



# INSTYTUT LOTNICTWA

Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa  
Tel. +48 22 846 00 11 wew. 219, 651,  
Fax: +48 22 846 37 52  
[www.ilot.edu.pl](http://www.ilot.edu.pl), [podwozia@ilot.edu.pl](mailto:podwozia@ilot.edu.pl)



EGZ. NR : .....

Tytuł pracy:

## Obliczenia wytrzymałościowe elementów konstrukcji podwozia przedniego samolotu AT5

Wykonano w:

### ZAKŁADZIE BADAŃ SPRZĘTU I WYPOSAŻENIA LOTNICZEGO

Numer sprawozdania:

**0168/21/CNTB/2014/RAP**

Ilość stron:

**34**

Wykonano dla:

Opracował:

**mgr inż. Rafał Jakubowski**

Data:

**2014.11.05**

Sprawdził (autoryzował):

**mgr inż. Ryszard Harla**

Zatwierdził:

**mgr inż. Andrzej Tywoniuk**

Warszawa listopad 2014



**Obliczenia wytrzymałościowe elementów konstrukcji  
podwozia przedniego samolotu AT5**

Numer dokumentu:  
**0168/21/CNTB/2014/RAP**

Strona:  
**2/34**

Dotyczy koncesji MSWiA <input type="checkbox"/> Nie dotyczy koncesji MSWiA <input checked="" type="checkbox"/>	
TYTUŁ PRACY	Obliczenia wytrzymałościowe elementów konstrukcji podwozia przedniego samolotu AT5
RODZAJ PRACY:	Sprawozdanie
ZLECENIODAWCA	AT-P AVIATION ul. Jugosłowiańska 15 lok. 239, 03-984 Warszawa
PRZEDMIOT ANALIZ:	Obliczenia wytrzymałościowe podwozia przedniego samolotu AT5
OBIEKT ANALIZ:	Podwozie przednie rys. AT5.42.000.00.0 małego samolotu AT-5
NR ZLECENIA ILOT:	CSWP. 51173.01
RAPORT ZAWIERA:	34 stron
DATA ROZPOCZĘCIA:	2013.09.02
DATA ZAKOŃCZENIA:	2015.05.15
SYMBOLE DOKUMENTÓW ZWIĄZANYCH:	Obciążenia podwozia samolotu AT-5 wg przepisów CS-VLA, Umowa nr 226/DU/2013/CNT
SŁOWA KLUCZOWE:	Obliczenia wytrzymałościowe, podwozie lotnicze
PLIK:	0168-21-CNTB-2014-RAP_Obl_wytrz_PP_AT5hh.docx
PROWADZĄCY PRACĘ	mgr inż.. Andrzej Tywoniuk
OPRACOWAŁ:	mgr inż. R. Jakubowski
SPRAWDZIŁ:	mgr inż. R. Harla
WYKONAWCY:	mgr inż. A. Tywoniuk, mgr inż. R. Harla, mgr inż. Z. Skorupka, mgr inż. P. Grygorcewicz, mgr inż. R. Jakubowski, mgr inż. Igor Paprzycki, mgr inż. Patrycja Podsiadło, tech. G. Balcerkiewicz, tech. Wiesław Lechniak, tech. Jerzy Pacholski

**WYNIKI BADAŃ PODANE W NINIEJSZYM SPRAWOZDANIU ODNOSZĄ SIĘ WYŁĄCZNIE DO BADANYCH OBIEKTÓW**

**SPRAWOZDANIE MOŻE BYĆ POWIELANE JEDYNE W CAŁOŚCI, PO UZYSKANIU PISEMNEJ ZGODY  
KIEROWNIKA KOMÓRKI ORGANIZACYJNEJ**

**DOKUMENT I INFORMACJE W NIM ZAWARTE SĄ OPRACOWANIEM  
INSTYTUTU LOTNICTWA I PODLEGAJĄ OCHRONIE PRAWEM AUTORSKIM**

All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with prior and express written permission.

## STRESZCZENIE

W sprawozdaniu przedstawiono obliczenia wytrzymałościowe podwozia przedniego samolotu AT5 podlegającego przepisom lotniczym CS-VLA. Obliczenia przeprowadzono metodami analitycznymi oraz przy użyciu MES zaimplementowanej w programie FEMAP 10 with NX Nastran.

Opracował	Data	Sprawił	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE. OPRACOWANIE I INFORMACJE W NIM ZAWARTE PODLEGAJĄ OCHRONIE PRAWEM AUTORSKIM. POWIELANIE KOPIOWANIE W JAKIKOLWIEK SPOSÓB ORAZ UDOSTĘPNIANIE CAŁOŚCI LUB FRAGMENTÓW DOKUMENTU STRONOM TRZECIM, BEZ UZYSKANIA WCZEŚNIEJ PISEMNEJ ZGODY INSTYTUTU LOTNICTWA, JEST ZABRONIONE.

ALL RIGHTS RESERVED. DISCLOSURE TO THIRD PARTIES OF THIS DOCUMENT OR ANY PART THEREOF, OR THE USE OF ANY INFORMATION CONTAINED THEREIN FOR PURPOSES OTHER THAN PROVIDED FOR BY THIS DOCUMENT, IS NOT PERMITTED, EXCEPT WITH PRIOR AND EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF INSTITUTE OF AVIATION.



**Obliczenia wytrzymałościowe elementów konstrukcji  
podwozia przedniego samolotu AT5**

Numer dokumentu:  
**0168/21/CNTB/2014/RAP**

Strona:  
**3/34**

**ROZDZIELNIK:**

- |                  |           |
|------------------|-----------|
| 1. CNTB          | Egz. Nr 1 |
| 2. Archiwum CNTB | Egz. Nr 2 |
| 3. AT-P AVIATION | Egz. Nr 3 |

**WYKAZ ZMIAN I UZUPEŁNIEŃ:**

Opracował	Data	Sprawdził	Data	<b>Instytut Lotnictwa</b> <b>Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego</b>
	2014.11		2014.11	

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE. OPRACOWANIE I INFORMACJE W NIM ZAWARTE PODLEGAJĄ OCHRONIE PRAWEM AUTORSKIM. POWIELANIE KOPIOWANIE W JAKIKOLWIEK SPOSÓB ORAZ UDOSTĘPNIANIE CAŁOŚCI LUB FRAGMENTÓW DOKUMENTU STRONOM TRZECIM, BEZ UZYSKANIA WCZEŚNIEJ PISEMNEJ ZGODY INSTYTUTU LOTNICTWA, JEST ZABRONIONE.

ALL RIGHTS RESERVED. DISCLOSURE TO THIRD PARTIES OF THIS DOCUMENT OR ANY PART THEREOF, OR THE USE OF ANY INFORMATION CONTAINED THEREIN FOR PURPOSES OTHER THEN PROVIDED FOR BY THIS DOCUMENT, IS NOT PERMITTED, EXCEPT WITH PRIOR AND EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF INSTITUTE OF AVIATION.



**SPIS TREŚCI:** str.

<b>1. WSTĘP .....</b>	<b>6</b>
<b>2. DANE MATERIAŁOWE .....</b>	<b>7</b>
<b>3. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE WIDELCA AMORTYZATORA .....</b>	<b>7</b>
<b>4. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE TULEI WIDELCA.....</b>	<b>13</b>
<b>5. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE TŁOCZYSKA .....</b>	<b>18</b>
<b>6. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE TULEI ZEWNĘTRZNEJ AMORTYZATORA.....</b>	<b>25</b>
<b>7. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE ZASTRZAŁU .....</b>	<b>30</b>
<b>8. SPIS LITERATURY .....</b>	<b>34</b>

Opracował	Data	Sprawdził	Data	<b>Instytut Lotnictwa</b> <b>Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego</b>
	2014.11		2014.11	



## UŻYTE OZNACZENIA:

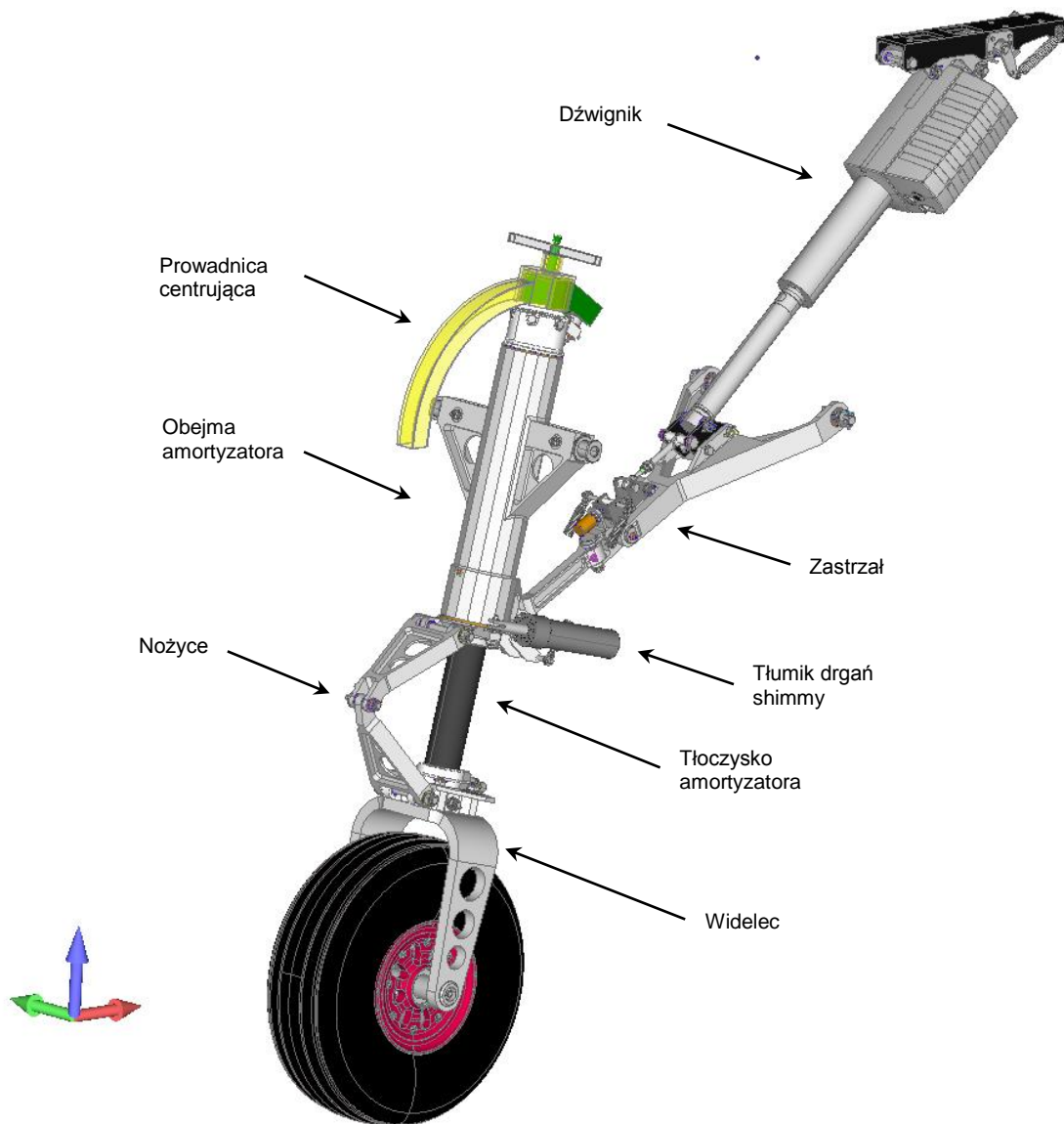
Oznaczenie	Jednostki	Opis
$u_a$	[mm]	Ugięcie amortyzatora
$u_{st}$	[mm]	Ugięcie statyczne amortyzatora
$u_{max}$	[mm]	Ugięcie maksymalne amortyzatora
$t$	[mm]	Grubość
$d$	[mm]	Średnica
$A$	[mm <sup>2</sup> ]	Powierzchnia
$F$	[N]	Siła
$p$	[MPa]	Naciski, ciśnienie
$E$	[MPa]	Moduł Younga
$\nu$	[-]	Współczynnik Poisson'a
$\sigma_{red}$	[MPa]	Naprężenia zredukowane
$\sigma_o$	[MPa]	Naprężenia obwodowe
$\sigma_w$	[MPa]	Naprężenia wzdłużne
$\tau$	[MPa]	Naprężenia tnące
$R_m$	[MPa]	Wytrzymałość doraźna
$k_r$	[MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie
$k_t$	[MPa]	Wytrzymałość na ścinanie
$n_w$	[-]	Współczynnik wyboczenia

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



## 1. WSTĘP

W raporcie przedstawiono obliczenia wytrzymałościowe podwozia przedniego (rys.1) samolotu AT5 podlegającego przepisom lotniczym CS-VLA. Obliczenia przeprowadzono metodami analitycznymi oraz przy użyciu MES zaimplementowanej w programie FEMAP 10 with NX Nastran.



Rysunek 1. Model CAD podwozia przedniego samolotu AT5

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



## 2. DANE MATERIAŁOWE

Analizy przeprowadzono dla materiałów:

- stop aluminium EN AW-2024 o  $R_{m \min} = 360 \div 420$  MPa (w zależności od grubości przygotówki), moduł Younga  $E=73000$  MPa, współczynnik Poisson'a  $\nu= 0,33$
- stal 30 HGSA o  $R_m \min = 1100$  MPa, moduł Younga  $E=73000$  MPa, współczynnik Poisson'a  $\nu= 0,33$
- stal sprężynowa 65g o  $R_m=1400$  [MPa]

## 3. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE WIDELCA AMORTYZATORA

a) Obliczenia widelca dla dwóch wymiarujących ugięć osi koła:

- 1)  $u_a = u_{st}$
- 2)  $u_a = 0.25 u_{max}$

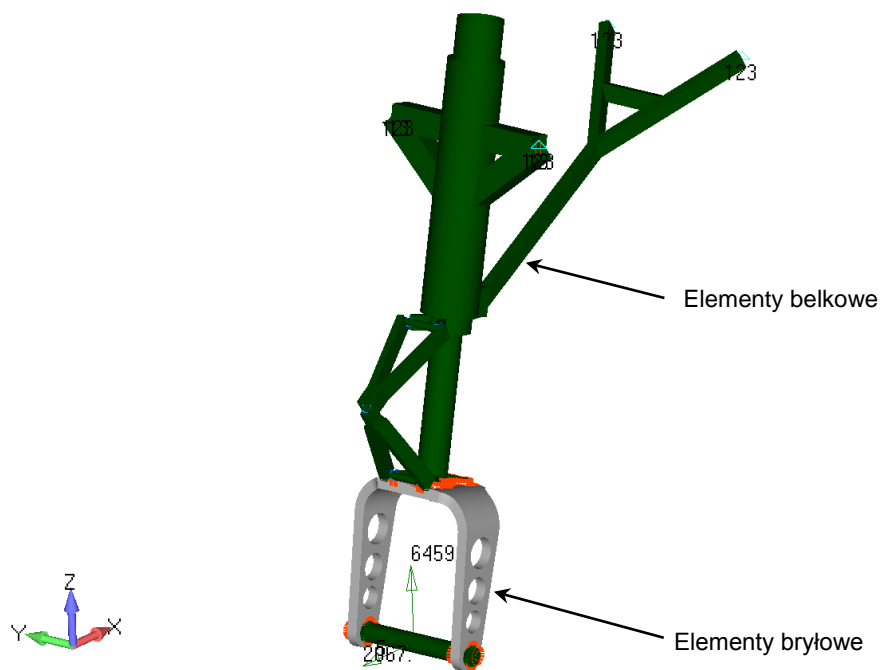
Model MES wraz z warunkami brzegowymi pokazano na rys. 2÷3. Sposób przyłożenia oraz wartości obciążeń określono na podstawie przepisów lotniczych CS-VLA.471-505, CS-23.509 oraz CS-VLA Book1 Appendix C Basic Landing Conditions. Obciążenia zgrupowano w tabeli 1.

Tabela 1. Przypadki obciążeń od ziemi dla podwozia przedniego samolotu AT5

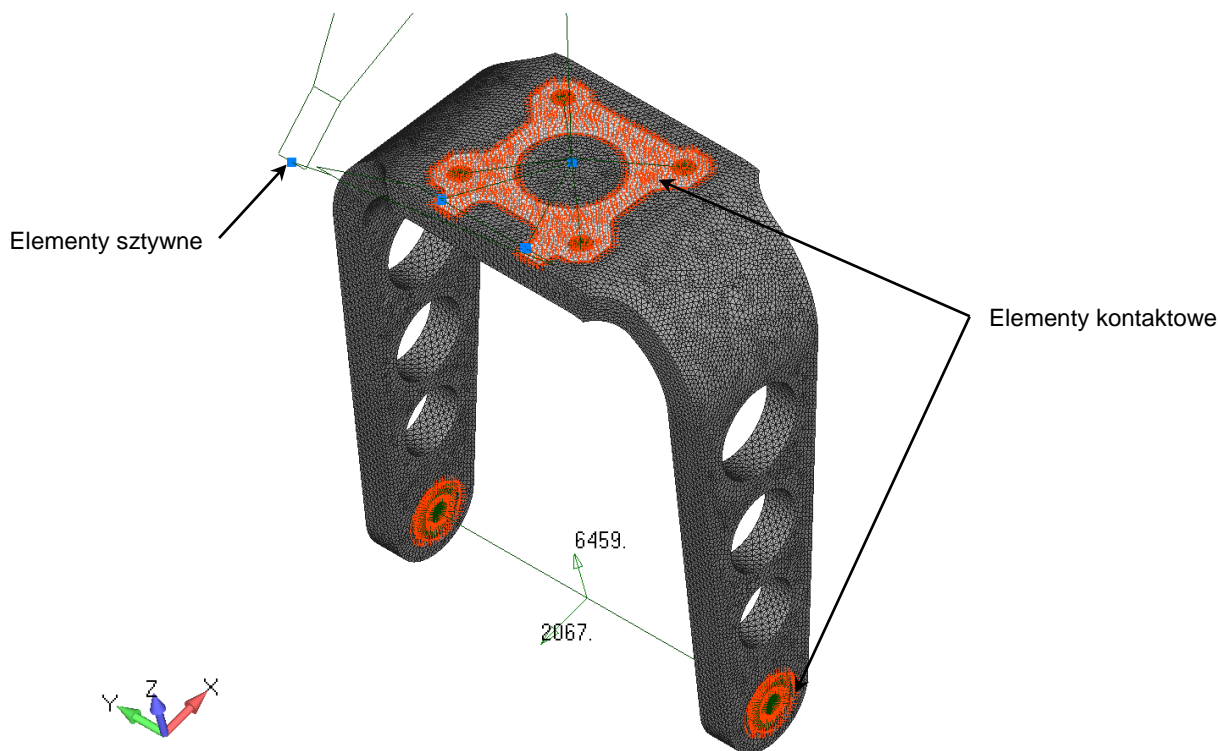
Lp	Przypadek obciążenia	Fx [N]	Fy [N]	Fz [N]	Ugięcie osi koła	Punkt przyłożenia obciążenia		
						Fx	Fy	Fz
1	CS-VLA.479 (a)(2)(i)	± 2067		6459	0,25 Umax	oś koła		oś koła
2	CS-VLA.499(a)	3719		4649	Ust	oś koła		oś koła
3	CS-VLA.499(b)	-1860		4649	Ust	oś koła		oś koła
4	CS-VLA.499c		±3255	4649	Ust		styk opony z ziemią	
5	CS-23.509d 5)	2296		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła
6	CS-23.509d 6)	2296		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła
7	CS-23.509d 7)	2296		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła
8	CS-23.509d 8)	2296		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła
9	CS-23.509d 9)	1148		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła
10	CS-23.509d 10)	1148		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła
11	CS-23.509d 11)	1148		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła
12	CS-23.509d 12)	1148		2066	Ust	uchwyt holowniczy		oś koła

**Uwaga:** Kierunki i zwroty obciążeń zgodne z układem współrzędnych samolotu gdzie oś X skierowana do kierunku lotu, Y na prawo od płaszczyzny symetrii, Z prostopadle do płaszczyzny XY.

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 2. Model MES widelca podwozia przedniego – odwzorowanie przekrojów poprzecznych elementów belkowych



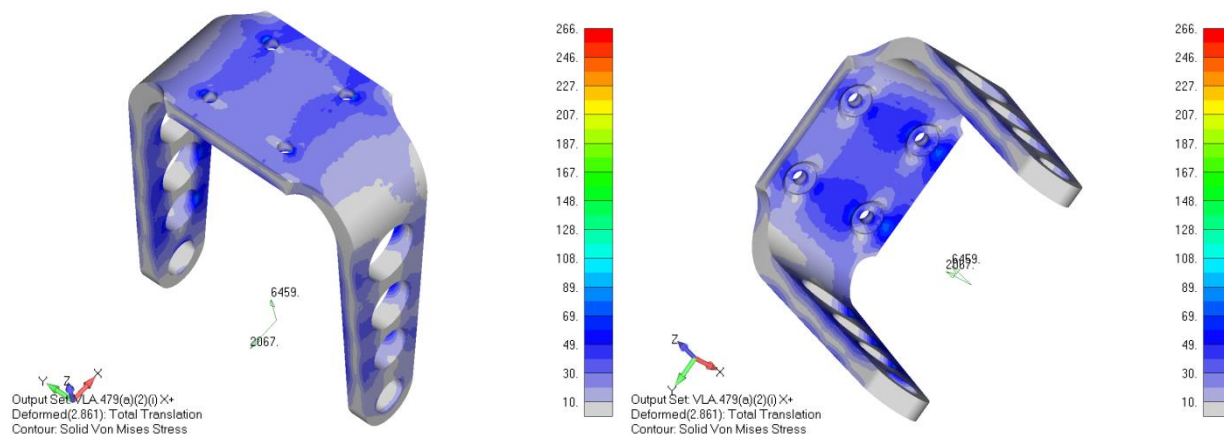
Rysunek 3. Model MES widelca podwozia przedniego

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	

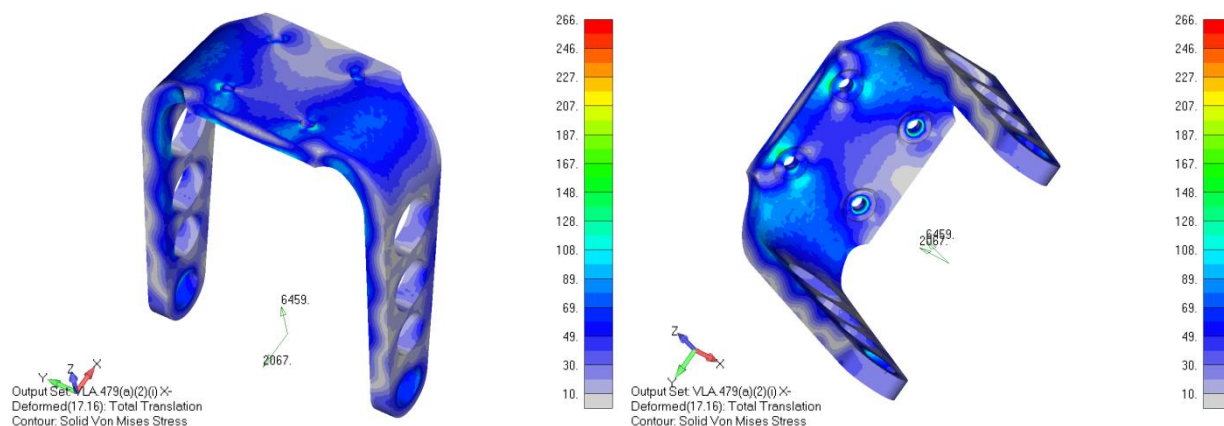




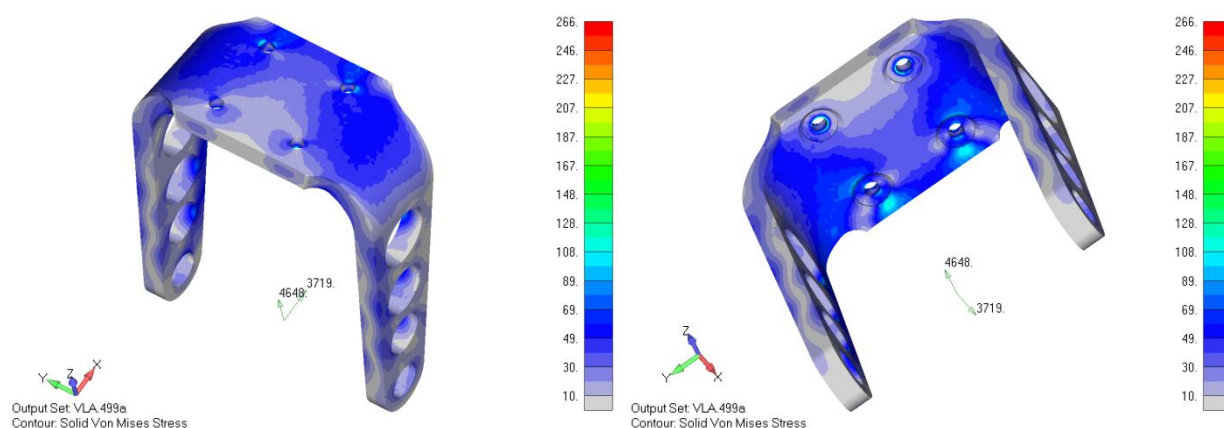
Na rys. 4÷9 przedstawiono mapy naprężeń zredukowanych  $\sigma_{red}$  dla wymiarujących przypadków obciążeń.



Rysunek 4. Naprężenia zredukowane w widelcu (obciążenie nr 1, Fx+ R<sub>m</sub>=400 MPa)

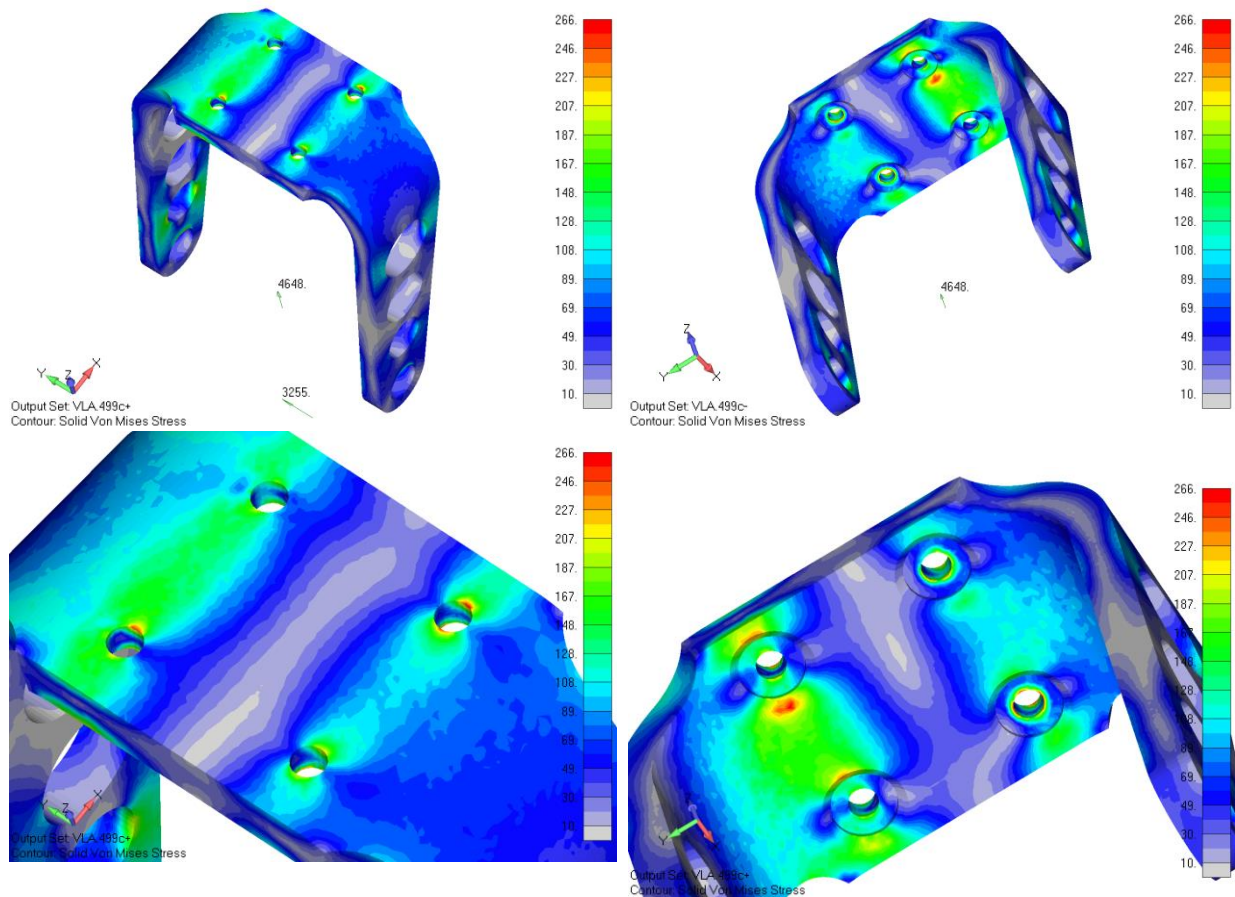


Rysunek 5. Naprężenia zredukowane w widelcu (obciążenie nr 1, Fx- R<sub>m</sub>=400 MPa)



Rysunek 6. Naprężenia zredukowane w widelcu (obciążenie nr 2, R<sub>m</sub>=400 MPa)

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	

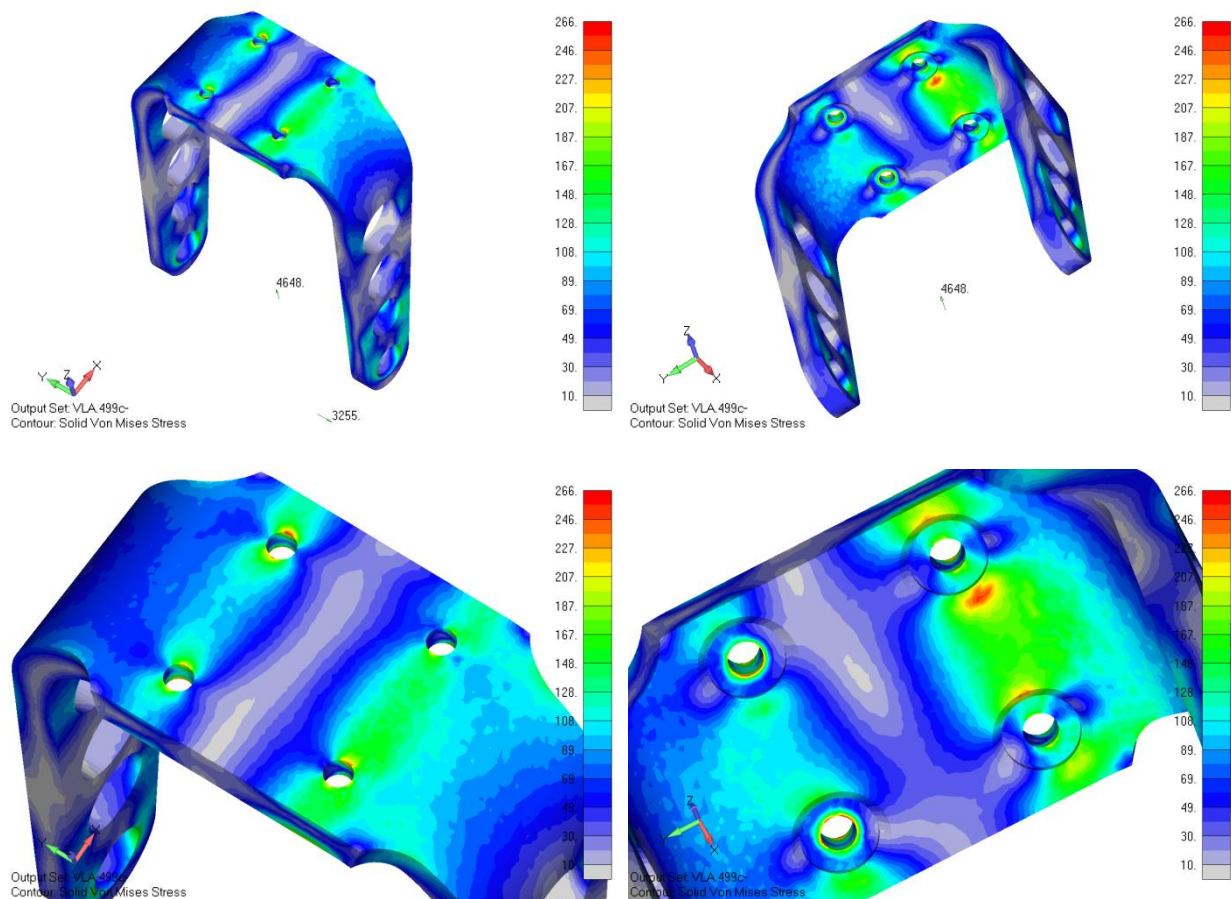


Rysunek 7. Naprężenia zredukowane w widelcu (obciążenie nr 4,  $F_y + R_m = 400$  MPa)

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE. OPACOWANIE I INFORMACJE W NIM ZAWARTE PODLEGAJĄ OCHRONIE PRAWEM AUTORSKIM. POWIELANIE KOPIOWANIE W JAKIKOLWIEK SPOSÓB ORAZ UDOSTĘPNIANIE CAŁOŚCI LUB FRAGMENTÓW DOKUMENTU STRONOM TRZECIM, BEZ UZYSKANIA WCZEŚNIEJ PISEMNEJ ZGODY INSTYTUTU LOTNICTWA, JEST ZABRONIONE.

ALL RIGHTS RESERVED. DISCLOSURE TO THIRD PARTIES OF THIS DOCUMENT OR ANY PART THEREOF, OR THE USE OF ANY INFORMATION CONTAINED THEREIN FOR PURPOSES OTHER THEN PROVIDED FOR BY THIS DOCUMENT, IS NOT PERMITTED, EXCEPT WITH PRIOR AND EXPRESS WRITTEN PERMISSION OF INSTITUTE OF AVIATION.



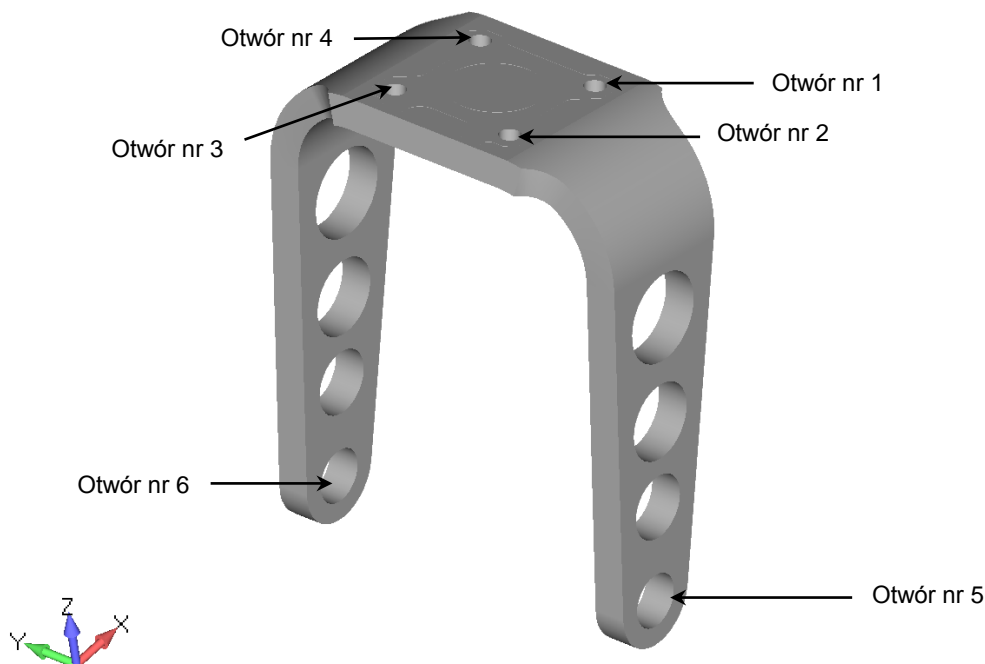
Rysunek 8. Naprężenia zredukowane w widelcu (obciążenie nr 4,  $F_y - R_m = 400$  MPa)

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla materiału o wytrzymałości doraźnej  $R_{m \min} = 400$  [MPa] maksymalne naprężenia zredukowane dla analizowanych przypadków obciążeń (tabela 1)  $\sigma_{red \max} = 266$  [MPa] (CS.VLA.499c  $F_y +$  rys. 7). Warunek wytrzymałościowy:  $\sigma_{dop} < R_m/1.5$  został spełniony. Koncentracje naprężeń na krawędziach otworów mocujących widelec do tulei wynikają z kontaktu oraz dyskretnego odwzorowania powierzchni zakrzywionej.

b) Naciski w obszarze osadzenia osi koła oraz w otworach łączących widelec z tuleją widelca

W tabeli 2 zestawiono obliczenia nacisków powierzchniowych w wybranych obszarach widelca. Na rys. 9 przedstawiono numerację analizowanych obszarów.

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 9. Numeracja otworów w obszarach, których sprawdzono naciski powierzchniowe

Tabela 2. Zestawienie nacisków powierzchniowych w wybranych obszarach widelca

Otwór	Naciski [MPa]					
	Lp	CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx+	CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx-	CS-VLA.499a	CS-VLA.499cFy+	CS-VLA.499cFy-
1		125	108	179	130	84
2		81	217	72	156	187
3		82	203	66	179	159
4		122	98	169	80	135
5		34	35	33	26	77
6		38	38	30	74	28

Wymagany warunek wytrzymałościowy przy naciskach powierzchniowych oraz połączeniach nierozbieralnych i nie ruchowych (otwory 1÷4)  $p_{dop} \leq 1.3R_m = 520$  MPa został spełniony. Wymagany warunek wytrzymałościowy przy naciskach powierzchniowych oraz połączeniach nie ruchowych (otwory 5÷6)  $p_{dop} \leq R_m = 400$  MPa również został spełniony.

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



c) Sprawdzenie wytrzymałości na ścinanie śrub łączących widelec z tuleją widelca

Kryterium wytrzymałości na ścinanie dla materiału 30HGSA  $R_m=1100$  MPa:

$$k_t = 0.55 \cdot k_r = 0.55 \cdot \frac{R_m}{1,5} = 403 [MPa]$$

$F_{w \max} = 5425$  [N] dla CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx- (otwór 2 rys. 10)

$$A_{sw} = 79 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{F_w}{A} = 69 [MPa]$$

Warunek wytrzymałości na ścinanie został spełniony.

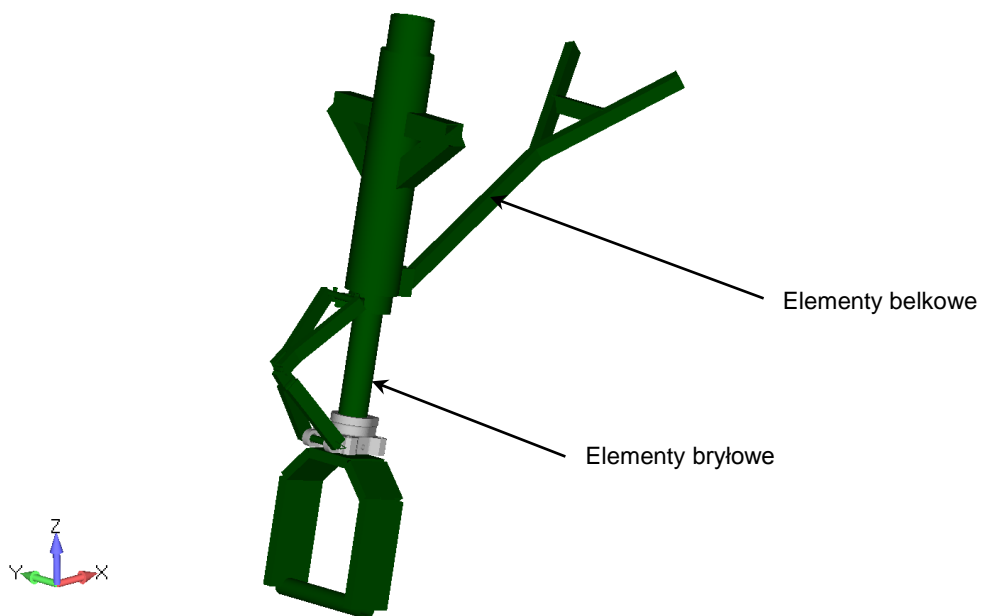
#### 4. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE TULEI WIDELCA

a) Obliczenia tulei widelca podwozia przedniego przeprowadzono dla dwóch ugięć amortyzatora:

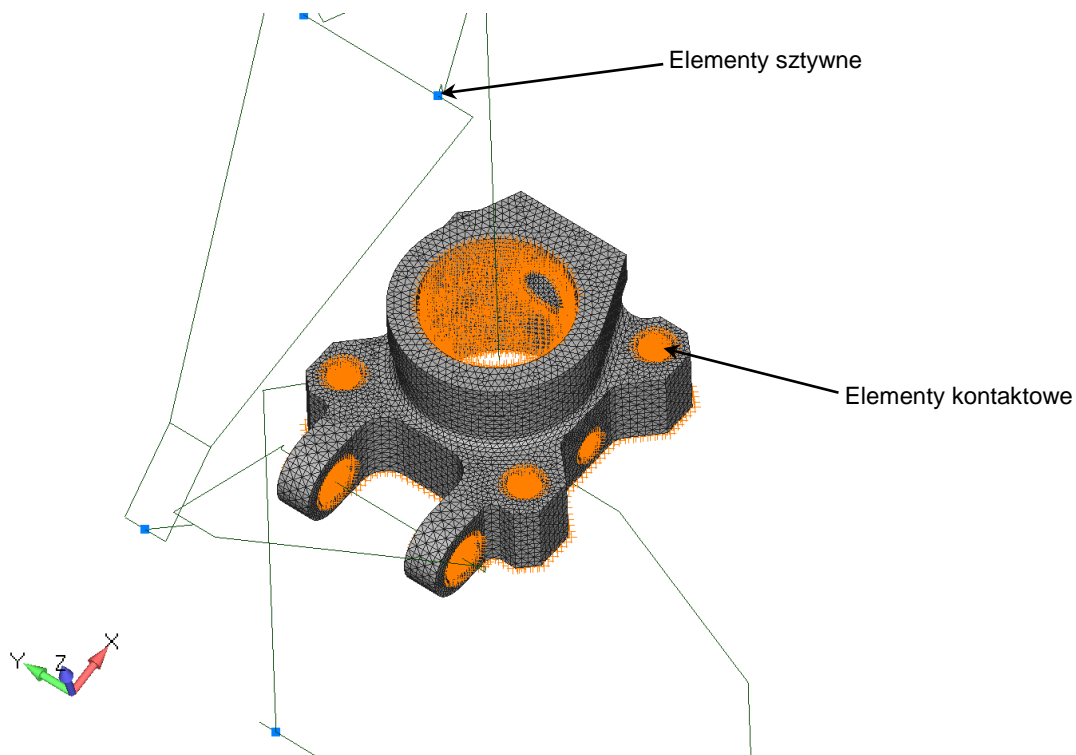
- 1)  $u_a = u_{st}$
- 2)  $u_a = 0.25 u_{\max}$

Sposób przyłożenia oraz wartości obciążeń określono na podstawie przepisów lotniczych CS-VLA.471-505, CS-23.509 oraz CS-VLA Book1 Appendix C Basic Landing Conditions. Obciążenia zgrupowano w tabeli 1. Materiał tulei widelca stanowił stop aluminium o wytrzymałości doraźnej:  $R_{m \min} = 420$  [MPa]. Na rys. 10÷11 przedstawiono model numeryczny zastosowany do obliczeń.

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



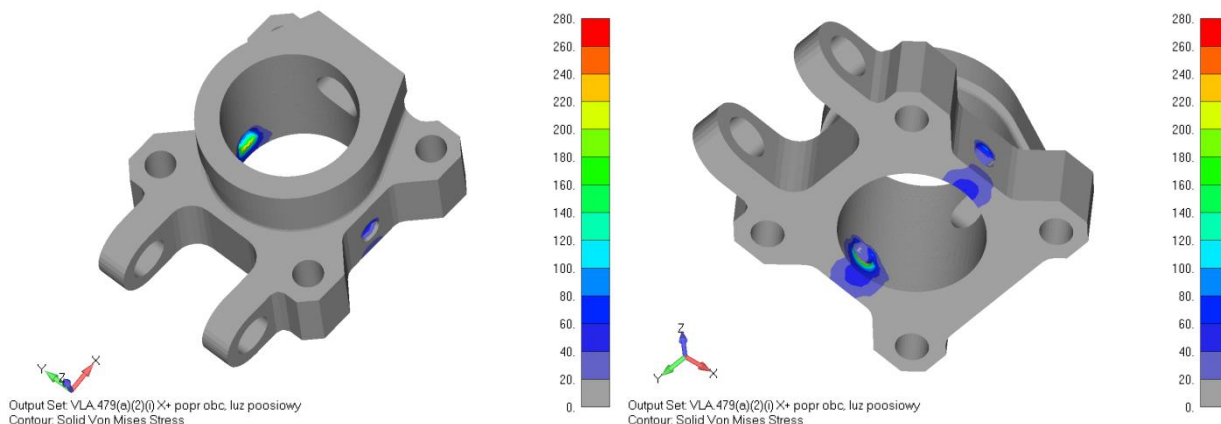
Rysunek 10. Model MES tulei widelca podwozia przedniego – odwzorowanie przekrojów poprzecznych elementów belkowych



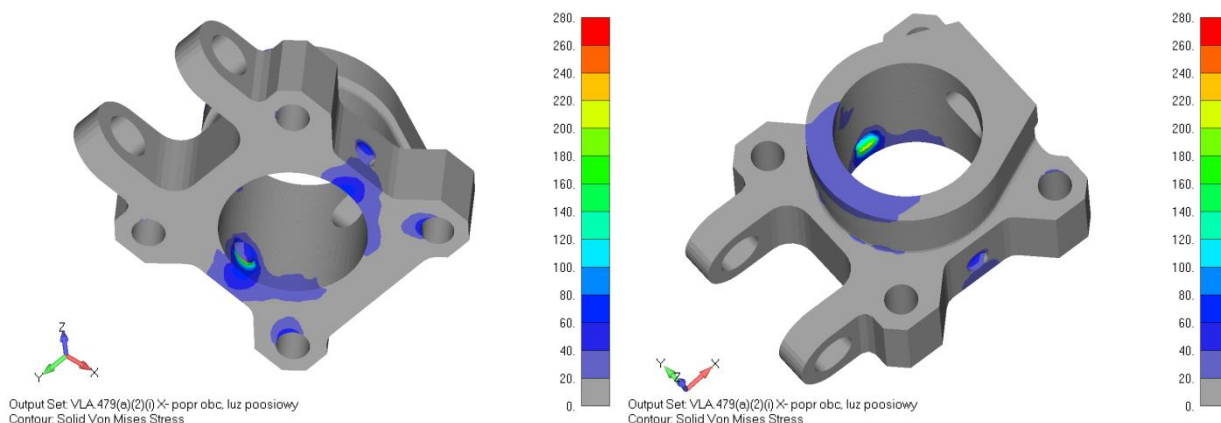
Rysunek 11. Model MES tulei widelca podwozia przedniego

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	

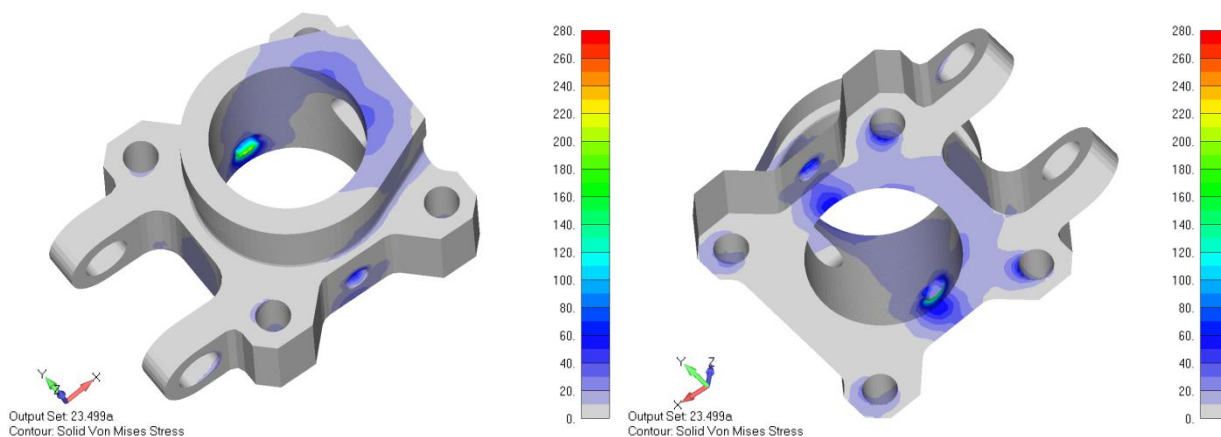
Na rys. 12÷16 przedstawiono mapy naprężeń zredukowanych  $\sigma_{red}$  dla wymiarujących przypadków obciążeń.



Rysunek 12. Naprężenia zredukowane w tulei widelca (obciążenie nr 1,  $F_x + R_m = 420$  MPa)

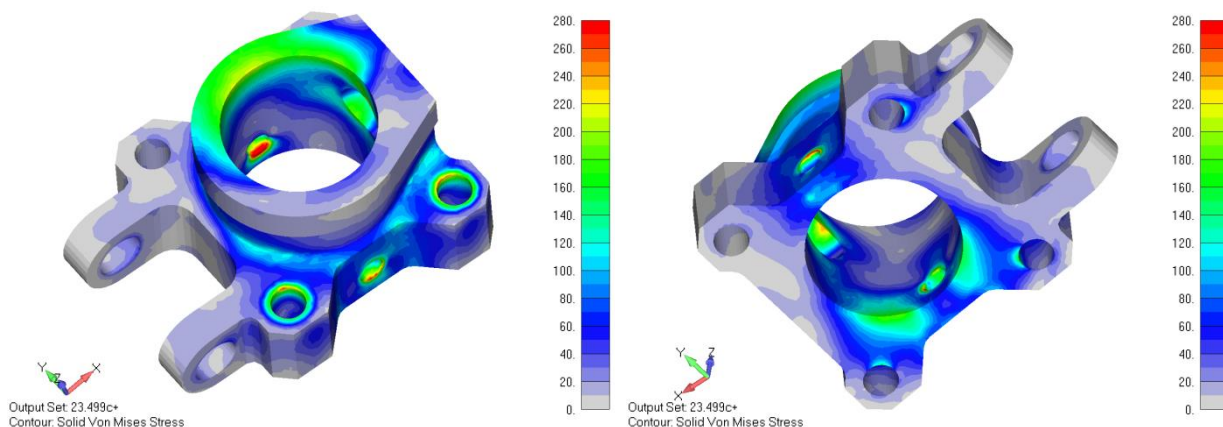


Rysunek 13. Naprężenia zredukowane w tulei widelca (obciążenie nr 1,  $F_x + R_m = 420$  MPa)

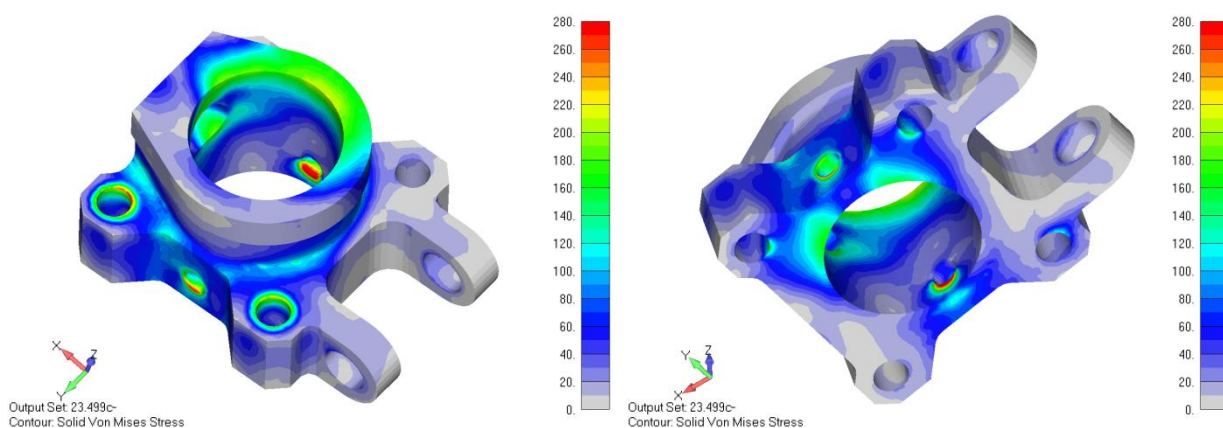


Rysunek 14. Naprężenia zredukowane w tulei widelca (obciążenie nr 2  $R_m = 420$  MPa)

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 15. Naprężenia zredukowane tulei widelca (obciążenie nr 4,  $F_y+$   $R_m=420$  MPa)



Rysunek 16. Naprężenia zredukowane tulei widelca (obciążenie nr 4,  $F_y-$   $R_m=420$  MPa)

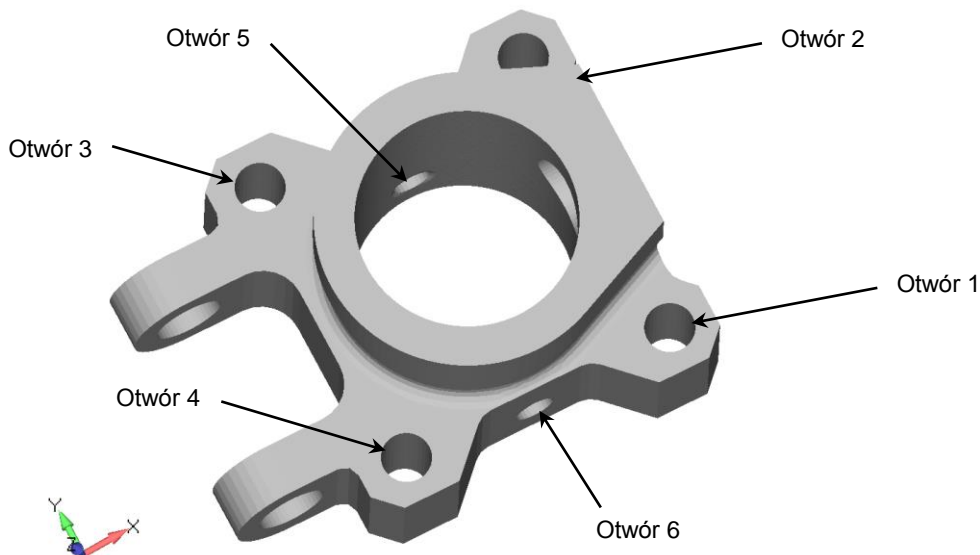
Maksymalne naprężenia zredukowane dla analizowanych przypadków obciążeń (tabela 1)  $\sigma_{red\ max} = 240$  [MPa] występują w obszarze otworu pod zawór ładowania (rys. 15). Spełniony jest więc warunek:  $\sigma_{odp} < R_m/1.5$  ( $R_{m\ min}=420$  [MPa]). Koncentracje naprężeń na krawędziach otworów mocujących widelec do tulei wynikają z kontaktu oraz dyskretnego odwzorowania powierzchni zakrzywionej.

b) Sprawdzenie nacisków w otworach łączących widelec z tuleją widelca oraz w otworze pod sworzeń łączący tuleje widelca z tłoczyskiem

W tabeli 3 zestawiono obliczenia nacisków powierzchniowych w wybranych obszarach widelca. Na rys. 17 przedstawiono numerację analizowanych obszarów.

Opracował	Data	Sprawił	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	





Rysunek 17. Numeracja otworów w obszarach, których sprawdzono naciski powierzchniowe

Tabela 3. Zestawienie nacisków powierzchniowych w wybranych obszarach tulei widelca

Otwór	Naciski [MPa]				
	Lp	CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx+	CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx-	CS-VLA.499a	CS-VLA.499cFy+
1	1	15	9	71	5
2	1	15	9	4	74
3	3	7	14	40	81
4	3	7	14	82	38
5	52	46	42	121	54
6	53	46	42	56	120

Wymagany warunek wytrzymałościowy przy naciskach powierzchniowych oraz połączeniach nie ruchowych  $p_{dop} \leq R_m = 420$  MPa został spełniony.

c) Sprawdzenie wytrzymałości na ścinanie sworznia łączącego tłoczysko z tuleją widelca

Kryterium wytrzymałości na ścinanie dla materiału 30HGSA  $R_m = 1100$  MPa:

$$k_t = 0.55 \cdot k_r = 0.55 \cdot \frac{R_m}{1.5} = 403 [MPa]$$

$F_{w \max} = 7734$  [N] dla CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx- (otwór 2 rys. 10)

$$A_{sw} = 50 [mm^2]$$

Opracował	Data	Sprawił	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



$$\tau = \frac{F_w}{A} = 154 [MPa]$$

Warunek wytrzymałości na ścinanie został spełniony.

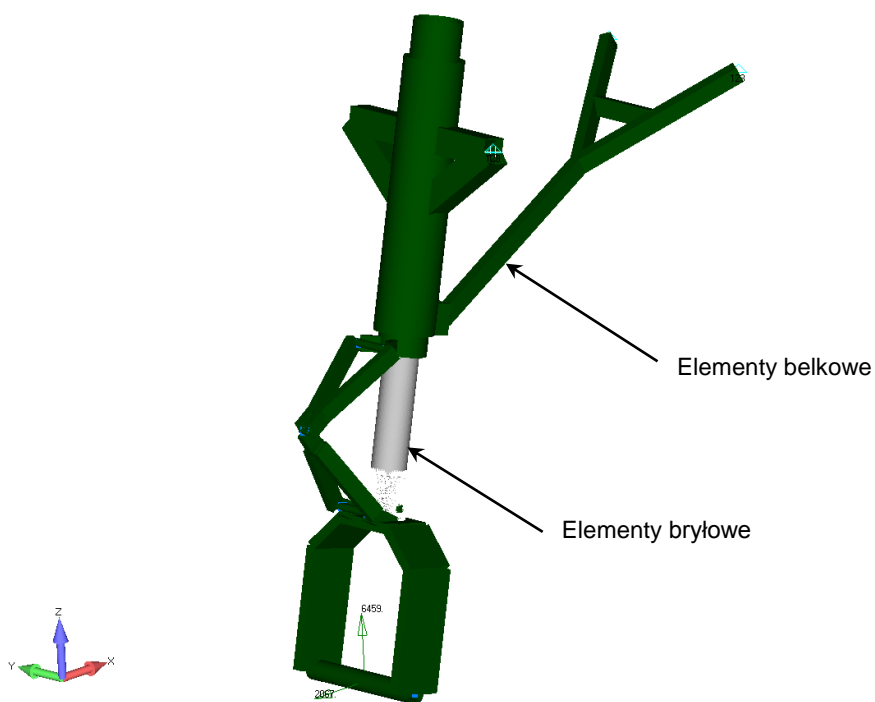
## 5. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE TŁOCZYSKA

a) Obliczenia tłoczyska podwozia przedniego przeprowadzono dla dwóch ugięć amortyzatora:

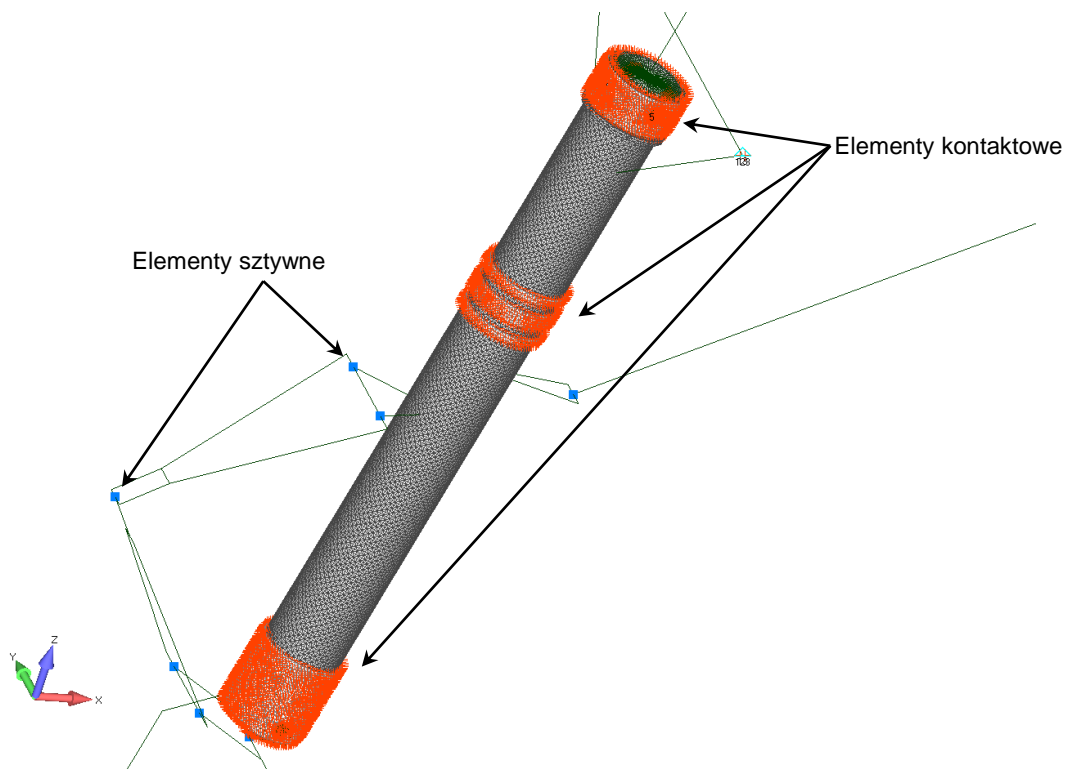
- 1)  $u_a = u_{st}$
- 2)  $u_a = 0.25 u_{max}$

Sposób przyłożenia oraz wartości obciążeń określono na podstawie przepisów lotniczych CS-VLA.471-505, CS-23.509 oraz CS-VLA Book1 Appendix C Basic Landing Conditions. Obciążenia zgrupowano w tabeli 1. Materiał tłoczyska stanowiła stal 30HGSA o wytrzymałości doraźnej:  $R_{m \min} = 1100$  [MPa]. Na rys. 18÷19 przedstawiono model numeryczny zastosowany do obliczeń.

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 18. Model MES dla łożyska podwozia przedniego

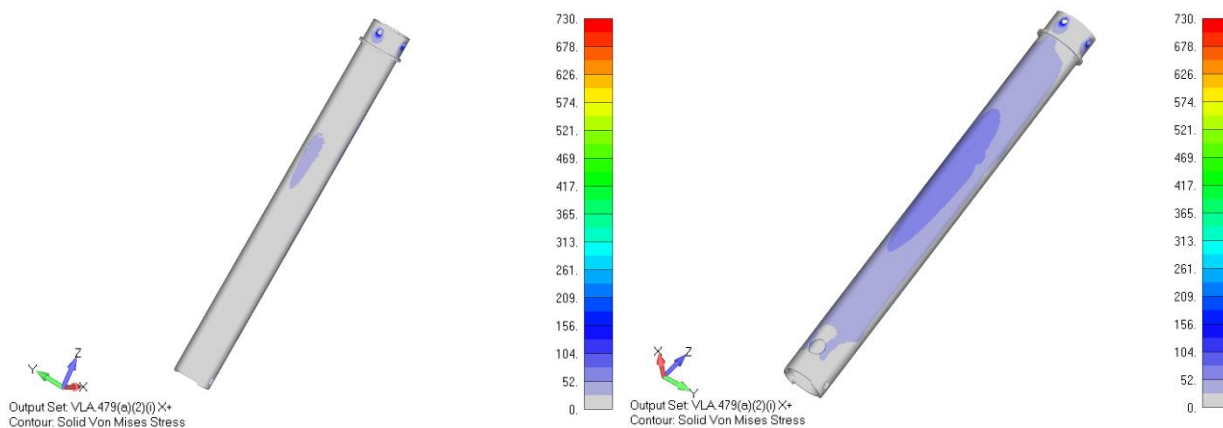


Rysunek 19. Model MES dla łożyska podwozia przedniego

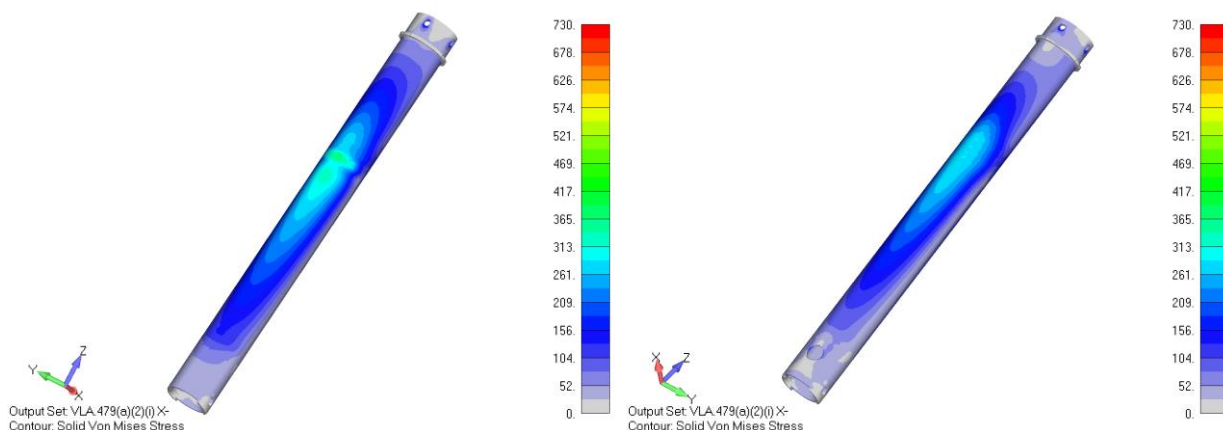
Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



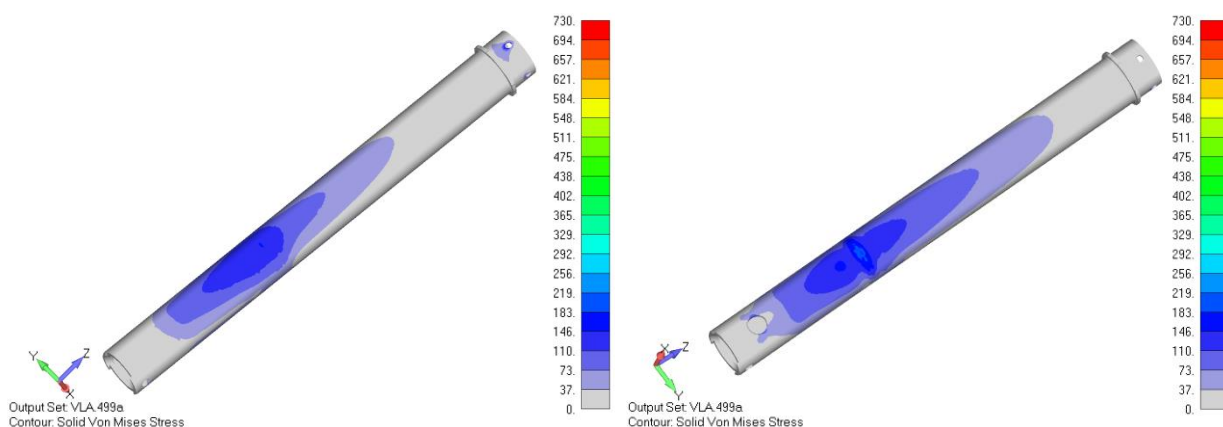
Na rys. 20÷24 przedstawiono mapy naprężeń zredukowanych  $\sigma_{red}$  dla wymiarujących przypadków obciążeń.



Rysunek 20. Naprężenia zredukowane w tłoczysku (obciążenie nr 1, Fx+  $R_m=1100$  MPa)

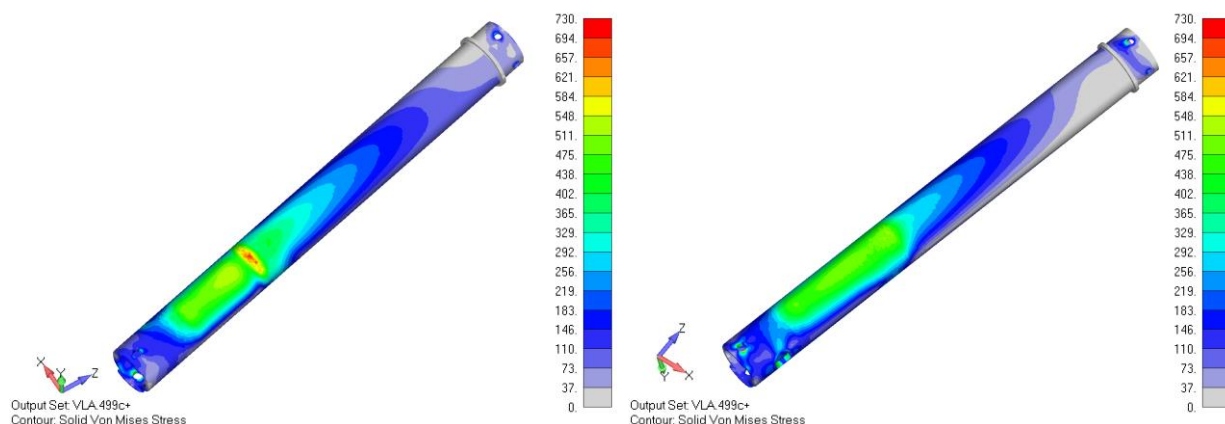


Rysunek 21. Naprężenia zredukowane w tłoczysku (obciążenie nr 1, Fx-  $R_m=1100$  MPa)

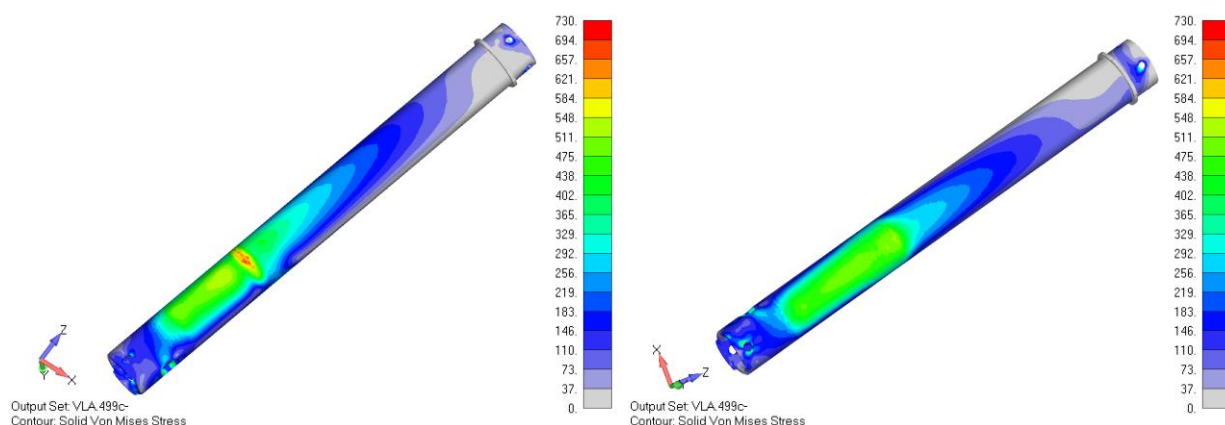


Rysunek 22. Naprężenia zredukowane w tłoczysku (obciążenie nr 2,  $R_m=1100$  MPa)

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 23. Naprężenia zredukowane w tłoczysku (obciążenie nr 4,  $F_y+ R_m=1100$  MPa)



Rysunek 24. Naprężenia zredukowane w tłoczysku (obciążenie nr 4,  $F_y- R_m=1100$  MPa)

Maksymalne naprężenia zredukowane w tłoczysku występują dla przypadku obciążenia nr 4 (CS.VLA.499c  $F_y-$ ) i wynoszą  $\sigma_{red}=714$  [MPa]. Warunek  $\sigma_{dop} < R_m/1.5$  został spełniony ( $R_m \text{ min}=1100$  [MPa]).

b) Sprawdzenie wytrzymałości na ścinanie pierścienia osadczego sprężynującego

$$d_{kosz \text{ uszcz}} = 62 \text{ [mm]}$$

$$d_{tlocz} = 44 \text{ [mm]}$$

$$p_{c \text{ max}} = 4,77 \text{ [MPa]} \text{ (dla przemiany politropowej – rys. 27)}$$

$$p_e = 0,65 \text{ [MPa]}$$

$$t = 2,5 \text{ [mm]}$$

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



$$A_t = \pi \cdot d_{kosz\ uszcz} \cdot t = 487[mm^2]$$

$$A_{cis} = \frac{\pi \cdot (d_{kosz\ uszcz}^2 - d_{tlocz}^2)}{4} = 1499[mm^2]$$

$$P_t = 2,25 \cdot p_{c\ max} \cdot A_{cis} = 16083[N]$$

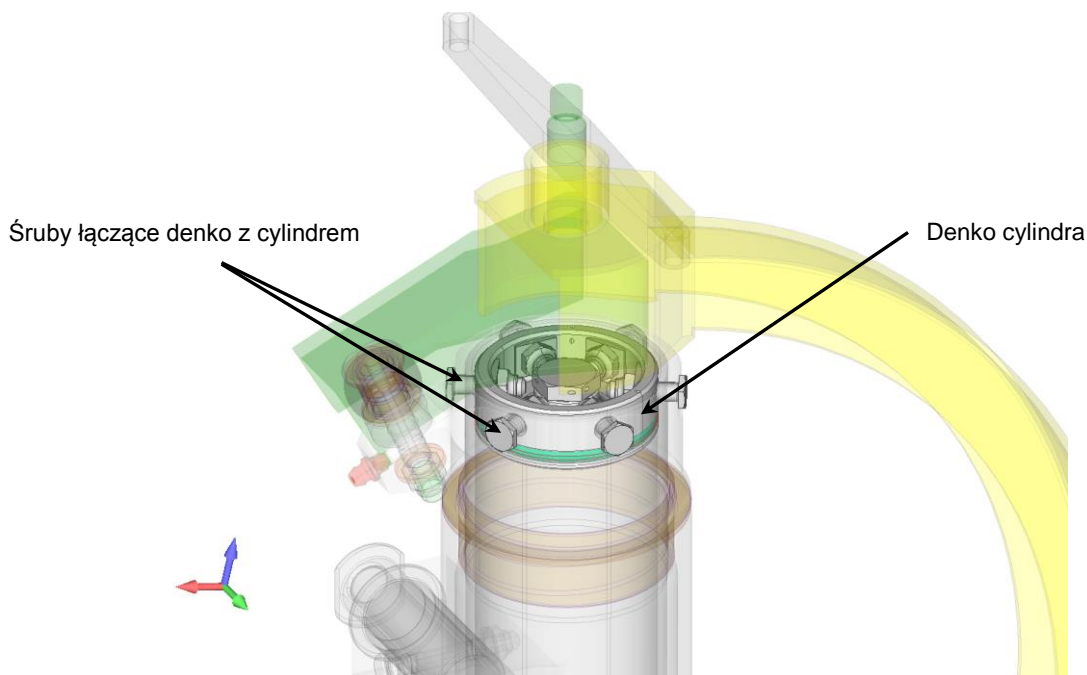
$$\tau_t = \frac{P_t}{A_t} = 33[MPa]$$

Materiał pierścienia osadczego stanowi stal sprężynowa 65g o  $R_m=1400$  [MPa]

$$k_t = 0,55 \cdot k_r = 0,55 \cdot \frac{R_m}{1,5} = 521[MPa]$$

Warunek wytrzymałości na ścinanie dla pierścienia osadczego został spełniony.

c) Sprawdzenie wytrzymałości na ścinanie sworzni denka cylindra



Rysunek 25. Model CAD podwozia przedniego z wyróżnionymi denkiem i sworzniami mocującymi

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



$$\begin{aligned}n_{\text{sworz}} &= 6 \\d_{\text{sworz}} &= 6 \text{ [mm]} \\d_{\text{denka}} &= 56 \text{ [mm]} \\p_{\text{dyn max}} &= 4,77 \text{ [MPa]} \\R_m &= 1100 \text{ [MPa]}\end{aligned}$$

$$k_t = 0,55 \cdot k_r = 0,55 \cdot \frac{R_m}{1,5} = 403 \text{ [MPa]}$$

$$A_{\text{sworz}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{sworz}}^2}{4} = 28 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_{\text{denka}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{denka}}^2}{4} = 2463 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$P_t = 2,25 \cdot p_{\text{dyn max}} \cdot A_{\text{denka}} = 26434 \text{ [N]}$$

$$\tau_t = \frac{P_t}{n_{\text{sworz}} \cdot A_{\text{sworz}}} = 157 \text{ [MPa]} < k_t$$

Warunek wytrzymałości na ścinanie został spełniony.

Ciśnienie niszczące dla sworzni denka cylindra:

$$p_{\text{niszcz}} = \frac{P_t \text{ niszcz}}{A_{\text{denka}}} = \frac{k_t \cdot A_{\text{sworz}} \cdot n_{\text{sworz}}}{A_{\text{denka}}} = 27,51 \text{ [MPa]}$$

d) Sprawdzenie naprężeń od ciśnienia dla tłoczyska [Niezgodziński – wzory i wykresy]

Naprężenia obwodowe stałe na grubości tłoczyska

$$\sigma_o = \frac{2,25 p_c \text{ max} \cdot (d_{tł} - t_{tł})}{2 t_{tł}} = \frac{10,73 \cdot 41}{6} = 73 \text{ [MPa]}$$

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



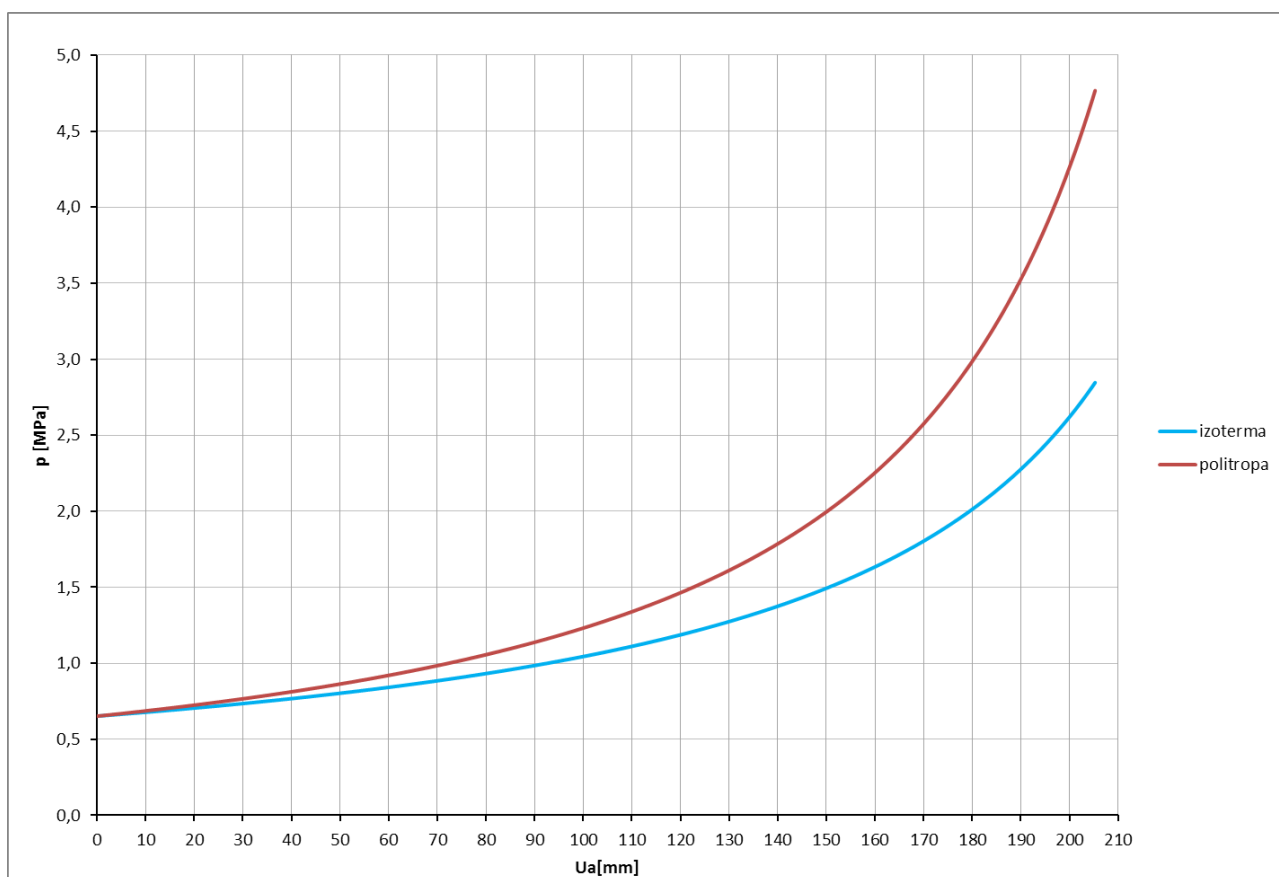
gdzie:  $t_{\text{t}}$  – grubość ścianki tłoczyska  
 $d_{\text{t}}$  – średnica tłoczyska

Naprężenia wzdłużne

$$\sigma_w = \frac{\sigma_o}{2} = 37[\text{MPa}]$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{0,5[(\sigma_o - \sigma_w)^2 + (\sigma_w - 2,25p_{c\ max})^2 + (\sigma_o - 2,25p_{c\ max})^2]} = 77[\text{MPa}]$$

Warunek wytrzymałościowy  $\sigma_{dop} < R_m/1.5$  został spełniony.



Rysunek 26. Charakterystyka statyczna oraz dynamiczna amortyzatora podwozia przedniego samolotu AT5

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



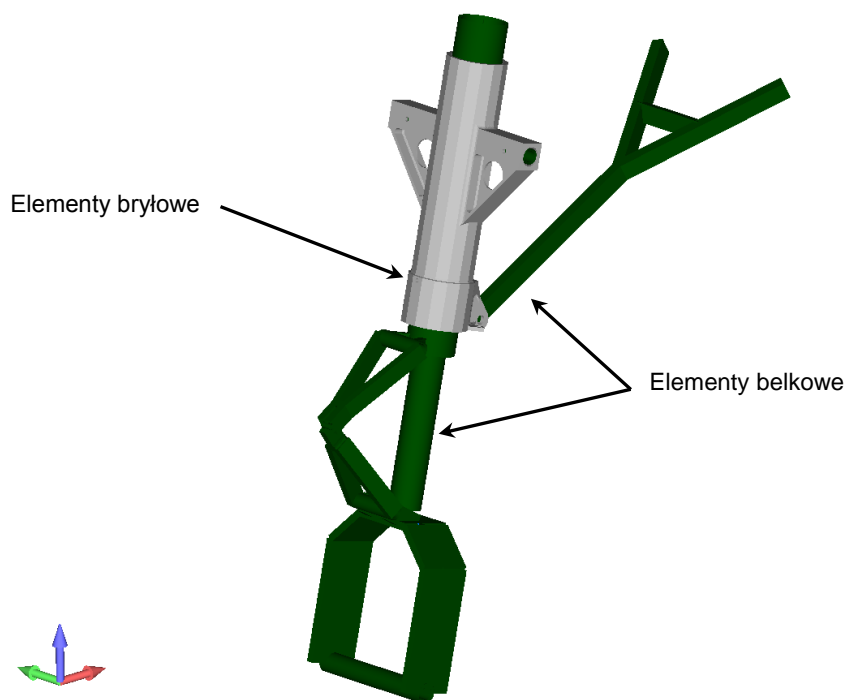


## 6. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE TULEI ZEWNĘTRZNEJ AMORTYZATORA

Obliczenia tulei zewnętrznej amortyzatora przeprowadzono dla dwóch ugięć amortyzatora:

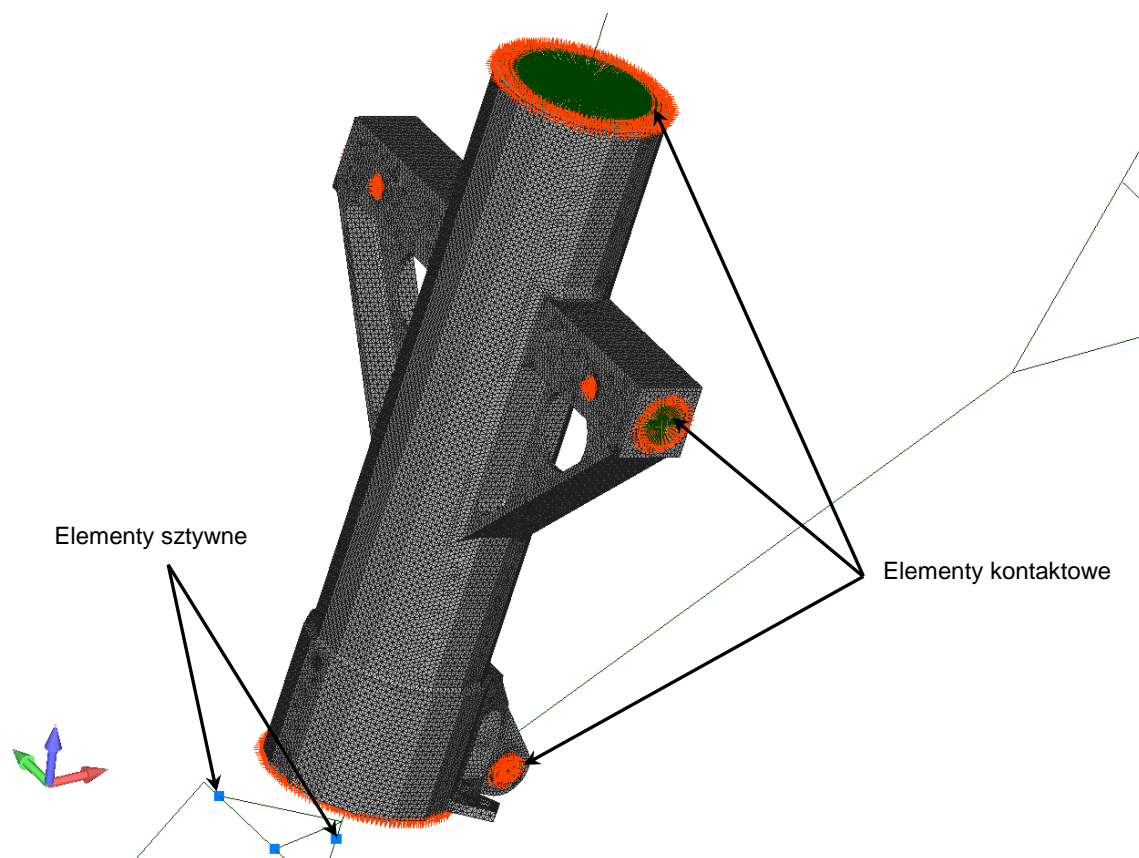
- 1)  $u_a = u_{st}$
- 2)  $u_a = 0.25u_{max}$

Sposób przyłożenia oraz wartości obciążeń określono na podstawie przepisów lotniczych CS-VLA.471-505, CS-23.509 oraz CS-VLA Book1 Appendix C Basic Landing Conditions. Obciążenia zgrupowano w tabeli 1. Materiał tulei obrotowej stanowił stop aluminium 2024 o wytrzymałości doraźnej:  $R_{m \min} = 380$  [MPa]. Na rys. 27÷28 przedstawiono model numeryczny zastosowany do obliczeń.



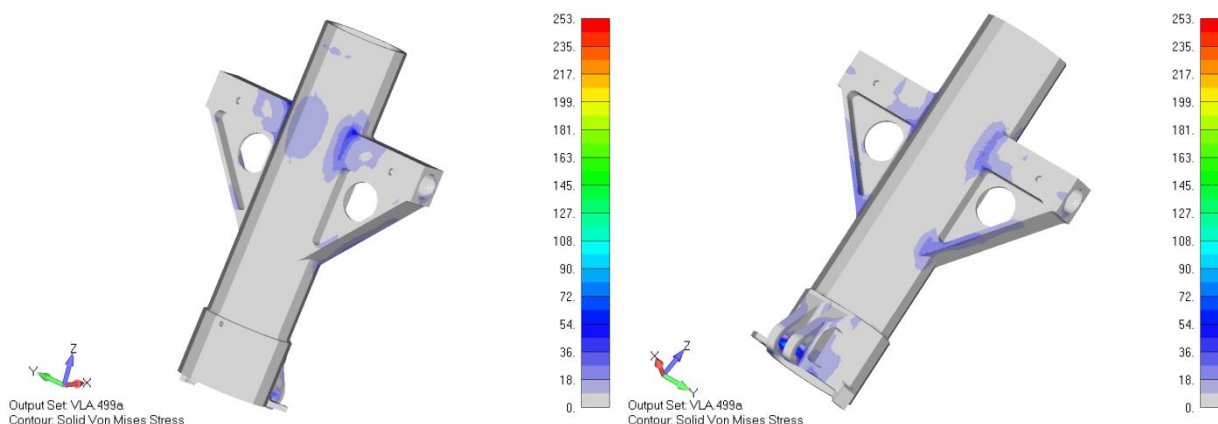
Rysunek 27. Model MES tulei obrotowej amortyzatora podwozia przedniego

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



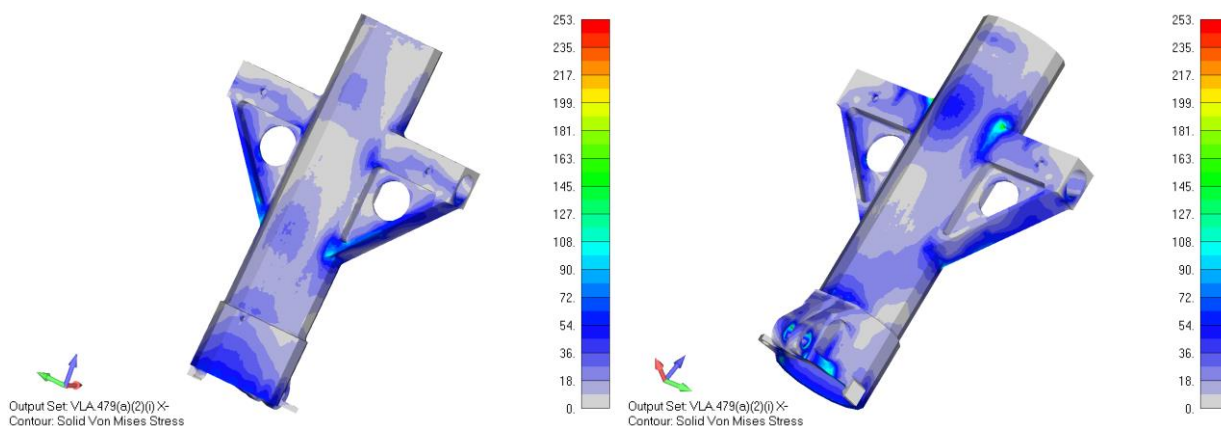
Rysunek 28. Model MES tulei obrotowej amortyzatora podwozia przedniego

Na rys 29÷35 przedstawiono mapy naprężeń zredukowanych dla wymiarujących przypadków obciążeń.

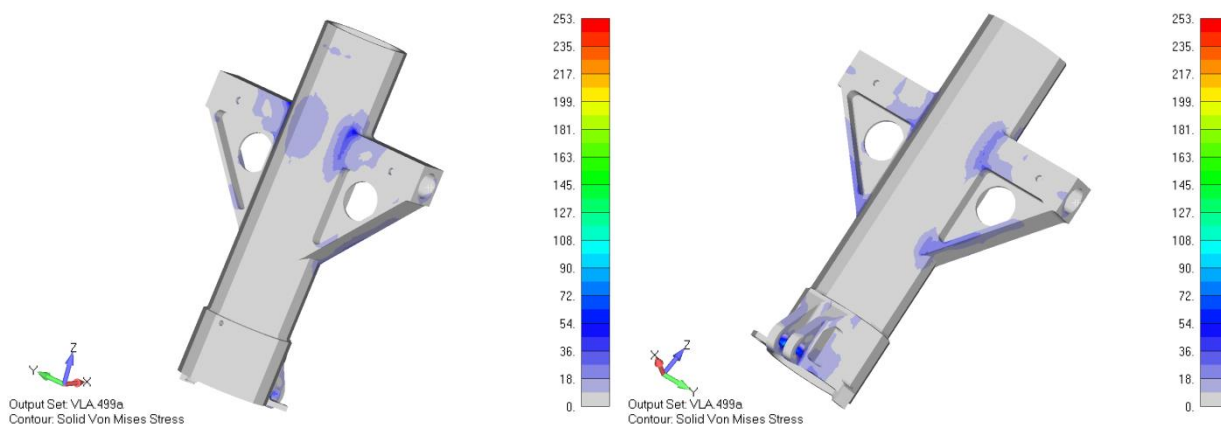


Rysunek 29. Naprężenia zredukowane w tulei obrotowej podwozia przedniego (obciążenie nr 1, Fx+,  $R_m=380$  MPa)

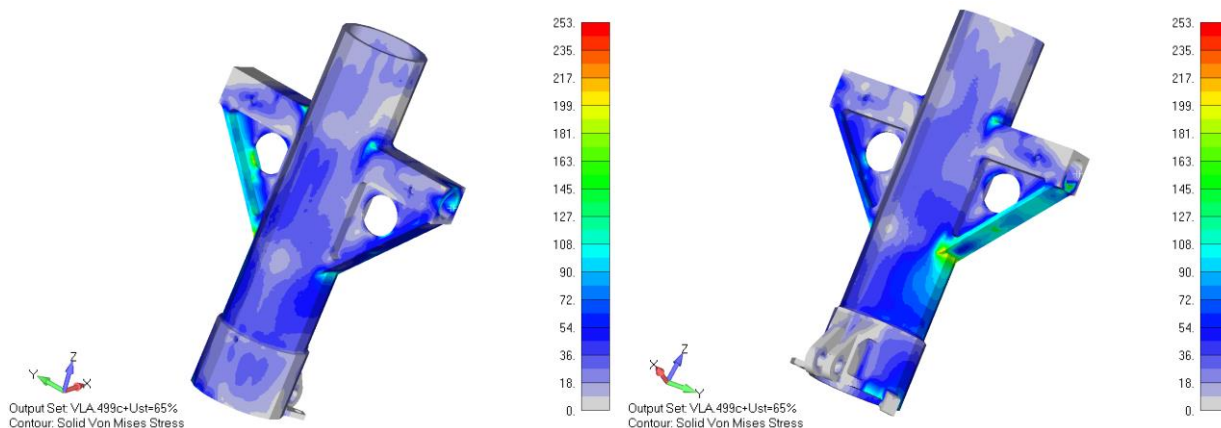
Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 30. Naprężenia zredukowane w tulei obrotowej podwozia przedniego (obciążenie nr 1,  $F_x$ -,  $R_m=380$  MPa)

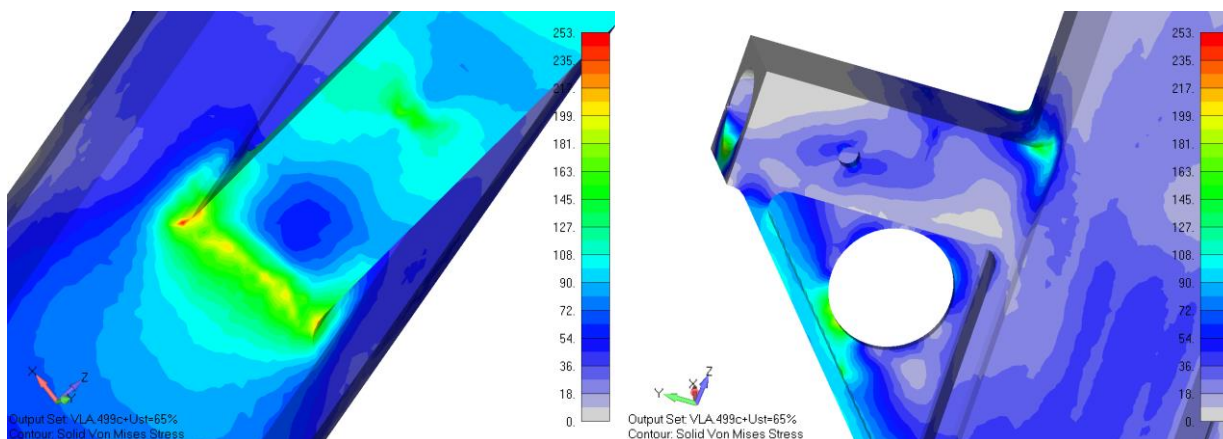


Rysunek 31. Naprężenia zredukowane w tulei obrotowej podwozia przedniego (obciążenie nr 2,  $R_m=380$  MPa)

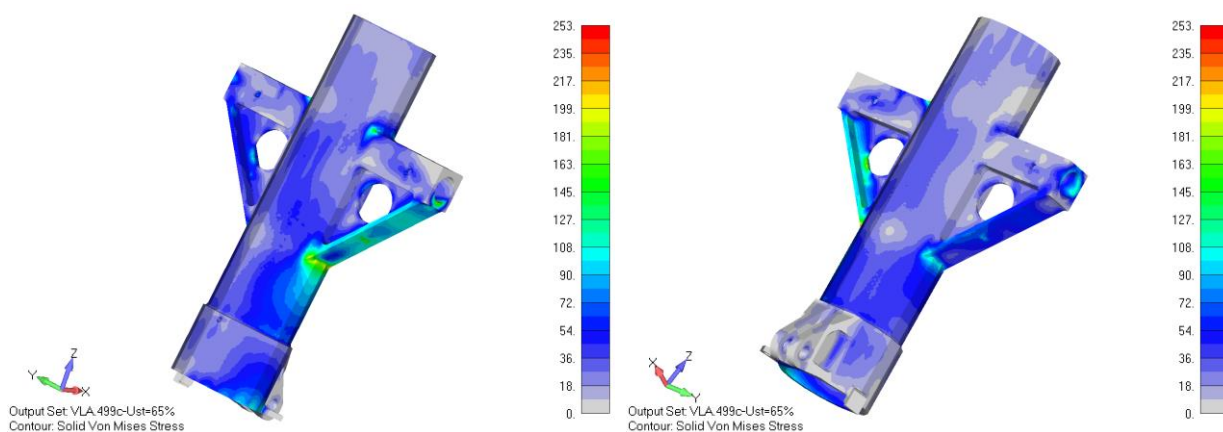


Rysunek 32. Naprężenia zredukowane w tulei obrotowej podwozia przedniego (obciążenie nr 4,  $F_y$ +,  $R_m=380$  MPa)

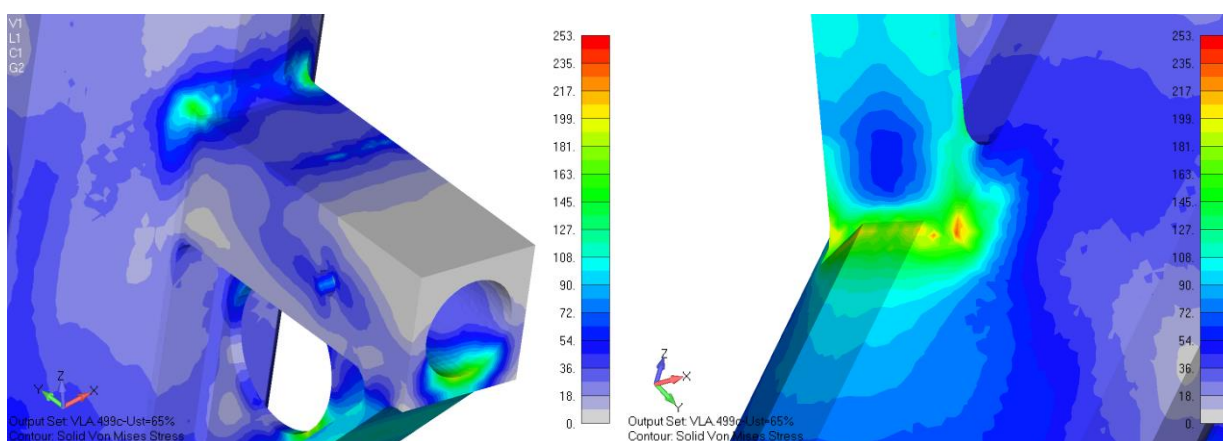
Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 33. Naprężenia zredukowane w tulei obrotowej podwozia przedniego (obciążenie nr 4,  $F_{y+}$ ,  $R_m=380$  MPa)



Rysunek 34. Naprężenia zredukowane w tulei obrotowej podwozia przedniego (obciążenie nr 4,  $F_{y-}$ ,  $R_m=380$  MPa)



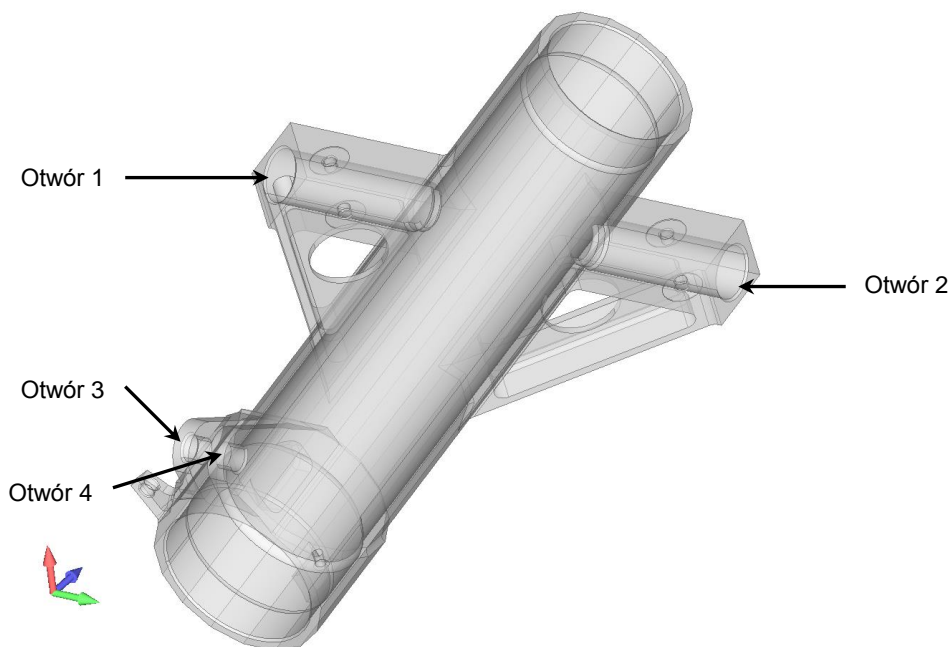
Rysunek 35. Naprężenia zredukowane w tulei obrotowej podwozia przedniego (obciążenie nr 4,  $F_{y-}$ ,  $R_m=380$  MPa)

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Dla przeanalizowanych przypadków obciążeń maksymalne naprężenia zredukowane w tulei obrotowej amortyzatora wyniosły  $\sigma_{red\ max}= 246$  [MPa] (obciążenie nr4 Fy+, rys. 32÷33). Koncentracje naprężeń występują lokalnie i mogą mieć również związek z dyskretnym odwzorowaniem powierzchni zakrzywionej, ich wartość w rzeczywistości może być nieznacznie niższa. Przyjmując jednak wartość  $\sigma_{red\ max}= 246$  [MPa] warunek wytrzymałościowy  $\sigma_{dop} \leq R_m / 1.5$  jest spełniony.

a) Obliczenia nacisków w otworach tulei obrotowej amortyzatora



Rysunek 36. Numeracja otworów w obszarach, których sprawdzono naciski powierzchniowe

Tabela 4. Zestawienie nacisków powierzchniowych w wybranych obszarach tulei obrotowej

Otwór	Naciski [MPa]				
Lp	CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx+	CS-VLA.479(a)(2)(i)Fx-	CS-VLA.499a	CS-VLA.499cFy+	CS-VLA.499cFy-
1	13	28	5	60	33
2	13	28	5	33	60
3	29	176	113	44	50
4	29	176	113	43	47

Wymagany warunek wytrzymałościowy przy naciskach powierzchniowych oraz połączeniach i nie ruchowych  $p_{dop} \leq R_m = 380$  MPa został spełniony.

Opracował	Data	Sprawił	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



- b) Sprawdzenie wytrzymałości na ścinanie sworzni osadzonych w otworach 1,2 (rys. 36)

Kryterium wytrzymałości na ścinanie dla materiału 30HGSA  $R_m=1100$  MPa:

$$k_t = 0.55 \cdot k_r = 0.55 \cdot \frac{R_m}{1.5} = 403 [MPa]$$

$$F_{w \max} = 13637 [N] \text{ dla CS-VLA.499cFy+}$$

$$A_{sw} = 160 [mm^2]$$

$$\tau = \frac{F_{w \max}}{A} = 85 [MPa]$$

Warunek wytrzymałości na ścinanie został spełniony.

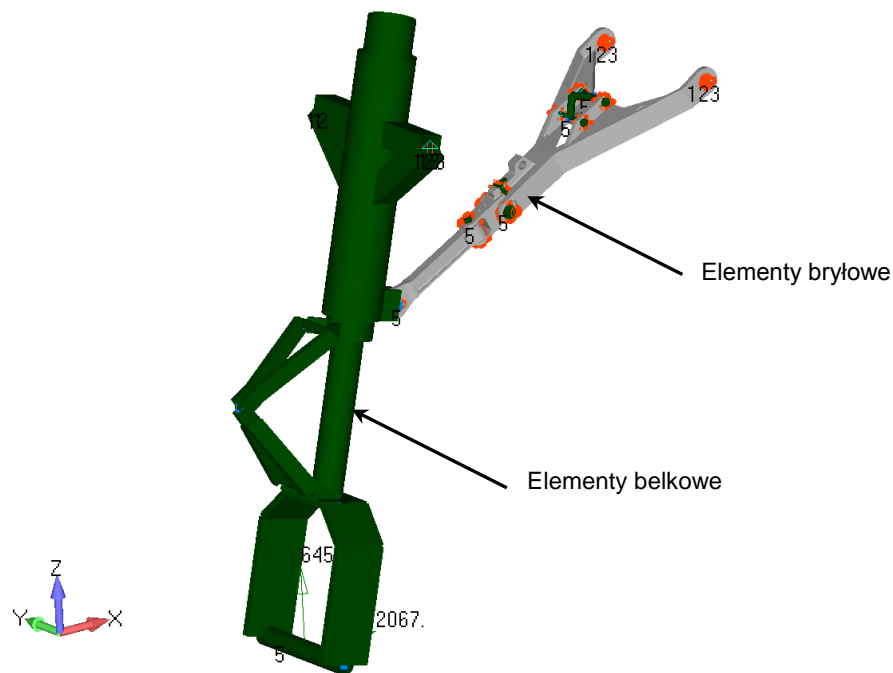
## 7. OBLICZENIA PODWOZIA W OBSZARZE ZASTRZAŁU

Obliczenia zastrzały przeprowadzono dla dwóch przypadków ugięcia amortyzatora:

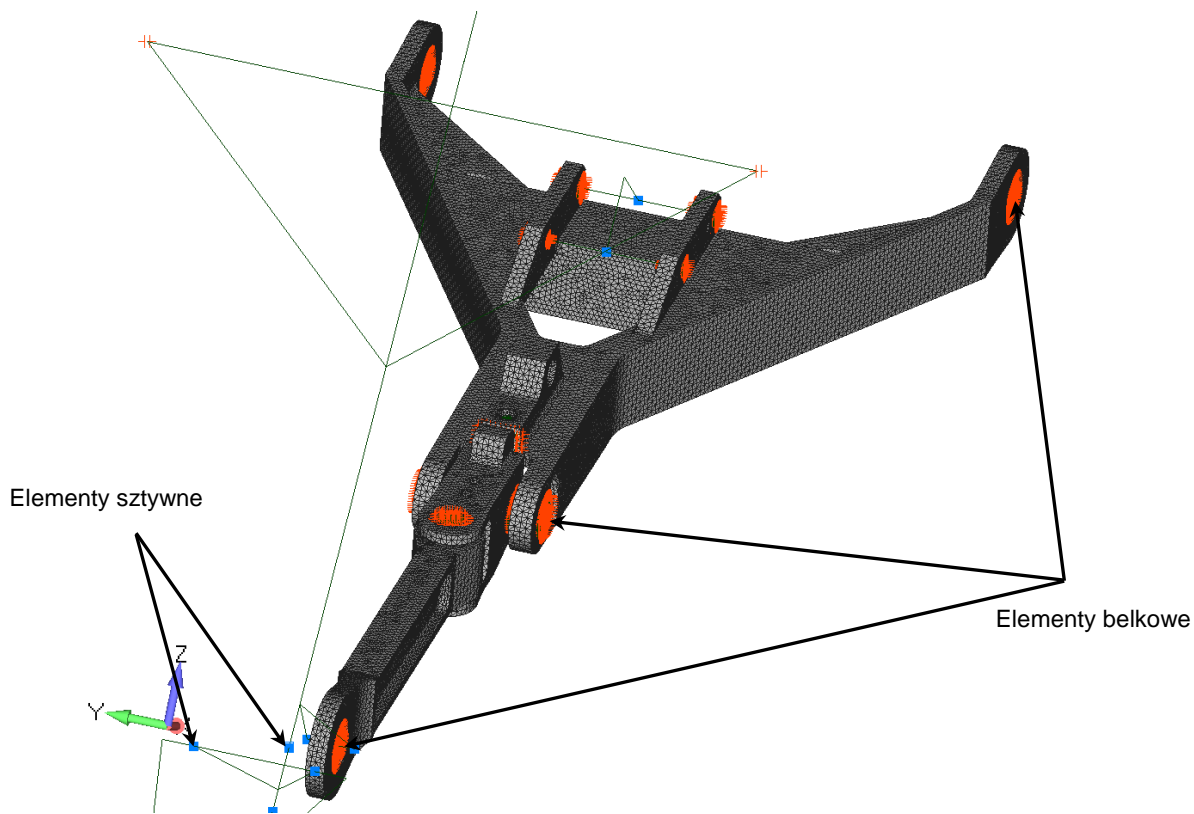
- 1)  $u_a = u_{st}$
- 2)  $u_a = 0.25u_{\max}$

Sposób przyłożenia oraz wartości obciążeń określono na podstawie przepisów lotniczych CS-VLA.471-505, CS-23.509 oraz CS-VLA Book1 Appendix C Basic Landing Conditions. Obciążenia zgrupowano w tabeli 1. Materiał tulei obrotowej stanowił stop aluminium 2024 o wytrzymałości doraźnej:  $R_{m \min} = 420 [MPa]$ . Na rys. 37÷38 przedstawiono model numeryczny zastosowany do obliczeń.

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Rysunek 37. Model MES zastrzału z warunkami brzegowymi

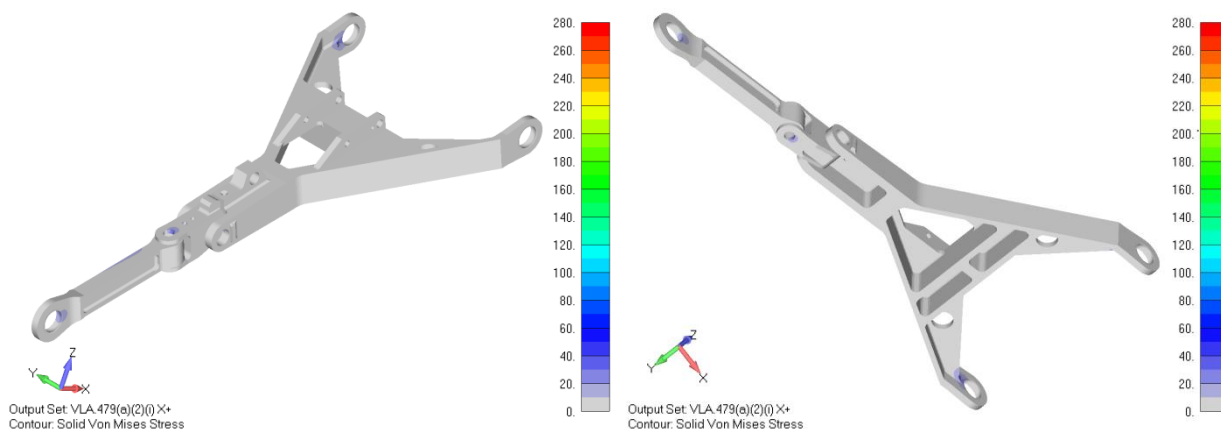


Rysunek 38. Model MES zastrzału z warunkami brzegowymi

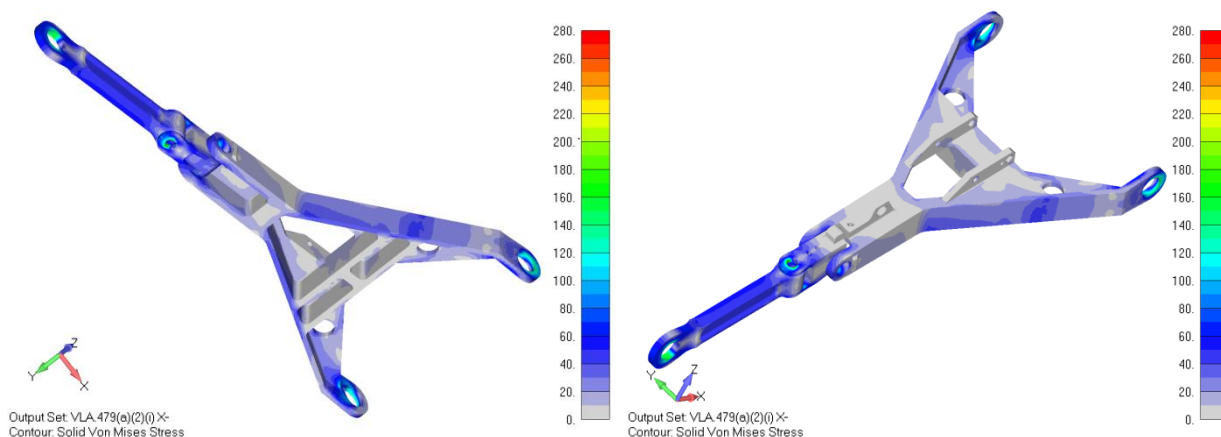
Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



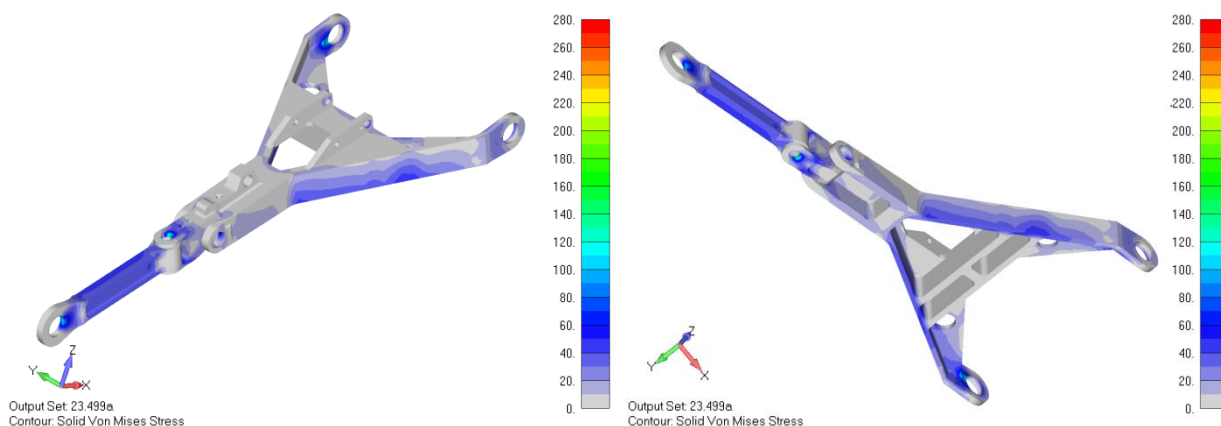
Na rys. 39÷43 przedstawiono mapy naprężeń zredukowanych dla wymiarujących przypadków obciążeń.



Rysunek 39. Naprężenia zredukowane w zastrzale podwozia przedniego (obciążenie nr 1,  $F_{x+}$ ,  $R_m=420$  MPa)



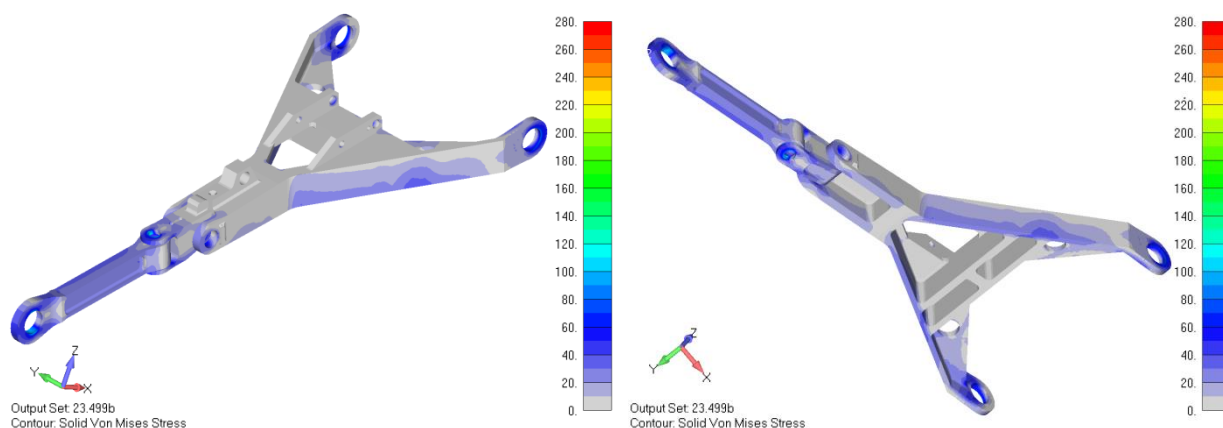
Rysunek 40. Naprężenia zredukowane w zastrzale podwozia przedniego (obciążenie nr 1,  $F_{y+}$ ,  $R_m=420$  MPa)



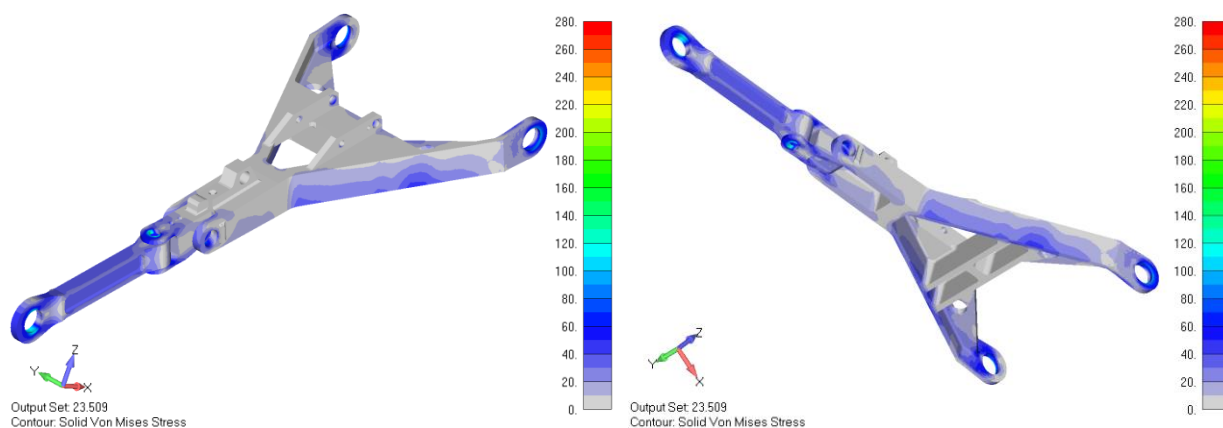
Rysunek 41. Naprężenia zredukowane w zastrzale podwozia przedniego (obciążenie nr 2,  $R_m=420$  MPa)

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	





Rysunek 42. Naprężenia zredukowane w zastrzale podwozia przedniego (obciążenie nr 3,  $R_m=420$  MPa)



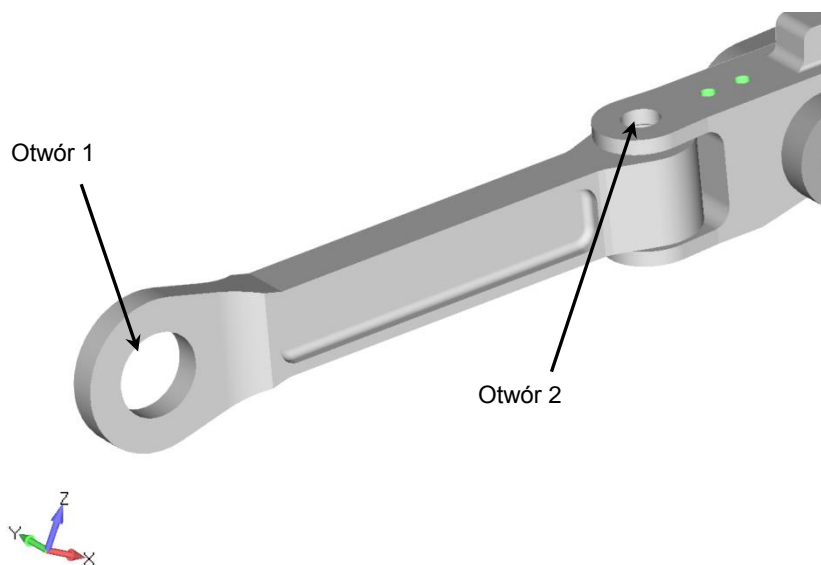
Rysunek 43. Naprężenia zredukowane w zastrzale podwozia przedniego (obciążenie nr 5,  $R_m=420$  MPa)

Maksymalne naprężenia zredukowane wystąpiły dla przypadku obciążenia nr 1 (CS-VLA.479 Fx-) i wyniosły 211 MPa. Warunek wytrzymałościowy  $\sigma_{dop} \leq R_m/1.5$  został spełniony. Przeprowadzono również analizę wybočenja dla przypadku obciążenia nr 1. Współczynnik wybočenja  $n_w$  (wielokrotność obciążenia) wynosi 8. Wysoka wartość współczynnika związana jest z niewielką smukłością zastrzału.

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	



Naciski sprawdzono dla dwóch przekrojów pokazanych na rys. 44.



Rysunek 44. Numeracja otworów w obszarach, których sprawdzono naciski powierzchniowe

$$F_{\max} = 9338 \text{ [N]} \text{ (CS-VLA.479 Fx-)}$$

$$p_1 = \frac{F_{\max}}{A_1} = \frac{9338}{7 \cdot 22} = 61 \text{ [MPa]}$$

$$p_2 = \frac{F_{\max}}{A_2} = \frac{9338}{2 \cdot 4 \cdot 10} = 117 \text{ [MPa]}$$

Warunek wytrzymałościowy na naciski  $p_{\text{dop}} \leq R_m$  został spełniony.

## 8. SPIS LITERATURY

1. Certifications Specifications for Very Light Aeroplanes CS-VLA
2. Справочная книга по расчету самолета на прочность – Moskwa 1954
3. Wytrzymałość materiałów – Zbigniew Brzoska – Wyd. PWN Warszawa 1974
4. Wzory, wykresy i tablice wytrzymałościowe – M.E. Niezgodziński, T. Niezgodziński – WNT Warszawa 2004
5. Femap 10.1 – Help

K O N I E C

Opracował	Data	Sprawdził	Data	Instytut Lotnictwa Zakład Badań Sprzętu i Wyposażenia Lotniczego
	2014.11		2014.11	