

EGYFORGÓSZÁRNYAS FAROKLÉGCSAVAROS HELIKOPTEREK SÚLYPONTVÁNDORLÁSI TARTOMÁNYA.

**Varga Béla egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Vezetés-és szervezéstudományi kar
Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszék**

Az egyforgószárnyas faroklégcsavaros helikopterek súlypont vándorlási tartománya a forgószárny lapátok, a forgószárny agy, és a vezérlés paramétereitől függ. A súlypont vándorlás tartományának vizsgálata mind szerkezeti, mind aerodinamikai problémákat felvet. Ebben az előadásban szeretném összefoglalni, rendszerezni és kiegészíteni ezeket az ismereteket. A probléma szemléltetése érdekében egy konkrét helikopterre (MI-8) elvégzem a súlypont, súlypont vándorlás tartományának vizsgálatát.

1. BEVEZETŐ

A helikoptereknél, ellentétben a merevszárnyú repülőgépekkel a súlypont helyzet nem befolyásolja a helikopterek statikus stabilitását. Itt a lehetséges szélső súlyponti helyzeteket a botkormány (vezérlőautomata) kiteríthetősége határozza. Természetesen ezeket a szélső súlyponti helyzeteket úgy kell megállapítani, hogy a helikopter vezető ezekben a szélső súlyponti pozíciókban is elegendő kormányzási tartalékkal rendelkezzen.

Ha a különböző rendeltetésű helikoptereket vizsgáljuk azt látjuk, hogy alapvetően a szállító helikoptereknél fontos a súlypont vándorlás tartományának a lehetőségek szerinti növelése. Harci helikoptereknél ugyanis a súlypont helyzetet csak két tényező befolyásolhatja jelentősen, a betöltött és repülés közben fogyó tüzelőanyag, illetve a függesztett fegyverzet. A fegyverzet függesztésénél általában lehetőség van a függesztő pontok súlypont közeli elhelyezésére, tehát a függesztés nem befolyásolja jelentősen a helikopter súlypont helyzetét. A tüzelőanyag tartályoknál is megoldás lehet a tüzelőanyag tartályok súlypont közeli elhelyezése. Itt problémákat okozhat,

hogy romlik a helikopter harci túlélő képessége. Széthelyezett tüzelőanyag tartályok esetén a kifogyasztási sorrend szabályozásával el lehet érni, hogy a súlypont vándorlás minimális legyen a tüzelőanyag kifogyása közben.

Szállító, vagy vegyes rendeltetésű helikoptereknél azonban a teherterbe történő rakodásnál, vagy a szállítandó személyek elhelyezésénél jelentősen nehezíti a rakodást végző személyzet helyzetét ha kicsi a helikopter súlypont vándorlási tartománya. Minden egyes szállított tárgynak pontosan ismerni kell a súlyát és a súlyponti helyzetét. Mindezeket figyelembe véve kell elkészíteni a berakodási tervet, gondosan ellenőrizve, hogy az előírt súlypont határokon belül van-e a terhelt helikopter súlypontja. természetesen ez annál bonyolultabb feladat minél kisebb lesz a rendelkezésre álló súlypont vándorlási tartomány.

2. A HELIKOPTER SÚLYPONT HELYZETE.

A helikopter súlypontját a forgószárny tengelyhez, illetve a forgószárny egy forgási síkjához képest definiáljuk. Esetünkben az 1. ábrán az "x" tengely a forgószárny egy forgási síkjának és a helikopter szimmetria síkjának metszés vonalába, az "y" tengely pedig a forgószárny tengely vonalába esik. Tehát a súlypontot ezekhez a tengelyekhez képest határozhatjuk meg. Az egyszerűség kedvéért az "y" tengelynél lefelé vesszük fel a pozitív értékeket, tehát a helikopter függőleges súlyponti helyzete mindig pozitív. A függőleges súlyponti helyzet koordinátáját ennek megfelelően "y_{sp}"-vel jelöljük. A vízszintes súlyponti helyzet megadásánál általánosan elfogadott, hogy a forgószárny tengely elé eső súlyponti helyzetet pozitívnak, a forgószárny tengely mögé eső súlyponti helyzetet pedig negatívnak tekintjük. Jele "x_{sp}". A helikopter súlypont helyzete természetesen "z" tengely irányába is elcsúszhat és ennek megfelelően értelmezhetjük "z_{sp}" koordinátát is. A gyakorlati tapasztalat azonban azt mutatja, hogy a kereszt irányú és a függőleges súlyponti helyzet az üzemeltetés során (rakodás, tüzelőanyag kifogyás) nem szokott olyan mértékben megváltozni, amely érdemben befolyásolná a helikopter repülési paramétereit. A hosszirányú súlyponti helyzet beállításánál viszont szigorúan be kell tartanunk az üzemeltetési utasítás előírásait, amely előírja számunkra a lehetséges maximális elülső és hátulsó súlyponti helyzetet. Ez azt jelenti, hogy a terhelt helikopter súlyponti helyzetének az előírt súlypont vándorlás tartományán belül kell lennie. Ez alapján a továbbiakban a helikopter hosszirányú súlyponti helyzetével foglalkozom.

2.1. A HELIKOPTER SÚLYPONT VÁNDORLÁSI TARTOMÁNYÁNAK MEGHATÁROZÁSA.

Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a helikopter függést hajt végre. A hosszirányú súlypont vándorlás tartományának meghatározásakor a helikopter egyensúlyi helyzetéből kell kiindulni. Ez azt jelenti, hogy a helikopterre ható erők és nyomatékok összege zérus lesz.

Vizsgáljuk meg a helikopterre ható "z" tengely körüli nyomatékokat:

$$M_{\text{törzs}} + M_{\text{stab}} + M_{\text{rflcs}} + M_T = 0 \quad (1)$$

- * $M_{\text{törzs}}$: a törzs nyomatéka, ez általában faroknehéz nyomatékot ad;
- * M_{stab} : a stabilizátor nyomatéka, függés közben faroknehéz nyomatékot ad;
- * M_{rflcs} : a faroklégcsavar reakció nyomatéka, előre forgó faroklégcsavarnál szintén faroknehéz nyomatékot ad;
- * M_T : a vonóerő nyomatéka, értelemszerűen orrnehéznek kell lennie a nyomatéki egyensúly megteremtése miatt. Ez a nyomaték egyensúlyozza ki az előző három nyomaték eredő nyomatékát.

Elemezzük, hogy hogyan reagál a helikopter ilyen feltételek mellett súlyponti helyzetének megváltozására.

2.1.1. Központi vízszintes csuklóval szerelt forgószárny esetén.

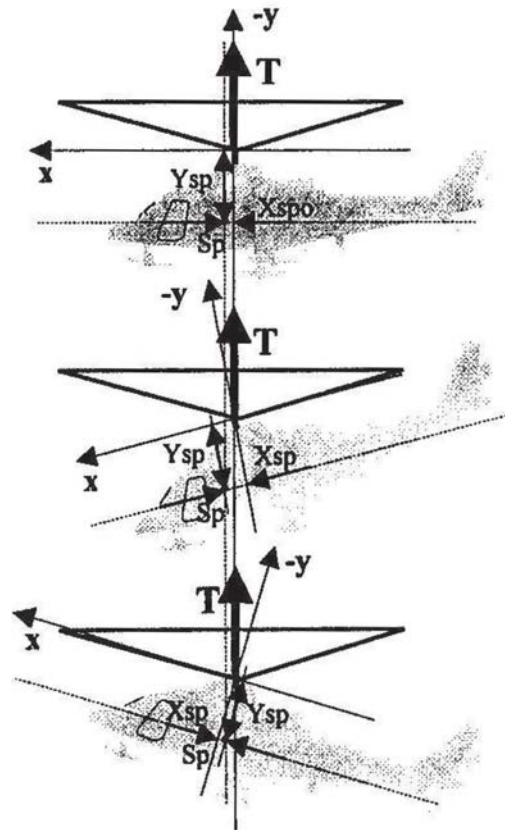
A helikopter súlyponti helyzetének megváltozásakor úgy reagál, mint egy fizikai inga. A fizikai ingának az a jellegzetessége, hogy nyugalmi állapotban súlypontja a felfüggesztő erő hatásvonalába esik. Ugyanez történne a helikopter esetében is, ha a helikopterre nem hatnának az előző bekezdésben felsorolt nyomatékok ($M_{\text{törzs}}$; M_{stab} ; M_{rflcs}). Ha ezen nyomatékok összege zérussal lenne egyenlő, akkor a forgószárny tengelyhez képesti bármely súlyponti helyzet esetében a súlypont a vonóerő hatásvonalába esne. Vagyis ez azt jelenti, hogy a helikopter törzse fog megdőlni előre, illetve hátra a helikopter súlyponti helyzetének megváltozásakor.

Nem sokat változik a helyzet akkor sem, ha a fenti három nyomaték összege nem zérus. Ebben az esetben a súlypont egy, az eredő nyomaték által meghatározott távolságra kerül a forgószárny vonóerő hatásvonalától és bármely forgószárny tengelyhez képesti súlyponti helyzetben ez a távolság változatlan marad, ha a fenti három nyomaték eredő nyomatéka változatlan

marad. Lásd 1. ábra, ahol látható, hogy a helikopter súlyponti helyzetének változásakor a súlypont a szaggatott vonalon marad. Ez a kar /a folyamatos és a szaggatott vonal közötti távolság/ teszi lehetővé a vonóerő segítségével a nyomatéki egyensúly megteremtését.

Vizsgáljuk meg az 1. ábra három helikopter rajzát. Ez a három helikopter ábra három jellegzetes helyzetet ábrázol.

A legfelső helikopternél egy optimális súlyponti helyzetet láthatunk. Ez a forgószárny tengelyéhez képest egy minimális mellső súlyponti helyzetet jelent. Gyakorlatilag ez az a súlyponti helyzet amely semleges vezérlőautomata (botkormány) helyzettel fenntartható. A törzs közelítőleg vízszintes lesz.



1. ábra

Egyforgószárnyas faroklégcsavaros központi vízszintes csuklóval szerelt helikopter viselkedése súlypont helyzetének változásakor.

HELIKOPTEREK SÚLYPONTVÁNDORLÁSI TARTOMÁNYA.

A második és a harmadik helikopter rajzon azt láthatjuk, hogy a súlypont ehhez az optimális súlyponti helyzethez képest előre, illetve hátra tolódik. A helikopter törzse ennek megfelelően a forgószárny forgáskúpjához képest előre, vagy hátra megdől. Ez természetesen csak viszonylagos, mert tulajdonképpen a helikopter vezetője dönti előre, vagy hátra a forgáskúpot a törzshöz képest a botkormány /vezérlőautomata/ segítségével, hogy a különböző súlypont helyzeteknél az egyensúlyi helyzetet fenntartsa. Már ebből is kiderül, hogy a súlypont határokat a vezérlőautomata kitérítetősége határoolja.

Nézzük meg, hogy milyen összefüggés van a helikopter súlyponti helyzete és a törzs megdőlése (vagy másként a forgáskúp törzshöz képesti dőlése) között.

Az 1. ábrát vizsgálva a következő összefüggéseket láthatjuk:

$$x_{sp} = \frac{x_{sp0}}{\cos \delta} + y_{sp} \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (2)$$

- * δ : a forgáskúp megdőlése a törzshöz képest /a vonóerő hatásvonala és az "y" tengely által bezárt szög/. Pozitívnak tekintjük δ értékét a törzs előre dőlésekor.
- * x_{sp0} : az 1. ábra első helikopter rajzán látható úgynevezett optimális súlyponti helyzet.

Mivel δ értéke kicsi így: $\cos \delta \approx 1$ és $\operatorname{tg} \delta \approx \delta$

Tehát jó közelítéssel használhatjuk a következő összefüggést:

$$x_{sp} = x_{sp0} + y_{sp} \cdot \delta \quad (3)$$

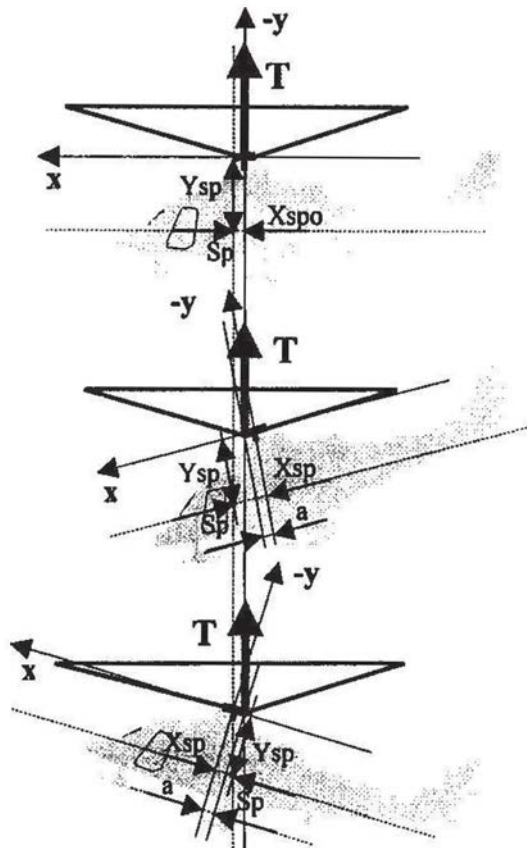
2.1.2. Széthelyezett vízszintes csuklóval szerelt forgószárny esetén.

Széthelyezett vízszintes csuklók esetén a lehetséges súlypontvándorlási tartomány nő. Ezt az okozza, hogy a vonóerő hatásvonala is eltolódik az agy középpontjából a forgáskúp megdőléseivel ellentétes irányba. A vonóerő hatásvonala és a súlypont közötti távolság ez esetben is változatlan marad a nyomatéki egyensúly fenntartása miatt, mint, ahogy az a második ábrán látható.

Vizsgáljuk meg ebben az esetben milyen összefüggés van a helikopter súlypont helyzete és a forgáskúp dőlése (δ) között.

$$x_{sp} = x_{sp0} + y_{sp} \cdot \delta + a \quad (4)$$

* a: a vonóerő támadáspontjának "x" koordinátája. Lásd a második és a harmadik ábrát..



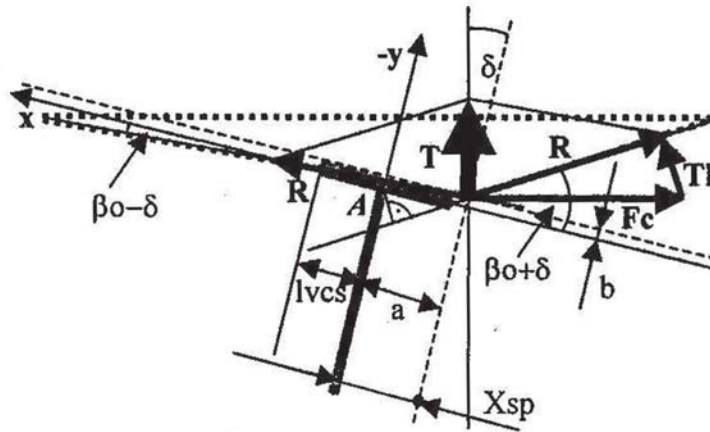
2. ábra

Egyforgósárnyas faroklégcsavaros széthelyezett vízszintes csuklóval szerelt helikopter viselkedése súlypont helyzetének változásakor.

Az "a" távolság meghatározásakor a következő gondolatmenetet követtem. Az egyszerűség kedvéért először kétlapátos forgósárnyat vizsgáltam.

Először felírtam a harmadik ábra "A" pontjára ható nyomatékokot. Tulajdonképpen ezt szoktuk nevezni a vízszintes csuklók széthelyezéséből származó nyomatéknak.

$$M_A = R \cdot l_{vcs} \cdot \sin(\beta_0 + \delta) - R \cdot l_{vcs} \cdot \sin(\beta_0 - \delta) \quad (5)$$



3. ábra

A vonóerő hatásvonalának eltolódása a forgáskúp megdöntésekor széthelyezett vízszintes csuklóval szerelt forgószárny esetén.

A trigonometrikus átalakítások után:

$$M_A = 2 \cdot F_c \cdot l_{vcs} \cdot \cos^2 \beta_0 \cdot \sin \delta \quad (6)$$

Többlapátos forgószárnyra:

$$M_A = z \cdot F_c \cdot l_{vcs} \cdot \cos^2 \beta_0 \cdot \sin \delta \quad (7)$$

Ezt a nyomatékot a harmadik ábra alapján a következőképpen is felírhatjuk:

$$M_A = T \cdot \cos \delta \cdot a - T \cdot \sin \delta \cdot b \quad (8)$$

- * M_A : a vízszintes csuklók széthelyezéséből az agy középpontjára ható nyomaték;
- * R : a forgószárny lapátra ható eredő erő (az eredő erő meghatározásánál a lapát súlyerőt nem vettem figyelembe, mivel értéke a centrifugáliserőhöz és a lapát vonóerőhöz képest elhanyagolható);
- * F_c : a lapátra ható centrifugális erő;
- * T : a forgószárny vonóereje;
- * T_1 : lapát vonóerő

VARGA BÉLA

- * l_{vcs} : a forgószárny tengely és a vízszintes csukló közötti távolság, (a vízszintes csuklók széthelyezése);
- * β_0 : a lapátok felcsapási szöge;
- * b : a vonóerő támadáspontjának "y" koordinátája, lásd a 3. ábrát.

δ és β_0 kis értékei miatt a következő egyszerűsítéseket elfogadhatjuk.
 $\cos^2 \beta_0 \approx 1$; $\sin \delta \approx \delta$; $\cos \delta \approx 1$; $T \cdot \sin \delta \cdot a \approx 0$; illetve $T \approx G$.

Az "a" távolság meghatározásakor tehát jó közelítéssel használhatjuk a következő összefüggést:

$$a = \frac{z \cdot l_{vcs} \cdot F_c \cdot \delta}{G} \quad (9)$$

A súlypont koordinátája a (4) és a (9) összefüggés alapján a következő:

$$x_{sp} = x_{sp0} + \left(y_{sp} + \frac{z \cdot l_{vcs} \cdot F_c}{G} \right) \cdot \delta \quad (10)$$

- * G : a helikopter súlya.

Mivel a forgáskúp dőlésének szöge (δ) a vezérlőautomata (botkormány) helyzetétől függ, így az elméleti szélső súlyponti helyzeteket amikor még függést lehet végrehajtani a helikopterrel a vezérlőautomata (botkormány) szélső helyzeteinek megfelelő forgáskúp dőléssel (δ) lehetne számítani a (3). vagy a (10). egyenletek segítségével a két különböző kialakítású helikopterre. Természetesen az üzemeltetési utasításokban a súlypont határokat ennél jóval szűkebben határozzák meg, hiszen mind az első, mind a hátsó súlyponti helyzetek esetében megfelelő kormányzási tartaléknak kell maradnia.

Szakirodalom szerint, lásd [Dr. Óvári Gyula: A légi járművek gazdaságosságát és manőverezőképességét javító sárkány szerkezeti megoldások.], egyforgószárnyas faroklégcsváros stabilizátorral ellátott helikoptereknél a súlypont helyzettel kapcsolatos adatokat statisztikailag elemezve a következő összefüggéssel határozhatók meg a jellegzetes súlyponti koordináták.

$$x_{sp} = y_{sp} \cdot \phi \quad (11)$$

- * Optimális súlyponti helyzet (x_{sp0}) : $\phi = 3^0$
- * Maximális mellső súlyponti helyzet (x_{spm}) : $\phi = 6^0$
- * Maximális hátsó súlyponti helyzet (x_{sph}) : $\phi = -2^0$

HELIKOPTEREK SÚLYPONTVÁNDORLÁSI TARTOMÁNYA.

ϕ értékeit természetesen radiánban kell behelyettesítenünk a (11). összefüggésbe. Konkrét típusok esetében az üzemeltetési utasításban meghatározott szélső súlyponti koordináták természetesen ettől többé kevésbé eltérhetnek.

2.2. A MI-8 HELIKOPTER SÚLYPONT HELYZETÉNEK ÉS SÚLYPONT VÁNDORLÁSI TARTOMÁNYÁNAK ELEMZÉSE.

A súlypont helyzet, illetve a súlypont vándorlási tartomány elemzéséhez első lépésben össze kellett gyűjtenem a forgószárny agyra, lapátokra és a vezérlésre vonatkozó adatokat. Ezek jelentős része fellelhető volt a helikopter műszaki leírásában, üzemeltetési utasításában, illetve néhány esetben le kellett mérnem a szükséges geometriai méreteket.

A lapát súlypont meghatározását az segítette, hogy a Műszaki Kiszolgálási Utasításban rögzítve van, hogy a le és fellapátózásnál a lapát súlyponti emelésénél mely szekciónál kell rögzíteni az emelődaru speciális lapátbefogó részét.

A vezérlőautomata (η) és a forgáskúp dőlése (δ) közötti összefüggést a forgószárny lapátok egykúpon futás beállításának tanulmányozásával lehetett meghatározni. Az egykúpon futás beszabályozásának leírásában rögzítve van, hogy a lapát beállító rudazat hosszának egységnyi megváltoztatásával a lapátvég mennyivel kerül fentebb, vagy lentebb. Teljesen mindegy, hogy a lapátvég emelkedését, vagy súlyyedését a rudazat hosszának megváltoztatásával, vagy a vezérlőautomata megdöntésével hozom létre.

A vezérlőautomata sugarának ismeretében könnyedén meghatározható, hogy a vezérlőautomata $\eta=1^\circ$ -os megdöntése milyen lapátvég emelkedést, illetve hozzá képest 180° -ra milyen lapátvég súlyyedést hoz létre. Az eredeti lapát helyzet és az új lapát helyzet közötti szög pedig pont a forgáskúp dőlését (δ) adja meg.

Az üres helikopter súlyponti helyzete $\sim +0,08\text{m}$. Ez körülbelül megfelel az optimális súlyponti helyzetnek, vagyis a helikopter ebben az esetben semleges vezérlőautomata helyzettel tud megfűggeni. Mivel a forgószárny $4^\circ 30'$ -re előre van döntve a törzshöz képest, így a törzs ennél a súlyponti helyzetnél ezzel a $4^\circ 30'$ -el hátra dől. Ez a súlyponti helyzet természetesen meg fog változni ha terheljük a helikoptert. Látszik a (10). egyenlet alapján, hogy a súlypont és a vezérlőautomata (botkormány) helyzet közötti összefüggést a helikopter felszálló súlya és a függőleges súlyponti helyzet is befolyásolja, mégpedig úgy,

hogy minél nagyobb a felszálló súly, illetve minél kisebb a függőleges súlyponti koordináta annál nagyobb lesz az egységnyi súlypont vándorláshoz tartozó szükséges vezérlőautomata (botkormány) kitérítés a helikopter egyensúlyi helyzetét feltételezve. Természetesen terheléskor mind a felszálló súly, mind a függőleges súlyponti helyzet változni fog. Feltételezve a súlypont vándorlási tartomány szempontjából a legrosszabb helyzetet, miszerint a helikopter túlterhelt állapotban, $G=120000N$ felszálló súllyal emelkedik el, valamint a függőleges súlyponti koordinátája nem nő az üres helikopteréhez képest (ez szinte kizárt, mivel a teher súlypontja az üres helikopter súlypontja alá esik) abban az esetben a következő jellemző súlyponti helyzetek és hozzá tartozó vezérlőautomata (botkormány) helyzetek adódnak.

x_{sp} (m)	0,761	0,37	0,08	-0,08	-0,666	0,873
η (fok)	5	2,13	0	-1,18	-5,48	-7
δ (fok)	7,87	3,35	0	-1,85	-8,63	-11,02
Megjegyzés	A botkormány hátsó helyzetben van, megszűnt a kormányzási tartalék.	Az üzemeltetési utasításban megengedett maximális mellső súlyponti helyzet.	Az üres helikopter (optimális) súlyponti helyzete, semleges vez.automata helyzet.	Az üzemeltetési utasításban megengedett maximális hátsó súlyponti helyzet.	A botkormány előre megy, de szélső helyzete előtt az elől lévő lapátok alsó ütközőre érnek.	A botkormány hátsó helyzetben van, megszűnt a kormányzási tartalék, szerkezeti károsodás.

1. táblázat

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Természetesen a súlypont csak az üzemeltetési utasításban megadott, az 1. táblázatban vastag dőlttel szedett tartományban mozoghat. A súlypont vándorlás ebben a tartományban a vezérlőautomata mozgás tartományának 27,5%-át igényli. Azonban tanulságos megnézni a táblázat alapján, hogy a megengedett súlypont vándorlási tartományon kívüli súlypont helyzet esetén milyen problémák adódnak. Látszik, hogy a súlypont beállításnál néhány tíz centiméteres tévedés is súlyos kormányzási és szerkezeti problémákat okozhat.

IRODALOM JEGYZÉK

- [1] -DR ÓVÁRI Gyula: Helikopter Szerkezettan I., Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1986.
- [2] -DR ÓVÁRI Gyula: A légi járművek gazdaságosságát és manőverező képességét javító sárkányszerkezeti megoldások., Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1990.
- [3] -SZELESTYEI Gyula: Áramlástan III., Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1974.

Range of wandering of the centre of gravity of single-rotary-wing and tail-propellerhelicopters depends on the parameters of the rotor wing blades, as well as of the rotor wing hubs and on the control parameters. Studying the range of wandering of the centre of gravity, the researcher has to take into consideration both structural and aerodynamical respects. The purpose of my presentation is to summarize and systematize the theory concerning the topic and also to give some additional remarks to it. In order to illustrate the theoretical question, I give the testing result of range of wandering of the centre of gravity of a particular (MI-8) helicopter.