



**ДИРЕКТОРАТ ЦИВИЛНОГ ВАЗДУХОПЛОВСТВА  
ДРЖАВЕ СРБИЈЕ И ДРЖАВЕ ЦРНЕ ГОРЕ**  
**CIVIL AVIATION DIRECTORATE  
OF SERBIA AND MONTENEGRO**



КОМИСИЈА ЗА ИСПИТИВАЊЕ УЗРОКА УДЕСА  
У ЦИВИЛНОМ ВАЗДУХОПЛОВСТВУ

**ИЗВЕШТАЈ О НЕЗГОДИ**

Авион:	Ултралаки авион PIONEER 300
Ознака регистрације:	I-6312
Корисник авиона:	Приватни
Власник авиона:	Приватни
Место незгоде:	Аеродром Ченеј, Нови Сад
Датум незгоде:	27.05. 2006. године
Време незгоде:	13,00 часова ( LT )

Београд, август 2006. године

## I ЧИЊЕНИЧНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

### 1.1 Историјат лета

Дана 27.05.2006. године, пилот (35), имао је задатак да ултралаким авионом типа PIONEER-300 S, регистарске ознаке I-6312, изврши прелет по најављеној и одобреној маршрути: Летилиште «13 мај» Земун Поље-Инђија-Каћ-LYNS, на висини 1000 ft. Полетање је извршио у 12,28 часова (LT) и летео је у групи са ултралаким авионом PIONEER-200, регистарске ознаке YU-ZBP. Након прелета Каћа, авиони су се устројили у размакнуту групу, а да би изједначили елементе, пилот је извукао стајни трап. У том поретку дошли су на разлаз за писту 82. Пилот се укључује у школски круг и као трећи у школском кругу, иде на слетање. У правцу, одржавао је брзину 110 km/h, а додир је извршио брзином од 80 km/h (IAS). После 150 m протрчавања, пилот лагано спушта нос авиона и након 1 до 2 секунде, авион почиње да скреће благо у десно. Лево крило се подиже а десно спушта према земљи, при чему пилот констатује увлачење десне ноге стајног трапа. Пилот прекида рад мотора а авион се после 100 метара, са десним крилом на земљи, зауставља, заокренут под углом од 90<sup>0</sup> у односу на правац слетања. Пилот, заједно са путником, без повреда напушта авион.

### 1.2 Повреде

У незгоди није било повређених.

### 1.3. Оштећења авиона

У незгоди су оштећени елементи стајног трапа авиона- дошло је до потпуног лома осовине леве ноге и делимичног пуцања осовине десне ноге главног стајног трапа са лакшим оштећењем околне структуре авиона као и пластичне деформације и ефективног лома навојних вретена десне и носне ноге.

### 1.4 Штета трећем лицу

У незгоди није било штете нанете трећем лицу.

## 1.5 Подаци о пилоту

Пилот (35), по занимању војни пилот, поседује дозволу пилота авиона (CPL) и дозволу пилота змаја, издату 14. 08. 2000. године, са роком важења до 10.06.2006. године.

У последњих месец дана летео је 10 сати, у последњих седам дана 7 сати, у последњих 48 сати летео је 1,15 сати а на дан удеса (у критичном лету) 32 минута. Последњу проверу у лету имао је 24.05.2006. и оглашен је способним. Укупно је на ултралаким авионима налетео 80 сати, а на типу авиона са којим је имао удес укупно 45 сати. На летење је дошао одморан, од куће.

Пилот је био квалификован за извршење повереног му задатка.

## 1.6 Подаци о авиону

Авион је типа PIONEER-300 S, регистарске ознаке I-6312, произведен 2002. године у фирми ALPI AVIATION–Италија. Серијски број авиона је 023. Авион је уписан у Регистар ваздухоплова Италије, а налази се у приватном власништву. Последњу проверу и преглед за пловидбеност, у обиму 500 часовног прегледа, авион је имао дана 09.05.2006. године у фабрици произвођача. Авион се у експлоатацији у СЦГ налази од 31.11.2005. године (претходни налет авиона у Италији износи 433,6 сати). До дана незгоде, авион је налетео укупно 522,6 сати.

Авион је опремљен мотором типа ROTAX 912 ULS, снаге 80 KS, серијски број 5.645.249 и двокраком елисом променљивог корака, произвођача IDROVARIOS-Италија. Елиса је уграђена на авион приликом последњег 500 часовног прегледа у фабрици произвођача и од тада је укупно радила 22 сата.

## 1.7 Метеоролошки услови

Време је било ведро, видљивост преко 10 км а брзина ветра приликом слетања, добијена од руководиоца летења, износила је 7-8 m/s, чеони. Метеоролошки услови нису имали утицаја на незгоду.

## 1.8 Стање на месту незгоде

Комисија је извршила увиђај на месту незгоде, непосредно након незгоде. Авион се налазио заокренут за 90<sup>0</sup> у односу на правац слетања, са десним крилом ослоњеним на земљу. Десни точак и носни точак стајног трапа су били потпуно увучени а леви точак извучен, са видљивим оштећењима.

Да би прикупила елементе неопходне за анализу узрока незгоде и анализу лома елемената стајног трапа, Комисија је дана 13.07.2006. године, у хангару аеродрома Ченеј, извршила додатни преглед авиона.

Налази овог прегледа дати су у уводном делу Прилога 2- „Анализа узрока лома елемената стајног трапа авиона PIONEER-300 S“.

## 1.9 Подаци о пожару

У незгоди није било пожара.

## 1.10 Трагање и спасавање

Након незгоде, пилот и путник су неповређени напустили авион, тако да није било потребе за акцијом трагања и спасавања.

## II АНАЛИЗА

У циљу утврђивања узрока лома елемената стајног трапа, Комисија је извршила детаљну анализу, која је дата у Прилогу 2 “ *Анализа узрока лома елемената стајног трапа авиона PIONEER-300 S*“. Такође, извршена је анализа преломних површина навојног вретена и карданског зглоба из механизма за увлачење/извлачење стајног трапа, која је дата у Прилогу 3.

## III ЗАКЉУЧЦИ

Комисија сматра да оштећења осовина главних ногу стајног трапа нису у директној узрочно – последичној вези са ломовима навојних вретена, па сходно томе, не може се поуздано тврдити који је лом пре настао.

Комисија сматра да је лом навојних вретена у механизмима десне и носне ноге проузрокован преважно недовољно великим аксијалним силама притиска које су изазвале и допунско савијање вретена, а затим и њихов ефективни лом.

Велике силе у навојном вретену се могу јавити код непотпуно извученог стајног трапа, што може бити изазвано неправилним позиционирањем и подешавањем одговарајућег микропрекидача који би зауставио рад механизма и тиме проузроковао забрављивање стајног трапа, пре него што је стајни трап извучен у прописани положај за слетање.

Динамички ефекти, тј. вишеструко поновљена слична оптерећења навојног вретена изазвана већим бројем сличних услова слетања могу да појачају ефекат овог типа оптерећења, изазивајући појаву и раст иницијалне прскотине, која се овом приликом проширила до ефективног лома.

Могуће је да је до прерасподеле оптерећења у елементима механизма, а тиме и до пораста силе у навојном вретену, дошло и услед лома осовине леве ноге.

Комисија сматра да су лом леве и оштећење десне осовине у зони завареног споја проузроковани неадекватним квалитетом завареног споја осовине са телом окова с обзиром на динамичку природу оптерећења стајног трапа.

Највероватнија је могућност да су недостаци у технолошком поступку заваривања, уз конструкциона решења, утицали на смањење динамичке чврстоће зоне споја у тој мери да је

током времена дошло до појаве иницијалног оштећења, његовог раста (десна нога) и ефективног лома (лева нога).

Комисија сматра да је, са аспекта безбедности летелице и посаде, оштећење, а посебно лом осовине главне ноге много опаснији, јер може имати озбиљне последице.

#### **IV УЗРОК НЕЗГОДЕ**

Узрок незгоде је лом елемената стајног трапа авиона услед појаве преоптерећења у фази слетања.

#### **V ПРЕДЛОГ МЕРА**

Да би се избегло да до незгоде поново дође услед истих и сличних узрока, Комисија предлаже следеће мере:

1. Да се са узроком ове незгоде упознају сви аероклубови који поседују ултралаке авионе.
2. Комисија сматра да чињеница да авион није пројектован у складу са признатим међународним пројектним захтевима за ваздухоплове захтева извесно проширење обима и поступака претполетних и периодичних прегледа виталних склопова, у односу на оно што је дефинисано у "Flight Manual" и "Maintenance Program", како би се смањио ризик од последица овако озбиљних оштећења.

#### **VI ИЗДВОЈЕНА МИШЉЕЊА**

Није било издвојених мишљења од стране чланова Комисије.

ПРЕДСЕДНИК:

мр Зоран Б. Петровић, дипл. инж. с.р.

ЧЛАНОВИ:

мр Владан Величковић, дипл. инж. с.р.  
Златко Вереш, пилот, с.р.  
Иво Блацић, дипл. инж. с.р.

**ПРИЛОГ 1**  
**ФОТОГРАФИЈЕ АВИОНА**



**ПРИЛОГ 2**

**АНАЛИЗА УЗРОКА ЛОМА  
ЕЛЕМЕНАТА СТАЈНОГ ТРАПА АВИОНА PIONEER 300**



## 1 УВОДНИ ДЕО

Представници Комисије су у два наврата прегледали оштећени авион. Први пут је то било непосредно после незгоде, а други пут 13. 07. 2006. године.

Најбитнија запажена оштећења на авиону су:

1. Потпуни лом осовине леве ноге главног стајног трапа у зони завареног споја са телом предњег окова ноге, што је изазвало оштећење околне структуре (Слике 1.1 и 1.2).



Слика 1.1



Слика 1.2

2. Делимично пуцање осовине десне ноге главног стајног трапа у зони завареног споја са телом предњег окова ноге (Слике 1.3 и 1.4), али без ефективног лома тако да је могуће увлачење / извлачење ноге.



Слика 1.3



Слика 1.4

3. Знатна оштећења склопова навојних вретена из механизма за увлачење / извлачење стајног трапа и то:

- дошло је до пластичне деформације и ефективног лома навојног вретена десне ноге на растојању од око 155 мм од споја са карданским зглобом (Слика 1.5)



Слика 1.5

- дошло је до ефективног лома навојног вретена носне ноге на око 130 мм од споја са карданским зглобом, док је цев допунски пластично деформисана (Слика 1.6)



Слика 1.6

- склоп навојног вретена леве ноге је практично неоштећен (Слика 1.7)



Слика 1.7

Комисија сматра за потребно да на почетку нагласи извод из "Flight Manual" – а. У оквиру Одељка 3.8 (стр. 18) се каже: **"This aeroplane has not been certified to an internationally recognized airworthiness standard. Users of this aircraft do so at their own risk."** Ово се може тумачити да пројекат авиона није урађен у складу са неким од међународно признатих прописа о пројектовању ваздухоплова, а сваки корисник авион употребљава на сопствени ризик или одговорност.

Претходна чињеница посебно отежава конкретне квантитативне (нумеричке) анализе уочених оштећења.

Отежавајућа околност за рад Комисије је била та што Комисија није располагала никаквом конструкционом документацијом за авион, већ се у анализама ослањала на

податке регистроване на лицу места или процењене на основу снимљених фотографија и из доступних извора. Како је оштећени авион убрзо после другог прегледа Комисије пребачен у иностранство, није било могућности да се неки неопходни подаци додатно утврде на лицу места.

Када се ради о ефективним ломовима (оштећења 1 и 3), не може се поуздано тврдити који је лом пре настао.

Може се предпоставити да би лом осовине леве ноге могао да има утицаја на преоптерећење навојних вретена у механизмима десне и носне ноге, услед прерасподеле оптерећења на стајном трапу, али то, највероватније, није основни узрок њиховог лома. С друге стране, нема сумње да лом навојних вретена није могао да утиче на лом осовине леве ноге.

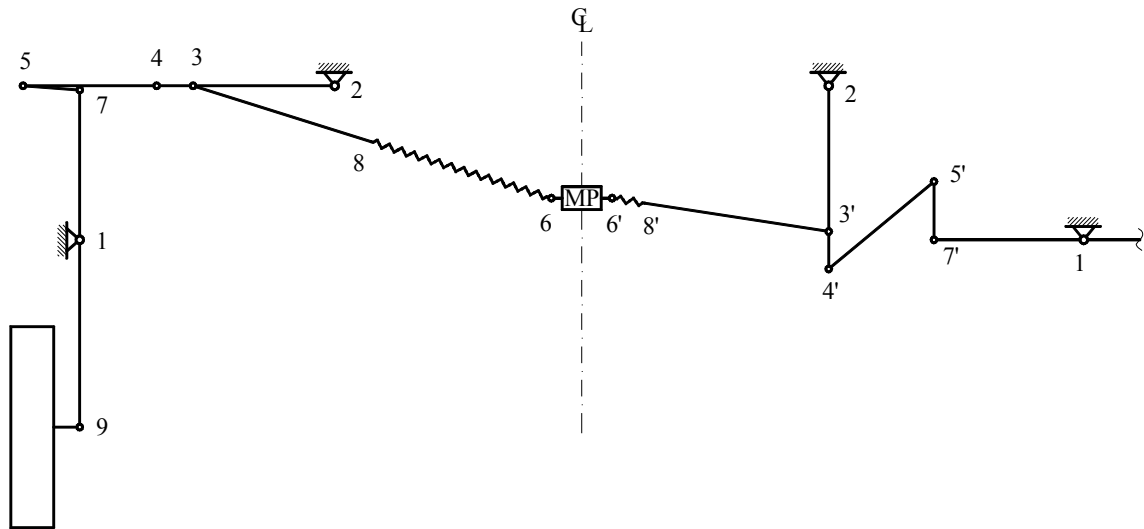
Комисија је тежиште своје активности усмерила на утврђивање највероватнијих узрока оштећења водећи рачуна и о њиховој евентуалној узрочно – последичној повезаности.

За све анализе је претходно било потребно сагледавање начина функционисања целог механизма за увлачење и извлачење стајног трапа.

## **2 ФУНКЦИОНИСАЊЕ МЕХАНИЗМА ЗА УВЛАЧЕЊЕ И ИЗВЛАЧЕЊЕ СТАЈНОГ ТРАПА**

Авион Pioneer 300 има електрични погон механизма за увлачење и извлачење (у даљем тексту механизам) стајног трапа. Електромотор механизма је каишним преносником повезан са редуктором који покреће три навојна вретена (по једно за сваку ногу), а свако навојно вретено је повезано са системом полуга који врше функцију увлачења и извлачења одговарајуће ноге стајног трапа.

На Слици 2.1 је шематски приказан део тог механизма који увлачи и извлачи главне ноге стајног трапа. На Слици 2.1 је приказана лева нога у извученом, а десна у увученом положају.



Слика 2.1

На Слици 2.1 су шематски назначени следећи елементи механизма

- М Р :– склоп мотора и редуктора,
- 3 – 6 : склоп навојног вретена који се састоји од цеви – вођице (3 – 8) фиксне дужине и навојног вретена (6 – 8),
- 2 – 4 : преносна полуга,
- 4 – 5 : полуга – гурач
- 5 – 7: ушка на главној нози и
- 7 – 1 – 9 : главна нога.

Битне тачке овог механизма су

- фиксна тачка 1: обртна оса главне ноге,
- фиксна тачка 2: везна тачка преносне полуге са структуром,
- покретна тачка 3: веза цеви навојног вретена са преносном полугом,
- покретна тачка 4: веза преносне полуге и полуге – гурача,
- покретна тачка 5: веза полуге – гурача и ушке на главној нози и
- фиксна тачка 6: кардански зглоб на вези навојног вретена са редуктором

Све ове тачке су зглобне везе, тј. од оптерећења у датој равни могу да прихвате само силе, а не и моменте. То значи да и одговарајући елементи механизма раде као штапови, односно прихватају само аксијалне силе.

На Слици 2.1 су назначене и следеће тачке:

- покретна тачка 7: шематски приказ круте везе ушке са телом главне ноге,
- покретна тачка 8: крај цеви – вођице из склопа навојног вретена и
- покретна тачка 9: шематски приказ везе осовине ноге са телом.

У склопу механизма постоје и два микропрекидача (нису приказани на Слици 2.1) који искључују електромотор када стајни трап дође у крајњи извучен, односно увучен положај. Активирање микропрекидача се врши преко испуста на преносној полузи десне главне ноге (Слика 2.2) за цео стајни трап. На Слици 2.2 је приказан положај преносне полуге за ногу у извученом положају и види се како се активира десни (горњи) микропрекидач у том положају ноге. Леви (доњи) микропрекидач се активира када преносна полуга практично дође у вертикалан положај, а тада стајни трап треба да је увучен.



Слика 2.2

Активирањем електромотора, када је стајни трап у увученом положају, долази до извлачења (продужења) навојног вретена (део 8 – 6 на Слици 2.1). То доводи до ротације преносне полуге око тачке 2 у смеру ка крају крила. Преко полуге – гурача и везе у тачки 5 долази до ротације ноге око осе обртања (тачка 1) и тек када се нога нађе у потпуно извученом положају треба да дође до активирања одговарајућег микропрекидача, прекида рада механизма и тада систем полуга и навојна вретена држе стајни трап у забрављеном положају.

Практично на истом принципу се врши и извлачење и увлачење носне ноге.

### 3 АНАЛИЗА УЗРОКА ЛОМА НАВОЈНИХ ВРЕТЕНА

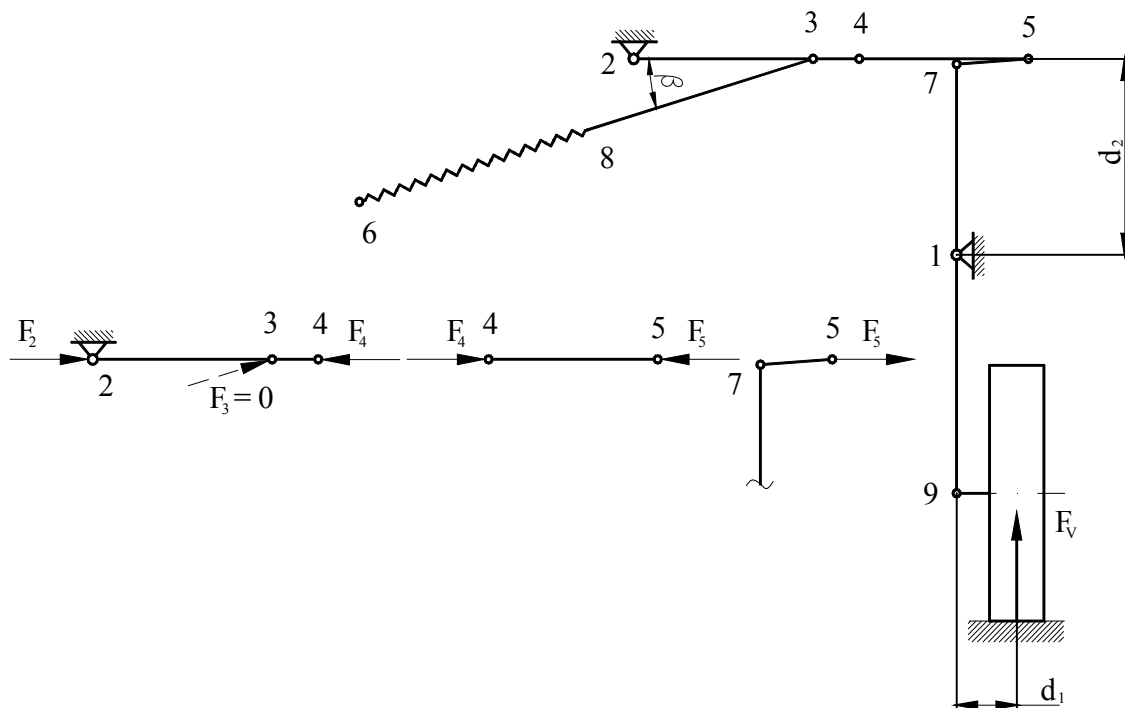
Анализа је урађена за навојно вретено у механизму главне ноге, а на основу сличне конструктивне концепције примењена је и на носну ногу.

На основу деформације (Слика 3.1, доле) и облика лома навојног вретена, а узимајући у обзир и његову зглобну везу на крајевима, може се са великом вероватноћом тврдити да је до лома дошло услед велике аксијалне силе притиска у вретену која је изазвала његово извијање, тј. попречна померања, услед чега је дошло и до допунског савијања вретена.



Слика 3.1

На Слици 3.2 је шематски приказан положај механизма за десну главну ногу када је нога у потпуности (правилно) извучена. Да приликом слетања навојно вретено не буде оптерећено потребно је да преносна полуга (2 – 4) и полуга – гурач (4 – 5) буду у истој линији, тј. да се тачке 2, 3, 4 и 5 налазе на истој правој.



Слика 3.2

Да је навојно вретено тада неоптерећено показује следећа анализа сила у елементима механизма.

Нека се при слетању на месту додира точка са тлом појави само вертикална компонента ударне силе  $F_v$  која делује на краку  $d_1$  у односу на осу обртања.<sup>1</sup>

Тада се на ушци ноге (тачка 5) јавља реактивна сила  $F_5$  која уравнотежава обртни момент, па је

$$F_5 = F_v \times \frac{d_1}{d_2} \quad (3.1)$$

Сила  $F_5$  има правац полуге – гурача, на чијем другом крају (тачка 4) делује аксијална сила  $F_4 = F_5$ , па је ова полуга оптерећена на притисак.

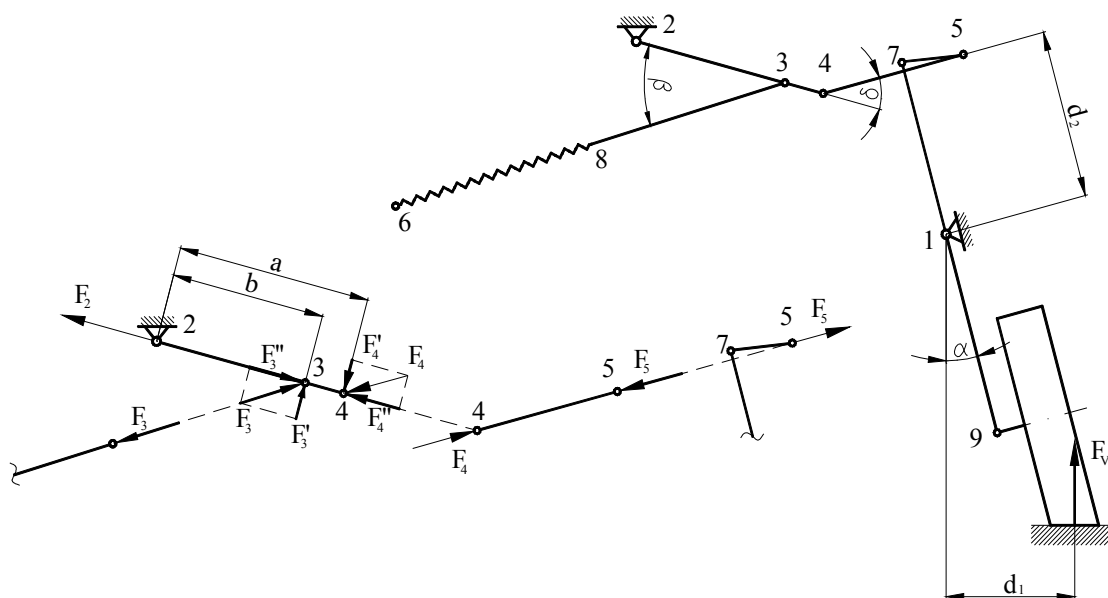
Сила истог правца и интензитета, а супротног смера, делује у тачки 4 преносне полуге дуж осе полуге. Уколико би се појавила сила  $F_3$  на вези преносне полуге и навојног вретена, она би морала да има правац навојног вретена, односно деловала би под углом  $\beta$  у односу на осу преносне полуге.

<sup>1</sup> Евентуалну хоризонталну компоненту силе удара не прихватају елементи механизма већ предња и задња веза осовине ноге, док бочна компонента силе може да погорша (ако је усмерена ка крају крила) или ублажи (ако је усмерена ка равни симетрије) ефекат дејства вертикалне компоненте.

То би изазвало појаву попречне компоненте силе на овој полузи  $F_3 \sin \beta$  која ствара обртни момент у односу на тачку 2 који ничим није уравнотежен. То значи да у тачки 3 сила не постоји ( $F_3 = 0$ ), тј. да навојно вретено није оптерећено у случају слетања.

На другом крају преносне полуге делује аксијална сила  $F_2 = F_4$ , па је и ова полуга оптерећена на притисак.<sup>2</sup>

До оптерећења навојног вретена при слетању долази уколико преносна полуга и полуга – гурач у том тренутку граде угао  $\delta$  (Слика 3.3). На Слици 3.3 приказан је положај механизма када десна нога није потпуно извучена, односно када њена оса гради са вертикалом угао  $\alpha$ .



Слика 3.3

На месту контакта точка са тлом јавља се вертикална компонента ударне силе  $F_v$ , чији момент око осе обртања ноге опет уравнотежава сила на ушци  $F_5$

$$F_5 = F_v \times \frac{d_1}{d_2}$$

<sup>2</sup> На Слици 3.2 је оса главне ноге вертикална, а оса преносне полуге и полуге – гурача хоризонтална. Ништа се не губи на општости закључка и ако се узме било који произвољан положај осе ноге и осе преносне полуге и полуге – гурача, али уз горе наведени услов да су тачке механизма 2, 3, 4 и 5 на истој правој.



Сила  $F_5$  мора да има правац полуге – гурача на чијем другом крају (тачка 4) делује аксијална сила  $F_4 = F_5$ , па је ова полуга опет оптерећена на притисак.

Сила истог правца и интензитета, а супротног смера, делује у тачки 4 преносне полуге дуж осе полуге. Ова сила може да се разложи на попречну компоненту  $F_4'$  и аксијалну компоненту  $F_4''$ .

$$\begin{aligned} F_4' &= F_4 \sin \delta \\ F_4'' &= F_4 \cos \delta \end{aligned} \quad (3.2)$$

У тачки 3 преносне полуге јавиће се таква сила која ће попречном компонентом  $F_3'$  да уравнотежи момент од силе  $F_4'$  у односу на тачку 2, па ће бити

$$F_3' = F_4' \times \frac{a}{b} = F_4 \times \frac{a}{b} \sin \delta = F_v \times \frac{d_1}{d_2} \times \frac{a}{b} \sin \delta \quad (3.3)$$

Аксијална сила дуж осе вретена је тада

$$F_3 = \frac{F_3'}{\sin \beta} = F_v \times \frac{d_1}{d_2} \times \frac{a}{b} \times \frac{\sin \delta}{\sin \beta} \quad (3.4)$$

Ова сила има и аксијалну компоненту  $F_3''$ , па ће сила на везној тачки 2 бити

$$F_2 = |F_3'' - F_4''| \quad (3.5)$$

притисна или истежућа, зависно од односа сила  $F_3''$  и  $F_4''$ .

У тачки 3 навојног вретена делује тада аксијална сила  $F_3$  која оптерећује навојно вретено на притисак.

Могуће је да конструктивно решење и кинематика механизма допуштају да се у навојном вретену индукује извесна сила и код потпуно исправног положаја ноге при слетању. Та сила је утолико мања уколико је угао  $\delta$  мањи.

Комисија је, услед недостатака података о правој геометрији механизма, анализирала оптерећење навојног вретена и за случај ако се тачка 4 у тренутку слетања нађе изнад линије која спаја тачке 2 и 5. Анализа, слична приказаним, показује да се у том случају у навојном вретену индукује одређена сила затезања која је далеко мање опасна за само вретено, јер га оптерећује само на истезање.

Код аксијално притиснутог витког штапа може да дође до извијања, односно попречних померања што је шематски приказано на Слици 3.4.



Слика 3.4

Аксијална сила проузрокује нормалне напоне притиска

$$\sigma_a = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

где је  $A$  – површина попречног пресека штапа.

У пресеку  $x$  дуж штапа јавља се допунски (секундарни) момент савијања

$$M_f = F \times f \quad (3.7)$$

који проузрокује максимални нормални напон савијања

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W} = \frac{F \times f}{W} \quad (3.8)$$

где је  $W$  – отпорни момент пресека штапа.

Када укупни нормални напон

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_f \quad (3.9)$$

превазиђе носивост материјала и / или кад попречна померања постану превелика долази до лома штапа.

Највероватније је да је индукована сила  $F_3$  у навојном вретену приликом слетања проузроковала горе описане појаве и изазвала лом навојног вретена. Природа овог типа оптерећења је таква да и чисто статичко оптерећење може да изазове описану деформацију и лом.

Узрок да се појави тако велика сила у навојном вретену, тј. да је стајни трап био непотпуно извучен, може се тражити у функционисању одговарајућег микропрекидача. Тај микропрекидач, уколико није правилно позициониран и подешен, може да прекине струјно коло електромотора и заустави рад механизма пре него што је стајни трап извучен у прописани положај за слетање.<sup>3</sup>

Слична анализа може да се направи и за носну ногу која је са својим механизмом (без навојног вретена) приказана на Слици 3.5 у потпуно извученом положају.

<sup>3</sup> У AAIB Bulletin 6 / 2006 описана је готово идентична незгода на авиону овог типа која се десила 20. 12. 2005. године. Том приликом је констатована поменута могућност неправилног позиционирања и подешавања микропрекидача.



Слика 3.5



Слика 3.6

У горњој тачки троугаоне полуге (одговара преносној полузи у описаном механизму) је веза склопа навојног вретена. У левој тачки троугаоне полуге је везана полуга – гурач, чији је други крај везан за ушку на носној ноzi. Са Сlike 3.5 се види да правац полуге – гурача "пролази" кроз ослонац троугаоне полуге на противпожарном зиду. По аналогији са описаним механизмом главне ноге, навојно вретено би требало да у том случају буде неоптерећено.

На Сlici 3.6 се види носна нога у непотпуно извученом положају. Као и код главне ноге, такав положај доводи до оптерећења навојног вретена што се може закључити на основу положаја полуге – гурача у односу на троугаону полугу.

У претходној анализи нису узети у обзир неки допунски ефекти који су могли да допринесу лому навојног вретена. Између осталог, то су:

- потпуни лом осовине леве ноге што је могло да изазове допунско неправилно оптерећење десне и носне ноге и погоршање функционисања целог механизма,
- и
- динамички ефекти, тј. вишеструко поновљена слична оптерећења навојног вретена изазвана већим бројем сличних услова слетања (имајући у виду да је авион имао око 500 сати налета и, вероватно, око 1000 слетања) која су могла да изазову појаву и раст иницијалне прскотине која се овом приликом проширила до ефективног лома.

#### **4 АНАЛИЗА УЗРОКА ЛОМА И ОШТЕЋЕЊА ОСОВИНА ГЛАВНИХ НОГУ СТАЈНОГ ТРАПА**

Комисија сматра да је до ефективног лома осовине леве ноге и озбиљног оштећења осовине десне ноге дошло из истих разлога, па су зато ова два догађаја и анализирана заједно.

С обзиром на природу ових оштећења закључак је да је дошло до преоптерећења корене зоне осовине ноге у односу на њену носивост, имајући у виду динамичку природу оптерећења стајног трапа.

У том смислу, у принципу, постоје две могућности:

1. Зона завареног споја осовине са телом окова није димензионисана у складу са пројектним захтевима за стајни трап или
2. Дошло је до појаве оптерећења на главним ногама која превазилазе ломна прорачунска оптерећења према пројектним захтевима за стајни трап.

Међутим, како авион није пројектован у складу са неким од званично признатих пројектних прописа, велико је питање за која оптерећења и на који начин је стајни трап уопште димензионисан.

Ипак, Комисија је одлучила да, ради извођења одређених закључака, направи извесну квантитативно – квалитативну анализу оптерећења (на бази пројектних захтева JAR – VLA који се у Европи углавном користе за ову категорију авиона) и носивости кореног пресека осовине.

Пошто Комисија готово да није имала дименционе податке за склоп везе ноге са структуром, као и податке о врстама и квалитету примењених материјала, анализа оптерећења и носивости зоне завареног споја у кореном пресеку осовине је урађена уз коришћење одређених претпоставки које су на страни сигурности.

##### **4.1 ОРИЈЕНТАЦИОНИ ПРОРАЧУН ОПТЕРЕЋЕЊА КОРЕНОГ ПРЕСЕКА ОСОВИНЕ ГЛАВНЕ НОГЕ**

Прорачунска оптерећења главне ноге стајног трапа су процењена према пројектним захтевима JAR – VLA, а на основу расположивих масених података за авион ( $m_{\max} = 530 \text{ kg}$ ).

Пројектни захтеви дефинишу (параграф JAR – VLA 473(e)) да се за прорачун граничних оптерећења стајног трапа користи фактор инерцијалног оптерећења  $n^3 = 2.67$ , при чему је однос силе узгона и тежине авиона (параграф JAR – VLA 725)  $L = 0.667$ .

Вертикална компонента укупне силе у тежишту авиона је

$$F = (n - L) \times mg \quad (4.1)$$

Минимална вредност ове силе се добија за граничне вредности фактора  $n$  и  $L$ , тј. за конкретан случај

$$F_{\min} = (2.67 - 0.667) \times 530 \times 10 = 1060 \text{ daN} \quad (j = 1.00) \quad (4.2)$$

Меродаван случај слетања је слетање на главне ноге са носним тачком тик изнад тла (параграф JAR – VLA 479(a)(2)(ii)) када целу силу  $F$  прихватају само главне ноге стајног трапа. Вертикална сила на осовини тачка на једној ноzi у конкретном случају би била

$$F_v = \frac{1}{2} F_{\min} = 530 \text{ daN} \quad (4.3)$$

а у овом случају се јавља и хоризонтална компонента силе на осовини тачка (ка репу)

$$F_h = \frac{1}{2} \times 0.25 \times 2.67 \times 530 \times 10 = 177 \text{ daN} \quad (4.4)$$

Прорачунске ломне вредности ових сила су

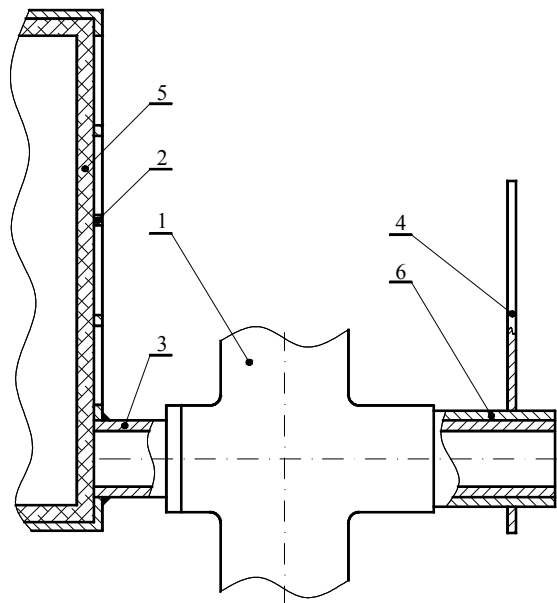
$$\begin{aligned} F_{v\text{lom}} &= 1.5 \times 530 = 795 \text{ daN} \\ F_{h\text{lom}} &= 1.5 \times 177 = 265.5 \text{ daN} \end{aligned} \quad (j = 1.50) \quad (4.5)$$

Начин везе главних ногу са структуром је "реконструисан" на основу снимљених фотографија, из доступне литературе за овај авион у верзији самоградње (ALPI AVIATION Srl – PIONEER 300 Assembly Book – PRELIMINARY EDITION – CHAPTER 2) и осталих података са Интернета. На Слици 4.1 је приказан склоп везе десне ноге, а фотографија је преузета из поменуте Assembly Book.



Слика 4.1

Склоп везе главне ноге са структуром је шематски приказан на Слици 4.2.



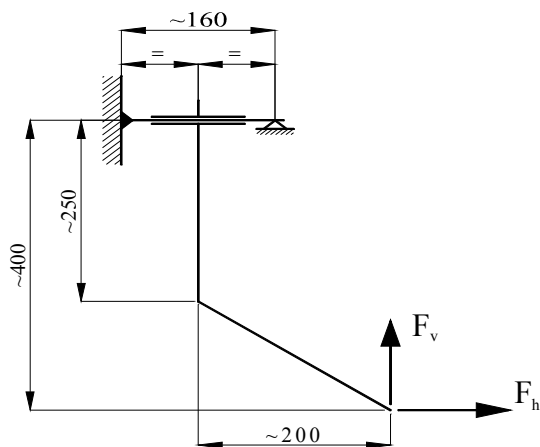
Слика 4.2

На Слици 4.2 су обележени битни елементи овог склопа:

- 1 – главна нога,
- 2 – предњи оков,
- 3 – оsovина главне ноге,
- 4 – задњи оков,
- 5 – дрвени кутијаста носач и
- 6 – чаура задњег окова.

Осовина је у корену заварена за вертикални лим предњег окова који "обухвата" кутијаста носач, док је лимени задњи оков преко вертикале везан за бочни панел трупа.

Због тога се може осовина ноге посматрати као греда укљештена на месту предње везе и слободно ослоњена на месту задњег окова, што је шематски приказано на Слици 4.3.



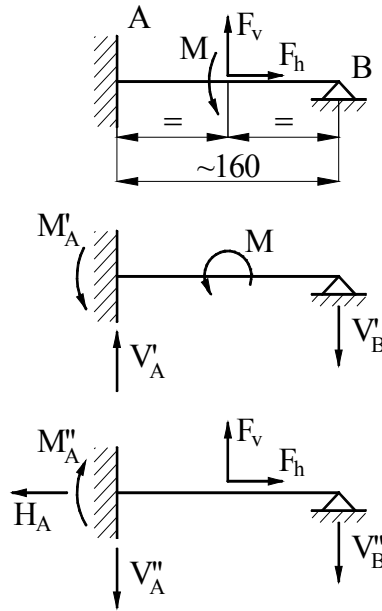
Слика 4.3

Коте на Слици 4.3 су процењене на основу доступних података.

За процену оптерећења кореног пресека осовине, обе силе у центру точка су редуковане на средину осовине главне ноге, чиме се у тој тачки добија и момент

$$M = F_v \times 200 + F_h \times 400 = 795 \times 200 + 265.5 \times 400 = 265200 \text{ daNmm} \quad (4.6)$$

За прорачун реакција ослонаца (Слика 4.4) на местима ослонаца осовине коришћени су обрасци из књиге М. Ф. Астахов "Справочнаја книга по расчету самолета на прочност" (Део III, Глава V, Таблица III. 9)



Слика 4.4

За оптерећење моментом добијају се следеће вредности реакција ослонаца

$$V'_A = V'_B = 1865 \text{ daN} \quad M'_A = 33150 \text{ daNmm} \quad (4.7)$$

док се за оптерећење од трансверзалне и аксијалне силе добија

$$V''_A = 547 \text{ daN} \quad H_A = 265.5 \text{ daN} \quad V''_B = 248 \text{ daN} \quad M'_A = 23850 \text{ daNmm} \quad (4.8)$$

Резултујућа прорачунска оптерећења кореног пресека осовине ноге су

$$V_A = 1318 \text{ daN} \quad H_A = 265.5 \text{ daN} \quad M_A = 9300 \text{ daNmm} \quad (j = 1.50) \quad (4.9)$$

#### 4.2 ОРИЈЕНТАЦИОНИ ПРОРАЧУН НОСИВОСТИ КОРЕНОГ ПРЕСЕКА ОСОВИНЕ ГЛАВНЕ НОГЕ

Као што се види са Слика 1.1 до 1.4, до лома, односно оштећења осовине је дошло у зони завареног споја осовине са телом окова. На Слици 4.5 је приказан изглед левог предњег окова после лома осовине.





Слика 4.5

Комисија је дошла до података за димензије чауре задњег окова (поз. 6 на Слици 4.2). У ALPI AVIATION Srl – PIONEER 300 Assembly Book – PRELIMINARY EDITION – CHAPTER 2 се дају њене димензије  $\Phi 45 \times 1,5 \times 30$  које се односе на спољни пречник, дебљину зида и дужину, респективно.

Одавде може да се добије спољни пречник осовине

$$D = 45 - 2 \times 1,5 = 42 \text{ mm}$$

Осовина је цевастог облика. Ако се усвоји дебљина зида  $t = 1,5 \text{ mm}$ , што одговара дебљини зида чауре, карактеристике попречног пресека су

- површина  $A = \frac{\pi}{4}(42^2 - 39^2) = 190,8 \text{ mm}^2$
- отпорни момент  $W = \frac{\pi}{32 \times 42}(42^4 - 39^4) = 1865 \text{ mm}^3$

Максимални номинални нормални напон у кореном пресеку осовине

$$\sigma = \frac{M_A}{W} + \frac{H_A}{A} = \frac{9300}{1865} + \frac{265,5}{190,8} = 6,38 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \quad (4.10)$$

Средњи номинални смичући напон у кореном пресеку осовине

$$\tau = \frac{V_A}{A} = \frac{1318}{190,8} = 6,91 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \quad (4.11)$$

Еквивалентни (идеални) нормални напон

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = 15.22 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \quad (j = 1.50) \quad (4.12)$$

На месту завареног споја осовине са телом предњег окова јавља се и концентрација напона због нагле промене пресека. Ако се усвоји да је коефицијент концентрације напона  $K = 2$ , добија се ефективни прорачунски напон у пресеку

$$\sigma_{ef} = K \times \sigma_{id} = 2 \times 15.22 = 30.44 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \quad (j = 1.50) \quad (4.13)$$

Због изабраног начина везе осовине са телом окова, а и због одговорности склопа, претпоставља се да је коришћен материјал из групе челика који се користе за израду стајних трапова. Од уобичајених челика из те групе који се испоручују у облику цеви, најниже механичке карактеристике има челик са англосаксонском ознаком AISI 4130-N AMS 6360. То је ниско легирани хром – молибден челик опште намене. Према Table 2.3.1.0 ( $c_1$ ) из MIL-HDBK, минималне механичке карактеристике цеви израђених од овог материјала су:

- затезна чврстоћа  $\sigma_m = 95 \text{ ksi} \gg 65.50 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$
- граница течења  $\sigma_{0.2} = 75 \text{ ksi} \gg 51.70 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$
- смичућа чврстоћа  $\tau_m = 57 \text{ ksi} \gg 39.30 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$

Теоријски<sup>4</sup>, заварени спојеви треба да су, по могућности, једнаке чврстоће као и основни материјал у свим условима оптерећења (статичка, динамичка, вибрациона). Али, у практичним прорачунима заварених спојева у условима статичких оптерећења усваја се да је дозвољени напон у завареном споју ( $\sigma_{dozv}$ ) нешто нижи од чврстоће основног материјала ( $\sigma_{doz}$ ), тј.

$$\sigma_{dozv} = \xi_z \times \sigma_{doz} \quad (4.10)$$

<sup>4</sup> Подаци су презентирани на основу књига: М. Трбојевић – Основи конструисања и ИТ приручник – Заваривање (Књига 3).

где фактор  $\xi_z$  зависи од типа оптерећења, поступка заваривања и облика саставка. Претпоставља се да је предметни заварени спој остварен електролучним поступком. Најнижа препоручена вредност је  $\xi_z = 0.60$ , па би у конкретном случају, у условима ломног оптерећења, дозвољени нормални напон за зону завареног споја био

$$\sigma_{\text{dozv}} = 0.60 \times 65.50 = 39.30 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \quad (4.11)$$

То значи да би теоријски резервни фактор у условима статичког оптерећења био

$$R.F. = \frac{\sigma_{\text{dozv}}}{\sigma_{\text{ef}}} = \frac{39.30}{30.44} = 1.29 \quad (j = 1.50)$$

То је вредност која би задовољавала услове статичке чврстоће овог споја.

Међутим, код променљивих оптерећења постоји много фактора који додатно утичу на смањење чврстоће завареног споја. На пример:

- Грешке технолошког поступка заваривања (укључине троске, поре у растопљеном металу шава, недостаци увара између основног и додатног материјала, ...) су додатни извори концентрације напона и предстаљају жаришта појаве прскотина при променљивом оптерећењу,
- Динамичка чврстоћа основног материјала у зони завареног споја је умањена због измене структуре,
- Чврстоћа заварених делова при променљивом оптерећењу зависи у великој мери од постојања концентрације напона. У овом случају додатни извор концентрације напона је кружни отвор у зиду окова непосредно изнад места споја осовине, а уска трака зида, која је покидана на Слици 4.2, између два отвора је доста "љигава" и својим деформацијама утиче и на деформације зоне споја.

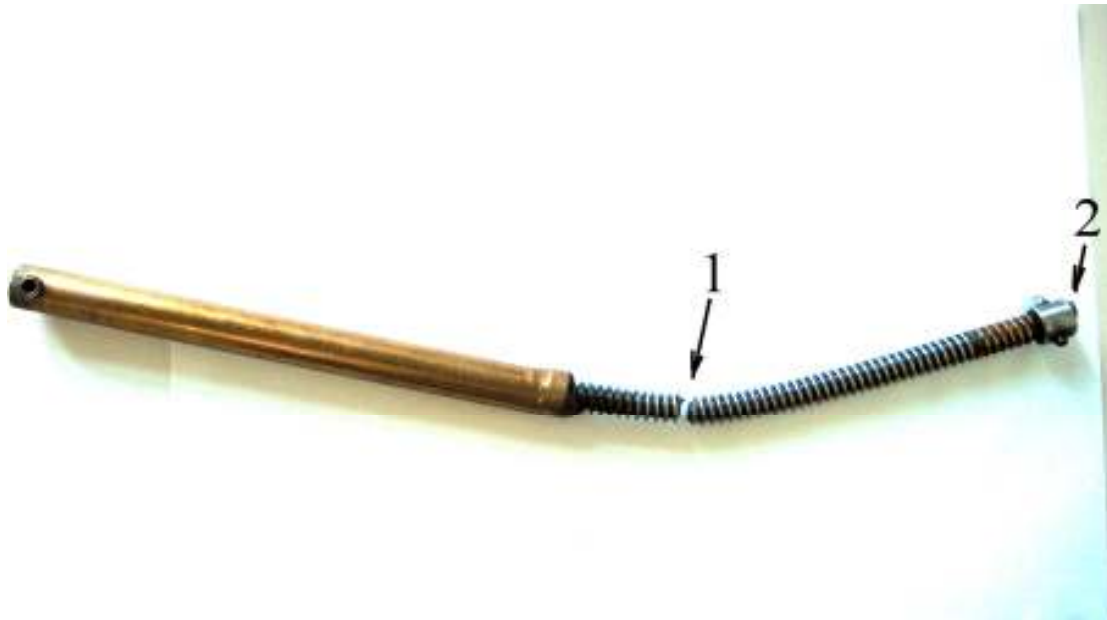
Наведени утицајни фактори на динамичку чврстоћу зоне завареног споја могли су да доведу до значајног смањења дозвољеног нормалног напона (4.11) у тој мери да буде угрожена носивост ове зоне, да дође до појаве прскотина, њиховог постепеног ширења, а на крају и до ефективног лома.

Без обзира што су коришћене одређене бројчане вредности како би се стекла слика о нивоу оптерећења и носивости, битнија је тзв. феноменолошка анализа узрока овог лома. Она се, на основу изнетих чињеница, може сажети у једној реченици: оштећење десне и лом леве осовине главне ноге стајног трапа су настали услед неадекватне динамичке чврстоће зоне завареног споја осовине ноге са телом окова.

**ПРИЛОГ 3**  
**АНАЛИЗА ПРЕЛОМНИХ ПОВРШИНА**  
**НАВОЈНОГ ВРЕТЕНА И КАРДАНСКОГ ЗГЛОБА**

## 1. АНАЛИЗА ПРЕЛОМНИХ ПОВРШИНА НАВОЈНОГ ВРЕТЕНА И КАРДАНСКОГ ЗГЛОБА ИЗ МЕХАНИЗМА ЗА УВЛАЧЕЊЕ/ИЗВЛАЧЕЊЕ СТАЈНОГ ТРАПА

Изглед поломљеног навојног вретена десне ноге приказано је на сл. 1.1.



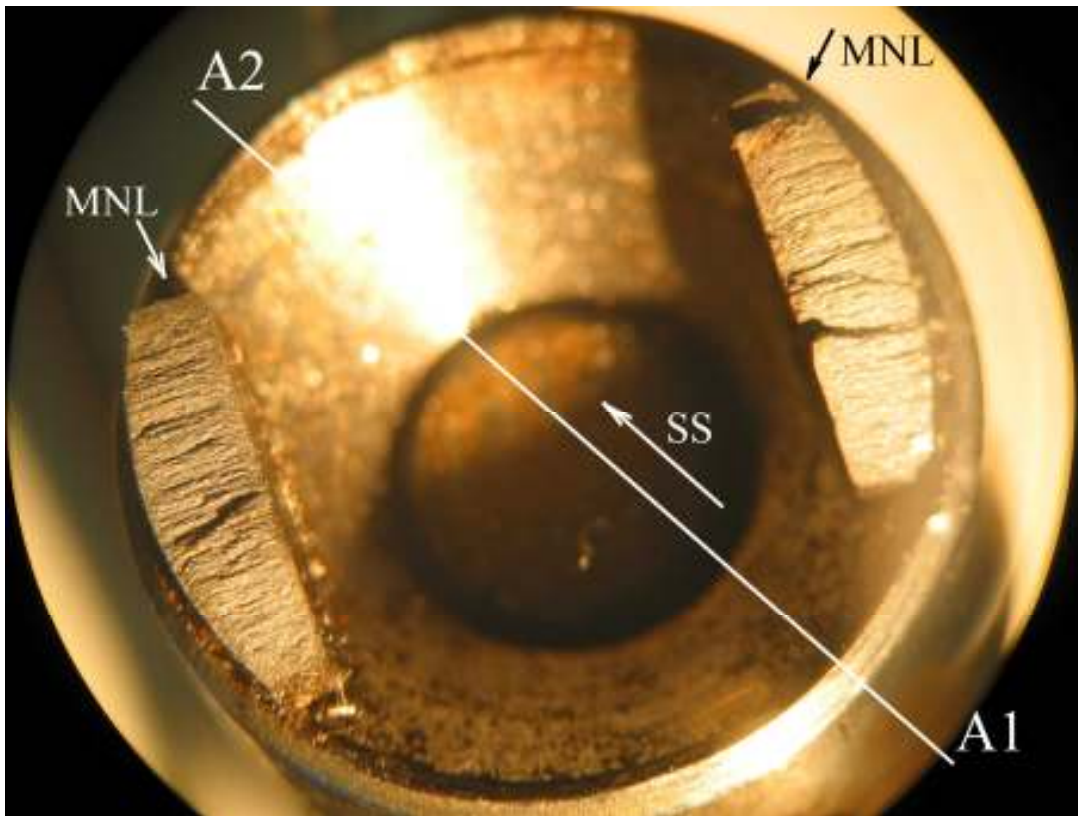
Сл. 1.1. Општи изглед поломљеног навојног вретена са делом карданског зглоба

1 - Место лома навојног вретена

2 - Место лома карданског зглоба

На сл. 1.1. јасно се види да је лому навојног вретена претходила значајна пластична деформација савијањем самог навојног вретена. Изглед поломљеног карданског зглоба приказан је на сл. 1.2. Код поломљених делова карданског зглоба није била уочљиво присуство значајније пластичне деформације.

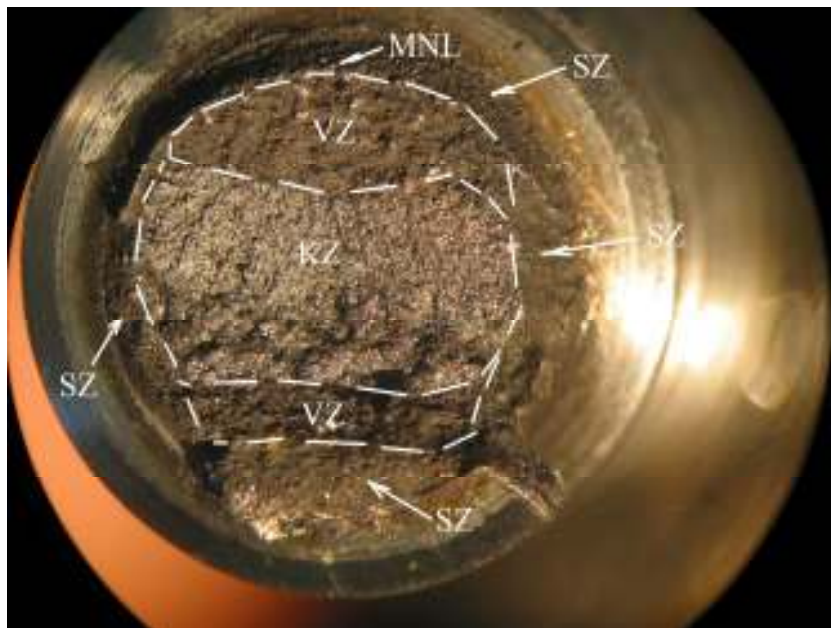
Изглед преломних површина навојног вретена приказан је на сл. 1.3. Место настанка лома MNL навојног вретена одвојено је од површине смицајном зоном SZ у подручју деловања максималних затезних напона при савијању.



Сл. 1.2. Изглед поломљеног карданског зглоба

- A1-A2 - Пројекција процењене равани највећег савијања навојног вретена
- SS - Смер савијања навојног вретена
- MNL - Место настанка лома

У почетном делу, влакнастој зони VZ, раст прслине се одвијао дуктилним механизмом. До смене механизма раста прслине долази у кристаличној зони KZ, где дуктилни механизам раста прслине прелази у крти. Поновни прелазак кртог механизма раста прслине у дуктилни, односно нестабилног раста у стабилни раст, последица је смањења стешњености деформације на врху прслине, услед деловања слободне површине на којој се завршава лом. Задњи стадијум раста прслине одговарао је смицајном механизму. Описани механизам раста прслине среће се при испитивању енергије удара, односно при једнократном савијању епрувете са нанешеним механичким зарезом. Место настанка лома и редослед промена механизма лома показују да је до лома навојног вретена дошло услед деловања једнократног савојног оптерећења. Присуство кристаличне зоне поред влакнасте зоне указују да је се лом одвијао у области прелазних температура кртости, а појава преласка кртог лома у дуктилни, да се лом одвијао изнад температуре нулте пластичности.



А) Преломна површина дела навојног вретена на коме се налазио кардански зглоб



Б) Преломна површина дела навојног вретена који је остао у цеви

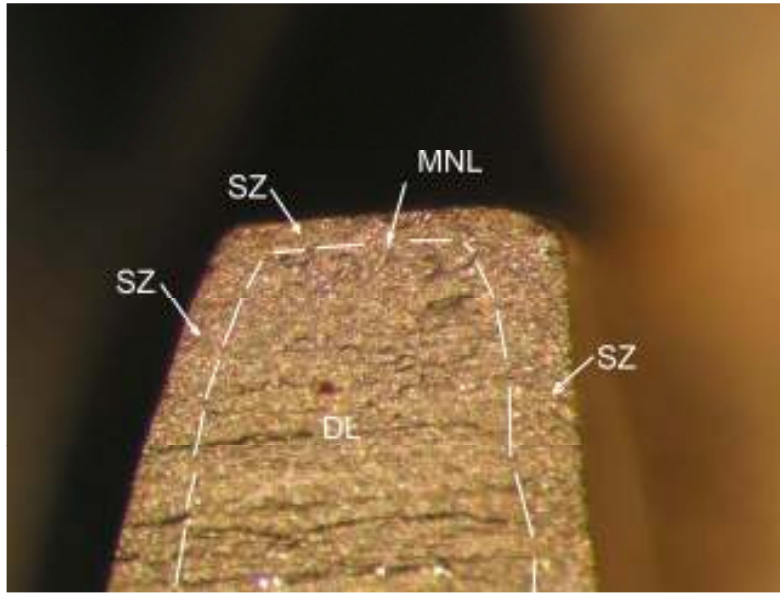
Сл. 1.3. Преломне површине навојног вретена

MNL - место настанка лома  
VZ - влакнаста зона

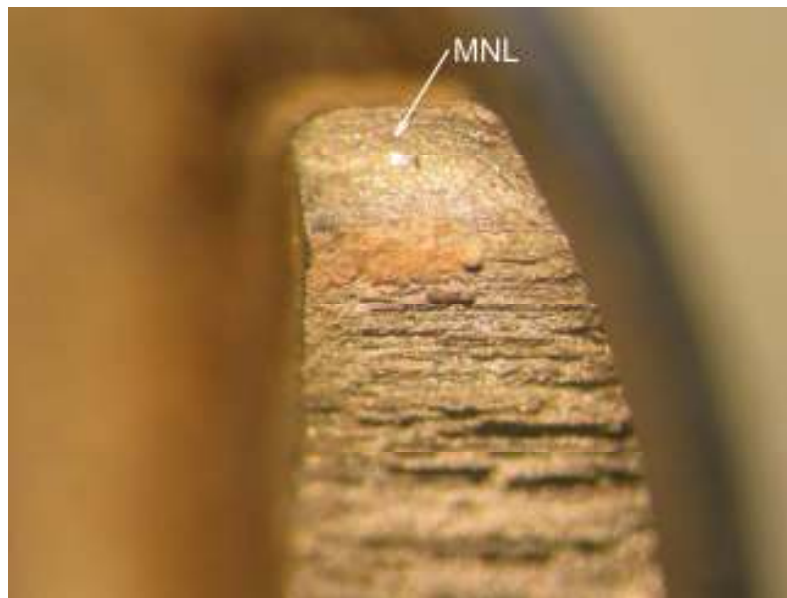
KZ - кристалична зона  
SZ - смицајна зона

Изглед поломљених делова карданског зглоба приказан је на сл. 1.4.А и 1.4.Б.





А - Леви део на сл. 1.2.



Б - Десни део на сл. 1.2.

Сл. 1.4. Преломне површине делова карданског зглоба

MNL -место настанка лома    SZ -смицајна зона    DL - дрвенести лом

Положај места настанка лома делова карданског зглоба показује да су се они савијали у супротном смеру у односу на савијање навојног вретена означено на сл. 1.2. Места настанка лома код приказаних делова налазе се у унутрањости дела и одвојени су од површине присутном смицајном зоном. Простирање радијалних гребена од места настанка лома ограничено је због појаве тзв. дрвенастог лома.

Појава дрвенастог лома указује на смањену жилавост материјала услед присуства сегрегација у материјалу. Описани распоред зона лома указује на деловање једнократнг савојног оптерећења при лому. Близина места настанка лома односно мала смицајна зона која га одваја од површине последица је смањене жилавости материјала.

## 2. АНАЛИЗА ЛОМА ОСОВИНА ЛЕВЕ И ДЕСНЕ НОГЕ

Изглед потпуно поломљене осовине леве ноге главног стајног трапа приказан је на сл. 2.1.А. До лома осовине леве ноге дошло је у подручју завареног споја са телом предњег окова ноге. На доњем делу преломне површине осовине, где делују затезни напони, није присутан метал шава. У горњем делу преломне површине осовине, где делују притисни напони, метал шава је присутан.

Изглед делимично поломљене осовине десне ноге приказан је на сл. 2.1.Б. Прслина се простирала у подручју деловања затезних напона на осовину. На сл. 2.1.Б. може се уочити да се простирање прслине одвијало непосредно уз метал шава, односно у подручју линије топљења и зоне утицаја топлоте са крупним зрном. Наведено подручје простирања прслине је типично подручје за простирање прслине код замора присутног завареног споја и присутних услова оптерећења. Стога, са доста великом вероватноћом, може се претпоставити да је до делимичног лома осовине десне ноге и потпуног лома осовине леве ноге, дошло услед појаве замора.

На појаву смањења заморног века осовина ногу, поред неадекватног односа услова оптерећења према предвиђеној конструкционој чврстоћи, могу утицати и следећи фактори:

- Грешаке у завареном споју, нпр.: превелики зајед, непровар, повећан садржај неметалних укључака, недозвољено надвишење итд.
- Затезни напона у подручју крупнозрне зоне утицаја топлоте, који могу бити до нивоа границе развлачења основног материјала,
- Висока тврдоћа и повећана кртост у крупнозрној зони утицаја топлоте,
- Повећан садржај водоника, који потиче из електроде за заваривање и појава хладних прслина у крупнозрној зони утицаја топлоте,
- Повећан садржај водоника у површинском слоју који потиче од електрохемијског наношења заштитне превлаке, која је, у овом случају, највероватније урађена од кадмијума, с обзиром на њену боју,
- Други утицајни фактори.

Побројани утицајни фактори најчешће не делују појединачно, већ кумулативно. Утицај појединих фактора зависи, како од уграђених материјала, тако и од примењене технологије заваривања. Ово није разматрано јер Комисија није поседовала одговарајућу техничку документацију.



А-потпуни лом осовине леве ноге



Б-делимични лом осовине десне ноге

Сл. 2.1. Изгледи лома осовина ногу главног стајног трапа

### 3. ЗАКЉУЧАК

1. Лом навојног вретена и карданског зглоба настао је деловањем једнократног секундарног савојног оптерећења, услед велике аксијалне силе притиска.
2. Потпуни лом осовине леве ноге и делимични лом осовине десне ноге, највероватније, имају заморни карактер у завареном споју са телом предњег окова.