



*Republika Srbija*

**AIR ACCIDENT INVESTIGATION COMMISSION  
КОМИСИЈА ЗА ИСПИТИВАЊЕ УЗРОКА  
УДЕСА У ЦИВИЛНОМ ВАЗДУХОПЛОВСТВУ**

**ИЗВЕШТАЈ О УДЕСУ  
№ АСС 6/1-01-009/2007-2/16**

<b>Авион:</b>	<b>Моторни змај APOLLO CXMD RACER</b>
<b>Ознака регистрације:</b>	<b>YU-8095</b>
<b>Корисник:</b>	<b>Приватни</b>
<b>Власник:</b>	<b>Приватни</b>
<b>Местоу деса:</b>	<b>Аеродром Биково, Суботица</b>
<b>Датум удеса:</b>	<b>28.04.2007. године</b>
<b>Време удеса:</b>	<b>17,51 ( LT) часова</b>

**Београд, мај 2007. године**

## I ЧИЊЕНИЧНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

### 1.1 Историјат лета

Дана 28.04.2007. године на аеродрому Биково, Суботица, пилот змаја (37 година), након што је направио један школски круг у трајању од 5 минута самостално, моторним змајем APOLLO CXMD RACER, регистарске ознаке YU-8095, у 17,48 часова (LT) полетео је са путником, у правцу 33, у намери да изврши десни школски круг. После 3 минута лета, након другог заокрета, на висини око 200 m, при броју обртаја мотора 5500 о/мин, долази до лома елисе. Делови елисе ударају у платно крила, оштећују га и змај, прво почиње да клиже благо у леву страну а затим постаје неуправљив. Пилот, уз помоћ путника, који је такође пилот моторног змаја, успева да успостави контролу над змајем, планира и принудно слеће на ораницу. Након 7-10 метара протрчавања, змај се сваљује на леву страну и зауставља на месту удаљеном око 1 km од осе полетно слетне стазе и 1,2 km од почетка ПСС, у смеру супротном од полетања. Пилот и путник, без повреда, напуштају змај.

### 1.2 Повреде

У удесу није било повређених.

### 1.3. Оштећења змаја

У удесу је потпуно уништена елиса, поцепано је платно (дакрон) на левом крилу змаја, у зони изнад елисе, према излазној ивици крила, а гондола (троколица) је претрпела мања оштећења.

### 1.4 Штета трећем лицу

У удесу није било штете начињене трећем лицу.

## 1.5 Подаци о пилоту

Пилот је рођен рођен је 04.06.1970.године. Поседује дозволу пилота моторног змаја број 573/14738, издату 03.02.2005. године, са роком важења до 19.01.2009. године.

Последњи лекарски преглед, пилот је имао 18.12.2006. године и оглашен је способним по критеријуму Ц, без ограничења.

У летачкој каријери до удеса, пилот има укупно 404 лета, односно 54.08 часова летења. Налет пилота у последња:

- три месеца: 4,24 часа, 23 лета
- месец дана: 2,03 часа, 10 летова
- 15 дана: 0,50 часова, 5 летова
- 7 дана: 0,50 часова, 5 летова
- 48 часова: 0,08 часова, 2 лета
- на дан удеса: 0,08 часова, 2 лета

## 1.6 Подаци о змају

Змај је типа APOLO CXMD RACER, регистарске ознаке YU-8095, произведен 04.06.2002. године у фирми HALLEY KFT. 3300 Eger, Мађарска. Серијски број змаја је 280502. Змај је увезен из Мађарске 05.06.2002. године и налази се у приватном власништву пилота. Змај је регистрован и има Потврду о пловидбености број Е-056, издату 08.09.2005. године, са роком важења до 08.09.2008. године. Змај има одобрен Програм техничког одржавања од стране Директората цивилног ваздухопловства.

Од почетка употребе до критичног лета, змај је имао 252 слетања, односно 60,07 часова лета. Двадесетпеточасовни повремени преглед змаја извршен је 10.07.2005. године а педесеточасовни повремени преглед 22.09.2006. године. Двадесетпеточасовни повремени преглед је извршио овлашћени представник произвођача, а педесеточасовни преглед-произвођач змаја.

### 1.6.1 Подаци о мотору

Мотор је типа ROTAX, модел 582, серијски број 5544448, номиналне снаге 48 KW, (6500 o/min), запремине 580,7 cm<sup>3</sup>, максималног обртног момента 75 Nm (6000 o/min). Мотор је

произведен 2002. године и од почетка употребе радио је укупно 60,07 часова. Редуктор је типа ROTAX „В“, степена преноса 1:2,58.

### 1.6.2 Подаци о елиси

Елиса је трокрака, дрвена (орак), типа Торнадо Rotax 582, серијски број 070706. Елиса је произведена 07.07.2006. године. Произвођач елисе је приватно лице. Власник змаја је елису уградио на змај почетком априла 2007. године и од тада, до тренутка удеса, елиса је радила укупно 2,33 часа. Пре критичног лета, змај је са овом елисом имао 11 летова.

### **1.7 Метеоролошки услови**

Време је било ведро, температура 24<sup>0</sup>С, влажност 13%, притисак 1019 mbar, ветар северни, брзине 13,5 km/h, видљивост преко 10 km. Метеоролошки услови нису имали утицаја на удес.

### **1.8 Стање на месту удеса**

Удес је пријавио пилот-власник змаја, дана 08.05.2007. године, девет дана након удеса. Непосредно након удеса, пилот је пронашао један одломљени крак елисе, фотографисао оштећења змаја а оштећено платно крила је упутио на оправку у фабрику произвођача змаја. Комисија је извршила ивиђај на месту удеса дана 11.05.2007. године. Змај се налазио у хангару Аероклуба „Иван Сарић“ на аеродрому Биково. У току увиђаја, Комисији су предати и делови елисе који су пронађени током потраге - један готово комплетан крак и део другог крака у зони везе са главчином (фотографија у прилогу). На тим елементима су евидентирани ломови у зони везе елисе са главчином. На нађеном краку постоји налепница са ознаком произвођача елисе: “Tornado propeller...” Истог дана, Комисија је извршила преглед радионице и обавила разговор са произвођачем елисе.

### **1.9 Подаци о пожару**

У удесу није било пожара.

### **1.10. Трагање и спасавање**

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

## II АНАЛИЗА

### 2. 1 Основне информације везане за производњу трокраке елисе

Приликом инспекцијског прегледа змаја ради утврђивања пловидбености, који је извршен дана 08.09.2005. године, на змају је била уграђена двокрака дрвена елиса типа „Торнадо РАФ 6“, серијски број 2506002. Елиса је била уграђена до краја јуна 2006. године, када је власник змаја уградио двокраку елису типа „Торнадо-Авала 7 16017“, серијски број 250506, од истог произвођача. Са овом елисом змај је имао 16,27 часова лета. Почетком априла 2007. године, власник змаја је извршио замену елисе, и уместо двокраке, уградио је трокраку дрвену елису типа „Торнадо Rotax 582“, серијски број 070706 коју је, такође, произвео исти произвођач. Од уградње до удеса, елиса је радила укупно 2,33 часа.

Све три елисе које су биле уграђене на змај имају Уверење о квалитету, које је издао произвођач, (недостаје овера Контроле квалитета), у којима се тврди:

*„...да су сви радови у току производног процеса предметне елисе, спроведени у складу са одобреном техничком документацијом и технолошким процесом, као и поступцима и стандардима за обезбеђење захтеваног нивоа квалитета, да је коришћен прописан материјал, примењена захтевана технологија, да су извршене све потребне провере и испитивања, да остварени квалитет радова и резултати испитивања задовољавају услове пловидбености за категорију и намену предметне елисе, те да је она као ваздухопловни производ способна за уградњу и коришћење на ваздухопловима...“*

Комисија је утврдила да произвођач нема, нити је икада имао, регистровану радионицу за израду ове врсте производа. Радионица већ дуже време није уопште регистрована, а у протеклом периоду је била регистрована као “Радионица за израду дрвене галантерије”.

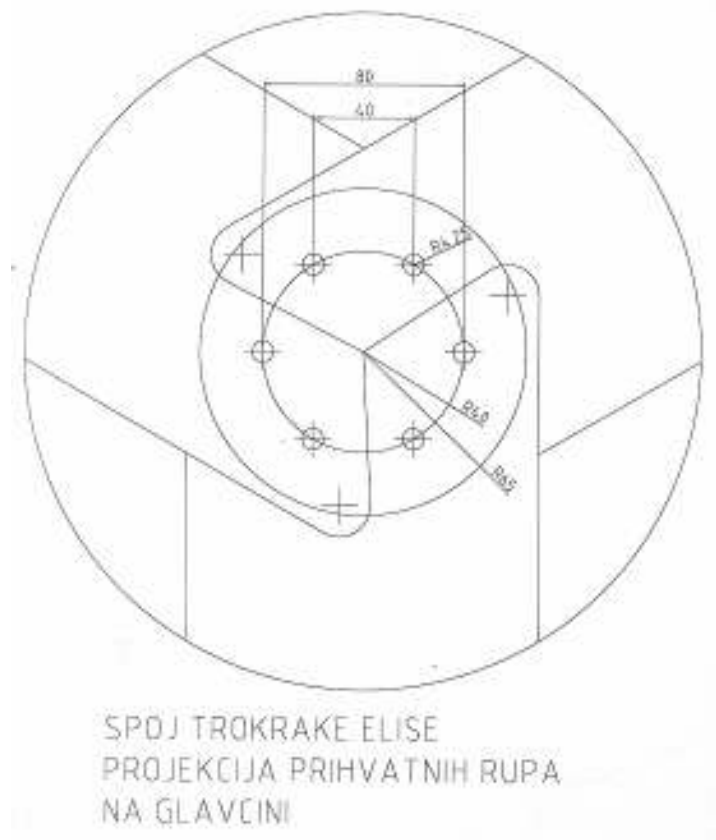
Произвођач елиса нема производно-техничку документацију за израду елиса (конструктивне и производне цртеже, документацију о технолошким процесима градње, функционалним испитивањима и извршеној контроли квалитета градње), одобрене прорачуне и одговарајуће извештаје о испитивању.

Једини цртеж који је Комисији стављен на располагање приказује шематски положај прихватних рупа за везу склопа елисе са главчином. Тај цртеж је приказан на слици 1. Произвођач је Комисији усмено објаснио технологију израде елисе, истичући да је до појединих конструктивних решења и технолошких поступака дошао проучавајући одговарајућу стручну литературу, а да су нека решења његова лична креација.

Произвођач лично не врши никакву контролу квалитета нити перформанси произведених елиса кроз одговарајући прорачун или испитивања, нити то за њега врши нека овлашћена

институција. То подразумева да се не врши ни контрола квалитета улазног материјала – дрвета, као ни готовог производа, нити се то обавља после одређених фаза израде. Према речима произвођача, он лично врши одређене провере квалитета дрвета, димензионих и масених карактеристика готове елисе.

Према личној евиденцији произвођача, од 1996. године до сада је произвео и продао 15 трокраких елиса и, према његовим речима, није било примедби на квалитет елисе.



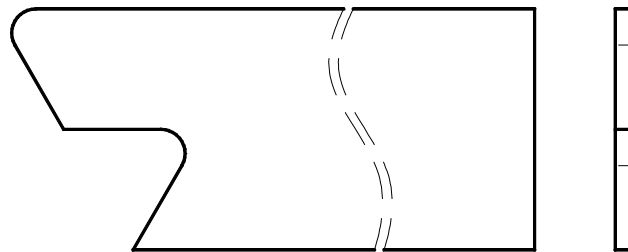
Слика 1

Према усменом објашњењу произвођача, за добијање дрвеног “блока” из кога се коначно на копирној глодалици добија трокрака, као и двокрака елиса, он користи технологију тзв. ламинације. То је уобичајена технологија која се састоји у томе да се припреми “блокови” за израду кракова елисе не израђују из једног комада дрвета, већ из више слојева одговарајуће дебљине, који се међусобно лепе да створе компактну целину.

За разлику од двокраке елисе, код које је слој за оба крака од једног комада, код трокраке елисе се припрема за сваки крак ради од посебних слојева који се “учешљавају” међусобно у централној зони споја кракова.

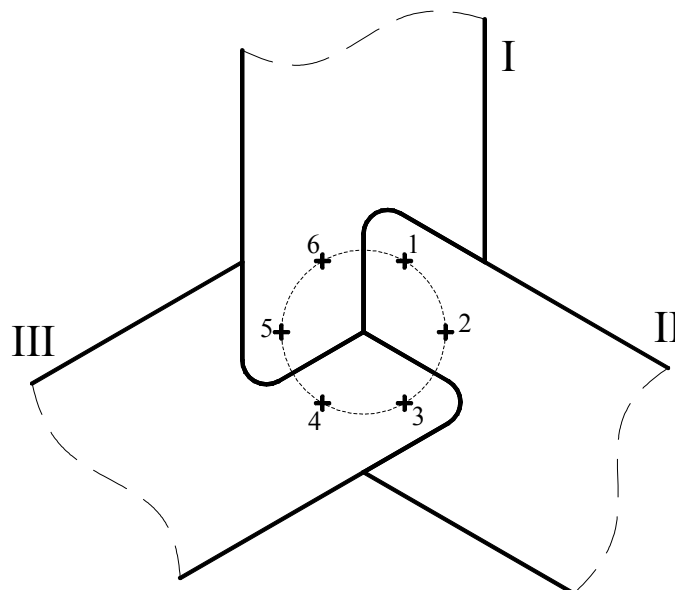
Произвођач сада користи три слоја дрвета, док је раније, што се може видети на претходно израђеним елисама, користио 5 – 6 слојева.

На слици 2 је шематски приказан један појединачни слој (корена зона је на левој страни) који се користи за израду кракова.



Слика 2

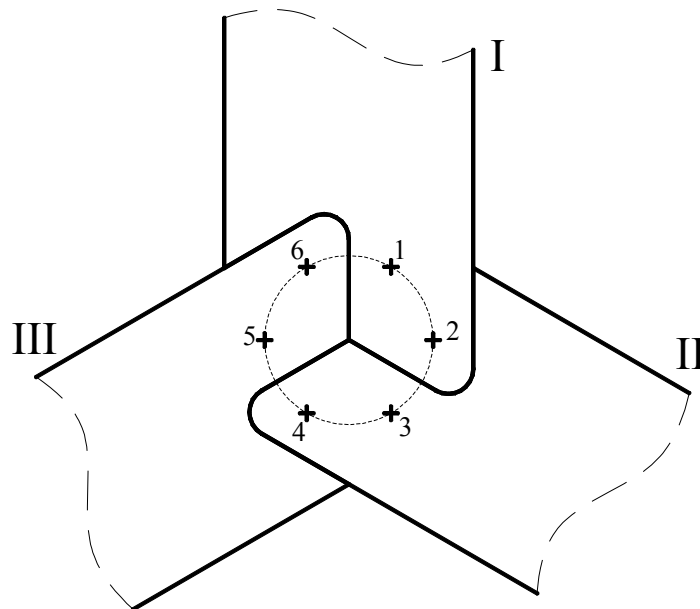
На слици 3 је шематски приказан спој једног “трокраког” слоја, односно зона везе појединачних слојева за сва три крака елисе. Належуће површине слојева кракова се међусобно лепе.



Слика 3

За формирање следећег “трокраког” слоја, одговарајући појединачни слојеви за сваки крак се окрећу за 180° око уздужне осе, постављају преко претходно формираног слоја (слика 4),

међусобно спајају лепљењем по належућим површинама и лепе као целина са претходно постављеним “трокраким” слојем.



Слика 4

Затим, следи наизменично постављање свих предвиђених слојева за добијање дрвеног “блока”. На овај начин је остварено међусобно преклапање корених зона слојева различитих кракова у зони највећег оптерећења елисе (веза са главчином).

На сликама 3 и 4 су шематски приказани, у складу са сликом 1, и положаји отвора кроз које пролазе вијци за везу елисе са главчином (ови отвори се буше тек када је елиса готова).

Према предвиђеном конструктивном решењу отвори 1 и 2 пролазе кроз слојеве кракова I и II, отвори 3 и 4 кроз слојеве кракова II и III, а отвори 5 и 6 кроз слојеве кракова III и I.

Произвођач је члановима Комисије показао једну готову трокраку елису која је израђена према описаној технологији, а чланови Комисије су видели и једну од раније произведених елиса монтираних на моторни змај на летишту “13. мај” – Земун Поље. На слици 5 је приказана зона те трокраке елисе на месту везе са главчином (недостају два вијка). Види се да распоред отвора, у принципу, одговара распореду датом на слици 1.

Такође, на слици 6 се види да је ова елиса израђена из 6 слојева, са оствареним преклапањем слојева у кореној зони.





Слика 5

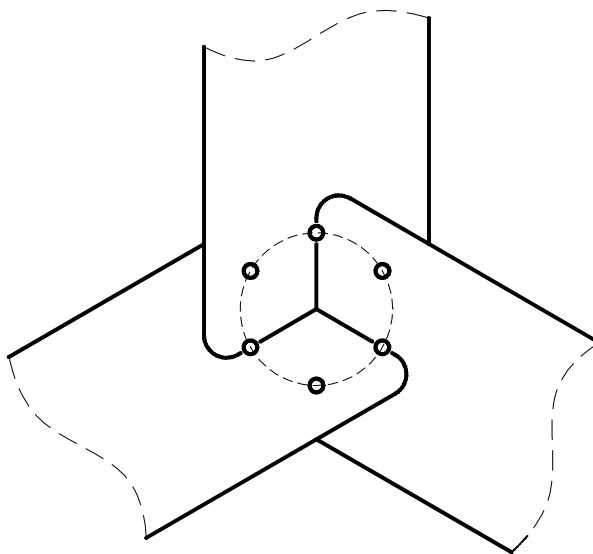


Слика 6

У односу на описани начин формирања дрвеног “блока”, произвођач је изјавио да су код свих кракова поломљене елисе, сва три слоја стављана истоветно један преко другог, односно без обртања сваког следећег слоја за  $180^\circ$  око уздужне осе. Тиме није остварено преклапање слојева различитих кракова.

Према речима произвођача, то је урадио како би избегао да се у фази обраде елисе глодањем, на површини крака елисе појави чвор, који се налазио у једном слоју крака елисе, те да је само ова елиса, од свих производних, израђена на овај начин.

Што се тиче материјала који је коришћен за израду ове елисе, произвођач је изјавио да је ова елиса израђена од ораховог дрвета, док су остале елисе израђене од јасена или комбинације бреста и јасена.



Слика 7

Комисија је установила да код поломљене елисе постоји још једна битна чињеница која је могла да итиче на њен лом а односи се на положај отвора за везу елисе са главчином. Положај тих отвора на пронађеном сегменту елисе не одговара положају дефинисаном на слици 1, већ су отвори тако “заротирани”, да три отвора пролазе тачно кроз слојеве три крака, што је шематски приказано на слици 7.

## 2.2 Анализа узрока лома елисе

Уобичајена процедура која се користи за утврђивање узрока оштећења носеће структуре летелице је, у принципу, следећа:

- сагледавање нивоа прорачунских оптерећења структуре у складу са пројектним захтевима и
- провера носивости (чврстоће) структуре за та прорачунска оптерећења.

Да би се то урадило, потребно је имати тачне податке о прорачунским оптерећењима као и комплетну техничку документацију. Из већ наведених разлога, Комисији није било доступно ништа од тих докумената.

Већ је истакнута чињеница да не постоји ни прорачунска ни експериментална потврда да елиса урађена према, условно речено, уобичајеном поступку (у даљем тексту “реперна” елиса) задовољава захтеве чврстоће. Комисија је, на основу података којима је располагала, извршила анализу утицаја наведених одступања на смањење чврстоће, односно носивости корене зоне трокраке елисе у односу на “реперну” елису.

“Реперна” елиса за ову анализу подразумева:

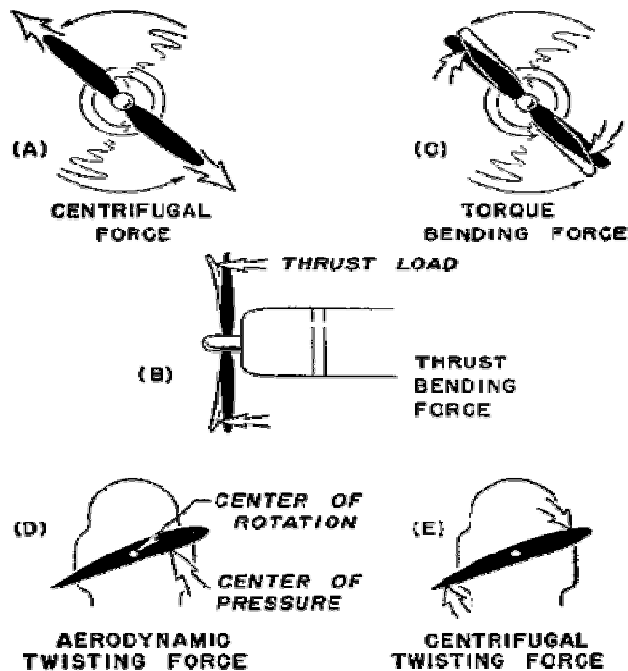
1. преклапање слојева различитих кракова,
2. отвори за вијке урађени према распореду датом на слици 1 и
3. израду елисе од јасеновог дрвета.

Анализиран је појединачни утицај сваког од претходно наведених одступања, а то су:

1. неостварено преклапање слојева различитих кракова,
2. положај отвора за вијке којима се елиса веже са главчином и
3. промена материјала (орак уместо јасена),

при чему су ти утицаји узимани у обзир квантитативно и/или квалитативно. Ради поједностављења, дата анализа је рађена за припремни дрвени блок, а не за коначан облик крака што неће утицати на закључке.

Од значаја за ову анализу су оптерећења елисе у лету. Најважнија оптерећења која делују на краке елисе су илустрована на слици 8.



Слика 8

На слици 8 оптерећења која делују на крак елисе су обележена на следећи начин:

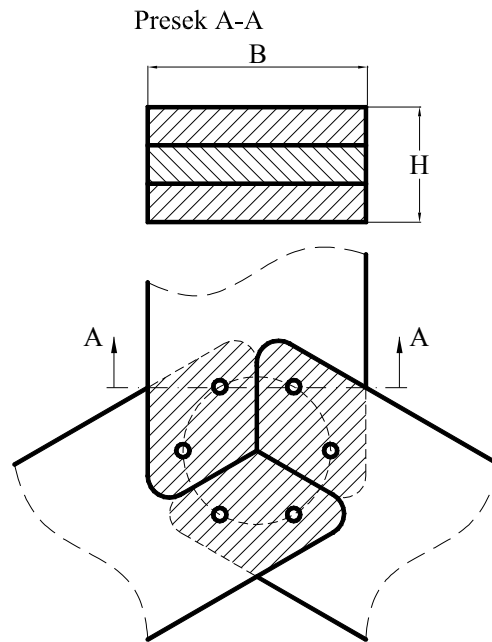
- (A) -центрифугална сила (тежи да извуче крак из главчине),
- (B)- вучна сила елисе (савија крак око осе нормалне на осу обртања елисе),
- (C) -сила отпора која настаје услед обртања елисе (савија крак око осе паралелне осе обртања елисе),
- (D) -увијање крака услед аеродинамичке силе и
- (E) -увијање крака услед тзв. центрифугалног ефекта.

Најјачи ефекат свих оптерећења се манифестује баш у кореној зони, односно у зони везе елисе са главчином, а то је зона у којој је и дошло до лома елисе.

### 2.2.1 Процена утицаја непреклапања слојева различитих кракова

На слици 9 је шематски приказана (шрафирано) зона преклапања у којој је остварено међусобно лепљење слојева кракова по додирним површинама. Уз ову врсту споја, слојеви се лепе и по чеоним додирним површинама.

Са аспекта носивости ово преклапање омогућава да се целокупно оптерећење између кракова преноси посредством лепљених спојева у овој кореној зони.



Слика 9

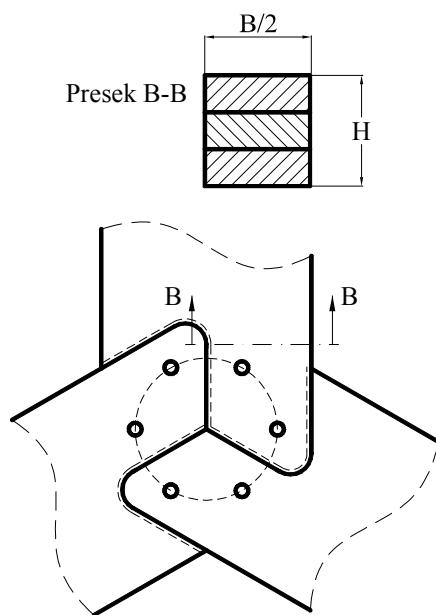
Преклапање корених зона слојева чини да цела елиса у зони везе са главчином ради, практично, као једна целина. Ова зона склопа елисе може се сматрати статички неодређеном структуром, што омогућава, у случају потребе, извесну прерасподелу оптерећења између слојева кракова у овој зони.

На слици 9 је обележен и критични пресек крака у корену. Са  $B$  је означена ширина, а са  $H$  дебљина крака “реперне” елисе.

Код елисе код које није остварено преклапање слојева, сваки крак је практично независан у погледу прихватања одговарајућих оптерећења. Једина међусобна веза кракова се остварује лепљеним спојевима по дебљини елисе на належућим површинама кракова (приказано испрекиданом линијом на слици 10).

Критични пресек оваквог крака је, практично, на почетку његовог сужења и обележен је на слици 10. Ширина крака на овом месту је  $B/2$ , а дебљина  $H$ .

У даљем тексту је дат прорачун релативног односа напонских стања за ова два критична пресека. Како не постоје подаци за елису (маса, вучна сила, ...) прорачуни су изведени у општим бројевима.



Слика 10

## 2.2.2 Утицај центрифугалне силе

Номинални нормални напон истезања у критичном пресеку “реперне” елисе услед центрифугалне силе ( $F_c$ ), је

$$\sigma_{1\text{nom}}^r = \frac{F_c}{B \times H} \quad (1)$$

У критичном пресеку се јавља и концентрација напона. Према геометријским односима и типу оптерећења из / 1 /, Fig. 57, се може проценити фактор концентрације напона  $K_1^r \gg 2.00$ , тако да је ефективни напон у критичном пресеку “реперне” елисе

$$\sigma_{1\text{ef}}^r = \frac{2F_c}{B \times H} \quad (2)$$

За исту вредност центрифугалне силе, номинални напон у критичном пресеку крака поломљене елисе је

$$\sigma_{1\text{nom}}^p = \frac{F_c}{\frac{B}{2} \times H} = \frac{2F_c}{B \times H} \quad (3)$$

И у овом пресеку се јавља концентрација напона услед постојања радијуса. Из већ поменутог дијаграма процењује се вредност фактора концентрације напона  $K_1^p \gg 2.30$ , тако да је ефективни нормални напон у критичном пресеку

$$\sigma_{1ef}^p = \frac{4.6F_c}{B \times H} \quad (4)$$

Из (4) и (2) добија се да је, услед ефеката непреклапања слојева и концентрације напона, нормални напон од центрифугалне силе у корену крака поломљене елисе 2.3 пута већи него код "реперне" елисе.

### 2.2.3 Утицај вучне силе елисе

Основно оптерећење крака услед вучне силе елисе је момент савијања у корену крака. Номинални максимални нормални напон у критичном пресеку крака "реперне" елисе је

$$\sigma_{2nom}^r = \frac{M_1}{\frac{B \times H^2}{6}} = \frac{6M_1}{B \times H^2} \quad (5)$$

За исти момент савијања, номинални максимални нормални напон у критичном пресеку сломљене елисе је

$$\sigma_{2nom}^p = \frac{M_1}{\frac{\frac{B}{2} \times H^2}{6}} = \frac{12M_1}{B \times H^2} \quad (6)$$

Што се тиче фактора концентрације напона, пошто не постоје подаци за овакав тип оптерећења и постојеће дисконтинуитете, усвојене су исте вредности као и у претходном одељку за центрифугалну силу.

Тако се добијају следећи изрази за ефективни напон "реперне"

$$\sigma_{2ef}^r = \frac{12M_1}{B \times H^2} \quad (7)$$

и поломљене елисе

$$\sigma_{2ef}^p = \frac{27.6M_1}{B \times H^2} \quad (8)$$

Из (7) и (8) добија се да је и у овом случају максимални ефективни нормални напон од вучне силе у корену крака поломљене елисе 2.3 пута већи него код реперне елисе.

У овој анализи није узето у обзир и увијање критичног пресека поломљене елисе услед положаја вучне силе крака у односу на еластични центар пресека. То увијање би још додатно оптеретило овај пресек.

#### 2.2.4 Утицај силе отпора крака

И од ове силе је основно оптерећење момент савијања у корену крака.

Номинални максимални нормални напон у критичном пресеку крака “реперне” елисе је

$$\sigma_{3\text{nom}}^r = \frac{M_2}{\frac{H \times B^2}{6}} = \frac{6M_2}{H \times B^2} \quad (9)$$

За исти момент савијања, номинални максимални нормални напон у критичном пресеку сломљене елисе је

$$\sigma_{3\text{nom}}^p = \frac{M_2}{\frac{H \times \left(\frac{B}{2}\right)^2}{6}} = \frac{24M_2}{H \times B^2} \quad (10)$$

Према геометријским односима и типу оптерећења из / 1 /, Fig. 60, се може проценити фактор концентрације напона  $K_3^r \gg 2.05$  у критичном пресеку “реперне” елисе, тако да је ефективни максимални нормални напон

$$\sigma_{3\text{ef}}^r = \frac{12.3M_2}{H \times B^2} \quad (11)$$

Из истог дијаграма процењује се вредност фактора концентрације напона  $K_3^p \gg 2.10$  у критичном пресеку поломљене елисе, тако да је ефективни максимални нормални напон

$$\sigma_{3\text{ef}}^p = \frac{50.4M_2}{H \times B^2} \quad (12)$$

Из (11) и (12) се добија да је у овом случају максимални ефективни нормални напон од силе отпора у корену крака поломљене елисе 4.1 пута већи него код реперне елисе.

### 2.2.5 Утицај увијања крака

Максимални смичући напон у правоугаоном критичном пресеку крака “реперне” елисе је (према / 2 / )

$$\tau^r = \frac{M_{\text{tor}}}{\eta_2 B H^2} = \frac{M_{\text{tor}}}{0.246 \times B H^2} \quad (13)$$

где је параметар  $\eta_2 = 0.246$  усвојен на основу односа  $\frac{B}{H} \gg 2$ .

За поломљену елису, тај напон ће бити

$$\tau^r = \frac{M_{\text{tor}}}{\eta_2 \frac{B}{2} H^2} = \frac{2M_{\text{tor}}}{0.208 \times B H^2} = \frac{M_{\text{tor}}}{0.104 \times B H^2} \quad (14)$$

параметар  $\eta_2 = 0.208$  је усвојен на основу односа  $\frac{B/2}{H} \gg 1$ .

Из (13) и (14) се добија да је у овом случају максимални смичући напон од увијања у корену крака поломљене елисе **2.3 пута већи** него код “реперне” елисе.

\*\*\*

Из дате анализе се види да су напонска стања у критичном пресеку поломљеног крака елисе код које није извршено преклапање слојева вишеструко већа него код тзв. “реперне” елисе.

**Комисија сматра да се однос напонских стања не разликује битно ни код готове (произведене) елисе и да је описани прираштај оптерећења кореног пресека могао да буде узрок лома елисе после непуне три сата рада.**

### 2.3 Процена утицаја положаја отвора за вијке

Вијци којима се елиса везује за главчину су М8, а према слици 1 отвори за вијке су пречника 8.5 mm. Вијци, у основи, прихватају обртни момент са кракова елисе. Оптерећење између вијака и елисе се преноси на додирним површинама вијка и одговарајућег отвора у главчини. Због релативно великог зазора између тела вијка и отвора у главчини, могуће је да не буду сви вијци равномерно оптерећени. Сваки отвор, у принципу, је и извор концентрације напона. Међутим, ако је отвор мали у односу на димензије плоче, тај утицај је локалног карактера и не угрожава глобалну чврстоћу плоче.

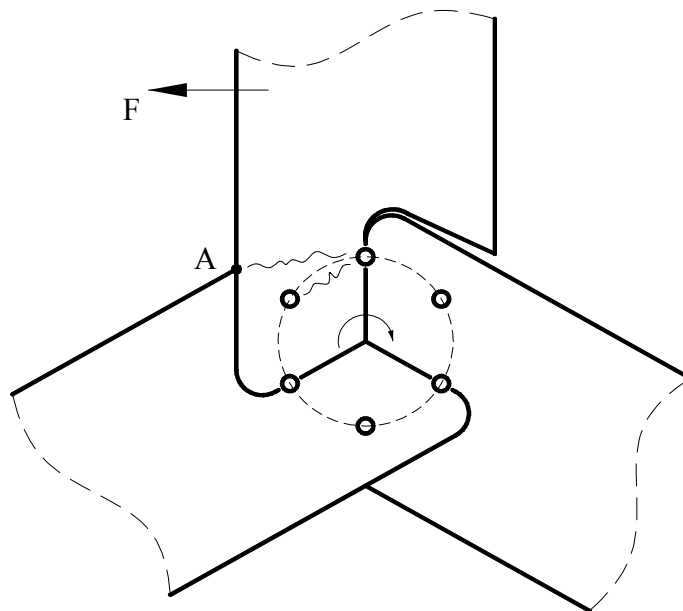


У случају зоне елисе у околини везе са главчином, код “реперне” елисе сваки отвор је релативно мали у односу на површину зоне преклапања слојева, тако да се може сматрати да евентуална концентрација напона око отвора нема битног утицаја на чврстоћу целе зоне. С друге стране, отвори су довољно удаљени међусобно да нема интеракције напонског стања око отвора.

Да су на поломљеној елиси урађени отвори у складу са захтевима са слике 1, били би испоштовани неки уобичајени конструктивни захтеви за ивичним растојањем везних елемената, иако, као што је већ речено, тада сваки крак елисе самостално прихвата оптерећења. Због релативно малог пречника отвора (8.5 mm) у односу на ширину корене зоне крака (око 70 mm), као и због растојања између отвора, може се сматрати да ови отвори не би битно смањили носивост корене зоне крака.

Оствареним положајем отвора за вијке на поломљеној елиси је постигнуто да сваки крак у критичном пресеку има по целој дебљини полукружно “удубљење” полупречника 4.25 mm. Тај полукружни зарез представља значајан извор концентрације напона за савијање и истезање у кореној зони крака. Процена пораста оптерећења у кореном пресеку крака услед тог извора концентрације напона извршена је на основу дијаграма датих на Figure 4. 1 и 4.2 у / 3 /.

На основу геометријских података произилази да тај зарез проузрокује напон који је око 3 пута већи од номиналног напона у пресеку. Ефекат овог извора концентрације напона је појачан близином другог извора (прелазни радијус на шири део крака), док десни смер обртања елисе још више потенцира ефекат ове концентрације (слика 11).



Слика 11

Пошто се елиса обрће у десну страну, сила отпора делује у леву страну и тако моментом савијања врши обртање крака око тачке А. На тај начин се врши “отварање” крака коме се једино супротставља лепљени спој на тој додирној површини два крака. Међутим, тај лепљени спој је овим оптерећен на истезање, а то је за сваки лепак неповољнији случај оптерећења него смицање. Отварање на месту полукружног зареза може да изазове додатно оптерећење које се манифестује ширењем прскотине ка суседном везном елементу или ка тачки А.

Вијци који се налазе у отворима избушеним на споју кракова су због независног рада сваког крака практично искључени из прихвата обртног момента. То аутоматски значи додатно оптерећење осталих везних елемената.

На слици 12 се виде неки од тих вијака који су остали у главчини после лома елисе. Види се да је вијак који је у првом плану видно искривљен, што је вероватно последица поменутог додатног оптерећења. Испод њега се види њему суседни вијак који није деформисан, па се може претпоставити да се он налазио на месту сучељавања два крака.



Слика 12

Преоптерећење везних елемената проузрокује и повећање напона у отворима што може да буде праћено одговарајућим прскотинама у тој зони које се врло брзо шире до пуцања корене зоне.

\*\*\*

Анализа утицаја положаја отвора код поломљене елисе показује да тако избушени отвори имају вишеструк утицај како на повећање напона у кореној зони крака тако и на повећање оптерећења вијака за везу елисе са главчином у односу на тзв. “реперну” елису.

**Комисија сматра да су описани ефекти у кореном пресеку крака поломљене елисе могли да утичу на лом елисе после непуне три сата рада.**

## 2.4 Процена утицаја промене материјала

Према доступној литератури и јасеново и орахово дрво се подједнако користе за израду дрвених елиса.

У Табели 1 су дате упоредне карактеристике за ове две врсте дрвета које су преузете из наведене литературе.

Табела 1

Дрво	Густина (kg/dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	E <sub>L</sub> (daN/mm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	Чврстоће дрвета у daN/mm <sup>2</sup> <sup>3</sup>			
			σ <sub>cL</sub>	σ <sub>cT</sub>	σ <sub>eL</sub>	σ <sub>eT</sub>
Јасен	0.56 – 0.64	1600	5 – 7	1.3	10 - 15	0.25 – 0.35
Орах	0.55 – 0.64	1100	3.5 - 5	1.1	8 - 10	0.2 – 0.25

У горњој Табели коришћене су следеће ознаке:

- E<sub>L</sub> - модул еластичности у правцу влакана,
- σ<sub>cL</sub> И σ<sub>cT</sub> - чврстоћа на притисак паралелно влакнима и нормално на влакна, респективно,
- σ<sub>eL</sub> И σ<sub>eT</sub> - затезна чврстоћа паралелно влакнима и нормално на влакна, респективно.

Из Табеле се види да са аспекта инерцијалних сила елисе нема разлике код ове две врсте дрвета због практично исте густине. С друге стране, орахово дрво има ниже карактеристике чврстоће од јасеновог дрвета. Без прецизних прорачуна напонског стања у кореном пресеку, на основу тачних оптерећења елисе, није могуће рећи да ли би ова промена материјала, уз све остале исте параметре, угрозила носивост елисе.

Међутим, Комисија сматра да ниже механичке карактеристике ораховог дрвета, уз остале анализиране ефекте, могу да допринесу да дође до лома крака елисе у кореном пресеку.

## 2.5 Коришћена литература

- / 1 / R. E. Peterson – “Stress Concentration Design Factors”
- / 2 / Д. Рашковић – “Таблице из отпорности материјала”
- / 3 / ESDU 69020 – “Elastic stress concentration factors – Geometric discontinuities in flat bars or strips of isotropic materials”
- / 4 / [www.diracdelta.co.uk](http://www.diracdelta.co.uk)
- / 5 / [www.kayelaby.npl.co.uk](http://www.kayelaby.npl.co.uk)
- / 6 / М. Гојковић – “Дрвене конструкције”

<sup>1</sup> Подаци преузети из / 4 /

<sup>2</sup> Подаци преузети из / 5 /

<sup>3</sup> Подаци преузети из / 6 /, где се дати подаци односе на групу лаганих листара где је сврстан орах, односно на групу полутешких листара где је сврстан јасен.

### III ЗАКЉУЧЦИ

- Пилот је поседовао важећу дозволу пилота моторног змаја и био је квалификован за извршење лета.
- Змај је регистрован и има важећу Потврду о пловидбености.
- Типови елиса које су биле уграђене на змај у току његове експлоатације, нису хомологовани.
- Произвођач елиса нема производно-техничку документацију за израду елиса. Чланови Комисије су се само увидом на лицу места и усменим објашњењем произвођача упознали са одређеним појединостима пројекта и уобичајене технологије израде трокраке дрвене елисе. Таква елиса се у овом Извештају назива “реперном” елисом. Комисија ни на који начин није имала за циљ да утврди да ли “реперна” елиса задовољава захтеве у погледу чврстоће.
- Комисија је на основу усмене изјаве произвођача, као и увида у стање остварено на поломљеној елиси, установила по чему се поломљена елиса разликовала од осталих произведених трокраких елиса. Те разлике су:
  - неостварено преклапање слојева различитих кракова,
  - положај отвора за вијке за везу елисе са главчином и
  - различит материјал од којег је израђена.

Произвођач тврди да остале произведене трокраке елисе одговарају “реперној” елиси.

### IV УЗРОК УДЕСА

Лом елисе због грешака насталих у процесу производње елисе.

### V ПРЕДЛОГ МЕРА

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

- Да се са узроком овог удеса упознају све пилоти моторних змајева у Републици Србији.
- Комисија је на основу извршене анализе утврдила да неостварено преклапање слојева различитих кракова и реализовани положај отвора за вијке за везу елисе са главчином, имају велики утицај на смањење носивости корене зоне трокраке елисе, што се, уз коришћење материјала са нижим механичким карактеристикама, може манифестовати прераним ломом кракова елисе у кореној зони. Треба истаћи да се утицаји свих поменутих одступања суперпонирају, па је тиме њихов ефекат израженији.

Комисија сматра да овај њен став не може да утиче на укидање привремене забране летења свим ваздухопловима који имају уграђену елису типа «Торнадо», коју је донео Директорат цивилног ваздухопловства Одлуком Бр. 2/3-02-0003/2007-002 од 10.05.2007. године. С обзиром на чињенице изнете у овом Извештају, Комисија предлаже да се укидање привремене забране донесе тек после хомологације елиса поменутог произвођача.

- У вези са конкретним удесом, уколико би “реперна” елиса била хомологована, Комисија, као прву меру пре укидања успостављене забране летења са свим елисама дотичног произвођача, предлаже преглед свих произведених трокраких елиса са посебном пажњом на остварено стање у кореној зони. На основу снимљеног стања, надлежни орган Директората цивилног ваздухопловства треба да одобри даље коришћење тих елиса.

## VI ИЗДВОЈЕНА МИШЉЕЊА

Није било издвојених мишљења од стране чланова Комисије.

ПРЕДСЕДНИК:

мр Зоран Б. Петровић, дипл.инж. с.р.

ЧЛАН:

мр Владан Величковић, дипл.инж. с.р.

ПРИЛОГ  
ФОТОГРАФИЈЕ СНИМЉЕНЕ НА МЕСТУ УДЕСА



