

SZAKDOLGOZAT

Szalai Szabina

2014

Nemzeti Közsolgálati Egyetem
Hadtudományi- és Honvédtisztképző Kar
Katonai Üzemeltető Intézet
Katonai Repülő Tanszék

**TANULMÁNY ÉS MULTIMÉDIÁS BEMUTATÓ A HELIKOPTER FORGÓSZÁRNY ÖNFORGÁSI ÉS
ÖRVÉNYGYŰRŰ ÜZEMMÓDJAIRÓL**

A konzulens neve, beosztása:

Dr. Békési László ny. ezredes, főiskolai tanár

Szakfelelős:

Dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens

Készítette:

Szalai Szabina honvéd tisztjelölt

Szolnok

2014

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	3
2. MI A MULTIMÉDIA?	4
2.1 Történelmi áttekintés.....	4
2.2 Multimédia fogalma, jelentése	6
2.3 A multimédia alkalmazási területei.....	8
2.4 Multimédia az oktatásban	9
2.4.1 Multimédiás oktatás előnyei.....	11
2.4.2 A multimédiás oktatás hátrányai	12
2.4.3 A multimédiás oktatóprogramokkal szemben támasztott elvárások, kritériumok ...	13
3. MULTIMÉDIA A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OKTATÁSÁBAN.....	17
3.1. Az aerodinamika és a repülésmechanika oktatása	17
3.2. A helikopter aerodinamika és repülésmechanika tantárgyakhoz kapcsolódó multimédás oktatási anyagok	18
3.3. A szoftver kiválasztása	20
3.3.1 Neobook munkafelülete és használata	20
4. A HELIKOPTER FORGÓSZÁRNY AERODINAMIKÁJÁNAK JELLEMZÉSE....	24
4.1 A forgószárny főbb jellemzői	24
4.2 Üzem módok	26
4.2.1. Forgószárny működése tengelyirányú átáramlási üzemmódban.....	26
4.2.1.1 Az ideális forgószárny impulzus elmélete.....	27
4.2.1.2 Forgószárny vonóerő meghatározása lepelemelmélet alapján	29
4.2.1.3 A forgószárny reakciónyomatéka	31
4.2.2 A forgószárny működése ferde átáramlási üzemmódban	32
4.2.2.1 A forgószárny lapátok vonóerejének változása a körülfordulás során	32
4.2.2.2 Vízszintes csukló szükségessége	34
4.2.2.3 Függőleges csukló szükségessége	41
4.3 Függőleges repülési üzemmódok	44
4.3.1 Függés	45
4.3.2 Függőleges emelkedés.....	47
4.3.3 Függőleges süllyedés működő hajtóművel – Örvénygyűrű üzemmód	49
4.4 Helikopter süllyedő mozgása a forgószárny önforgási üzemmódjával.....	53

4.4.1 Függőleges süllyedés a forgószárny önforgási üzemmódjával	54
4.4.2 Ferde pályán történő süllyedés a forgószárny önforgási üzemmódjával	58
5. BEFEJEZÉS	63
IRODALOMJEGYZÉK	64
FÜGGELÉKEK.....	66

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a multimédia térhódítása egyre nagyobb mértékeket ölt. Mindenhol ez a fogalom köszön vissza ránk, hiszen divatos, korszerű és jó marketing sok termék számára.

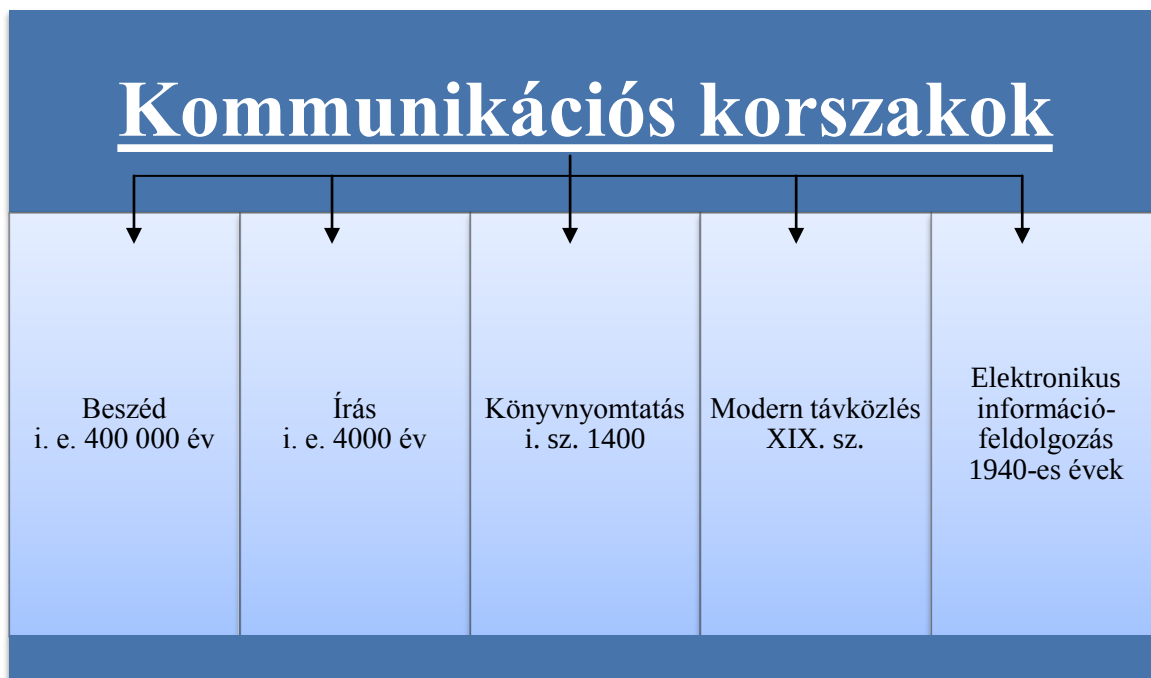
Az idő előrehaladtával az oktatásban egyre felerősödik a szerepe, hiszen a diákok számára érthetőbbé teszi a tananyagot, a tanárok munkáját pedig nagymértékben segíti. Az oktatási intézmények szinte kivétel nélkül támaszkodnak a multimédiás-oktatóprogramokra számos előnyük révén.

Szakedolgozatomban a helikopterekre érvényes aerodinamikai alaptételek és alapelvek, különösen a függőleges üzemmódok, ezen belül a helikopter forgószárny örvénygyűrű és önforgási üzemmódjainak bemutatására törekszem segítségül hívva a multimédiás bemutatók eszközzrendszerét.

Az üzemmódok jellegzetességeinek megértéséhez fontos a forgószárny aerodinamikai működésének és abból fakadó főbb szerkezeti sajátosságainak ismertetése. Mindezek könnyebb megértését és átláthatóságát biztosítja a szakedolgozathoz mellékelt multimédiás bemutató, valamint segítségére lehet minden repülőműszaki szakirányon tanuló honvéd tisztjelöltnek, akik a Repülésmechanika tantárgy tananyagát kívánja elsajátítani. A bemutató könnyen kezelhető, bonyolultabb számítástechnikai ismereteket nem követel.

2. MI A MULTIMÉDIA?

2.1 Történelmi áttekintés



1. ábra

Az emberi társadalom kommunikációs forradalma öt szakaszra bontható.¹ Az első szakasz az emberi beszéd megjelenése (ie. 400 000 év), mellyel az ember tovább tudta adni a világról lévő tapasztalatait, s bővíthette meglévő ismereteit.

A következő lépcső az írásbeliség kialakulása volt (ie. 4000 év), mely szoros összefüggésben állt a fejlett mezőgazdasággal rendelkező társadalmakkal. Szükség volt a megszerzett tudás megőrzésére, feljegyzésére, az írás segítségével már nem kellett az emlékezetre támaszkodni, bármikor hozzáférhetővé váltak az információk az írástudók számára.

A kor előrehaladtával felmerült az igény az írott szövegek tömeges, egyszerű, és költséghatékony reprodukálására, terjesztésére. Erre a problémára jelentett megoldást a könyvnyomtatás korszaka (1400-as évek), mely Európában Johannes Gutenberg személyéhez köthető. Szerte a világban voltak próbálkozások különféle fából készült lenyomatok segítségével történő nyomtatásra, de Gutenberg módszere forradalmasította a sokszorosítást.

¹ http://www.ektf.hu/~forgos/hivatkoz/mediaismeret/flp_gza_fle_kommunikcis_korszakols.html

Tökéletesítette a nyomdafestéket, a betűöntést, a mozgatható betűsablonokat, valamint a nyomtatósajtót.

A 19. században elérkezett az elektronikus távközlés időszaka. A hang- és képrögzítés megjelenése megával hozta a médiumok, majd ezt követően a televízió, a rádió és a telefon, az elektromos médiumok fogalmát. A kommunikáció újkori globalizációja az első szputnyik fellövéséhez, 1957-hez kapcsolható.

Magyarországon a 80-as évek környékére tehető a médium szó elterjedése. Az MTA Nyelvtudományi Intézete 1985-ben kiadott szócikke a kétkötetes Nyelvművelő kézikönyvből:

„Mivel a latin eredetű médium ma elsősorban szuggerálható, hipnotizálható, ill. könnyen befolyásolható személyt jelent, s csak másodsorban közvetítő eszközt, tényezőt, bizonyos társadalomtudományok, a híradástechnika és a reklám szaknyelvében angol mintára elterjedt szó latin többes számú alakja média. Összefoglaló megnevezése a tömegkommunikációs, ill. a reklámeszközöknek (sajtó, rádió, tévé, plakát, hirdetés, reklám stb.).”[1]

A multimédia fogalma az informatikai, számítástechnikai, oktatástechnológiai szakterületek fogalomrendszere, mely tulajdonképpen az 1990-es években robbant be a köztudatba. Elsődleges jelentéstartalma a több érzékszervi csatornára ható információhordozók gyűjtőneve. Majd a multimédia a tananyagot tartalmazó, technikai médiumok közös csoportját jelölte, amely tanár–tananyag–tanuló háromszögben a központi helyet foglalja el, valamint eleget tesz a hagyományos osztálytermi oktatás és távoktatás kritériumainak egyaránt. Rövidesen megjelentek a multimédia tulajdonságait tükröző oktatási segédletek, oktató programok. Ma már szélesebb körben rendelkezésünkre állnak multimédiás lexikonok, szótárak, tananyaghoz kapcsolódó programok, segédletek, melyek megkönnyítik mind a hallgató, mind a tanár számára az oktatást.

Ahogy a technika fejlődik, szinte ugyanolyan ütemben követeli meg szabályok, szabványok felállítását. A multimédia alkalmazások szabványosításáról már az 1980-as évekre megszülettek a szoftver- és hardvergyártók elképzelései. Multimedia PC Marketing Council elnevezésű bizottság a személyi számítógépek minimális specifikációit összegyűjtve alkotta meg a szabványokat, melyek alkalmasak multimédiás alkalmazások lejátszására.[2]

Az MPC Level1 (MPC=multimédia személyi számítógép) szabvány 1989-ben került kiadásra, mely megszabta az alapfokú multimédiás feladatok ellátására alkalmas számítógép

konfigurációját. A műszaki innováció szükségessé tette egy újabb verzió kidolgozását, s 1993-ban érvénybe lépett az MPC Level 2, majd 1996-ban az MPC Level 3.[2]

2.2 Multimédia fogalma, jelentése

Mivel a multimédia több tudományágat, szakterületet érintő definíció, így meghatározása bonyolult feladat. *Andreas Holzinger* a grazi egyetem lektora szerint: „A multimédia a leggyakrabban rosszul használt szavak egyike.”[3] A köztudatban is gyakran szerepel, sokan ismerik és ismerni vélik ezt a kifejezést, sőt sokszor tévesen használják. Ennek okaként a „*Christian Spanik és Hannes Rügheimer: A multimédia alapjai*” című könyvben a szerzők a számítógépes nagyvállalatokat jelölik meg, marketing célzattal elferdítették a multimédia jelentését és ezt a megnevezést aggatták rá termékeikre. Ezt követően már minden vállalat a saját belátása szerint használta, alakította a multimédia fogalmát. Ennek hatására vált a kép- és hanganyag bemutatására alkalmas számítógép multimédia-számítógéppé, valamint a multimédia mai elterjedt jelentésévé a számítógépes média.

A multimédia különböző megfogalmazásai:

„A multimédia rendszert független információk számítógép vezérelt integrált előállítás, célorientált feldolgozása, bemutatása, tárolása és továbbítása határozza meg, melyek legalább egy folyamatos (időfüggő) és egy diszkrét (idő-független) médiumban jelennek meg.”[4]

„A multimédia szó tágabb értelmezésben egy kreatív alkotó közeg, olyan rendszert definiál, amely biztosítja az egyén vagy csoportok számára a különböző struktúrában (kép, grafika, mozgókép, hang, írott szöveg, adatállományok stb.) rögzített, nem szükségszerűen egy adatbázisban lévő digitális információ interaktív elérhetőségét, annak a felhasználás helyén történő rögzítését, átstrukturálását, bővítését. A cél tehát az ember információval történő magas színvonalú kiszolgálása, a hatékonyság érdekében lehetőleg minden érzékszervre egyidejűleg gyakorolt ingerekkel.”[5]

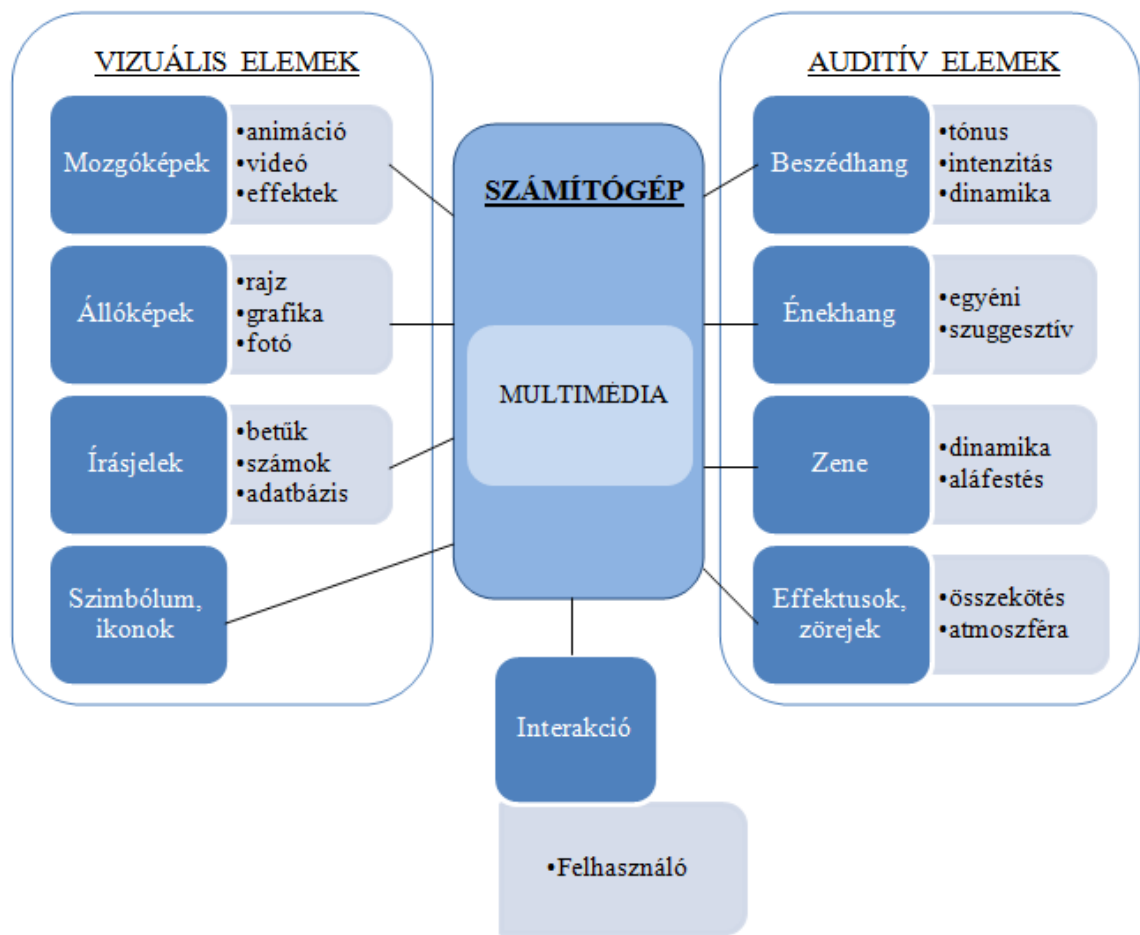
„A multimédia szöveg, kép és hang bármilyen összesített kombinációja, ami számítógépen vagy más elektronikus eszközön megjeleníthető.”[6]

Ha megvizsgáljuk a szó latin eredetét, láthatjuk, hogy a „multus” (sok, többszörös) és a „medium” (közbülső helyen található, általános közeg, közvetítő elem, információközvetítő eszköz, információrendszer) latin szavak összetételéből származik.

Minden médium rendelkezik tér- és időbeli dimenzióval. Mint ahogy a fenti definícióban Ralf Steinmetz is említi, megkülönböztetünk időfüggetlen (diszkrét) médiumot, ahol az információ egyedi elemek sorozata, valamint időfüggő (folyamatos, időben végbemenő) médiumot, mely az idő múlásával változik.[4] Ennek megfelelően csoportosíthatók az egyes médiumok:

- Diszkrét médium
 - szöveg, hipertext;
 - állókép (grafika, fénykép);
- Folyamatos médium
 - hang (zene, beszéd, effektusok);
 - mozgóképek (animáció, videó).

Tehát a multimédia olyan feldolgozási rendszer, mely egyazon időben több különböző csatorna igénybevételével közvetíti az információt. Folyamatos és diszkrét médium együttes alkalmazása számítógépes környezetben, azaz szöveg, grafika, hang, animáció és videó kombinációja. A felhasználó tájékoztatására, informálására, akár tanítására szolgál minél szélesebb körben, egyszerre több érzékszervére hatva vizuális (kép, animáció, mozgóképek, szöveg) és auditív (hang, zaj, zöreje, zene) megjelenési formák egyesítésével. Nagy szerephez jut az interaktivitás is, bevonja a felhasználót a folyamatba úgy, hogy cselekvési lehetőséggel ruházza fel, ezzel aktív felhasználóvá téve.



2. ábra Multimédia-elemek

2.3 A multimédia alkalmazási területei

- Szórakozás (számítógépes játékok, videojátékok)
- **Képzés (nyelvoktató programok, képzés és továbbképzés, termékoktatás, szimuláció, távoktatás)**
- Reklám (termékismertető demó, bemutató)
- Értékesítés (termékkatalógus, utazási prospektus, ingatlan értékesítés)
- Információ (városi és polgári információs rendszerek)
- Kommunikáció (internet alkalmazás)
- Publikáció
- Dokumentáció stb. [7]

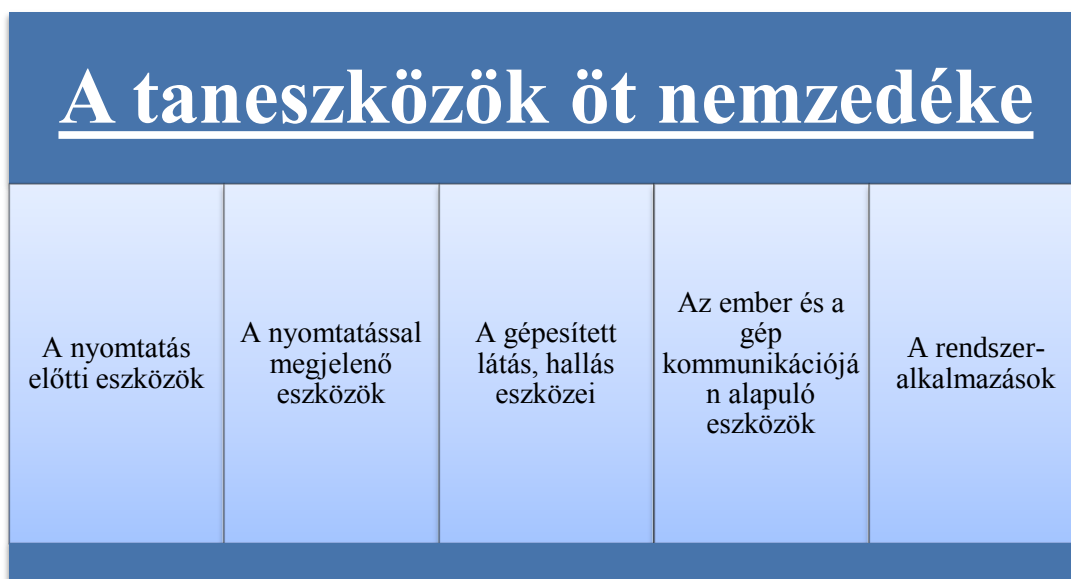
2.4 Multimédia az oktatásban

Tanesszközök, tanszerek már a tanítás kezdete óta jelen vannak. Az élőszavas tanítást már akkor is alátámasztották használati eszközök, gyakorlásra alkalmas segédeszközök, könyvek, kéziratok. Később pedig modellek, rajzolt minták, térképek, mérőműszerek, laboratóriumi eszközök, szemléltető ábrák sorával bővültek az oktatási segédletek.

Az elektronikus távközlés korszakában már megjelentek a kor találmányai nyomán a szemléltető diaképek, néma- és hangosfilmek, hanglemezek, iskolarádiós és televíziós adások.

Az oktató hang- és videokazetták, didaktikus játékok, oktatócsomagok, tanulókísérleti és manipulációs készletek, oktató- és számítógépes programok nyomán terjedtek el a számítógép révén az optikai lemezről és hálózaton hozzáférhető multimédia tananyagok, vagy az e-learning. Ez utóbbiak a szakirodalomban új információs és kommunikációs technológiák néven szerepelnek[8], a rendszerösszefüggések bemutatását, az önálló tanulói tevékenység eredményességének növelését segítik elő. A távoktatás, azaz e-learning önálló tanulás megvalósításának lehetőségét hordozza magában. A távoktatás történhet bármilyen kommunikációs eszközön, legújabb és leghatékonyabb módja a számítógép és az internet kombinációja.

Wilbur Schramm (1977) történeti szempontú megközelítése jól tükrözi a fent említett tanesszközök fejlődését.[9]



3. ábra

- Az első nemzedékbe azok az eszközök tartoznak, amelyek elkészítéséhez és bemutatásához nem kell gépi berendezés, és az oktatás létrejöttével egyidejűleg keletkeztek. (Pl. kéziratok, festmények, a manufaktúra egyedi termékei)
- A második nemzedékbe azok az eszközök tartoznak, amelyek előállításához gépek szükségesek, de a bemutatásukhoz nem, azaz a gutenbergi könyvnyomtatás termékei. (Pl. nyomtatott, grafikus média, könyv, tankönyv, térképek)
- A harmadik nemzedékbe tartozó információhordozók előállításához és bemutatásához egyaránt gépi berendezések, azaz auditív eszközök szükségesek. (pl. audiovizuális média, filmvetítés, videó)
- A negyedik nemzedékbe az „automatizált oktatás” eszközei és programjai tartoznak, amelyek a tanulásirányítást, visszacsatolást is megvalósítják. (pl. elektronikus nyelvi laborok, interaktív videorendszerek)
- Az ötödik nemzedék pedig az intelligens oktatórendszerek.

A taneszközök nemzedékváltása folyamatosan, didaktikai, oktatástechnikai, oktatástechnológiai szempontból viszonylag zökkenőmentesen történt. Az első négy nemzedék esetében a különböző taneszközök helykövetelésére elengedhetetlenül sor került, hiszen a következő nemzedék eszközei hasonló feladatokat oldottak meg, csak új és korszerűbb technikai feltételekkel. Használatuk elsajátítása, alkalmazásuk módszertani beillesztése viszonylag egyszerű volt.[8]

Az ötödik nemzedéket alkotó oktatórendszerek tudása már minőségben és mennyiségben is más. A multimédiás anyagok elterjedésével felerősödött az önálló tanulási tevékenység, az új tudásközvetítési technológiára és a taneszközökre támaszkodva, a médiumok funkcióváltásával (a fejlesztő, az új dimenzióba helyező, a szimulációs, az önálló tanulást támogató).

Napjainkban a multimédia nyújtotta előnyöket az oktatásban, távoktatásban és ismeretszerzésben is jelentősen ki lehet használni. A pedagógusok többsége egyre gyakrabban von be különböző multimédiás segédleteket a hallgatók tanítása során. Az audiovizuális megjelenítés, az adatok digitalizálása, interaktív kezelőfelület sokkal hatékonyabbá, élvezetesebbé, könnyebbé teszi a tananyagot. Ezen multimédia-rendszerek használata az

egységes megjelenítő platformok beépítése miatt egyszerű. Bár fontos megemlíteni, problémát jelenthet a felhasználók médiakompetenciája, vagyis nem rendelkeznek megfelelő tudással az egyes médiumok műfaji, formanyelvi sajátosságait illetően, valamint nincs kiforrott egységes módszer a multimédiás oktatászoftver tervezésére, illetve fejlesztésére.[10]

2.4.1 Multimédiás oktatás előnyei

A multimédia, mint az oktatás tárgya és eszköze egyre inkább központi szerepet foglal el számos előnye miatt:

- Képes a motiváltság, aktivitás fenntartására, növeli a kreativitást. Életkortól függetlenül ébren tartja a tanulók figyelmét az interaktív környezet, melyben a tanuló könnyebben azonosul az oktatott tananyaggal.
- A bemutatott anyagok által kiváltott tanulói reakciók, az állandó visszacsatolások a teljesítmények pontosabb mérését teszik lehetővé, ezért lehetőség nyílik a finomabb szabályozásra, mivel könnyen változtatható.[11] Az oktatási tartalom bővíthető és felújítható.
- Információs tároló kapacitása nagy. A tárolt adatok egyszerű visszakeresésére nyújt lehetőséget.
- Önálló tanulást és saját élményű tanulói tapasztalatszerzést biztosít. A tanuló egyéni tempójához rugalmasan alkalmazkodik. A multimédiás alkalmazások bármikor tetszés szerinti számban visszajátszhatóak, továbbá a modularitás révén többféle úton és sorrendben is elérhető ugyanaz az információ.
- Egy időben több érzékszervre gyakorol hatást, hiszen mozgókép és hang közvetítésére is alkalmas többféle kód- és szimbólumrendszer alkalmazásával. Így jobban érvényesülnek a tanulók számára a legmegfelelőbb tanulási stílusok.
- Kiválóan illeszkedik az emberi agy információfelvevő és rögzítő mechanizmusához. Az emberi agyban átlagosan az olvasott szöveg 10, a hallottak 20, valamint a látottak 30 százaléka rögzül. Tehát az audiovizuális tartalmak a látó, illetve a halló csatornákra hatva közel 50 százalékos megjegyzési eredményt mutatnak. Ezt támasztja alá a kettős kódolás elmélete, eredményesebb a bevésődés, ha az információ szóbeli és képi kódolással együttesen kerül közvetítésre.

- A multimédiás anyagok nagy mobilitása révén a tanuló nem csak az iskolában ismerkedhet a tananyaggal, hanem hazaviheti az oktatóprogramot CD-lemezen is, vagy csatlakozhat a hálózatra, így bárhol is elérheti a kívánt információt.
- A megszerzett tudást könnyen vissza lehet ellenőrizni. Összetettebb szoftverek már képesek a feleletválasztásos tesztek, valamint a kulcsszavas vagy egész mondatos válaszokat is kiértékelni.
- A bemutatott multimédiás tartalmak informatívak, érdekesek, életközelibb élményt biztosítanak. Modellezhetők vele a természetben nem megfigyelhető folyamatok, vagy túl drága, illetve veszélyes kísérletek, szimulációk, melyekkel közvetlen kapcsolatba nem kerülhetünk. Ezáltal képes a külvilágot a tanterembe hozni.
- A multimédia oktatóprogramok használata nem követel a felhasználótól különösebben bonyolult informatikai ismereteket, így széleskörű elterjedésük nem ütközik akadályba.
- A multimédiás oktatóprogramok hatékonyak, képesek integrálni szinte valamennyi taneszközt, az információk nem csak egy érzékszervünkön keresztül jutnak el hozzánk, így a tanulási idő jelentősen lerövidül, s ezzel párhuzamosan javulhat az elsajátított ismeretek aránya.[12]
- Elősegíti az oktatók jobb időfelhasználását, könnyebbé teszi számukra a szemléltetést. Megnövelheti a hallgatókra fordítható idő.
- Helyettesíti a papírtömeget, így az archiválás leegyszerűsödik.

2.4.2 A multimédiás oktatás hátrányai

A multimédiás oktatóanyagok megkönnyítik mind a tanuló, mind az oktató dolgát. De nem szabad megfeledkezni ezek veszélyeiről sem. A multimédia nem helyettesítheti teljes mértékben az élőszavas oktatást, nem nélkülözheti a tanári jelenlétet. Fontos, hogy megtaláljuk a multimédiás oktatás és a hagyományos oktatás, az egyéni- és a csoportmunka megfelelő egyensúlyát.

Felmerülő hátrányok:

- Kezdetben nagyobb költségbefektetést igényel a fejlesztés során, így megnő a kockázat is;
- A fejlesztés időigényes, az oktatókra többlet feladat hárul, hiszen az önálló fejlesztési lehetőségek korlátozottak és nehezek;
- Az oktatók által készített multimédiás bemutatók nagyobb fokú jártasságot követelnek meg a számítástechnika terén;
- Az önálló tanulást meg kell tanulni;
- Hiába játszató vissza korlátlan számban a multimédiás anyag, tartalma változatlan marad, így a tanulók felmerülő kérdéseit nem tudja megválaszolni;
- Az oktatás személytelenné válhat, a tanuló saját magára van utalva, a tanuló elszigetelődik a vezető irányító útmutatástól;
- A „verbális” beállítottságú tanulók számára, akik inkább szövegre orientáltak, a képi információt nehezebben kezelik, kiegészítő magyarázatok nélkül az oktatóprogramok nehezen használhatók;
- Túlzottan gyakori és didaktikailag átgondolatlan használata károsan hathat a hallgatók személyiségére és fejlődésére.[12]

2.4.3 A multimédiás oktatóprogramokkal szemben támasztott elvárások, kritériumok [12][10]

1. Függetlenség

A különböző médiumok egymástól való teljes független elérhetősége azt jelenti, hogy egy beviteli médiumhoz nem lehet más médiumot társítani, mert a feldolgozás során nem lehet már őket szétválasztani. Azaz, ha egy olyan videó-részletet használunk, amelyben az eredeti hang nem szükséges, ennek ellenére mégis hanggal együtt digitalizáljuk be a képet, akkor már nem felel meg a függetlenség kitételének.

2. Számítógépes vezérlés

A számítógép-vezérelt integráció biztosítja az egyes összetevők közötti időbeli, térbeli és tartalmi szinkronizációs kapcsolatok kiépítését.

3. Interaktivitás és navigáció

A számítógépes vezérlés egyaránt lehetővé teszi az interaktivitást és az elágazásos programfelépítést, a navigációt.

A médiummal való kommunikáció szempontjából a cselekvés lehet: reaktív, kommunikatív, interaktív. Az interaktív multimédia tartalmaknál a tanuló párbeszédet folytat a rendszerrel, amely során képes a rendszer működését vezérelni, kiválthat reakciókat, visszakereshet tartalmakat. Az interakció eszközei a forrógombok és a mezők, valamint a navigációs elemek. Az on-line üzemmódban elérhetővé válnak a valós idejű interakciós és kommunikációs formák.

Az interaktivitás, azaz a beavatkozás lehetőségének és élményének jelentősége abban rejlik, hogy a multimédiás programban a továbblépés irányát a felhasználó szabja meg, a program fejlesztői által előre kiépített struktúra mentén. Lineáris művekben adott utat jár be az olvasó, nincs lehetőség a választásra. A lineáris és non-lineáris rendszerek egymás mellett létező megoldások.

Úgy célszerű felépíteni a számítógépes oktatóprogramot, hogy a hallgató bármikor beépített példákon keresztül gyakorolhassa a megszerzett ismereteket. Fontos szempont, hogy a készülő multimédiás alkalmazás képes legyen interaktív működésre, illeszkedjen a tanulók egyéni igényeihez és önállóságot nyújtson. Továbbá életszerű probléma-szituációk előtérbe helyezésével, szimulációs feladatokkal motiváljon.

A navigáció az előre- és visszalépés funkciót, valamint az aktuális pozíció megjelenítését foglalja magába. Alapvető követelmény: áttekinthetőség, könnyen kezelhetőség és következetesség, ezáltal a felhasználó bizonytalansága csökkenthető.

A jól megtervezett navigáció nem engedi, hogy a felhasználó elveszen a hatalmas információ-tömegben, s megkönnyíti az egyes elemek, információk logikai kapcsolatának megértését.

4. A strukturáltság

A strukturáltság egyaránt magába foglalja a tartalom és a logikai struktúra összefüggését, továbbá az elhelyezési struktúrát. A számítógépes programban legyen kivehető a strukturáltság: bejelentkező kép és hang, köszöntés, főmenü, alpontok, tananyagmodulok. Rendelkezzen a program segítségkérési, valamint a programból való kilépési lehetőségekkel is.

Egy számítógépes prezentáció szerkezete egy jól átgondolt menürendszerrel már eleve hatékony, hiszen jól rendszerezheti a tartalmat.

5. Nonlinearitás

Egy általános dokumentum szövege merev szekvencia szerint elrendezett egységekből áll, amelyben a feldolgozás során szóról szóra halad az olvasó, visszautalások nincsenek a műben.

A multimédia esetében non-linearitás azt jelenti, hogy egy adott részlet nem az előtte lévő tartalmakon végigfutva érhető el, hanem azonnal fellelhető. Így a rendszerben történő keresés igen gyorsan kivitelezhető, mivel a tanulónak nem szükséges az egymást követő tartalmakon végiglapozva eljutni a célinformációhoz. Bármikor ismételten visszakereshető.

6. Pedagógiai-didaktikai szempontok

Az újdonság, érdekesség, a téma újszerű megoldása, ha a tanulók szemszögéből közelítünk a tárgyhöz, ez mindig jó módszer a tanulók figyelmének megragadására. Az érdeklődés fenntartását elősegítik az egyszerű, közérthető szövegek, a beszédes képek, színes nyilak, szimbólumok és interaktív elemek. Az animációk az ismeretszerzés folyamatát jól támogatják.

Ügyelni kell arra, hogy egyszerre ne közöljünk túl sok új ismeretet, mert ez a megérthetőséget rontja. Fontos, hogy a célkorosztály számára megfelelő szinten és módon juttassa el az információt

A jól megtervezett multimédia-program esetében elengedhetetlen, hogy a feldolgozás a tanuló egyéni igényei alapján a legmegfelelőbb tagolásban és ütemben történjen. Van idő a jegyzetelésre, ami hozzájárul a sikeres elsajátításhoz. A tanuló feladata az anyag befogadása,

majd alkalmazása, az oktatószoftveré pedig új ismeretek biztosítása, és a kapott eredmények kiértékelése. Így a hallgató nem marad visszajelzés nélkül.

7. Pszichológiai-ergonómiai szempontok

A programozott oktatás nyomán létrejött az interaktív oktatás hármas kritériuma, melyet röviden csak TAR-ciklusnak neveznek. A rövidítés: Tanítsd meg az anyagot (Teach), mérd fel, hogy jól tanítottad-e meg (Assess), illetve, hogy a hallgató megértette-e, és a válasz (Respond). Pedagógiai szempontból úgy értelmezhető, mintha a tanuló a multimédiás programot használva a saját tempójában a tanára által (elő)írt leckék segítségével sajátítaná el a nehezen tanulható részeket.

Maga az ergonómia a munkahelyzet, a hatékonyság és biztonság, az ember és az eszközök közti kapcsolat, valamint ezek egymásra hatásával, minőségi összetevőivel foglalkozik. Figyelembe véve, hogy a számítógépeket, a multimédiás programokat többnyire a hétköznapi felhasználásra készítik, úgy tervezik meg, hogy használatuk ne igényeljen számítástechnikai vagy egyéb informatikai előképzettséget.

8. Vizuálergonómiai szempontok

Nemcsak egy multimédiás oktató program, hanem egy egyszerűbb szórólap, könyvborító esetében is szem előtt kell tartani bizonyos vizuálergonómiai szabályokat.

A kezelő felület minőségét nagyban befolyásolja a felhasznált színek száma és fajtája, a képek felbontása, élessége, a kreativitás, valamint az olvashatóság egyaránt.

A színek jelentéssel bírnak, kifejezhetnek érzelmi állapotot, vagy többlet információt foglalhatnak magukba, melyek nyomatékosítják az információt. A színek használata során ügyelnünk kell arra, hogy jól olvasható legyen a szöveg. Például fontos megemlíteni, hogy egy vörös háttérre kézzel írt szöveg a szem számára rendkívül zavaró, mivel egyszerre nem képes a két színre fókuszálni. A sárga és fekete színek alkalmazása bizonyul a leghatékonyabbnak, a piros – zöld – sárga kombináció mellett. Nehezen olvasható akkor is a szöveg, ha előtér és a háttér között nincs fénysűrűség kontraszt, csak szíkontraszt.

Színek alkalmazása a multimédiás prezentációkban azonosításként szolgálhatnak, azonban vigyázni kell arra, hogy túlzott használatuk már zavarja az eligazodást. Legideálisabb hét vagy annál kevesebb szín alkalmazására.

Kerüljük el a komplementer színek együttes használatát is, mivel komplementer színű mezőkre (pl. sárga háttéren megjelenített kék ábrát, vagy vörös háttéren megjelenített zöld ábrát) fókuszálva elmosódottnak, életlennek tűnik a látvány.

Harmonikus színek, áttekinthető struktúra, jól megválasztott betűméret garantálja a hatékony multimédiás bemutatót.

3. MULTIMÉDIA A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OKTATÁSÁBAN

A multimédia egy nagyon rugalmas alternatívákat felkínáló oktatási módszer, amely biztosítja az oktatás időbeli és térbeli újratagolását. Jelentős szerepet tölt me a műszaki tudományok tanításában, eszközzrendszere elősegíti a tapasztalást, a jelenségek olyan mértékű érzékelését, melyek sajátosságai a tanulók számára gyakran nem tűnnek elő.

Manapság a számítógépek révén kibővültek a lehetőségek az oktatás terén. Ennek meghatározó része az „átfogó megértés” egyszerűbbé tétele multimédia alkalmazása által.

Dolgozatomban a „helikopter aerodinamika” és a „repülésmechanika” tantárgy részét képező helikopter forgószárny önforgási- és örvénygyűrű üzemmódjait ismertetem multimédiás bemutatóval szemléltetve.

Kitérnék a tantárgyak tanításának alapvető elemeire, s az oktatásukban felhasználásra kerülő multimédia-anyagok lehetőségeire.

3.1. Az aerodinamika és a repülésmechanika oktatása

Ezen tantárgyak legfontosabb alapját maga a repülőszerkezet képezi, mely kibontva a merevszárnyú- és forgószárnyas repülőeszközöket, illetve azok sajátosságait és jelenségeit jelöli. A későbbiekben ezek közül a helikopter aerodinamikájával, valamint repülésmechanikájával foglalkozom

A műszaki tudományok elemzésének egyik fontos módszere a jelenségek vizsgálata, megfigyelése, ami elősegíti a csoportokba foglalást, azaz az osztályozást.[13]

Így kerülhet kategorizálásra a helikopter a repülő szerkezetek csoportjába. A repülésmechanikában a mozgásokat különböztethetjük meg, ezáltal sorolhatjuk őket haladó-, kör- vagy ezek összetett mozgásának halmazai. További csoportosítási lehetőség például a helikopter forgószárny szám, illetve elrendezés szerinti megkülönböztetés.

A tanítási metódusoknak le kell követniük a természet és a műszaki tudományok fent említett jellegzetességeit. Nagy jelentőséggel bír a forgószárny működésének, a lejátszódó folyamatok alapos ismerete, helyes osztályba sorolása, majd ezek berögzülésével feladatok végrehajtása.

A jelenségek bemutatásához szükségszerűen a legjobb megoldás a helikopter megfigyelése, hiszen ahhoz, hogy a gyakorlatban is kamatoztathassuk a megszerzett tudást, nem elég az elméleti alapok ismerete.

Nagyon sokrétű vagy kivitelezhetetlen kísérleteket kiválthatjuk számítógépes szimulációkkal is, melyek - az elméleti modellt a komplex folyamatok egyes fázisaira alkalmazva - a kiinduló helyzetből lépésenként felépíthetők a kívánt állapotig. Így követhető le a helikopterek különböző üzemmódokon való repülése is.

Fonntos lépés a megalkotott séma elemeinek kiemelése a jelenségben. Ennek hatására történhet meg a csoportba sorolás, továbbá nagyfokú egyszerűsítési alternatívák használata, melyek jól elkülönítik a jelenség sajátos és meghatározott tulajdonságait, s ennek következtében hasonló magyarázatot biztosíthat. Ennek a modellalkotásnak több különböző lehetséges szintje közül a legjobban alkalmazható az egyszerű, matematikailag megfogalmazott kvantitatív modell.

A fent említett tantárgyak oktatásának végső célja a szakirányú probléma-megoldási készség kifejlesztése, azaz egy gyakorlati problémát sikeresen tudjon megoldani a tanuló.[12]

3.2. A helikopter aerodinamika és repülésmechanika tantárgyakhoz kapcsolódó multimédás oktatási anyagok

A multimédiás tananyagok kritériumai közül két tényező kiemelkedő: feltétlenül kapcsolódniuk kell nemcsak a megfigyeléshez vagy kísérlethez, hanem az oktatásban használt tankönyvhöz is. Ha lehetőség van rá, a tanulmányozást az igazi környezetben kell elvégezni, a multimédia-anyag ezt semmiképp sem helyettesítheti, csak felelevenítheti, kiegészítheti. Másrészről például a működő helikopter forgószárnyának közvetlen megfigyelése költséges, balesetveszélyes, és a folyamat gyorsasága miatt nem is megvalósítható. A multimédiás bemutató támaszkodjon a hallgatók tankönyvére, egészítse ki, valamint tegye szemléletesebbé.

Elvárások a helikopter aerodinamika és repülésmechanika tantárgyak oktatásában alkalmazott multimédiás oktatóanyagokkal szemben:

- Az ismertetni kívánt jelenséget vagy objektumot jól érthetően szemléltesse, fontos, hogy egészítse ki, ne pedig helyettesítse magát a megfigyelést. Így felidézheti a tapasztaltakat, de rámutathat a valóságban alig, vagy egyáltalán észre nem vehető jelenségekre is, legcélszerűbb eszköze a videofelvétel, képsorozat vagy az animáció.
- A felelevenített jelenségek párhuzamosságokra, hasonlóságokra hívhatja fel a figyelmet, ezáltal könnyebbé téve az osztályozást és a modellalkotás egyes lépéseit. Az animációk, a háromdimenziós ábrák, vagy a virtuális valóság megfelelő erre a célra.
- Az előbbieket alkalmazva ismertesse a logikai vagy matematikai modellt a hagyományos formában, melyek lehetnek akár képletek, egyenletek, függvények, szabályok stb.
- Mutassa be a helikopter adott szerkezetének működését, ha van rá lehetőség, interaktív jelleggel történjen. A matematikai összefüggések felírása nem a legjobb módja a szemléltetésnek. De ha ezek a struktúrák például animációkkal, háromdimenziós rajzokkal, virtuális valósággal vagy színes függvénygörbékkel mutatjuk be, akkor a matematikai kifejezések könnyebben érthetővé válnak, és az érdeklődést fenntartják.
- Vizsgálja meg, melyek a pedagógia szempontok szerinti szükséges eltérések, kivételek, problémák. Tükrözze, milyen egyszerűsítéseket, közelítéseket alkalmaztunk a modell létrehozása során, továbbá ezeknek milyen korlátai vannak.
- Nyújtson lehetőséget a visszaellenőrzésre, a hallgató milyen szinten tanulta meg az anyagot. Ezt egy jól összeállított kérdéssoron keresztül ellenőrizhető. A tanulónak legyen lehetősége a helytelen válaszokat megnézni, továbbá könnyen visszakeresni a tananyagból a hozzá kapcsolódó részt, amiből kiderül a helyes válasz.[12]

3.3. A szoftver kiválasztása

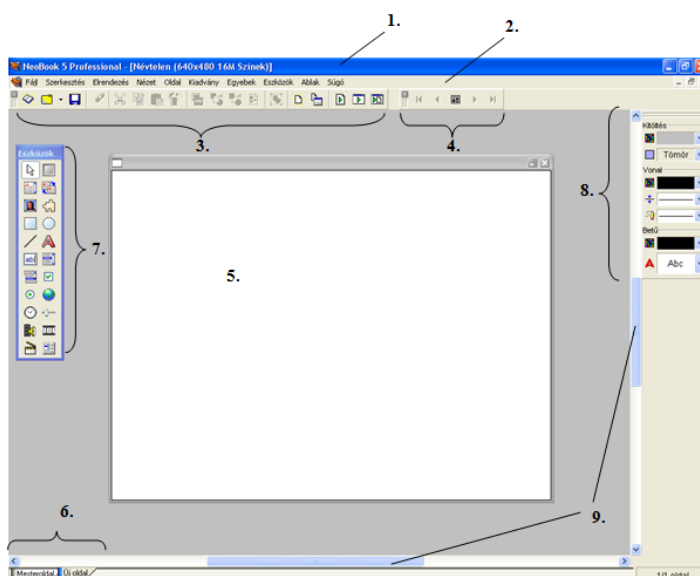
A program kiválasztása során érdemes figyelembe venni, mely szoftverek terjedtek el széles körben, és azok mindenki számára hozzáférhetőek-e. Ilyen például az OFFICE-csomag, szinte kivétel nélkül megtalálható minden számítógépen. A csomag tartalmazza a PowerPoint-ot, amely egy olyan szerkesztő program, melynek segítségével színvonalas bemutatókat készíthetünk értekezletekre, iskolákba, rendezvényekre, előadásokra, azaz ahol több ember érdeklődését és figyelmét kell felkeltenünk.

Ezen kívül az önállóan futtatható multimédiás alkalmazás elkészítésére a NeoBook 5.5.4 multimédia-szerkesztő szoftver alkalmas.

A NeoBookkal készített elektronikus kiadványok lehetnek egyszerű bemutatók, amelyek csak kevés beavatkozást tesznek szükségessé a felhasználótól, de lehetnek interaktivitást igénylő, igényes programok is. A kiadványok számításokat végezhetnek, információt gyűjthetnek, helyes válaszokat ismerhetnek el, akár más szoftverekkel kommunikálhatnak. Ezek az e-kiadványok inkább számítógépes programra hasonlítanak, mint papír alapú fajtájuk.

3.3.1 Neobook munkafelülete és használata [20]

Amikor a NeoBookot első alkalommal nyitjuk meg, szerkesztési üzemmódban egy üres kiadvány jelenik meg.



4. ábra

A NeoBook ablak részei a következők:

1. Címsor
2. Főmenü sor
3. Ikonsor
4. Oldalnavigáló gombok
5. Munkaasztal
6. Oldalfülek
7. Eszközpaletta
8. Stíluspaletta
9. Gördítősáv

A program elindítása után egy új kiadványt hozhatunk létre, vagy akár egy már meglévőt nyithatunk meg.

Egy új kiadvány létrehozásakor (*Fájl* menü → *Új* menüpont) meg kell adnunk a kívánt képernyőméretet, valamint színfelbontást. Az üres kiadványnak két oldala van. Az egyik a Mesteroldal, a másik a kiadványunk első oldala. A Mesteroldalra olyan elemeket célszerű elhelyezni, amelyeket a kiadvány összes vagy majdnem az összes oldala tartalmaz. Ezek lehetnek navigáló gombok, feliratok, oldalszám stb. Ezek az elemek más oldalak háttérében fognak megjelenni.

További oldalak bármikor hozzáadhatók az (*Oldal* menü → *Oldal hozzáadása* menüpont). További beállításokat is megtehetünk a kiadvánnyal kapcsolatban (*Kiadvány* menü → *Kiadvány tulajdonságai* menüpont). Ebben a részben állíthatjuk be az egész kiadványra érvényes tulajdonságokat. Az ablak a következő részekből áll:

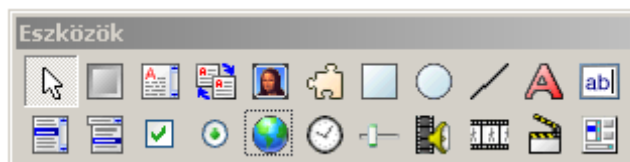
- Általános
- Méret / Színek
- Ablak
- Főmenü
- Műveletek
- Hozzáférés

- Védelem
- Nyelv
- Interfész
- Képernyővédő
- Tálca menü

A NeoBook Eszközpalettáján és Stíluspalettáján vannak azok az eszközök, amelyekkel egy kiadványt elkészíthetünk, illetve szerkeszthetünk.

Az eszközpaletta részei

A NeoBookban azokat az elemeket, amelyek a kiadványunkban előfordulnak, objektumoknak nevezzük. Az objektumokat, mint például kép, cikk, alakzat, nyomógomb, felirat, legördülő lista, jelölő négyzet stb., az Eszközpaletta segítségével hozhatjuk létre. Minden egyes gomb más és más típusú NeoBook objektumot takar, amelyek különböző lehetőségekkel és tulajdonságokkal rendelkeznek. Egy új objektum létrehozásakor válasszunk ki egyet, és az egérrel húzzunk egy négyszöget a kiadványunk oldalán. A legtöbb objektumtípusnál egy tulajdonság ablak jelenik meg, amelyik további információkat kér.

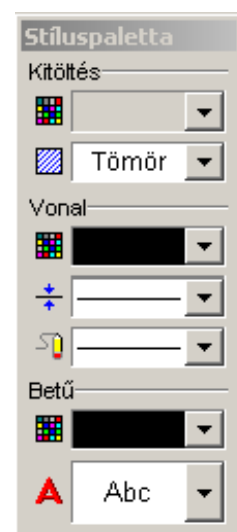


5. ábra

A stíluspaletta eszközei

Egy objektum elkészülte után a legtöbbnek módosíthatjuk a megjelenését a Stíluspaletta segítségével. Miután kijelöltük a módosítandó objektumot, a következőkkel tudjuk módosítani:

- Kitöltőszín
- Kitöltő minta
- Vonal színe



6. ábra

- Vonalvastagság
- Vonalstílus
- Betű színe
- Betűkészlet

Kiadvány fordítása

Egy átlagos kiadvány szöveget, képeket, animációkat, hangokat, videót és egyéb más elemeket tartalmaz, melyeket általában a számítógépünk különböző könyvtáraiban tárolunk. A *Kiadvány* menü → *Archiválás* paranccsal egy könyvtárba gyűjthetjük ezeket.

A létrehozott kiadványt és a hozzá tartozó fájlokat egy önállóan futtatható programba kell fordítanunk.

A NeoBook négy különböző formátumba tudja lefordítani a kiadványt:

- Windows alkalmazás (exe),
- Windows képernyővédő (scr),
- Windows tálcára ülő alkalmazás (exe),
- Web-böngésző bedolgozó (Plug-in/ActiveX control) (ocx).

A legtöbb NeoBook kiadványt Windows alkalmazássá (EXE) fordítanak. Ez a formátum általában úgy néz ki és úgy viselkedik, mint egy általános Windows-os program: ablakban jelenik meg, és van egy címsora. A többi típusú formátum kissé bonyolultabb, és mélyebb Windows- ismereteket igényelhet a legjobb eredmény elérése érdekében.

Az általam készített multimédiás programot a soron következő fejezetekben tárgyalt helikopter forgószárny üzemmódjain keresztül szeretném bemutatni.

A program egy egyszerű kezdőképernyővel indul, majd a következő oldalon található menüsorban a felhasználó könnyen tud navigálni, illetve megkeresni a kívánt tartalmakat.



7. ábra

4. A HELIKOPTER FORGÓSZÁRNY AERODINAMIKÁJÁNAK JELLEMZÉSE

4.1 A forgószárny főbb jellemzői [21]

A helikopterek legfontosabb szerkezeti eleme a forgószárny, melynek elsődleges feladata a repüléshez szükséges felhajtóerő, továbbá a kívánt irányba haladáshoz szükséges mozgatóerő létrehozása, valamint a helikopter stabilitásának és kormányozhatóságának biztosítása. A forgószárny fő részei az agy és a lapátok. A lapátok biztosítják a forgószárny vonóerejét, az agy pedig összefogja a lapátokat, rajta keresztül adódik át a lapátoktól a helikopter törzsére a vonóerő, illetve a hajtóműtől a forgató nyomaték, teljesítmény a lapátok forgatására.

A további fejezetek érthetősége érdekében szükséges a helikopter forgószárny legfontosabb jellemzőinek, fogalmainak összefoglalása.

D – Forgószárny átmérő: forgás közben a lapátvégek által leírt kör átmérője.

R – Forgószárny sugár (Egy tetszőleges szelvény helyét r-rel jelöljük.)

A_s – Forgószárny által súrolt felület: a lapátvégek által leírt kör területe.

$$A_s = R^2 \cdot \pi = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

z – Lapátok száma.

A_1 – Egy darab forgószárnylapát felülete.

σ – Kitöltési tényező: a forgószárnylapát felületének és a súrolt felület hányadosa, azaz a súrolt felület hányad részét képezik a lapátok.

$$\sigma = \frac{z \cdot A_l}{A_s}$$

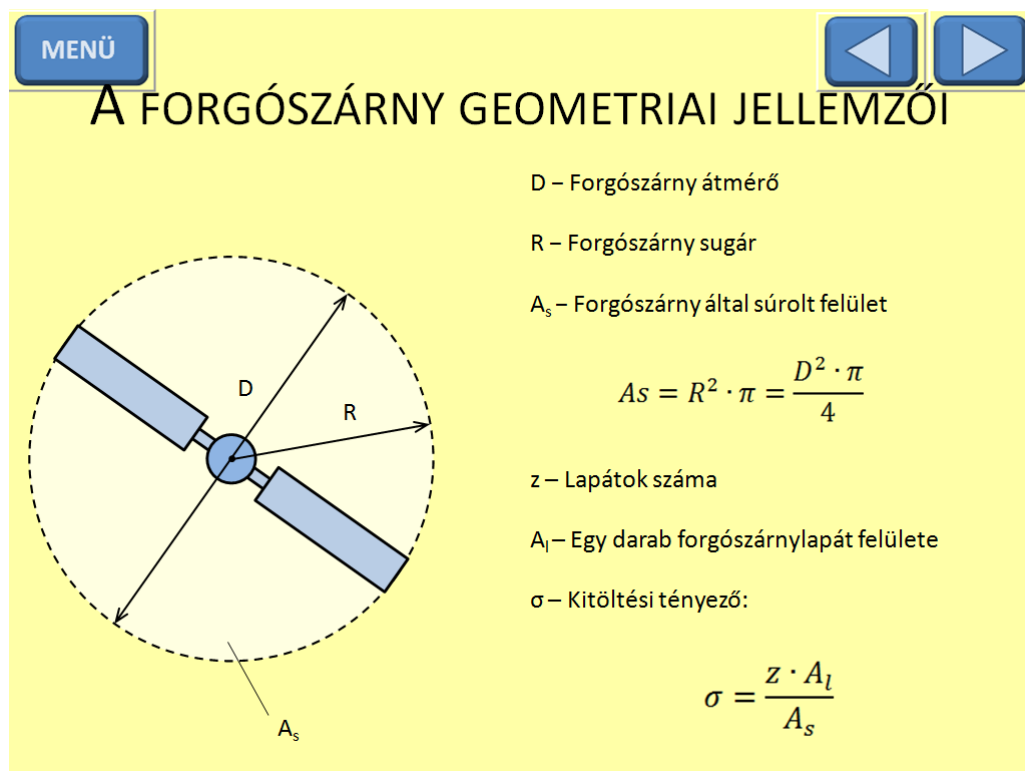
A – Forgószárny állásszöge: a forgószárnyagy forgási síkja és a repülési sebesség vektora által bezárt szög.

μ – Üzzemmód tényező: a repülési sebesség a forgószárnyagy forgási síkjába eső komponensének és a lapátvégi kerületi sebesség viszonyszáma.

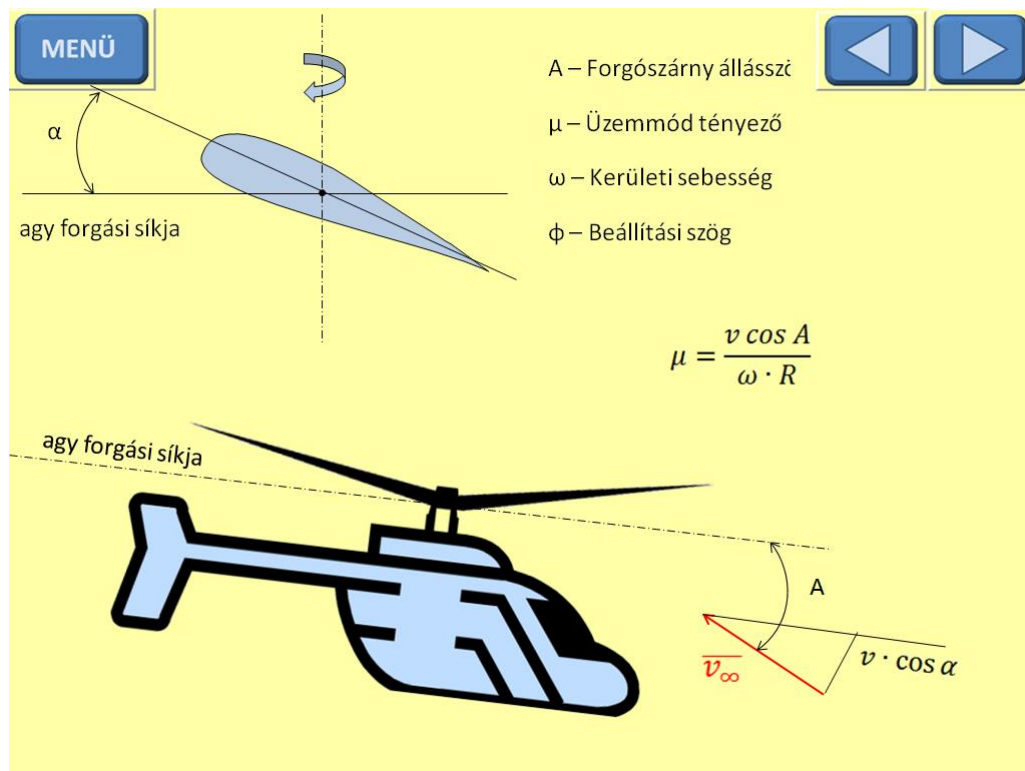
$$\mu = \frac{v \cos A}{\omega \cdot R}$$

ω – Kerületi sebesség.

φ – Beállítási szög: a húr és a forgószárnyagy forgási síkja által bezárt szög.



8. ábra



9. ábra

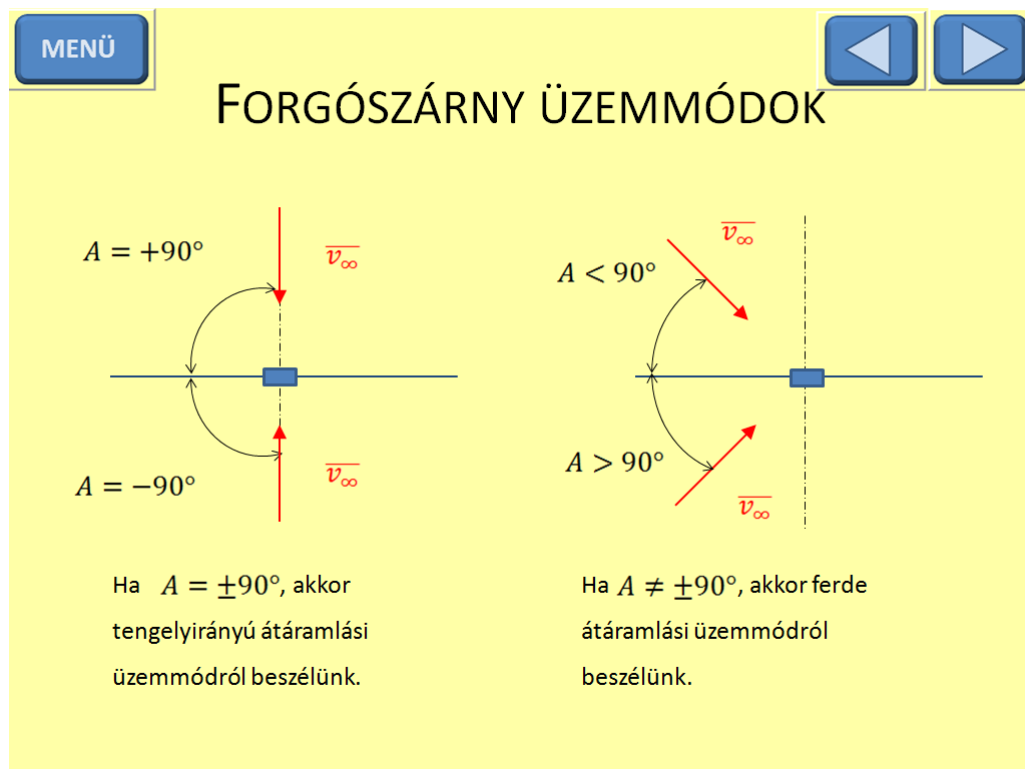
4.2 Üzem módok

A helikopter légáramban foglalt helyzete alapján meghatározhatunk két fő üzemmódot, melyek a forgószárny és a zavartalan közeg kölcsönös helyzete szerint: tengelyirányú és ferde átáramlási üzemmód.

4.2.1. Forgószárny működése tengelyirányú átáramlási üzemmódban

Tengelyirányú átáramlási üzemmódban a zavartalan áramlás iránya párhuzamos a forgószárny tengellyel, valamint merőleges a forgószárny agy forgási síkjára. Erről az üzemmódról beszélünk függés, függőleges emelkedés és süllyedés esetén, ha nem lép fel oldalszél. A lapátok teljes körülfordulása során a lapát megfúvási viszonyai nem változnak meg, azaz nem változik a lapátokon keletkező légerő sem.

A lapátokon keletkező vonóerő kialakulása a továbbiakban az ideális forgószárny impulzus elméletével és a lapelem elmélet segítségével kerül bemutatásra.



10. ábra

A lapátokon keletkező vonóerő kialakulása a továbbiakban az ideális forgószárny impulzus elméletével és a lapelem elmélet segítségével kerül bemutatásra.

4.2.1.1 Az ideális forgószárny impulzus elmélete [21]

Newton megfigyelése, miszerint minden hatás létrehoz egy vele egyenlő nagyságú és ellentétes irányú ellenhatást, az alapja az impulzus elméletnek. Egy helikopter függésének fenntartása esetében (nincs szél!) „hatás” a felfele irányuló forgószárny vonóerő, az „ellenhatás” pedig a lefelé irányuló sebesség. A forgószárny vonóerő az a teljes aerodinamikai erő, amely a helikopter súlyát legyőzve repülésre kényszeríti a helikoptert. A második Newton törvény szerint az erő egyenlő a gyorsulás és a tömeg szorzatával. A helikopter stacionárius, szél nélküli függésekor az erő a forgószárny vonóerővel (F_p), a gyorsulás pedig a sebesség megváltozása a forgószárny forgási síkja feletti nagyobb távolságról a forgási sík alatti távolságra, a tömeget tekinthetjük tömegáramnak, azaz a másodpercenként a forgószárny lapátokon átáramló levegőnek.

Az impulzus elmélet vizsgálata során a forgószárnyat egy olyan szerkezetnek tekintjük, amely forgása következtében felülről szívja és nyomja maga alá (motoros üzemmód) vagy az alulról érző levegő sebességét csökkenti (önforgási üzemmód). A

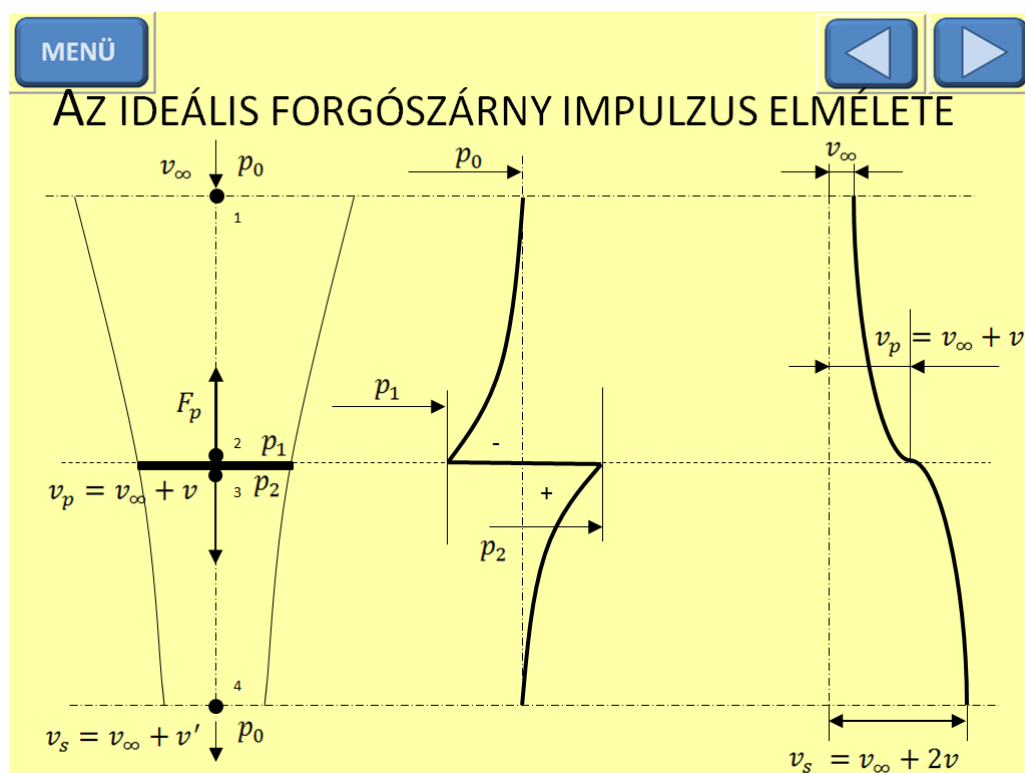
forgószárny feladata a vonóerő létrehozása oly módon, hogy síkjában nyomásugrást hozzon létre, amely majd a vonóerőt fogja szolgáltatni. Egyenletes nyomáseloszlást feltételezve a vonóerő képlete:

$$F_p = (p_2 - p_1) \cdot A$$

p_1 – a forgószárny előtti nyomás

p_2 – a forgószárny mögötti nyomás

A – a forgószárny területe



11. ábra

A zavartalan környezeti nyomás a forgószárny előtt és mögött nagyobb távolságban p_0 . A forgószárnyhoz közeledve a forgószárny felett a nyomás addig csökken, míg el nem éri a forgószárny síkját, ahol nyomásugrás jön létre, mivel az energia átadódik a levegősugárnak. a forgószárnytól távolodva ismét csökkenni kezd a nyomás, míg vissza nem áll a zavartalan áramlás p_0 értékére.

A zavartalan áramlás sebessége v_∞ , amely a forgószárny szívó hatása miatt növekedni kezd egészen v_p értékig: $v_p = v_\infty + v$. Ezt követően lefelé tovább gyorsul v_s értékre: $v_s = v_\infty + v'$, majd a környező levegő fékező hatása miatt csökkenni kezd.

A nyomásugrás hozza létre az impulzusváltozást, az impulzus tétel alapján felírhatjuk a vonóerőt, amely egyenlő a tömegáram ($\dot{m}$) és teljes sebesség változás szorzata:

$$F_p = (p_2 - p_1) \cdot A = \dot{m} \cdot (v_s - v_\infty) = \rho A v_p \cdot (v_s - v_\infty) = \rho A \cdot (v_\infty + v) \cdot v'$$

A Bernoulli-egyenlet a forgószárny 1. és 2. majd a 3. és 4. keresztmetszetére alkalmazva:

$$p_0 + \frac{\rho v_\infty^2}{2} = p_1 + \frac{\rho \cdot (v_\infty + v)^2}{2} \quad \text{I.} \quad (1. \text{ és } 2. \text{ keresztmetszet})$$

$$p_0 + \frac{\rho (v_\infty + v')^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \cdot (v_\infty + v)^2}{2} \quad \text{II.} \quad (3. \text{ és } 4. \text{ keresztmetszet})$$

Következő lépésként a II. egyenletből kivonva az I. egyenletet:

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho \cdot (v_\infty + v')^2}{2} - \frac{\rho v_\infty^2}{2}$$

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho \cdot (2v_\infty v' + v'^2)}{2}$$

Az így megkapott egyenletet fentiekben felírt vonóerő képletével összegezve:

$$p_2 - p_1 = \frac{F}{A} = \frac{\rho A \cdot ((v_\infty + v) \cdot v')}{A} = \frac{\rho \cdot (2v_\infty v' + v'^2)}{2}$$

$$2v = v'$$

Tehát megállapítható, hogy a forgószárnyon a levegősugár felgyorsulása felerészben a forgószárny síkjáig, felerészben pedig a mögött indukálódik.

$$\text{Visszahelyettesítve: } F_p = 2A\rho \cdot (v_\infty + v) \cdot v \quad (\text{ahol } v = v_{\text{ind}})$$

A forgószárny által a forgószárny forgási síkjáig létrehozott tengelyirányú sebességváltozás az indukált sebesség.

4.2.1.2 Forgószárny vonóerő meghatározása lapelemelmélet alapján [14][21]

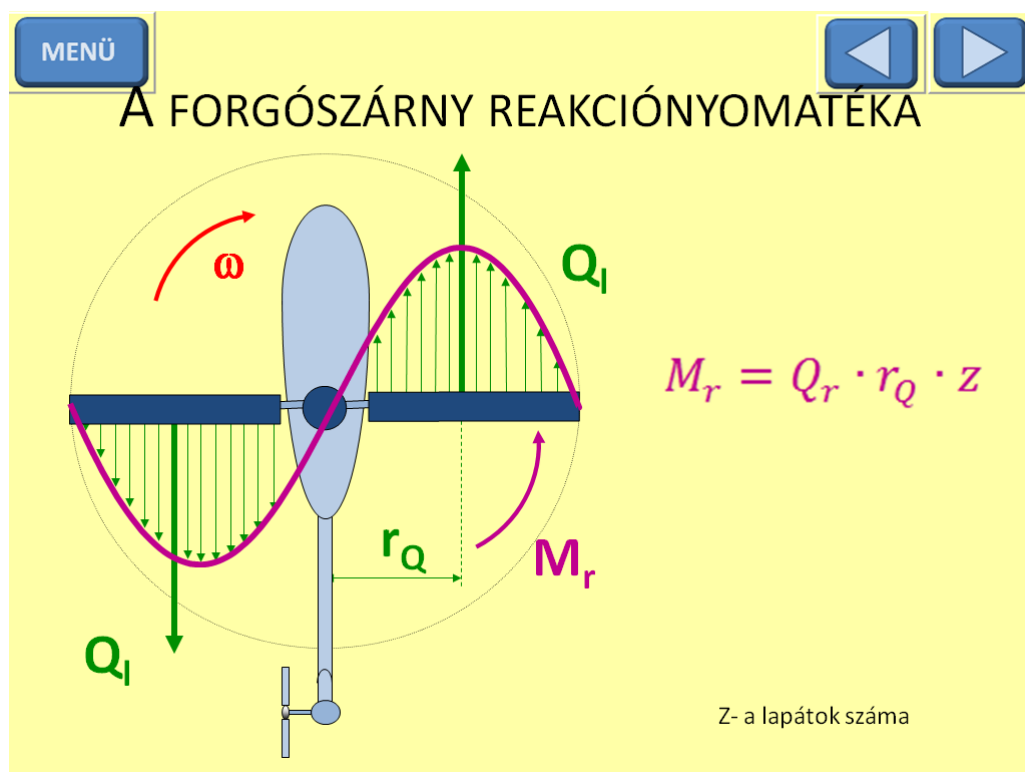
Az impulzus elmélet hiányosságaira a lapelem elmélet nyújt megoldást, amely a forgás során a forgószárny lapátok elemein létrejövő légerők szempontjából mutatja be a vonóerő, illetve a kerületi erők keletkezését.

A lapátelemeken keletkező elemi vonóerők összegzésével a lapáton keletkező vonóerőt, illetve a lapátok vonóerőinek összegzésével a teljes forgószárny vonóerejét meghatározhatjuk.

4.2.1.3 A forgószárny reakciónyomatéka

Az előzőekben vizsgált r sugarú körön haladó lapátelemen a keletkező $d\bar{Q}$ elemi kerületi erő egy $d\bar{M} = r \cdot d\bar{Q}$ nagyságú elemi nyomatékot fejt ki a forgószárny tengelyére, mivel kerületi erők nem mennek át a forgószárny tengelyén. Ez a nyomaték ellentétes a forgószárny forgásértelmével, továbbá (motoros üzemmód esetében) akadályozza a lapát forgását. Azt a nyomatékot, mellyel a forgószárnyat forgatnunk kell a vonóerő létrehozásához, a forgószárny lapátok összes elemén keletkező elemi nyomatékok összegzésével kapjuk. Ezt a nyomatékot a forgószárny reakció nyomatéka. Az egész forgószárny reakciónyomatékához a lapátok reakciónyomatékának z -szeresét kell venni:

$$M_r = Q_r \cdot r_Q \cdot z$$



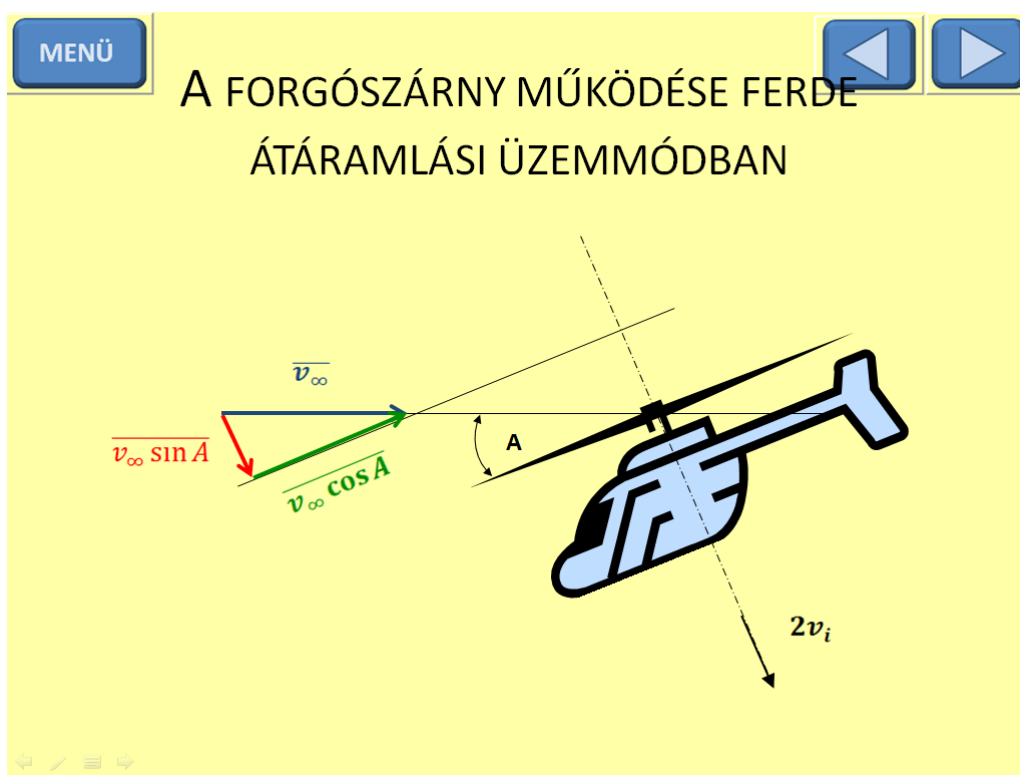
13. ábra

A forgószárny reakciónyomatéka el akarja ellentétes irányba forgatni a helikoptert, a rá ható kerületi erők külső erőkként hatnak, amelyeknek eredője zérus, de forgatónyomatékuk nem nulla, pontosan a reakciónyomaték nagyságával megegyező. Ezért szükséges ennek a

forgásnak a megakadályozására valamilyen reakciónyomaték kiegyensúlyozó megoldást alkalmazni (faroklégcsavar, két forgószárny koaxiális, hossz-, illetve keresztelrendezés, szinkropter, NOTAR-rendszer stb.).

4.2.2 A forgószárny működése ferde átáramlási üzemmódban

Ha a zavartalan áramlás iránya nem párhuzamos a forgószárny tengelyével, akkor a forgószárny ferde átáramlási üzemmódban dolgozik. A forgószárny körülfordulása során folyton változik a lapát helyzete a ráfutó áramláshoz viszonyítva, ezáltal a lapát minden elemének megfűvási viszonyai, tehát a légerő is változik. Ebbe az üzemmódba tartozik a vízszintes repülés, ferde pályán történő emelkedés és süllyedés.



14. ábra

4.2.2.1 A forgószárny lapátok vonóerejének változása a körülfordulás során [21]

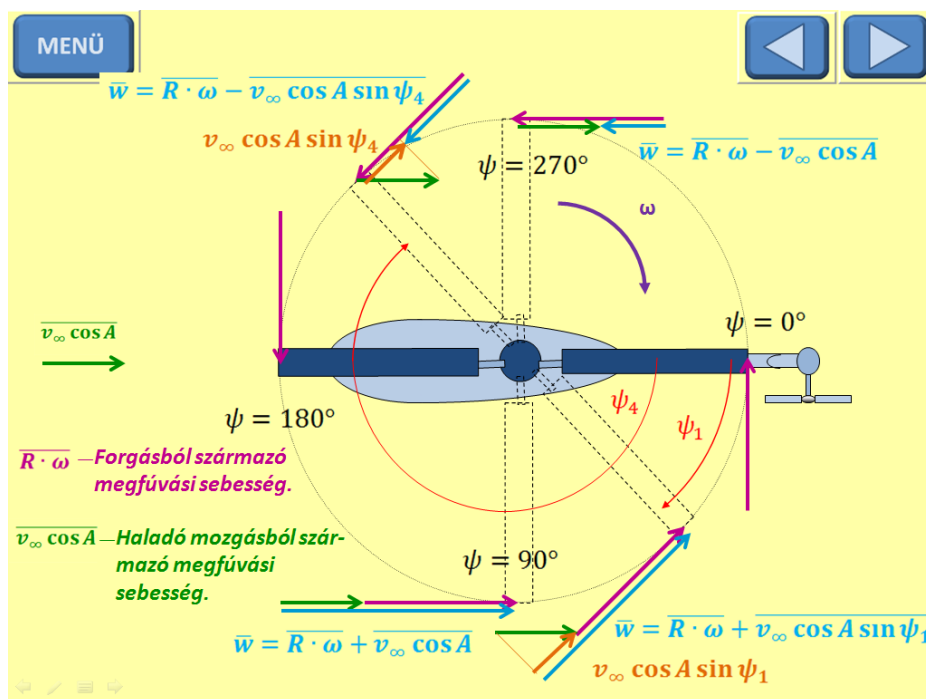
A forgószárny ferde átáramlású motoros működésekor a lapát elemeinek megfűvása, mozgása összetettebb a tengelyirányú átáramláshoz képest — a lapát körülfordulása során ciklikusan változik. A lapátokon keletkező légerők nagyságát a lapát hossztengelyére merőleges eredő sebesség nagysága határozza meg, mely folyamatosan változik a forgás során.

A lapát helyzetének meghatározására az ψ azimut szög (lapáthelyzetsszög) fogalmát alkalmazzuk, mely alatt a zavartalan áramlás iránya és a lapát hossz tengelye közötti szöget értjük, a forgószárny forgási irányában mérve a szögértéket. A lapát azimut szöge 0° -tól 360° -ig változhat. A $\psi=0$ azimuthelyzet az a lapáthelyzet, mikor a lapát hossz tengelye egybeesik a zavartalan áramlás sebességének irányával és a lapát a zavartalan áramláshoz viszonyítva hátul helyezkedik el. Előrehaladó lapátnak nevezzük a 0° -tól 180° -os azimuthelyzetben levő lapátot, hátrahaladónak pedig a 180° -tól 360° -os helyzetben levőt.

Vizsgáljuk meg, hogyan változik meg a lapátelelemek $\bar{w}$ eredő megfúvási sebessége a körülfordulás során! Az agy forgási síkjába eső lapát hossz tengelyére merőleges sebesség összetevő nagysága az adott lapelem kerületi sebességének és a repülési sebesség agy forgási síkjába eső komponensének kerületi sebesség irányú komponenséből vektoriális összegzéssel kapható meg.

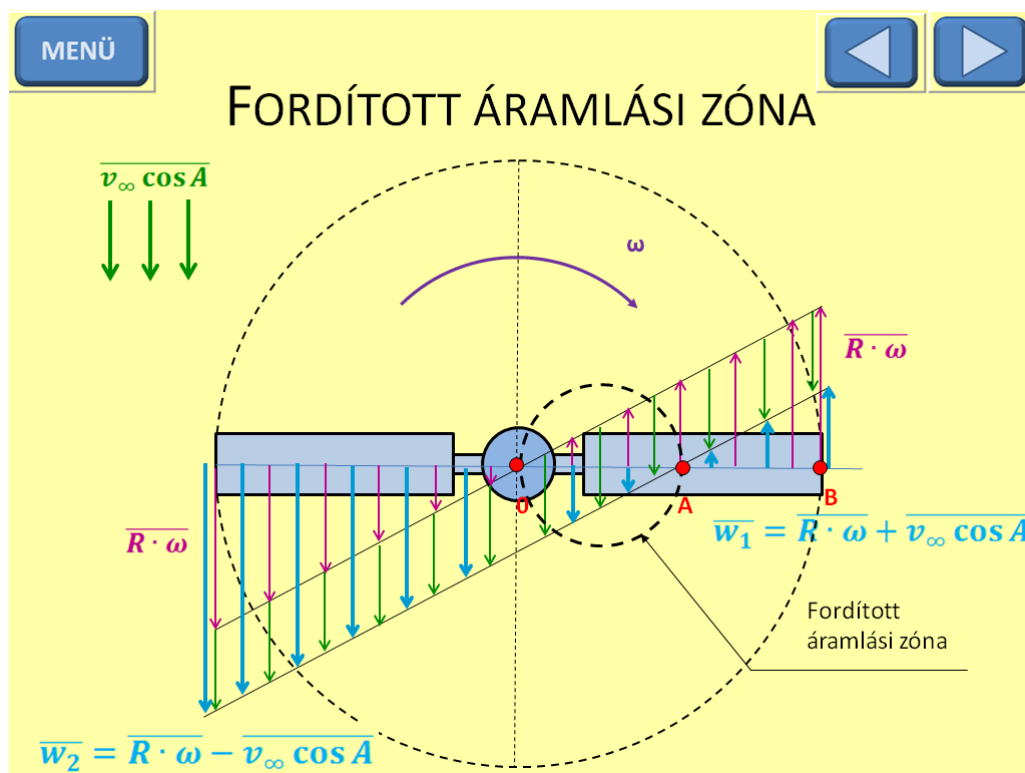
A lapát vonóereje a lapátvég eredő megfúvási sebességéhez hasonló jelleggel fog változni az azimuthelyzet függvényében

Belátható, hogy $\psi = 0^\circ$ és $\psi = 180^\circ$ azimut szög helyzetben az $\bar{w}$ eredő megfúvási sebesség egyenlő a kerületi sebességgel, mert a repülési sebesség kerületi sebesség irányú vetülete zérus. Maximális lesz a megfúvási sebesség a $\psi = 90^\circ$ azimut szögnél, minimális érték alakul ki a $\psi = 270^\circ$ helyzetnél.



15. ábra

A lapátelelemek eredő megfűvási sebességének a forgószárny sugár menti terjedését megvizsgálva megállapítható, hogy a hátrahaladó lapátok törésénél fordított áramlás alakul ki, mert a repülési sebesség nagyobb, mint a lapelem kerületi sebessége. Az ábrából is jól látható, hogy a $\psi = 270^\circ$ helyzetben levő lapát A és C pontja közötti szakaszon az áramlás a lapátot a belépőél felől éri. A lapát A szelvényének eredő megfűvási sebessége nulla. Az A és O pontok között a kerületi sebesség kisebb, tehát itt a kilépőél felől éri a lapátot a megfűvás. A hátrahaladó lapátok törésénél mindig van egy olyan szakasz, ahol fordított az áramlás, a súrolt felület ezen részét nevezzük fordított áramlási zónának, melynek kör az alakja, átmérője függ a forgószárny üzemmód tényezőjétől.



16. ábra

4.2.2.2 Vízszintes csukló szükségessége [21][14]

Az előzőekből következtetve, a ciklikusan szinuszos jelleggel változó megfűvási sebesség miatt a lapát vonóereje is ciklikusan fog változni, ennek következtében a merev lapátbekötésű forgószárny számos elégtelensége felmerülhet:

- A körülfordulás során folyamatosan változó vonóerő a lapátok törése nagy hajlítógénybevételnek van kitéve a bekötéseknél, ami fáradásos töréshez vezethet.

- A lapátok jelentős függőleges és vízszintes hajlító lengése a helikopter erős vibrációját, rázását eredményezheti.
- A forgószárny vonóerő hatásvonala nem esik egybe a forgószárny tengellyel, így ez billentő nyomatékot hozhat létre, mely a helikopter bedőlését vezethet.

Ezek a problémák kiküszöbölhetőek vagy jelentősen csökkenthetőek, ha a lapátokat úgynevezett vízszintes csukló közbeiktatásával rögzítjük a forgószárny agyhoz. Vízszintes csuklónak (VCS) nevezzük azt a csuklót, melynek tengelye az agy forgási síkjában fekszik és iránya merőleges a lapát hossz tengelyére. A csuklót alkalmazva a lapátok vonóereje kevésbé fog változni a körülfordulás során. A vízszintes csuklóval ellátott forgószárny lapát vízszintes csukló körül tud elmozdulni, az agy forgási síkjához képest felfelé, vagy lefelé csap. Ennek következtében a lapátról nem tud a függőleges síkban ható nyomaték átadódni az agyra. A vonóerő billentő nyomatéka kiiktatható, ha a vízszintes csuklók tengelyei átmennek az agy tengelyén. Továbbá a lapát törésze tehermentesítődik, mivel lapáttő függőleges hajlító igénybevétele zérus lesz. A vibráció mértéke is jelentősen csökken, mert a lapátról kevésbé változó erők adódnak át az agyon keresztül a helikopter törzsére.

Arra a kérdésre, hogy a lapátok miért nem csapódnak össze felül, a lapát vízszintes csuklóhoz viszonyított egyensúlyának elemzése ad választ.

A csapkodást a lapát hossz tengelye és a forgószárny agy forgási síkja által bezárt β felcsapási szöggel jellemezzük, melynek mértékét a lapátra az agy forgási síkjára merőleges síkban — a vonóerő síkjában — ható erők vízszintes csuklóra gyakorolt nyomatékai határozzák meg.

A lapát vonóerejének síkjában hatóerők, és általuk kifejtett nyomatékok a vízszintes csuklóra, melyek a lapát hossza mentén megoszlanak, de az egyensúly meghatározásához eredőikkel helyettesíthetők, az alábbiak:

G — a lapát súlya;

Ez az erő a lapát súlypontjában hat, és a vízszintes csuklóra ható $M_T = G \cdot a$ nyomatéka a lapátot mindig lefelé igyekszik fordítani.

$\bar{T}_l$ — a lapát vonóereje;

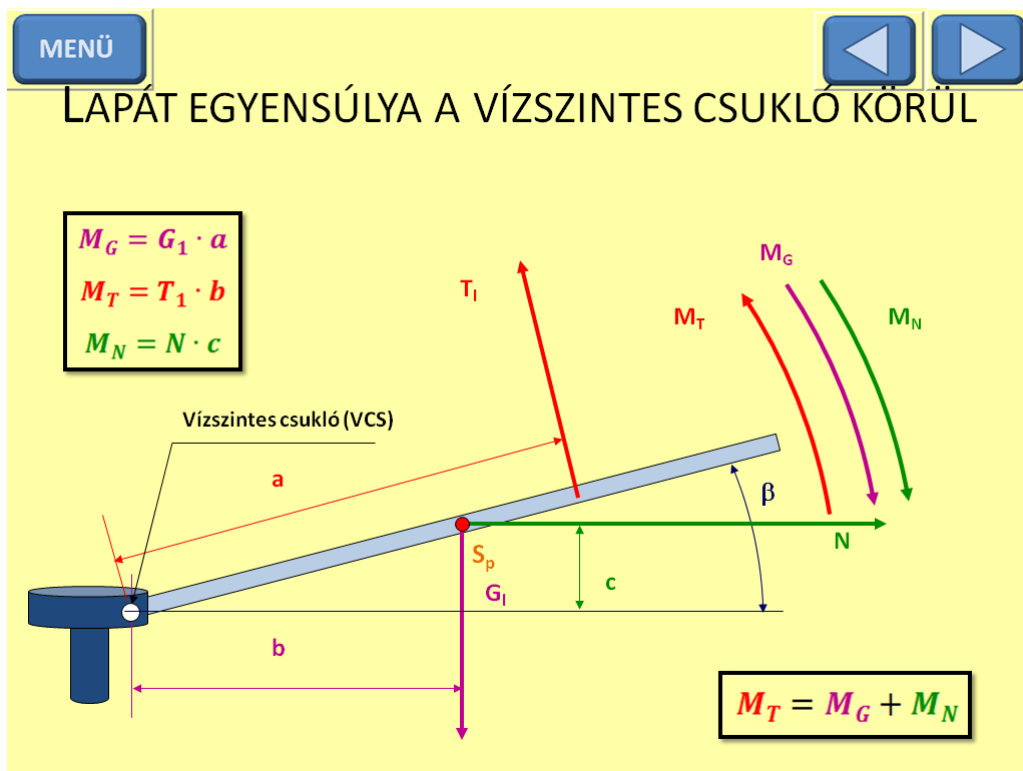
A lapát hossza mentén megoszló légerő eredője a körülbelül 0,7-es relatív sugárnál ébred, és a vízszintes csuklóra gyakorolt $M_T = T_l \cdot b$ nyomatéka a lapátot mindig felfelé igyekszik fordítani. Ferde átáramlási üzemmód esetén a körülfordulás során nagysága és így nyomatéka ciklikusan változik.

N — a lapátra ható centrifugális erő;

Ahhoz, hogy egy helikopter felhajtóerőt generáljon, a lapátoknak forogniuk kell. A forgószárny lapátok forgásakor centrifugális erő keletkezik, amely a lapátokat forgástengelytől kifelé húzza a forgószárny forgási síkjával párhuzamosan. Minél nagyobb a forgás sebessége, annál nagyobb centrifugális erő jön létre, ennek megfelelően kisebb forgási sebességnél kisebb erő keletkezik. A centrifugális erő messze a forgószárnyon ható legnagyobb erő, amely lényeges stabilitást, s egyfajta merevséget biztosít a lapátoknak a csapkodó mozgással szemben. Maximális centrifugális erőt a forgószárny lapátok maximális fordulatszáma határozza meg.

A centrifugális erő eredője megközelítőleg a lapát hossz kétharmadánál ébred. A vízszintes csuklóra gyakorolt $M_N = N \cdot c$ nyomatéka a lapátot mindig az agy forgási síkjába igyekszik fordítani. Felcsapás esetén lefelé, lecsapás esetén felfelé.

A lapát egyensúlyi helyzetét ismerve megállapítható, hogy a felcsapási szög azért nem nőhet 90°-ig, mert a felcsapási szög növekedésével együtt nő a centrifugális erő nyomatéka, és a centrifugális erő mértéke nagy, így kicsi felcsapási szög, ezáltal „c” kar növekedés esetén is jelentős visszatérítő nyomatéknövekedést okoz.



17. ábra

Ha a lapátokon nő a felhajtóerő, akkor rajta két fő erő működik egyidőben, a kifelé tartó irányba ható centrifugális erő és a felfelé ható felhajtóerő. Ennek a két erőnek az együttes eredménye, hogy a lapátok felvesznek egy kúp alakú forgási helyzetet ahelyett, hogy a tengelyre merőleges síkban forognának. A forgási kúp csúcsa az agy középvonalában helyezkedik el. A forgószárny lapátvégek által súrolt síkot a forgószárny forgási síkjának, az agy középpontjából bocsátott merőleges egyenest a forgáskúp tengelyének nevezzük. A forgószárny forgáskúp tengelye megegyezik a forgószárny vonóerő tengelyével.

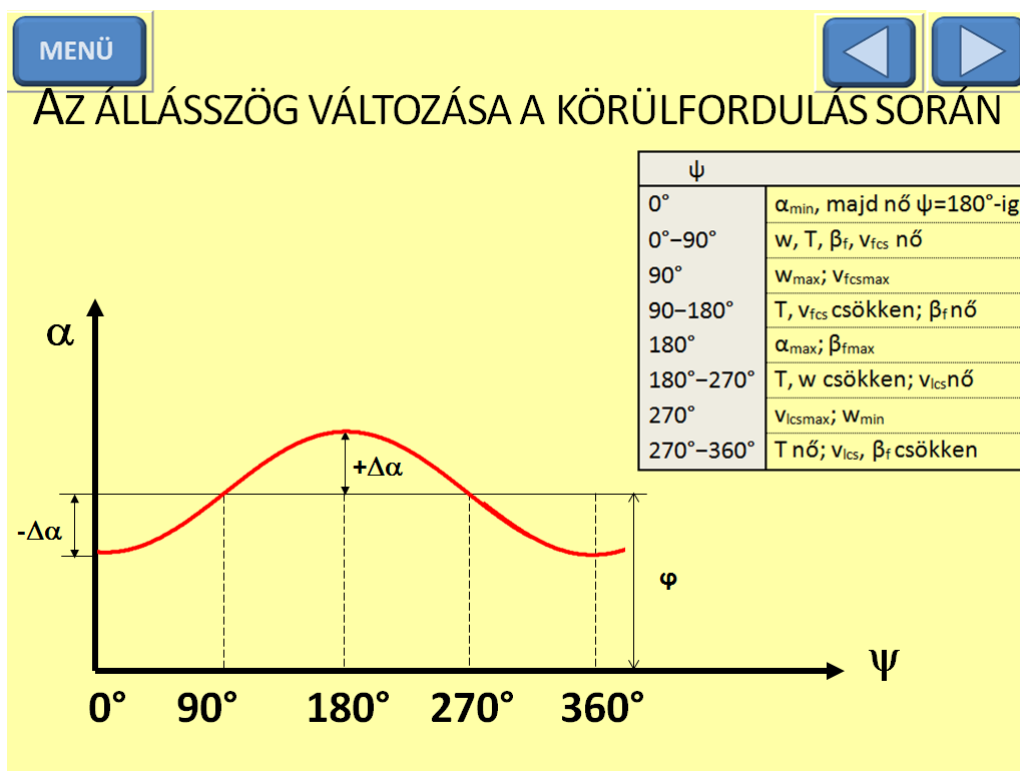
Ha forgószárny fordulatszáma lehetővé teszi a lassabb haladást (pl. minimum forgószárny fordulatszám alatt), a centrifugális erő kisebb lesz és a forgási kúpszög pedig jóval nagyobb. Ez a jelenség jól megfigyelhető a helikopter felszállásakor, mikor is a vonóerőt növelve az addig síkbanforgó lapátok egyre nagyobb kúpszögű forgási kúpot írnak le.

Ha a lapátok ferde átáramlásban vannak, a lapátok vonóereje ciklikusan változik. Így a felcsapási szög mértéke is változni fog, melynek következtében a lapátok körülfordulásuk során úgynevezett csapkod mozgást végeznek. Csapkodó mozgás az a mozgás, melyet a lapátok vízszintes csuklóhoz viszonyítva, a vonóerő síkjában végeznek.

A csapkodó mozgás folyamatát többnyire a vonóerő változásának jellege határozza meg. Ezek kívül figyelembe kell venni a tehetetlenségi erőket is, valamint a csapkodás következtében változik a lapátelelemek állás-, és beállítási szöge, ezáltal a vonóereje is.

A körülfordulás során a lapátelelemek eredő megfűvás sebességének változását és annak következményét megvizsgálva a következők állapíthatók meg:

- $\psi=0^\circ$ Ebben az azimuthelyzetben levő lapát elemei állásszög csökkenést mutatnak, azaz itt lesz minimális az értéke, majd $\psi=180^\circ$ -ig növekedni kezd.
- $\psi=0^\circ-90^\circ$ Az előrehaladó lapátnál az eredő megfűvás sebesség, a lapát vonóerő és annak nyomatéka nő, tehát a lapát felcsapást végez. A lapát felcsapási sebessége, illetve a β felcsapási szöge fokozatosan növekszik.
- $\psi=90^\circ$ A lapát felcsapási sebessége maximális, a lapát állásszöge változatlan, az eredő megfűvási sebesség itt a legnagyobb.
- $\psi=90^\circ-180^\circ$ A lapát vonóereje fokozatosan csökken, de tehetetlenségéből adódóan lassulva tovább mozog lefelé, így tovább nő a felcsapási szög, viszont a felcsapás sebessége csökken.
- $\psi=180^\circ$ Az állásszög a maximális értéket vesz fel, és a lapát eléri a maximális felcsapási szöget.
- $\psi=180^\circ-270^\circ$ A hátrahaladó lapát vonóereje csökken a $\bar{w}$ eredő megfűvási sebesség csökkenése miatt, a lecsapó lapát sebessége növekszik.
- $\psi=270^\circ$ A lecsapási sebesség itt éri el a maximális értéket, az állásszög változatlan, az eredő megfűvási sebesség itt a legkisebb.
- $\psi=270^\circ-360^\circ$ A lapát vonóereje nő, a lecsapás sebessége viszont csökken, így a felcsapási szög csökken.
- $\psi=360^\circ=0^\circ$ A lapát itt felejt be a lecsapást.

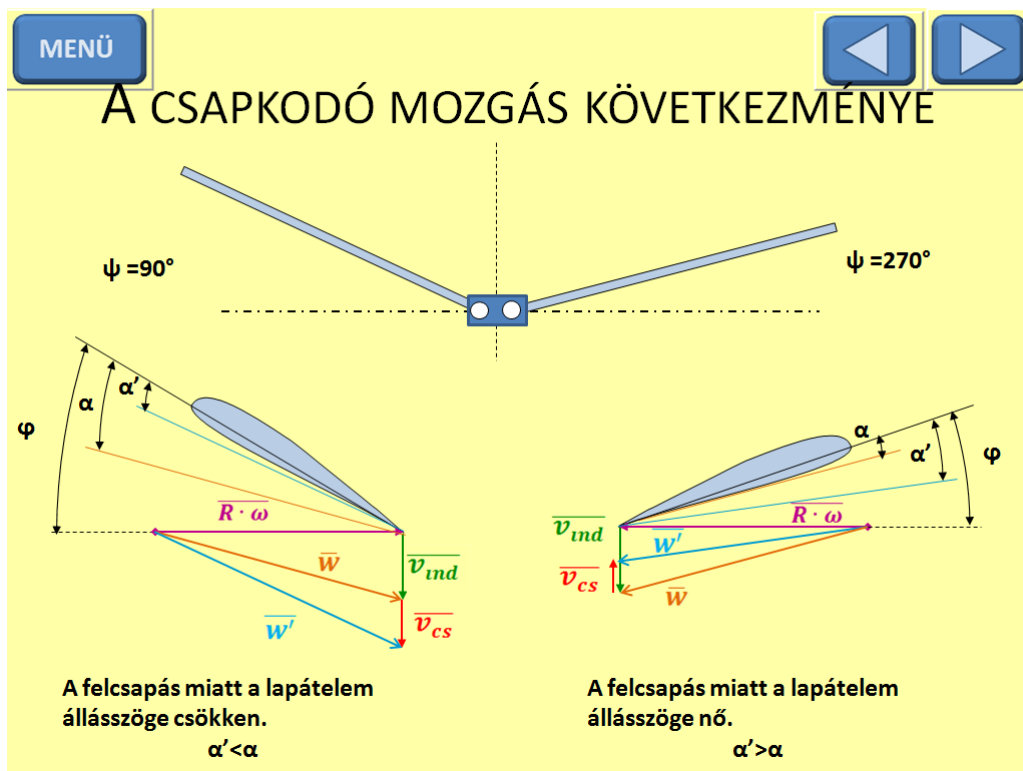


18. ábra

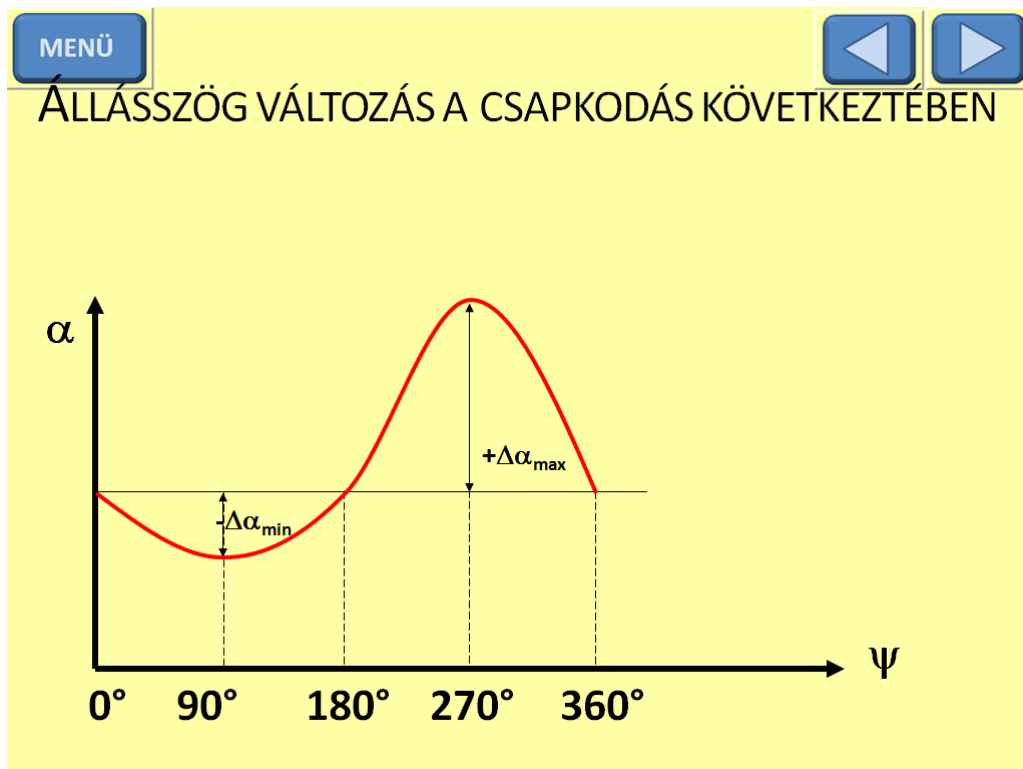
Mindezek a fogószárny forgási kúp tengelyének megdőlését okozza az eredő megfúvási sebesség változása miatt. Ennek korrigálására a forgószárnyakat kissé előre megdöntött helyzetben építik be a helikopterek törzsébe.

A lapát csapkodó mozgásának hatását vizsgálva a lepelemek állásszögére a következőket tapasztaljuk:

Az előrehaladó lapát felfelé csap, tehát a v_{cs} csapkodás sebességgel megegyező nagyságú megfúvásfelülről éri, ennek következtében a lapátelelemek állásszögei csökkennek (19.a ábra). Hátrahaladó lapát esetén, a lecsapás következtében a lapátelelemek állásszögei növekednek, a lapát alulról kapja a megfúvást. (19.b ábra). A körülfordulás során nem változó beállítási szöget és azonos fel- és lecsapási szögsebességet feltételezve azt tapasztaljuk, hogy az előrehaladó lapátoknál kisebb mérvű az állásszög csökkenése, mint a hátrahaladóknál az állásszög növekedése. Ennek egyik oka az, hogy az előrehaladó lapátoknak nagyobb az eredő megfúvási sebessége, mint a hátrahaladóké (19. ábra). Másrészt a hátrahaladó lapátoknál nagyobb lesz a lecsapási sebesség értéke a jelentős felhajtóerő csökkenés és a fordított áramlási zóna miatt.



19. ábra



20. ábra

Mint a 20. ábrán látható, a hátrahaladó lapát végének állásszöge jelentősen megnőhet és elérheti a kritikus értéket, amikor a lapátelemről az áramlás leválik, és a profil átesik.

A csapkodás legfontosabb következményei:

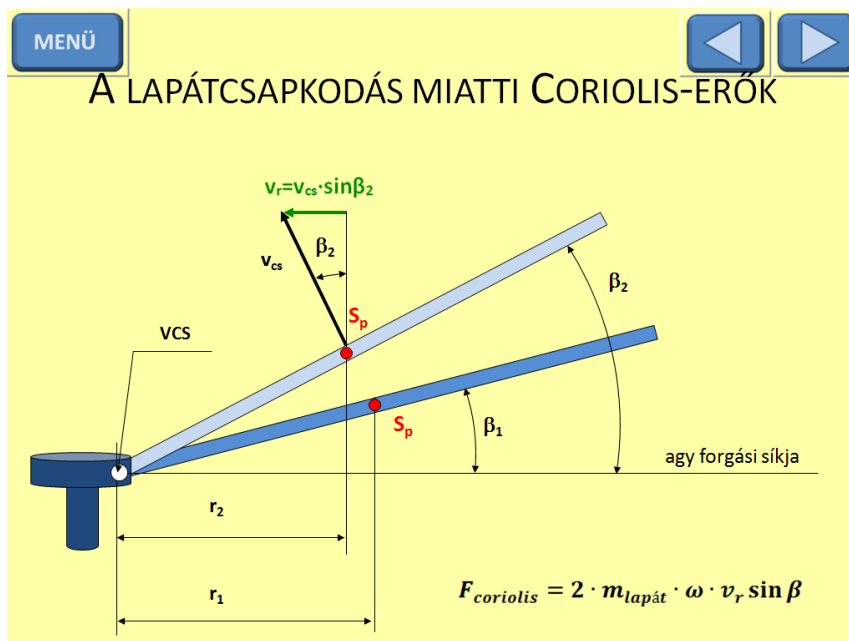
- A forgáskúp tengelye és vele a vonóerő iránya is megdől a ferde átáramlás következtében.
- A csapkodás miatt változik a lapát állásszöge úgy, hogy a lapátok vonóereje a körülfordulás során kevésbé változik, mint merev lapátbekötés esetén.
- A csapkodás miatt a lapátra tehetetlenségi erők hatnak, melyek közül jelentős Coriolis-erő, ez pedig újabb csukló (függőleges) alkalmazását teszi szükségessé.

4.2.2.3 Függőleges csukló szükségessége [21][14]

A lapátok csapkodásának időbeni változása a lapátok csapkodó mozgásának gyorsulását eredményezi, melynek következtében a lapátra a gyorsulás irányával ellentétes, vele arányos tehetetlenségi erők hatnak. Ezek az erők ott maximálisak, ahol a felcsapás és lecsapás befejeződik, mivel ezekben az azimuthelyzetekben a legnagyobb a csapkodó mozgás gyorsulása. A tehetetlenségi erők a felcsapás végén felfele, lecsapás végén lefele mutatnak. A $\psi = 90^\circ$ és $\psi = 270^\circ$ azimuthelyzetekben – ahol a csapkodási sebesség eléri a legnagyobb értékét – a csapkodó mozgás gyorsulásából nem jön létre tehetetlenségi erő. Egy másik tehetetlenségi erő, a Coriolis erő, amely a csapkodás és forgó mozgás következtében lép fel, viszont ezekben a helyzetekben veszi fel maximális értékét.

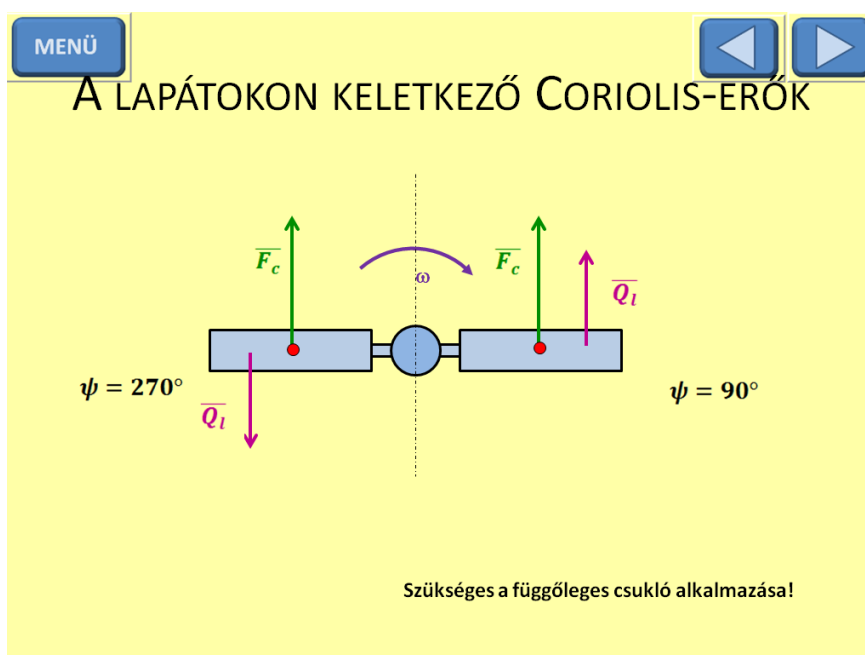
A Coriolis erők keletkezése:

A lapát tömegét súlypontjába koncentrálnak, csapkodó mozgást végezve β_1 szögről β_2 szögre csap fel, miközben a lapát súlypontjának forgási sugara r_1 távolságról r_2 -re csökken. Pozitív felcsapási szögek esetén felcsapáskor csökken, lecsapáskor növekszik ez a távolság.



21. ábra

A lapát felcsapása állandó fordulatszámon a súlypontjának kerületi sebességcsökkenését vonná maga után. Ekkor fog a lapátra hatni a forgószárny forgási síkjában ható tehetetlenségi erő, a Coriolis erő, mely az eredeti kerületi sebességet igyekszik tartani, és a forgásirányba előre mutatni. Tehát a lapát lecsapásakor a súlypont kerületi sebessége nőne, aminek csökkentésére törekszik a Coriolis erő, ebben az esetben ez az erő a forgásiránnyal ellentétes irányú lesz.



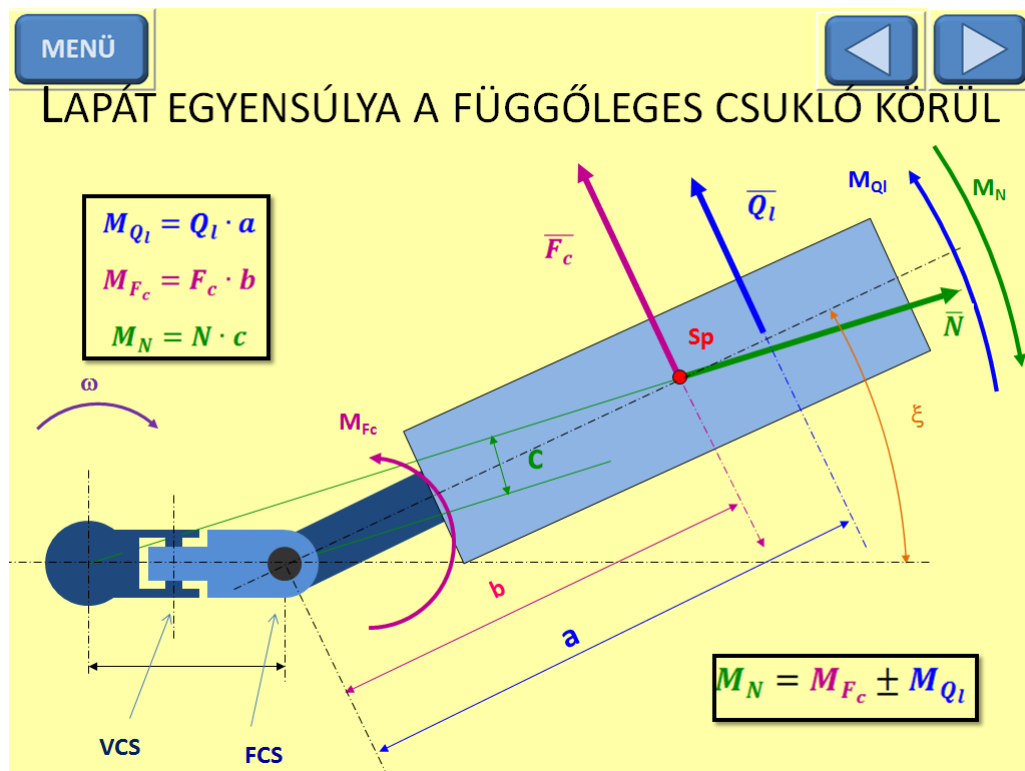
22. ábra

A Coriolis erő a lapátsugár 2/3-ában koncentrált erőnek tekinthető tömegelő, amely a forgószárny tengelyére nyomatókat ad mégpedig úgy, hogy a felcsapó lapát sebességét növeli, a lecsapóét pedig csökkenti. A Coriolis és kerületi erők, illetve az előbb említett nyomatók folyamatos változása a lapát nagy hajlító igénybevétele okozza, amely ciklikusan változik, és a lapát fáradásos törése következhet be. Ez az igénybevétel jelentősen csökkenthető, ha a forgószárny lapátok egy-egy függőleges csuklóval kerülnek csatlakoztatásra az agyhoz, hiszen a csukló nem tud átvinni nyomatókat, így a lapát elfordulhat a forgási síkban. Ebben az esetben a centrifugális erő hatásvonala már nem megy át a függőleges csuklón, viszont olyan nyomatókat fejt ki, amely az úgynevezett visszamaradási szög csökkentésére törekszik. A ξ visszamaradási szög a forgószárny tengelyén és a függőleges csukló tengelyén keresztülhúzott sugár és a lapát hossztengelye által bezárt szög. A lapátok lengő mozgást végeznek a függőleges csukló tengelye körül. A lapát előre haladáskor a növekvő vonóerő hatására felcsap, és a forgószárny tengelyéhez képest a Coriolis erő miatt előre siet, a hátrahaladó és lecsapó lapát pedig lemarad.

A lapát függőleges csuklóhoz viszonyított egyensúlya:

$$M_N = M_{Q_l} \pm M_{F_c}$$

A centrifugális erő függőleges csuklóhoz viszonyított nyomatójának nagysága – $M_N = N \cdot c$ – a visszamaradási szöggel arányos. A kerületi erő nyomatója – $M_{Q_l} = Q_l \cdot a$ – motoros üzemmód esetén a forgásiránnyal ellentétes értelmű, mely a visszamaradási szöget növeli. Ferde áramlásban a lapát kerületi ereje változik a körülfordulás során, így nyomatója is változni fog. A Coriolis erő függőleges csuklóra kifejtett nyomatójának – $M_{F_c} = F_c \cdot b$ – nagysága és értelme az azimuttszög függvényében változik, a $\psi = 90^\circ$ -os azimuthelyzet közelében mérsékl, a $\psi = 270^\circ$ -hoz közeli lapáthelyzetnél növeli.



23. ábra

Pozitív visszamaradási szögről motoros üzemmód esetében beszélünk. Ha a szög értéke nő, a centrifugális erő visszatérítő nyomatéka számottevően növekszik, emiatt a visszamaradási szög nem emelkedik 3-5° fölé.

Negatív visszamaradási szög, azaz előrehaladási szög elsődlegesen autorotációs üzemmódban keletkezik, miközben a forgószárny forgását az előreutató kerületi erők biztosítják. A centrifugális erő nyomatéka forgásiránnyal ellentétes értelmű, amely az előrehaladási szöget csökkenti. Értéke elérheti a 8-10°-ot is.

Mindkét szög esetében a lapátok elfordulása olyan mértékű a függőleges csukló körül, hogy a visszamaradási szög függvényében változó centrifugális erő nyomatéka épp egyensúlyt teremtve szabályozó szerepet tölt be. Így repülés során a lapátok nem ütköznek fel a lengő mozgást korlátozó üzközőkre.

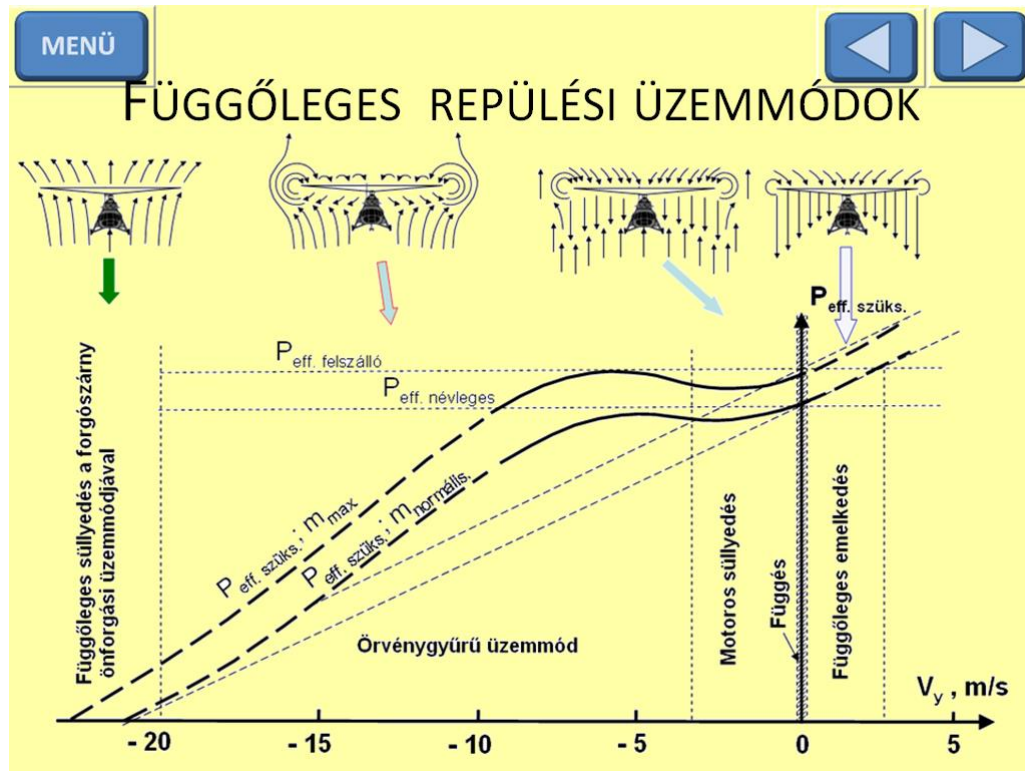
4.3 Függőleges repülési üzemmódok [16]

A függőleges repülési üzemmódokat az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- Repülési üzemmódok működő hajtómű mellett (függés, függőleges emelkedés, függőleges süllyedés);

- Süllyedés függőleges és ferde pályán a forgószárny önforgási üzemmódjával.

Ebben a fejezetben a motoros repülési üzemmódok jellemzői kerülnek bemutatásra, a helikopter forgószárny önforgási üzemmódjának (függőleges és ferde pályán történő süllyedő mozgásának) tárgyalása külön részben történik.



24. ábra

4.3.1 Függés [17][21]

A függés a legnagyobb kihívást jelentő feladat a helikopter repülése során, mivel a helikopter saját maga hozza létre a levegőáramot a függés során, amely a géptörzs és a kormányfelületek ellen dolgozik. A végeredmény a pilóta által generált folyamatosan vezérelt bemeneti jel és korrekció, hogy a helikoptert függésben tudja tartani. A feladat komplexitásának ellenére a vezérlés bemenete egyszerű. A ciklikus bemeneti jel a csúszás kiküszöböléséért felelős a vízszintes síkban a függés során, a botkormány kitérítésével hossz- és keresztirányban. A magasság megőrzése közös beállítási szög korrekciója révén valósul meg az egyesített vezérlőkar (EVK) mozgatásán keresztül. A lábpedálok az útirányú vezérlést biztosítják. Ezekbe a vezérlésekbe történő beavatkozás teszi a függést bonyolulttá, hiszen az egyik csatornába történő beavatkozás a másik kettő korrigálását igényli, ezzel kiváltva egy

állandó utánállítási folyamatot. Emiatt a folyamat a helikoptervezetőtől (különösen kikapcsolt robotpilótánál) fokozott figyelmet és pontosságot igényel.

Tengelyirányú átáramlásban végrehajtott függés esetén a vonóerő és a súlyerő egyensúlyban van (ha $T = G$ egyenlőség áll elő), egyenlő nagyságúak és ellentétes irányúak azáltal, hogy a pilóta az EVK segítségével a lapát beállítási szöget a kívánt értékre állítja. Függés során a helikopter egy állandó pozíciót tart fenn, a sebesség zérus. Attól függően, hogy ezt a sebességet mihez viszonyítjuk, kétféle függést lehet végrehajtani:

- Földhöz viszonyítva: Fel- és leszálláskor alkalmazzák, valamint ha a gép nem tud leszállni ki- és berakodáshoz. A függési magasság ebben az esetben 10 m-nél kisebb.
- Levegőhöz viszonyítva: nagy repülési magasságon alkalmazzák, mert ebben az esetben a pilóta nem tudja egy földi tereptárgyhoz sem viszonyítva egyhelyben tartani a helikoptert. Itt a függési magasság 150 m-nél nagyobb.

A repülési magasság függvényében a függéshez szükséges teljesítmény is nő, hiszen a csökkenő levegősűrűség miatt nagyobb beállítási szög esetén tudja a forgószárny létrehozni a szükséges vonóerőt. Az a magasság, ahol a függéshez szükséges és rendelkezésre álló teljesítmény egyenlő, és a helikopter még képes függést végrehajtani, ez a statikus csúcsmagasság.

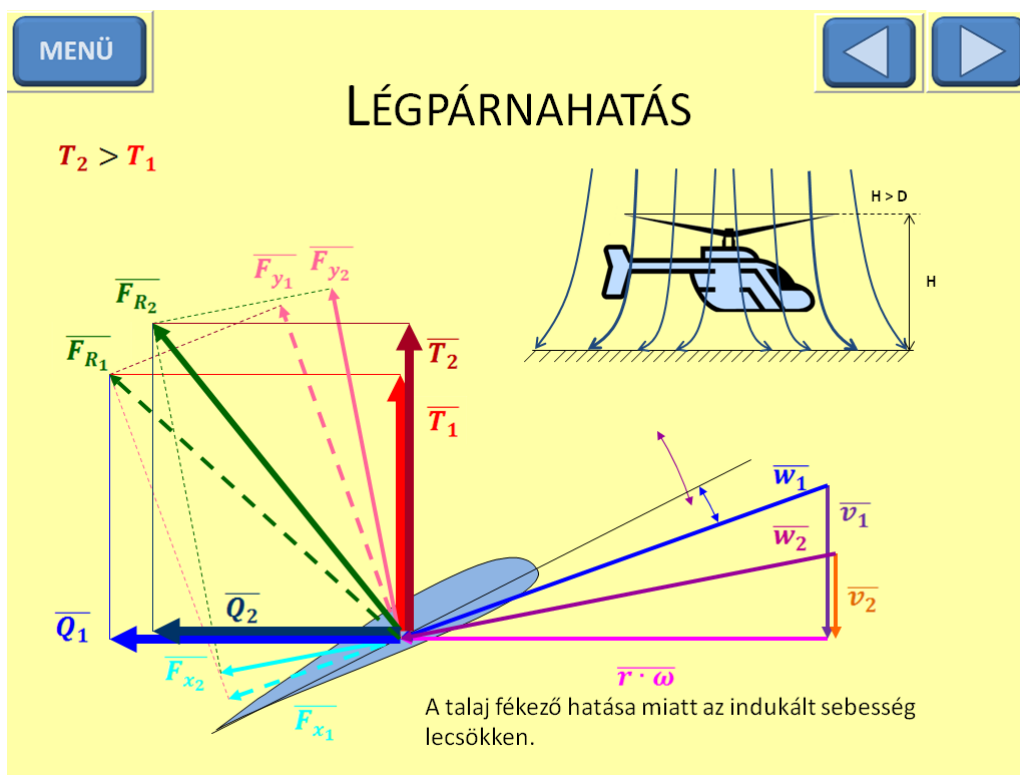
Függéskor a forgószárny és a farok-légcsavar nagy igénybevétele és terhelése miatt a hajtómű nagy teljesítményére van szükség. Így fontos ellenőrizni függési üzemmódban a hajtóművek és a kormányszervek működését, illetve a hajtóművek teljesítmény-tartalékát minden repülés megkezdése előtt.

Ha a helikopter kis magasságon ($H \leq D$) hajt végre függést, akkor a vonóerő és a függéshez szükséges teljesítmény nagymértékben megváltozik a légpárna-hatás következtében.

Légpárna-hatás kialakulása:

A forgószárny általt létrehozott levegősugár lefékeződik a talaj közelsége miatt, melynek következményeként lecsökken az indukált sebesség nagysága, emiatt pedig a lapátelelemek állásszöge megnő, s az $\overline{F_R}$ légerő nagysága és iránya változik. Míg a vonóerő megnövekszik a földközelség miatt, a kerületi erő és a szükséges teljesítmény változatlan

marad, ezért konstans rendelkezésre álló teljesítmény mellett földközben nő a vonóerő. Továbbá lecsökken a szükséges teljesítmény az indukált teljesítmény csökkenés miatt, ha egy adott vonóerő létrehozása a cél.



25. ábra

A légpárnahatást túlterheléssel történő felszálláskor használják ki, nagyobb hasznos teher emelhető fel a helikopterrel a talaj közvetlen közelében, mint nélküle, és javítja a helikopter stabilitását is. A forgószárny önforgási üzemmódja esetén a légpárna-hatás a helikopter leszállását is simábbá teszi, mivel a függőleges süllyedési sebességet nagymértékben csökkenti a földet érés előtt.

4.3.2 Függőleges emelkedés [17][21]

Tulajdonképpen a függés is a függőleges emelkedés egyik eleme. Az állandó függőleges sebességet a függőleges pályán történő állandó sebességű emelkedéshez a súlyerő és a vonóerő egyenlősége ($T = G$) biztosítja. Ennek az egyensúlynak kell megbomlania ahhoz, hogy a helikopter függésből függőleges emelkedést kezdjen meg. Ekkor a pilóta a vonóerőt az EVK segítségével, azt felfelé elmozdítva növeli meg, az így bekövetkező $T > G$ egyenlőtlenség következtében emelkedni fog a helikopter. Mivel a lapátokat eközben felülről éri a megfűvás, csökkenni fog a vonóerő és az állásszög is. Egy meghatározott emelkedési

sebességnél újra létrejön a $T = G$ egyensúly, innentől kezdve állandósul az emelkedés. Az emelkedés sebessége függ az emelkedés megkezdésekor a beállítási szög mértékétől, valamint a rendelkezésre álló teljesítménytől, tehát minél nagyobbak, annál nagyobb lesz az emelkedés sebessége. Összegezve: függőleges emelkedést csak akkor tud végrehajtani a helikopter, ha a rendelkezésre álló teljesítmény nagyobb a függéshez szükségesnél.

A függőleges emelkedés sebessége megközelítőleg a következő összefüggéssel határozható meg:

$$v_y = k \cdot \frac{P_r - P_{szf}}{G} = k \cdot \frac{\Delta P}{G}$$

ahol

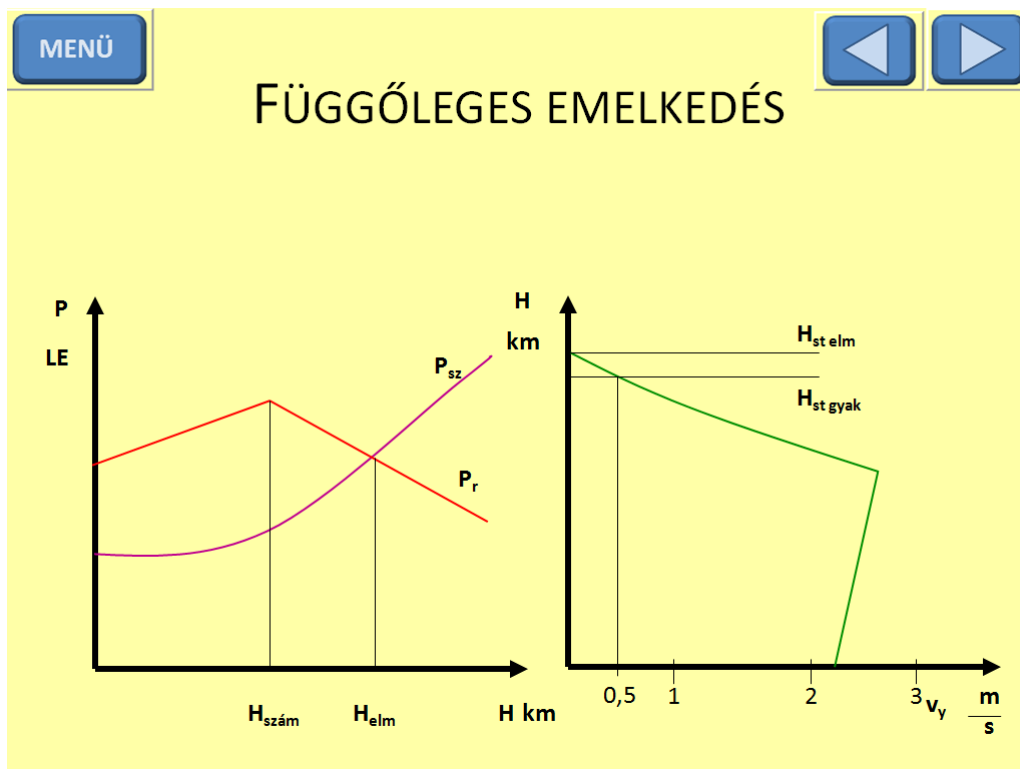
k – értéke változik 1 és 2 között, indukált teljesítmény csökkenést figyelembe vevő tényező. Ha a változás elhanyagolható: $k = 1$.

P_r – a rendelkezésre álló teljesítmény adott magasságon.

P_{szf} – szükséges teljesítmény adott magasságon.

A fenti képletből látható, hogy a függőleges sebesség egyenes arányban függ a teljesítmény tartaléktól (ΔP) és fordított arányban a helikopter súlyától (G). Ez a teljesítményfelesleg helikopterek esetében nem túl nagy, és földi üzemelés során nem haladja meg a hajtómű teljesítményének 10-15%-át. Földközeli az emelkedés $2-3 \frac{m}{s}$ sebességű.

A repülési magasság változásával a rendelkezésre álló és a függéshez szükséges teljesítmény is változik. Az ábrából jól látható az emelkedési sebesség változása a magasság függvényében. Azt a magasságot, ahol a függőleges sebesség értéke pont zérus ($\Delta P=0$), elméleti statikus csúcsmagasságnak nevezzük, mely az a magasság, ahol a függés még végrehajtható. Mivel az elméleti csúcsmagasságot a helikopter függőleges emelkedéssel végtelen idő alatt érné el, így megkülönböztetünk gyakorlati statikus csúcsmagasságot, amelyen a helikopter $0,5 \frac{m}{s}$ -mal még képes emelkedni.



26. ábra

4.3.3 Függőleges süllyedés működő hajtóművel – Örvénygyűrű üzemmód [15][17]

Függési üzemmódból függőleges süllyedési üzemmódba való áttéréshez a $T = G$ egyensúlynak ismét fel kell bomlania, azaz a helikoptervezetőnek csökkentenie kell a forgószárny vonóerő nagyságát a beállítási szög csökkentésén keresztül. A súlyerő hatására a helikopter süllyedni kezd, melynek következtében a lapátok állászöge és vonóereje megnő. Egy adott süllyedési sebességnél újra visszaáll a $T = G$ egyensúly, s a süllyedő mozgás állandósul. Minél nagyobb a beállítási szög, ezáltal a rendelkezésre álló teljesítmény csökkenés, annál nagyobb a függőleges süllyedés sebessége. Belátható, hogy a függéshez szükséges teljesítmény nagyobb, mint a függőleges süllyedéshez szükséges.

Örvénygyűrű üzemmód

A helikopter repülésének egyik kritikus üzemmódja, amely a helikopter gyors, függőleges süllyedésekor jön létre, kis haladó sebesség mellett.

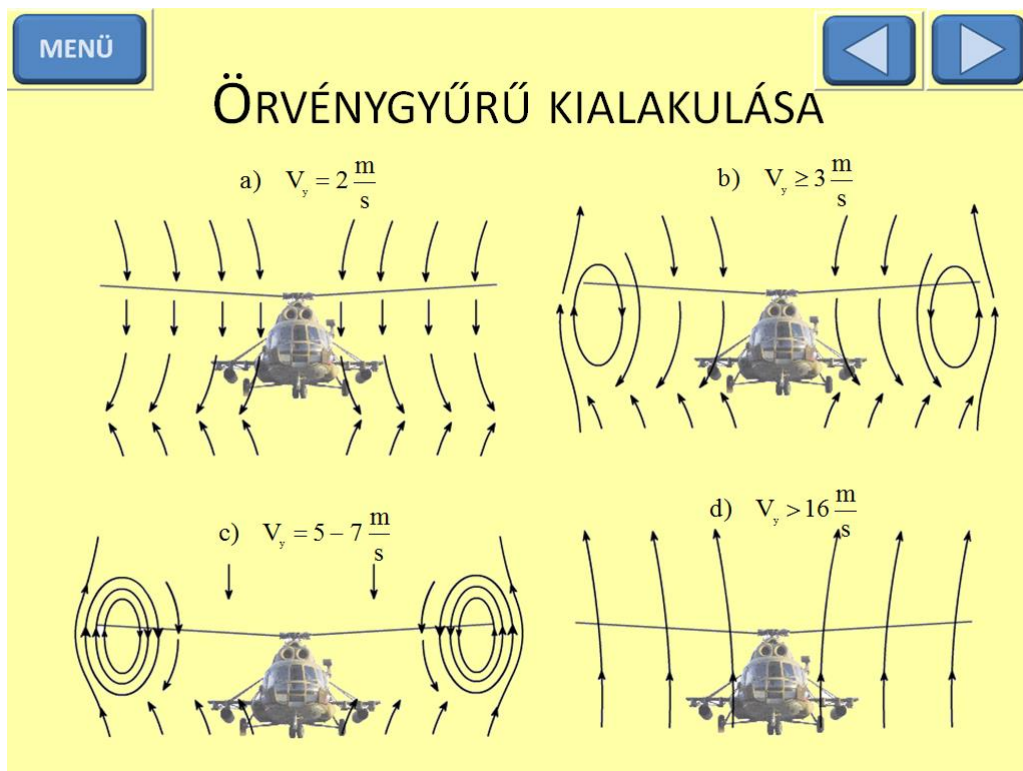
Jellemző, hogy az örvénygyűrű üzemmód kialakulása magasságvesztéssel és az irányíthatóság jelentős romlásával jár. Az örvénygyűrű üzemmód egy aerodinamikai állapotot ír le, amelyben a helikopter függőleges süllyedésben 20%-kal a maximum teljesítmény fölött

üzemel. A „süllyedés működő hajtóművel” kifejezés onnan származik, hogy a helikopter süllyedése fennmarad teljes hajtómű teljesítmény ellenére is.

A légpárna-hatás zónáján kívüli függés esetén a helikopter képes stacionér állapotban maradni a forgószárny által létrehozott hatalmas levegősugár megmozgatása révén. A levegősugár egy része visszaáramlik a lapátvégek közelében, felörvénylük a forgószárny alól és visszajut a levegősugárba, ami újra átáramlik a lapátokon. Ez a jelenség a lapátvégi feláramlás, mely megegyezik minden lapátvégen, valamint ellenállási erőt hoz létre és csökkenti a lapátok hatásfokát. Amíg ezek az örvények kicsik, addig hatásuk csak egy kismértékű lapátvégi veszteség a forgószárny hatásfokából.

Amikor a helikopter a forgószárny motoros üzemmódján függőlegesen süllyed nem túl nagy sebességgel $V_y = 3-4$ m/s, akkor ebből a mozgásból adódóan a forgószárny ugyanilyen nagyságú megfűvást kap alulról.

A hajtómű által forgásba hozott forgószárnyat, a helikopter függőleges süllyedésekor is felülről szívja a levegőt, és nyomja maga alá. A forgószárny forgássíkjaig egyszeres indukált sebességre (v_i), majd alatta kétszeres indukált sebességre ($2v_i$). Ilyenképpen a forgószárny forgássíkjában két áramlás találkozik, az indukált sebességű és a süllyedő mozgásból adódó megfűvási sebességű. A 27. ábrán látszik, hogy ezek a sebességek egymással ellentétes irányúak, és örvénylés jön létre, amelynek alakjából keletkezett az örvénygyűrű elnevezés. Az örvénygyűrű létrejöttkor, a helikopter függőleges süllyedésekor a levegőáram turbulens állapotban van. A hajtómű teljesítményének egy része, sőt a forgószárnyon átáramló levegőáram energiájának egy része is az örvénylés létrehozására fordítódik, azaz nem vesz részt a forgószárny vonóerejének létrehozásában. Következésképpen mindez teljesítményvesztéssel jár. Így a helikopter olyan repülési üzemmódját, amikor örvénygyűrű jön létre, a helikopter örvénygyűrű üzemmódjának nevezzük.



27. ábra

Örvénygyűrű akkor kezd el keletkezni, ha a forgószárny motoros üzemmódján a helikopter függőleges süllyedő sebessége a kezdeti $V_y = 1-2 \text{ m/s}$ értékről $V_y = 5-16 \text{ m/s}$ értékig nő. Amennyiben ilyenkor a forgószárny-lapátok közös beállítási szögét csökkentjük, akkor a forgószárny által lefelé áramoltatott levegő mennyisége csökken. Ilyen esetben az örvényképződés is csökken, bár a függőleges süllyedő sebesség növekszik.

Annál a függőleges süllyedő sebességnél, amelynél az örvénygyűrűben a levegő cirkulációja maximális értékű, az örvénygyűrű fenntartására fordított teljesítmény is jelentősebben megnő, mint teljesítményveszteség. A forgószárny levegő által átáramolt felülete nem lesz hatásos és nem vesz részt a forgószárny vonóerejének létrehozásában. A helikopter függőleges süllyedési sebessége nagyon megnő, az örvénygyűrű létrejötté miatt a helikopter erősen rázkódik, romlik a stabilitása és az irányíthatósága, és elér egy olyan süllyedési sebességet, amely meghaladhatja a 30 m/s -ot, ha lehetőség van a kialakulására.

Az örvénygyűrű üzemmód felléphet bármilyen manőver alatt, amely során a forgószárny süllyedés közben a megzavart levegőoszlopba és alacsony megfűvási sebességbe kerül, ez előfordulhat autorotációból kilépés esetén.

A következő körülmények kombinációjának következtében kialakulhat az örvénygyűrű üzemmód:

- A függőleges vagy közel függőleges süllyedés legalább 1,5 m/s (Az aktuális kritikus sebesség függ a teljes súlytól, a fordulatszámtól, sűrűség – magasságtól és egyéb idevonatkozó tényezőktől).
- A forgószárnyak az elérhető hajtómű teljesítmény tartományban (20-100%) kell üzemelnie.

Ereszkedésből való kivételkor, motoros üzemmód esetén az a gyakorlat a pilóták részéről, hogy először próbálják megszüntetni a süllyedést a kollektív beállítási szöget növelve. Viszont ez csak annak a területnek a nagyságát növeli, ahol leválik az áramlás, így tovább növekszik a süllyedés sebessége, a ciklikus vezérlés pedig korlátozott. Teljesen kialakult örvénygyűrű esetén az egyetlen mód a kihozatalra az autorotációra való áttérés.

Az örvénygyűrű állapot felismerésének gyakorlása süllyedés során motoros üzemmóddal legalább 500 m föld feletti magasságon történhet, elegendő magasságot hagyva a bevitelre és a kivételre. A manőver megkezdéséhez csökkenteni kell a teljesítményt a függéshez szükséges teljesítmény alá, függést kell megkezdeni a légpárna-hatás zónáján kívül, nagyon kismértékű vagy zérus repülési sebességet tartani, csökkenteni a kollektív beállítási szöget, hogy a függőleges süllyedés megkezdődjön. Amint a turbulens állapot megkezdődik, növelni kell a közös beállítási szöget, majd hagyni, hogy a süllyedési sebesség elérje az 1,5 m/s vagy annál nagyobb értéket, amikor is a repülési sebesség kisebb, mint 5m/s. Amikor a helikopter rázkódása bekövetkezik a kollektív beállítási szög növelésével, a gép vibrációja és süllyedési sebessége nő. Ahogy a teljesítmény nő, a helikopter süllyedése a levegőoszlopban tovább növekszik.

Ha a magasság elegendő, kis időt töltve az örvényben lehetővé teszi a pilóta számára, hogy hasznos ismeretet szerezzen az üzemmódról. Ha a helikoptervezető észleli az örvénygyűrű kialakulásának első jelét, meg kell kezdenie a helikopter kihozatalát az örvénygyűrűből azáltal, hogy a ciklikus beállítási szög értékét úgy emeli, hogy az a repülési sebességet növelje és/vagy egyidejűleg a kollektív beállítási szög értékét pedig csökkentse.

Gyakori hibák:

- Túl nagy az oldalirányú sebesség, mikor belép a helikopter a süllyedésbe működő hajtómű esetén.
- Kollektív beállítási szög túlzott csökkentése

Az örvénygyűrű üzemmód létrejöttének megelőzése érdekében korlátozzák a helikopter függőleges süllyedési sebességét (2-3 m/s).

4.4 Helikopter süllyedő mozgása a forgószárny önforgási üzemmódjával [14][18]

A helikopter egyik pozitív tulajdonsága, hogy a hajtómű(vek) leállása vagy leállítása esetén is képesek függőleges vagy ferde pályán süllyedő mozgást és leszállást végrehajtani a forgószárny önforgási üzemmódja mellett.

A forgószárny önforgási vagy autorotációs üzemmódja az az állapot, ahol a forgószárny nem a hajtómű teljesítménye és forgatónyomatéka által kerül megforgatásra, hanem a süllyedés következtében keletkező légerők által. A helikopter helyzeti energiájának csökkenéséből nyert energia fogja a forgószárny és faroklégcsavar forgatását végrehajtani. Ebben az üzemmódban a helikopter csak süllyedő mozgásra képes.

Alapértelmezett helyzetben működő hajtóművel történő repülés esetén a forgószárny felülről szívja és nyomja maga alá a levegőt, de autorotáció során a levegő a forgószárny forgási síkján alulról felfelé halad, majd süllyedésbe kezd. Az autorotációt egy mechanikus szabadonfutó tengelykapcsoló teszi lehetővé, így a hajtómű függetlenítésre kerül a forgószárnytól. Ha a hajtómű leáll, a szabadonfutó tengelykapcsoló automatikusan szétkapcsolja a hajtóművet a forgószárnytól, ezzel lehetővé téve annak szabadon forgását. Ez az eszköze annak, hogy a helikopter biztonságban landolhasson egy esetleges hajtóműhiba esetén, következésképp, az összes helikopternek bírnia kell ezzel a képességgel annak érdekében, hogy megfelelő hitelesítést kapjon. Ha döntést hoz a pilóta arról, hogy repülés során kísérletet tesz egy hajtómű újraindításra (ennek a vészhelyzeti eljárásnak a paraméterei minden egyes helikopter esetében különbözőek, és pontosan be kell tartani őket), akkor újra kell működtetnie a hajtómű indító kapcsolót. Amint a hajtómű beindult, a szabadonfutó tengelykapcsoló újra összekapcsolja a hajtóművet a forgószárnyal.

Az autorotáció leggyakoribb oka a hajtóműhiba, de felléphet a faroklégsavar meghibásodásakor is, mivel autorotációs üzemmódban gyakorlatilag nem keletkezik nyomaték. Mindkét esetben gyakran a karbantartás járul hozzá a hiba kialakulásához. A hajtóműhibák bekövetkezhetnek az üzemanyag szennyezettsége miatt, amely ugyanúgy kikényszerített autorotációt von maga után.

Ha a hajtómű meghibásodik, a szabadonfutó tengelykapcsoló automatikusan függetleníti a forgószárnyat a hajtóműtől, lehetővé téve a forgószárny szabad forgását. Alapvetően, ha a hajtómű fordulatszáma kisebb, mint a forgószárny fordulatszáma, minden esetben működésbe lép a tengelykapcsoló. A hajtóműhiba bekövetkezésének pillanatában a forgószárny lapátok vonóerőt és felhajtóerőt hoznak létre, az állásszögük és sebességük révén. A kollektív beállítási szöget csökkentve, amit egy hajtóműhiba esetén meg kell tenni, a felhajtó erő és az ellenállási erő csökken, ezáltal a helikopter azonnali süllyedésbe kezd, így létrehozva a forgószárnyon felfele keresztüláramló levegősugarat. Ez a levegősugár elegendő felhajtó erőt biztosít, hogy a forgószárny fordulatszáma fennmaradjon a süllyedésen keresztül. Mivel a faroklégsavar a forgószárny transzmissziós tengelyén keresztül van meghajtva, az útirányú kormányzás a lábpedálokön keresztül valósul meg ugyanúgy, mint normális repülés esetén.

4.4.1 Függőleges süllyedés a forgószárny önforgási üzemmódjával [17][21][16]

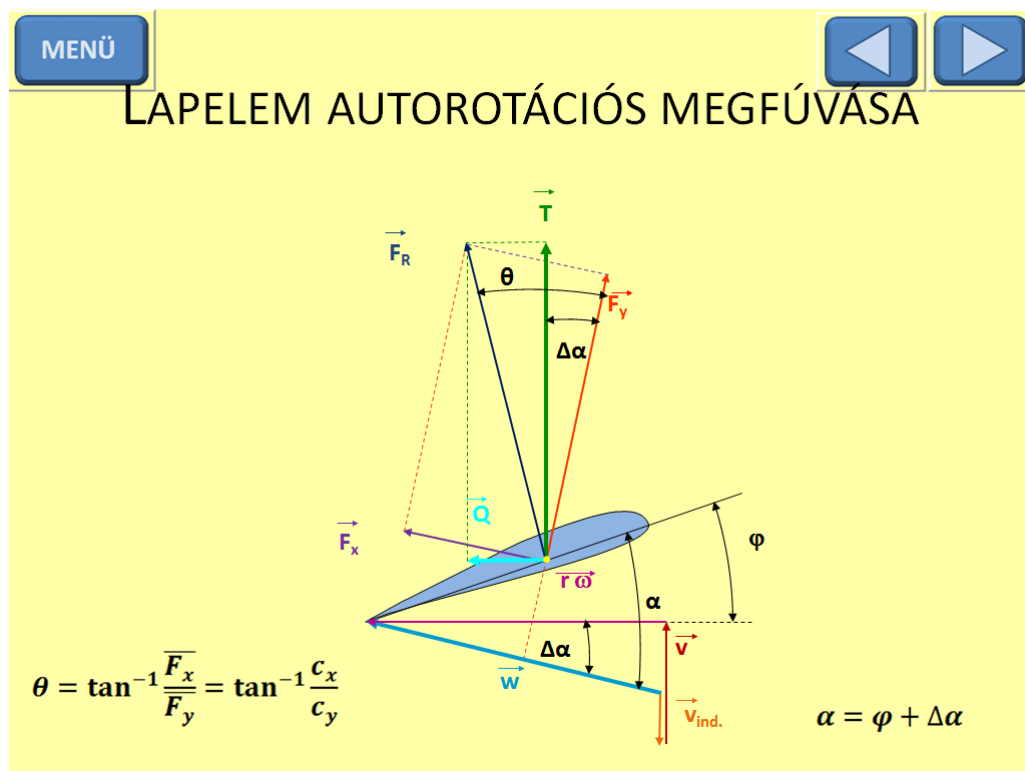
Ha a hajtómű a függés során leáll, a lapátok tehetetlenségükből adódóan tovább forognak. A lapátelemeken ébredő légerők fékező hatással bírnak, ez vonóerő és fordulatszám csökkenéssel jár. A fordulatszám jelentős mértékben viszont nem csökkenhet, mivel ebben az esetben a lapátokon keletkező centrifugális erő mértéke is csökkenne, ezzel együtt a kúpszög is megnőne, ez pedig a lapáttő nagy hajlító igénybevételét, vagy akár a lapátok összecukódását eredményezné. Ezért a pilótának minimálisra kell vennie a lapátok közös beállítási szögét, azaz EVK-t le kell nyomni, továbbá a forgószárny állásszögét növelnie, vagyis a botkormányt „hasra húzni”.

A légerő kerületi irányú komponense csökkenti a fordulatszámot. Minél nagyobb a forgószárny forgástengelyre vett tehetetlenségi nyomatéka, a hajtómű annál nagyobb mozgási energiával rendelkezik, mikor a hajtómű leáll, így tovább képes forogni a forgószárny tehetetlenségéből adódóan. Mivel a vonóerő is kisebb lesz a helikopter súlyánál, mint függéskor volt, így a helikopter függőleges süllyedésbe kezd. Egy adott érték elérésekor a süllyedő mozgás állandósul.

A faroklégcsavar vonóereje autorotáció során motoros üzemmóddhoz viszonyítva ellentétes értelmű és nagyon kis értékű. Mivel a hajtóműtől nem érkezik teljesítmény a forgószárnyra, ezért a forgással ellentétes értelmű reakciónyomaték megszűnik. Viszont a forgószárny a közlőműben fellépő súrlódás miatt a törzset el akarja forgatni a forgószárny forgásával megegyező irányba. Ezért a pilótának a faroklégcsavar vonóerejének irányát meg kell fordítania azáltal, hogy belép a lábkormányra. Tehát a faroklégcsavart úgy kell kialakítani, hogy képes legyen mindkét irányítású vonóerőt létrehozni azonos forgásértelem mellett. Az így megváltozott értelmű faroklégcsavar vonóerő következtében biztosítani kell a keresztirányú egyensúlyát, azaz a pilóta oldalirányba fogja a botkormányt elmozdítani.

Az önforgási üzemmód során a forgószárnynak kell létrehozni mind a faroklégcsavar, mind a repülés során létfontosságú berendezések meghajtásához szükséges teljesítményt és nyomatékot.

A forgószárny lapelem autorotációs állapotai

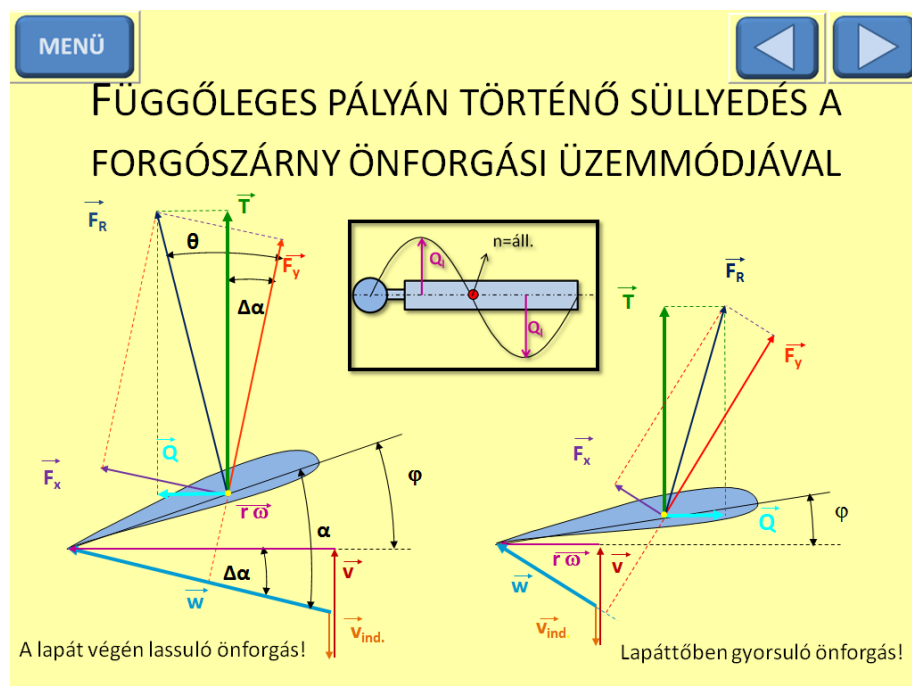


28. ábra

A 28. ábrán látható módon, az r helyen lévő lapátelemet kiragadva, s a megfúvási sebességet és a keletkező légerőket berajzolva megállapítható:

- A lapátelelem $\bar{w}$ eredő megfúvási sebessége az $r \cdot \omega$ kerületi sebesség, a v_y süllyedő sebesség és a v_{ind} indukált sebesség vektoriális eredője lesz
- A lapátelelem α állásszöge nagyobb, mint a beállítási szög a süllyedő mozgásból alulról érkező megfúvásból adódóan: $\alpha = \varphi + \Delta\alpha$.
- A $\bar{w}$ eredő megfúvási sebesség hatására létrejött $\bar{F}_R$ eredő légerőt felbonthatjuk a sebességi koordináta-rendszer tengelyeinek irányába eső
 - $\bar{F}_y$ felhajtóerőre,
 - és $\bar{F}_x$ ellenállási erőre.
- A felhajtóerő a forgószárny tengelyével $\Delta\alpha$ szöget, az eredő légerő irányával θ szöget zár be, ez a profil siklószámára jellemző szög, melyből következik, hogy

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\bar{F}_x}{\bar{F}_y} = \tan^{-1} \frac{c_x}{c_y}$$
- Az $\bar{F}_R$ eredő légerő felbontható
 - az agy forgási síkjába eső $\bar{Q}$ kerületi erőre,
 - és a síkra merőleges $\bar{T}$ vonóerőre.



29. ábra

Ha $\Delta\alpha > \theta$, akkor az eredő légerő megdől a forgásirányba előre, és az agy forgási síkjába eső $\bar{Q}$ kerületi erő a lapát gyorsuló forgását eredményezné. Ez az állapot a lapátelelem gyorsuló önforgási üzemmódja.

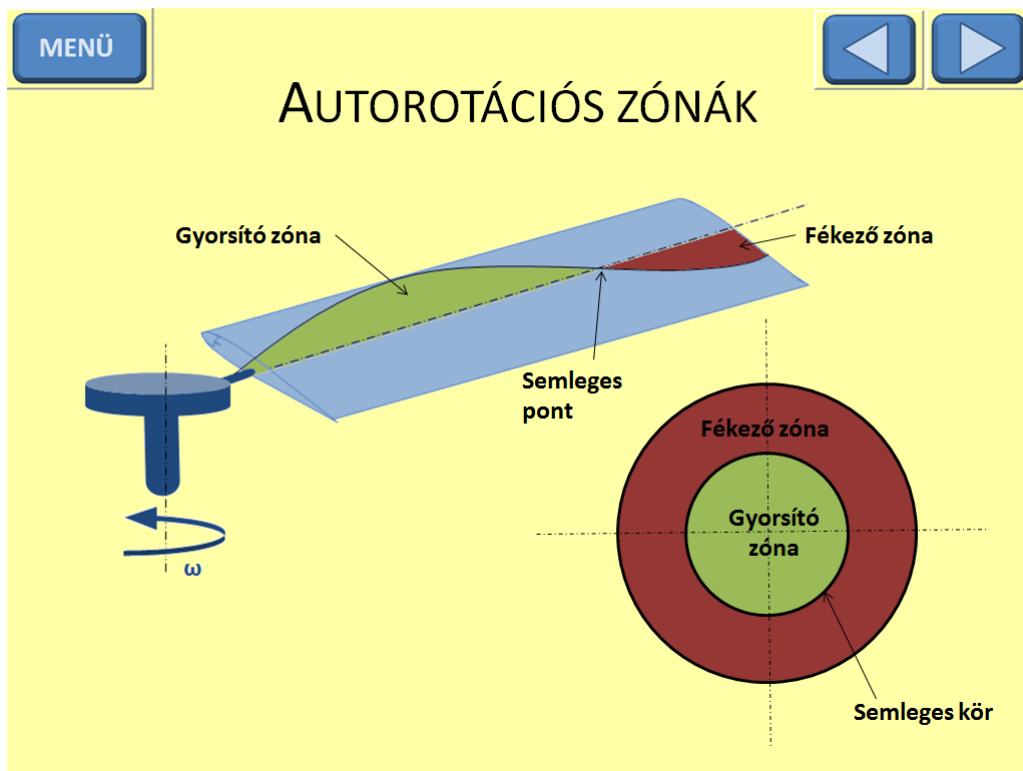
Ha $\Delta\alpha < \theta$, akkor az eredő légerő hátrafelé dől meg, a kerületi erő a lapát mozgását fékezi, ez az állapot a lapátelelem lassuló önforgási üzemmódja.

Ha $\theta = \alpha$, akkor a légerő nem rendelkezik kerületi irányú komponenssel. Ha minden lapátelelem ilyen üzemmódban dolgozna, a forgószárny fordulatszáma ebben az esetben állandó lenne. Ezt nevezzük állandósult önforgási üzemmódnak.

Összességében elmondható, hogy a lapátelelemek a forgószárny sugara mentén egymástól eltérő viszonyok közt dolgoznak, melynek oka a különböző állásszög. Adott süllyedési sebességen a lapáttőben levő lapátelelemek állásszöge nagyobb, kerületi sebessége kisebb, mint a lapátvégen lévőké, ezáltal a süllyedési sebesség nagyobb mértékű állásszög-változást hoz létre. Tehát süllyedés során a lapáttő elemek gyorsuló, a lapátvégek lassuló önforgási üzemmódban dolgoznak. Így a kerületi erő a lapáttő elemeknél a forgásirányba előre dől és forgatónyomatékokot ad a forgószárny tengelyre, a lapátvégek esetében pedig hátra dől ezáltal fékezve a forgást.

A fent említett üzemmódok alapján a forgószárnyat feloszthatjuk három zónára. A forgószárny lapát sugara mentén kifelé haladva megállapítható, hogy tengelyirányú átáramlás esetén létezik egy adott sugarú kör, ahol a lapátelelemek semleges állapotban dolgoznak, ez az úgynevezett semleges kör. A semleges körön kívül található a lapátelelemek lassuló önforgásban dolgoznak, ez a fékező zóna. A semleges körön belül pedig a gyorsító zóna található, ahol a lapátelelemek gyorsító állapotban működnek.

A forgószárny tengelyirányú átáramlás esetén csak akkor tud állandósult önforgási üzemmódban működni, ha a gyorsító, illetve a fékező zónák nyomatékai kiegyenlítik egymást.



30. ábra

4.4.2 Ferde pályán történő süllyedés a forgószárny önforgási üzemmódjával [21][19][18][17]

Siklásnak nevezzük a helikopter ferde egyenes pályán történő, a forgószárny önforgási üzemmódjával végrehajtott, állandó sebességű süllyedő mozgást.

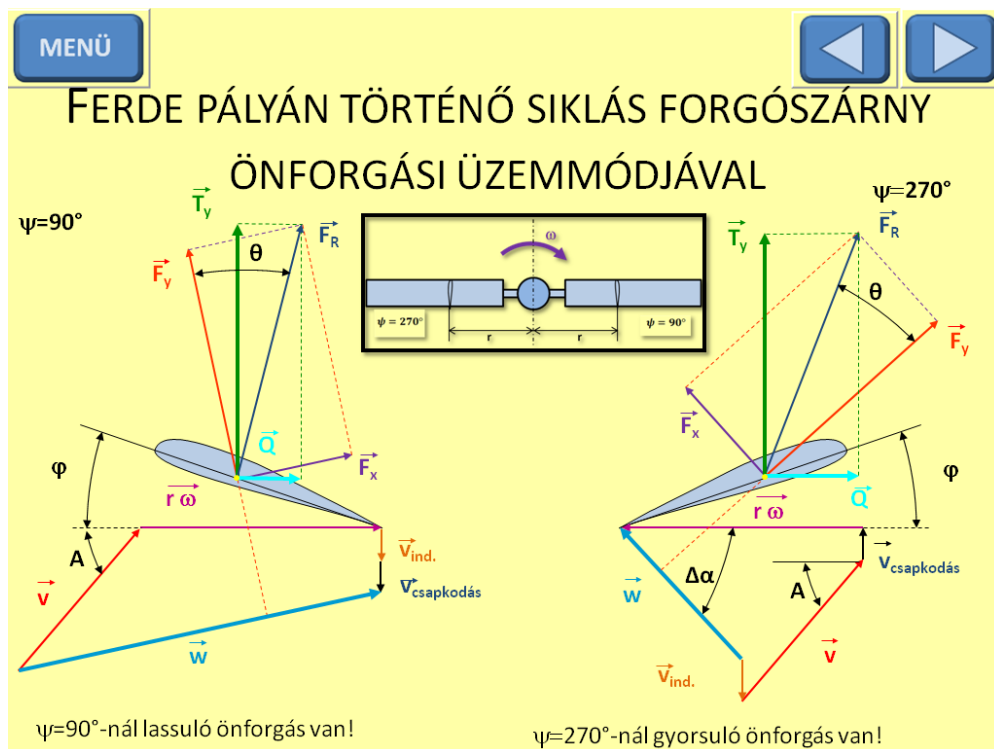
A pályamenti sebesség, valamint a pályahajlásszög a forgószárny vonóerő vektor dőlésével és a lapátok beállítási szögének vezérlésével változtatható, ugyanúgy, mint motoros süllyedés során. A beállítási szög növelésének korlátai vannak, túlzott növelése esetén a forgószárny lassuló önforgási üzemmódra térhet át, és a fordulatszám a minimális megengedett érték alá csökkenhet.

Az önforgás során az áramlás alulról éri a lapátokat, és a forgószárny hatására az áramlás elferdül. Az önforgás feltételei sokkal bonyolultabbak siklaskor, mint függőleges süllyedéskor, mivel ferde átáramlásban a lapátelelemek megfűvási viszonyai változnak a körülfordulás során, valamint a lapátok csapkodó mozgása miatt változik a lapátelelemek állásszöge.

A $\psi = 90^\circ$ és $\psi = 270^\circ$ azimutnál lévő lapátelelem autorotációs állapotai

Az 31. ábrán látható módon, a két legjellegzetesebb azimuthelyzetben ($\psi = 90^\circ$ és $\psi = 270^\circ$) lévő lapátelemet kiragadva, s a megfúvási sebességet és a keletkező légerőket meghatározva elmondható:

- A lapátelelem $\bar{w}$ eredő megfúvási sebessége az $r \cdot \omega$ kerületi sebesség, a v_y süllyedő sebesség, a $\bar{v}$ repülési sebesség és a v_{cs} csapkodási sebesség vektoriális eredője lesz
- Az A forgószárny állásszög értéke megegyezik a θ pályahajlásszöggel, ha az agy forgási síkja vízszintes.
- A $\bar{w}$ eredő megfúvási sebesség hatására létrejött $\bar{F}_R$ eredő légerőt felbonthatjuk a sebességi koordináta-rendszer tengelyeinek irányába eső
 - $\bar{F}_y$ felhajtóerőre,
 - és $\bar{F}_x$ ellenállási erőre.
- Az $\bar{F}_R$ eredő légerő felbontható
 - az agy forgási síkjába eső $\bar{Q}$ kerületi erőre,
 - és a síkra merőleges $\bar{T}$ vonóerőre.



31. ábra

$\psi = 90^\circ$ -os azimuthelyzetben maximális értéket vesz fel az eredő megfúvási sebesség egy forgási síkjába eső összetevője, valamint a felcsapási sebesség is. Ezáltal az állásszög növekedés minimális lesz. Az előrehaladó lapátok lassuló önforgási üzemmódban dolgoznak. Ebben az azimuthelyzetben fog legjobban megdőlni az eredő légerő hátra minden lapátelelem esetében, valamint itt lesz a legnagyobb a lapát fékező hatása.

$\psi = 90^\circ$ -nál legkisebb a megfúvási sebesség, továbbá legnagyobb a lecsapási sebesség, így itt a legnagyobb a lapátelelem állásszög növekedése. A hátrahaladó lapátok gyorsuló önforgásban vannak. Ennél az azimutnál adódik át a maximális forgatónyomaték a forgószárnyra, és ebben a helyzetben dől meg legnagyobb mértékben az eredő légerő a forgásirányba.

Siklás kialakulása

Számos tényező befolyásolja a helikopter süllyedési sebességét az autorotáció során: magasság, felszálló súly, forgószárny fordulatszám és a repülési sebesség. Az elsődleges módja a süllyedési sebesség korlátozásának a repülő sebesség. A magasabb vagy alacsonyabb repülési sebesség a ciklikus beállítási szög vezérlésével valósul meg, mint normális működő hajtóművel történő repülésben. Elméletben a pilótának lehetősége van megválasztani a süllyedés szögét, állítva a függőleges süllyedéstől a maximum hatótávolságig, ami a süllyedés minimális szöge.

A szél nagy hatással lehet az autorotációra. Erős szembeszél következtében a csúszási szög meredekebb értéket vehet fel a kisebb földhöz viszonyított sebesség miatt. Például, ha a helikopter 30 m/s műszer szerinti sebességgel halad és a szél sebessége 8 m/s, akkor a földhöz viszonyított sebesség 22 m/s lesz. A süllyedési szög sokkal meredekebb lesz, noha a süllyedés sebessége változatlan marad.

Autorotációs leszállás

Autorotációból való földet éréskor az egyetlen rendelkezésre álló energia a lapátok kinetikai energiája, ami képes csökkenteni a süllyedési sebességet, és biztosítani a lágy talajfogást. A lapát végébe beépített súlyok nagyban meg tudják növelni ennek az elraktározott energiának a nagyságát. Autorotációs süllyedés nagyon alacsony vagy éppen nagyon magas repülési sebességen sokkal kritikusabb, mint a minimum süllyedési sebességgel végrehajtott autorotáció során.

A földetérési sebesség és a kigurulási úthossz függ a földhöz viszonyított sebességtől és a lassulás mértékétől. Minél nagyobb mértékű a lassulás vagy a kilebegtetés, és minél nagyobb ideig tart, annál kisebb lesz a földetérési sebesség és rövidebb a kigurulási úthossz. Ennél a pontnál körültekintően kell eljárni, hiszen a faroklégcsva lesz a talajhoz legközelebbi szerkezeti eleme a helikopternek, Ha az időzítés nem pontos, valamint a talajfogási helyzet felvétele nem a megfelelő időben történik, a faroklégcsva talajt foghat, ami a helikopter sérüléséhez vezet. Ha a terepviszonyok lehetővé teszik, a talajfogás előtt 15-30 méter magasságban a forgószárny lapátok közös beállítási szögének fokozatos növelésével is van mód a süllyedési sebesség csökkentésére, majd a talajfogást követően kigurulással csökkenthető a helikopter mozgási energiája.

A szembeszél jelentősen hozzájárul az autorotációs süllyedésből történő alacsony sebességű földetérés kialakulásához, továbbá csökkenti a szükséges lassulás mértékét. Minél alacsonyabb a megkívánt földetérési sebesség, annál pontosabb az időzítés és alacsonyabb a kilebegtetés sebessége. Ha túl nagy mértékű és korai a kollektív beállítási szög alkalmazása az autorotáció utolsó fázisában, akkor a kinetikai energia legyengül, amely csak kismértékű vagy egyáltalán semmilyen tompító hatást sem hoz létre. Ebben az esetben a kemény földetérés szintén hasonló károkat okozhat a helikopterben. Általánosságban elmondható, hogy a gyakorlás során kedvezőbb a hosszabb kigurulással történő leszállás, mint a kemény földetérés minimális földhöz viszonyított sebességgel. Ahogy a pilóták tapasztalata nő, úgy lehet csökkenteni a kigurulás úthosszát.

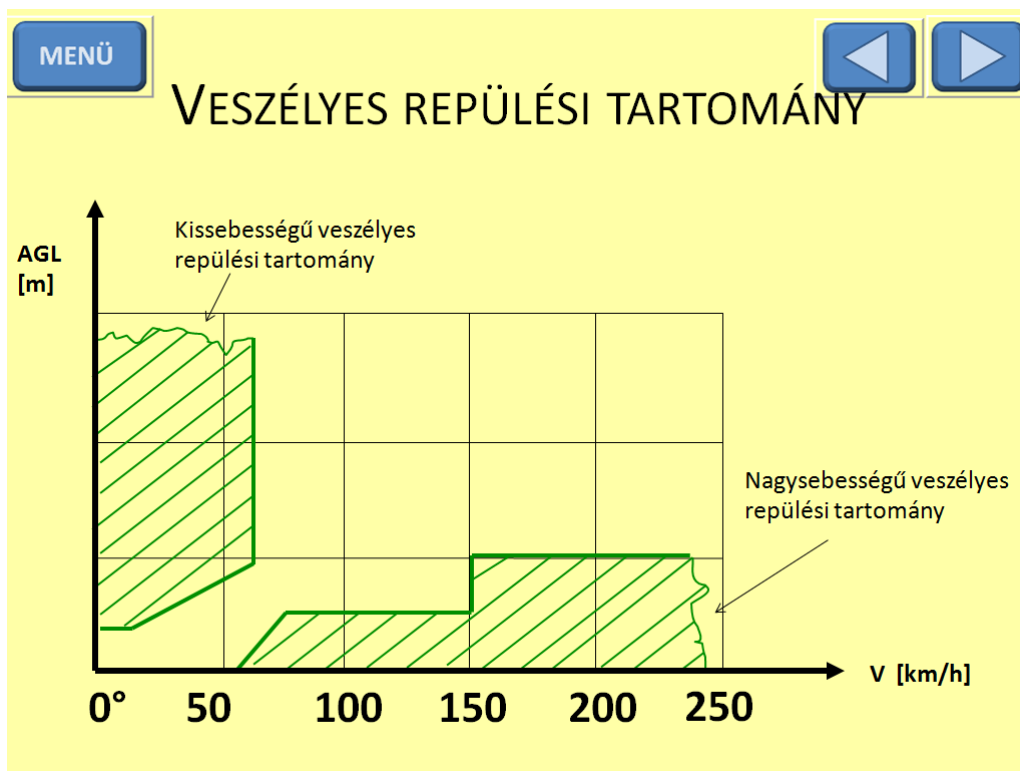
Mindegyik helikopter egyéni repülési sebességgel és forgószárny fordulatszámmal rendelkezik, amelyen a leghatékonyabb a hajtómű nélküli siklás. Nagyobb felszálló súlynál nagyobb kollektív beállítási szöget követel meg a fordulatszám vezérlése. Néhány helikopter esetében szükség van a minimum fordulatszám enyhe beszabályozására téli – nyári, illetve nagy vagy tengerszinti magasságon repüléshez.

Veszélyes repülési tartományok

Minimális süllyedési sebesség elérése érdekében a siklást gazdaságos sebességen kell végrehajtani. Ha függőleges repülési üzemmódban vagy a gazdaságosnál kisebb repülési sebességen következik be a hajtómű leállása, akkor a gazdaságos sebesség elérésére csak bizonyos magasságvesztés következtében tud begyorsulni, amely csak magasságvesztéssel járó helyzeti energia elvétellel valósulhat meg. Tehát létezik egy adott szükséges magasság,

mellyel a helikopternek rendelkeznie kell, hogy elegendő mennyiségű mozgási energiát tudjon átalakítani a helyzeti energiájából.

Belátható, hogy kis sebességű repülés esetén létezik egy olyan talajfeletti magasság–sebesség tartomány, ahol a hajtómű leállásakor nem lehet helikopterrel autorotációs leszállást végrehajtani. Ebben az esetben kisebbsebességű veszélyes repülési tartományról beszélünk.



32. ábra

Nagysebességű veszélyes repülési tartományról beszélünk, ha a helikopter kis talajfeletti magasságon, nagy sebességgel haladva a pilóta nem tud időben reagálni a hajtóművek esetleges leállítására.

Ezek a veszélyes repülési tartományok behatárolják a helikopterek üzemelését, azaz tilos ebben a két tartományban repülést végrehajtani. Ez további korlátozásokat jelent a helikopter fel- és leszállására nézve. A többhajtóműves helikopterek egyik hajtóművük meghibásodása esetén is képesek a biztonságos repülésre, így esetükben nem súlyozott ez a korlátozás. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy egyik hajtómű meghibásodásakor nő a valószínűsége a másik hajtómű leállításának is.

5. BEFEJEZÉS

Napjainkban a helikopterek közel teljes mértékben megbízhatóak. Akárhonnan nézzük, vészhelyzetek mindig adódhatnak, akár egy műszaki meghibásodás, akár pilótahiba esetén, de mindenképpen ezek megelőzésére kell törekedni. Tekintet nélkül az okokra, azonnal és precízen meg kell kezdeni a hiba elhárítását. Ezért kiemelkedően fontos, hogy a helikopter és rendszereinek alapos ismerete birtokában a helikoptervezető még könnyedebben képes kezelni a helyzetet. Helikopter vészhelyzeteket és a fő hibaelhárítási eljárásokat fontos végrehajtani, és ha lehetséges, gyakorolni a repülés során. Továbbá, ha a körülmények, amelyek vészhelyzethez vezethetnek ismertek, sok potenciális baleset megelőzhető.

A forgószárny kritikus üzemmódjai közül a dolgozatban az örvénygyűrű és az autorotációs üzemmód lett kiemelve. A „Helikopter aerodinamika” tantárgy oktatása során e két terület megismerése kiemelkedő jelentőséggel bír, így ennek oktatása során a dolgozatban leírtak, valamint a hozzá kapcsolódó multimédiás bemutató jelentős mértékben növelheti ezen üzemmódok ismeretének elsajátítását. Így az elkészült dolgozat felhasználható a Had- és Biztonságtechnikai Mérnöki Alapszak oktatása során.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Grétsy László, Kovalovszky Miklós: Nyelvművelő kézikönyv I-II., Akadémiai kiadó, Budapest, 1980-1985
- [2] Christian Spanik-Hannes Rügheimer: A multimédia alapjai, Kossuth Könyvkiadó, 1995
- [3] Andreas Holzinger: A multimédia alapjai, Kiskapu Kiadó Budapest, 2004.
- [4] Ralf Steinmetz: Multimédia: Bevezetés és alapok. Budapest, Springer Hungarica Kiadó Kft., 1995.
- [5] Kassai András: FOXTREND KFT., Székesfehérvár, 1995-1996. PC-ROM Multimédia PC Enciklopédia V1.0(C)
- [6] Tay Vaughan: Multimédia, Panem Kft., Budapest, 2003
- [7] Forgácsné Göttler Viktória: A francia katonai szaknyelv-oktatás tapasztalatai és korszerűsítésének lehetőségei, Doktori (Phd) értekezés, Budapest, 2004
- [8] Magyar Miklós: Az ITC – A multimédia alkalmazásának módszertani kérdései, 2012
- [9] Wilbur Schramm: Az új tanítási eszközök az Amerikai Egyesült Államokban. In: nouvelles méthodes et techniques d'education. Études et Documents d'Education. No. 48. Paris. UNESCO. 1. Fej. Ford.: Kiss Árpád. OPKM- dokumentum.
- [10] Forgó Sándor: A korszerű – a gyors technológiaváltások és tudástranszfer lehetőségét támogató –oktatási módszerek és IT technológiák alkalmazásának lehetőségei és gyakorlata a szakképzésben, Kutatási résztanulmány, 2007
- [11] Brückner Huba: Számítógépek az oktatásban, Budapest, 1978
- [12] Békési László: A repülőeszközök aerodinamikájának oktatási lehetőségei multimédia segítségével, Tanulmány, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2008
- [13] Adolf Melezinek: Mérnökpedagógia- A műszaki ismeretek oktatásának gyakorlata. Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- [14] Bera József – Pokorádi László: Helikopterzaj elmélete és gyakorlata, Campus Kiadó, Debrecen, 2010

- [15] Bazov D.I.: Helicopter aerodynamics, Transzport, Moszkva, 1969. (National Aeronautics and Space Administration, Washington, D. C., 1972)
- [16] Békési László – Dr. Szabó László: Az egyforgószárnyas, farok-légcsavaros helikopterek kritikus repülési üzemmódjai, SZOLNOKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK XII.: pp. 1-8. (2008)
- [17] Helicopter Flying Handbook, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Flight Standards Service, 2012
- [18] Introduction to Helicopter Aerodynamics Workbook, Aerodynamics, Transition Helicopter, U.S. NAVY, 2000
- [19] J. Seddon: Basic Helicopter Aerodynamics, BSP Professional Books, 1990
- [20] RENNER Péter, Neosoft Corp.: Készítsük elektronikus kiadványt, multimédiás CD-t egyszerűen a NEOBOOK Professional for Windows programmal.
- [21] Szelestey Gyula: Áramlástan III. kötet, Szolnok, 1974

FÜGGELÉKEK

1. függelék: Annotáció
2. függelék: A konzultációkon történő részvétel igazolása (konzultációs lap)
3. függelék: Nyilatkozat