

JAK-52 REPÜLŐGÉP FÉKLAP MŰKÖDTETÉS FELÜLBÍRÁLÁSÁNAK VIZSGÁLATA FLUID-SIM SZOFTVERREL.

BEVEZETŐ

2008 őszén került a ZMNE Repülő és Légvédelmi Intézet Repülő Sárkány-Hajtómű Tanszékéhez a FESTO cég hidraulikus oktató próbapadja és a hozzá kapott nagy értékű szoftverek. Ezekkel az eszközökkel a repülőgépek hidraulikus és pneumatikus rendszereinek oktatása egy más dimenzióba került. Mielőtt az oktatásban alkalmaztuk volna az eszközöket, kipróbáltuk egyszerű pneumatikus és hidraulikus rendszerek modellezésében. Már az első próbálkozásunk olyan problémát tárt fel, amelyet a repülőgép típusra rendszeresített, sem a légi, sem a földi üzemeltetési leírás nem tartalmazott. A vizsgálat tárgya a Jak-52 repülőgép (1. ábra) féklap vezérlési rendszere.



1. ábra

A munkánkkal az volt a célunk, hogy felkeltsük a figyelmet a repülőgép egy konstrukciós problémájára, ami repülésbiztonsági szempontból nem elhanyagolható. Mivel ezt a repülőgép típust a Magyar Honvédségben a pilóta növendékek alapkiképzésében alkalmazzák, így a problémafelvetést és annak egy, vagy több lehetséges megoldását fontosnak ítéljük. Szükséges elmondani, hogy eddig ebből a konstrukciós problémából hazánkban nem volt rendkívüli esemény, de ha egy probléma fennáll, akkor a véletlenek összejárása miatt bármikor súlyos események forrása lehet. Ezt konstrukciós problémát modelleztük le **FESTO FluidSIM szoftverrel** és ennek felhasználásával kíséretet tettünk a probléma technikai megoldásaira.

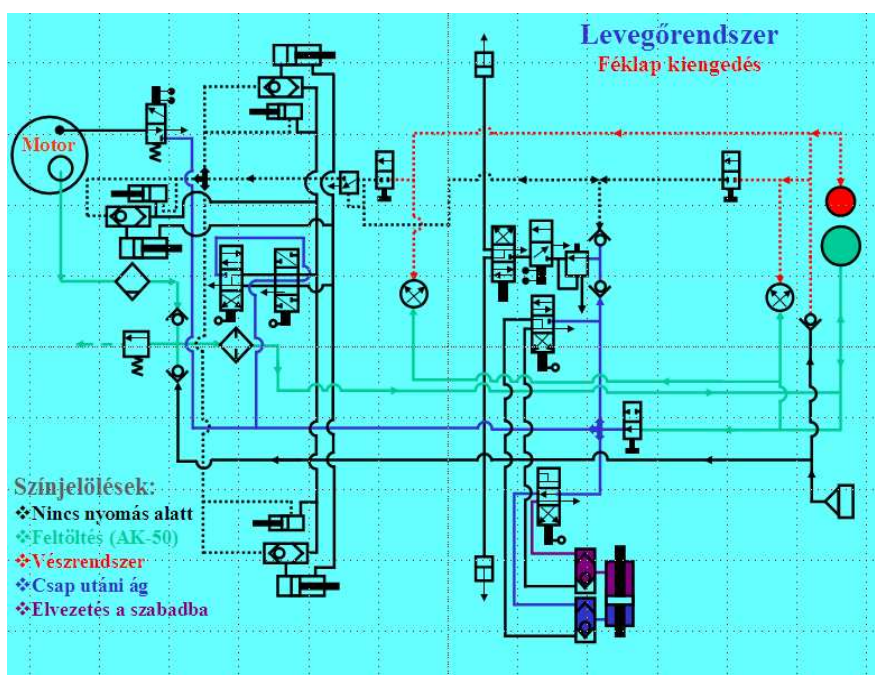
A féklapról.....



2. ábra

A SRENK rendszerű féklapokat (2. ábra) a szárny 1-6. bordái között a szárny alsó felületén, a kilépőélnél helyezték el. A féklapok nyitásakor 45° -ra térnek ki, megnövelve ezzel a repülőgép ellenállását és csökkentve a leszállási úthosszt. A féklapok duralumíniumból készült szegecselt szerkezetek, amelyeknek fő részei az „U” keresztmetszetű főtartó és a hét darab sajtolt borda. A bal féklap a 2a. és 4. bordánál, a jobb féklap pedig 2. és 5. bordánál van bekötve a féklap vezérléshez.

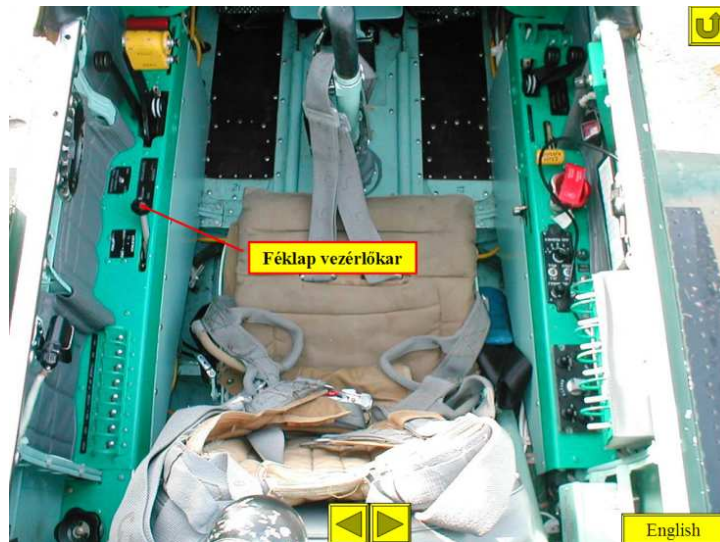
A féklapok működtetése egy **sűrített-levegős** működtetésű **munkahengerrel** történik (3. ábra), amelynek **vezérlőcsapjai** (625300M) mind az első, mind a hátsó fülkében a bal kezelőpulton találhatók.



3. ábra

Féklapok működtető csapjai (625300M)

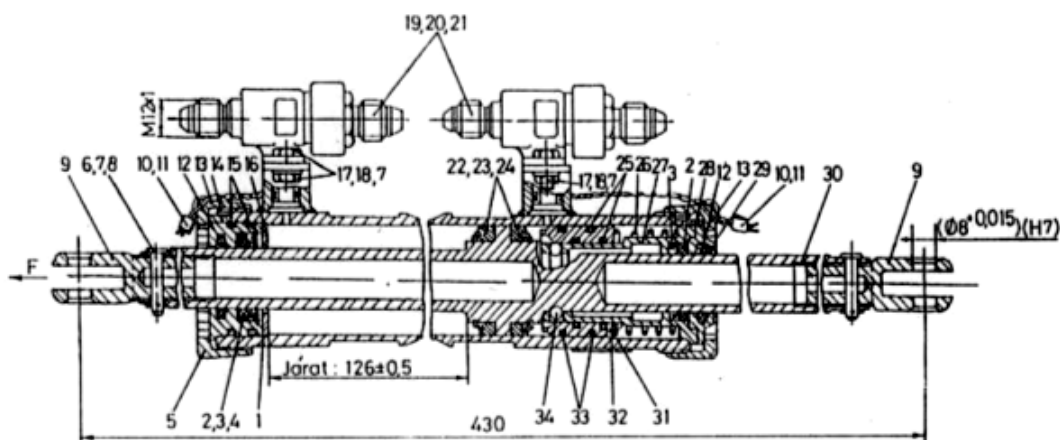
A féklapok működtető csapjai háromállású csapok, amelyek **vezérlőkarjai** minkét fülkében a bal oldali panelen vannak elhelyezve (4. ábra).



4. ábra

Féklapok működtető munkahengere

A féklapok működtető munkahengere (5. ábra) a törzs 8. törzskereténél a fülkepadló alatt van elhelyezve. A vezérlőkarok semleges helyzetében a munkahenger mindkét tere a légkörbe szellőzik és a dugattyúrúd benti helyzetében golyós zár rögzíti. Nyitáskor a munkahenger egyik terébe beáramló levegő először a golyós zárat oldja, majd a működtető dugattyú elindul a kinti helyzet irányába és a dugattyúrúd a féklap vezérlő mechanizmuson keresztül nyitja a féklapot. A másik térből eközben a szabadba távozik a levegő. Behúzáskor a levegőtáplálás iránya megváltozik és a folyamat ellentétesen zajlik le.



5. ábra

1. A FÉKLAP MŰKÖDÉS VEZÉRLÉSÉNEK VIZSGÁLATA

A féklap működtetése mindkét fülkéből lehetséges. A működtetés a féklap kinti és benti helyzetének vezérlését jelenti a kétüléses repülőgép bármely fülkéjéből féklap vezérlő karokkal. Normál helyzetben a féklap működtetésére sor kerül a repülőgép leszállásakor, ill. egyéb esetben bármely repülési helyzetben, a korlátozások szerint 170 km/h repülési sebesség alatt.

1.1. A működtetés logikai táblázata, ábrája

A féklap helyzetét az utasítás szerint önállóan, bármely fülkéből lehet vezérelni (táblázatban: első fülke A, C, hátsó fülke D, F oszlop, mint a vezérlőkar üzemi helyzetei), de értelemszerűen a „másik” fülkében semleges, kikapcsolt helyzetben (táblázatban: első fülke E, hátsó fülke B oszlop, mint a vezérlőkar semleges helyzetei) kell lenni a vezérlőkarnak.

A	E	B	D	C	F	=>	F1	F2
1	1	X	X	X	X	—	1	
X	X	1	1	X	X	—	1	
X	1	X	X	1	X	—		1
X	X	1	X	X	1	—		1

féklap helyzete

Féklap „bent”:

F **A** **E** **B** **D**

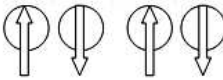
A valóságban a semleges helyzetnek nincs jel értéke a vezérlési körben. Közvetetten az első ill. hátsó fülke vezérlő elemeinek a kikapcsolását, semleges helyzetét jelenti.

A táblázatban a semleges helyzetnek megfelelő oszlop nincs, csak a négy bemeneti, és kettő kimeneti jel: az első fülke féklap behúzás A, kiengedés B, a második fülke féklap behúzás C, kiengedés vezérlő D jele és a féklap benti F0, a kinti helyzet F1 jele.

Term	A	B	C	D	=>	F0	F1
0	0	0	0	0		0	0
1	0	0	0	1		0	1
2	0	0	1	0		1	0
3	0	0	1	1		X	X
4	0	1	0	0		0	1
5	0	1	0	1		0	1
6	0	1	1	0		X	X
7	0	1	1	1		X	X
8	1	0	0	0		1	0
9	1	0	0	1		X	X
10	1	0	1	0		1	0
11	1	0	1	1		X	X
12	1	1	0	0		X	X
13	1	1	0	1		X	X
14	1	1	1	0		X	X
15	1	1	1	1		X	X

A táblázat minimalizálás után:

A	B	C	D	=>	F0	F1
1	X	X	X	—	1	
X	X	1	X	—	1	
X	1	X	X	↘		1
X	X	X	1	↘		1

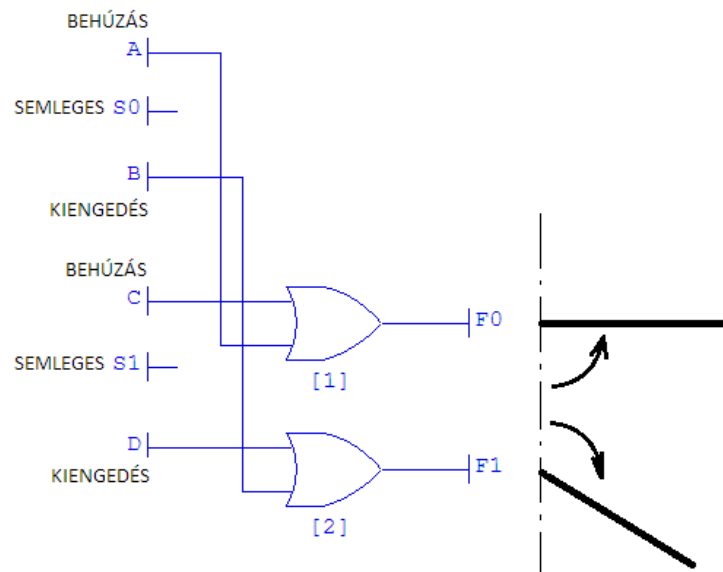

 féklap helyzete

Féklap „bent”:

$$F_0 = A \vee C \quad (3)$$

Féklap „kint”:

$$F_1 = B \vee D \quad (4)$$



6. ábra

Az előbbi logikai ábra (6. ábra) felel meg az eredeti pneumatikus rendszer felépítésének: útváltó szelep, kettős visszacsapó (VAGY) szelep, léghenger.

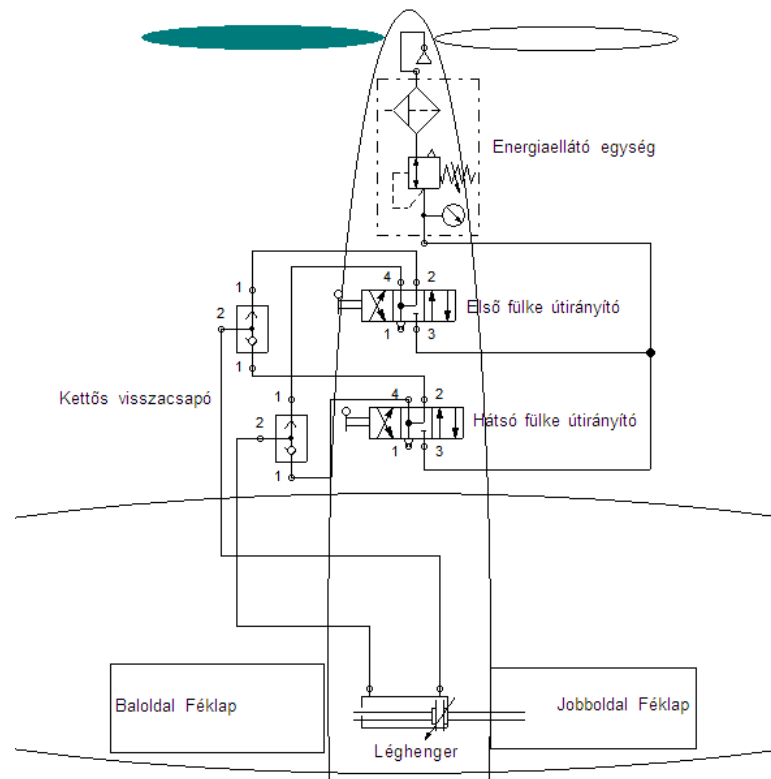
A féklap vezérlő útváltó szelepek helyzetének betűjelei a logikai ábrán:

- 1.) első fülke:
 - A-féklap behúzás
 - S0-semleges
 - B-féklap kiengedés
- 2.) második fülke:
 - C-féklap behúzás
 - S1-semleges
 - D-féklap kiengedés

A kettős visszacsapó (VAGY) szelep (1), (2) számozású az ábrán. A léghenger ill. féklap benti F0, kinti helyzet F1 jelzésű.

1.2. A kapcsolási rajz, funkciódiagram

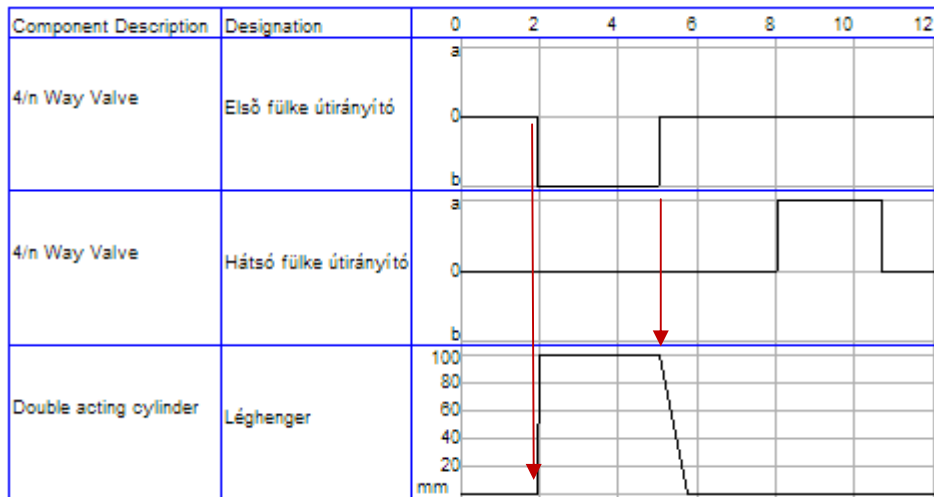
A kapcsolási rajz a repülőgép féklap vezérlő pneumatikus rendszer elemeit tartalmazza. A funkciódiagram a vezérlő és a végrehajtó elemek szimulációs működését ábrázolja jel, idő, út függvényében.



7. ábra

A fenti kapcsolási rajz (7. ábra) funkciódiagramja tehát a féklap vezérlő pneumatikus rendszer működési fázisait ábrázolja. A féklapokon ébredő eredő légerő mechanizmuson keresztül visszahatás imitálására a léghengert –behúzás irányban - állandó nagyságú erővel terheljük a szimulációban.

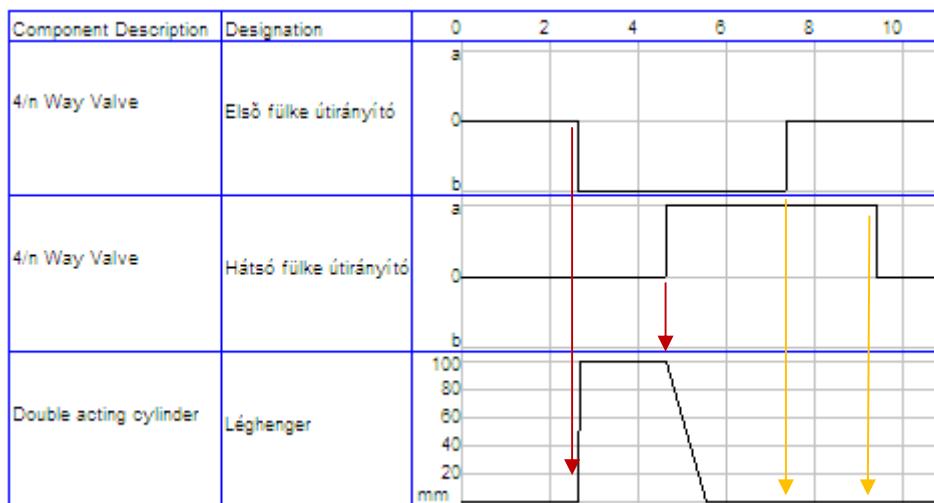
Az első és a hátsó fülke útirányítóinak kapcsolási helyzete (a vagy b) határozza meg a léghenger helyzetét (a 8. ábrán $l_z = 0-100 \text{ mm}$), ezáltal a féklap kinti ill. benti állását.



8. ábra

Az előbbi funkciódiagram (8. ábra) a repülés alatt ($F_x > 0N$) ábrázolja a pneumatikus-rendszer vezérlő és végrehajtó elemének állapotát. Az első fülke útírányító elem bekapcsolásakor (b) a légghenger rúdja elmozdul, l_z [mm].

A repülési utasítás alapján a vezérlés hátsó fülkéből felülbírálásához semleges helyzetbe kell állítani a vezérlő kart az első fülkében. A hátsó fülke útírányító kapcsolása előtt, a légghenger már elmozdul a szimuláció során. A légghenger elmozdulásának az első fülke útírányítójának semleges és a hátsó fülke útírányítójának bekapcsolásakor kellett volna bekövetkezni.



9. ábra

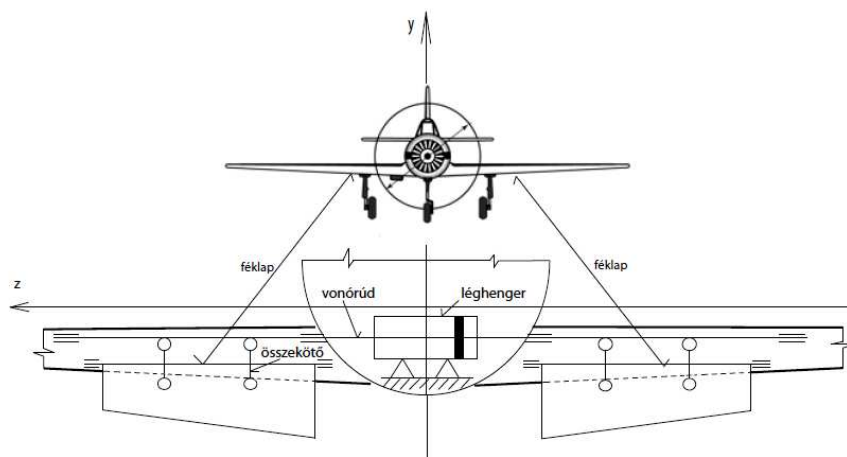
Az előbbi szimulációs diagramban (9. ábra) az első fülke féklap vezérlő jelének a felülbírálása látható - a hátsó fülkében kapcsolt útírányítóval - amellet, hogy nincs semleges helyzetben az első fülke útírányítója. Erre a programmal szimulált működési helyzetre szükséges magyarázatot adni, ill. vizsgálni a repülés közben kialakuló jelenséget.

Összefoglalva az előbbieket a szimuláció szerint a féklap vezérlésének felülbírálása a hátsó fülkéből akkor is lehetséges, ha az első fülkében nincs semleges helyzetben a vezérlő kar.

Repülés közben az utasításnak megfelelően csak semleges helyzetbe állított első fülke vezérlőkar állás mellett lehetséges az ún. felülbírálás a hátsó fülkéből.

2. A FÉKLAP MŰKÖDTETŐ MECHANIZMUS VIZSGÁLATA

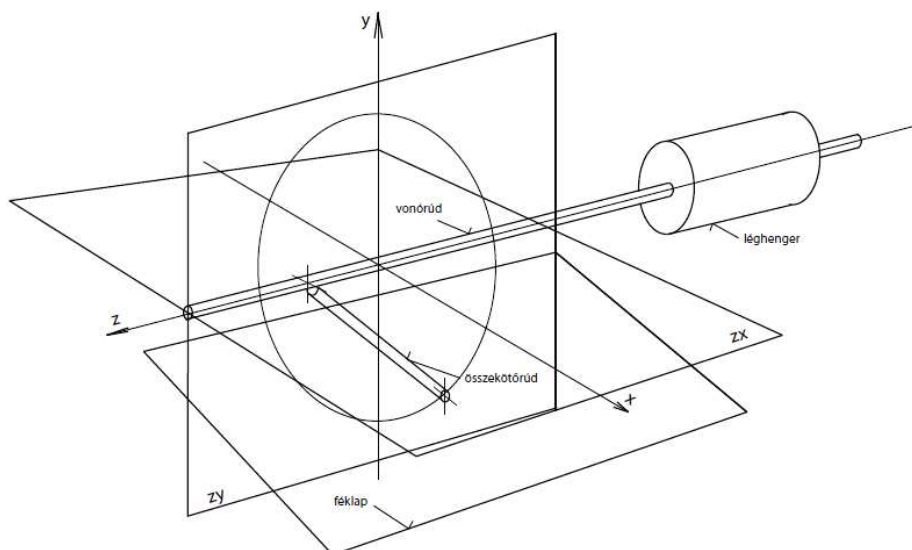
Magát a féklapot két darab összekötőrúdon, azokkal összekötött működtető vonórúddal (10. ábra) átadott pneumatikus erő kifejtés mozdítja a vezérlésnek megfelelően kinti, vagy benti helyzetbe.



10. ábra

2.1. A mechanizmus

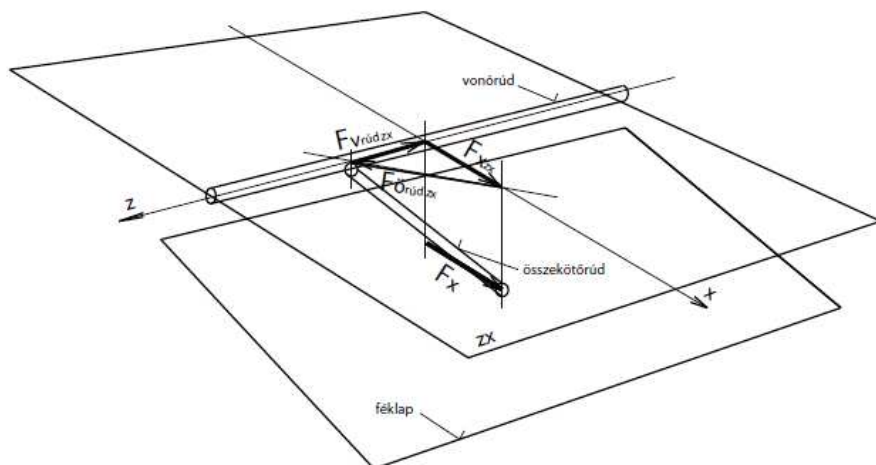
A féklap működtető mechanizmus fő elemei a pneumatikus munkahengerrel összekötött működtető vonórúd, és az összekötőrúd. A működtető vonórúd mozgása kereszttengety irányú, megegyezik a pneumatikus munkahenger dugattyújának mozgásirányával. Az összekötőrúd mozgása összetett, mivel egyik vége a működtető vonórúddhoz, a másik vége a féklaphoz szabadon elfordulható módon kapcsolódik, így a hossz, a kereszt, és a függőleges tengelyek irányában is mozgást végez (11. ábra).



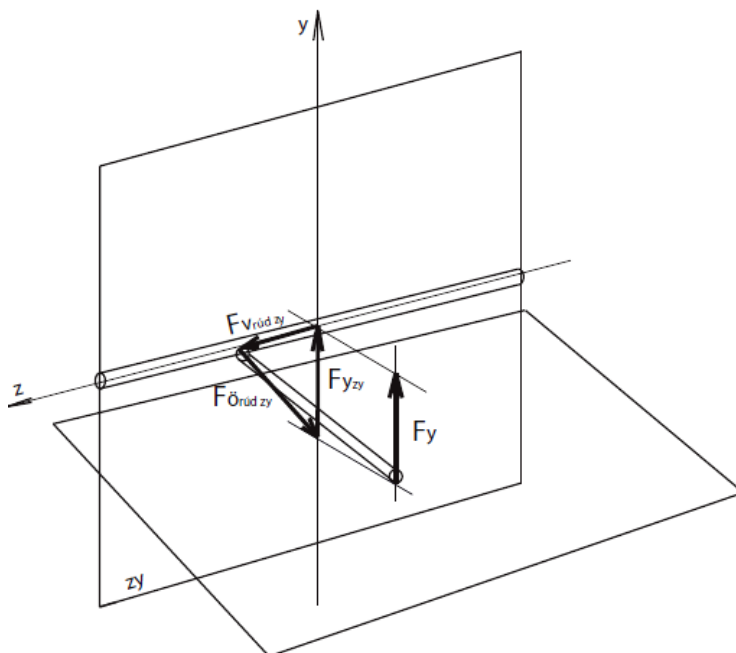
11. ábra

2.2. A féklapot mozgató erők

A féklap vezérelt mozgatása a léghenger erőkifejtése által történik. A pneumatikus erőkifejtés mellett, mint az áramlásba helyezett síktesten légerők is létrejönnek. Jellegénél fogva a féklap kitérítésekor megnövekszik a szárny, ill. a repülőgép megfűvás irányban a felület nagysága. Ennek a következménye az x, hossz tengelyirányú F_x ellenállási erő növekedése (12. ábra), és a repülőgép mozgási sebességének csökkenése. Emellett bizonyos nagyságú F_y , függőleges tengelyirányú erő (13. ábra) is keletkezik a féklap felületen.



12. ábra



13. ábra

$$F_{vrúd\ Z} = F_{vrúd\ ZX} + F_{vrúd\ ZY} \quad (5)$$

$$\sum F_Z = F_{pneum.} + F_{vrúd\ Z} - F_S \quad (6)$$

$$F_{vrúd\ Z} = f(c_X, c_Y) \quad (7)$$

Tehát a féklap α nagyságú szögelfordulását, és a működtető vonórúd l_z [mm] nagyságú elmozdulását a dugattyúrúd bekötésénél átadott F_p pneumatikus erő, a dugattyú és a léghengerfal között ébredő F_s súrlódási erő, továbbá a működtető mechanizmuson keresztül légerők Z kereszttengety mentén ébredő $F_{vrúd\ Z}$ komponense határozzák meg.

Az első vagy a hátsó fülkéből vezérlés, ill. a féklap helyzetének felülbírálása:

1) féklap kiengedés (14. ábra):

ha vonórúd elmozdulás $l_z=0$ mm, és

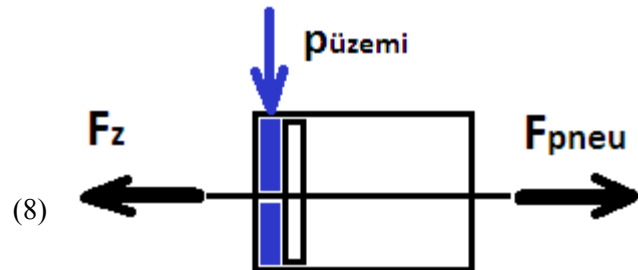
$$F_{vrúd\ Z}=0\text{ N}$$

$$\sum F_Z = F_{pneum\ ki} = p_{üzemi} * A$$

ha vonórúd elmozdulás $l_z > 0$ mm, és

$$F_{vrúd\ Z} > 0\text{ N}$$

$$\sum F_Z = F_{pneum\ ki} - F_{vrúd\ Z} - F_s = p_{üzemi} * A - F_{vrúd\ Z} - F_s \quad (8)$$



14. ábra

A féklap kiengedésekor a F_{pneum} pneumatikus erő és a vonórúdon ébredő $F_{vrúd\ Z}$ erő, F_s súrlódási erő különbsége határozza meg a működtető erő eredőjét.

2.) féklap behúzás (15. ábra):

Akkor, ha a vonórúd elmozdulás $l_z=0$ mm, és

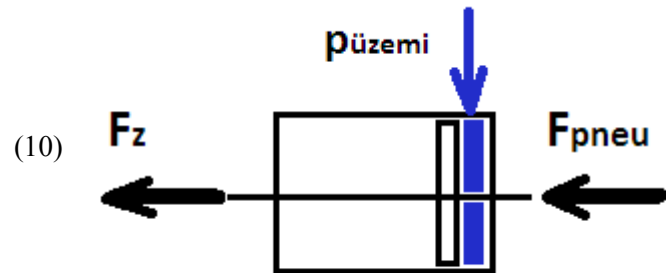
$$F_{vrúd\ Z}=0\text{ N}$$

$$\sum F_Z = F_{pneum\ be} = p_{üzemi} * A$$

Akkor, ha a vonórúd elmozdulás $l_z > 0$ mm, és

$$F_{vrúd\ Z} > 0\text{ N}$$

$$\sum F_Z = F_{pneum\ be} + F_{vrúd\ Z} - F_s = p_{üzemi} * A + F_{vrúd\ Z} - F_s \quad (10)$$



15. ábra

A féklap behúzásakor a működtető erő nagyságát a pneumatikus erő és a vonórúdon ébredő $F_{vrúd\ Z}$ erő és a F_s súrlódási erő összege határozza meg.

3.) A hátsó fülkéből a féklap működtetés vezérlésének felülbírálása (16. ábra), ha nincs semleges helyzetben az első fülke vezérlőkar (repülési utasítással ellentétben! azonban előfordulhat!):

Akkor, ha a vonórúd elmozdulás $l_z=0$ mm, és

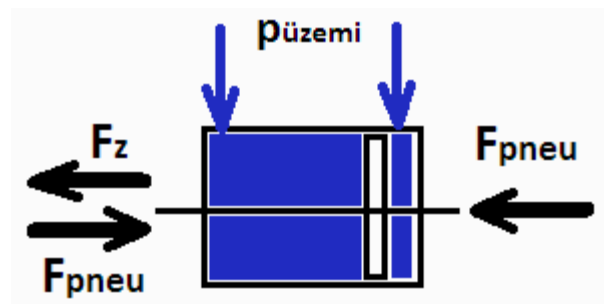
$$F_{vrúd\ Z}=0\text{ N}$$

$$\sum F_Z = F_{ki} - F_{be}$$

$$F_{ki} = F_{be}$$

$$\sum F_Z = 0\text{ N}$$

(12)



16. ábra

A kinematikus szerkezeten keresztül nem fejti ki hatását F_R eredő légerő z kereszttengety irányban a $F_{vrúd\ Z}=0\text{ N}$.

A működtető vonórúdon ébredő $\sum F_z$ eredő erő nagysága zérus, mivel mindkét dugattyútérben azonos nagyságú levegőnyomás ellentétes irányú erőket hoz létre a féklap akár kinti, akár benti helyzetében. Így a működtető vonórúd nem mozdul el, $l_z=0$ mm.

A valós repülési körülmények között - a szimulációs programmal ellentétben- nem mozdul el a féklap. A repülőgép féklap működését a pneumatikus *felépítés* alapján megfelelően lehet a FluidSim programmal szimulálni. A programban a kettős működésű léghenger dugattyúrúdra egy irányú terhelést lehet beállítani, amely a működtető mechanizmuson keresztül visszaható erő, a féklapokon ébredő légerők erdője. Azonban a kinematikus felépítés sajátossága miatt eltérő az eredmény.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A *FluidSim* szimulációs program alkalmazása a féklap működtető pneumatikus rendszer működésének vizsgálatához megfelelő kiindulópontot ad. Azonban figyelembe kell venni a funkciódiagram, továbbá a pneumatikus vezérlő rendszer elemzésekor a működtető mechanizmus felépítését is.

A szimuláció szerint az első fülkében a vezérlő kar –útváltó szelep- semleges helyzetbe állításakor a kinti helyzetű féklapnak behúzás irányú mozgása van, semleges hátsó fülke vezérlőkar – útváltó szelep - állásnál. Ez nem következik be a valóságos repülési helyzetben, mivel az összekötő rúd merőleges helyzetben van a működtető vonórúdra, így kinematikusan kitámasztja a féklapot, ezáltal az nem mozdulhat el.

A mozgása akkor indul meg, ha a hátsó fülke vezérlőkar behúzás helyzetbe kerül. A léghenger behúzás terébe irányított üzemi nyomású levegő a dugattyúrúdon keresztül összekötött működtető vonórúdon és az összekötő rúdon működtetett pneumatikus erő hatására –kinematikus kitámasztást megszüntetve- behúzás irányba mozdítja el a féklapot.

Sajátos, nem utasítás szerinti vezérlőkar helyzetekben a behúzás, kiengedés nem végrehajtható (felülbírálás!): ha az első fülke vezérlőkar nincs semleges helyzetben.

Ekkor a féklapot összekötő rúdon közvetve működtető vonórúdra ható pneumatikus erők egyensúlyban vannak a léghenger mindkét terében, mivel a kompresszoron keresztül állandó utánpótlása van a levegőnek a rendszer hermetikussági veszteségek pótlására is. Ezzel úgy mond „rögzítve” van a működtető vonórúd helyzete. Ennek következtében a féklap nem fog elmozdulni ($l_z=0$ mm). Az F_R légerők nem befolyásolják a mechanizmus mozgását ebben a helyzetben, mivel ezek az erők merőlegesen hatnak az összekötő rúdon keresztül a működtető vonórúdra. Amíg a léghenger ún. féklap kiengedés teréből a levegő nincs kivezetve a féklap kinti helyzetben marad.

A féklap benti helyzetből kinti állásba vezérlése a hátsó fülkéből nem lehetséges, amíg az első fülke féklap vezérlő karja – az útváltó szelep - nincs semleges helyzetbe állítva. Az ok, hogy a léghenger benti helyzetzára nem oldódik, amíg a pneumatikus erők egyensúlyban vannak a léghenger dugattyú mindkét oldalán. A működtető vonórúd rögzítve van, így a féklap nem mozdul el benti

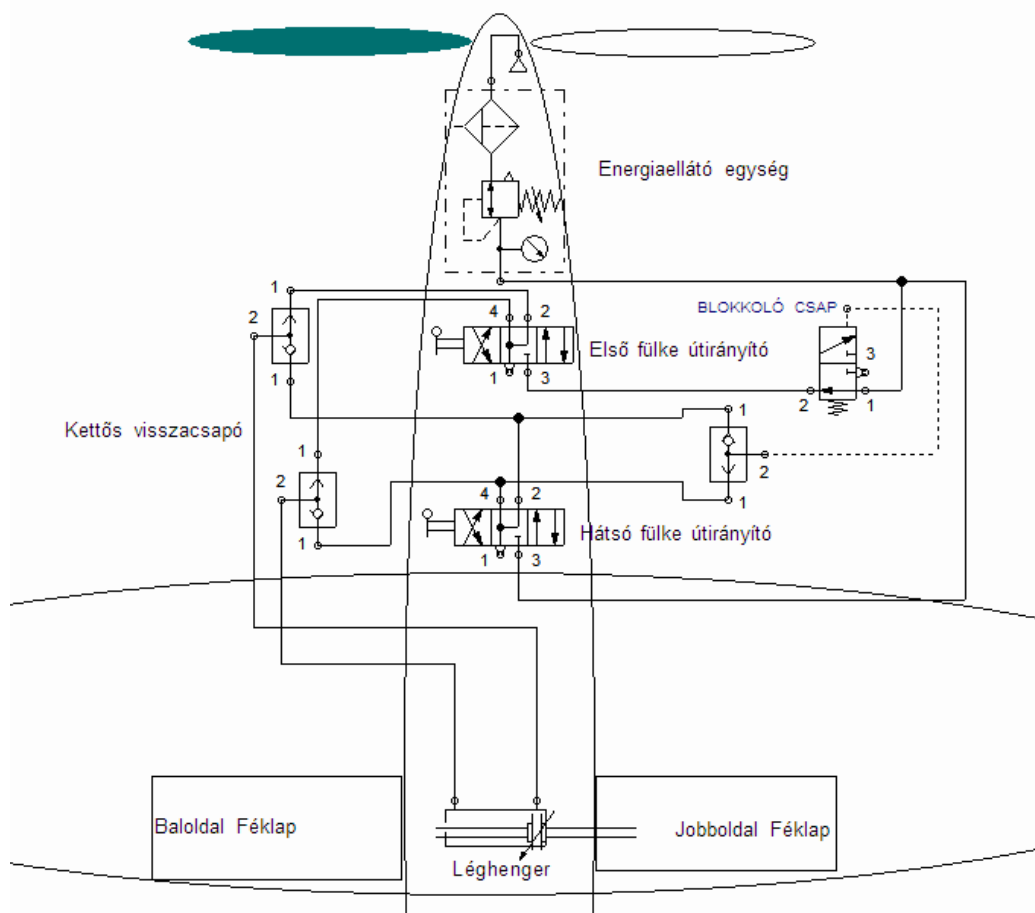
helyzetből, amíg a léghenger ún. behúzás teréből nem kerül kivezetésre a levegő az útváltó szelep lefűvátás csatornáján.

Megállapítható, hogy a féklap helyzet „felülbíráhatósága” (a vizsgált pneumatikus rendszerben) *normálisan* akkor történhet meg, ha az első fülke vezérlőkarja semleges helyzetben van. Az elvégzett vizsgálat szerint ettől eltérő esetekben a „felülbíráhatóság” végrehajtható, ami a vezérlő karok adott helyzetbe állításában kimerül, féklap állásán semmit nem változtatva.

Véleményünk szerint ez nem felel meg teljességgel a felülbíráással szemben támasztott vezérléstechnikai követelményeknek.

3.1. Példa a felülbírálás megoldására

A féklap vezérlésének felülbíráására - bármilyen első fülke vezérlőkar állás esetén- többféle lehetőség adott. Egy lehetséges megoldását az alábbi ábra (17. ábra) tartalmazza. A megoldást egy a második, oktató fülke vezérlőkar működtetésekor pneumatikus úton vezérelt útváltó beépítése jelenti, amely feladata az első fülkéből vezérelt levegő tápkörének kiiktatása, és a léghenger megfelelő teréből a levegő külső légkörbe kivezetése. Ezáltal kizárólag az oktató vezérlési szándéka szerint történik a léghenger mozgatása, ill. a féklap kiengedése vagy a behúzása.



17. ábra

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bevezetés a pneumatikába. Festo, Budapest, 2001.
- [2] BOZÓ-CSANAK: Pneumatikus berendezések üzemeltetése és karbantartása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [3] The definitive pilots operating handbook for the Yakovlev Yak 52, Bona Sera Investments (Pty) Ltd., 2003.
- [4] Jak-52 multimédiás tananyag, Távoktatási tananyag ZMNE 2005

ALKALMAZOTT SZOFTVER

- [1] Igazságtábla, Logic Friday v.1.1.1
- [2] Funkciódiagram, Festo FluidSim v3.6 Pneumatics