

ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA PODWOZIA CHOWANEGO NA ŚMIGŁOWCU W-3A SOKÓŁ

mgr inż. **Mariusz KOZAK**
Politechnika Lubelska

Istniejący obecnie średni, wielozadaniowy śmigłowiec W-3A posiada szereg udokumentowanych zalet, posiada również pewne wady. Do najważniejszych zaliczyć trzeba znaczące opory ruchu, generowane we wszystkich fazach lotu przez układ podwozia stałego, trójpodporowego, którego podzespoły wysunięte są poza obrys bryły kadłuba. Prezentowana praca dotyczy zmian tego stanu rzeczy poprzez wprowadzenie podwozia składanego – półchowanego, szczególnie głównego. W celu rozwiązania postawionego zagadnienia konstrukcyjnego poddano analizie istniejące konstrukcje takiego podwozia w aspektach: kinematycznym, dynamicznym i technologicznym w wyniku czego zaproponowano wstępnie dwie koncepcje. Koncepcje rozważono w kontekście jak najmniejszych zmian w istniejącej konstrukcji śmigłowca W-3A i jak najlepszym spełnianiu „funkcji celu” podwozia chowanego. W efekcie wybrano koncepcję ostateczną, zgodnie z którą poprowadzono dalsze prace. Następnie rozpatrzono stany obciążeń mechanicznych podwozia śmigłowca W-3A o różnych masach startowych, w różnych – szczególnie ekstremalnych przypadkach lądowań śmigłowca. Pozwoliło to zawęzić obszar działań projektowych. Główny cel pracy zrealizowano w kilku fazach. Przeanalizowano układ kinematyczny nowoprojektowanego podwozia głównego, opracowano struktury geometryczne podwozia a następnie wykonano analizy wytrzymałościowe głównych elementów przy zastosowaniu metody MES. W ich wyniku opracowano wstępny projekt konstrukcyjny układu głównego podwozia składanego. Całe przedsięwzięcie poddano analizie techniczno-ekonomicznej.

1. WPROWADZENIE

Istniejący obecnie śmigłowiec W-3A seryjnie produkowany od 1987 roku posiada szereg udokumentowanych zalet.

Lecz posiada również pewne wady. Do najważniejszych zaliczyć trzeba znaczące opory ruchu, generowane poprzez struktury podwozia a szczególności podwozia głównego. Wartości tych oporów przedstawiono w tablicy poniżej.

Tab. 1. Wartości oporów aerodynamicznych

Lp.	Opis	α	C_x	S [m ²]	$C_x S$ [m ²]	N_{sk} [kW]	P_{sc} [N]
1.	Z podwoziem	-5°	0,279	5,55	1,548	275	4156
2.	Z podwoziem	-1°	0,286	5,55	1,587	282	4260
3.	Podwozie główne	-5°	0,219	0,68	0,518	86	1299
4.	Podwozie główne	-1°	0,191	0,68	0,654	117	1766

gdzie: α - kąt pochylenia kadłuba śmigłowca

2. CEL PRACY I SFORMUŁOWANIE ZAGADNIENIA PROJEKTOWANEGO

Celem pracy jest obniżenie oporów śmigłowca w locie przez zmianę układu podwozia głównego ze stałego na podwozie składane zwane dalej półchowanym. Cel ten zrealizować należy przy jak najmniejszej ingerencji w istniejącą strukturę konstrukcyjną kadłuba.

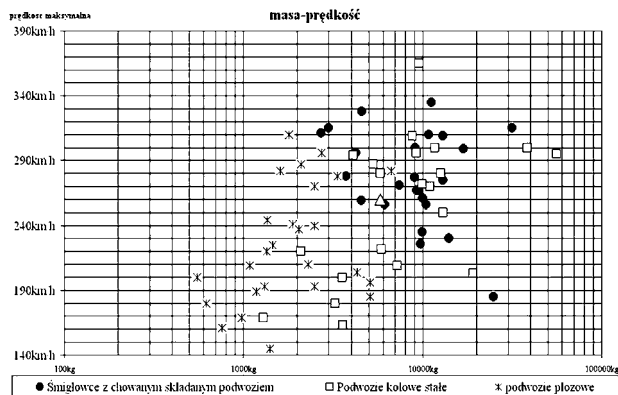
Z tak określonego celu wynika zagadnienie projektowo konstrukcyjne a mianowicie:

- niezmienną geometrią podwozia w stanie rozłożonym powinno posiadać geometrię zgodną z rzeczywistością,
- niezmienną mocowanie podwozia głównego,
- niezmienną charakterystykę amortyzatorów, które to zostaną zaadoptowane z obecnej konstrukcji podwozia W-3A,
- brak ingerencji w strukturę kadłuba, która pociągnęłaby za sobą znaczny wzrost kosztów wykonania i uniemożliwiłaby montaż i przeróbkę obecnych śmigłowców,
- wzrost masy w stosunku do starego rozwiązania nie może przekroczyć 20% ponieważ mogłoby to źle wpłynąć na rozłożenie mas na śmigłowcu.

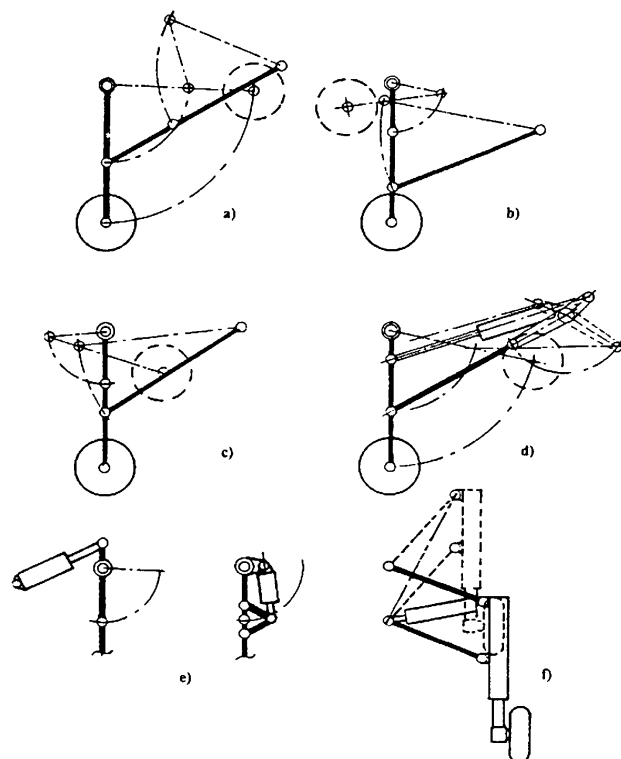
3. WYNIKI ANALIZ ISTNIEJĄCYCH NA ŚWIECIE ROZWIĄZAŃ CHOWANYCH PODWOZI ŚMIGŁOWCÓW

Ogółem analizie poddano 77 typów śmigłowców. W efekcie do dalszej analizy wytypowano 26 typów śmigłowców z podwoziem składanym. Wyniki analiz zilustrowano na rysunku 1.

Uwagę jednak skupiono głównie na kilku typach śmigłowców podobnych w strukturze konstrukcyjnej i osiągowej do śmigłowca W-3A Sokół. W wyniku tej części analizy ustalono kilka typowych układów kinematycznych podwozi chowanych co przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Obszary stosowania podwozi śmigłowcowych ze względu na ich rodzaj. Symbolem A - oznaczono W-3A



Rys. 2. Istniejące układy kinematyczne podwozi chowanych [1] a, b, c, d - dotyczą podwozi przednich, f - podwozi głównych



Rys. 3. Podwozie kołowe całkowicie chowane do kadłuba 1 - silownik mechanizmu chowania, 2 - amortyzator podwozia głównego

Należy podkreślić, że w większości podwozia składane są projektowane już na etapie wstępnego projektu i uwzględnione w konstrukcji kadłuba, jak to miało miejsce w śmigłowcu Agusta A-109 przedstawionym na rysunku 3.



Rys. 4. Podwozie półchowane i z goleniami składanymi do przodu. 1 - miejsce w kadłubie na koła wraz z goleniami, 2 - mechanizmy chowania i wypuszczania podwozia

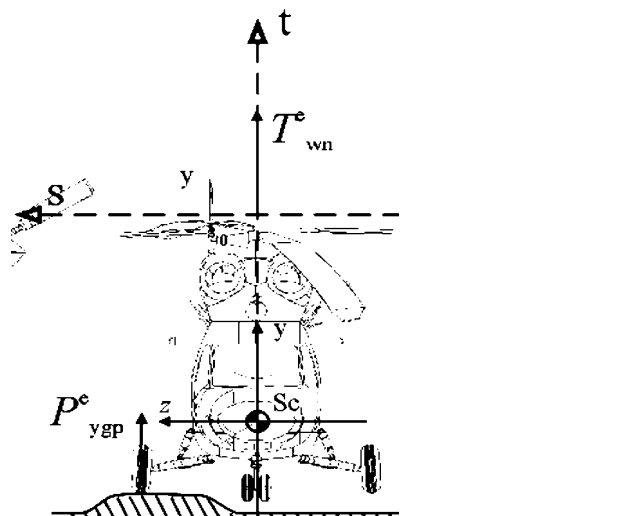
4. USTALENIE OBCIĄŻEŃ DZIAŁAJĄCYCH NA UKŁAD PODWOZIA W-3A W RÓŻNYCH WARUNKACH LĄDOWAŃ

Przed przystąpieniem do prac projektowych przyjęto ekstremalne stany obciążeń układów i elementów składowych podwozia istniejącego śmigłowca. Na podstawie opracowania wykonanego w OBR-SK Świdnik o numerze A0-30.02/01.2 [1].

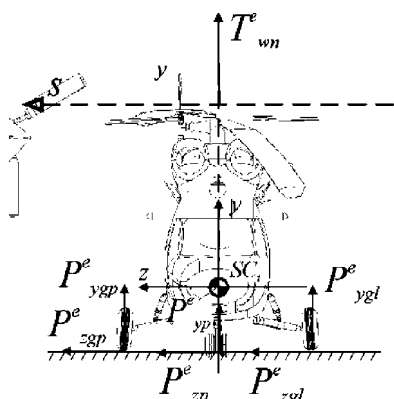
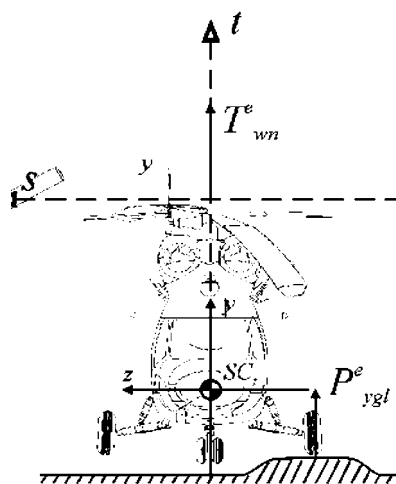
Tab. 2. Fragment tablicy zbiorczej przypadków obciążeń zewnętrznych niszczących działających na kadłub śmigłowca wersja obliczeniowa bazowa [2]

Lp.	Przypadki obciążeń – oznaczenie i nazwa	Położenie środka ciężkości X_T [m]	Prędkość opadania ś-ca V [km/h]	Obciążenia			
				Podwozie główne			
				Prawe		Lewe	
				P_y^e [KG]	P_z^e [KG]	P_y^e [KG]	P_z^e [KG]
1.	III-p: lądowanie ze znośzeniem	-0,05	0	5482	-2741	2349	-1175
2.	na lewą i prawą stronę		12,96	2349	1175	54872	2741
3.	IV-p: lądowanie na	-0,05	0	7831	-	-	-
4.	prawą i lewą		12,96	-	-	7831	-

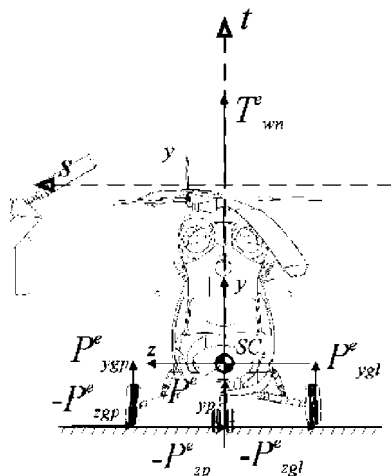
Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono stan obciążeń podwozia głównego wg [2] śmigłowca PZL W-3A Sokół.



Rys. 5. Stan obciążenia dla przypadków: poz. 1 tab. 2, oraz poz. 2 tab. 2

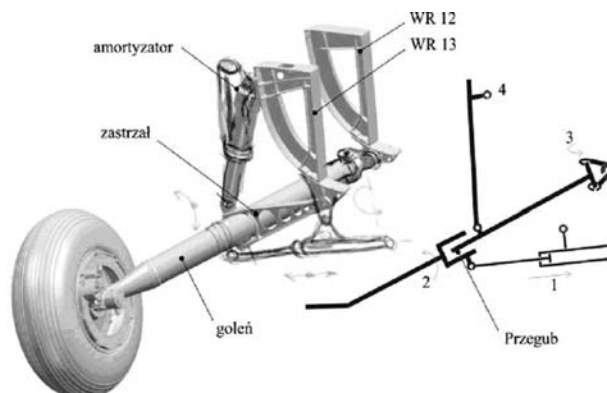


Rys. 6. Stan obciążenia dla przypadków: a – stan obciążenia o symbolu 30, b – stan obciążenia o symbolu 40



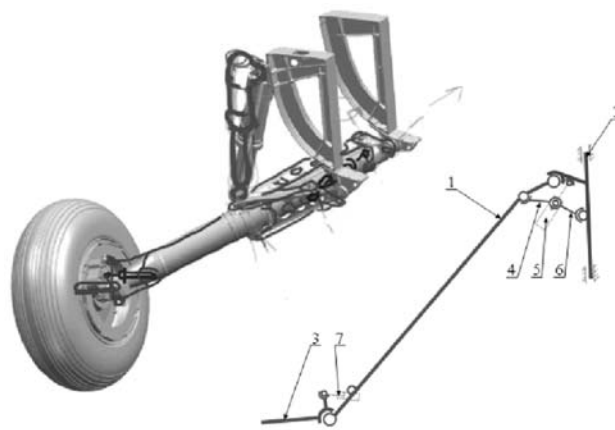
5. ROZWAŻANIA NAD KONCEPCJAMI PODWOZIA

Po przeanalizowaniu obecnych konstrukcji mechanizmów chowania podwozia zaproponowano dwa rozwiązania przedstawione kolejno na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Pierwsza propozycja konstrukcji chowanego podwozia. Liczby oznaczają kolejność faz zamykania podwozia oraz: 1 - siłownik hydrauliczny, 2 - dolna część goleń zamocowana na przegubie, 3 - oś obrotu goleń, 4 - górny węzeł mocowania amortyzatora

Podczas startu, kiedy pilot uruchomi mechanizm chowania podwozia blokada zwalnia zabezpieczenie uniemożliwiające ruch tłoczyska, siłownik zaczyna pracę. W pierwszej fazie goleń zostaje obrócona w przegubie wahliwym i koło zostałoby dopasowane do linii kadłuba. W drugiej fazie całość została obrócona względem przegubu w górnej części goleń. Po dociągnięciu do kadłuba uruchomiłaby się blokada, uniemożliwiając samoczynne rozłożenie się podwozia podczas lotu i manewrów operacyjnych.

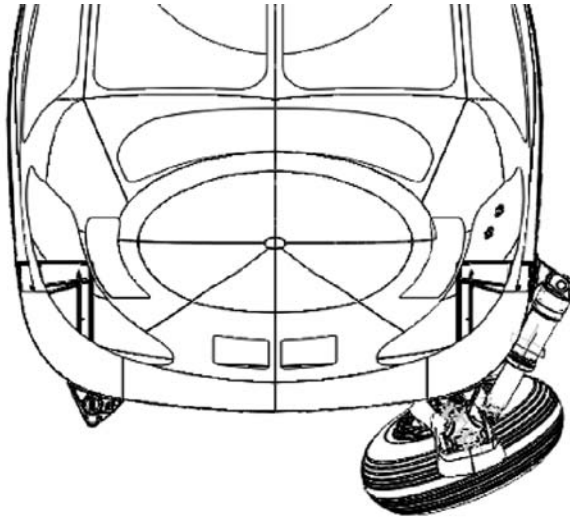


Rys. 8. Schemat i numeracja prętów układu kinematycznego mechanizmu podwozia. 1 - goleń, 2 - blok górny, 3 - obejma osi, 4 - zastrzał I, 5 - siłownik goleń, 6 - zastrzał II, 7 - siłownik koła

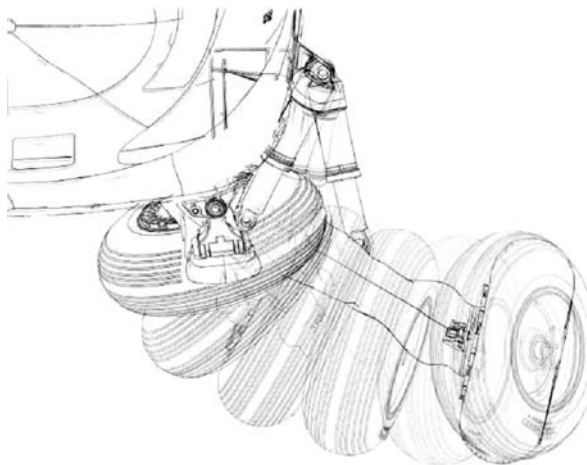
Druga wersja pokazana na rysunku 8 zakłada zastosowanie dwóch siłowników 7, 5. Jeden byłby zamocowany do węzła górnego odpowiadający za obrót goleń, zaś drugi zamocowany do goleń i zwrotnicy koła, odpowiadający za obrót koła. Do siłownika goleń zamocowany jest mechanizm blokujący składający się z dwóch dźwigni (zastrzały I i II), które są przegubowo zamocowane do goleń i węzła górnego 2. Oś koła 3 jest zamocowana do goleń na przegubie umożliwiającym ruch wahliwy wokół osi przegubu, ruch ten jest realizowany za pomocą siłownika koła 7.

6. WYBÓR KONCEPCJI I REALIZACJA CELU PRACY

Jako lepszą wybrano konstrukcję z rysunku 8 z mechanizmem kolanowym, który to spełnia wymagania przepisów CS-29 dotyczące bezwzględnego zabezpieczenia podwozia w pozycji rozłożonej. Ponadto lepiej dopasowuje koło do linii kadłuba.



Rys. 9. Rysunek przedstawiający widok czolowy śmigłowca oraz drugiej wersji podwozia

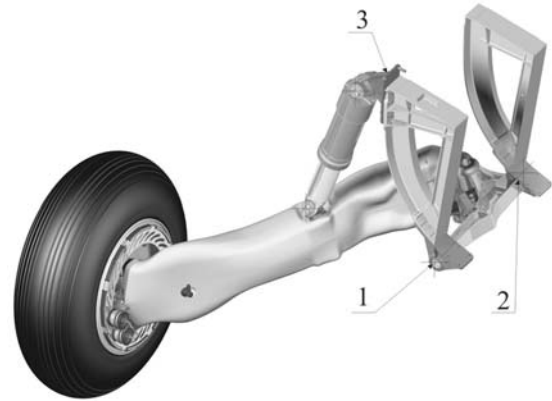


Rys. 10. Widok szczegółowy sekwencji składania podwozia głównego wg drugiej wersji kinematycznej

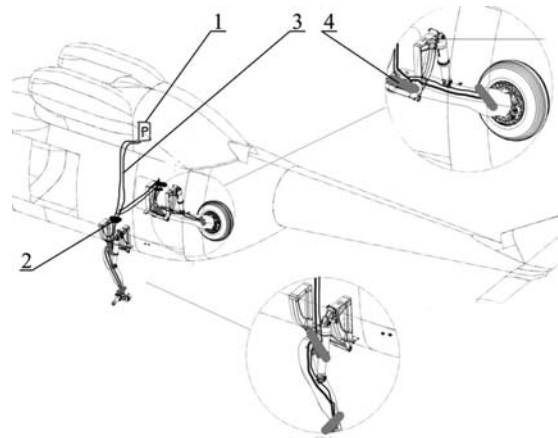
Pozostawiono niezmienione trzy punkty mocowania przedstawione na rysunku 11. Wokół podwozia w stanie złożonym będzie wykonana owiewka ograniczająca opór powietrza stawianego przez struktury podwozia głównego, wykonana jako przestrzenna forma kompozytowa.

Następnie zaprojektowano instalację hydrauliczną przedstawioną na rysunku 12 oraz instalację elektryczną przedstawioną na rysunku 13.

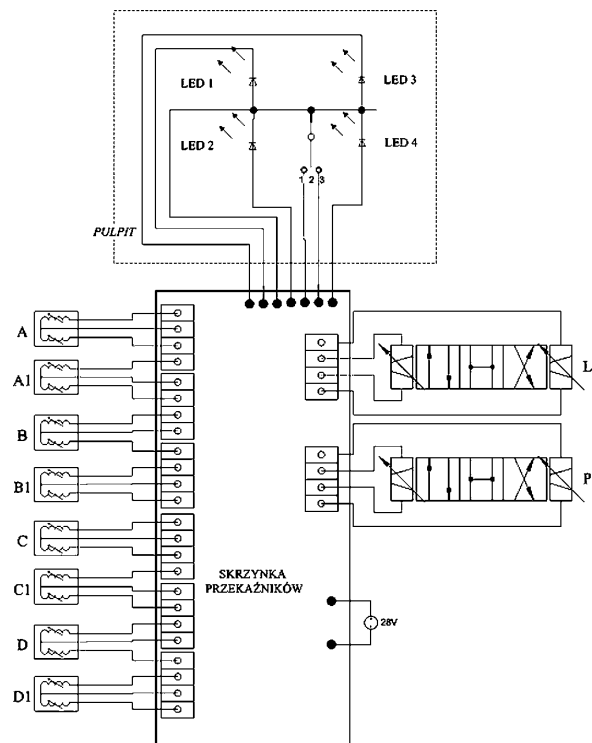
Podwozie składane musi być wyposażone w instalację sygnalizującą o stanach położenia w poszczególnych fazach pracy wg przepisów CS-29. Tak, więc instalacja elektryczna będzie zasilana z standardowej sieci śmigłowca PZL W-3A Sokół o stałym napięciu +28 V. Instalację możemy podzielić na kilka podstawowych modułów, którymi są: moduł pulpitu, moduł czujników położenia tłoczków, moduł elektrozaworów oraz moduł przełączników.



Rys. 11. Widok zaprojektowanego składanego podwozia głównego. 1 - wspornik wręgi 13 zastosowano z konstrukcji podwozia stałego, 2 - wspornik wręgi 12 zastosowano z konstrukcji podwozia stałego, 3 - wspornik mocowania amortyzatora lekko zmieniona konstrukcja odsunięta od kadłuba o 40 mm



Rys. 12. Schemat układu oddzielnej instalacji hydraulicznej chowania podwozia, 1 - pompa PF-500, 2 - elektrozawory, 3 - przewody hydrauliczne, 4 - siłowniki

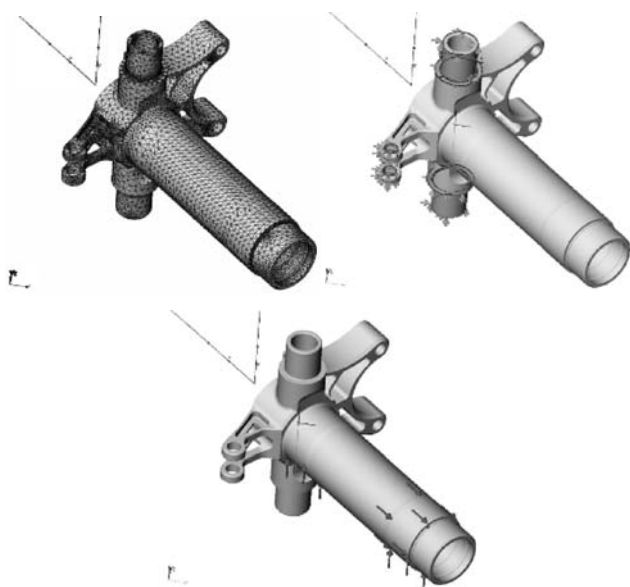


Rys. 13. Schemat blokowy instalacji elektrycznej podwozia składanego

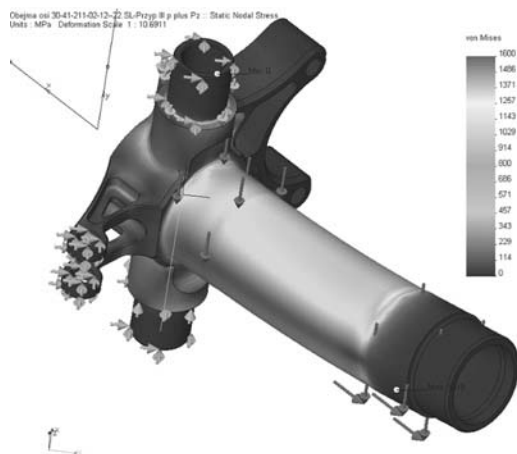
7. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA MES

Przed przystąpieniem do obliczeń ustalono kolejność elementów obliczanych. Powodem ustalenia takiej kolejności był fakt, iż znane były tylko wartości sił w miejscu styku opony koła podwozia głównego z podłożem oraz punkty mocowania poszczególnych elementów.

Tak więc wyznaczono jako pierwszą część o numerze konstrukcyjnym 30-41-211-02-12/22 SL przedstawioną na rysunku 12 Model numeryczny części o numerze 30-41-211-02-12/22 SL zbudowany z 87311 elementów o rozmiarze 5.57 mm z dokładnością 0.069 mm podano analizie numerycznej.



Rys. 14. Obejma osi koła nr 30-41-211-02-12/22 SL a) model bryłowy z widocznym podziałem na elementy skończone, b) miejsce utwierdzenia, c) kierunki i zwroty obciążeń



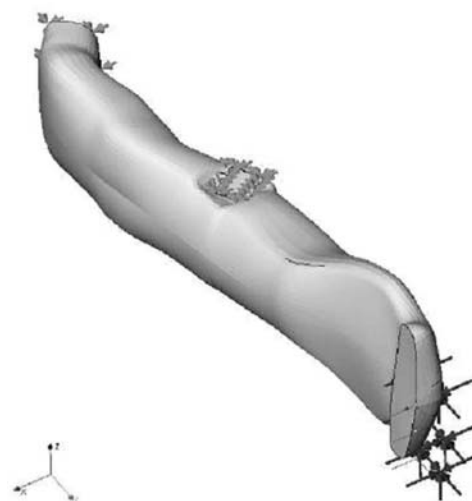
Rys. 15. Oś koła nr 30-41-211-02-12/22 SL w podwoziu składanym W-3A SL. Naprężenia wywołane siłami statycznymi P_{ey} oraz P_{ez} dla przypadku obciążeń III-p (+Pz)

Odształcenia w osi podwozia składanego osiągnęły wartość 2,38 mm gdzie w osi z obecnej wersji 3,82 mm. Różnica w odształceniach spowodowana była tym, iż w nowoprojektowanym układzie nieznacznie zmniejszono średnice w przekroju krytycznym przy kołnierzu oporowym wewnętrznego łożyska koła poprawiając tym sztywność elementu. Kolejnym krokiem było wyznaczenie sił reakcji w węzłach utwierdzeń.

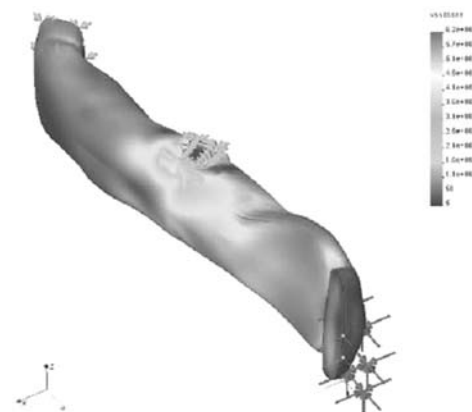
Naprężenia wywołane obciążeniami niszczącymi wynoszą 1180 MPa i są niższe od $R_m = 1620$ MPa.

Wyznaczone reakcje w więzłach zostały przeniesione jako siły obciążające goleń spawaną o numerze konstrukcyjnym 30-41-210-11-21 SL przedstawioną na rysunku 14.

Model numeryczny zbudowany z 87560 elementów poddano analizie MES. W wyniku analizy w systemie COSMOS Design Star 4.0 otrzymano wyniki przedstawione poniżej na ilustracjach. Materiał przyjęty do obliczeń to stop aluminium o nazwie HOKOTOL, wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 575$ MPa, przy wydłużeniu $A = 7,8$ % masa gołeni wykonanej z tego materiału wyniesie 13,9 kg.



Rys. 16. Widok uproszczony do obliczeń gołeni spawanej o numerze 30-41-210-11-21SL oraz siły przyłożenia i utwierdzenia elementu



Rys. 17. Wizualizacja naprężeń niszczących występujących w gołeni

Naprężenia osiągają maksymalną wartość w obszarze mocowania amortyzatora i wynoszą 350 MPa, wartość naprężeń jest wynikiem działania sił dla przypadku obciążeń niszczących o oznaczeniu III-p (+Pz) –ładowanie ze znoszeniem na prawą i lewą stronę [2]. Współczynnik bezpieczeństwa dla elementów podwozia wynosi 1.5.

$$\eta = \frac{R_m}{\sigma_m} = \frac{575}{350} = 1,64 \quad (1)$$

W nowej konstrukcji uzyskano współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 1,64. Przemieszczenia wywołane działaniem sił przedstawiono na rysunku 16, osiągają one wartość maksymalną równą 8,6 mm.

A FEASIBILITY ANALYSIS INTO
THE APPLICATION OF A RETRACTABLE UNDER-
CARRIAGE ON THE W-3A SOKOL HELICOPTER

Summary

The currently existing medium, multi-task W-3A helicopter possesses a multitude of documented assets, but also some faults. The motion drag, which must be counted among the most important, is generated in all phases of flight through the structure of the fixed undercarriage, triangular support, whose subassemblies extend beyond the profile of the fuselage body. The work presented concerns the changes to this situation through the introduction of a folded undercarriage – partially retractable, in particular the main. In order to solve this construction issue, existing constructions of such an undercarriage underwent analyses concerning the following properties: kinematic, dynamic and technological, as a result of which two initial concepts were proposed. The concepts were studied in the context of the smallest changes possible to the existing construction of the W-3A helicopter and the best possible fulfillment of the design goals of a retractable undercarriage. In effect, the eventual concept was chosen, according to which further work was performed. Following this, the state of mechanical loading on the W-3A undercarriage was examined with different takeoff weights and landing cases – especially extreme ones. This allowed the narrowing of the project scope. The main aim of the work was realized in a few phases. The kinematic structure of the newly designed main undercarriage was analyzed, the geometric structures of the undercarriage were developed and, following from this, analyses of the strength of the main components were performed using FEM methods. As a result of these, an initial construction project of the structure of the main folded undercarriage was developed. The whole project then underwent a technical-economic analysis.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
УБИРАЕМОГО ШАССИ НА ВЕРТОЛЁТЕ
В-3А СОКОЛ

Резюме

У среднего, многоцелевого вертолётa В-3А есть перечень удокументированных достоинств но есть и недостатки. К самым большим недостаткам надо отнести значительное сопротивление в полёте, генерированное во всех фазах полёта системой неубираемого, трёхопорного шасси, элементы которого выступают наружу из контура фюзеляжа. В статье говорится о том как изменить это состояние дела путём применения складывающегося шасси полуспрятанного типа – особенно касается это главного шасси. С целью решить эту конструкционную проблему проведено анализ существующих конструкций шасси такого типа в кинематическом, динамическом и технологическом аспекте и в результате предложено вступительно две концепции. Эти концепции рассуждались в контексте возможно минимальных изменений конструкции вертолётa В-3А при наилучшем выполнении „функции цели” убираемого шасси. В результате этого выбрано финальную концепцию согласно которой велись дальнейшие работы. Дальше рассуждались состояния нагрузок шасси вертолётa для разных стартовых масс и для разных, особенно экстремальных случаев приземления вертолётa. Это позволило сузить театр проектных действий. Главная цель работы реализовалась в нескольких фазах. Была проанализована кинематическая система новопроектированного главного шасси, была разработана геометрическая структура шасси и дальше были проведены анализы прочности главных элементов с применением Метода Конечных Элементов. В результате был разработан вступительный проект конструкции убираемого главного шасси. Всё начинание было поддано техничеcко-экономическому анализу.