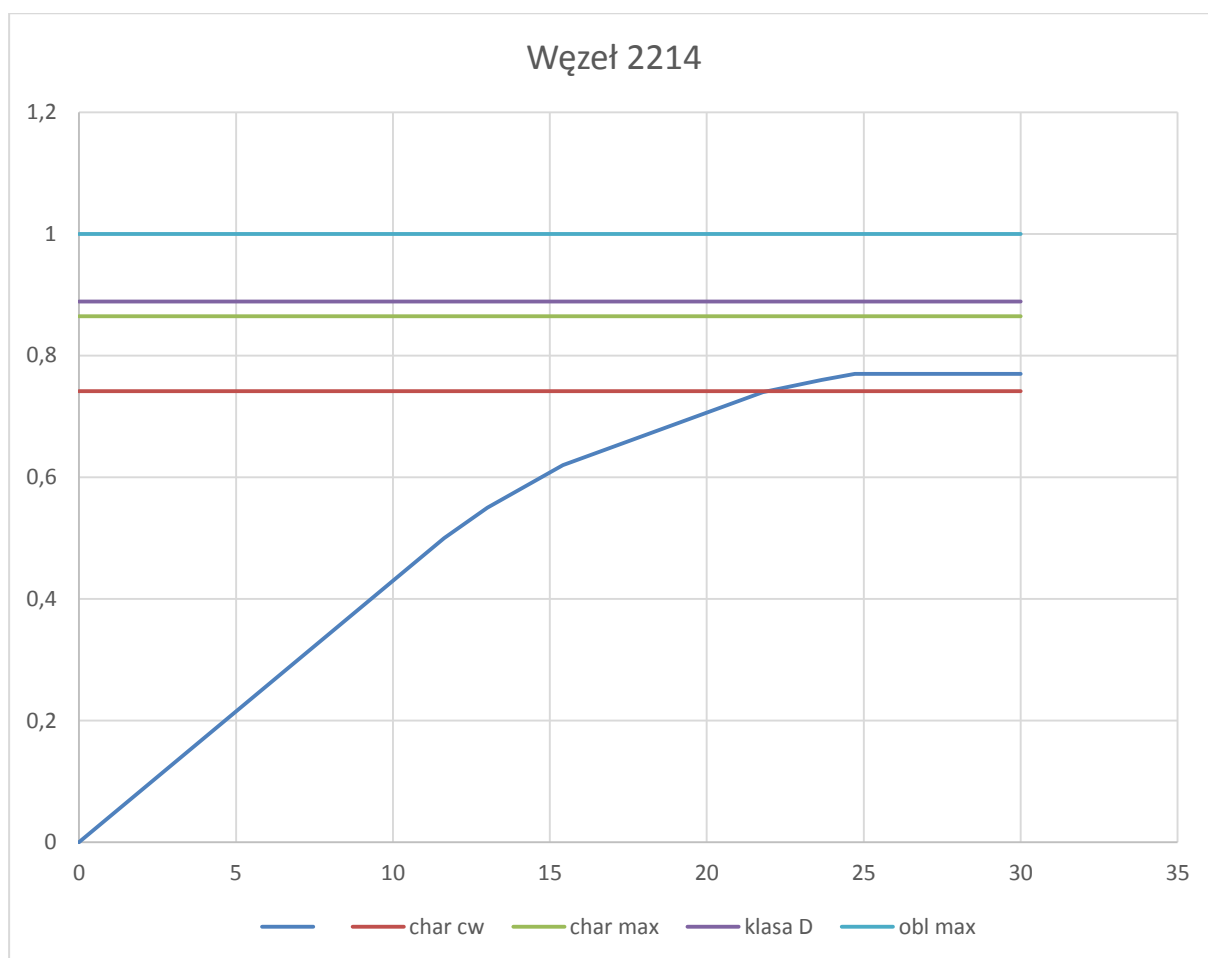
Rys. 10.16.6. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.16.7. Naprężenia von Misesa – Top [MPa].



Rys. 10.16.8. Naprężenia von Misesa – Bottom [MPa].



Rys. 10.16.9. Wykres siła-przemieszczenie (mnożnik dla obliczeniowej siły max w linii dla Cw+kl A).

| | |
|-----------------------------------------------------------|---------------|
| Statistic plasticity: number of checked QUAD-gausspoints: | 71465 |
| number of plastified gausspoints: | 5796 |
| number of cracked gausspoints : | 0 |
| Maximum equivalent stress on the surface | 506.18 [MPa] |
| Maximum depth of plasticity | 45.00 [mm] |
| Minimum averaged steel strain | -86.46 [o/oo] |
| Maximum averaged steel strain | 44.03 [o/oo] |

Tab. 10.16.2. Wynik analizy nieliniowej.

11. PODSUMOWANIE

Konstrukcja Mostu Uniwersyteckiego w Bydgoszczy została kompleksowo oceniona poprzez oględziny i inspekcje oraz na podstawie obliczeń teoretycznych.

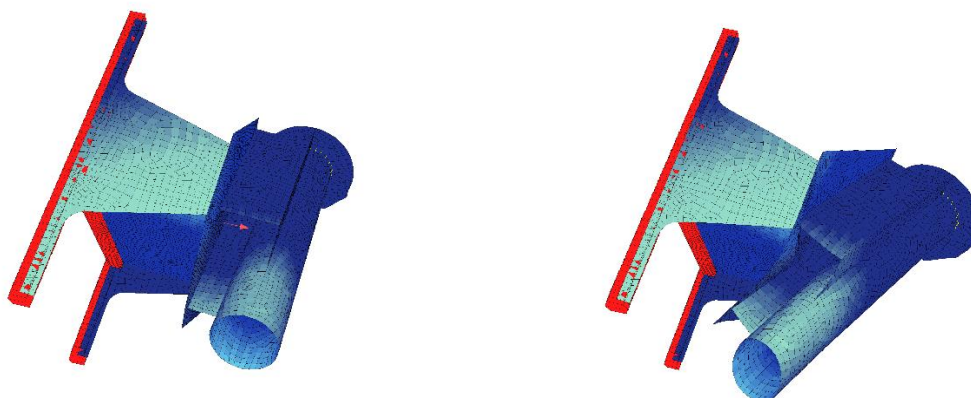
W wyniku przeprowadzonych analiz można sformułować szereg wniosków:

1. Przyjęty układ statyczny charakteryzuje się brakiem równowagi pomiędzy ciężarem własnym konstrukcji i siłami poziomymi pochodzącymi od układu podwieszenia. W rezultacie od obciążeń własnych układ generuje siły poziome, które przenoszone są przez łożysko stałe od strony dworca PKS. Stwierdzono oznaki przeciążenia tego łożyska i sformułowano zalecenia.
2. Konstrukcja stalowa przęseł zespolonych nie wykazuje oznak przeciążeń. Stwierdzono to na podstawie oględzin i obliczeń teoretycznych.
3. Konstrukcja stalowa pylonu jest formą architektoniczną. W rezultacie zaprojektowano i zbudowano strukturę masywną i niesłychanie trudną w wykonaniu. W wyniku inspekcji i na podstawie analiz modelu globalnego nie stwierdzono oznak przeciążeń konstrukcji pylonu.
4. Konstrukcja stalowa zakotwień want w pomoście wizualnie wskazuje na przeciążenie. Analizy statyczno-wytrzymałościowe wskazują na poważne przeciążenie materiału zakotwień. Praktycznie wszystkie zakotwienia kwalifikują się do wzmocnienia. Część z nich w świetle analiz teoretycznych powinna już pod ciężarem własnym ulec zniszczeniu. Są to zakotwienia nr 2101, 2113, 2201, 2213 (rys. 5.2). Pozostałe zakotwienia wykazują teoretyczne rezerwy nośności pod obciążeniem ciężarem własnym. Są też zakotwienia wykazujące rezerwę pod normowym obciążeniem obliczeniowym. Rezerwę nośności można prawdopodobnie znaleźć w charakterystyce wytrzymałościowej stali typu S420 M. W analizach teoretycznych wykonanych w niniejszym opracowaniu przyjęto model materiałowy z granicą plastyczności na poziomie 420 MPa i z liniowym wzmocnieniem (rys. 10.1). W rzeczywistości stal S420M charakteryzuje się krótką lub znikomą półką plastyczną (szczególnie przy grubych blachach) i przechodzi w fazę wzmocnienia osiągając przy zerwaniu poziom dochodzący do 600 MPa. Niestety nie znamy precyzyjnie charakterystyki materiałowej stali zastosowanej w konstrukcji. Brakuje też w publikatorach precyzyjnych danych dotyczących prób zrywania takiej stali pochodzącej z grubych blach. Dlatego zalecono pobranie próbek z konstrukcji i wykonanie stosownych badań.

Podsumowując należy stwierdzić, że w konstrukcji Mostu Uniwersyteckiego stwierdzono poważne przeciążenia kluczowych dla bezpieczeństwa elementów konstrukcyjnych. Powodem przeciążenia jest nieuwzględnienie w strukturze zakotwień want momentu zginającego występującego w zakotwieniu (rys. 11.1) i nierównomiernego rozkładu ścinania w połączeniach pomiędzy blachami zakotwień.

Jest wysoce prawdopodobne, że awaria dowolnego zakotwienia wanty będzie początkiem katastrofy postępującej prowadzącej do zniszczenia mostu.

Awaria łożyska stałego na podporze od strony dworca PKS także może doprowadzić do katastrofy postępującej prowadzącej do poważnego uszkodzenia a nawet zniszczenia mostu.



Rys. 11.1. Węzeł nr 2101. Stan niezdeformowany i zdeformowany (przeskalowany).

Trudno niestety stwierdzić, kiedy przeciążenia się uwidoczniły. Formalnie zgodnie z normą projektowania PN 82/S-10052, wg której obiekt był projektowany praktycznie wszystkie węzły są przeciążone.

Zalecenia:

W chwili obecnej nie stwierdzono istotnych wad w połączeniach spawanych (raport w odrębnym opracowaniu). Zalecono ograniczenie ruchu na moście dla pojazdów powyżej 10 T (nie dotyczy komunikacji miejskiej). Zalecono również obserwację konstrukcji. Wykonano pomiary geodezyjne niwelety mostu.


W chwili obecnej nie zaleca się innych działań.

Kluczowym dla dalszych decyzji związanych z mostem będzie badanie wytrzymałości stali S420M pobranej z blachy o grubości 40 mm.

Należy przeprowadzić audyt rozwiązania konstrukcyjnego łożyska stałego na podporze po stronie dworca PKS (rys. 8.4).

Obecnie trwają prace dotyczące koncepcji wzmocnienia węzłów zakotwień want.

Zespół autorski:


dr hab. inż. **Krzysztof Żółtowski** prof. PG
mgr inż. **Daniel Pełka**
mgr inż. **Agnieszka Nowak**