# PROJEKTOWANIE SPRĘŻYNY ŚRUBOWEJ NACISKOWEJ W INVENTORZE. WERYFIKACJA MODUŁU OBLICZENIOWEGO GENERATORA

W artykule omówiono konstrukcję śrubowej sprężyny naciskowej z użyciem generatora dostępnego w Inventorze. Wartości obciążeń niezbędne do wprowadzenia do modułu obliczeniowego generatora uzyskano metodami analitycznymi. Omówiono i przeanalizowano pracę generatora. Dokonano weryfikacji wyników obliczeń wytrzymałościowych otrzymanych podczas pracy modułu obliczeniowego generatora, z uzyskanymi w drodze obliczeń konwencjonalnych.

### **WSTĘP**

Walcowe sprężyny naciskowe, zwykle zwijane z drutu o przekroju kołowym należą do najczęściej spotykanych w różnego rodzaju mechanizmach, urządzeniach i podzespołach. W dobie konstrukcji z wykorzystaniem powszechnie dostępnego oprogramowania komputerowego projektowanie sprężyn oraz wykonanie trójwymiarowego modelu ogranicza się zwykle do kilku kliknięć. Jest to możliwe dzięki temu, że wszystkie dostępne aplikacje 3D wspomagające proces projektowania dysponują funkcją tworzenia zwoju. Niestety nie wszystkie dysponują odpowiednim modułem obliczeniowym pozwalającym na weryfikację przyjętych założeń oraz ocenę konstrukcji w aspekcie wytrzymałościowym. W taki moduł obliczeniowy współdziałający z generatorem zwojów wyposażona została aplikacja Inventor Professional. W celu oceny zarówno funkcjonalności działania, jak i wiarygodności otrzymanych wyników, moduł obliczeniowy generatora sprężyn dostępny w Inventorze został przetestowany w oparciu o wstępnie założone parametry geometryczne sprężyny i wykonane metodą analityczną niezbędne obliczenia.

# 1. ZAŁOŻENIA

Do rozważań przyjęto sprężynę o następujących parametrach [5,6,7]:

- średnica wewnętrzna  $D_i$  = 25,5 [mm],
- średnica drutu d = 3,6 [mm],
- całkowita liczba zwojów  $n_t$  = 6,
- liczba zwojów czynnych n = 4,5,
- długość swobodna sprężyny L<sub>0</sub> = 50 [mm],
- długość zmontowania  $L_1$  = 45 [mm],
- zakończenie sprężyny typu D [5],
- sprężyna zwijana na zimno,
- moduł sprężystości poprzecznej G = 78,5x10<sup>3</sup> [MPa] [1,2,3],
- granica wytrzymałości na rozciąganie *Rm<sub>min</sub>* =1450 [MPa] [1,2,3].

#### 2. OBLICZENIA ANALITYCZNE [4]

#### 2.1. Średnia średnica sprężyny

$$D = D_i + d$$
  
D = 25,5 + 3,6 = 29,1 [mm] (1)

#### 2.2. Wskaźnik sprężyny

Zalecana wartość z uwagi na wyboczenie to 4-10.

$$w = \frac{D}{d} = \frac{29,1}{3,6} = 8,083$$
 (2)

#### 2.3. Współczynnik spiętrzenia naprężeń

$$k = 1 + 1,25 \left(\frac{1}{w}\right) + 0,875 \left(\frac{1}{w}\right)^2 + \left(\frac{1}{w}\right)^3$$
  

$$k = 1 + 1,25 \left(\frac{1}{8,083}\right) + 0,875 \left(\frac{1}{8,083}\right)^2 + \left(\frac{1}{8,083}\right)^3 = 1,1699$$
(3)

#### 2.4. Sztywność sprężyny

$$R = \frac{G * d}{8 * w^{3} * n}$$

$$R = \frac{78,5 * 10^{3} * 3,6}{8 * 8,083^{3} * 4,5} = 14,86 \text{ [N/mm]}$$
(4)

#### 2.5. Długość sprężyny zblokowanej

Długości sprężyny zblokowanej nominalnej oraz zblokowanej wynoszą odpowiednio:

$$L_{blnom} = (n_t - 0.5) * d$$

$$L_{blnom} = (6 - 0.5) * 3.6 = 19.8 \text{ [mm]}$$

$$L_{bl} = (L_{blnom} + 0.5) * d$$

$$L_{bl} = (19.8 + 0.5) * 3.6 = 21.6 \text{ [mm]}$$
(5)

#### 2.6. Obciążenie zblokowania

$$F_{bl} = R * (L_0 - L_{bl})$$
  

$$F_{bl} = 14,86 * (50 - 21.6) \cong 422 \text{ [N]}$$
(6)

#### 2.7. Naprężenia dopuszczalne zblokowania

$$\tau_{dopbl} = 0,56R_{mmin}$$
  
$$\tau_{dopbl} = 0,56 * 1450 = 812 \text{ [MPa]}$$
(7)

#### 2.8. Naprężenia blokowania

$$\tau_{bl} = \frac{8 * W * k}{\pi * d^2} * F_{bl}$$

$$\tau_{bl} = \frac{8 * 8,083 * 1,1699}{\pi * 3,6^2} * 422 \cong 784 \text{ [MPa]}$$
(8)

# 6/2017 AUTOBUSY 925

 $\tau_{bl} \leq \tau_{dopbl}$ 

### 2.9. Minimalna suma prześwitów międzyzwojowych

$$S_{amin} = L_{obc} - L_{bl} = x * d * n \tag{9}$$

gdzie współczynnik *x* dla sprężyny zwijanej na zimno oraz średnicy drutu d≥0,8 [mm] wynosi:

$$x \cong 0.033(w-1)$$
 (10)  
a długość sprężyny obciążonej oznaczono jako: *L*<sub>obc</sub>.

Po uwzględnieniu (10) w (9):

$$S_{amin} = 0,033(w-1) * d * n$$
  

$$S_{amin} = 0,033(8,083-1) * 3,6 * 4,5 = (11)$$
  
3,78 [mm]

## 2.10. Długość sprężyny obciążonej

Długość sprężyny obciążonej Lobc zgodnie z (9):

$$L_{obc} = S_{amin} + L_{bl}$$

$$L_{obc} = 3,78 + 21,6 = 25,38[\text{mm}]$$
(12)

2.11. Siła obciążenia

$$F_{obc} = R * (L_0 - L_{obc})$$
  

$$F_{obc} = 14,86 * (50 - 25,38) = 332,6 [N]$$
(13)

# 2.12. Naprężenia dopuszczalne

$$\tau_{dop} = \frac{R_{mmin}}{2}$$

$$\tau_{dop} = \frac{1450}{2} = 725 \text{ [MPa]}$$
(14)

2.13. Naprężenia obciążenia (maksymalne w sprężynie)

$$\tau_{obc} = \frac{8 * w * k}{\pi * d^2} * F_{obc}$$
  
$$\tau_{obc} = \frac{8 * 8,083 * 1,1699}{\pi * 3,6^2} * 332,6 = 618 \text{ [MPa]}$$
(15)  
$$\tau_{obc} \le \tau_{dop}$$

### 2.14. Siła zmontowania

$$F_1 = R * (L_0 - L_1)$$
  

$$F_1 = 14,86 * (50 - 45) = 74,3 \text{ [N]}$$
(16)

Po dokonaniu obliczeń analitycznych możliwe jest przejście do fazy projektowania sprężyny z użyciem aplikacji Inventor.

# 3. PROJEKT SPRĘŻYNY

Sprężyna, z uwagi na założoną weryfikację obliczeń, zostanie zaprojektowana z wykorzystaniem generatora sprężyn. Oczywiście możliwe jest wykonanie modelu sprężyny w postaci "części", za pomocą polecenia "zwój". Niestety w tym przypadku nie będzie możliwości przejścia do modułu obliczeniowego. Dlatego też należy wybrać "zespół" (rysunek 1).



## Rys. 1. Okno "zespołu"

Po monicie o konieczności zapisania otwartego "zespołu" pod dogodną dla projektującego nazwą otwarte zostanie okno kreatora sprężyn naciskowych (rysunek 2). W oknie kreatora widoczne są parametry sprężyny wstępnie zdefiniowanych przez program. Chwilowo ignorujemy ten fakt. W obszarze rysunkowym zarys sprężyny nie jest widoczny.

Projekt 59 Obliczenia						1
<b>T</b> <u>0</u> -0-0-0-0-0	A-4-		Początek sprężyny			
	MIT_		Zwoje przy końcu	n <sub>z1</sub>	1,500 ul	>
			Zwoje krzywej przejścia	n <sub>t1</sub>	1,000 ul	>
			Zwoje przy podłożu	z <sub>o1</sub>	0,750 ul	>
Umieszczenie			Koniec sprężyny			
Oś.			Zwoje przy końcu	n <sub>z2</sub>	1,000 ul	>
Placezczyzna początkowa			Zwoje krzywej przejścia	n <sub>t2</sub>	0,750 ul	>
			Zwoje przy podłożu	z <sub>o2</sub>	0,500 ul	>
Zainstalowana diugosc			Długość sprężyny			
→ MANA ← Minimalne obciażenie		~	Dane wejściowe długości		L <sub>0</sub> , n> t	Y
000000			Dług. swob. sprężyny	Lo	83,571 mm	>
Długość przy minimalnym obciążeniu	80,000 mm	>	Podział	t	9,902 mm	>
Kierunek zwoju	prawo	~	Zwoje aktywne	n	5,000 ul	>
Drut sprężyny			Średnica sprężyny			
Średnica drutu d	7,100 mm	>	Średnica		Zewnętrzne	¥
				D <sub>1</sub>	40,003 mm	>

Rys. 2. Okno kreatora sprężyny naciskowej

W oknie kreatora wybieramy przycisk "oś" (czerwona ramka) oraz po rozwinięciu zakładki "Początek" w drzewku modelu wskazujemy np. oś y (czerwona ramka]

Z kolei wciskamy przycisk "płaszczyzna początkowa" (zielona ramka) i wybieramy płaszczyznę np. xz (zielona ramka).

Potwierdzeniem poprawności działania jest pojawienie się zarysu sprężyny w obszarze rysunku (rysunek 3).



Rys. 3. Definiowanie położenia projektowanej sprężyny

Przystępujemy do możliwych do wykonania zmian parametrów sprężyny. Zgodnie z założeniami projektowana sprężyna winna mieć

zakończenia typu D. Dlatego też w oknie kreatora zmieniamy parametry początku i końca sprężyny zgodnie z rysunkiem 4 (zielona ramka)

54						
Projekt 🧏 Obliczenia						
			Początek sprężyny Zwoje przy końcu	n <sub>z1</sub>	1,000 ul	>
	∕∜₿	1	Zwoje krzywej przejścia	n <sub>t1</sub>	0,500 ul	>
		1	Zwoje przy podłożu	Z <sub>01</sub>	0,750 ul	>
Umieszczenie		- 7	Koniec sprężyny			
k Oś		3	Zwoje przy końcu	n <sub>z2</sub>	1,000 ul	>
			Zwoje krzywej przejścia	n <sub>t2</sub>	0,500 ul	>
	va		Zwoje przy podłożu	z <sub>o2</sub>	0,750 ul	>
Zainstalowana długość	va		Zwoje przy podłożu Dkraść aprotupy	z <sub>o2</sub>	0,750 ul	>
Zainstalowana długość	nie	v	Zwoje przy podłożu Dkr <u>gość oprożyny</u> Dane wejściowe długości	z <sub>02</sub>	0,750 ul L <sub>0</sub> , n> t	> Y
Zainstalowana długość	nie	v	Zwoje przy podłożu Dkogóć sprotucy Dane wejściowe długości Dług. swob. sprężyny	z <sub>o2</sub> L <sub>0</sub>	0,750 ul L <sub>0</sub> , n> t 83,571 mm	> ~
Zainstalowana długość	nie 80,000 mm	*	Zwoje przy podłożu Dkrostć oprotuwy Dane wejściowe długości Dług, swob, sprężyny Podział	z <sub>o2</sub> L <sub>0</sub> t	0,750 ul L <sub>0</sub> , n> t 83,571 mm 9,902 mm	> ~ >
Zainstalowana długość	nie 80,000 mm prawo	<b>*</b> > <b>*</b>	Zwoje przy podłożu Dkygość aprotymy Dane wejściowe dkygości Dkyg, swob. sprężyny Podział Zwoje aktywne	z <sub>o2</sub> L <sub>0</sub> t	0,750 ul L <sub>0</sub> , n> t 83,571 mm 9,902 mm 5,000 ul	> > > >
Pesczyżni począdow     Pesczyżni począdow     Zainstalowana długość     Pódzeci – Minimalne obciąże     Długość przy minimalnym obciążeniu     Kerunek zwoju     Drut sprężyny	nie 80,000 mm prawo	* > *	Zwoje przy podłożu Długość przyżyny Dane wejściowe długości Dług, swob. sprężyny Podział Zwoje aktywne Średnica sprężyny	z <sub>o2</sub> L <sub>0</sub> t	0,750 ul L <sub>0</sub> , n> t 83,571 mm 9,902 mm 5,000 ul	> > > >
Pesczyzna począdowa     Zainstalowana długość     Płaszczyzna począdowa     Płaszczych począdowa     Płaszczycza począdowa     Płaszczych począdowa     Płaszczycza począdowa     Płaszcządowa     Płaszcządowa     Płaszczycza począdowa     Płaszcządowa     Płaszcządowa	va nie 80,000 mm prawo d 7,100 mm	× > ×	Zwoje przy podłożu Dkgość znochow Dane wejściowe długości Dług, swob. sprężyny Podział Zwoje aktywne Średnica sprężyny Średnica	z <sub>o2</sub> L <sub>0</sub> t	0,750 ul L <sub>0</sub> , n> t 83,571 mm 9,902 mm 5,000 ul Zewnętrzne	> > > >
Zainstalowana długość - Winimalne obciąże Długość przy minimalnym obciążeniu Kierunek zwoju Drut spreżyny Średnica drutu	va nie 80,000 mm prawo d 7,100 mm	<ul><li>✓</li><li>✓</li><li>✓</li></ul>	Zwoje przy podłożu Dugość orosobow Dane wejściowe długości Dug. swob. sprężyny Podział Zwoje aktywne Średnica sprężyny Średnica	Z <sub>o2</sub> L <sub>0</sub> t n D <sub>1</sub>	0,750 ul L <sub>0</sub> , n> t 83,571 mm 9,902 mm 5,000 ul Zewnętrzne 40,003 mm	> > > > >

Rys. 4. Parametry początku i końca sprężyny

Zanim przystąpimy do dalszych modyfikacji parametrów warto zapisać wprowadzone zmiany przyciskiem "ok". Do okna kreatora wracamy klikając prawym klawiszem myszy na wiersz "sprężyna naciskowa 1" w drzewku modelu i wybierając lewym klawiszem "Edycja przy użyciu Design Accelerator". Zmieniamy parametry średnicy sprężyny wybierając z rozwijalnej listy "Mediana" oraz wpisując wartość średnicy średniej – 29,1 [mm] (rysunek 5, zielona ramka) i przechodzimy do zakładki "Obliczenia" (ramka czerwona)



Rys. 5. Ustalenie średniej średnicy projektowanej sprężyny

Zgodnie z rysunkiem 6 wprowadzamy średnicę drutu d = 3,6 [mm], długość swobodną  $L_0$  = 50 [mm] oraz liczbę zwojów czynnych n = 4,5. (zielona ramka). Nie zmieniamy wcześniej zdefiniowanej średnicy średniej. Wprowadzenie powyższych wartości parametrów klikając "ok". Po tej operacji przycisk "ok" pozostaje nieaktywny – szary. Wartości niektórych parametrów i wyników obliczeń wyświetlane są na czerwono zgłaszając błędy – ignorujemy to.

Z rozwijalnej listy oznaczonej czerwoną ramką zamiast "Kontrola obliczenia sprężyny" wybieramy "Projekt sprężyny dociskowej", następnie wracamy do zakładki "Projekt".

Obliczenie wybrzymałościowe spreż	VIIV	_	Material sprężyny				Wyniki	
Kontrola obliczenia sprężyny		¥	Material uzytkownka				a	5,320 m
and a shift of the second s			Granica napr. rozciągającego	a <sub>ult</sub>	1860,000 MPa	>	t	8,920 m
Upcje obiczen			Dopuszczalne graniczne naprężenie skręcające	τ <sub>A</sub>	930,000 MPa	>	K <sub>W</sub>	1,000
F Manufacture and a second state of a second sta			Moduł elastyczności w ścięciu	G	68500,000 MPa	>	K	11,672 N/m
r, wymary moniazowe> 0, cg	N <sub>2</sub> O		Gestość	0	7850 kg/m^3	>	51	92,836 m
Metoda korekcji krzywizny naprężer	ria		Wsoółczynok wykorzystapia materiału	18	0.900 ul	>	38	26 600 m
Brak korekcji		¥					Land	28.110 m
rolekt wymiarów montatowych			L_Konerola wydoczenia Tvo spisturu				La	23,400 =
Protekt wszystkich wymiarów mont	tation with Ly, Le, H	~	Provadzone osadzanie - równobieżnie obrobione obsorzz	1000	demaiace	0	19	310,487
a de la compañía de l				Among Books	in group too		71	794,137 M
Obcążenie	5 T00 000 N	122	Obciążenie zmęczeniowe				18	1905,930 MF
minimaine oociązenie	P1 300,000 N	,	Sprężyny niekulkowane			Ч.	19	-493, 138 54
Maksymaine obciążenie	F8 1200,000 N	>	Trwałość spreżyny w tysiącach ugięć		N >10000		w.	-43,081 m
Obciążenie robocze	F 500,000 N	>	the description of the second states	1	1 200 vi	1.00	1	282,6591
Wymiary	_		wsporzymak bezpieczenstwa	- Nr	1,100 0	195	Wa	51,054
Średnica drutu	d 3,6 mm	>	Wymiary montazowe sprężyny					0.0521
Średnia średnica	D 29,1 mm	>	H, L1 -> L8			~	and a	4700L
Długość swobodna sprężyny	Lo 50 mm	>	Długość przy minimalnym obciążeniu	L2	7,164 mm	3		
Zwoje sprężyny			Długość przy maksymalnym obciążeniu	La	-52,806 mm	3		
Zackraglenia liczby zwojów	1	~	Skok roboczy	н	59,970 mm	3		
Zwote aktywne	n 4.5ul	>	Długość przy obciążeniu roboczym	Lw	7,164 mm	3		
	1000		- 11 - 11 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12					

**Rys. 6.** Wprowadzanie wartości średnicy drutu, długości swobodnej oraz liczby zwojów czynnych

W otwartej zakładce "Projekt" (rysunek 7) wprowadzamy "Długość przy minimalnym obciążeniu (zielona ramka). Wartość tego parametru odpowiada założonej długości zmontowania L<sub>0</sub>= 45 [mm].

Projekt 윩 Obliczenia						3
	<b>∭</b> ŀ		Początek sprężyny Zwoje przy końcu Zwoje krzywej przejścia Zwoje przy podłożu	n <sub>z1</sub> n <sub>t1</sub> z <sub>o1</sub>	1 ul 0,5 ul 0,75 ul	>
Umieszczenie Có Plaszczyzna początkow Zainstałowana długość MOMOMOM	Na		Koniec sprężyny Zwoje przy końcu Zwoje krzywej przejśda Zwoje przy podłożu Długość sprężyny Dane wejściowe długości	n <sub>z2</sub> n <sub>t2</sub> z <sub>o2</sub>	1 ul 0,5 ul 0,75 ul	>
	ne de la companya de		Dług. swob. sprężyny	Lo	50 mm	>
Kierunek zwoju	prawo	> ~	Podział Zwoje aktywne	t n	8,920 mm 4,5 ul	>
Drut sprężyny			Średnica sprężyny			
Średnica drutu	d 3,6 mm	>	Średnica	D	Mediana	*

Rys. 7. Długość zmontowania

Wracamy do zakładki "Obliczenia" sprawdzając, czy w liście rozwijalnej ustawiona jest "Kontrola obliczenia sprężyny" (zielone ramki na rysunku 8).

Obliczenie wytrzymatoscowe spreż	yny	-	Material sprężyny				Wyniki	
Kontrola obliczenia sprężyny		×	Material uzytkownika				a	6,311 mm
			Granica napr. rozdagającego	a <sub>uk</sub>	1860,000 MPa	>	t	9,911 m
Opcje obliczeń			Dopuszczalne graniczne naprężenie skręcające	τ <sub>A</sub>	930,000 MPa	>	Kw	1,000 t
Ab he cleared			Moduł elastyczności w ściędu	G	68500,000 MPa	>	ĸ	12,969 N/m
r, wymary montazowe> d, t.p	n, D	~	Gestość	P	7850 kg/m^3	>	51	5,729 m
letoda korekcji krzywizny naprężer	nia		Wsoók zvrnik wykorzystania materiału	15	0.900 ul	>	*5	28.400 m
Brak korekcji		~	Controls unberneis				Louist	26,019 m
rojelit wyniarów nontażowych			Typ spretyny				Lg	21,600 mm
Projekt wszystkich wymiarów more	tazowych L <sub>1</sub> , L <sub>8</sub> , H	Ŷ	Prowadzone osadzanie - równobieżnie obrobione plaszo	CEVENY DEEY	(egające	Ý	F <sub>9</sub>	368,3301
Thriatenia	-	_					<sup>1</sup> 1	118,009 MP
Minimalne obciażenie	F. 74,3 N	>	C coostelle suid sellowe				78	528,260 MP
Maksymalne obciadenie	F. 332,6 N	>	spręzyny nekukowane			~	19	1,230 mm
Obciażenie robocze	P 200.000 N	>	Trwałość sprężyny w tysiącach ugięć		N >10000	Y	f	314.055 H
therian)	· Las Access		Współczynnik bezpieczeństwa	ky	1,200 ul	>	We	4,265
Średnica drutu	d 3.6 mm	>	Wymiary montażowe sprężyny				1	605,280 mm
Średnia średnica	0 29.1 mm	-	$H_rL_1 \rightarrow L_B$			v		0,048 k
Diversid exciteden enrations	1. 50 mm		Diugojć przy minimalnym obciażeniu	1.	44.271 mm			
chogosi swooouna spręzyny	-0 -3 mil		Disperie per malaumalnum obviatoria	-1	24.355 mm	÷		
Zaokraokrain jezhy zwoiów	1	~	Gold robortu	-0	10.016.mm	÷		
The state of the second se	484		Discould perce abristienis reducertum		24 570 mm	-		
zwoje aktywne	n -,su	>	confine to a construction of construction	~w.	37,373 HT	1.0		

Rys. 8. Obciążenia sprężyny

Wprowadzamy wartości obciążeń sprężyny (czerwona ramka) "Minimalne obciążenie" – siła zmontowania F<sub>1</sub> = 74,3 [N],

- "Maksymalne obciążenie" siła obciążenia F<sub>obc</sub> =F<sub>8</sub> =332,6 [N],
- "Obciążenie robocze" wartość nieznana, nie wynikająca z obliczeń analitycznych założono wartość 200 [N].
   Klikamy przycisk "Oblicz". Projekt w dalszym ciągu zgłasza błędy.

6/2017 **AUTOBUSY** 

927

Wprowadzamy zgodnie z przyjętymi założeniami materiał, którego moduł sprężystości poprzecznej  $G = 78,5x10^3$  [MPa] oraz granica wytrzymałości R<sub>mmin</sub> =1450 [MPa]- rysunek 9.

Wybrano "Drut utwardzony cieplnie-Stal węglowa" wg normy ISO.

Obliczenie wytrzym	ałościowe sprężyny			100.0	de servit	_		_	-		-	niki .	
Kontrola obliczenia	spreturiy		4	Dru	t utwardzony cieplnie	- Stal węglowa					3		6,311 mm
	A 40.0		-	Provinces.	the second second second second		1.0	1931	DUL MP		t	_	9,911 mm
Opcje obiczeń					Materiał :	iprężyny							1,000 u
F, Wymiary mont	2 12 W 0												4,999 m
Metoda korekcji kr	Materiał			Std	R <sub>g</sub> [kg/m^3]	G (MPa)	Współczynniu [u]		WD			^	26,415 mm
Brak korekcji	Wpisz tutaj tekst			Wpisz	Wpisz tutaj tekat	Wpisz tutaj	Wpisz tutaj tekst		Wpisz tu	taj tekst		_	26.019 mm
A CARDO COLORIDADA	Patentowany clagnion	ny - Stal weglowa	Klasa 1	150	785	0 8050	5	0,5	<li>diletij (</li>	hukrotrie	tutej w ce	slu edy	21,600 mm
Deside and	Patentowany clagnion	ny - Stal węgiosa	Klasa 2	150	785	0 8050	3	0,5	<ldiknij o<="" td=""><td>hvukrotnie</td><td>tutaj w o</td><td>siu edy</td><td>422.101</td></ldiknij>	hvukrotnie	tutaj w o	siu edy	422.101
Project successing	Patentowany clagnion	ny - Stal weglowa	Klasa 3	150	785	0 8050	5	0,5	<klimit (<="" td=""><td>loukratrie</td><td>tutaj w ce</td><td>slu edy</td><td>118.009 MP</td></klimit>	loukratrie	tutaj w ce	slu edy	118.009 MP
Obciążenie 📑	Catalan any degains	the state of the s	dises d	100		2010		-	-	and and the second			6 3,557 MP
Minimalne obcaze	Patentowany cagnor	ту - 56а медюна	-Klasa 5	150	785	0 8050	3	0,5	<odana) o<="" td=""><td>In use of the</td><td>tutaj w ci</td><td>en eg?</td><td>60.413 MP</td></odana)>	In use of the	tutaj w ci	en eg?	60.413 MP
Maksymaine code	COLUMN PRIMICE	his shift of the	2603	150	255	2850	21	0.6	Alleria a		A STATE OF THE OWNER	1007	1.335.000
Obciaterie ro	brot bindrazony dep	The star and (1	200)	100	703	- 70.00		0,0	Charles in the	THORE OU HE	saranj er ci	in co,	136,209 H
	Drut utwardzony ciep	inie - Stal Mn-Cr-V	(15 260)	ISO	785	0 7850	2	0.6	dimi	wukrotnie	tutel w ce	niu edy	5,185
Wymary	Drut wytarzony - Stal	Mn-Cr-V (15 260)		150	785	0 7850	5	0,6	<klimit o<="" td=""><td>wukrotnie</td><td>tutaj w ci</td><td>elu edy</td><td>605, 280 mm</td></klimit>	wukrotnie	tutaj w ci	elu edy	605, 280 mm
Srednica drutu	Disit rietninny - Stel r	sierrineuma (Tr-24 (	17 2475	150	78.5	n 6850	1	0.5	citiersi (	hedrotrie	hubbl w re	AL PALIE	0.045 k
Średnia średnica	¢											>	
Długość swobody	2									OK	A	nukuj	
Zwoje sprążyny													
Zools agerie lezby	zerojihe	1	4	Skok rab	oczy		н	21,4	16 mm				
Zwoje aktywne		n 4.5ul		Diugość	przy obciążeniu roboc	2975	L.	36.5	44 mm				

Rys. 9. Materiał sprężyny

Wybór zatwierdzamy przyciskiem "ok". Klikamy "Oblicz". Kreator potwierdza poprawność projektu. Wyniki obliczeń przedstawia rysunek 10.

Obliczenie wytrzymałościowe spręź	żyny –			Materiał sprężyny				Wyniki	
Kontrola obliczenia sprężyny			*	Drut utwardzony cieplnie - Stal węglowa				a	6,311 mm
Oerie ablirani				Granica napr. rozciągającego	quit	1452,500 MPa	3	t	9,911 mm
Typ protektu				Dopuszczalne graniczne naprężenie skręcające	T <sub>A</sub>	871,500 MPa		Ka	1,000 u
F. Wymiary montazowe> d. Ls.	n, D			Moduł elastyczności w ścięciu	G	78500,000 MPa	2	8.	14,003 N/MH
Asteda kazaketi kemudanu manzata	nin .			Gęstość	P	7850 kg/m^3	2	58	22,378 mm
Real-basedust				Współczynnik wykorzystania materiału	us	0,900 ul	>	29	28,400 mm
Brak Korekçi			•	Kontrola wyboczenia				Lairf	26,019 mm
trojekt wymiarów montazowych				Typ sprebyny			_	Lg	21,600 mm
Projekt wszystłách wymiarów mon	ta20wych	L <sub>1</sub> , L <sub>8</sub> , H	~	Prowadzone osadzanie - równobieżnie obrobione plas	raceveny bis	(legające	Y	F9 5.	422,101 N
Obciążenie				Obciążenie zmęczeniowe			-1	T <sub>R</sub>	528,260 MPa
Minimalne obciążenie	F1	74,3 N	>	Sprężyny niekukowane			v	29	670,413 MPa
Maksymalne obciążenie	Få	332,6 N	>	Trucksér exertions or totianech unior		N >10000			140-19 mps
Obciążenie robocze	F	200,000 N	>	to compare the definition of an interest of the		4 700.4		f	336,209 Hz
//ymiary				Wspołczynnik bezpieczenstwa	4	1,200 0	3	Wg	3,7213
Średnica drutu	d	3,6 mm	>	Wymiary montażowe sprężyny				-	005,280 mm
Średnia średnica	D	29,1 mm	>	H,L1->L0	_		~		0,0 10 10
Długość swobodna sprężyny	Lo	50 mm	3	Długość przy minimalnym obciążeniu	L1	45,001 mm	3		
žwoje sprężyny				Długość przy maksymalnym obciążeniu	La	27,622 mm	3		
Zaokragienie liczby zwojów		1	Y	Skok roboczy	н	17,379 mm	3		
Zunte aktivine	n	4,5 ul	>	Długość przy obciążeniu roboczym	Lm	36,544 mm	3		

Rys. 10. Wyniki obliczeń

Istotne do porównania wartości parametrów zaprojektowanej sprężyny zostały otoczone zielonymi ramkami.

### 4. WERYFIKACJA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

Wskutek porównania wartości parametrów sprężyny otrzymanych w drodze obliczeń analitycznych i uzyskanych z wykorzystaniem modułu obliczeniowego generatora sprężyn stwierdzono, że takie same wartości mają stała sprężyny (R = K), długość zblokowania ( $L_{bl} = L_9$ ) oraz obciążenie zblokowania( $F_{bl} = F_9$ ).

Znaczne różnice występują natomiast w wartościach naprężęń obciążenia ( $\tau_{obc} \neq \tau_8$ ) oraz zblokowania ( $\tau_{bl} \neq \tau_9$ ). Znacznie mniejsze wartości naprężeń otrzymane przy użyciu programu Inventor są konsekwencją wprowadzenia przez generator do obliczeń wartości współczynnika spiętrzenia naprężeń K<sub>w</sub>=1 (Patrz kolumna "Wyniki" na rysunku 10).

Przyczyną powyższego jest fakt, że podczas projektowania nie uwzględniono metody korekty określania współczynnika spiętrzenia naprężeń. Podczas prowadzenia obliczeń analitycznych wartość tego współczynnika została obliczona wg Wahla. Należy zatem uwzględnić korekcję naprężeń krzywizny metodą Wahla. Otwieramy okno edycji, wybieramy metodę korekcji i wciskamy przycisk "Oblicz" (czerwona ramka po lewej stronie rysunku 11)

Obliczenie wytrzymałościowe spręż	yny		Material sprężyny				Wyniki	
Kontrola obliczenia sprężyny		-	Drut utwardzony cieplnie - Stal Si-Cr (14 250)		***		9	6,311 mm
			Granica napr. rozciągającego	a <sub>ult</sub>	1860,000 MPa		t	9,911 mm
Upge obiczen Two nemisitu			Dopuszczalne graniczne naprężenie skręcające	TA	1116,000 MPa		Kw	1, 182 u
E Wanter matching and t	- 0		Moduł elastyczności w ścięciu	G	78500,000 MPa		K	14,863 N/mm
L'1 w Auro A unicetowic> of c0	ny o		Gestoić	P	7850 kg/m^3		51	4,979 mil
Metoda korekcji krzywizny napręże	nia	_	Współczynnik wykorzystania materiału	us	0,900 ul		59	28,400 mm
Korekcja wg Wahla		•	T Kostrola wyboczenia				Louis	26,019 mm
Projekt wymiarów mončazowych		_	Typ spreptyry				La	21,600 mm
Projekt wszystłuch wymiarów mon	tazowych L <sub>1</sub> , L <sub>8</sub> , H		Prowadzone osadzanie - równobieżnie obrobione płaszc	ryzny przy	/legające		F9	422,1017
Obciatenie			E Obcistoria macroalisso				τ <sub>1</sub>	138,919 MP
Minimalne obciażenie	F, 74,000 N		Constant and design			-	<sup>1</sup> 8	624,385 MP
Maksymaine obciatenie	Fe 332,6000 N		Spritzyny neitukowane			-	5	792,404 PP
Obciażenie robocze	F 200.000 N		Trwałość sprężyny w tysiącach ugięć		N >10000		f	336.209 H
Walan			Współczynnik bezpieczeństwa	kį	1,200 ul	+	Ws	3,721
Średnica drutu	d 3,600 mm		Wymiary montażowe sprężyny				1	605,280 mm
Śradnia śradnica	0 29.1 mm		$H_{v}L_{1} \rightarrow L_{0}$			*	m	0,048 k
Dhanif authorize such as	50.000 mm		Discosić przy minimalnym obciażeniu	14	45.021 mm	1		
Diugosc swobodna sprężyny	Lo soyoo min		Diagote party initiality in dougle ind	-1		-		
Zwoje spręzyny	1		Diogos, przy marsymanym obcążeno	-8	27,022 mm			
courdine with temper			SKOK FODOCZY		17,399 mm			
Zwoje aktywne	n 9,500 ul		brugost pray obligation robucayin	- W	35, 544 mm			

Rys. 11. Korekta naprężeń krzywizny metodą Wahla

Dodatkowo po prawej stronie rysunku czerwoną ramką oznaczono nową wartość współczynnika spiętrzenia naprężeń, zaś w ramce zielonej wskazano nowe wartości naprężeń obciążenia  $\tau_8$  oraz zblokowania  $\tau_9$ . Nieznaczne różnice wartości tych naprężeń, w porównaniu do tych otrzymanych przy pomocy klasycznej metody obliczeniowej wynikają z przyjętej przez generator wartości współczynnika naprężeń.

Występuje także różnica w długości obciążenia sprężyny. Z obliczeń analitycznych  $L_{obc}$  =25,38 [mm]. Ta sama długość sprężyny wygenerowana przez Inventora  $L_8$  wynosi 27,62 [mm]. Wynika to z różnic w modelach obliczeniowych. W obliczeniach analitycznych wykorzystano wzór (12). Generator Inventora przeliczył tę wartość w następujący sposób:

- ugięcie obciążenia f<sub>8</sub> = F<sub>8</sub> / K = 332,6/14,86 = 22,38 [mm],
- z kolei długość obciążenia to L<sub>8</sub> = L<sub>0</sub> f<sub>8</sub> = 50 22,38 = 27,62 [mm].

### 5. WERYFIKACJA ZACHOWAŃ GENERATORA

W celu weryfikacji wiarygodności modułu obliczeniowego generatora postanowiono wprowadzić dane w taki sposób, ażeby zostały przekroczone naprężenia dopuszczalne. W tym celu w obliczeniach długości sprężyny zblokowanej posłużono się często stosowanym uproszczeniem w postaci:

$$L_{bl} = (n_t - 0.5) * d$$
  

$$L_{bl} = (6 - 0.5) * 3.6 = 19.8 \text{ [mm]}$$
(5)

Zgodnie z (6) nowa wartość obciążenia blokowania wyniesie:

$$F_{bl} = R * (L_0 - L_{bl})$$
  
= 14,86 \* (50 - 19,8) \approx 449 [N] (6')

 $F_{bl} = 14,86 * (50 - a naprężenia blokowania (8)$ 

$$\tau_{bl} = \frac{8 * w * k}{\pi * d^2} * F_{bl}$$

$$\tau_{bl} = \frac{8 * 8,083 * 1,1699}{\pi * 3,6^2} * 449 \cong 834 \text{ [MPa]}$$
(8')

Naprężenia blokowania przekraczają naprężenia dopuszczalne blokowania τ<sub>bldop</sub> =812 [MPa].

Niestety właśnie obliczonych wartości nie da się wstawić do generatora. Konieczne są dalsze obliczenia.

Długość obciążenia:

$$L_{obc} = S_{amin} + L_{bl}$$

$$L_{obc} = 3,78 + 19,8 = 23,58[\text{mm}]$$
(12)

Siła obciążenia:

 $\tau_{obc}$ 

$$F_{obc} = R * (L_0 - L_{obc})$$

$$F_{obc} = 14,86 * (50 - 23,58) = 392,6 \text{ [N]}$$
oraz naprężnia obciążenia (15)
(13')

az napięznia obciążenia (15)  
$$8 * w * k$$

$$\tau_{obc} = \frac{6 * W * R}{\pi * d^2} * F_{obc}$$

$$= \frac{8 * 8,083 * 1,1699}{\pi * 3,6^2} * 392,6 = 725 \text{ [MPa]}$$
(15)

Naprężenia obciążenia są równe naprężeniom dopuszczalnym (14).

Przechodzimy do modułu obliczeniowego Inventora. Jedyną wartość jaką należy zmienić to siła obciążenia ("Maksymalne obciążenie")  $F_8$  =392,6 [N] – czerwona ramka na rysunku 12.

bliczenie wytrzymałościowe spręż	AuA		Material sprężyny				Wyniki	-
Kontrola obliczenia sprężyny		•	Drut utwardzony cieplnie - Stal Si-Cr (14 250)		***		a 6,311	nn l
Serie aldered			Granica napr. rozciegającego	$\sigma_{uk}$	1860,000 MPa		t 9,911	ne
yp projektu			Dopuszczalne graniczne naprężenie skręcające	۲,	1116,000 MPa	*	K <sub>al</sub> 1,19	24
Wymiary montadowe> d, Lp.	n, D.		Modul elastyczności w ścięcku	78500,000 MPa		s <sub>1</sub> 4,979	nm l	
tetrole knocket knowne namete	53		Gęstość	P	7850 kg/m^3		sg 26,415	nm .
Osekria we Wishia			Współczynnik wykorzystania materiału	- 10	0,900 ul		\$s 28,400 mm	nei
an ang manad			Kontrola wyboczenia				5-set 26,419	
			Typ spreptymy				Lg 21,600	1.5
et elsers markauscy whates on uno	entrymon wymerow nontazowych c 3, c 8, m		Wowaczone osaszane - rownobezne oprobione pisoszyżny przyłegająca 🤟				1, 138,9197	Pa
bciążenie			Clociążenie zmęczeniowe				18 737,0227	Pa
Minimalne obciążenie	P1 74,000 N		Sprezymy niekulkowane				Tg 792,4047	Pa
Maksymalne obciążenie	P8 392,6000 N		Trwalość sprężyny w tysiącach uglęć		N >10000		v 1,578	nps
Obciążenie robocze	P 200,000 N	1	Wooliczwyk bezeieczeństwa	16	1,200 ul		T 336,201	112
Vymiary	4 5 600	121	Wymiary merila insee an a bury				605,280	nm
inednica drutu Śradnia frankcia	D 20 1 mm	-	H.L>La				m 0,04	1kg
reuna ireunca	50 000 mm		Ni stali oraș ministria și obsistanți	140	45.021 mm			
Dilugooc awooodha sprigzyny	L <sub>B</sub> solver him		Disput providence in a statement	-1		-		
wege spreasing Conferences in the transfer	1		The subsector		The Divert	100	makes an also an obside to the little	1 - 72 505
a line identifie	4 120 4	14	Disposit army obviotants understants		The Make di	pany .	Colorateria L. iest morenza	ait amoir tax of
andle and huma						-	Construction Construction	

Rys. 12. Weryfikacja modułu obliczeniowego

Po wciśnięciu przycisku "Oblicz" generator zgłasza błąd projektu. Wartość długości obciążenia podświetlona na czerwono zgadza się z wartością obliczona na podstawie wyrażenia (12'). Powodem błędu jest długość sprężyny obciążonej, której wartość jest "mniejsza od granicznej długości testowej Lmint". Różnice wartości naprężeń dopuszczalnych i dopuszczalnych blokowania w stosunku do obliczonych metodą analityczną, wynikają z różnych wartości współczynnika spiętrzenia naprężeń. Generator nie zgłasza oczekiwanego przekroczenia naprężeń dopuszczalnych.

### PODSUMOWANIE

Zaprezentowany kreator programu Inventor jest z pewnością wygodnym i wydajnym narzędziem przyspieszającym proces projektowania w zakresie tworzenia modelu 3D sprężyny. Niestety w zakresie obliczeniowym, w przypadku założonych na wstępie parametrów geometrycznych sprężyny jest narzędziem wysoce nieefektywnym, o bardzo skromnych możliwościach. W celu wykorzystania modułu obliczeniowego konieczne było wprowadzenie szeregu danych, z których część wiązała się z koniecznością przeprowadzenia praktycznie całej procedury obliczania sprężyny metodą analityczną. Z tego powodu moduł obliczeniowy generatora należy uważać za narzędzie pomocnicze, którego działanie po uwzględnieniu uwag i rozważań zawartych w rozdziałach 4 oraz 5 może posłużyć weryfikacji wyników otrzymanych "na piechotę".

Potwierdzeniem powyższego stanowiska może być próba wykorzystania jeszcze jednej opcji, o której nie wspomniano w tekście. W otwartej zakładce "Obliczenia" w oknie kreatora na rozwijalnej liście (czerwona ramka na rysunku nr 6) oprócz "Projekt sprężyny dociskowej" oraz "Kontrola obliczenia sprężyny" znajduje się opcja "Obliczenie sił roboczych". Wybór tej opcji blokuje możliwość ręcznego wprowadzenia wartości obciążeń, co sugerowałoby, że po wprowadzeniu dowolnych zmian w geometrii sprężyny i kliknięciu przycisku "Oblicz", pojawią się nowe wartości obciążeń obliczone przez generator. Niestety tak się nie stanie.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- PN-EN 10270-1:2004 Drut stalowy na sprężyny mechaniczne. Część 1: Drut sprężynowy ze stali niestopowej patentowany ciągniony na zimno
- PN-EN 10270-2:2004 Drut stalowy na sprężyny mechaniczne. Część 2: Drut sprężynowy hartowany w oleju i odpuszczony
- PN-EN 10270-3:2004 Drut stalowy na sprężyny mechaniczne. Część 3: Drut sprężynowy ze stali odpornej na korozję
- PN-EN 13906-1:2006, Sprężyny śrubowe walcowe z drutu lub pręta okrągłego - Obliczanie i konstrukcja - Część 1: Sprężyny naciskowe.
- 5. PN-ISO 2162-1:2011, Sprężyny Przedstawianie uproszczone.
- PN-ISO 2162-2: 2011, Rysunek techniczny maszynowy Sprężyny - Przedstawianie danych dla sprężyn śrubowych naciskowych walcowych.
- PN-ISO 2162-3: 2011, Rysunek techniczny maszynowy Sprężyny – Terminologia.

### Design of helical compression spring in Inventor. Verification of generators calculation module

The article discussed the design of the helical compression spring using generator available in Inventor. Necessary Load values for the calculation module of the generator obtained by analytical methods. Work of the generator was discussed and analyzed. Was verified the results of strength calculations obtained during operation calculation module generator with those obtained by conventional calculation.

Autorzy:

dr inż. Andrzej Maciejczyk- Politechnika Łódzka