

MERKISZ Jerzy<sup>1</sup>  
 PŁOTNICKA Natalia<sup>2</sup>  
 DAHLKE Grzegorz<sup>3</sup>

## Obciążenia biomechaniczne pilota samolotu ZLIN 142

*Obciążenia biomechaniczne, samolot Zlin 142,  
 transport lotniczy, goniometr, metoda RULA*

### Streszczenie

*W pracy dokonano oceny narażenia pilota samolotu Zlin 142 na dolegliwości ze strony układu mięśniowo-szkieletowego. Interpretując wyniki przeprowadzonych badań posłużono się metodą RULA (pomiar obciążenia posturalnego i czynnościowego kończyn górnych towarzyszących czynnościom wykonywanym w pozycji siedzącej). Ponadto omówiono problem wpływu rozmieszczenia urządzeń sterowniczych na występowanie obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego. Zagadnienia omawiane w pracy mieszczą się w obszarze zainteresowań naukowych autorów [12].*

### BIOMECHANICAL LOAD OF ZLIN 142 AIRCRAFT PILOT

#### Abstract

*The paper describes the exposure assessment of the Zlin 142 airplane pilot on the complaint on the part of the musculoskeletal system. Interpreting findings of conducted examinations using the RULA method (measurement of the postural and functional burden of upper limbs accompanying performed activities on the position sedentary). Moreover a problem of the influence of arranging control devices on appearing of load for the musculoskeletal system was discussed. The paper contains issues that are connected with the authors scientific field [12].*

### 1. METODYKA I OBIEKT BADAŃ

Oceniając obciążenia biomechaniczne na stanowisku pracy pilota samolotu Zlin 142 posłużono się badaniem goniometrycznym. Ocenę ilościową obciążeń pilota na stanowisku zrealizowano, wykorzystując metodę RULA [9]. Goniometria oznacza dział antropometrii, zajmujący się badaniem rozmaitych kątów w obrębie ciała. W goniometrii statycznej przedmiotem badania są, np. kąty twarzy, kręgosłupa, przedniej ściany tułowia, podczas gdy w goniometrii dynamicznej badaniu podlegają: obszerność ruchu klatki piersiowej, kąty nachylenia głowy, obszerność ruchu kręgosłupa i ruchu stawów kończyn. Badania powyższe mają na celu ocenę pozycji przyjmowanych w środowisku pracy podczas wykonywania czynności związanych z danym stanowiskiem.

Samolot Zlin 142 to ulepszona wersja modelu samolotu Zlin 42M. Jest to jednosilnikowy, dwumiejscowy dolnołat. Zespół napędowy samolotu to sześciocyndrowy, czterosurowy, jednorzędowy, chłodzony powietrzem silnik wiszący typu M-337AK z przestawianym hydraulicznie w locie śmigłem typu W-500A. Układ zasilania silnika stanowi niskociśnieniowy system wtrysku paliwa do przestrzeni przed zaworami dolotowymi, a doładowanie jest realizowane za pomocą układu doładowania sprężarkowego. Silnik jest przystosowany do lotów odwróconych i akrobacyjnych. Wśród pozostałych danych dotyczących silnika M-337AK wymienić należy [14]:

- średnica cylindra [mm]: 105,
- skok tłoka [mm]: 115,
- objętość skokowa silnika [dm<sup>3</sup>]: 5,97,
- znamionowa moc użyteczna [kW]: 157 (przy n = 2750 obr/min),
- długość silnika [mm]: 1410,
- szerokość silnika [mm]: 472,
- wysokość [mm]: 628,
- masa silnika [kg]: 148,
- liczba zaworów/cylinder: 2,
- rodzaj układu smarowania: system ciśnieniowy z suchą miską olejową.

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; Polska; 60-965 Poznań; ul. Piotrowo 3.  
 Tel: + 48 61 665 22 07, fax: + 48 61 665 22 04, E-mail: office\_ice@put.poznan.pl

<sup>2</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; Polska; 60-965 Poznań; ul. Piotrowo 3.  
 Tel: + 48 61 665 22 07, fax: + 48 61 665 22 04; E-mail: office\_ice@put.poznan.pl

<sup>3</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania; Polska, 60-965 Poznań, ul. Strzelecka 11.  
 Tel: + 48 61 665 33 79, E-mail: office\_fem@put.poznan.pl

Kadłub opiera się na konstrukcji mieszanej. Centralną część kadłuba wykonano w postaci kratownicy spawanej z rur stalowych, a jej konstrukcję pokryto powłoką laminatu szklanego. Przednia część kadłuba jest pokryta blachą duralową, podczas gdy część tylną stanowi metalowa konstrukcja półskorupowa. Kabina załogi jest osłonięta wiatrochronem ze szkła organicznego. Konstrukcja foteli pilotów jest dostosowana do używania spadochronów plecowych, a zmiana położenia foteli jest możliwa dzięki ich czterem ustawieniom, w zależności od wzrostu i potrzeb pilotów [7]. Skrzydło samolotu Zlin 142 stanowi konstrukcję całkowicie metalową z dźwigarem głównym i pomocniczym, dzielone po obu stronach kadłuba. Obrys skrzydła jest prostokątny a pokrycie jest wykonane z duralowych blach platerowanych aluminium. Szczelinowe kłapy i lotki stanowią konstrukcję metalową. Wśród dodatkowych danych samolotu Zlin 142 należy wymienić [15]:

- masa [kg]:
  - własna: 730;
  - maksymalna startowa: 1020;
- wymiary [m]:
  - rozpiętość: 9,16;
  - długość: 7,33;
  - wysokość: 2,75;
- parametry eksploatacyjne:
  - prędkość [km/h]:
    - maksymalna: 230;
    - przelotowa: 197;
    - minimalna: 102;
    - wznoszenia: 5,1;
- pułap [m]: 4700;
- zasięg [km]: 525.

W samolocie Zlin 142 zastosowano sterowanie podwójne. Układ sterowania obejmuje: sterowanie ręczne (steru wysokości i lotkami), nożne (steru kierunkowego i przedniego koła), sterowanie klapą wyważającą steru wysokości, sterowanie klap, wyważanie kierunkowe samolotu i sterowanie silnikiem. Sterownica ręczna jest wyposażona w drążki sterowe a sterownica nożna w pedały. Trójkołowe podwozie składa się z podwozia: głównego i sterowanego przedniego. Golenie podwozia głównego są wykonane ze stali sprężystej i przymocowane do dźwigarów. Podwozie przednie posiada amortyzator oleo-pneumatyczny oraz tłumik drgań.

Główne zbiorniki paliwa o pojemność 260 dm<sup>3</sup> umieszczone są w kesonie skrzydła. Zbiorniczek rozchodowy zabezpieczający dopływ paliwa do silnika w lotach plecowych i akrobacyjnych o pojemności 5 dm<sup>3</sup> usytuowano w dolnej części kadłuba. Zbiornik olejowy umieszczono w komorze silnikowej przed przegrodą przeciwpożarową [7].

Instalacja elektryczna wykonana jest w układzie jedoprzewodowym. Prądnicą 28 V/600 W jest głównym źródłem energii elektrycznej, a źródłem pomocniczym jest akumulator 24 V/25 Ah. Na kadłubie umieszczono gniazdo wtykowe umożliwiające użycie zewnętrznego źródła energii elektrycznej. Samolot jest wyposażony w oświetlenie do lotów nocnych: reflektor kołowania i lądowania, światła pozycyjne, oświetlenie przyrządów pokładowych i kabiny, lampę błyskową. Kabina samolotu zawiera przyrządy pokładowe, urządzenia sygnalizacyjne do kontroli lotu, pracy silnika i kontroli układów oraz instalacji płatowca [7].



Rys. 1. Widok samolotu Zlin 142 (a) i silnika M-337AK (b)

## 2. WPŁYW ROZMIESZCZENIA URZĄDZEŃ STEROWNICZYCH NA WYSTĘPOWANIE OBCIĄŻEŃ BIOMECHANICZNYCH

Zajmując się sterowaniem należy wziąć pod uwagę układ: człowiek-maszyna, jak szybko i dokładnie mają być ruchy oraz nakładu jakiej siły wymaga obsługa urządzeń sterowniczych. Zasięg ruchu ma zasadniczy wpływ na czas jego trwania, uogólniając im dłuższy ruch, tym dłuższy czas wykonywania. Ruchy wykonywane rękoma są szybsze, niż te wykonywane nogami. Wykazano, że ruchy wykonywane ręką prawą są szybsze, od tych wykonywanych ręką lewą. Na

szybkość wykonywanych czynności ma wpływ to czy są to ruchy sporadyczne, czy też powtarzane z dużą częstotliwością. Istotny jest również kierunek wykonywanych ruchów: ruchy wykonywane z góry na dół są szybsze od tych wykonywanych w płaszczyźnie poziomej. Ruch do przodu i do tyłu wykonywany jest szybciej, niż te w kierunkach bocznych.

Urządzenia sterownicze powinny posiadać następujące cechy: dostępność, rozpoznawalność, operatywność. Dostępność to sytuowanie urządzeń w zasięgu kończyn człowieka. Uchwyty najczęściej używane powinny znajdować się wewnątrz strefy wokół steru łokciowego. Najlepsza wysokość dla urządzeń sterowniczych to obszar między talią a stawem barkowym [11].

Chcąc zwiększyć rozróżnialność urządzeń można użyć środków wzrokowych i pozawzrokowych. Obecnie używa się wielu urządzeń, co może prowadzić do nadmiernego obciążenia psychicznego operatora. Środki wzrokowe są skuteczne, jeżeli praca odbywa się przy odpowiednim oświetleniu i operator ma możliwość regularnej kontroli. Należą do nich: zróżnicowanie kolorystyczne, oznaczenia cyfrowe i literowe, symbole graficzne, tabliczki z napisami. Przy różnicowaniu urządzeń znaczenie ma ich wielkość, kształt i rozmieszczenie [13].

Odbiorcami bodźców z otoczenia są receptory. Cechą receptorów są progi wrażliwości i pojemność informacyjna. W procesie pracy człowiek odbiera przede wszystkim sygnały wzrokowe i słuchowe. Przeszkodą w prawidłowym odbiorze bodźców wzrokowych są złudzenia wzrokowe, które wynikają z osadzenia linii, kontrastów wielkości, przecinanie się linii, odległość oraz złudzenie ruchu. Przy identyfikowaniu dźwięków zasadniczą rolę odgrywa: intensywność sygnału, czas trwania, odstępy czasowe. Projektując stanowiska sterownicze należy wziąć pod uwagę właściwości percepcyjne człowieka. Wpływ na koncentrację uwagi na odpowiednich elementach mają takie czynniki jak: wielkość, intensywność, częstość powtórzeń, barwa, kontrastowość. Sygnały, ze względu na przesyłaną treść informacyjną, dzieli się na: upewnijające, alarmujące i robocze.

Cechy urządzeń sterowniczych, nie mogą przybierać wartości bezwzględnych, ponieważ to co w jednej sytuacji jest atutem w innej może być przyczyną wypadku. Dobierając urządzenia do określonych zadań należy dokonać oceny sytuacji. Istotny jest poziom dostrzegalności sygnału, który zależy od siły i kontrastu z tłem [10].

Przyciski ręczne sprawdzają się w sterowaniu alternatywnym to jest włączone-wyłączone. Ich zaletą jest to, że można obsłużyć kilka przycisków jednocześnie, są łatwo rozpoznawalne i zajmują mało miejsca. Wadą jest duże prawdopodobieństwo przypadkowego uruchomienia. Przyciski nożne umożliwiają odciążenie rąk. Możliwości sterownicze są znacznie mniejsze w porównaniu z przyciskami ręcznymi. Wadą jest także to, iż wymagają dużej przestrzeni i znajdują się poza zasięgiem wzroku operatora [11]. Gałki obrotowe są użyteczne w przypadku sterowania ciągłego. Operator łatwo je identyfikuje przez zróżnicowanie barwy, wielkości i kształtu. Bardzo rozpowszechnione są dźwignie (szeroki zakres zastosowań) za wyjątkiem procesów wymagających dokładnej regulacji przy szerokim zakresie zmian. Dobrym rozwiązaniem są dźwignie pionowe, bowiem dzięki nim następuje zmniejszenie obciążenia statycznego kończyny. Kierownice warto stosować tam, gdzie proces sterowniczy stawia małe wymagania w zakresie szybkości, natomiast duże w zakresie dokładności. Wieniec kierownicy powinien mieć wgłębienia, przez co ułatwia się skrety. Pedały stosuje się w celu odciążenia rąk, bądź w sytuacjach wymagających użycia dużej siły. Sprawdzają się również przy ciągłych operacjach sterowniczych, które nie wymagają dużej precyzji i szybkości. Rozróżnia się pedały, którymi manipuluje się za pomocą całej stopy i te, gdzie trzeba użyć ruchu całej nogi.

### 3. WYNIKI POMIARÓW

Wyniki badań goniometrycznych przeprowadzonych w kabinie samolotu Zlin 142 poddano interpretacji, korzystając z metody RULA (rys. 2-6, tabl. 1-5). Oceniono w ten sposób ryzyko wystąpienia obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego na stanowisku pracy pilota powyższego samolotu.

Tab. 1. Rozmieszczenie czujników goniometru

Numer kanału	Lokalizacja czujnika	Zakres pomiaru	
Kanał 1	Ręka – przedramię	Zgięta w górę [+]	Zgięta w dół [-]
Kanał 2	Ręka – przedramię	Zgięta na zewnątrz [-]	Zgięta do wewnątrz [+]
Kanał 3	Przedramię – ramię	Wyprostowana w stawie łokciowym [+]	Zgięta w stawie łokciowym [-]
Kanał 5	Ramię – bark	Ramię do góry [+]	Ramię do tyłu [-]
Kanał 6	Odwodzenie ramienia	Bark w dół [+]	Bark do góry [-]
Kanał 7	Skret	Na zewnątrz [+]	Do wewnątrz [-]

Tab. 2. Wyniki pomiaru goniometrycznego dla samolotu Zlin 142 dla pozycji 1–10

Pozycja kończyny górnej	Samolot Zlin 142 Pozycja 1	Samolot Zlin 142 Pozycja 2	Samolot Zlin 142 Pozycja 3	Samolot Zlin 142 Pozycja 4	Samolot Zlin 142 Pozycja 5
Ręka zgięta	-3,735 [w dół]	22,05 [w górę]	32,715 [w górę]	8,91 [w górę]	10,44 [w górę]
Ręka zgięta	-9,585 [na zewnątrz]	-58,14 [na zewnątrz]	-55,17 [na zewnątrz]	-41,13 [na zewnątrz]	-16,29 [na zewnątrz]
Położenia przedramienia względem ramienia	-1,44	-87,435	-74,565	-93,87	-3,195
Podnoszenie ramienia	-40,275 [w dół]	5,4 [do góry]	-12,6 [w dół]	20,61 [do góry]	-41,85 [w dół]
Ramię odwiedzone	-2,205 [do góry]	-5,62 [do góry]	8,955 [w dół]	-13,005 [do góry]	8,415 [w dół]
Przedramię skręcone	2,61 [na zewnątrz]	-44,685 [do wewnątrz]	-42,39 [do wewnątrz]	-42,795 [do wewnątrz]	-10,485 [do wewnątrz]
Pozycja kończyny górnej	Samolot Zlin 142 Pozycja 6	Samolot Zlin 142 Pozycja 7	Samolot Zlin 142 Pozycja 8	Samolot Zlin 142 Pozycja 9	Samolot Zlin 142 Pozycja 10
Ręka zgięta	-9,765 [w dół]	16,155 [w górę]	8,01 [w górę]	4,23 [w górę]	42,48 [w górę]
Ręka zgięta	-11,295 [na zewnątrz]	-20,97 [na zewnątrz]	-25,875 [na zewnątrz]	0,405 [do wewnątrz]	-16,74 [na zewnątrz]
Położenia przedramienia względem ramienia	-3,24	-2,205	-54,72	-22,32	3,78
Ramię odwiedzone	-7,83 [do góry]	-12,555 [do góry]	-14,45 [do góry]	-2,52 [do góry]	-10,215 [do góry]
Przedramię skręcone	2,835 [na zewnątrz]	-11,07 [do wewnątrz]	-11,43 [do wewnątrz]	25,335 [na zewnątrz]	-49,59 [do wewnątrz]

Tab. 3. Wskaźnik oceny obciążenia według metody RULA

Wskaźnik oceny całkowitego obciążenia	Poziom działania	Niezbędne działania
1–2	1	Pozycje akceptowalne, nie jest konieczne prowadzenie żadnych działań
3–4	2	Niezbędne dalsze badania stanowiska pracy, zmiany mogą być niezbędne
5–6	3	Badania i zmiany na stanowisku pracy w jak najkrótszym czasie
7 i więcej	4	Niezbędne dalsze badania na stanowisku pracy i natychmiastowe zmiany [2]

Bibliografia[2]

Tab. 4. Całkowite obciążenie według metody RULA

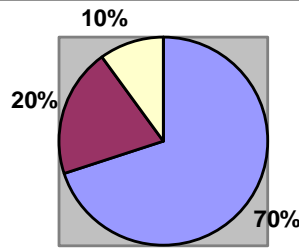
Ocena całkowitego Obciążenia według RULA	Ryzyko
1	bardzo małe
2	małe
3–4	średnie
5–6	duże
7 i więcej	bardzo duże

Bibliografia[2]

Tab. 5. Zestawienie wyników badań goniometrycznych metodą RULA dla samolotu ZLIN 142

Numer pozycji	Ocena całkowitego obciążenia według metody RULA	Ryzyko
1	3	średnie
2	3	średnie
3	3	średnie
4	3	średnie
5	3	średnie
6	4	średnie
7	6	bardzo duże
8	3	średnie
9	6	duże
10	5	duże

■ Ryzyko średnie ■ Ryzyko duże □ Ryzyko b. duże



Rys. 2. Wartość ryzyka wystąpienia dolegliwości ze strony układu mięśniowo-szkieletowego dla pilota samolotu Zlin 142 na podstawie badania goniometrycznego



### A. Arm & Wrist Analysis

**Step 1: Locate Upper Arm Position**

Final Upper Arm Score: 3

**Step 2: Locate Lower Arm Position**

Final Lower Arm Score: 3

**Step 3: Locate Wrist Position**

Final Wrist Score: 4

**Step 4: Wrist Twist**

Wrist Twist Score: 1

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A**

Posture Score A: 5

**Step 6: Add Muscle Use Score**

Muscle Use Score: 0

**Step 7: Add Force/Load Score**

Force/load Score: 0

**Step 8: Find Row in Table C**

Final Wrist & Arm Score: 5

## SCORES

Table A

Upper Arm	Wrist			
	1	2	3	4
1	1	2	2	3
2	2	2	3	3
3	3	3	3	4
4	4	4	4	5
5	5	5	5	6
6	6	6	6	7
7	7	7	7	8
8	8	8	8	9
9	9	9	9	9

Table B

Neck	Legs				
	1	2	3	4	5
1	1	2	3	4	5
2	2	3	4	5	6
3	3	4	5	6	7
4	4	5	6	7	8
5	5	6	7	8	9
6	6	7	8	9	9

Table C

	Final Score						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	3	4	4	5	6	7
3	3	3	4	4	5	6	7
4	4	4	5	5	6	7	7
5	4	4	5	6	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	7	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7

**Final Score: 6**

### B. Neck, Trunk & Leg Analysis

**Step 9: Locate Neck Position**

Final Neck Score: 3

**Step 10: Locate Trunk Position**

Final Trunk Score: 4

**Step 11: Legs**

Final Leg Score: 1

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B**

Posture B Score: 5

**Step 13: Add Muscle Use Score**

Muscle Use Score: 0

**Step 14: Add Force/Load Score**

Force/load Score: 0

**Step 15: Find Column in Table C**

Final Neck, Trunk & Leg Score: 5

Name: Xxxxxx Xxxxxxxx      Assessor: Xxxxxxxx Xxxxxxxx

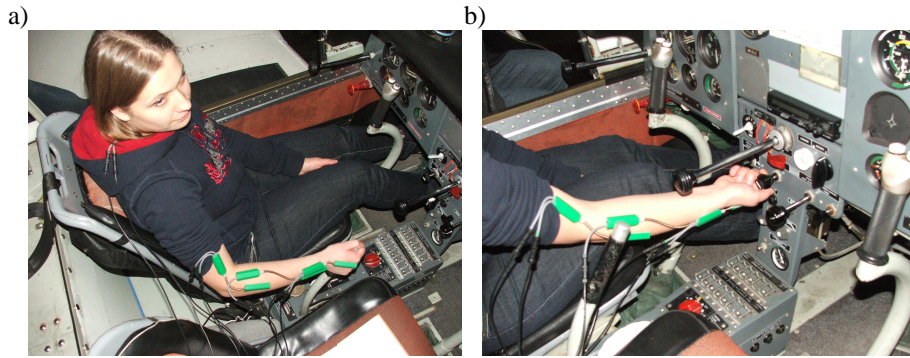
Section: Xxxxxxxx      Task: Xxxxxxxx      Date: dd/mm/yyyy

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

© Professor Alan Hedge, Cornell University, Nov. 2009

Rys. 3. Badanie goniometryczne i metoda RULA dla pozycji 7 w samolocie Zlin 142





Rys.4. Rozmieszczenie przetworników dla badania goniometrycznego i metody RULA dla pozycji 8 (a) i 9 (b) w samolocie Zlin 142

a)

**A. Arm & Wrist Analysis**

**Step 1: Locate Upper Arm Position**  
 Step 1a: Adjust... Final Upper Arm Score = 4

**Step 2: Locate Lower Arm Position**  
 Step 2a: Adjust... Final Lower Arm Score = 2

**Step 3: Locate Wrist Position**  
 Step 3a: Adjust... Final Wrist Score = 2

**Step 4: Wrist Twist**  
 Wrist Twist Score = 1

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A**  
 Posture Score A = 4

**Step 6: Add Muscle Use Score**  
 Muscle Use Score = 0

**Step 7: Add Force/load Score**  
 Force/load Score = 0

**Step 8: Find Row in Table C**  
 Final Wrist & Arm Score = 4

**SCORES**

**Table A**

		Wrist			
		1	2	3	4
Upper Arm	Lower Arm	1	1	1	1
	Wrist Twist	2	2	2	2
2	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist Twist	3	3	3	3
3	Lower Arm	3	3	3	3
	Wrist Twist	4	4	4	4
4	Lower Arm	4	4	4	4
	Wrist Twist	5	5	5	5
5	Lower Arm	5	5	5	5
	Wrist Twist	6	6	6	6
6	Lower Arm	6	6	6	6
	Wrist Twist	7	7	7	7
7	Lower Arm	7	7	7	7
	Wrist Twist	8	8	8	8
8	Lower Arm	8	8	8	8
	Wrist Twist	9	9	9	9

**Table B**

		Trunk Posture Score					
		1	2	3	4	5	6
Neck	Legs	1	1	1	1	1	1
	Legs	2	2	2	2	2	2
2	Legs	3	3	3	3	3	3
	Legs	4	4	4	4	4	4
3	Legs	5	5	5	5	5	5
	Legs	6	6	6	6	6	6
4	Legs	7	7	7	7	7	7
	Legs	8	8	8	8	8	8
5	Legs	9	9	9	9	9	9
	Legs	9	9	9	9	9	9

**Table C**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	3	2	3	4	5	6	7	8	9	9
2	3	3	3	3	4	5	6	7	8	9
	4	4	4	4	5	6	7	7	7	7
3	4	5	5	5	6	6	7	7	7	7
	5	6	6	6	7	7	7	7	7	7
4	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9

**B. Neck, Trunk & Leg Analysis**

**Step 9: Locate Neck Position**  
 Final Neck Score = 2

**Step 10: Locate Trunk Position**  
 Final Trunk Score = 2

**Step 11: Legs**  
 Final Leg Score = 1

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B**  
 Posture B Score = 2

**Step 13: Add Muscle Use Score**  
 Muscle Use Score = 0

**Step 14: Add Force/load Score**  
 Force/load Score = 0

**Step 15: Find Column in Table C**  
 Final Neck, Trunk & Leg Score analysis is used to find the column on Chart C

**Final Score 3**

Name: XXXXXX XXXXXXXX Assessor: XXXXXXXX XXXXXXXX  
 Section: XXXXXXXX Task: XXXXXXXX Date: dd/mm/yyyy

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

© Professor Alan Hedge, Cornell University, Nov. 2000

b)

**A. Arm & Wrist Analysis**

**Step 1: Locate Upper Arm Position**  
 Step 1a: Adjust... Final Upper Arm Score = 2

**Step 2: Locate Lower Arm Position**  
 Step 2a: Adjust... Final Lower Arm Score = 3

**Step 3: Locate Wrist Position**  
 Step 3a: Adjust... Final Wrist Score = 4

**Step 4: Wrist Twist**  
 Wrist Twist Score = 2

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A**  
 Posture Score A = 5

**Step 6: Add Muscle Use Score**  
 Muscle Use Score = 0

**Step 7: Add Force/load Score**  
 Force/load Score = 0

**Step 8: Find Row in Table C**  
 Final Wrist & Arm Score = 5

**SCORES**

**Table A**

		Wrist			
		1	2	3	4
Upper Arm	Lower Arm	1	1	1	1
	Wrist Twist	2	2	2	2
2	Lower Arm	2	2	2	2
	Wrist Twist	3	3	3	3
3	Lower Arm	3	3	3	3
	Wrist Twist	4	4	4	4
4	Lower Arm	4	4	4	4
	Wrist Twist	5	5	5	5
5	Lower Arm	5	5	5	5
	Wrist Twist	6	6	6	6
6	Lower Arm	6	6	6	6
	Wrist Twist	7	7	7	7
7	Lower Arm	7	7	7	7
	Wrist Twist	8	8	8	8
8	Lower Arm	8	8	8	8
	Wrist Twist	9	9	9	9

**Table B**

		Trunk Posture Score					
		1	2	3	4	5	6
Neck	Legs	1	1	1	1	1	1
	Legs	2	2	2	2	2	2
2	Legs	3	3	3	3	3	3
	Legs	4	4	4	4	4	4
3	Legs	5	5	5	5	5	5
	Legs	6	6	6	6	6	6
4	Legs	7	7	7	7	7	7
	Legs	8	8	8	8	8	8
5	Legs	9	9	9	9	9	9
	Legs	9	9	9	9	9	9

**Table C**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	3	2	3	4	5	6	7	8	9	9
2	3	3	3	3	4	5	6	7	8	9
	4	4	4	4	5	6	7	7	7	7
3	4	5	5	5	6	6	7	7	7	7
	5	6	6	6	7	7	7	7	7	7
4	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	7	9	9	9	9	9	9	9	9	9

**B. Neck, Trunk & Leg Analysis**

**Step 9: Locate Neck Position**  
 Final Neck Score = 3

**Step 10: Locate Trunk Position**  
 Final Trunk Score = 4

**Step 11: Legs**  
 Final Leg Score = 1

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B**  
 Posture B Score = 5

**Step 13: Add Muscle Use Score**  
 Muscle Use Score = 0

**Step 14: Add Force/load Score**  
 Force/load Score = 0

**Step 15: Find Column in Table C**  
 Final Neck, Trunk & Leg Score analysis is used to find the column on Chart C

**Final Score 6**

Name: XXXXXX XXXXXXXX Assessor: XXXXXXXX XXXXXXXX  
 Section: XXXXXXXX Task: XXXXXXXX Date: dd/mm/yyyy

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

© Professor Alan Hedge, Cornell University, Nov. 2000

Rys.5. Metodyka i wyniki badań goniometrycznych zgodnie z metodą RULA dla pozycji 8 (a) i 9 (b) w samolocie Zlin 142



**A. Arm & Wrist Analysis**

**Step 1: Locate Upper Arm Position**

0° to 15° +1  
15° to 30° +2  
30° to 45° +3  
45° to 90° +4  
90°+ +5

If shoulder is relaxed: +1  
If upper arm is abducted: +1  
If arm is supported or person is leaning: -1

Final Upper Arm Score = 4

**Step 2: Locate Lower Arm Position**

0° to 30° +1  
30° to 45° +2  
45° to 60° +3  
60° to 75° +4  
75° to 90° +5

If arm is working across midline of the body: +1  
If arm out to side of body: +1

Final Lower Arm Score = 3

**Step 3: Locate Wrist Position**

0° to 15° +1  
15° to 30° +2  
30° to 45° +3  
45° to 60° +4  
60° to 75° +5

If wrist is bent from the midline: +1

Final Wrist Score = 2

**Step 4: Wrist Twist**

If wrist is twisted in mid-range = 1  
If twist at or near end of range = 2

Wrist Twist Score = 2

**Step 5: Look-up Posture Score in Table A**

Use values from steps 1, 2, 3 & 4 to locate Posture Score in Table A

Posture Score A = 5

**Step 6: Add Muscle Use Score**

If posture mainly static (i.e. held for longer than 1 minute) or if action repeatedly occurs 4 times per minute or more: +1

Muscle Use Score = 0

**Step 7: Add Force/load Score**

If load less than 2 kg (intermittent): +0  
If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1  
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2  
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Force/load Score = 0

**Step 8: Find Row in Table C**

The completed score from the Arm/Wrist analysis is used to find the row on Table C

Final Wrist & Arm Score = 5

**Table A**

		Wrist			
		1	2	3	4
Upper Arm	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2
Lower Arm	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2
Wrist	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2
Twist	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2
Final	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2

**Table B**

		Neck				Trunk				Legs			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Neck	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Trunk	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Legs	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Final	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

**Table C**

		Final Wrist & Arm Score					
		1	2	3	4	5	6
1	1	1	2	3	4	5	6
	2	2	2	3	4	5	6
3	1	3	3	3	4	4	5
	2	4	3	3	4	5	6
4	1	5	4	4	5	6	7
	2	6	4	4	5	6	7
5	1	7	5	5	6	7	7
	2	8	5	5	6	7	7
6	1	9	6	6	7	7	7
	2	9	6	6	7	7	7
7	1	9	6	6	7	7	7
	2	9	6	6	7	7	7

**Final Score 5**

**B. Neck, Trunk & Leg Analysis**

**Step 9: Locate Neck Position**

0° to 15° +1  
15° to 30° +2  
30° to 45° +3  
45° to 60° +4

If neck is twisted: +1; If neck is side-bending: +1

Final Neck Score = 3

**Step 10: Locate Trunk Position**

0° to 15° +1  
15° to 30° +2  
30° to 45° +3  
45° to 60° +4

If trunk is twisted: +1; If trunk is side-bending: +1

Final Trunk Score = 3

**Step 11: Legs**

If legs & feet supported and balanced: +1  
If not: -2

Final Leg Score = 1

**Step 12: Look-up Posture Score in Table B**

Use values from steps 9, 10 & 11 to locate Posture Score in Table B

Posture B Score = 4

**Step 13: Add Muscle Use Score**

If posture mainly static or if action 4 minutes or more: +1

Muscle Use Score = 0

**Step 14: Add Force/load Score**

If load less than 2 kg (intermittent): +0  
If 2 kg to 10 kg (intermittent): +1  
If 2 kg to 10 kg (static or repeated): +2  
If more than 10 kg load or repeated or shocks: +3

Force/load Score = 0

**Step 15: Find Column in Table C**

The completed score from the Neck/Trunk & Leg analysis is used to find the column on Chart C

Final Neck, Trunk & Leg Score = 4

**Name:** XXXXXX XXXXXXXX **Assessor:** XXXXXXXX XXXXXXXX  
**Section:** XXXXXXXX **Task:** XXXXXXXX **Date:** dd/mm/yyyy

**FINAL SCORE:** 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

© Professor Alan Hedge, Cornell University, Nov. 2000

Rys. 6. Badanie goniometryczne i metoda RULA dla pozycji 10 w samolocie Zlin 142

4. WNIOSKI

Po przeprowadzeniu badań goniometrycznych w kabine samolotu Zlin 142 stwierdza się, że dla badanych skrajnych pozycji, jakie przyjmuje pilot na stanowisku pracy ryzyko wystąpienia obciążenia biomechanicznych jest średnie (70% badanych pozycji). W praktyce oznacza to, iż wskazane są zmiany w obrębie konstrukcji samolotu, tak by stanowisko pracy poddawane ocenie spełniało wymogi ergonomii. Przeprowadzone badania mogą posłużyć do analizy przy konstruowaniu nowych statków powietrznych w zakresie rozmieszczenia urządzeń sterowniczych w kabine samolotu. Najlepszym rozwiązaniem dla pilotów samolotu Zlin 142 (minimalizacja obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego) jest skrócenie czasu pracy na powyższym stanowisku. W celu uzyskania kompletnego obrazu omawianego problemu konieczne są dalsze badania w omawianej problematyce naukowej.

5. BIBLIOGRAFIA

[1] Franus E.: *Struktura i ogólna metodologia nauki ergonomii*, Kraków 1992.  
 [2] Horst W.: *Ryzyko zawodowe na stanowisku pracy*, Poznań 2004.  
 [3] Horst W., Dahlke G.: *Bezpieczeństwo na drogach edukacja i diagnostyka kierujących pojazdami*. Poznań 2008.  
 [4] Horst W., Dahlke G.: *Kształtowanie świadomości ergonomicznej w zakresie sposobu wykonywania pracy jako metoda unikania strat w firmie*, [w:] II Ogólnopolska konferencja z zakresu zarządzania bezpieczeństwem pracy pod hasłem: Zarządzanie bezpieczeństwem pracy warunkiem efektywnego zarządzania: Treść referatów konferencji, Białystok, 20–21.05.2003, ss. 29–43.  
 [5] Horst W., Dahlke G.: *Miejsce problematyki dolegliwości mięśniowo – szkieletowych w ergonomii*, [w:] „Udział edukacji i badań z zakresu ergonomii i bezpieczeństwa pracy w ochronie zdrowia społeczeństwa” Monografia pod redakcją J. S. Marcinkowskiego, W. M. Horst, Poznań 2006, ss. 11–19,

- [6] Horst W., Dahlke G.: *Kryteria oceny bezpieczeństwa i ergonomiczności pojazdu. Wybrane zagadnienia*, Monografia – praca zbiorowa, Wydawnictwo Instytutu Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007, ss. 72–84.
- [7] Instrukcja użytkownika samolotu Zlin 142.
- [8] Kamińska J., Sztokarski T., Liu Danuta: *Metoda oceny pozycji przy pracy z wykorzystaniem rejestracji goniometrycznej* [w:] „Bezpieczeństwo pracy” 12 (2000), ss. 20–23.
- [9] Merkisz J., Płotnicka N., Dahlke G.: *Obciążenia biomechaniczne pilota samolotu turystycznego*, [w druku].
- [10] Pacholski L.: *Ergonomia*, Poznań 1986.
- [11] Paluszkiewicz L.: *Ergonomiczne właściwości przyrządów sygnalizacyjnych i sterowniczych*, Warszawa 1975.
- [12] Płotnicka N.: *Ergonomiczne czynniki ryzyka w pracy pilota na wybranych typach samolotów*. Praca magisterska, Politechnika Poznańska, Poznań 2010.
- [13] Ziobro E.: *Ergonomia*, Wrocław 1976.
- [14] [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org) (data aktualizacji 07.12.2011).
- [15] [www.pokazylotnicze.pl](http://www.pokazylotnicze.pl) (data aktualizacji 27.02.2012).