**Békési László mk. ezredes**
Főiskola parancsnok I. helyettes

# A HELIKOPTEREK BEDŐLÉSÉNEK LEHETSÉGES OKAI GURULÁSKOR ÉS FELSZÁLLÁSKOR

## Bevezetés

A helikopter földön való gurulásakor és felszálláskor a címben szereplő szituáció alapvetően két ok miatt jöhet létre. Az egyik a keresztirányú vezérlőrendszerben történő meghibásodás, a másik a helikoptervezető helytelen vezérlési tevékenysége.

A helikopter bedőlése, sőt felborulásának valószínűsége különösen a hárompontos futóművekkel rendelkező egyforgószárnyas farokl/gcsavaros helikoptereknél nagy. Ilyen esemény bekövetkezhet a földön való nagy sebességű gurulás és forduló végrehajtásakor, felszálláskor, amennyiben a talaj nem vízszintes és egyenetlen, azaz a helikopter eleve bizonyos dőlésszöggel rendelkezik a felszállás pillanatában.

## 1. A helikopter bedőlésének vizsgálata

Az egyszerűsítés végett további vizsgálatunknál tételezzük fel, hogy a talaj egyenletes. A helikopter típusául válasszuk a MI - 8 - at.

Az 1.ábrán a helikopter a földön kiinduló helyzetben látható, a vezérlő automata síkja vízszintesen áll.

Tételezzük fel, hogy a forgószárny vonóereje azonos hatásvonalon van a helikopter súlyerejével, a faroklégcsavar vonóereje pedig zérus.

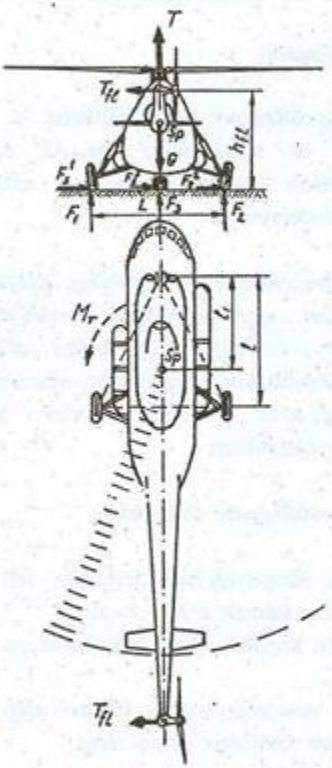
Ekkor a kerekekre ható talaj reakcióerő az

$$F_1 = F_2 = \frac{(G-T)\,l_1}{2l} \qquad (1)$$

összefüggéssel határozható meg, ahol:

T - a forgószárny vonóereje a légpárnahatás figyelembe vételével;

G - a helikopter felszálló súlya;
l - a futóművek tengelytávja;
$l_1$ - az orrfutó és a forgószárny tengelyei közötti vízszintes távolság;




1.ábra
A helikopterre ható erők és nyomatékok álló helyzetben

Tehát:

$$T_{fl}h_{fl} = \frac{(G-T)l_1 L}{2l} \qquad (2)$$

Továbbá tételezzük fel, hogy a helikoptervezető a lábkormány jobb oldali pedálját elmozditja előre, növelve ezzel a faroklégcsavar vonóerejét, melynek következtében létrejövő nyomaték a helikoptert igyekszik balra elfordítani.

A jobb kerékre ható talaj reakcióerő zérus lesz ($F_2 = 0$) abban az esetben, ha a főfutókerekek és a talaj közötti súrlódási tényező jelentős értékű ($\mu = 0.4$), így a helikopter nemfog balra elfordulni.

ahol:

$T_f$ - a faroklégcsavar vonóereje;

$h_f$ - a faroklégcsavar tengelyének függőleges távolsága a talajtól;

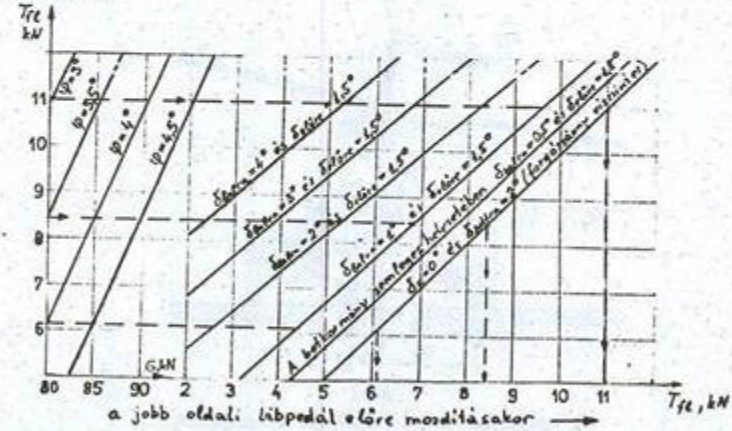
L - a főfutómű nyomtávja;

A nyomatékok egyenlőségéből meghatározható a faroklégcsavar vonóerejének ($T_f$) nagysága, melynél a helikopter a bal kerék talajjal való érintkezési pontja körül kezd elfordulni.

Azaz:

$$T_f \geq \frac{(G-T)l_1 L}{2lh_f} \qquad (3)$$

A számítások azt mutatják, hogy ( MI - 8 típusú gép adatait felhasználva: $l_1 = 3.28m$; $L = 4.5m$; $h_f = 3.7m$; $l = 4.26m$ ) a jobb kerék a forgószárnylapátok $\varphi = 3°$ közös beállítási szögénél van maximálisan terhelve, 80000N felszálló súly és a faroklégcsavar $T_f = 11000N$ vonóereje mellett.Ha $\varphi = 3.5°$, akkor $T_f \geq 8500N$, $\varphi = 4°$ mellett pedig $T_f = 6200N$ (lásd 2.ábra).



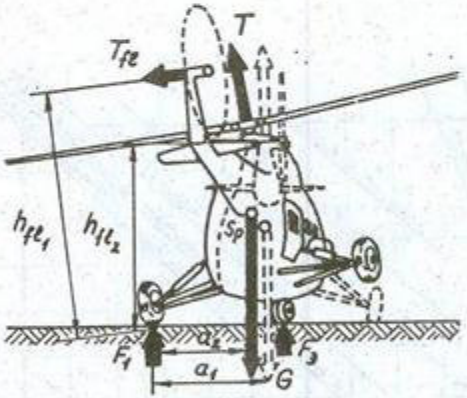

2.ábra

Nomogramm a faroklégcsavar teljes vonóerejének meghatározására amelynél a bal kerék elszakadhat a talajtól álló helyzetben, guruláskor a felszálló súly, a forgószárny közös beállítási szöge és a vezérlő automata balra való bedöntésekor (H=0, NEL viszonyai között)

A nomogrammokból látható, hogy minél kisebb a helikopter felszálló súlya és minél nagyobb a forgószárnylapátok közös beállási szöge $(\varphi)$, annál nagyobb hajlamot mutat a helikopter a balra való bedőlésre, ha a faroklégcsavar vonóerejét 5000N - tól 10000N -ig változtatjuk.

Ha a helikoptervezető idejében nem téríti ki a botkormányt ( a vezérlő automatát), akkor a helikopter bedőlési szögének növekedésével növekszik a bedöntő nyomaték és a továbbiakban már csak a botkormány kitérítése nem elegendő a helikopter bedőlésének megszüntetésére.

A balra - előre való bedőlés folyamatában ( lásd 3.ábrát ) a forgószárny vonóerejének bedöntő nyomatéka ( változatlan botkormány kitérés mellett ) majdnem állandó marad, a faroklégcsavar vonóerejéből származó bedöntő nyomaték viszont növekszik $(h_{fl_2} > h_{fl_1})$. A helikopter súlyerejéből származó nyomaték, - mely ellentétes irányú az előbbi két nyomatékkal - csökken annak következtében, hogy az erő karja csökken $(a_2 < a_1)$.




3.ábra
A helikopterre ható erők és nyomatékok
balra - előre való bedőlés estén

Amennyiben, ekkor a forgószárny vonóereje ( a vezérlő automata bedöntött helyzetéből adódóan ) meg van dőlve balra, az eredmény az lesz (2.ábra ) , hogy a helikopter bedőlési szöge növekszik. A faroklégcsavar vonóereje pedig - melynél a jobb futókerék elszakadhat a földtől - csökken.

Ezen kívül a helikopter balra - előre történő bedőlésének kedvez, ha a helikoptervezető a botkormányt balra illetve előre elmozdítja, valamint a balra elfordult orrkerék, puha vagy csúszós talaj, jobboldali oldalszél, a talaj balra való lejtése. Ilyen esetekben a helikopter még erősebben bedőlhet, sőt a jobb kerék a talajról felemelkedhet.[1.,2.]

A MI - 8 típusú helikopter egyenletes és vízszintes talajon, gurulás és felszállás közben akkor is bedőlhet, ha helytelenül kapcsoljuk be a robotpilótát.

Itt a következő hibák fordulhatnak elő:

a.) A bal oldali helikoptervezető AGB - 3K műhorizontjának és az AP - 34B robotpilótának helytelen bekapcsolási sorrendje. A helikoptervezetőtől megkövetelik, hogy a hajtómű beindítása és a forgószárny felpörgetése után először a műhorizontot kapcsolja be, majd ezután a robotpilótát. Amennyiben ezt a sorrendet szigorúan betartjuk, úgy a fentebb említett bedőlést kiküszöbölhetjük.

Néha azonban esetleg sietés és figyelmetlenségből adódóan a hibás bekapcsolási sorrend előfordulhat.

Vegyük például: a helikoptervezető úgy véli, hogy a műhorizont AZSZ kapcsolója a bal felső kezelőpulton bekapcsolt állapotban van, majd az egyeztető gomb benyomása után a bal oldalon bekapcsolja a műhorizont kapcsolóját és ezt követően rögtön a robotpilótát, annak dőlés és bólintási csatornáját.

Mivel ilyen esetben még a műhorizont girofüggőlegese még nincs függőleges helyzetben ( a botkormány semleges illetve közel semleges helyzetében ) olyan jelet ad a robotpilótának, ami hamis bedőlésnek felel meg. A robotpilóta így igyekszik ezt a hamis bedőlését a helikopternek kiküszöbölni és kitéríti a vezérlő automatát. Ekkor a műhorizont mutatói is elmozdulnak általában egészen az ütközőig.

Általában a műhorizont AZSZ kapcsolójának bekapcsolása után az AGB girofüggőlegese körülbelül 1 perc múlva foglalja el függőleges helyzetét és a műszer mutatói a semleges helyzetet felveszik.

Ha ez idő alatt nem növeljük a közös beállítási szögét a forgószárnylapátoknak, akkor sem gurulásnál sem felszállásnál veszélyes bedőlése a helikopternek nem lesz.

Más szóval az említett példa analóg azzal, ha kikapcsolt műhorizontnál a robotpilótát bekapcsoljuk, vagy ha a műhorizont meghibásodott. Ebben az esetben a kikapcsolt illetve meghibásodott AGB - től a robotpilóta olyan jelet kap, amelynek eredményeképpen az a vezérlő automatát igyekszik kitéríteni függetlenül a botkormány helyzetétől.

b.) A másik előfordulható hiba az, hogy a robotpilóta bekapcsolásának pillanatában a botkormány a semleges helyzetétől 50 mm - nél jobban ki van térítve. Bár a helikoptervezető számára ez szigorúan a rá vonatkozó utasításban nincs előírva, azonban mégis ügyelnie kell ilyenkor a botkormány semleges helyzetére.

Ez a hiba mégis bekövetkezhet ha még nincs megfelelő gyakorlata a helikoptervezetőnek a botkormány semlegesben tartására és ilyenkor észre sem veszi, hogy a semlegestől a botkormányt elmozdította ( kezdő helikoptervezetőknél ).

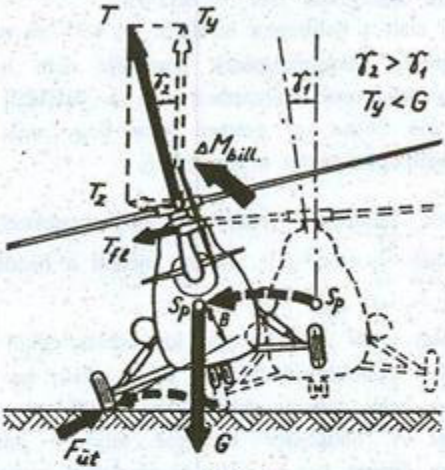
Ezen kívül ismert az a tény, hogy a begyakorlott mozdulatokat a helikoptervezető átviheti egyik helikopterről a másikra, átképzések alkalmával ( pl. MI - 1 - ről vagy MI - 4 - ről MI - 8 - ra ).[3.,5.]

Ha a botkormány kitérített helyzetében az automatikus trimmer nyomogombját benyomjuk, a botkormányon kormányerő nem lesz és ebben a helyzetben marad. A robotpilóta ilyenkori bekapcsolása esetén a botkormány helyzetét semlegesnek tekinti. Sőt a robotpilóta indikátorai semleges helyzetet mutatnak mind a dőlés mind a bólintás szerint.

A botkormány ebből a helyzetéből semleges helyzetbe való visszaállítása a vezérlő automata további kitérítését eredményezi és a robotpilóta indikátorai egészen vészhelyzetig kitérnek a dőlés és a bólintás szerint is.

Ilyenképpen a helikoptervezetői hibák és a műhorizont meghibásodása a vezérlő automata kitérítését eredményezheti, amely főleg az egyforgószárnyas faroklégcsavaros helikopterekénél veszélyes lehet.

A forgószárnylapátok közös beállítási szögének növelése már $\varphi = 4°$ - ig az előbb felsorolt esetekben a helikopter jelentős bedőlését okozza arra az oldalra amelyre a vezérlő automata síkja meg van dőlve ( 4.ábra )




4.ábra
A helikopterre ható erők és nyomatékok
a ütal kerék hozzáütődésekor

Ez a bedőlés intenzív lefolyású, ha a közös beállítási szöget energikusan növeljük, valamint hirtelen történő botkormány és lábpedál elmozdításnál.

A számítások azt mutatják, hogy a helikoptert balra - előre bedöntő eredő nyomaték nem túlságosan nagy és a szögsebessége sem több $2 - 3\,{}^{1}/_{s}$ *-nál*. A helikoptervezető így bármely pillanatban megszüntetheti a helikopter bedőlését a botkormány elmozdításával, amennyiben a dőlésszög még a $\gamma = 6°$ - ot nem haladta meg.

Képzeljük el, hogy a helikopter bedőlésének kezdetekor a helikoptervezető mindössze 1 sec. időtartamra figyelmét valami más köti le. Ezalatt az idő alatt a dőlésszög $\gamma = 6°$- ig növekedett (5.ábra 12sec.). Ezután veszi észre, hogy a helikopter folyamatosan egyre jobban bedől. A helikopter helyzetének megállapításához szükséges átlagos idő 1.0 - 1.35sec. ( a továbbiakban vegyünk kereken 1sec -ot ). Ha ehhez hozzáadjuk a

cselekvés eldöntésének idejét 0.1sec - ot, a reakció időt 0.1sec - ot, a botkormány elmozdításához szükséges időt 0.5sec., a helikopter reakció idejét 0.3sec., mindez összegében 2sec - ot tesz ki.

Ezalatt az idő alatt a helikopter bedőlése $\gamma = 9°$ - ra növekszik. Ezen kívül, ha a robotpilóta bekapcsolásának sorrendje nem helyes ( sőt, ha meghibásodott vagy kikapcsolt helyzetben van a baloldali mühorizont ) növekszik ez az idő. Ebben az esetben nem hogy nem segít, hanem fordítva, zavarja a helikoptervezetőt a vezetésben.

Hárompontos futóművel rendelkező helikoptereknél, mint ezt a számítások is mutatják $\frac{T}{G} = 0.5 - 0.9$ viszony mellett a bedőlés határértéke nem haladja meg a $\gamma = 6°$ - ot.

Ha a bedőlés $\gamma > 6°$, a helikoptert kimozdítani ebből a helyzetből csupán a botkormány elmozdításával lehet. Főleg akkor, ha a bedőlésnek szögsebessége is van balra, ugyanis ekkor még a helikopter tehetetlenségét is le kell győzni. A helikopter bedőlése teljesen jobbra kitérített botkormánynál olyan érzetet kelt a helikoptervezetőben mintha a vezérlő rendszer meghibásodott volna.

Ebben a szituációban az sem segít, ha kikapcsoljuk a robotpilótát, sőt még jobban be fog dőlni a helikopter balra - előre. Ugyanis a robotpilóta kikapcsolásának pillanatában a helikopter helyzete dőlésszög és bólintási szög szerint, valamint a botkormány helyzete és a vezérlő automata helyzete nem felelnek meg egymásnak. Így egy plusz impulzust kap a forgószárnykúp, mégjobban megdől és vele együtt a forgószárny vonóerejének hatásvonala is $(\Delta M_{bal} = F_{ai} B)$.

Ez tovább növeli a helikopter dőlésszögét. Ha el is emeljük ujból a helikoptert - a közös beállási szög további gyors növelésével másodszor is a talajhoz ütődhet a bal kerék ( 4.ábra ), ez azonban már a helikopter kb. $\gamma = 20°$ bedőlt helyzetben történik és a helikopter energikusan tovább dől, leereszti a törzs orrrészét és a dőlés irányába el is fordul.

További ismételt talajhoz ütődéskor a bal kerék a lengéscsillapító működése következtében elemelkedhet a földtől, azonban a helikopter ekkor

már kormányozhatatlanná válik és a felborulását gyakorlatilag alig lehet megakadályozni.

Tehát világos, hogy bedőlt helikopterrel nem érdemes a repülést megkezdeni.

A másik lehetőség ( azaz a közös beállási szög csökkentése ) kevésbé veszélyes. Azonban itt is néhány sajátosságot mindig figyelembe kell venni. Az egyforgószárnyas helikoptereknél a bedőlés elleni harc a közös beállási szög csökkentésével körülbelül 22° - os bedőlési szög értékig eredményes. Ennél a bedőlési szög értéknél a forgószárny lapátok végei a Föld felszinével érintkezhetnek.

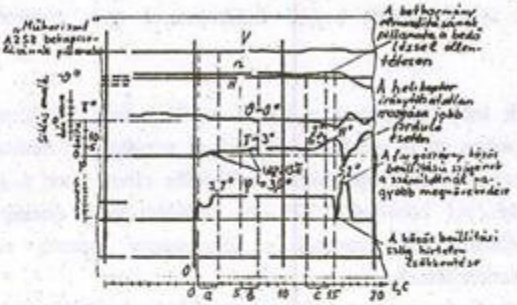
Az azonnali és gyors csökkentése a közös beállítási szögnek ( 5.ábra 15. sec. ) $\gamma > 10°$ - nál azt eredményezi, hogy a helikopter hirtelen a jobb kerékre ereszkedik.[4.]

Ilyen esetben a fülkében ülő helikoptervezető meginogva, akaratán kívül beléphet a jobb pedállal előre és ismételten növelheti a közös beállítási szöget ( 5.ábra 16.sec. ), ha az egyesített gázkar nincs rögzítve.

Ennek eredményeképpen a helikopter el kezd fordulni jobbra. Amikor működni kezd a jobb futó lengéscsillapítója, a helikopter újból balra bedől, az elfordulás pedig a helikopter felborulását segítheti elő.

A gép jobb kerékre való hirtelen leeresztése esetén megszünhet a forgószárny kiegyensúlyozottsága, következésképpen kialakulhat a talajrezonancia tipusú lengése a helikopternek. Innen pedig az következik, hogy a közös beállítási szög hirtelen csökkentése nem ajánlatos. Ezen kívül a közös beállítási szög egyidejű csökkentésével a lábpedálokkal balra be is kell lépni.

Azokban az esetekben, amikor a helikopter gurulás közben kezd bedőlni valamelyik oldalra, azért hogy felborulását megakadályozzuk célszerű a bedőlés irányába a lábpedállal belépni, azaz a helikopter balra dőlésénél a bal pedált előre, jobbra dőléskor a jobb pedállal belépni.



5.ábra
A helikopter mozgásának paraméter
értékei a SZARPP - 12D alapján

A helikoptervezetők tevékenységének elemzése és a tapasztalat azt mutatja, hogy a helikopter gurulásakor a bedőlés megakadályozása céljából még mielőtt a közös beállítási szöget növelnénk, meg kell győződni a robotpilóta üzemképességéről a botkormány semleges helyzetében ( vagy ahhoz közeli helyzetben ), a műszeren a mutatók szintén semleges helyzetben kell hogy legyenek, és a műhorizont bekapcsolásától számítva legalább 1 perc elteljen.

A forgószárnylapátok közös beállítási szögének növelésekor 4° - ig figyelemmel kell kisérni a helikopter földhöz viszonyított helyzetét.

Amennyiben a helikopter valamelyik oldalra igyekezne bedölni, ezt a törekvést rögtön korrigálni kell a botkormány kitérítésével, úgy hogy a bedőlési szög $\gamma = 5°$ - nál nagyobb értékre ne tudjon megnövekedni.
A bedőlés helyesbítését célszerűbb impulzusszerű trimmeléssel megoldani. Ez a módszer a leghatásosabb, mivel ebben az esetben a robotpilóta szinte segít a helikoptervezetőnek és ami még nagyon fontos, hogy a robotpilóta hatása ebben az esetben a legkisebb még akkor is, ha meghibásodott volna.

Abban az esetben ha a helikoptervezető késlekedik a bedőlést helyesbíteni és a helikopter teljesen kitérített botkormány állásnál is folytatja a bedőlést, a kigurulást és felszállást abba kell hagyni. E célból

azonnal, de nem hirtelen csökkenteni kell forgószárnylapátok közös beállítási szögét, főleg akkor ha a bedőlés a $\gamma = 10°$ - ot meghaladja.

Ilyenképpen a helikopter bedőlése guruláskor és felszálláskor akkor nem jelent különösebb veszélyt, ha a helikoptervezető ismeri az általa üzemeltetett gép aerodinamikai sajátosságait és időben és helyesen működteti a vezérlő szerveket.

## Felhasznált irodalom

[1] - Bodner B. A., Szisztyemi upravlenyija letatyelnimi apparatami, Masinosztrojenyie, Moszkva, 1973.

[2] - Martinov A. K., Ekszperimentálnije iszledovánija po aerodinámike vertoljota, Masinosztrojenyie, Moszkva, 1972.

[3] - Romasyevics V. F., Szamoljov G. A., Praktzicsesykaja aerodinámika ve.toljotov, Voennoe izdátyelsztvo minyisztyersztva oboroni, Moszkva, 1980.

[4] - Szamoljov G. A., Nakrenyenyie vertoljota pri viruliványiji, Aviacija i koszmonavtyika, Voenizdat, 1975/5 26 - 28 oldal.

[5] - Szelestey Gy., Helikopter aerodinamika, főiskolai jegyzet, MN. KGYRMF, Szolnok, 1974.