

Dr. Békési László¹

AZ EGY-FORGÓSZÁRNYAS FAROK-LÉGCSAVAROS HELIKOPTEREK IRÁNYÍTHATATLAN FORGÁSA FÜGGÉSKOR, AZ ELFORDULÁS SZÖGSEBESSÉGÉNEK HATÁRÉRTÉKEI

BEVEZETÉS

Az egy-forgószárnyas farok-légcsavaros helikopterek függési üzemmódján találkozhatunk a függőleges tengely körüli spontán elfordulás jelenségével.

Azoknál a helikoptereknél, amelyeknél a forgószárny forgásiránya felülről nézve az óramutató járásával megegyezik, az irányíthatatlan elfordulás jelzése a helikopter balra való elfordulásában nyilvánul meg.

Bizonyos szögsebesség esetén a jobb pedál teljesen az ütközőig való elmozdítása sem elegendő ahhoz, hogy megállítsuk a forgást, amely $\omega = 0,6 \div 1, 1/\text{sec}$ szögsebességgel folytatódik.

A helikopter kivétele ebből a függőleges tengely körüli forgásból akkor sikerülhet, ha a botkormány előre való elmozdításával áttérünk haladó repülésre, azaz áttérünk a forgószárny tengelyirányú átáramlási üzemmódjáról a ferde átáramlási üzemmódra, illetve (ha a helikopter külső terhet visz) a teher ledobásával.

A helikopter függőleges tengely körüli irányíthatatlan forgásának vizsgálatának egyik módszere az, hogy megvizsgáljuk az útirányú egyensúly grafikonjait.

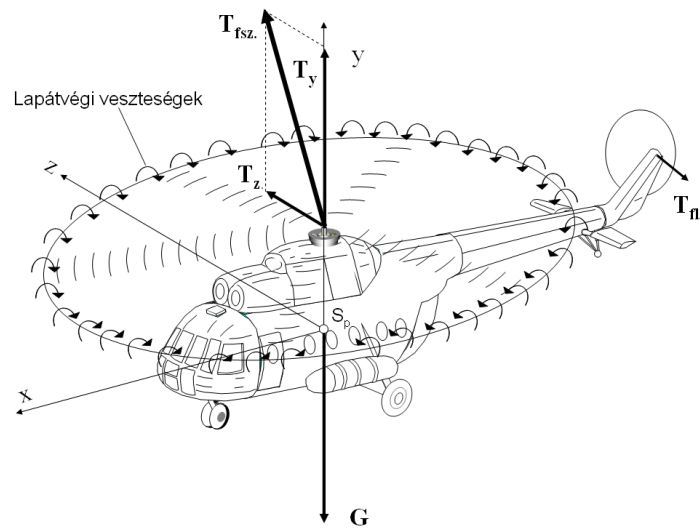
FÜGGŐLEGES REPÜLÉSI ÜZEMMÓDOK

A függőleges repülési üzemmódokat a következőképpen osztályozhatjuk:

- repülési üzemmódok működő hajtómű mellett (függés, függőleges emelkedés, függőleges süllyedés);
- Függőleges és ferde pályán való süllyedés a forgószárny önforgási üzemmódjával.

¹ ZMNE BJKMK Repülő és Légvédelmi Intézet Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, egyetemi docens, 5008 Szolnok, Pf.: 1.,
Email: bekesi.laszlo@zmne.hu

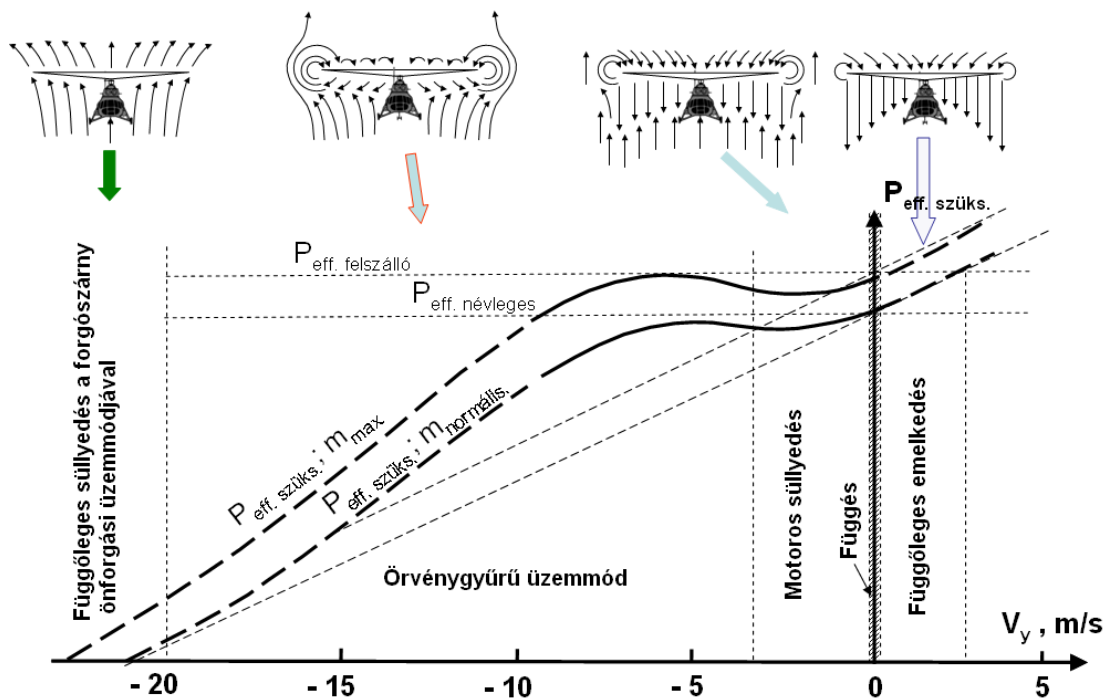
Függőleges repülési üzemmódokon az 1. ábrán látjuk a helikopterre ható erőket.



1. ábra

A 2. ábrán a függőleges süllyedés eseteit látjuk.

Függőleges süllyedés esetei



2. ábra

A HELIKOPTER FÜGGÉSI ÜZEMMÓDJA

A helikopter repülésének olyan üzemmódját nevezzük függésnek, amikor annak Földhöz viszonyított sebessége zérus. Ha függéskor szembe szél fúj, akkor a helikopter gyakorlatilag a szél sebességével vízszintesen repül, miközben a Földhöz viszonyított sebessége nulla, viszont ilyenkor a helikopter forgószárnya ferde átáramlási üzemmódban dolgozik.

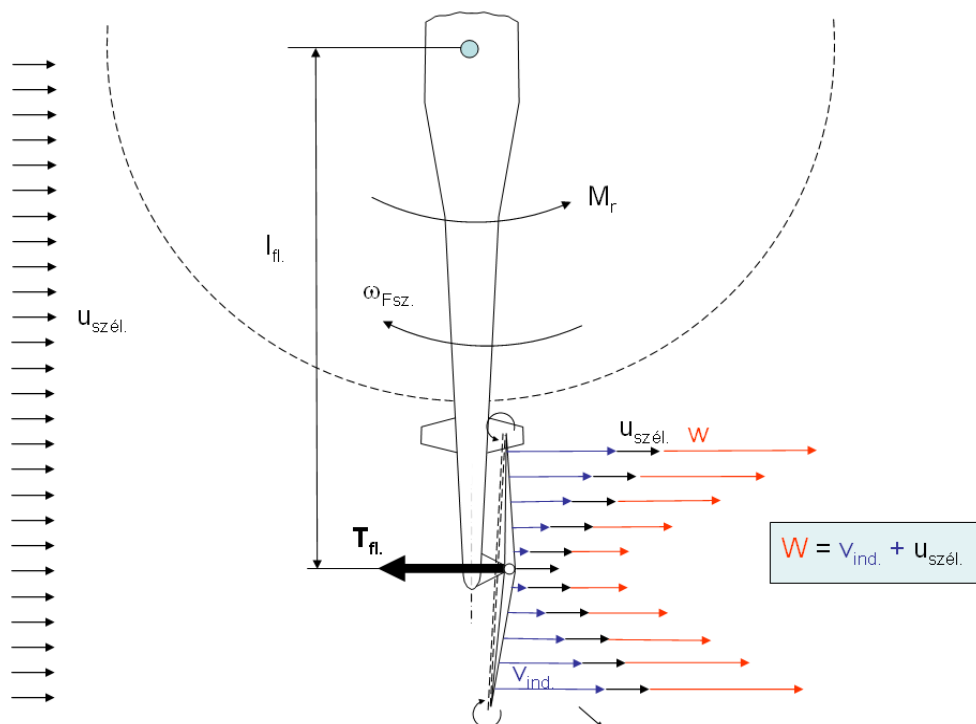
A helikopter függése az egyik alapvető repülési üzemmód, ugyanakkor a helikopterszerű leszállás egyik fontos eleme is.

Függés végrehajtásakor a forgószárny és a farok-légcsavar igénybevétele és terhelése nagy, így a hajtómű nagy teljesítményére van szükség. Ezért függési üzemmódban ellenőrzik a hajtómű(vek) és a kormányszervek működését, valamint a hajtóművek teljesítmény tartalékát minden repülés előtt.

A függés végrehajtása, annak bonyolultsága miatt a helikoptervezetőtől (különösen kikapcsolt robotpilótánál) fokozott figyelmet és pontosságot igényel.

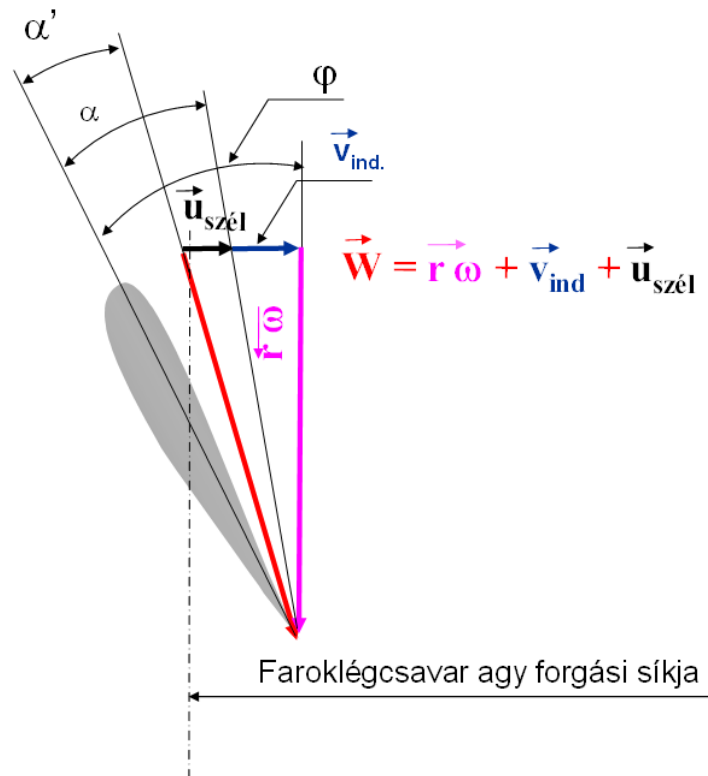
Függés oldalszélben, ha a szél, lökésszerűen balról éri a gépet.

Függés végrehajtásakor ilyen irányú szélnél a farok-légcsavar tengelyirányú átáramlási üzemmódban dolgozik (3. ábra).



3. ábra

A szél sebességének hirtelen megnövekedésekor a farok-légcsavar lapátelemeinek állásszöge lecsökken (lásd a 4. ábrát), így csökken a rajta keletkező erő nagysága is. Az útirányú egyensúly megtartásához, azaz a farok-légcsavar vonóerejének növeléséhez, a lapátelelemek állásszögét növelni kell, amit a pilóta a jobb pedál előre történő elmozdításával, azaz a farok-légcsavar lapátok beállítási szögének növelésével ér el.



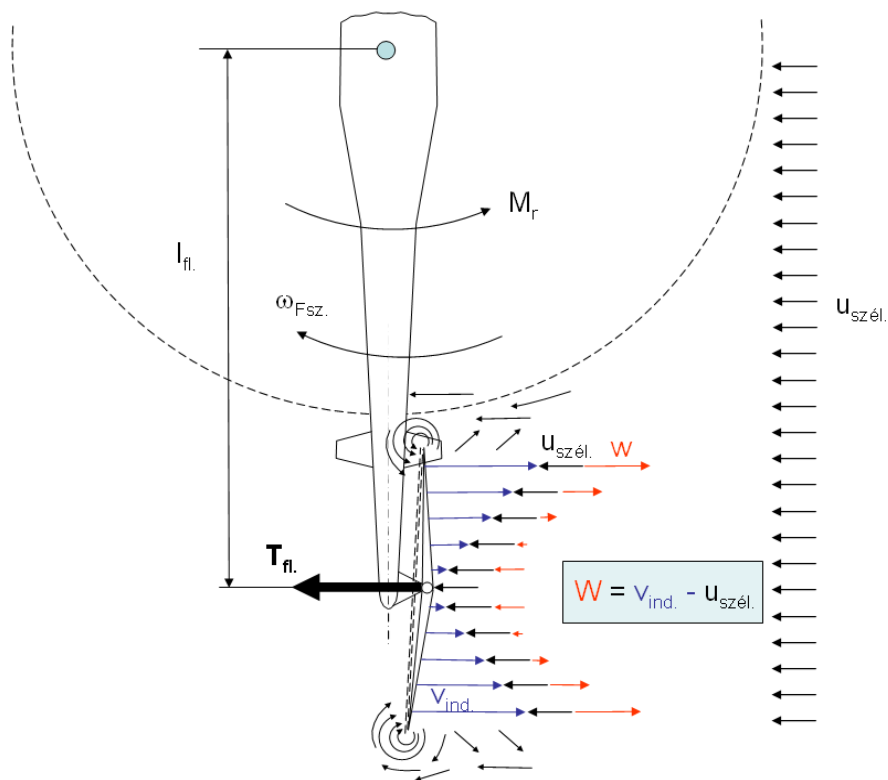
4. ábra

Függés oldalszélben, ha a szél, lökésszerűen jobbról éri a gépet.

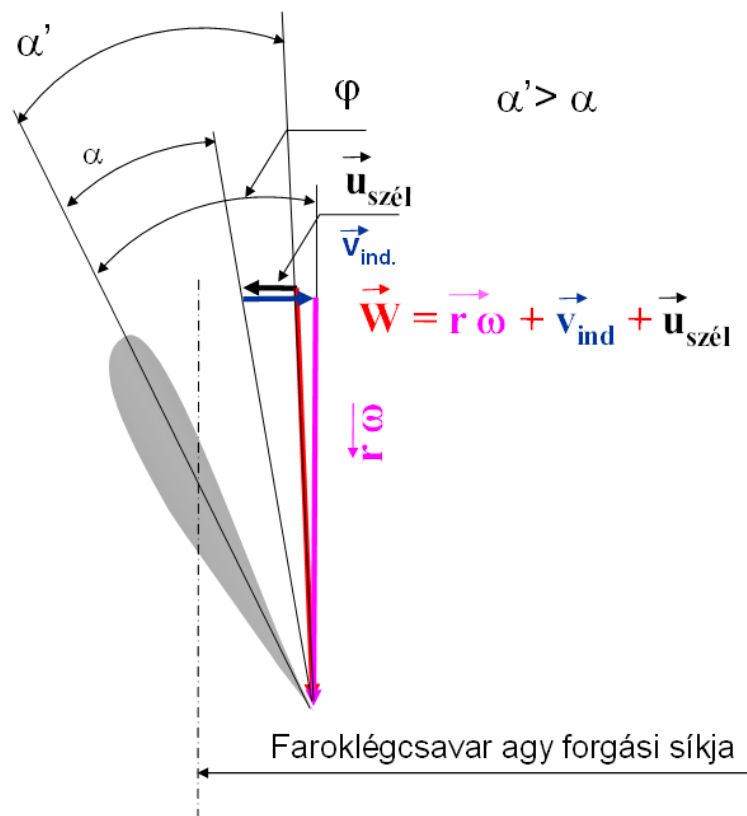
Függés végrehajtásakor ilyen irányú szélnél a farok-légcsavar tengelyirányú átáramlási üzemmódban dolgozik (5. ábra).

A szél sebességének megnövekedésekor a farok-légcsavar lapátelemeinek állásszöge növekszik, és nő a rajta keletkező erő is (6. ábra).

Amennyiben a szél sebessége nagy ($u > 10 \text{ m/s}$) akkor a farok-légcsavar lapátelelemek állásszöge oly mértékben megnőhet az útirányú egyensúly megtartásához szükséges jobb pedál előremozdításával, hogy leválik az áramlás róla, emiatt csökken a farok-légcsavar vonóereje, és a forgószárny reakciónyomatéka a helikoptert balra fordítja el.



5. ábra



6. ábra

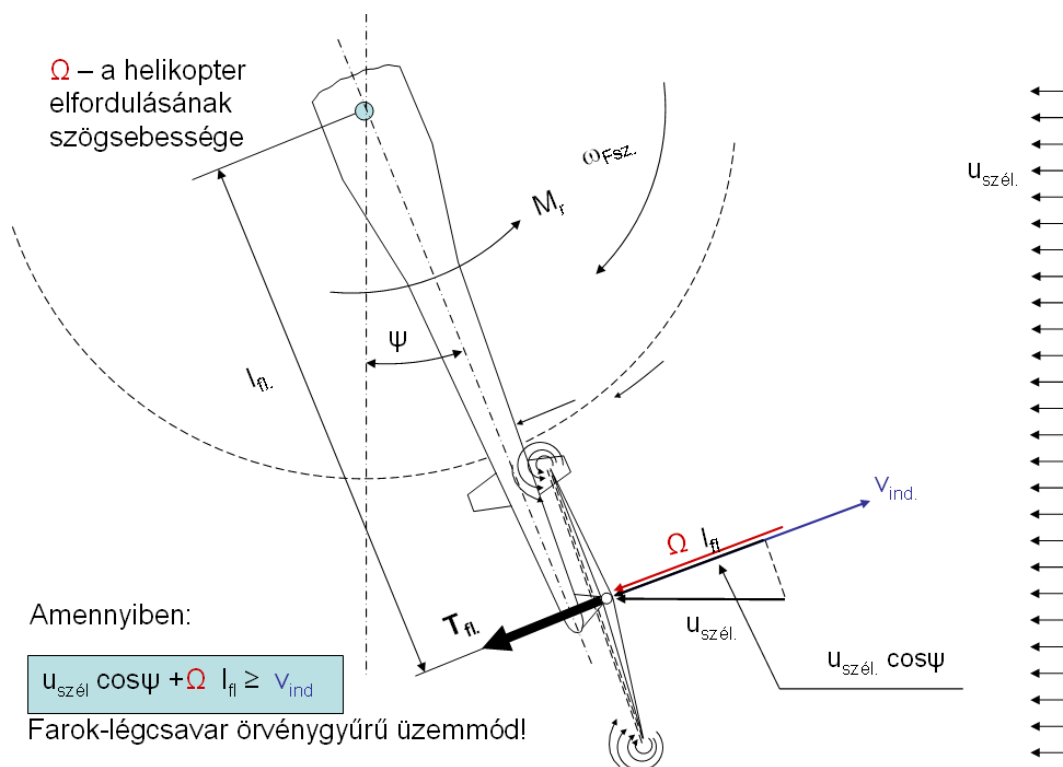
Tehát a helikopter függésekor kapott lökésszerű oldalszél jobbról, ha meghaladja a határértéket, a jobb pedál egészen az ütközőig történő elmozdítása azt eredményezi, hogy megnő a farok-légcsavar forgatásához szükséges teljesítmény (ezt az áramlásleszakadás eredményezi), emiatt a forgószárny fordulatszáma csökken, ami a farok-légcsavar vonóerejének további csökkenéséhez vezet és a helikopter a pilóta akaratától függetlenül önállósítva magát, bal fordulóba kezd a forgószárny reakciónyomatékának hatására.

A helikopter balra való elfordulásakor a szél sebességéhez hozzáadódik a helikopter elfordulásából adódó kerületi sebessége (7. ábra). A két sebesség összegződik, így még nagyobb az esély arra, hogy a farok-légcsavaron, kialakuljon az örvénygyűrű üzemmód.

A farok-légcsavar vonóerejének csökkenése egyúttal a forgatáshoz szükséges teljesítmény növekedését okozza.

Amennyiben a szél sebessége megegyezik a farok-légcsavar indukált sebességének nagyságával a farok-légcsavar örvénygyűrű üzemmódja alakul ki, ilyenkor nincs átáramlás tengelyirányban a farok-légcsavaron, tehát erő sem keletkezik rajta. A forgószárny reakciónyomatéka pedig, balra fogja elfordítani a helikoptert.

Probléma van tehát akkor, ha a szél jobbról váratlanul és a határértéket meghaladó erősségű.



7. ábra

A HELIKOPTER SPONTÁN ELFORDULÁSA

Az egy-forgószárnyas farok-légcsavaros helikopterek függési üzemmódján találkozhatunk a függőleges tengely körüli spontán elfordulás jelenségével.

Azoknál a helikoptereknél, amelyeknél a forgószárny forgásiránya felülről nézve az óramutató járásával megegyezik, az irányíthatatlan elfordulás jelensége a helikopter balra való elfordulásában nyilvánul meg.

Bizonyos szögsebesség esetén a jobb pedál teljesen az ütközőig való elmozdítása sem elegendő ahhoz, hogy megállítsuk a forgást, amely $\omega = 0,6 \div 1$ /sec szögsebességgel folytatódik.

A helikopter kivétele ebből a függőleges tengely körüli forgásból akkor sikerülhet, ha a botkormány előre való elmozdításával áttérünk haladó repülésre, azaz áttérünk a forgószárny tengelyirányú átáramlási üzemmódjáról a ferde átáramlási üzemmódra, illetve (ha a helikopter külső terhet visz) a teher ledobásával.

A helikopter függőleges tengely körüli irányíthatatlan forgásának vizsgálatát kezdjük azzal, hogy megvizsgáljuk az útirányú egyensúly grafikonjait, majd ezen adatok birtokában felvázoljuk a helikopter függésekor az elfordulás matematikai modelljét.

A helikopter útirányú egyensúlya függési üzemmódban

Az egyensúlyi grafikonokat kétféle módon határozhatjuk meg:

- a helikopter függésekor a Földhöz viszonyítva, különböző szélirányoknál;
- a helikopter mozgásakor a levegőhöz viszonyítva különböző sebességek és különböző csúszási szögek esetén.

Mindkét módszer meglehetősen bonyolult, mivel az egyensúlyi görbék bizonyos irányszögek esetén jelentősen változnak.

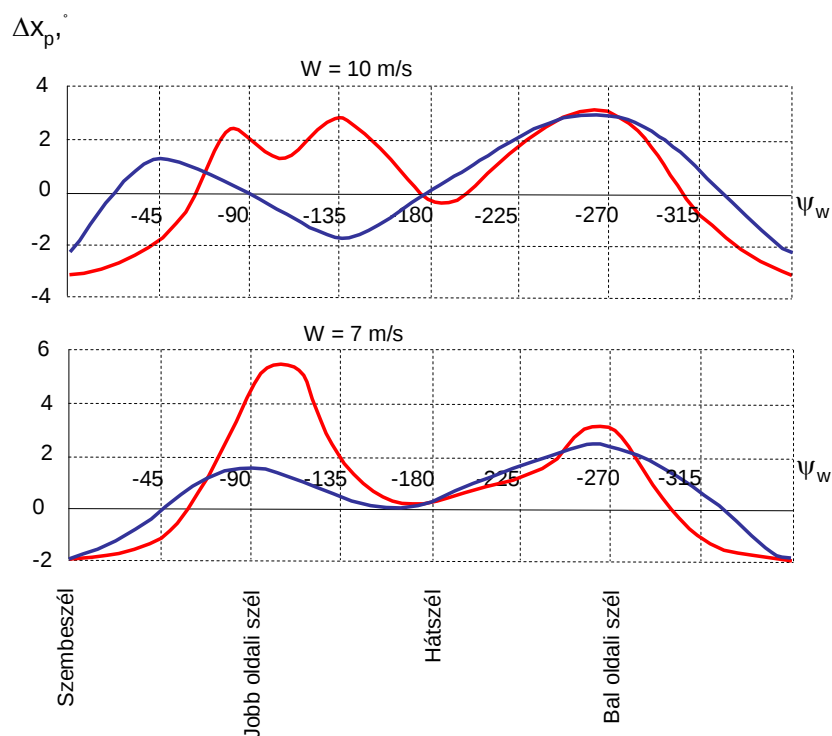
Az első módszer akkor alkalmazható, ha a szélesebbség iránya és nagysága állandó, a második, pedig akkor, ha biztosan meghatározható a megfúvási sebesség kismértékű változásának nagysága és iránya.

Az 8. ábrán az első módszer eredményei láthatók, a lábpedál kiegészítő kitérítésének nagysága a szél irányának függvényében.

A piros színnel ábrázolt görbék olyan farok-légcsavaros helikopterre vonatkoznak, amelyeknél a farok-légcsavar forgásiránya olyan, hogy felülről haladnak előre (a későbbiekben a jelölés legyen: F - E).

A kék színnel ábrázolt görbék pedig, ugyanerre a helikopterre vonatkoznak, azonban a farok-légcsavar forgásiránya olyan, hogy fentről hátrafelé irányuló (a későbbiekben a jelölés legyen: F - H).

A grafikonokból az látszik, hogy a jobb lábpedál - $\Delta x_p = 5.5^\circ$ -al való elmozdítása lesz a legnagyobb a vizsgált esetek közül, akkor, ha a szél sebessége jobb oldali szél esetén $w = 7$ m/sec, és a farok-légcsavar forgásiránya F-E. Amennyiben a farok-légcsavar forgásiránya F - H, akkor ilyen hirtelen változást nem látunk, azaz a farok-légcsavar lapátok beállítási szöge nem fog jelentősen növekedni.



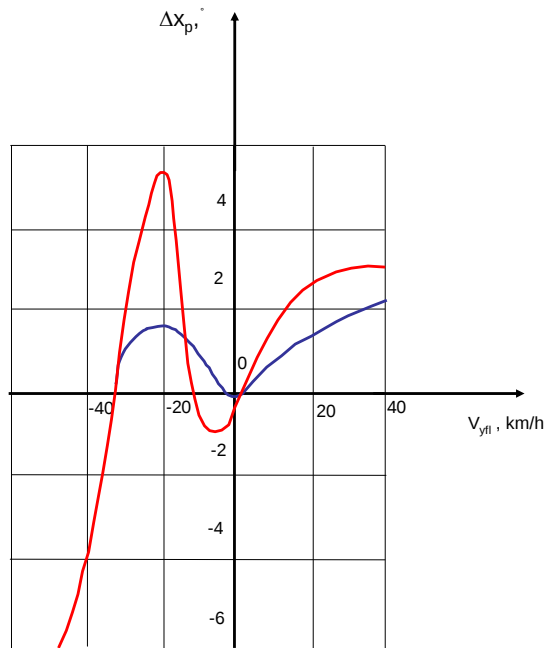
8. ábra

A $\Delta x_p = f(\psi_w)$ görbe azt mutatja, hogy a helikopter jobb oldali fordulókör statikusan stabil a szélesebbesség irányának $\psi_w = -360^\circ \div -270^\circ$ közötti értékeinél, mivel ekkor az egyensúly fenntartásához szükséges farok-légcsavar lapátok beállítási szöge nő. Ez pedig arról tanúskodik, hogy a lábpedál változatlan helyzetében a farok-légcsavar vonóereje csökken, így a kiegyenlítő nyomaték is csökken.

Bal fordulónál (Ha szélesebbesség iránya $\psi_w = -30^\circ \div -90^\circ$) és a farok-légcsavar forgásiránya F-E, statikusan a helikopter instabil, mivel az egyensúlyi helyzet fenntartásához szükséges a farok-légcsavar lapátok beállítási szöge hirtelen növekszik.

A 9. ábrán a lábpedál kiegészítő kitérítése látható a farok-légcsavar tengelyirányú átáramlási sebességének függvényében.

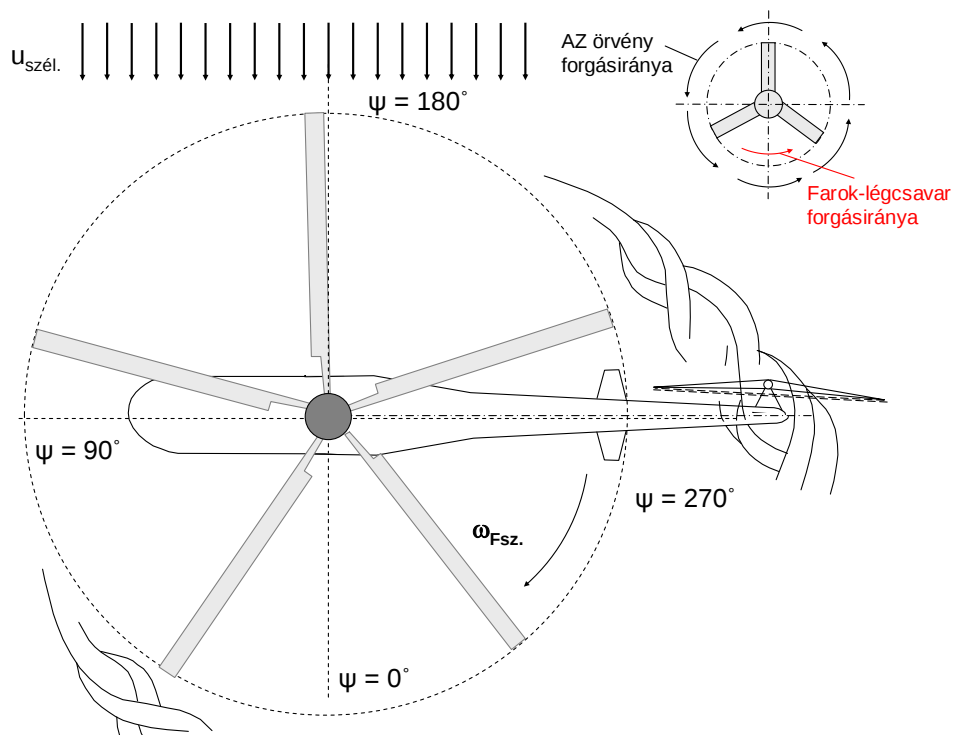
Az ábrából következik, hogy ha $T_{fl} \sim \text{constans}$ esetén a lábpedál kitérítésének csökkenése $v_{y,fl} = -35 \text{ km/h}$, vagyis 10 m/sec jobboldali szélesebbesség esetén kezdődik. Jobboldali szél esetén a a szélesebbesség iránya azonos a farok-légcsavar vonóerejének irányával. Amennyiben a szél sebességének nagysága megegyezik a farok-légcsavaron átáramló tengelyirányú sebesség nagyságával, akkor, mivel ezen sebességek iránya ellentétes, fellép a farok-légcsavar örvénygyűrű üzem módja.



9. ábra

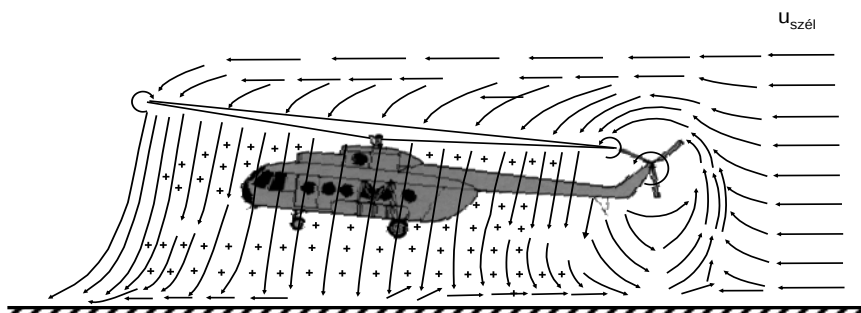
A forgószárny hatását a farok-légcsavarra szélsatornában vizsgálták, ennek képe a 10. ábrán látható. Jobb oldali szél esetén a farok-légcsavar a a forgószárnyról leváló örvénylesbe kerül.

Ha a farok-légcsavar forgásiránya F-E, akkor a lapátok forgásiránya egybeesik a forgószár által létrehozott örvény forgásirányával, következésképpen a farok-légcsavar lapátok eredő megfűvási sebessége csökken, így a farok-légcsavar vonóereje is. A forgószárny reakciónyomatéka pedig spontán elfordulásra kényszeríti a helikoptert.



10. ábra

A légpárnahatás zónájában való függéskor egy hátszél (11. sz. ábra), a forgószárny és a farok-légcsavar átáramlásának együtt hatásaként olyan helyzetet teremt, amelyben a toló farok-légcsavar (F-E.) erejének egy részét elveszti annak következtében, hogy a lapátok mozgásiránya egybeesik a forgószárny átáramlásának irányával, így csökken a lapátelelemek eredő megfúvási sebessége, és áramlás leválás is bekövetkezik. Ezért ilyen esetben növelni kell a jobb pedál kitérítését. A jobb pedál kitérítési tartalékának növelése érdekében egyes helikoptereken ellentétes forgásirányú farok-légcsavart alkalmaznak.



11. ábra

Így az előbbieik eredményeképpen a helikopter megsüllyed és elfordul balra. Rövid idő elteltével a függőleges süllyedő sebesség nagysága és a helikopter elfordulásának szögsebessége állandósul.

ÖSSZEFOGLALÁS

A spontán elfordulás a helikopter forgószárny forgásirányának figyelembevételével balra, a reakciónyomaték hatására és irányában történik.

Spontán elfordulás történhet akkor, ha az oldalszél meghaladja a megengedett értéket, illetve forduló végrehajtásakor, ha a forduló szögsebessége nagyobb, mint amennyit az adott típusra előírtak.

A megengedett minimális sebességhez közeli sebességgel való manőver végrehajtásakor spontán elfordulhat a helikopter, ha az egyesített vezérlő kart (EVK), a botkormányt és a bal lábpedált hirtelen elmozdítjuk. Ekkor a forgószárny fordulatszáma csökkenni fog.

Függéskor jobb oldali szélnél, amelynek nagysága meghaladja az üzemeltetési utasításban megadott megengedett értéket, különösen a megengedett maximális tömegnél, az összes egy-forgószárnyas helikopterre jellemző, hogy igyekszik balra elfordulni.

Amennyiben a jobb oldali pedál az ütközőn van, elegendő a jobb oldali szél kismértékű növekedése ahhoz, hogy a helikopter elkezdjen balra fordulni.

Erős impulzus-szerű jobboldali szélökésnél megnő a farok-légcsavar forgatásához szükséges teljesítmény, ugyanilyen ütemben csökken a forgószárny forgatásához szükséges teljesítmény. Amennyiben a hajtómű nem rendelkezik megfelelő teljesítmény-tartalékkal, azonnal csökken a forgószárny fordulatszáma. Ha van teljesítmény-tartalék a fordulatszám-szabályozó hatására rövid időn belül helyreáll a fordulatszám. Azonban a fordulatszám rövididejű csökkenése elegendő ahhoz, a forgószárny és a farok-légcsavar vonóereje csökkenjen.

Oldalszélben történő leszálláskor a botkormány szél ellenébe történő kitérítése és az ellentétes lábkormány előrenyomása biztosítja a helikopter pályáját. Függéskor a helikopterrel, széllal szembe kell fordulni, hogy a függőleges süllyedést már így hajtsuk végre.

Szükség esetén 5–10 m/sec-nál nem nagyobb, a leszállási irányra merőleges oldalszélben is végrehajtható a leszállás.

Abban az esetben, ha a függésből leszállás nélkül újabb körre kell menni, a botkormány enyhe előrenyomásával és a beállítási szög növelésével kell átvinni a helikoptert vízszintes repülésbe, majd ferde pályán történő gyorsuló emelkedésbe.

Néhány szóban foglaljuk össze a gázturbinás hajtóművel felszerelt helikopterek leszállási tulajdonságait a dugattyús motorokhoz képest. Mivel a gázturbina gyorsuló képessége rosszabb, mint a dugattyús motoroké, a felgyorsulási idő megnő (kb. 10–15 sec). Ezért kilebegtetéskor és közvetlenül talajfogás előtt a beállítási szög késedelmes vagy túl hirtelen növelése a hajtómű és a forgószárny fordulatszámának csökkenéséhez vezet, egyes esetekben a hajtómű leállását is okozhatja. Ekkor a vonóerő gyorsan csökken, a helikopter erősen merül, erős út— és keresztirányú kiegyensúlyozatlanság jelentkezik, ami igen durva leszállást eredményez, és a helikopter felborulásával is végződhet. Ezt a hátrányos tulajdonságot különösen akkor kell figyelembe venni, ha függésből újabb körre kell menni. Ezért a beállítási szöget a fordulatszám növekedésének megfelelő ütemben szabad csak növelni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BARNES W. MC CORMICK: Aerodynamics, aeronautics, and flight mechanics, Canada, 1995.
- [2] BÉKÉSI LÁSZLÓ: A multimédia alkalmazása az aerodinamika és a repülésmechanika tantárgyak oktatásában. Pályázati anyag, multimédia az oktatásban konferencia, 2001. május 30 – június 01. ZMNE, Budapest.
- [3] J. GORDON LEISMAN: Principles of Helicopter Aerodynamics 2 nd. Ed. Cambridge Aerospace series. 2006.
- [4] POKORÁDI LÁSZLÓ: Aerodinamika. I., II., III. főiskolai jegyzet, MH. Szolnoki Repülőtiszt Főiskola, 1993.
- [5] ROMASZEVICS V.F.-SZAMOLJOV G.A.: Prakticseszkaja aerodinamika vertoljotov. Vojennoe izdatyelsztvo, Moszkva, 1980.
- [6] BRAVERMAN A. SZ. -VAJNTRUB A.P.: Dinamika vertoljota, pregyelnije rezsími poljota. Masinosztroenije, Moszkva, 1988.