

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Repülőtiszti Intézet

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK



IX. évfolyam 23.szám
1997/1.

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem periodikus kiadványa

Szerkesztő: Freytag Béla repülő ezredes

Szerkesztő Bizottság

Dr. Péter Tamás, Dr. Pokorádi László, Varga Béla, Dr. Szántai Tamás
Bottyán Zsolt, Dr. Pintér István, Dr. Óvári Gyula, Kovács József
Békési Bertold, Dr. Rohács József, Dr. Németh Miklós, Eszes János
Dr. Gedeon József, Dr. Szabó László, Dr. Szabolcsi Róbert, Vörös Miklós
Timár Szilárd.

Lektori Bizottság

Dr. Óvári Gyula, Dr. Pokorádi László, Dr. Horváth János, Dr. Gausz Tamás
Dr. Sánta Imre, Dr. Pásztor Endre, Dr. Rohács József, Dr. Péter Tamás
Dr. Szántai Tamás, Dr. Németh Miklós, Dr. Gedeon József, Dr. Kurutz Károly
Dr. Nagy Tibor, Dr. Szekeres István, Dr. Szabolcsi Róbert, Dr. Jakab László
Dr. Ludányi Lajos, Dr. Kuba Attila.

Kiadó: ZMNE Egyetemi Tanácsa

Felelős kiadó: Dr. Szabó Miklós rektor

Sokszorosító szerv: ZMNE Repülőtiszti Intézet nyomdája

Sokszorosítás helye: ZMNE Repülőtiszti Intézet
5008 Szolnok, Kilián út 1.

HU ISSN 1417-0604

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem

Repülőtiszti Intézet

REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

IX. évfolyam 23.szám

1997/1.

Könyvkiadó: Munkácsy Mihály utca 17. sz.

1950. évi kiadás

REPÜLTÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK

IX. kötet (1950. évi)

1950.

TARTALOMJEGYZÉK

Átalakulunk, váltunk, indulunk	5
Alapító okirat	6
Múlt és a jelen	9
A kiadványban megjelenő cikkek formai és tartalmi követelményei	11
Bemutakozik a Szerkesztő Bizottság	16
Bemutakozik a Lektor Bizottság	17
Békési Bertold: A repülőgép siklása homogén közegben	19
Dr. Pokorádi László, Tamás Ferenc: A szárnyvégi felületek aerodinamikai vizsgálata napjainkban	27
Békési Bertold: A repülőgép leszállási úthosszának meghatározása	45
Dr. Lauro József: ALES-folyosó kelet felé?	63
Fehér András: A DTA 50 adatbázis alkalmazásának lehetőségei a ZMNE Szolnoki Repülőtisztai Főiskolai Kara képzési rendszerében	77
Szegedi Péter: A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei a napelemes rendszerekben I.	91
Dr. Szabolcsi Róbert, Eszes János, Dr. Németh Miklós: Instabil szabályozási rendszer stabilizálása állapot-visszacsatolással	109
Szegedi Péter: A maximális teljesítményű pont követésének lehetőségei a napelemes rendszerekben II.	121

TABLE 1

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	15
16	17	18
19	20	21
22	23	24
25	26	27
28	29	30
31	32	33
34	35	36
37	38	39
40	41	42
43	44	45

ÁTALAKULUNK, VÁLTUNK, INDULUNK

(Egy új/régi időszaki kiadvány beköszöntője helyett!)

Amikor 1989-ben e kiadvány elődjének megnyitó, indító szavait írtam, nem gondoltam, hogy a 90-es évek végén, ma ismét ugyanezt tehetem.

"Repüléstudományi Közlemények"! Ez a kiadványunk címe, amely formájában némileg, tartalmában azonban lényegesen megújul.

A megújítás kényszerét az élet hozta, amelynek mottója a címben fejeződik ki leginkább: "Átalakulunk, váltunk, indulunk"!

Mit jelentenek ezek a szavak?

Átalakulunk - mert a rendszerváltozást követően égetővé vált a katonai rendszerváltozás is. Ezt több ütemben következett be. Ennek megfelelően először a felsőoktatási törvény, ezt követően a haderő átalakításával járó, majd a védelmi szektor életét meghatározó törvényi szabályozások voltak azok, amelyek befolyásaként alakul ki mára a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőtiszt Intézete, ahol a különböző karo, intézetek egyetemi szintű oktatás-szervezeti egységei működnek majd.

Váltunk - mert felfogásában új, a tudományos életben az egyetemi léttel azonos színvonalú, az oktatás-kutatás eredményeit magas színvonalon, nemzetközi mércével is mérhető publikációkat jelentetünk meg e hasábocon. Ennek biztosítéka a modern műszaki-tudományos életből felkért lektorok neve, akik az ilyen irányú munkára való felkérést az első hívó szóra önzetlenül elfogadták. Ez büszkeséggel és reménnyel tölthet el bennünket, hiszen azt mutatja, hogy eddigi munkánkat is elismerték.

Indulunk - mert egy új minőségben, egy új szervezetben és egy folyamatosan korszerűsödő, szélesedő tudományok (műszaki) és interdiszciplináris (hadtudomány) tudományterület folyóirataként jelenhetünk meg - nem túlzás! - a nagyvilágban és remélhetően csak emelni fogjuk az egyetem folyóiratainak szakmai színvonalát.

Ehhez a munkához kívánok minden szerzőnek, lektornak, szerkesztőnek, kidolgozóknak, - egyszóval: a repüléstudomány - minden részesének nagyon sok sikert!

Szolnok, 1997. december 04.

Dr. Németh Miklós ezredes
főiskolai tanár, ZMNE RI mb. igazgató

ALAPÍTÓ OKIRAT

^a "REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK" című időszaki lapra vonatkozóan

- 1) A "Repüléstudományi Közlemények" alapítója a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Egyetemi Tanácsa.
- 2) A "Repüléstudományi Közlemények" időszaki lap kiadási célja a "Repüléstudományi és kiképzési Közlemények" (HU ISSN 1416-6801) jogutódjaként elsősorban az egyetem oktatói által tudományos igényességgel elkészített tanulmányok, cikkek, kutatási eredmények publikálása.
- 3) A "Repüléstudományi Közlemények" időszaki lap évente három alkalommal jelenik meg.
- 4) A "Repüléstudományi Közlemények" független, a műszaki és élettelen természettudományokkal foglalkozó tudományos irányvonalú lap.
- 5) Az Egyetemi Tanács a lap működését folyamatosan ellenőrzi, a Szerkesztőbizottság elnökét évente beszámoltatja.
- 6) A "Repüléstudományi Közlemények" működési feltételeiről az Egyetemi Tanács gondoskodik a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem tudományos osztályvezetőjén keresztül.
- 7) A Szerkesztőbizottság elnökét az Egyetemi Tanács bízza meg.
- 8) A szerkesztőség tagjainak felkérése a megbízott Szerkesztőbizottsági elnök javaslatára történik az Egyetemi Tanács által kiadott irányelveknek megfelelően. A Szerkesztőbizottság összetételét a Szerkesztőbizottság elnökének javaslata alapján az Egyetemi Tanács hagyja jóvá.
- 9) A "Repüléstudományi Közlemények" az időszakos kiadvány céljával összhangban az alábbi rovatokkal működik:

- Fizika-tudományi rovat;
- Hadtudományi rovat;
- Közlekedéstudományi rovat;
- Matematika-tudományi rovat;
- Műszaki tudományi rovat.

- 10)A Szerkesztőbizottság jogosult a lapban megjelenő tanulmányok, kutatási eredmények, cikkek leadásával kapcsolatos alaki, formai szabályozásra.
- 11)A "Repüléstudományi Közlemények" megjelentetése egyedi könyvformátumban történik, mérete 282x257 mm (B/5), terjedelme 5-10 ív, példányszáma 100.
- 12)A Szerkesztőbizottság munkáját a "Szerkesztőbizottság szervezeti és működési leírása", valamint az "Éves kiadási terv" alapján végzi, melyek jóváhagyására a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem rektora jogosult.
- 13)A Szerkesztőbizottság által megjelenésre alkalmas tanulmányok, kutatási eredmények, cikkek utáni díjazás a vonatkozó pénzügyi szabályok, a lektori jelentés, a Szerkesztőség javaslati jegyzőkönyve és a megbízási szerződés alapján történik.
- 14)A szerkesztőség vezetője az elkészült lap kifizetési jegyzékének elkészítéséhez a szükséges okmányokat a tudományos osztályvezetőhöz juttassa el.
- 15)A tudományos osztályvezető - a szükséges ellenőrzéseket követően - a kifizetési jegyzéket elkészítteti, és a szabályozásnak megfelelően az egyetem rektorához terjeszti fel aláírásra, valamint a szükséges szerződéseket és az elkészült lapot bemutatja.
- 16)Az engedélyezést követően az elkészült lap eredeti példányát a szerkesztőség visszakapja nyomdai sokszorosítás és a terjesztéssel kapcsolatos teendők végrehajtása érdekében.

17)A szerkesztőség a megjelent lap egy sokszorosított példányát a pénzügyi okmányokhoz történő csatolás érdekében a Tudományos osztályra köteles leadni.

18)Az elkészült példányokból az 1986. évi II. törvény és a 12/1986. (IV. 22.) MT rendelet 26. § (1) - (3) bekezdése alapján szabályozott ingyenes köteles példányokat, a tiszteletpéldányokat, a jogszabályban meghatározott szervek, személyek részére a kiadó terhére biztosítani kell.

19)A "Repüléstudományi Közlemények" terjesztése futárpostával, belső elosztó alapján, valamint postai úton történik.

20)A köteles- és tiszteletpéldányok postai költségeit a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, a magánszemélyek megrendelése alapján továbbított példányok postai díjait a megrendelő köteles megfizetni.'

21)A "Repüléstudományi Közlemények" időszakos lap impresszuma:

<i>Kiadó:</i>	ZMNE Egyetemi Tanácsa
<i>Kiadásért felelős:</i>	ZMNE rektora
<i>Sokszorosító szerv:</i>	ZMNE nyomda
<i>Sokszorosításért felelős:</i>	ZMNE Szolnoki Repülőtiszti Intézet nyomdája
<i>Sokszorosítás helye:</i>	ZMNE Szolnoki Repülőtiszti Intézet, 5008 Szolnok, Kilián út 1.
<i>Szerkesztő:</i>	A Repülő Tanszék tanszékvezetője
<i>ISSN szám:</i>	HU ISSN 1417-0604

MÚLT ÉS A JELEN

Tisztelettel köszöntjük régi és új olvasóinkat, kollégáinkat abból az alkalomból, hogy megújult arccal, megnövekedett tartalommal és töretlen lelkesedéssel újra megjelenhetett a "Tudományos Közlemények" című kiadvány, amely a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem védőszárnyai alatt látott ismét napvilágot.

A Közlemények ("az egykori Kanászkürt") már kilenc éves múltra tekint vissza. Az első szám 1989-ben jelent meg a MN Politikai Főcsoportfőnökség egyetértésével. Az itt megjelenő cikkek témái "jellemzően vegyes" volt. Később az idő múlásával egyre inkább túlsúlyba kerültek a műszaki témájú írások. A szerzők többnyire a szolnoki főiskola oktatói közül kerültek ki.

1994-től a kiadvány a tartalmi és szakmai jelleget jobban tükröző új név alatt jelent meg. A "Repüléstudományi és Képzési Közlemények" című időszakos kiadvány az oktatás színvonalának növelését célzó publikációk, TDK dolgozatok és más cikkek mellett lehetőséget biztosított a tudományos minősítések megszerzéséhez, az oktatói fokozatok eléréséhez szükséges publikációk megjelentetésére is.

A katonai felsőoktatás átszervezése, új alapokra történő helyezése nem hagyta érintetlenül a Szolnoki Repülőtisztí Főiskolát sem. Az integrációt követően az egyetemen szükségessé vált a tudományos és közéleti arculatot meghatározó kiadvány megújítása.

Jelen kiadvány, a "Repüléstudományi Közlemények" mint a "Repüléstudományi és Képzési Közlemények" (HU ISSN 1416-6801) jogutódjaként folytatja tovább az egyetem oktatói által tudományos igényességgel elkészített tanulmányok, cikkek, kutatási eredmények publikálását. Nagy örömünkre, lapunkban publikálnak jeles magyar

-reményeink szerint külföldi- a műszaki és élettelen természettudományokban járatos személyek. Ezen tudományágakon belül 5 szekcióban kívánjuk megjelentetni a beérkező munkákat (Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőtiszt Intézet, 5008 Szolnok, Pf.: 1.). A rovatok az alábbi szakterületeket fedik le:

Fizika-tudomány
Hadtudomány
Közlekedéstudomány
Matematika-tudomány
Műszaki tudomány

Az Alapító Okiratot a 2. oldalon találhatják a Kedves Olvasók.

Reméljük a kiadványunkban megjelent írások elnyerik az Önök tetszését.

Szolnok, 1997. december 04.

Eszes János mérnök őrnagy

főiskolai tanársegéd

Békési Bertold mérnök főhadnagy

főiskolai tanársegéd

A
"REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK"
CÍMŰ PERIÓDIKUS KIADVÁNYBAN MEGJELENŐ CIKKEK
FORMAI ÉS TARTALMI KÖVETELMÉNYEI

I. CIKKEK, TANULMÁNYOK KÖZLÉSÉNEK RENDJE

A szerző a közölni kívánt cikket a főszerkesztő címére juttatja el. A szerző a cikkhez mellékelten megküldi, hogy cikke mely tudomány-szakterület milyen tudományágához sorolható. A mellékelt tájékoztatóban a szerző közli, hogy új eredményt, vagy új tudományos eredményt közöl cikkében. Ha a cikk új eredményt tartalmaz, akkor lektorálásra egyetemi doktori, kandidátusi, Ph. D. vagy akadémiai doktori fokozattal rendelkező szakember kérhető fel. Amennyiben a cikk új tudományos eredményt tartalmaz, úgy lektorálásra kandidátusi, Ph. D. vagy akadémiai doktori fokozattal rendelkező szakembert kell felkérni.

Cikket az alábbi tudomány-szakterületek felsorolt tudományágaiból lehet megjelentetni:

Műszaki és élettelen természettudományok:

Fizika-tudomány

Hadtudomány

Közlekedéstudomány

Matematika-tudomány

Műszaki tudomány

A főszerkesztő a tudományági besorolás alapján hivatalos bírálót (lektort) kér fel a cikk lektorálására.

II. A CIKKEK SZAKMAI LEKTORÁLÁSA

A cikkek szakmai színvonalát tudományos fokozattal rendelkező lektorok értékelik. A cikk lektora lektori véleményében írásban nyilatkozik a cikkben közölt eredményekről, valamint javaslatot tesz a cikk megjelenésére és díjazására. Amennyiben a cikk nem tesz eleget a megjelenés tartalmi és formai követelményeinek, a szakmai lektor írásos véleményével együtt a főszerkesztő visszaküldi azt a cikk szerzőjének.

Ha a cikk szerzője új tudományos eredményt közöl és a lektori bizottság, tagjai nem képesek megítélni a cikkben leírtak tudományos értékét, akkor külső szakembert kell felkérni a cikk lektorálására.

III. TARTALMI KÖVETELMÉNYEK

A közlésre leadott cikkel szemben támasztott alapvető követelmény, hogy az a közlésre leadott formában még sehol sem jelent meg. Az első közlésre leadott cikk, tanulmány a szerző(k) önálló kutató munkájának új eredményeit kell tartalmazza. A szerző a cikk végén tézisszerűen összefoglalja önálló munkájának eredményeit. Amennyiben a szerző(k) doktori (Ph. D.) képzésben vesznek részt, kívánatos, hogy a cikk tartalmazza a szerző új tudományos eredményeit, értekezésének téziseit is.

IV. FORMAI KÖVETELMÉNYEK

Terjedelem:

Maximum 15-20 A/4 oldal, ábrákkal, irodalmi hivatkozásokkal, lábjegyzetekkel együtt.

Nyomtatás:

Nyomdatechnikai okok miatt a cikk nyomtatásához követelmény a lézernyomtató vagy tintasugaras nyomtató használata.

Szövegzés:

Másfeles sortávolság sorkizárással, mindkét oldalon 30 mm margó, felső margó 30 mm, alsó margó 40 mm. Betűtípus és méret: Times New Roman CE 12 pontos.

Oldalszámolás:

A kiadvány összeállítása, szerkesztése után kerül gépelésre, alul középen.

Cím:

Nagy, vastag betűkkel középre rendezve az első sorban. Több sor esetén egyes sortáv. Betűtípus és méret: Arial 14 pontos. A cím alatt egy másfeles sor kimarad.

Szerző(k):

A cím alatt vastag betűkkel középre rendezve, alatta, középen a szerző(k) oktatói fokozatai, alatta az intézmény, kar, tanszék megnevezése, egyes sortávval. Betűtípus és méret: Arial 12 pontos.

Rezümé:

A szerző(k) neve és intézménye után egy másfeles sortávú sor kimarad. A szerző(k) 10-12 sorban összefoglalja a cikk témáját, a sorok között egyes sortáv. Betűtípus, méret és stílus: Times New Roman CE, 10 pontos, dőlt. A rezümét külön jelölni nem kell. A cikk végén, az irodalmi hivatkozások után a szerző elkészíti és közli a rezümé angol nyelvű változatát is.

Fejezetek címei:

Nagy, vastag betűkkel írva, középen elhelyezve, alatta és fölötte egy másfeles sortávú sor kimarad. Több sor esetén egyes sortávot kell használni. Számozási rendszere: 1., 2., 3. ... stb. Betűtípus és méret: Arial 12 pontos.

Alfejezetek címei:

Vastag betűkkel írva, középre rendezve, alatta és fölötte egy-egy másfeles sortávú sor kimarad. Több sor esetén egyes sortávot kell használni. Számozási rendszere: 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 ... stb. Betűtípus és méret: Arial 12 pontos.

Fejléc:

Minden páros oldalon a lap tetejétől 1,5 cm-re a szerző neve (Times New Roman CE, 10 pontos, dőlt), az első oldal kivételével minden páratlan oldalon a lap tetejétől 1,5 cm-re a cikk címe (esetleg rövidített formában). Betűtípus és méret: Times New Roman CE, 10 pontos, dőlt.

Lábjegyzet:

A szövegmezőben felső indexszel jelölni, a cikk végén, az irodalmi hivatkozások előtt egyszerre közölni folyamatos, a szövegmezőben alkalmazott számozással.

Egyenlet:

Jobbra igazítva, sorszáma a sor végére tabulálva. Az egyenlet után az addig, nem alkalmazott jelölések definíciói következnek. Számozási rendszere: pl. (1.1), (2.7), ahol a kerek zárójelben álló első számjegy az aktuális fejezet számát jelöli, míg, a második számjegy az egyenlet sorszáma a fejezeten belül.

Ábrák:

Számítógépen szerkesztett, középre rendezve. Az ábra alatt ábraszám (pl. 7.ábra), alatta az ábra címe (Times New Roman CE, 10 pontos), egyes sortávval. Az ábrák számozása a cikkben folyamatos.

Irodalmi hivatkozások:

A szöveg végén szögletes zárójelben, folyamatos számozással. A szövegmezőben az idézett irodalmat szintén szögletes zárójelben kell feltüntetni. A hivatkozott irodalmat az alábbi módon kell megadni:

a.) Könyv esetén:

A szerző(k) neve, a könyv címe, a kiadó neve, a kiadás helye, a kiadás ideje.

b.) Cikk esetén:

A szerző(k) neve, a cikk címe, a kiadvány (folyóirat) címe, a kiadó neve, kiadás ideje, folyóiratnál évszám/szám, a hivatkozott cikk első és utolsó oldala.

A sorrend a szerző(k) neve szerint, ha nincs szerző (pl. szabványok) az irodalom címe szerint, a magyar ABC-rendben.

Szolnok, 1997. december 04.

Eszes János mérnök őrnagy

főiskolai tanársegéd

Békési Bertold mérnök főhadnagy

főiskolai tanársegéd

BEMUTATKOZIK A SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

Az új formai és tartalmi követelmények mellett megjelenő "Repüléstudományi Közlemények" Szerkesztő Bizottsága jelentős mértékben kibővült és átalakult. A kiadvány öt rovatát minősített szakember vezeti, akik munkáját rovat szerkesztők segítik. Az Alapító Okiratban meghatározott rovatok az alábbi személyi feltételekkel működnek:

FIZIKA-TUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Péter Tamás, BME Közlekedésmérnöki Kar
Rovat szerkesztők: Dr. Pokorádi László mérnök őrnagy, egyetemi adjunktus
Varga Béla mérnök őrnagy, főiskolai adjunktus

MATEMATIKA ROVAT

Rovatvezető: Dr. Szántai Tamás, BME Matematikai Intézet
Rovat szerkesztők: Bottyán Zsolt, főiskolai adjunktus

HADTUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Pintér István alezredes, főiskolai tanár
Rovat szerkesztők: Dr. Óvári Gyula mérnök alezredes, főiskolai docens
Kovács József mérnök százados, főiskolai adjunktus
Békési Bertold mérnök főhagynagy, főiskolai tanársegéd

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Rohács József, BME Közlekedésmérnöki Kar
Rovat szerkesztők: Dr. Németh Miklós ezredes, főiskolai tanár
Eszes János mérnök őrnagy, főiskolai tanársegéd

MŰSZAKI Tudományi ROVAT

Rovatvezető: Dr. Gedeon József BME Közlekedésmérnöki Kar
Rovat szerkesztők: Dr. Szabó László mérnök alezredes, főiskolai docens
Dr. Szabolcsi Róbert mérnök százados, főiskolai adjunktus
Vörös Miklós mérnök alezredes
Timár Szilárd mérnök százados, főiskolai adjunktus.

BEMUTATKOZIK A LEKTORI BIZOTTSÁG

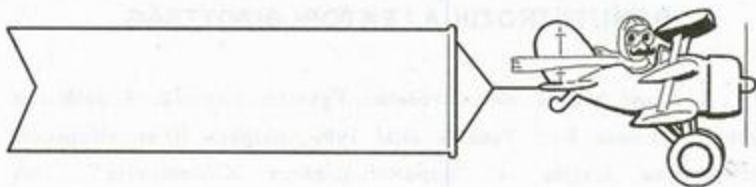
A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Szolnoki Repülőtisztí Főiskola Karának Kari Tanácsa által 1996. október 30-án elfogadott előterjesztése alapján a "Repüléstudományi Közlemények" című kiadványban csak lektorált cikk jelenhet meg. A megjelentetésre leadott cikkeket a Szerkesztő Bizottság szakmai lektoroknak adja ki bírálatra. A szakmai bírálatot a Lektor Bizottság tagjai végzik. Felkérésünkre válaszolva, a felkérést elfogadva a következő szakemberek vállaltak lektori funkciót a Lektor Bizottságban:

Dr. Óvári Gyula (ZMNE), Dr. Pokorádi László (ZMNE), Dr. Horváth János (HM OTF), Dr. Gausz Tamás (BME), Dr. Sánta Imre (BME), Dr. Pásztor Endre (BME), Dr. Rohács József (BME), Dr. Péter Tamás (BME), Dr. Szántai Tamás (BME MI), Dr. Németh Miklós (ZMNE RI), Dr. Gedeon József (BME), Dr. Kurutz Károly (BME), Dr. Nagy Tibor (HM OTF), Dr. Szekeres István (ZMNE), Dr. Szabolcsi Róbert (ZMNE RI), Dr. Jakab László (ZMNE RI), Dr. Ludányi Lajos (ZMNE RI), Dr. Kuba Attila (JATE).

A Szerkesztő Bizottság és a Lektor Bizottság minden kedves olvasónak sok sikert kíván, valamint felhasználva az alkalmat felajánlja a "Repüléstudományi Közlemények" című kiadványban minden olyan cikk publikálását, amely eleget tesz a korábban e kiadványban ismertetett formai és tartalmi követelményeknek.

Szolnok, 1997. december 4.

Dr. Szabolcsi Róbert mérnök százados
főiskolai adjunktus



KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Rohács József

Rovatszerkesztők: Dr. Németh Miklós

Eszes János

A REPÜLŐGÉP SIKLÁSA HOMOGÉN KÖZEGBEN

Békési Bertold mérnök főhadnagy
főiskolai tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Repülőtiszti Intézet
Fedélzeti Rendszerek Tanszék

A repülés a korai időszakától kezdődően szinte elképzelhetetlen a leszállás végrehajtása nélkül. A repülőgép süllyedését nem csupán úgy vizsgálhatjuk mint amely a leszállást előzi meg, hanem egy olyan manőver végrehajtását, amikor nagy magasságról kis magasságra ereszkedik le. A cikkben a repülőgép siklását vizsgálom meg a homogén közegben.

BEVEZETÉS

Minden földre visszatérő és leszállást végrehajtó repülőgép számára a repülési pálya fontos szakasza a leereszkedés vagy ahogy általában nevezik a süllyedés.

A repülőgép süllyedését nem csupán úgy vizsgálhatjuk mint a repülési pálya egy szakaszát, mely a leszállást előzi meg, hanem mint egy olyan manőver végrehajtását, amikor nagy magasságokról kis magasságra ereszkedik le.

A repülőgép süllyedése ugyanúgy mint az emelkedő repülés szigorúan véve instacionárius üzemmódnak tekinthető. A repülési magasság H csökkenésével a levegő sűrűsége ρ növekszik és a felhajtóerő tényező C_y állandóságát feltételezve a repülőgép sebessége V csökken.[5]

A felhajtóerő tényező C_y változásának függvényében süllyedő repüléskor a repülőgép pályája lehet egyenes vonalú valamint görbe vonalú.

1. A REPÜLŐGÉP SIKLÁSA

A repülőgép olyan süllyedő mozgását, amikor a repülési pálya egyenes vonalú valamint a hajtómű kis fordulaton forog vagy kikapcsolt állapotban van a repülőgép siklásának nevezzük.

A továbbiakban egyenes vonalú egyenletes sebességű siklást vizsgálunk, amikor a magasság H nem túl nagy és a siklási sebességnek megfelelő M -szám nem nagyobb mint a kritikus Mach-szám.

Továbbá hanyagoljuk el a Föld felületének görbületét, tekintsük vízszintesnek és a nehézségi gyorsulás g értékét tekintsük állandónak.

Ha a siklást végrehajtó repülőgép magasságtartománya nem túl nagy, akkor első megközelítésben a sűrűség változásától eltekinthetünk, azaz a levegőt mint közeget homogénnek vehetjük.

Ekkor a repülőgép siklását egyenes vonalú egyenletes mozgásként vizsgálhatjuk, azaz adott állásszög α esetén a felhajtóerő tényező a neki megfelelő C_y lesz és a siklási sebesség V ebben az esetben állandó az összes magasságon.

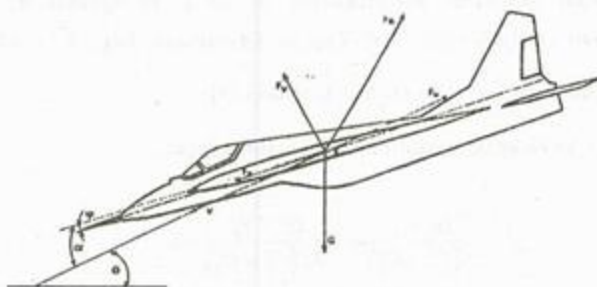
Egyenes vonalú egyenletes sebességű siklás esetén a repülőgépre a következő erők hatnak: eredő légerő F_R

a repülőgép súlyereje G

a hajtómű tolóereje F_P

Egyenes vonalú egyenletes mozgáskor ezen erők egyensúlyban vannak (1. ábra). [1,2,3,4,5]

Bontsuk fel az F_R eredő légerőt összetevőire - felhajtóerő F_y ; légellenállási erő F_x - majd a sebességi koordináta rendszerben ezen erők vetületeit felhasználva írjuk fel az erők egyensúlyát a pálya irányában és a pályára merőleges irányban.



1. ábra
A repülőgépre ható erők siklaskor

Ekkor az egyenes vonalú egyenletes sebességű siklásra működő hajtómű esetén a következők írhatók fel:

$$F_P \cos(\alpha - \varphi) - F_x = G \sin \Theta \quad (1.1)$$

$$F_P \sin(\alpha - \varphi) + F_y = G \cos \Theta \quad (1.2)$$

Ha az $(\alpha - \varphi)$ szögek kicsik az egyenletek egyszerűsödnek:

$$F_P - F_x \approx G \sin \Theta \quad (1.3)$$

$$F_y \approx G \cos \Theta \quad (1.4)$$

Az (1.3) egyenletből

$$\sin \Theta = \frac{F_P - F_x}{G}$$

vagyis

$$\cos \Theta = \sqrt{1 - \left(\frac{F_P - F_x}{G} \right)^2} \quad (1.5)$$

Ez utóbbi kifejezést helyettesítsük be az (1.4) egyenletbe, majd mindkét oldalt emeljük négyzetre. Vegyük figyelembe, hogy $F_x = qAC_x$ és $F_y = qAC_y$ ahol $q = \frac{\rho}{2}V^2$ (dinamikus nyomás). [5]

Ekkor a következő másodfokú egyenletet kapjuk:

$$q^2 - \frac{2F_p C_x}{A(C_y^2 + C_x^2)}q - \frac{G^2 - F_p^2}{A^2(C_y^2 + C_x^2)} = 0 \quad (1.6)$$

Megoldva az előbbi egyenletet q -ra, felírható a siklás sebessége V_{sikl} .

$$V_{sikl} = \sqrt{\frac{2G}{A\rho\sqrt{C_y^2 + C_x^2}}} \sqrt{1 - \left(\frac{F_p}{G}\right)^2 \frac{C_y^2}{C_y^2 + C_x^2} + \frac{F_p}{G} \frac{C_x}{C_y^2 + C_x^2}} \quad (1.7)$$

De mivel

$$\sqrt{C_y^2 + C_x^2} = C_y \sqrt{\frac{1+K^2}{K}}$$

ahol a jósági szám

$$K = \frac{C_y}{C_x}$$

akkor az (1.7) kifejezést felírhatjuk a következő formában

$$V_{sikl} = \sqrt{\frac{2G}{A\rho C_y}} \sqrt{\frac{K}{1+K^2} \left(\sqrt{1+K^2 - \bar{F}_p^2 K^2 + \bar{F}_p} \right)} \quad (1.8)$$

ahol

$$\bar{F}_p = \frac{F_p}{G}$$

Egyedi esetben, amikor a repülőgép kikapcsolt (vagy leállt) hajtómű mellett ($F_P=0$) hajt végre siklást, így az (1.8) egyenlet a következőképpen alakul át:

$$V_{sikl.} = \sqrt{\frac{2G}{A \rho C_y}} \sqrt{\frac{K}{1+K^2}} = \sqrt{\frac{2G}{A \rho}} \sqrt{\frac{1}{C_y^2 + C_x^2}} \quad (1.9)$$

Ez utóbbi kifejezést az erők egyensúlyából is megkaphatjuk, (lásd az 1.ábrát)

$$F_R = \frac{\rho}{2} V_{sikl.}^2 A C_R = G \quad (1.10)$$

ahol C_R - az eredő légerő tényező

$$C_R = \sqrt{C_y^2 + C_x^2}$$

A megvizsgált egyedi esetben, vagyis ha $F_P=0$ az (1.3) és az (1.4) egyenletekből a pályahajlásszög (Θ) tangense:

$$\operatorname{tg} \Theta = -\frac{F_x}{F_y} = -\frac{C_x}{C_y} = -\frac{1}{K} \quad (1.11)$$

amelyből következik, hogy kikapcsolt (leállt) hajtóművel végrehajtott egyenes vonalú egyenletes siklásnál a pályahajlásszög (Θ) teljes egészében a repülőgép aerodinamikai jósági számának (K) a függvénye.

Látható, hogy minél kisebb a jósági szám (K) annál meredekebb a repülőgép siklási pályája.

Meghatározható az a vízszintes távolság is amelyet a repülőgép megtesz H magasságból megkezdett siklás esetén.

$$L_{\text{sikl.}} = -\frac{H}{\text{tg}\Theta} = KH \quad (1.12)$$

Ilyenképpen a maximális vízszintes távolságot ($L_{\text{sikl.}}$) akkor kapjuk, ha a $K=K_{\text{max}}$. Ebben az esetben a siklászög tangense minimális lesz, az állásszög pedig mint már korábban említettük a maximális jósági számnak megfelelő kell, hogy legyen.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben a repülőgép siklását vizsgáltuk meg a homogén közegben. Elmondhatjuk, hogy a repülőgépekkel szemben támasztott követelményektől függően a siklási üzemmód tárgyalt fajtái végrehajthatók.

Továbbá például, ha az a követelmény, hogy az adott magasságról a lehető legtávolabbra jussunk el sikláskor, akkor a siklást csak a maximális jósági számmal és ennek megfelelő állásszöggel kell végrehajtani.

Nyilvánvaló, ha a siklás vízszintes távolsága korlátozott, akkor meredekebb pályán kell végrehajtani a siklást. A meredekebb pályához $K < K_{\text{max}}$ tartozik.

A vízszinteshez képest nagy pályahajlásszöggel végrehajtott siklást zuhanórepülésnek nevezzük. A repülőgépeknél a zuhanórepülést széleskörűen taktikai manőverek végrehajtásánál alkalmazzák főleg légi harcban, hiszen lehetővé teszi a gyors magasságvesztést, a repülőgép nagy sebességre való felgyorsítását ilyen rövid idő alatt.

Érdemes megemlíteni, hogy a leszállás végrehajtásához a repülőgépet a siklási üzemmódra viszi a repülőgépvezető és ekkor a leszállás uthosszát is meghatározzuk, amelyet ezen közlemények következő cikkében fogok ismertetni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] - Aszlanjan A. E. Szisztyemi avtomatyicseszkovo upravlenyija poljotom letatyelnih apparatov, Kijevszkoje vizssee voennoe aviacionnoe inzszenyernoje ucsilise, Kijev, 1984.
- [2] - Bajborogyina J. V. Bortovije szisztyemi upravlenyija poljotom, Transzport, Moszkva, 1984.
- [3] - Bodner V. A. Szisztyemmi upravlenyija letatyelnimi apparatami, Masinosztroenyije, Moszkva, 1973.
- [4] - Gorosenko B.T. Dinamika poljota szamoljota, Goszudarsztvennoe izdatyelsztvo oboronnoj promislennosztji, Moszkva, 1954.
- [5] - Osztoszlavszkij I. V., Sztrazseva I. V. Dinamika poljota, Masinosztroenyije, Moszkva, 1969.

Since the beginning flying has almost been impossible without carrying the landing out.

We can have a look at the question of the descending of an airplane not only as an action that happens before landing but also as a manoeuvre when the plane is climbing down from a higher altitude to a lower one.

In this article we are going to look at the gliding of airplane in homogeneous flow of air.

A SZÁRNYVÉGI FELÜLETEK AERODINAMIKAI VIZSGÁLATA NAPJAINKBAN

Dr. POKORÁDI LÁSZLÓ
a műszaki tudomány kandidátusa
ZMNE, Vezetés és Szervezéstudományi Kar
Haditechnikai Tanszék

TAMÁS FERENC
főiskolai hallgató
ZMNE, Repülőtisztai Intézet

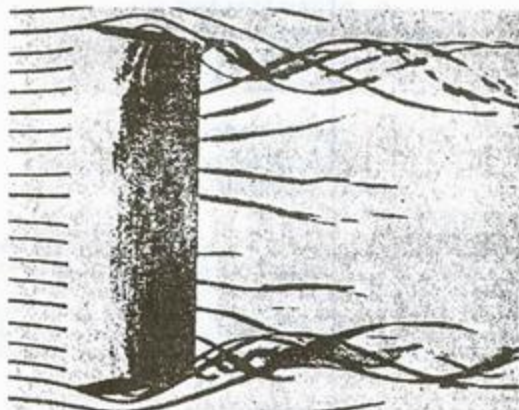
Napjainkban a korszerű szállító repülőgépeknél (Boeing 747-400, C-17) egyre gyakrabban alkalmaznak valamilyen wingletet, több elemű szárnycsúskát vagy összetett alakú szárnyvégeket, a gép aerodinamikai, repülésmechanikai tulajdonságainak javítása érdekében. Az elmúlt 20-25 évben széles körben tanulmányozták a különböző szárnyvég kialakításokat szélszatórnák, kísérleti repülések, valamint numerikus szimulációs módszerek alkalmazásával. Cikkünk - az irodalom tanulmányozása alapján - ezen szárnyvégi felületek működése áramlási kutatásuk legújabb eredményeit mutatja be.

1. BEVEZETÉS

Mint az köztudott, a véges (három-méretű) szárny egy örvényrendszert indukál. S az is köztudott, hogy ezen örvényrendszer létrejöttének oka a - szárny véges volta következtében kialakuló - szárnyvégi feláramlás. Egy ilyen örvényrendszert mutat az 1. ábra, amely egy füstcsíkokkal végzett szélszatórna kísérlet felvétele [5]. A 2. ábra egy kiskarcsúságú, nagy nyílazási szögű deltaszárny felszárnyának örvényrendszerét szemlélteti [8].

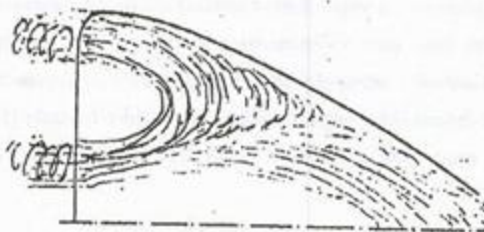
Bizonyos aerodinamikai elméletek magát a vizsgált szárnyat is annak örvényrendszerével helyettesítik és írják le a körülötte kialakuló áramlást [4]. A szárny örvényrendszere befolyásolja a felhajtóerő terjedtség menti eloszlását, ami szerkezet-tani szempontból is nagyon fontos, és ami meghatározza a keletkező eredő felhajtóerő nagyságát. Például a Parndt-féle szárnyelmélet is a leváló örvények intenzitásának függvényében határozza meg a szárny körüli cirkuláció - azaz a felhajtó erő - terjedtség menti eloszlását [8].

Ugyanezen örvényrendszer befolyásolja a véges szárny indukált ellenállásának nagyságát is.



1. ábra

Véges téglalap alaprajzú szárny örvényrendszere



2. ábra

Delta szárny örvényrendszere

A fentiek alapján könnyen belátható, hogy szárnyvégi feláramlás, a szárnyvég körüli áramlás befolyásolásával:

- csökkenthető a szárny ellenállása, ami a repülőgép repülési, üzemeltetési, gazdaságossági tulajdonságait teszi kedvezőbbé;

- ➔ növelhető az eredő felhajtó erő nagysága, melynek következtében nagyobb hasznos terhelése engedhető meg;
- ➔ optimalizálható a felhajtó erő terjedtség menti eloszlása, amely egy szilárdságtani szempontból kedvezőbb szárnykialakítást tesz lehetővé;
- ➔ kedvezőbbé tehető a szárny mögötti szabadörvények intenzitása és eloszlása, melyek a mezőgazdasági repülésben lehetnek igen előnyösek.

A szárnyvégi régió aerodinamikájának problémái, valamint a különféle típusú szárnyvég kialakítások felhasználása akkor vetődött fel, amikor a fejlesztő mérnökök azt tanulmányozták, hogy milyen módon lehet javítani a már létező repülőgépek aerodinamikai, szerkezeti tulajdonságait és szélesíteni az üzemeltetési tartományait. Például, a Boeing 747 típus korszerűsítése során a 400-as szériát már winglettel látták el. Ennek következtében a szárnyon, a külső hajtóműgondola bekötésénél, utazó repülés közben *"repülés szemmel"* jól látható *"törés"* megszűnt.

A szárnyvég megfelelő kialakításával javíthatjuk a repülőgép stabilitási és kormányozhatósági tulajdonságait. Az örvény kialakulásának, illetve az örvénysor struktúrájának részletes tanulmányozása előnyös a szárnyvégi felhajtóerő növelő eszközök optimális geometriai méreteinek kiválasztásához a merevszárnas repülőgép szárnyainál vagy akár a helikopter forgószárny lapátoknál. A különféle végkialakítású szárnyak hatékonysága azonban lényegesen függ a repülési üzemmódparamétereiktől (mint például a Mach-számtól, a Reynolds-számtól vagy a felhajtóerő tényezőtől), valamint számos szerkezeti tényezőtől, úgymint a flatterrel összefüggő biztonsági tényezőtől, illetve a csűrőfelületek helyzetétől. Ezeket mind figyelembe kell vennünk a szárnyvég végleges kialakításakor.

Az elmúlt 20-25 évben a különféle szárnyvég kialakításokat széles körben [1] [2] [3] [6] [9] tanulmányozták szélszatórnákban, kísérleti repülések során, valamint a numerikus aerodinamikai módszerek alkalmazásával. Ezek a vizsgálatok főleg azt célozták meg, hogy hogyan csökkenthető az indukált ellenállás, a szárnyra ható hajlító és csavaró nyomaték kedvezőtlen megváltozása nélkül. Az eredmények azt mutatták, hogy

a legkisebb változtatások a szárnyvég alakján, térbeli helyzetén vagy akár csak a szárny oldalél kialakításán jelentős befolyást gyakorolhatnak a szárnyra ható nyomatékokra.

2. A SZÁRNYVÉGI FELÜLETEK HATÁSA AZ AERODINAMIKAI JELLEMZŐKRE

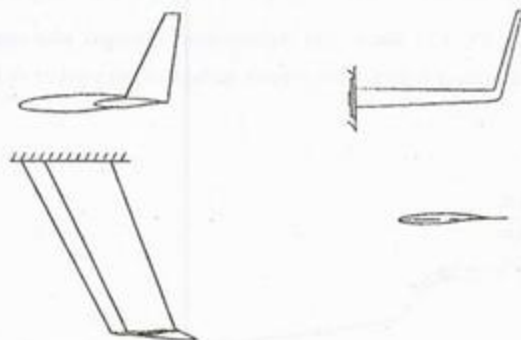
A legtöbb szárnyvég kialakítási elgondolás megvalósítatlan maradt, néhány még csak a tervező asztalon létezik, és csak igen kevés került alkalmazásra napjaink repülőgépein. Jelenleg a következők tűnnek aerodinamikai szempontból a legígéretesebbnek [6]:

- ➔ wingletek (winglets);
- ➔ összetett alakú szárnyvégek (wing tips of complex planforms);
- ➔ többelemű szárnyacsákák (multi element sails).

2.1. A WINGLET

A winglet hatékonysága a geometriai paraméterek helyes kiválasztásától függ, úgymint relatív felület, alak, elcsavarás, szárnyprofil, a szárnyhoz képesti helyzet (például beállítási szög), valamint a szárny és a winglet közti átmenet alakjától. A 3. ábra egy felső elrendezésű winglettel ellátott szárny háromnézeti rajzát mutatja.

A tanulmányok azt mutatták, hogy a wingletek jelentős hatást gyakorolhatnak a modern, jól manőverezhető repülőgépek viszonylag kis karcsúságú szárnyaira is. Az indukált ellenállás csökkenése főleg a winglet dőlési szögétől és terjedtségétől függ. Elméletileg, mind kis, mind a nagy karcsúságú szárnyakon csökken az indukált ellenállás. A valóságban azonban a helyzet sokkal összetettebb. Az erősen nyílazott, trapéz alakú kis karcsúságú szárny körüli áramlásban jobban fejlődnek ki a térbeli örvények és leválási zónák (lásd az 1. és a 2. ábrákat). Ez az áramlási rendszer módosítja az összenyomhatóság hatását szárny aerodinamikai jellemzőire a transz- és a szuperszonikus sebességtartományokban.



3. ábra
Wingletes szárny

A 4. ábra a

$$\Delta K = \frac{K_{\max \text{ wing}} - K_{\max}}{K_{\max}} \quad (2.1)$$

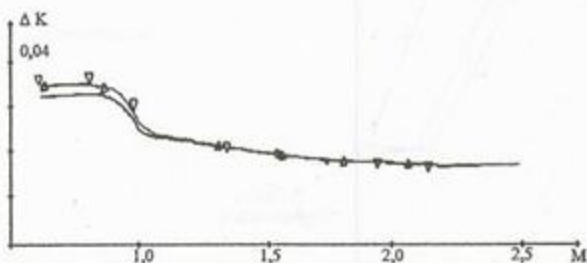
viszonylagos jósági szám növekedést szemlélteti a repülési Mach-szám függvényében, ahol:

$K_{\max \text{ wing}}$ - a maximális jósági szám wingletes szárny esetén;

$K_{\max}$ - az alapszárny maximális jósági száma.

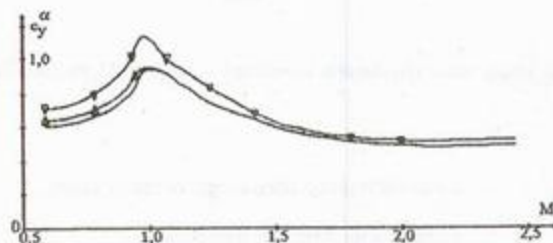
A grafikonon jól látható, hogy ΔK a szubszonikus tartományban csak kis mértékben változik. Bár a kritikus Mach-szám fölött erősen csökken, értéke még a szuperszonikus zónában is pozitív marad.

A felhajtóerő-tényező görbe c_y^α -jelű deriváltjának változása (5. ábra) azt mutatja, hogy a 0,6–1,25 Mach-szám tartományban a winglet alkalmazása kis mérvű növekedést eredményez a felhajtóerő-tényező görbe meredekségében az alapszárnyéhoz viszonyítva.



4. ábra

A viszonylagos jósági szám növekedés változása a repülési Mach-szám függvényében



5. ábra

c_y^α változása a Mach-szám függvényében

Az elvégzett vizsgálatok azt mutatták, hogy mind aerodinamikai, mind szerkezeti szempontból a felső elrendezésű wingletek némiképp előnyösebbek, mint az alsók, különösen viszonylag nagyobb Mach-számok és kisebb felhajtóerő-tényezők esetén.

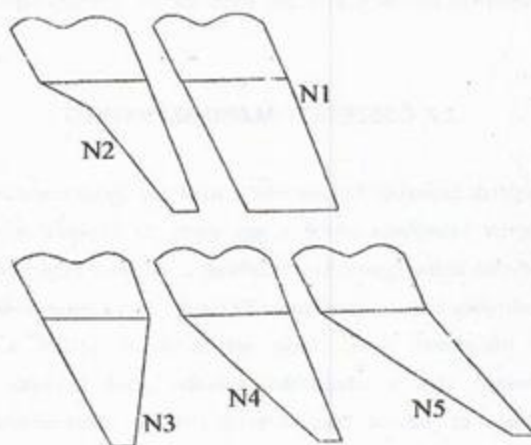
Előfordulhat azonban olyan repülőgép, amelynél - az üzemeltetési sajátosságai folytán - az alsó, vagy az alsó és felső elrendezés kombinációja jobb eredményhez vezetett.

A felhajtóerő-eloszlás szárnyvégi növekedése, valamint a wingleten keletkező aerodiamikai erő azt eredményezik, hogy megnő a szárnyra ható hajlító nyomaték. A kísérleti eredmények szerint a szubszonikus sebességi tartományban a felső elrendezésű winglet nem változtatja meg jelentősen a szárnyra ható hajlító nyomaték nagy állásszögeknél, viszont szuperszonikus sebességnél gyakorlatilag az egész állásszög tartományban növeli a fellépő hajlító nyomatékot. A winglet a mérsékelt sebességtartományban való alkalmazása is eredményes. Például a *Discus* vitorlázó repülőgép esetében a sebességtől függően megközelítőleg 2 - 5 % (maximum 6 %) -os jósági szám növekedés tapasztalható. A gép stabilabbá vált, gyorsuló képessége azonban romlott.

2.2. ÖSSZETETT ALAKÚ SZÁRNYVÉG

A wingletek használata hatásos mód a repülőgép jósági számának növelésére, mindezek ellenére használatuk növeli a gép súlyát, az orrmehéző nyomatékot és a szárnytőben ébredő hajlító nyomatékot. Ezenkívül a wingletek meglehetősen magasak, legalábbis a szárnyvég húrhosszához képest. Ez viszont néha a felszerelésüket gyakorlati szempontból lehetetlenné teszi, illetve megkérdőjelezi például a helikopterek forgószárnylapátjain vagy a változtatható nyílazású gépek szárnyain. Ezekben az esetekben felmerül az összetett alakú szárnyvég kialakítás alkalmazásának lehetősége. Figyelembe véve, hogy a szárnyvég alakjának egyszerű módosítása nemcsak az összellenállást csökkenését vonja maga után, hanem a szárnytőben ébredő hajlító nyomatékot is csökkenti. Az ilyen szárnyvég típusok a szárny külső részének alakját módosítják, megváltoztatva annak nyílazását, trapézviszonyát, alaprajzát és elcsavarását. Lehetséges összetett szárnyvég kialakításokat szemléltet a 6. ábra.

Az összetett alakú szárnyvégek körüli áramlás fő tulajdonságaira és a szárny aerodinamikai hatékonysága növekedésének akár a 6. ábrán bemutatott szárnyvég kialakítások számítási és kísérleti eredményeinek analízise világított rá. A szárny felületének relatív csökkenése nyilvánvalóan a sűrűdési ellenállás csökkenéséhez vezet, ami az összetett alakú szárnyvég hatékonyságát javítja kis felhajtóerő-tényezők esetén is. Ez fontos tulajdonsága az ilyen típusú szárnyvégeknek, amikor az indukált ellenállás csökkenése nagyobb mint a kiegészítő aerodinamikai felület alaki ellenállása. A klasszikus szárnyelméletek szerint a vizsgált végkialakítású szárny karcsúságának növelése az indukált ellenállás csökkenéséhez vezet a cirkuláció a szárnyterjedtség menti átrendeződése következtében.

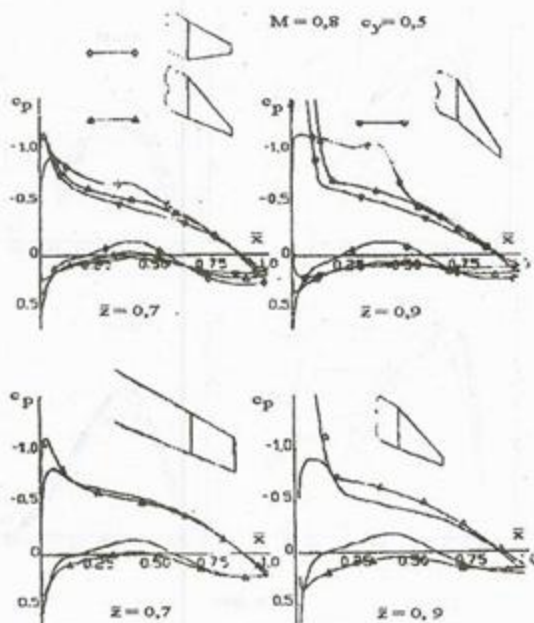


6. ábra
Vizsgált összetett alakú szárnyvég kialakítások

A 7. ábra a nyomástényező húrmenti eloszlását mutatja a $\bar{z} = 0,7$ és $\bar{z} = 0,9$ szánymetszetekben az effektív nyílazásukban különböző szárnyvég kialakítások esetén.

Azt a tényt, hogy az összetett alakú szárnyvégek hatásosságát nem csak a felület csökkenése által megnövel geometriai karcsúság határozza meg, a kísérleti és a számítási

eredmények, valamint összehasonlításuk is alátámasztják. A számított eredmények alapján, a felhajtóerő növelő szerkezetek felszerelése következtében, a geometriai karcsúság növelése az indukált ellenállás megfelelő csökkenéséhez vezet. A szélsatornában végzett vizsgálatok azonban azt mutatták, hogy azonos geometriai karcsúság és felület mellett a szárnyvég alakja is hatással van az aerodinamikai karakterisztikákra.

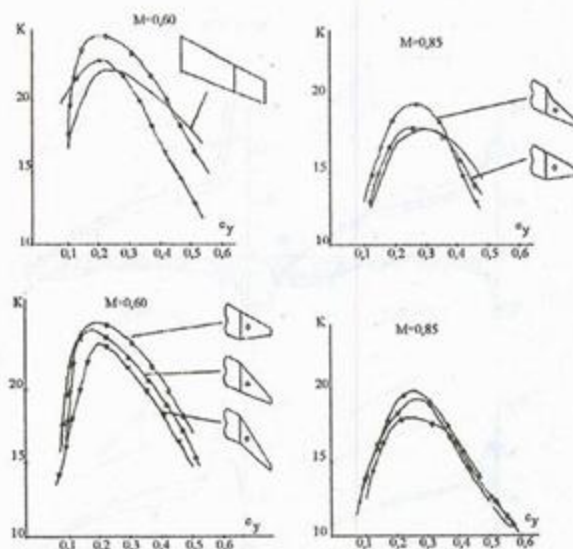


7. ábra

Nyomás tényezők változása a hár mentén

A 8. ábrán mérési eredmények láthatók, melyek a nyílazott végű szárny jósági számának változását szemlélteti a felhajtóerő-tényező függvényében, azonos Mach-számok esetén. A kritikus fölötti Mach-számoknál (8.b és 8.d ábrák) és olyan

felhajtóerő-tényező értékek esetén, amelyek kisebbek a maximális jósági számhoz tartozó $c_{yK_{\max}}$ felhajtóerő-tényezőnél, nem keletkezik hullámmellenállás és áramlásleválás a szárnyon. A fő jósági szám javító tényező az, hogy a szárny felület csökkentve az csökkenti az indukált és a sűrűdési ellenállást. A $c_{yK_{\max}}$ felhajtóerő-tényező érték felett a kis húrhosszúságú szárnyvégi szelvények felső oldalán helyi leválások keletkeznek, amelyek a jósági szám jelentős csökkenéséhez vezetnek.



8. ábra

A jósági szám változása a felhajtó erő tényező függvényében

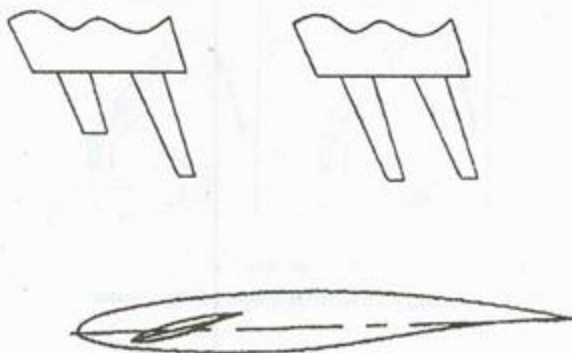
Az alapszárnyénál nagyobb nyílazási szögek használata, a szárnyvégen (N4, N5 kialakítások a 6. ábrán), a szárny eredő nyílazási szögének növelésével, növeli a kritikus Mach-szám értékét. Az N3 típusú szárnyvég (ahol a belépőél a szárny belépőélének a folytatása) hatékonyságának romlása kritikus Mach-szám feletti üzemmódon (lásd 8.c és 8.d ábrák -♦- görbéit), ahogy a számítások mutatták, az erősebb lókész hullámokkal

kapcsolatos. A megnövelt nyílazási szög miatt a szárnyvég megtartja a hatásosságát a kritikus feletti Mach-számokon is, amikor a szárnyon már lökeshullámok figyelhetők meg.

Az összetett alakú szárnyvégek felszerelése, a kísérleti és a számítási eredmények bizonyítják, nemcsak a jósági számot javítja, de csökkenti a szárnytőben ébredő hajlító nyomatékot az általánosan alkalmazott szárnyakhoz viszonyítva, valamint növeli a faroknehéz nyomatékot is.

2.3. A TÖBBELEMŰ SZÁRNYACSKÁK

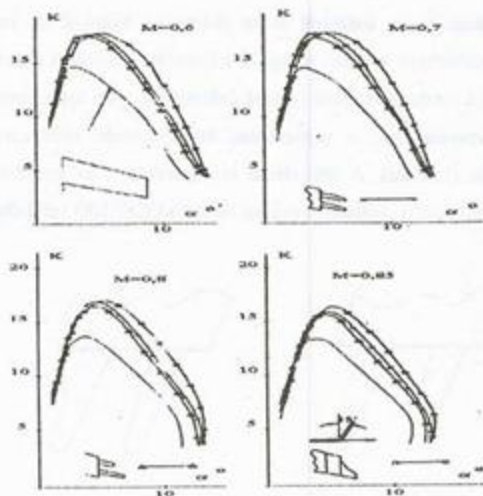
A wingletek és az összetett alakú szárnyvég kialakítások mellett egy újabb aerodinamikai felülettypust kezdtek vizsgálni a kutatók az indukált ellenállás csökkentése érdekében. Ezek a részletes tanulmányozást érdemlő ígéretes, többelemes eszközöket, az úgynevezett szárnyacskákat, a végszelvény húrja mentén elhelyezett aerodinamikai felületek alkotják (9. ábra). A többelemű szárnyacskák - az oroszországi CAGI-ban végzett - aerodinamikai vizsgálatáról számol be KRAVCSENKO cikkében [6].



9. ábra

A vizsgált többelemű szárnyacskák kialakítása

A szárnyvégi szárnyacsák használata a számuk és a terjedtségük függvényében az egész szárny hajlító nyomatéki terhelésének növekedését jelenti. Azonban ez a növekedés lényegesen kisebb mint, ha a szárnyat a szárnyacsák terjedtségével növeltük volna meg. Bármilyen fajta szárnyvégre szerelt kiegészítő használatakor figyelembe kell venni azt, hogy nem csak a szárnytő hajlító nyomatéki terhelése fog növekedni, hanem az adott kiegészítő elem bekötési pontjának az igénybevételét is. A választott elem típusát az alapszárny teherbírása, valamint az egész repülőgépre érvényes méretkorlátozások figyelembevételével kell meghatározni.



10. ábra

A jódsági szám változása az állásszög függvényében

3. SZÁRNYVÉGI FELÜLET ALKALMAZÁSA A MEZŐGAZDASÁGI REPÜLÉSBEN

A mezőgazdasági repülés lényege a különféle vegyi anyagok (mútrágya, permet vagy por) kiszórása a földfelületre vagy a növényzetre egy kis földfeletti magasságban végrehajtott repülés során. A permetező anyag a szórócsövekben elhelyezett fűvókákon keresztül kerül a szárny mögötti légterbe, ahol az egyes cseppekre a súlyerő, valamint a légerők hatnak. A kiszórt anyag hatása csak egyenletes eloszlás esetén tekinthető jónak, lásd 11.a ábrát. A szóróképet legjelentősebben a szárny befolyásolja, a mögötte kialakuló szabad örvényeken keresztül. A cirkuláció-eloszlás csökkenésének jellege meghatározza a szárnyvég-örvény jellemzőit (például az örvénymag intenzitását). A szárnyvég-örvény a permetcseppekre akkor hat, amikor az már felcsavarodott.

A vizsgálat - melyről a [3] irodalomban GAUSZ és STEIGER számol be - a célja az volt, hogy ezen szárnyvég-örvények a permetcseppekre gyakorolt hatását csökkentsék a szórászélesség maximalizálásával egy időben.

Első lépésként megállapították, hogy az örvények hatása csökkenthető, ha a szórócsöveket kissé leengedik, illetve ha a fűvókák elrendezését optimalizálják. E két módosítás is látható a 11. ábra jobb oldalán (a bal oldal a kiindulási konfigurációt mutatja).



11. ábra

A winglet és a szórócső elhelyezése az M-18 Dromader repülőgépen

A következőkben egy winglet tervezését, hatásának aerodinamikai, repülésmechanikai és szilárdsági kérdéseit vizsgálták meg.

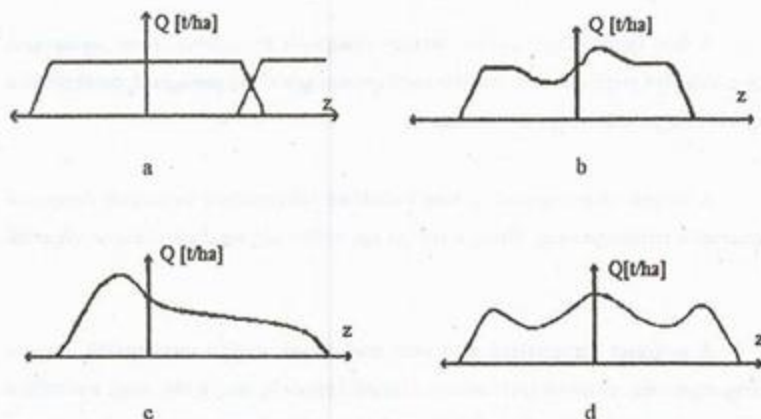
A kutató munka elvégzéséhez a PZL M-18 *Dromader* típusú repülőgépet választották ki. A gép 1:20 méretarányú modelljét az Aacheni Műszaki Egyetem szélcsatornájában vizsgálták. Az alapmodellen kívül négy különféle winglettel ellátott modellt próbáltak ki a modellkísérletek során. Ezen mérések célja a módosított szárnyú repülőgép iránystabilitási, illetve csúszásos repülés esetén a csűrési tulajdonságok megállapítása volt. A végső winglet alakját ezen mérések alapján választották ki, de a méret szempontjából döntő jelentőségűek a szilárdsági kérdések voltak.

A kiválasztott megoldás végleges technológiai terveit Szelestey Gyula készítette el, a gyártásra a nyíregyházi repülőtér műhelyében került sor.

A winglet elsősorban az alapszárny terjedtség menti cirkuláció eloszlását befolyásolja. A végleges, NACA 4412 profilú, winglet negatív beállítási szöge következtében a szárnyvég-örvény középpontja kifelé tolódott. Hasonlóképpen a negatív beállítási szög, valamint az elcsavarás következménye az volt, hogy az örvénymag kinetikai energiája a winglet esetén nagyobb lett - ez pedig a sűrűlátsási energia-disszipáció (energia elnyelődés) növekedésével végül az örvény hatásának gyengülését vonta maga után. A vizsgálatok során megállapították, a vizsgált winglet növeli a csűrőhatásosságot, mivel a szárnyon keletkező felhajtóerő nagyobb része ébredt a csűrő által befolyásolt szárnyszakaszon.

A winglettel ellátott gép elkészülte és berepülése után két repülővel (eredeti szárny, wingletes szárny) a nyíregyházi repülőtéren végeztek kísérleteket a szórásképek meghatározására. A mérési program összeállításánál a két szárnykialakítás hatásain túlmenően az eredeti és az optimalizált fűvóka elrendezés, illetve a szórócső szárnytól mért távolsága növelésének hatását is vizsgálták a szórásképre.

A kísérletek során a MÉM Repülőgépes Szolgálat standard mérési módszereit (filmszikok elhelyezése a talaj közelében, a repülési irányra merőlegesen) alkalmazták.



12. ábra

Szórásképet befolyásoló tényezők

A mérési eredmények alapján megállapították, hogy az elméletileg kívánatos "trapéz" szórásképet (12.a ábra) több tényező is befolyásolja. Ezek:

- ➔ a légcsavar a szóráskép közepén hoz létre egy kisebb aszimmetriát (12.b ábra);
- ➔ az oldalszél a szórásképet oldalra tolja és a kisebb átmérőjű cseppeket tovább sodorja (12.c ábra);
- ➔ a szárnyvégi örvények a szórásképet többé-kevésbé szimmetrikusan szélesítik (12.d ábra);

- a földfeletti repülési magasságnak a permetezési magasság tartományon belüli növelésével csökken a szórásszélesség, az úgynevezett talajhatás gyengülése következtében.

A fenti tapasztalatok alapján, átlagos oldalszelet feltételezve, adott légcsavaros gépre, valamint meghatározott repülési munkasebességre és magasságra optimalizálták a fűvókák elhelyezését a szórócső mentén.

A winglet elhelyezésének és más különböző változtatások hatásainak számszerű elemzését a szórásszélesség, illetve a szórási egyenlőtlenség meghatározásával végezték el.

A repülések tapasztalatai és a mért eredmények alapján megfigyelték, hogy a szárnyvég-örvény a szórásképet szélesíti. Hasonlóképpen láthatóvá vált, hogy a winglet a szárnyvég-örvényt kijebb tolja és felfelé emeli. A szórásszélesség csökkent, ha az eredeti kialakítású szórócsövet a winglettel ellátott szárnyal alkalmazták.

A winglet a szórócső eredeti pozíciójában de már az optimalizált fűvóka elrendezéssel kb. 4,5 m-rel (25 m-ről 29,5 m-re) megnövelte a szórásképet szélességét. Viszont a szórás egyenetlensége, ha kis mértékben is, de növekedett. A leengedett szórócső a winglettel és a fűvókák optimalizált elrendezésével a szórásképet az előző esethez képest kisebb mértékben ("csak" 28 m-re) növelte, de a szórás egyenetlenségét nagymértékben javította.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A fentiekben bemutatott kísérleti és számítási vizsgálatok eredményei, csakúgy mint más, a témával kapcsolatos kutatások, bizonyítják a szárnyvégre szerelhető aerodinamikai felületekben rejlő lehetőségeket a hatékonyság növelésére a napjaink, valamint a jövő repülőgépei számára. Azonban, a kérdés megmarad a különböző típusú

elemek gyakorlati használatának célszerűségéről és az adott feltételek melletti optimális kialakítás meghatározásáról.

Az egyik fontos kérdés a szárnyvégi kiegészítő elemek tanulmányozásánál, hogy meghatározzuk az egyes elemek alkalmazása következtében keletkező örvényben (vagy örvényrendszerben) az áramlás jellegét, szerkezetét. A fenti kérdések pontos megválaszolására a téma kutatásának folytatásával lehet választ adni.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Asai, K.**, Theoretical Considerations in the Aerodynamic Effectiveness of Winglets, *Journal of Aircraft*, vol.22, N-7, 1985.
- [2] **Barnard, R.H.**, Evaluation of Low-Speed Handling and Direct Lift Control Characteristics of a Wing with Collectivelz Variable Incidence Tip Elements, *Proceedings of 19th Conference of ICAS, Anaheim, 1994.*, pp.785-789.
- [3] **Gausz T, Steiger I.**, Mezőgazdasági repülőgépek szóráskép eloszlásának vizsgálatai, IX. Magyar Repüléstudományi Napok, Budapest, 1988., pp 10-23.
- [4] **Gausz T.**, Szárnyprofil, szárny és légsavár vizsgálata, BME. Repülőgépek és Hajók Tanszék, Budapest, 1995.
- [5] **Gruber J., Blahó M.**, Folyadékok mechanikája, Tankönykiadó, Budapest, 1963.
- [6] **Kravcsenko, S.A.**, The Application of the Wing Tip Lifting Surfaces for Practical Aerodynamics, *Proceedings of 20th Conference of ICAS, Sorrento, 1996.*, pp.1338-1348.
- [7] **Pásztor E.**, Műszaki hő- és áramlástan, egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.

- [8] **Pokorádi L.**, Areodinamika III., főiskolai jegyzet, MH.SzRTF, Szolnok, 1993.
- [9] **Spillman, J.J.**, Wing Tip Sails: Progress to date and future developments, Aeronautical Journal, December 1987.

AERODYNAMICAL INVESTIGATION OF WING TIP LIFTING SURFACES NOWADAYS

Resume

Nowadays, the modern heavy transport aircraft (Boeing 747 - 400, C - 17) have some winglets, wing tips of complex planforms or multi-elements sails to improve aerodynamical and flight-mechanical features of the aircraft. The different wing tip lifting surfaces have been studied by using wind-tunnels, test-flights and CFD methods for the last 20 - 25 years. On the basis of the special literature, our paper shows the newest results of aerodynamical investigations of wing tip lifting surfaces.

A REPÜLŐGÉP LESZÁLLÁSI ÚTHOSSZÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Békési Bertold mérnök főhadnagy
főiskolai tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Repülőtiszti Intézet
Fedélzeti Rendszerek Tanszék

Már a repülés kezdetétől egyik legbonyolultabb feladat volt a leszállás biztonságos végrehajtása. A cikkben a repülőgép leszállási úthosszát próbálom meghatározni analitikus módszerrel. Ezen belül is röviden megvizsgálom a leszállás különböző szakaszait (siklás a biztonságos magasságig, felvétel, kilebegtetés, függőleges süllyedés, kifutás). Végül kitérek a Piszov féle feltételekre, mint a repülőgép érintőleges gyorsulására a függőleges süllyedés folyamán.

BEVEZETÉS

A repülőgép leszálláshoz való bejövetele és annak végrehajtása az egyik legbonyolultabb, speciális feladat a repülés során. A feladat összetettségét a föld közelsége határozza meg. Ennek következtében az automatikus vezérlő rendszer repülési paraméter stabilizálása iránti követelmények magasak.[8]

Leszállás alatt a repülőgép 350 - 400m repülési magasságról a földetérésig történő süllyedését és a kifutópályán teljes megállásig való mozgását értjük.[5]

Különbséget kell tenni a leszálláshoz történő bejövétel - amikor a repülőgép a siklópályán mozog 20 - 30m magasságig - és a konkrét leszállás között, amikor a repülőgép a függőleges síkban manővert végrehajtva földetér és a kifutópályán történő kigurulást követően megáll (vagy enélkül lefordul a gurulóútra).[3]

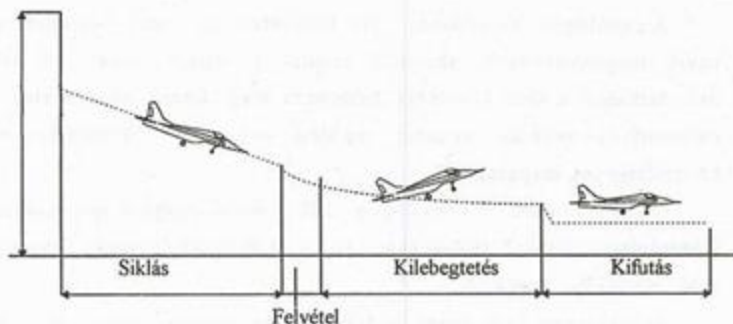
1. A LESZÁLLÁSI ÚTHOSSZ MEGHATÁROZÁSA

A leszállás végrehajtásához a repülőgép-vezető siklási üzemmódba viszi a repülőgépet, melynek folyamán a repülési magasság csökken. [4,7]

Siklaskor a hajtómű tolóerejét a lehető legkisebbre veszik, azaz számításoknál megközelítően vehetjük, hogy az $F_P = 0$.

Miután a repülőgép közeledik a földhöz a siklópálya hajlásszögét nullára csökkentjük, azaz a siklásból vízszintes repülésre térünk át. Továbbá a repülőgép egy bizonyos ideig egészen kis magasságon körülbelül párhuzamosan repül a leszállópálya felületével és sebessége folyamatosan csökken. [1,2,5,6,7,8]

A kilebegtetés azért szükséges, hogy a repülőgép a párnahatás felhasználásával a lehető legkisebb sebességgel érjen földet. Ezt követően a repülőgép földet ér és kigurul. A leszállás ekkor fejeződik be. Ennek szemléltetése az 1. ábrán látható.



1. ábra
A repülőgép leszállásának vázlata

A siklás kezdetekor a repülőgép sebességének nagyobbnak kell lennie a minimálisnál azért, hogy legyen tartaléka a felvételnél szükséges túlterhelés legyőzéséhez, valamint ezt egyúttal a biztonságos repülés feltételei is előírják.

A kilebegtetés kezdetén a sebesség így a minimális sebességnél nagyobbra adódik. A kilebegtetés folyamán ahogy csökken a sebesség a vízszintes repülés feltételeit figyelembe véve - a súlyerő egyenlő a felhajtóerővel - fokozatosan növelni kell az állásszöget (α) ezáltal nő az ellenállási erő (F_x) és a repülőgép sebessége csökken.

A felhajtóerő tényezőt csak a maximális értékig ($c_{y_{max}}$) lehet növelni, hiszen $\alpha_{krit.}$ -nál nagyobb állásszögek mellett a c_y kisebb lesz mint $c_{y_{max}}$ így ha az állásszöget tovább növeljük $\alpha > \alpha_{krit.}$ a felhajtóerő F_y kisebb lesz mint a gép súlya (G), azaz a vízszintes repülés feltétele $F_y = G$ nem teljesül. A ($G - F_y$) különbség lefelé irányuló gyorsulást hoz létre, létrejön egy függőleges v_y süllyedő sebesség és a magasság csökken egészen a földetérésig.

A repülőgép sebességének vízszintes összetevőjét a függőleges süllyedés befejezésének pillanatában (a talajfogás pillanatában) a leszállás sebességének nevezzük.

Így a leszállásának (általános esetben) öt szakaszát különböztetjük meg:

1. Siklás a biztonságos magasságig ($H_{bizt.}$)
2. Felvétel
3. Kilebegtetés
4. Függőleges süllyedés
5. Kifutás

A siklási szakasz hosszát a "A repülőgép siklása homogén közegben" című cikk (1.12) összefüggésével határozhatjuk meg [4]

$$L_{sikl.} = K H_{bizt.} \quad (1.1)$$

$$\text{ahol: } K = \frac{F_y}{F_x} = \frac{c_y}{c_x}$$

A síklás vízszinteshez viszonyított pályahajlásszöge a [4] cikk (1.11) összefüggése alapján¹

$$\Theta = \arctg\left(\frac{I}{K}\right) \quad (1.2)$$

A felvétel számításánál első megközelítésben a pálya sugarát (R) állandónak vehetjük, így a felvétel ideje alatt megtett út:

$$S \approx \Theta R \quad (1.3)$$

Az S út vetülete a vízszintes síkra a pályahajlásszög (Θ) kis értéke miatt magával az S útnak a hosszával azonosnak vehető:

$$L_{\text{fot.}} \approx S = \Theta R \quad (1.4)$$

Az erőket levetítve a pályára merőleges egyenesre kapjuk

$$\frac{mv_{\text{akt}}^2}{R} = F_y - G \cos \Theta \quad (1.5)$$

ahonnan a felvétel pályájának sugara

$$R = \frac{mv_{\text{akt}}^2}{F_y - G \cos \Theta} \quad (1.6)$$

Tegyük fel, hogy $\cos \Theta = 1$ és bevezetve a függőleges túlterhelési tényezőt (n_y) kapjuk

$$n_f = \frac{F_f}{G} = \frac{q_{alt} A c_{f_{alt}}}{q_{alt} A c_{f_{alt}}} \quad (1.7)$$

ahol $c_{ysikl.}$ - a felhajtóerő tényező sikláskor

$c_{yfelv.}$ - a felhajtóerő tényező felvételnél

Így a felvétel úthosszára a következő kifejezést kapjuk

$$L_{fcl.} = \frac{v_{alt.}^2}{gK} \frac{1}{\frac{c_{f_{fcl.}}}{c_{f_{alt}}} - 1} \quad (1.8)$$

A számítások során vehetjük, hogy $c_{f_{fcl.}} = (0,85 - 0,90)c_{f_{max}}$

A kilebegtetési szakaszon $F_F=0$ esetén a repülőgép mozgásegyenletei a következők: [4]

$$\frac{G}{g} \dot{v} = -F_x \quad (1.9)$$

$$F_f = G \quad (1.10)$$

Osszuk el az előbbi egyenletet a másodikkal figyelembe véve, hogy

$$\dot{v} = \frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dv^2}{dL_{kib.}} \quad (1.11)$$

megkapjuk a kilebegtetési szakasz hosszát

$$L_{kib.} = \frac{1}{2g} \int_{v_{min}}^{v_{max}} K dv^2 \quad (1.12)$$

A kilebegtetési szakaszon a sebességet megközelítően egyenlőnek vehetjük a siklási szakasz sebességével, ezért a (1.12) egyenletben az integrálást $v_{min}^2 + v_{sikl}^2$ között kell végrehajtani.

Ha figyelembe vesszük, hogy a kilebegtetés folyamán nagy állásszögek esetén a jósági tényező (K) szűk határok között változik, akkor egy középértéket véve $K = \text{const}$ esetén a kilebegtetési szakasz hosszának megközelítő összefüggését kapjuk

$$L_{kib} \approx \frac{K}{g} (v_{sikl}^2 - v_{min}^2) \quad (1.13)$$

ahol, $K = K_{max.}$ -nak vehető (Pisnov V. Sz. szerint)

A függőleges süllyedés számításánál Pisnov szerint a következő feltételezésekből indulhatunk ki.

1. A repülőgép érintőleges gyorsulását ($\dot{v}$) a függőleges süllyedés folyamán azonosnak tekintjük a függőleges süllyedés kezdetének pillanatában lévő gyorsulással:

$$\dot{v} \approx \text{const} = \dot{v}_1 = -\frac{F_x}{m} \quad (1.14)$$

Az ilyen feltételezés azon alapszik, hogy a függőleges süllyedéskor a repülőgép sebessége csökken, de az ellenállási erőtenyező (c_x) növekszik (mivel az állásszög (α) nő). Így első megközelítésben a légellenállási erő F_x közel állandó marad.

2. A függőleges süllyedéskor a felhajtóerő tényezőt (c_y) változatlanul $c_{y_{max.}}$ -al egyenlőnek tekintjük. Ez utóbbi feltételezést azért tehetjük meg, mert az állásszög (α) függőleges süllyedéskor szűk határok között változik, így a felhajtóerő tényező (c_y) változása jelentéktelen.

3. A függőleges süllyedő sebességet ($\dot{v}_y$) a vízszintes repülési sebességhez (v) képest kicsinek tekintjük.[7]

A korszerű utasszállító repülőgépeknél a függőleges süllyedő sebesség $v_y \approx 2 + 4 \text{ m/s}$, ugyanakkor a vízszintes repülési sebesség összetevő nagysága $v_x \approx v = 60 + 80 \text{ m/s}$, ami igazolja a feltételezésünket.

Ilyen peremfeltételek mellett a repülőgép pályamenti sebessége a függőleges süllyedési szakaszon a következő kifejezéssel határozható meg

$$v = v_{\min} - g \frac{c_x}{c_y} t \quad (1.15)$$

mivel a függőleges süllyedés kezdetén

$$F_y = G$$

és

$$F_x = \frac{c_x}{c_y} F_y = \frac{c_x}{c_y} G \quad (1.16)$$

A felhajtóerő

$$F_y = \frac{\rho}{2} v^2 A c_y = \frac{\rho}{2} A c_y (v_{\min} - g \frac{c_x}{c_y} t)^2 \approx \frac{\rho}{2} v_{\min}^2 A c_y - \rho A c_y g \frac{c_x}{c_y} t v_{\min}$$

és a különbség

$$G - F_y = \rho A c_y g \frac{c_x}{c_y} t v_{\min} \quad (1.17)$$

A függőleges süllyedés mozgásegyenletéből

$$G - F_f = m \frac{dv_f}{dt}$$

Határozzuk meg a (1.17) egyenlet segítségével a repülőgép függőleges gyorsulását

$$\frac{dv_f}{dt} = \rho A c_f g \frac{c_x}{c_f} \frac{g}{G} t v_{min} = \frac{2g^2 c_x}{v_{min} c_f} t \quad (1.18)$$

ahol

$$\rho A c_f = \frac{2G}{v_{min}^2}$$

A (1.18) egyenletet integrálva $t_1 = 0$, $v_{y1} = 0$ -tól t , v_f -ig megkapjuk a függőleges süllyedő sebességet

$$v_f = \frac{g^2 c_x}{v_{min} c_f} t^2 \quad (1.19)$$

Tovább integrálva a (1.19) egyenletet a függőleges süllyedés magasságát kapjuk

$$H = \frac{g^2 c_x}{3v_{min} c_f} t^3 \quad (1.20)$$

Az (1.20) egyenletből megkapjuk a függőleges süllyedés idejét adott magasságról:

$$t = \sqrt[3]{\frac{3Hv_{\min}c_y}{g^2c_x}} \quad (1.21)$$

Végül a (1.15) összefüggés felhasználásával, figyelembe véve a (1.21) egyenletben leírtakat meghatározzuk a leszállási sebességet

$$v_{\text{lesz.}} = v_{\min} \left[1 - \sqrt{\frac{3Hg}{v_{\min}^2} \left(\frac{c_x}{c_y} \right)^2} \right] \quad (1.22)$$

Ha a függőleges süllyedés magasságát átlagosan $H \approx 0,7\text{m}$, a jósági tényezőt $K \approx 5$, a minimális sebességet $v_{\min} \approx 60\text{m/s}$ értékekre vesszük, akkor a (1.22) egyenlet alapján azt kapjuk, hogy

$$v_{\text{lesz.}} = 0,94v_{\min}$$

Ezt az adatot használják általában a számításoknál a leszállási sebesség meghatározásánál

$$v_{\text{lesz.}} = 0,94 \sqrt{\frac{2G}{\rho Ac_{x_{\min}}}} \quad (1.23)$$

Leszállás után a repülőgép kigurul a leszállópályán. Kigurulás közben a repülőgépre a következő erők hatnak:

- felhajtóerő

$$F_y = \frac{\rho}{2} v^2 Ac_y$$

- légellenállási erő

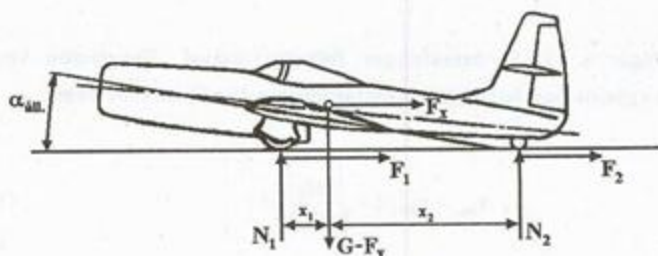
$$F_x = \frac{\rho}{2} v^2 Ac_x$$

- nehézségi erő (súly)

$$G$$

- a kerekek reakcióereje N_1 és N_2

- a kerekek gördülő surlódási ereje F_1 és F_2



2.sz. ábra

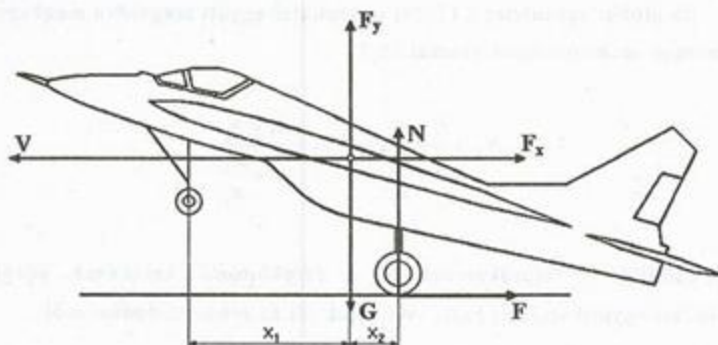
A repülőgép kigurulása, amelynél a főfutókerekek a súlypont előtt vannak elhelyezve

Az olyan repülőgép, amely farokkerekes futóművel van ellátva és a főfutók a repülőgép súlypontja előtt, a farokfutómű a súlypont mögött helyezkedik el hárompontos leszállást hajt végre (2. ábra). [6,7]

Ekkor a teljes kigurulási szakaszon az úgynevezett állóhelyzetbeni állásszög $\alpha_{\text{áll.}}$ változatlan. (A szárny húrja és a vízszintes felület közötti szög a repülőgép álló helyzetében.)

Az olyan repülőgép amely orrfutóművel van ellátva és a főfutók a repülőgép súlypontja mögött helyezkednek el, általában 2 pontos a főfutómű kerekeire való leszállást hajtják végre. A kigurulás utolsó szakaszában engedi le a gép orrát a repülőgépvezető és a kigurulás végén van hárompontos gurulás (3. ábra).

Megfelelő közelítéssel azt mondhatjuk, hogy ez utóbbi esetben az állásszög a kigurulás alatt állandó és megfelel a $c_y = c_{y \text{ max.}}$ -hoz tartozó állásszögnek, azaz $\alpha_{\text{krit.}}$. Így a kigurulás számításánál függetlenül a futómű típusától az állásszöget (α) változatlannak tekinthetjük.



3.sz. ábra
A repülőgép kigurulása, amelynél a főfutókerekek a súlypont mögött vannak elhelyezve

A repülőgép kigurulásának mozgásegyenletei:

$$m \frac{dv}{dt} = -F_x - F_1 - F_2 \quad (1.24)$$

$$G - F_y = N_1 + N_2 \quad (1.25)$$

Az orrkerekes futóművel ellátott gépeknél - a főfutómű a repülőgép súlypontja mögött van - az előbbi egyenleteknek megfelelően feltételezhető, hogy $F_1 = N_1 = 0$.

A farokkerekes repülőgépeknél az F_1 és F_2 surlódási erők helyett általában ezeknek az eredőjét (F) egyszerűbb kiszámítani.

Az eredő F surlódási erő meghatározásához először határozzuk meg a kerekek reakcióerőit az N_1 és N_2 -t, feltételezve, hogy az aerodinamikai erők nyomatéka a repülőgép súlypontjára nézve zérussal egyenlő. Ekkor a 2.ábrának megfelelően:

$$N_1 x_1 = N_2 x_2$$

Ez utóbbi egyenletet a (1.25) egyenlettel együtt megoldva megkapjuk a kerekek reakcióerőinek értékét: [6,7]

$$N_1 = \frac{G - F_y}{1 + \frac{x_1}{x_2}}, \quad N_2 = \frac{G - F_y}{1 + \frac{x_2}{x_1}}$$

Jelöljük a főfutókerekek és a farokfutómű kerekének gördülő súrlódási együtthatóit μ_1 és μ_2 -vel, írjuk fel az eredő súrlódási erőt

$$F = F_1 + F_2 = \mu_1 N_1 + \mu_2 N_2 = (G - F_y) \mu \quad (1.26)$$

ahol az átszámított súrlódási tényező

$$\mu = \frac{\mu_1}{1 + \frac{x_1}{x_2}} + \frac{\mu_2}{1 + \frac{x_2}{x_1}} \quad (1.27)$$

A futómű típusától függetlenül a (1.24) egyenletet felírhatjuk a következő alakban:

$$m \frac{dv}{dt} = -F_x - \mu(G - F_y) \quad (1.28)$$

ahol az orrkerekek a repülőgépnél $\mu = \mu_2$ -vel, a farokkeres repülőgépnél pedig μ az (1.27) egyenletben leírtak szerint számolandó.

Integrálva az (1.28) egyenletet megkapjuk a repülőgép kigurulásának idejét

$$t = \frac{G}{g} \int_0^{v_{\text{max}}} \frac{dv}{F_x + \mu(G - F_y)}$$

vagy

$$t = \frac{1}{g} \int_0^{v_{\text{max}}} \frac{dv}{(c_x - \mu c_y) \frac{\rho A v^2}{2G} + \mu} \quad (1.29)$$

A (1.28) egyenletben szereplő $\frac{dv}{dt}$ írjuk fel a következő alakban:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dv^2}{dL}$$

amelyből integrálás után megkapjuk a kigurulási úthosszat.

$$L_{\text{kigur.}} = \frac{1}{2g} \int_0^{v_{\text{max}}^2} \frac{dv^2}{(c_x - \mu c_y) \frac{\rho A v^2}{2G} + \mu} \quad (1.30)$$

Mivel a kigurulás, vagy másképpen nevezve kifutás ideje alatt általában használják a fékeket, így a súrlódási tényező a kigurulás ideje alatt nagyobb, mint a nekifutás ideje alatt felszálláskor.

A súrlódási tényező értékét egy közepes intenzitású fékezésnél $\mu = 0,2 + 0,3$ -nak vehetjük.

A repülőgép teljes leszállási úthosszát megkapjuk a (1.1), (1.8), (1.12) és (1.30) egyenletek összegzésével, hiszen az a rövid útszakasz amely a függőleges süllyedés útszakasza a többihez képest elhanyagolható.

Az (1.30) egyenletben szereplő integrál analitikus módszerrel számítható és helyette V.P. Vetcsinkin² összefüggését használhatjuk:

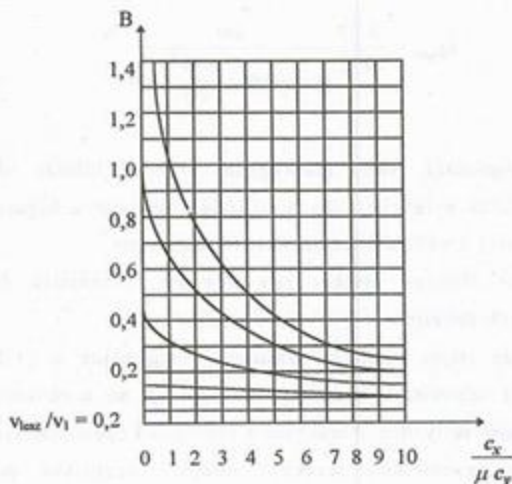
$$L_{\text{kigur.}} = \frac{v_i^2}{2g\mu} B \quad (1.31)$$

ahol a v_1 az a sebesség, amellyel a repülőgép vízszintes repülést tudott volna végrehajtani, farokkerekes gépnél a szárny állóhelyzetbeni állásszögével, orrkerekes gépnél a $c_y = c_{y \max.}$ -nak megfelelő $\alpha_{krit.}$ állásszöggel.

A B együttható a következő alakban írható fel:

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\mu} \frac{c_x}{c_y} - 1} \ln \left[1 + \left(\frac{1}{\mu} \frac{c_x}{c_y} - 1 \right) \frac{v_{lez}^2}{v_1^2} \right]$$

A B együttható meghatározása a 4.ábra segítségével lehetséges a $\frac{v_{lez}}{v_1}$ és az $\frac{1}{\mu} \frac{c_x}{c_y}$ jellemzők ismeretében.



4.ábra
Grafikon a repülőgép kigurulási úthosszának meghatározásához

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatta a repülőgép leszállási úthossza meghatározásának elméleti megközelítését. Áttekintettem a leszállás szakaszait.

A függőleges süllyedés kiszámításánál figyelembe vettem a Pisonov féle feltételeket.

Kitértem a kigurulásra különválasztva azt a két esetet, amikor a főfutókerekek a súlypont előtt vannak és amikor a súlypont mögött helyezkednek el.

Végezetül meghatároztam a repülőgép teljes leszállási úthosszát Vetsinkin összefüggésének segítségével illetve eljutottam a repülőgép kigurulási úthosszána meghatározására szolgáló grafikon megrajzolásához.

A feldolgozott téma nagyrészt csak külföldi irodalomban szerepel, ezért úgy gondolom, hogy a repülés egyik legkritikusabb fázisának ez gyakorlatias felhasználása jól használható a kiképzéshez és záródolgozatok illetve TDK-k készítéséhez.

¹ Az (1.2) egyenletben elhanyagoltuk a negatív előjelet, azaz előzőekkel ellentétben siklaskor a Θ szög előjelét pozitívnak vesszük.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] - Aszlanjan A. E. Szisztyemi avtomatycseszkovo upravlenyija poljotom letatyelnih apparatov, Kijevszkoje vizssee voennoe aviacionnoe inzsenyernoje ucsilise, Kijev, 1984.
- [2] - Bajborogyina J. V. Bortovije szisztyemi upravlenyija poljotom, Transzport, Moszkva, 1984.
- [3] - Békési Bertold A repülőgépek irányításának automatizálása leszálláskor, Repüléstudományi és Kiképzési Közlemények, Magyar Honvédség Szolnoki Repülőtiszti Főiskola, 1996/2, 13-24old.
- [4] - Békési Bertold A repülőgép siklása homogén közegben, Repüléstudományi és Kiképzési Közlemények, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Repülőtiszti Intézet, 1997/1.
- [5] - Bodner V. A. Szisztyemmi upravlenyija letatyelnimi apparatami, Masinosztroenyije, Moszkva, 1973.
- [6] - Gorosenko B. T. Dinamika poljota szamoljota, Goszudarsztvennoe izdatyelsztvo oboronnoj promislennosztji, Moszkva, 1954.
- [7] - Osztoszlavszkij I. V., Sztrazseva I. V. Dinamika poljota, Masinosztroenyije, Moszkva, 1969.
- [8] - Re/914 Vadászipülőgépek automatikus vezérlő rendszerei, Honvédelmi Minisztérium kiadása, 1981.

Since the beginning flying has almost been impossible without carrying the landing out.

In this article we are going to determine the distance of landing with analytical method.

I can have a look at different sections of landing (for example: gliding to safety altitude, flare out, climb down and landing run).

At last we going to study suppositions of Pishnov.



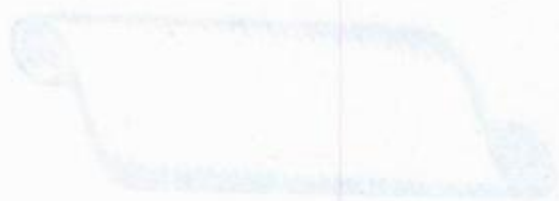
HADTUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Pintér István

Rovatszerkesztők: Dr. Óvári Gyula

Kovács József

Békési Bertold



TAVOLGOMÁNYI ROVAT

Kezelve: Dr. János János

Kezelve: Dr. János János

Kezelve: János János

Kezelve: János János

ALES - FOLYOSÓ KELET FELÉ ?

Prof. Lauro József

ALES s.r.o. Kassa

Bevezetés

A közép- és kelet európai országok jövőbeli NATO tagsága komoly katonai és politikai felkészülést igényel a jelöltek részéről. A több közismert kritérium közül viszonylag legkevesebb információ az egyes belépő országok felkészültségéről és az ottani katonai feltételek teljesítése mérlegeléséről kerül nyilvánosságra.

Hadászati és harcászati szempontból nézve a katonai feltételek közül legnagyobb jelentőségűek egyike a légvédelmi információs rendszer színvonala és egyesíthetősége a NATO koordinációs központok információs rendszerével.

Köztudott, hogy a Visegrádi 4-ek országai (Magyarország, Csehország, Szlovákia és Lengyelország) jutottak el ezen az úton legtovább, viszont közöttük is jelentős eltérések észlelhetők.

Cikkünkben rövid áttekintést adunk azokról a lépésekről (tényekről), melyeket Csehország és Szlovákia az utolsó években tett meg az ottani ALES cég termékeinek néhány sikeres alkalmazásával a légtér ellenőrzése és a légvédelem felépítése (kialakítása) terén.

Az ALES cégről

Az ALES, KFT típusú céggént 1992-ben alakult Kassán. Alapítói radar és számítástechnikai volt katonai szakemberek voltak. 1996 év végén néhány partnercég (társcég) összeolvadásával az ALES részvény társasággá alakult. Tevékenysége magába foglalja az automatizált légiirányítási és egyéb közlekedési és kommunikációs rendszerek, valamint katonai célokra szánt C⁴ I² rendszerek

fejlesztését és gyártását. Részt vesz szintén az európai légiforgalmi irányítás harmonizáció és integráció program (EATCHIP) teljesítésében, légtérelenőrző (figyelő) rádiólokátorok rekonstrukciójában és korszerűsítésében, légvédelmi tisztek és légiirányítók kiképzésére szánt oktatási eszközök fejlesztésében és legyártásában stb.

Csehország és Szlovákia mellett a cég szállítja és építi az említett berendezéseket és rendszereket főleg kelet európai országokba.

Termékei megfelelnek úgy az ICAO/Eurocontrol, mint az orosz szabványok követelményeinek és alkalmasak együttműködni a NATO információs rendszereivel is.

A cég eddigi termékeinek 80% -a védelmi célokra szolgál.

A cég nagy figyelmet fordított a piackutatásra és a marketing minden ágazatában jelentős sikereket ért el. Megalakulása óta számos európai védelmi jellegű vagy repülőtechnikai kiállításon vett részt. A cég LETVIS nevezetű terméke nagy elismerést és érdeklődést váltott ki a katonai és polgári légiforgalmi irányítás terén és számos országban megszerezte a rendszer telepítéséhez szükséges alkalmassági bizonyítványt. Maga a cég bekerült az ICAO hivatalos légiforgalmi irányítási rendszerek szállítói listájára.

Sajátosságai közé tartozik, hogy nem várja tétlenül az állami megrendeléseket és megbízásokat, hanem aktív kezdeményező javaslatokat, sőt magas színvonalú megoldásokat is terjeszt elő az illetékes szervek és beosztottak figyelmébe, hozzájárulva koncepciók kialakításához.

Ez a felfogás ellentétben van az állami kutató intézetek és gyártó üzemek hagyományos viselkedésével és eleve biztosítja az ALES jó kiinduló pozícióját a pályázatokon.

Néhány önálló katonai légiforgalmi irányítási munkahely felépítése után, a cég 1992 végén elvállalta a bratislavai körzeti repülésirányítási körzeti központ (ACC) multiradar feldolgozású automatizált rendszerének felépítését. A felépítés csupán 3 hónapot vett igénybe és 4 rádiólokátor jelét dolgozza fel, ellátva úgy a polgári irányítás, mint a katonai részleg (MACC) igényeit. Egy éven belül

hasznos feladat várta a céget Prágában is, ahol a katonai részlegben ugyancsak a LETVIS kapott helyet, habár akkor már elindult a Thompson gyártmányú Eurocat 200 építése a polgári részlegben.

A LETVIS azóta több mint 20 változatban és 300 különböző munkahelyen működik. Mint már említettük, a termék jó része katonai célokat szolgál.

Csehszlovákia kettéosztása után 1993-ban, az ALES mindkét utódhadszeregben széles számítógép hálózatot épített fel, melyek az egységes radar- és repülésirányítási információt az összes légiforgalmi irányítási és légvédelmi rendszerek munkahelyeihez továbbítják.

A LETVIS katonai változatába be lettek építve a hozzákapcsolt védőeszközök vezérlésére és irányítására szolgáló funkciók is. Ezzel egyidejűleg egy olyan rendszer gyártása indult el, mely alkalmazható közös polgári és katonai légiforgalom irányítására is (egyébként ez az EATCHIP követelménye).

Ezt a rendszert, melynek megvannak a műszaki feltételei ahhoz, hogy hozzájáruljon a légiforgalmi irányítás teljes fokú integrációjához, 1994 - 1995-ben helyezték üzembe és azóta más navigációs forrás adatait is fel tudja használni, képes kiértékelni és megjeleníteni. Mindenekelőtt a műholdas GPS, DGPS és a GLONAS, továbbá azonosítók, passzív rádiólokációs felderítő rendszerek (Vera, Tamara) és meteorológiai források adatairól van szó. Ezek az adatok szükség szerint csak bizonyos munkahelyeken és fokon vannak ábrázolva és kiértékelve.

Kiértékelésükhöz több esetben sokrétű digitális térképháttér szükséges, amely a LETVIS adatbázisában foglal helyet. Minden nagyobb méretű polgári vagy katonai munkahelyen a LETVIS szimulátor változata szolgálja az irányítók kiképzését. A repülésirányító munkahelyen azonkívül ott van a CALLS elnevezésű angol nyelvet oktató multimédiás program, melynek szerepe a repülésirányítók és hajózók angol nyelvű kiképzésében nagy előrelépést jelent nemzetközi méretben is.

A volt Csehszlovákia TESLA gyára számos rádiólokátor típust gyártott, melynek nagyobb részét exportálta. A hazai RL-4, RL-5 és PRL repülőter-

körzeti és leszállító rádiólokátorok élettartama lejárában van és ezek pótlása a TESLA felbomlása miatt csupán nyugatról lehetséges. A hatalmas kiadások csökkentése érdekében az ALES cég átfogó rekonstrukciót és korszerűsítést indított az említett rádiólokátorokon, több száz millió koronát megtakarítva a honvédelmi célokra kiszabott sovány összegből. Rövid időn belül az orosz származású P-37 rádiólokátorok is sorra kerülnek. Az Amerikai kormány kezdeményezése folytán 1995-96 -ban, értékelést végeztek a vezérlési és ellenőrzési rendszereken, melyeket a Visegrádi négyes tagállamai használnak. Az értékelés alapján, melyet az USA védelmi minisztériuma megbízásából a MITRE cég végzett, a LETVIS rendszert találták a legmegfelelőbbnek az idézett tagállamok igényei szempontjából. Az amerikai szakemberek ismételt látogatása után, jelenleg részletezik az előkészületben levő ASOC koordinációs központoknak az állami légvédelmi rendszerekkel való összekapcsolásának módszerét. Csehországba és Szlovákiában ezt az összekapcsolást a LETVIS alkalmazásával biztosítják.

Minőségi haladás történt 1996 folytán a LETVIS rendszer katonai alkalmazása terén. Az ALES vezette konzorcium létrehozta az első mozgékony ütegparancsnoki álláspontot páncélozott harcműre építve. A jármű fedélzetén megtalálhatók a LETVIS-RDP, FRP és EDD harci változatai, transceiverek, telefon, távíró és még sok más, vezényléshez szükséges felszerelés.

Az összekötetés az alárendelt és felettes parancsnoki pontokkal, rádiólokátorokkal stb. rádióon keresztül történik.

Egy időben üzembe állították a prágai körzeti légiforgalmi irányító központban a LETVIS szimulátor harcállású változatát, amely irányító tisztek kiképzésére szolgál. A cég nem titkolja, hogy messzemenő tervei vannak új harcászati rádiólokátorok jövőendő gyártásával és egyéb, elektronikus elven működő rendszerek korszerűsítésével. Figyelmet érdemel az a tény is, hogy az ALES cég mindaddig kölcsönök, adókedvezmények és bármely más állami támogatás nélkül gazdálkodik. Ezzel bebizonyította, hogy egy olyan magáncég is, amely nem kiépített állami vállalat privatizációja útján jött létre, képes a

gyártás bonyolult és költséges megszervezése mellett kutató és fejlesztő munkát is vállalni. Ehhez viszont szükséges úgy az illetékes állami szervek világos és reális katonai filozófiája, mint a cég magas szintű szervező, fejlesztő és termelő potenciálja.

A LETVIS alkalmazási területe

A rendszer alapváltozata, LETVIS RDP, a légiforgalmi irányítás és ellenőrzés különböző szintjein használható. Önálló munkahelyektől kezdve, mozgékony parancsnoki pontokon, TWR, APP és ACC munkahelyeken megvalósított csatlakozásokon keresztül, egészen nagy kiterjedésű nemzeti rendszerekig, melyek integrálják a légiforgalmi irányítás polgári és katonai nemzeti részlegeit és a hadseregen belül egyesítik és elosztják az információt a légiforgalmi irányítás és a légvédelem között.

A LETVIS RDP által nyújtott lehetőségek:

- rádiólokációs és procedurális légiforgalmi irányítás, szektorok közötti együttműködés,
- ellenőrzés és vezérlés a légvédelmi rendszeren belül, $C^4 I^2$ funkciók biztosításával,
- műszaki és információ szintű integráció végrehajtása polgári és katonai részlegek közt a harmonizáció követelményeivel összhangban,
- 8 primér (elsődleges) és másodlagos rádiólokátor adatainak feldolgozása és megjelenítése (analóg kimenőjelű rádiólokátorok esetén a jelek saját gyártmányú scankonverterok vagy extraktorok segítségével dolgozzák fel),
- GPS és rádiólokációs felderítő eszközöktől származó jelek feldolgozása,

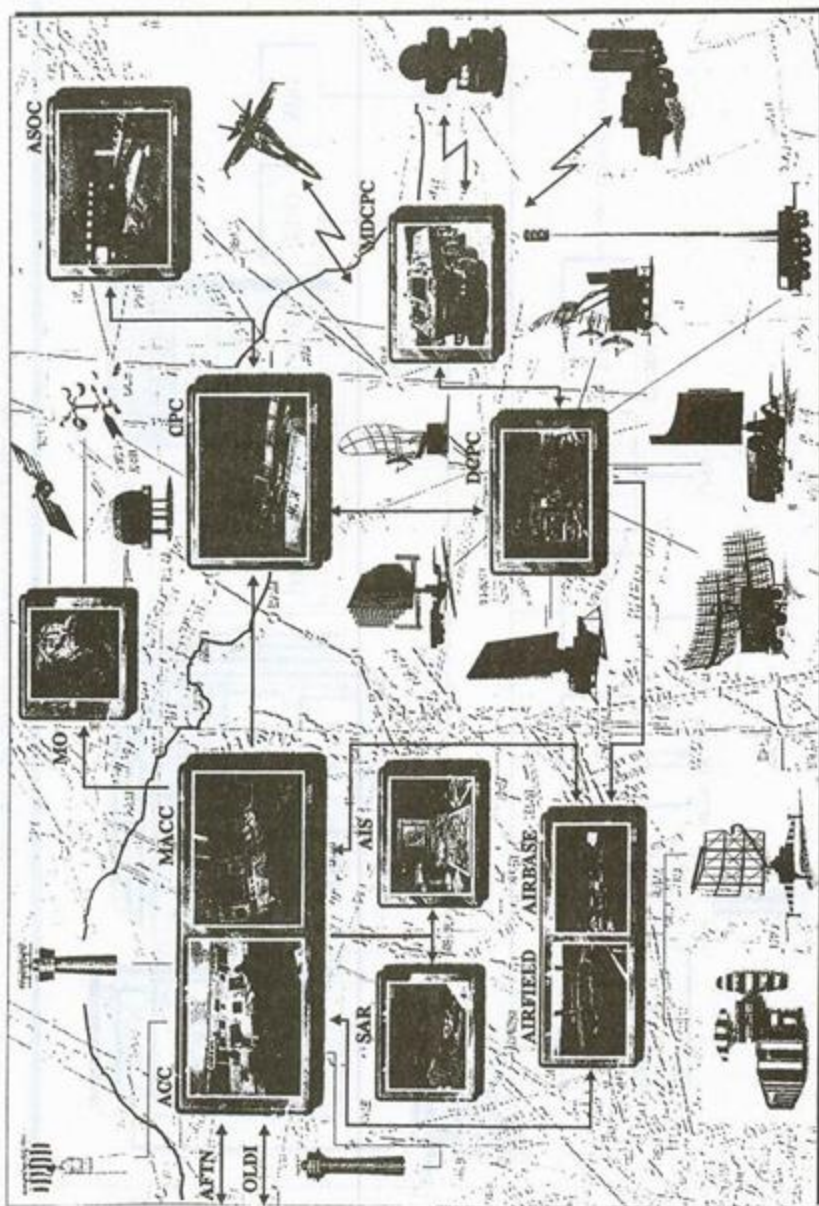
- az AFTN-től és más együttműködő hálózathoz vagy koordinációs rendszerből átvett polgári és katonai repülési tervek feldolgozása és továbbítása elektronikus sztripek formájában,
- operatív repüléstervezési rendszer alkalmazása,
- meteorológiai adatok feldolgozása és megjelenítése,
- fegyverrendszerektől származó információk és riadóval kapcsolatos eljárások megjelenítése.

Egy tipikus rendszer felállítás bemutatása

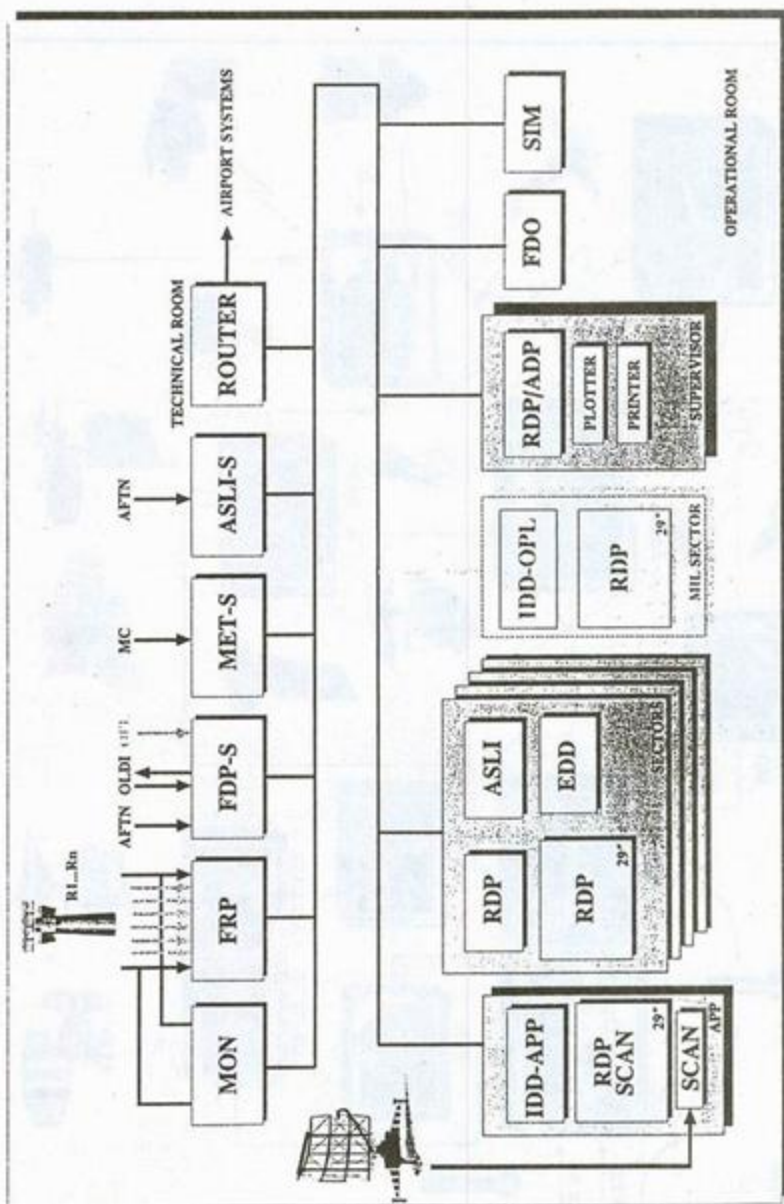
A rendszer képességeinek könnyebb megértéséhez egy tipikus katonai alkalmazási lehetőség leírásával szolgálunk. Példaképnek felidézhetjük (1. és 2. ábra) a bratislavai vagy prágai FIR-en belüli munkahelyek egymásközi kapcsolat kiépítését.

A bratislavai FIR-ben külön ACC munkahelyekről irányítanak a polgári és katonai légiforgalmi irányítók, de LETVIS által biztosított közös információs rendszert használva, amely magában foglalja a tervezett és aktuális légihelyzetet is. Ez annyit jelent, hogy a polgári irányító tiszt követheti a katonai légi forgalmat, ugyanúgy mint a katonai irányító tiszt (a légvédelmi tiszt is) a polgári légiforgalmat. Mindkét rész rádiólokációs információt szolgáltat egymásnak, rendelkezik a tervezett légi forgalmi adatokkal, miközben a katonai részleg oldalán léteznek bizonyos információs korlátok, melyek az adott információk jellegéből és szerepéből származnak. A bratislavai FIR esetén a polgári és katonai részlegek közötti integráció csupán a szervezés kérdése, mivel a műszaki feltételek már megvannak hozzá.

Mindkét ACC részleghez csatlakoznak alárendelt polgári vagy katonai repülőterek. Ezekhez továbbítják a feldolgozott, több radartól összegyűjtött információt és a tervezett légiforgalmi adatokat az egész FIR-en belül. Az adott repülőtér feldolgozhatja a saját és szomszéd radaroktól átvett adatokat, és ilyen



1. ábra Automatizált rendszer bekapcsolása a repülésközpont körzet (FIR) széles adathálózata keretében.



2. ábra Automatizált légirányítási rendszer blokkélmája a prágai MACC keretében.

módon pontosíthatja a harmadlagos rádiólokációs légi információt. Ezen kívül az RDP monitoron megjeleníthető az analóg légi információ is.

Katonai repülőtereken felépítették a légiközlekedés tervezésére szolgáló rendszert, mely lehetővé teszi a repüléstervek valamint a légtér és elfoglaltságtervek, és a meteorológiai adatok feldolgozását. A rendszer összeköti az összes repülőtereket és katonai körzeti irányító központokat (MACC). A légtér rugalmas felhasználásának (FUA) bevezetésével kapcsolatosan készítik a légtér kihasználás tervezésére szolgáló funkciók módosítását és további állomások hozzácsatolását az ACC és a MACC-hoz úgy, hogy egy közös koncepció által megszabott funkciókkal rendelkező munkahely jöjjön létre.

A 2. ábrán látható az aktuális prágai MACC automatizált légiforgalmi irányítási rendszer sémája.

A munkahely két részre oszlik. A műszaki teremben azok a munkaállomások vannak elhelyezve, melyek rendeltetése az információk gyűjtése és más rendszerekkel lebonyolított kommunikáció.

Az ábrán feltüntetett rövidítések magyarázata a következő:

FRP A rendszer elsődleges és másodlagos rádiólokátoroktól felvett szintetikus ún. „multiradar” módon dolgozza fel, hozzá adva más navigációs rendszerektől származó (GPS, passzív rádiótechnikai felderítő, stb.) célkoordináták jeleit is. Ezen kívül teljesít más feladatokat is, mint pl. céljellemzők besorolása, kézzel vezetett célok követése és a követett célok szimulálása.

FDP-S Szerver, mely repülési tervadatokat gyűjt az együttműködő ASTA rendszertől (Eurocat-2000), továbbá a LETVIS rendszertől a katonai operatív tervezési rendszertől és az AFTN hálózatról esetleg a Légiforgalmi szolgálat adatbázisából

FDP-OPL Katonai operatív repüléstervezési rendszer.

MET-S Szerver, amely veszi és feldolgozza a repülőterekről és a meteorológiai központokról leadott adatokat.

ASLI-S Légiforgalmi információ adatbázist kiszolgáló szerver.

MON Rögzíti és tárolja a rádiólokátorok által felvett adatokat és a feldolgozott harmadlagos információt, valamint repülési terveket és a repülésirányító által elvégzett eljárásokat és műveleteket. A rendszer kibővíthető a munkahelyen lefolyt hírközlés tárolásával is.

ROUTER Hírközlési számítógép a körzeti irányító központ LAN hálózatát kapcsolja össze a távoli MACC, APP, TWR és légvédelmi harcálláspontokkal. A felhasznált adatátviteli előírás lehet szinkron HDLC, X-25 vagy TCP/IP.

Az irányítóteremben vannak elhelyezve a következő munkahelyek:

RDP Rádiólokátor jeleket feldolgozó és ábrázoló rendszer. Képernyőjén ábrázolja az érdekelt légtérben tartózkodó célok navigációs, azonosítási és egyéb fontos adatait. Több változata lehetséges a légiforgalmi irányítás és a légvédelem alkalmazási szintjétől és módjától függően.

Alapfunkciói:

- célkijelzés beállítása
- repülésitervek és a tervezett útvonalak ábrázolása, adatkiválasztás a repülési állapot és repülésiterv alapján
- adatválasztás meghatározott kritérium alapján

- térképek réteges ábrázolása

Felhasználási közeg: MULTIWINDOW és MULTISCREEN

Konfliktus helyzetek kezelése:

- veszélyes megközelítés, repülésiterv be nem tartása, berepülés tiltott vagy meghatározott légtérbe,
- szektorok közötti koordináció,
- kíségető funkciók: távolságmérés célok és pontok között, céleléréséhez szükséges idő, a megtett- és a jelenlegi paraméterek alapján meghatározható jövőbeni útvonal ábrázolása.
- célkövető és célravezető vezérlő rendszerek funkciói.

EDD Procedurális repülésirányítási rendszer, a polgári és katonai repülési terveket elektronikus sztríppek formájában ábrázolja az átrepült pontok sorrendjében, változható formátumban, beállítható megkülönböztetéssel és elnevezéssel a monitor képernyőjén és a fel/leszállás szerinti sorrendbe állítás lehetőségével. Ezenkívül más adatok feldolgozását is lehetővé teszi, mint pl. légtér kihasználási tervek, repülőtéri foglaltsági tervek stb.

OPL A katonai repülésirányítás operatív tervezését kiszolgáló munkaállomás. Lehetővé teszi az előzetes és operatív repülésitervek, valamint a repülőtéri foglalkozások, tartalék repülőterek betervezését és a repülőtéri műszaki szolgálat üzemképességéről tanúszkodó adatok közvetítését.

FDO Munkahely, melyen a repülésiterv adatok kijavítása és beadása, valamint az AFTN hálózathoz érkezett repülésitervek felvétele megy végbe.

ASLI Repüléstájékoztató és riasztószolgálat ellátására létesített katonai központ (a vész helyzetben megtett lépések és meteo adatok tárolása az AFTN hálózatba).

SIM Repülésirányítási szimulátor polgári és katonai irányítók kiképzésére. A repülések szimulálják a reális repülőgépek aerodinamikus és teljesítmény jellemzőit.

CALLS ICAO előírások és eljárások alapján működő multimédiás angol nyelvoktató rendszer irányítók és pilóták kiképzéséhez.

Zárszó

Elemezve a LETVIS közép- és kelet európai térségben elért sikereit, néhány pozitív tényezőt ki lehet emelni:

a/ a rendszer alkotóinak és a cég menedzsmentjének magas színvonalú felkészültsége,

b/ az optimális „teljesítmény/ár” tényező,

c/ a rendszer piaci megjelenésének optimális időzítése,

d/ a cég a „méretre szabás” elvét gyakorolja rendszerei felépítésénél,

e/ az illetékes polgári és katonai körök céltudatossága és az új technológiák sokoldalú támogatása.

Az első tényező szubjektív és az alkotók szakmai felkészültségének és tapasztalatának függvénye.

Rövid idő alatt bebizonyosodott, hogy a nyugati cégek árpolitikája egyrészt bizonyos monopol helyzetüket, másrészt az ottani bérek magas színvonalát tükrözi. Példa erre a Hughes által gyártott Track-view, melynek az

ára 1993-ban tízszerese volt az azonos teljesítményű LETVIS-nek. Nem csoda, hogy a LETVIS a nyugati hadi piacon nem kívánatos vendég.

A LETVIS megjelenése a hadi piacon nagy meglepetést és bizalmatlanságot keltett, de rövid időn belül bebizonyította, hogy komoly versenytárs.

A LETVIS katonai változatai általános technikai és harcászati szerepük betöltése mellett igazodnak a konkrét, harcfeladat irányítói szinthez és egyébkövetelményekhez, szolgálva így a harcbevétel hatékonyságát.

Bármely termék, tehát a LETVIS sikere sem lehet tartós, ha a gyártó cég elmulasztja figyelemmel kísérni azokat a tényezőket, melyek az adott időszakban és területen terméke iránt megnyilvánulnak. Ezért az ALES cég szemmel kíséri, úgy a légirányítás és légbiztonság szabályait, előírásait, technikai megoldásait mint a hadtudomány és a haditechnika korszerűsítése terén történt fejlődést is. Ezzel párhuzamosan az ALES cég törekszik a piacon elért pozícióját folyamatosan megerősíteni.

Szlovákia és Csehország jövőendő NATO tagsága sok más, főképpen politikai tényezőktől és határozatoktól függ. Nem elhanyagolható azonban a hadsereg komoly felkészültsége az említett területeken sem, amelyhez nagymértékben hozzájárult az ALES cég aktivitása kompatibilis és modern rendszereinek alkalmazásával.

A cikkben megjelent angol rövidítések értelmezése

ACC	Area Control Centre
AFTN	Aeronautical Fixed Telecommunication Network
APP	Approach Control Service
ASLI	Katonai repülőforgalmi információs központ

ASOC	Air Sovereignty Operations Center
CALLS	Computer Added Language Learning System
C ⁴ I ²	Command Control Communication Computer Intelligence and Interoperability
DGPS	Diferential Global Positioning System
EATCHIP	European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Programme
EDD	Electronic Data Display
FIR	Flight Information Region
FRP	Front Radar Processor
FUA	Flexible use of Airspace
GLONAS	Global Navigation System
GPS	Global Positioning System
ICAO	International Civil Aviation Organization
MACC	Military Area Control Centre
RDP	Radar Data Processor
TWR	Tower Control Service

A DTA 50 ADATBÁZIS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI A ZMNE SZOLNOKI REPÜLŐTISZTI FŐISKOLAI KARA KÉPZÉSI RENDSZERÉBEN

Fehér András
főiskolai adjunktus
ZMNE SZRTFK Általános katonai tanszék

A cikk ismerteti a DTA 50 Digitális Térképészeti Adatbázis jellemzőit, alkalmazásának általános területeit, az adatbázis felhasználásának lehetőségeit a ZMNE Szolnoki Repülőtiszti Főiskolai karának képzésében. Igyekszik kielégíteni a képzési folyamatban résztvevők igényeit melyek az oktatás során a térinformatikai rendszerekkel, a digitális térképekkel kapcsolatban felmerültek.

Bevezetés

A főiskolai karunkon folyó képzési folyamatban jelenleg a térinformatikai rendszerekkel kapcsolatos ismeretek oktatása nem önálló tantárgyként van integrálva, ellentétben más felsőoktatási intézményekkel, (BME, DATE, EFE, KÉE, JATE, ELTE) ahol a Térinformatika tantárgy oktatása már hagyományokkal rendelkezik, a tantárgy művelése során jelentős eredményeket ért el, számottevő nemzetközi kapcsolatokat alakítottak ki, a hallgatók és oktatók felkészültségét e téren számos hazai és nemzetközi elismerés tükrözi.

A képzés során a hallgatóink részéről igen nagy érdeklődés jelentkezett a térinformatikai rendszerekkel kapcsolatban, az oktatás feltételei folyamatosan javulnak e téren.

A Magyar Honvédség Térképészeti Hivatala 1997. május 30-án főiskolai karunk számára átadta a Magyar Köztársaság 1:50 000 méretarányú digitális topográfiai térképének 1.0 verzióját (a továbbiakban DTA-50 1.0).

Az adatbázis az 1:50 000 méretarányú katonai térképek sokszorosítási alanyanyagának számítástechnikai feldolgozásával, valamint a Digitális Domborzati Modell és a Geodéziai Adatbázis felhasználásával jött létre.

Elkészítésének célja, hogy egységes platformot biztosítson a különböző országos, regionális, megyei szintű és szakági térinformatikai rendszerek között.

Az adatbázis lehetőséget teremt oktatási célú felhasználásra is, hozzájárulva a hallgatók korszerű felkészítéséhez, ismereteik bővítéséhez.

1. A DTA-50 adatbázis jellemzése

1.1. A DTA-50 1.0 geodéziai és szelvényezési rendszere

1.1.1 Vetületi rendszer

A DTA-50 1.0 vetületi rendszere - az alapjául szolgáló hagyományos katonai topográfiai térképpel megegyezően - a Gauss-Krüger vetületi rendszer. A Gauss-Krüger vetület egy ellipszoidot érintő transzverzális elhelyezésű szögtartó hengervetület.

Alapfelülete a Magyarországon 1953-ban elfogadott Kraszovszkij-féle ellipszoid.

A nemzetközi sávbeosztás az ellipszoidot egymással 6°-os szöget bezáró meridiánokkal határolt ellipszoidikus kétszögekre, vetületi sávokra (zónákra) osztja. Minden vetületi sávhoz a síkon egy-egy koordináta-rendszer tartozik. A koordináta-rendszerek origója az Egyenlítő képen van.

A koordináta rendszer x tengelye megegyezik a kezdőmeridián torzulásmentes képével, pozitív iránya észak felé mutat. Az y tengely az Egyenlítő egyenesként leképződő képe, pozitív iránya kelet felé mutat.

A 6°-os sáv szélességű nemzetközi beosztásban Magyarország területe a 15°-os és 21°-os kezdőmeridiánú, 33. és 34. sorszámú zónákra esik. A negatív előjelű koordináták kiküszöbölésére az origók nyugati irányban 500 000,00 m-rel vannak eltolva. Az egyes önálló rendszerekben értelmezett koordináták egymástól való megkülönböztetését szolgálja az érintett rendszer vezérszámának feltüntetése az y-ordináták előtt. (A vezérszámot a zónaszám határozza meg. Egyjegyű zónaszám esetén azonosak, kétjegyű zónaszám esetén a zónaszám második számjegye a vezérszám.)

Ebben a koordináta rendszerben adottak elsődlegesen a térképi pontok helymeghatározó adatai.

1.1.2. Magassági alapszint

A katonai topográfiai térképek magassági alapszintje - az úgynevezett Balti alapszint, amely a Balti-tenger Kronstadtnál mért középvízszintjéhez viszonyított magasság.

1.1.3. A DTA-50 1.0 szelvénybeosztása

A DTA-50 1.0 a grafikus adatforráshoz igazodva szelvényorientált. A katonai topográfiai térképek szelvényezése a földrajzi fókálózat alapján történik, ahol a trapéz alakú szelvények oldalait a meridiánok és paralellkörök képezik egy-egy szakasza alkotja. A térképszelvények méreteit az 1. számú táblázat mutatja be.

Földrajzi szélességben	Földrajzi hosszúságban
10' 00"	15' 00"

1. számú táblázat

A térképszelvény beosztásának és megnevezésének alapja a nemzetközi 1 : 1 000 000 méretarányú térképek (6° hosszúságban, 4° szélességben) szelvénybeosztása és megnevezése. A nemzetközi 1 : 1 000 000 térképszelvény megnevezésének két összetevője van:

- övek, amelyek jelölése a latin ábécé nagybetűivel történik az Egyenlítőtől számítva északi, illetve déli irányban 4°-onként;
- zónák, amelyek jelölése arab számokkal történik, a 180°-os meridiántól számozva nyugatról kelet felé 6°-onként.

Magyarország az L-33, L-34, M-33 és M-34 térképszelvényekre esik.

Az 1:1 000 000 méretarányú térképszelvény felosztható:

- 144 db 1:100 000 szelvényre, jelölése arab számokkal (1-144) történik.

Továbbá az 1:100 000 méretarányú szelvény felosztható:

- 4 db 1:50 000 szelvényre, jelölése az A, B, C és D nagybetűkkel;

Például: L-34-14-D (1. számú ábra)

L-34				
1	2	3		12
13	A 14 C	B 15 D		24
25	26	27		36
133	134	135		144

1. számú ábra

A térképszelvény megnevezéséhez tartozik a szelvényre eső legjelentősebb helység (tereptárgy, térképi részlet) neve.

1.1.4 Kilométer és fokhálózat

A vetületi km-hálózat a Gauss-Krüger vetület egy-egy zónájában azonos. Minden 6°-os zóna középméridiánja alkotja a koordinátarendszer x tengelyét, az Egyenlítő pedig az y tengelyt. (Az $y=0$ értéket a középméridiánhoz képest 500 km-re nyugatra helyezték át.) A koordinátarendszer É-K-i tájolású.

A kilométer-hálózat vonalai a DTA-50 1.0 szelvényein az 1 : 50 000 méretarányú térképeknek megfelelően kerültek feltüntetésre.

A szomszédos nyugati vagy keleti sáv (zóna) km-hálózatának őrvonalai és értékei a keretvonal külső oldalán vannak feltüntetve, ha az adott térképszelvény a sáv szegély-méridiánjától keletre vagy nyugatra a 0,5°-os átfedősávban található. A keretben a földrajzi fokhálózatot 1'-es közökkel, ezen belül 10" jelöléssel tüntették fel. A földrajzi koordinátákat az alábbi helyeken adták meg:

- a keretben a sarokpontoknál;
- a szelvény középpontjában.

1.2. Felhasznált alapanyagok

1.2.1 Grafikus alapanyagok

A DTA-50 1.0 elsődleges adatforrása az 1 : 50 000-es méretarányú hagyományos katonai topográfiai térkép sokszorosítási eredetije. Kiegészítő grafikus alapanyagként az 1 : 25 000-es méretarányú katonai topográfiai térképek gépnymatai kerültek felhasználásra.

1.2.2. Digitális alapanyagok

Alfanumerikus alapanyagként szolgált a folyamatosan karbantartott Geodéziai Adatbázis (GAB).

Alapanyagként szolgált a Digitális Domborzat Modell, mely kiegészítő adatbázisa a DTA-50 1.0-nak.

1.2.3. Szöveges és numerikus alapanyagok

Kiegészítő szöveges és numerikus anyagként szolgált A Magyar Köztársaság Helységnévkönyve, valamint Magyarország Földrajzinév-tára.

1.3. A DTA-50 1.0 pontossága

A digitális topográfiai térkép pontossága függ:

- a grafikus adatforrás pontosságától;
- a felhasználásra kerülő numerikus adatok pontosságától;
- a rendelkezésre álló hardver felbontó- és feldolgozó-képességétől
- a digitális technológiában alkalmazott adat-átalakítások és feldolgozások pontosságától.

1.3.1. Az adatforrás pontossága

Az adatforrásként használt térképeknél a pontosság jellemzésére a következő két mérőszám került alkalmazásra :

- a Gauss-féle négyzetes középhiba;
- a megengedett maximális hiba, amely a megadott középhiba kétszerese.

(A megengedett maximális hibaértéket nem lehet túllépni.)

Gauss-féle középhiba:

(1)

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{k} \cdot \sum_{i=1}^k \varepsilon_i^2}$$

ahol:

- μ = a középhiba
 ε_i = elemi helyzeti hiba
 k = a figyelembe vett elemi hibák száma
 i = változó pozitív egész szám

A térkép matematikai alapját képező elemek helyzeti hibái nem haladják meg a 2. számú táblázatban közölt értékeket. A térképen ábrázolt elemek eltéréseit mindig a legközelebbi vízszintes alapponthez kell viszonyítani. Az eltérések alapján számítható középhibák megengedett értékeit a 3. számú táblázat tartalmazza.

Térképi méret	Középhiba a térkép ma.-ban [mm]
keretvonal	$\pm 0,2$
térképszelvény átlója	$\pm 0,3$
geodéziai alappontok	$\pm 0,1$

2. számú táblázat

Térképi elem	Középhiba a grafikus alapanyag ma.-ában [mm]
jól azonosítható állandó terepelemek	$\pm 0,3$
kevésbé jól azonosítható terepelemek	$\pm 0,5$
fotogrammetriai illesztőpontok kivetített képének viszonya a felszerkesztett ponthoz	$\pm 0,3$

3. számú táblázat

További ábrázolási követelmények:

Erdős-hegyes és homokbuckás területeken a fenti eltérések másfélszeres értékűek lehetnek (max. 0,75 mm).

Az 1 : 50 000 méretarányú topográfiai térképeken - ahol nem alkalmaztak a jelkulcsi ábrázolásnál helyzeti eltolást - az állandó jellegű határoló vonalak vízszintes helyzeti középpontjában abszolút értéke a legközelebbi alapponthoz és a derékszögű hálózat vonalaihoz viszonyítva nem nagyobbak 0,5 mm-nél.

A növényzet és a talajfőlésegek határoló vonalai vízszintes helyzetének középpontjai nem nagyobbak 1 mm-nél.

A magassági alappontokra és pontokra megengedett eltéréseket a 4. számú táblázat tartalmazza.

Térképi elem	Grafikus alapanyag középpont [m]
háromszögelési és szintezési alappontok	$\pm 0,25$
terep magassági pontok (kóták)	$\pm 1,0 - 2,5$

4. számú táblázat

A szintvonalak méterben megadott helyzeti hibáira vonatkozó hibahatárokat az 5. számú táblázat tartalmazza. Fedett terepen az eltérések másfélszeresek is lehetnek.

Terepjelleg, lejtőszög		
sík, alföldi 0° - 2°	szeldelt, buckás 2° - 6°	hegység > 6°
± 3 m	± 4 m	A szintvonalak száma összhangban van a tetőpont és völgytalp közötti magasság-különbséggel a megírt magassági pontokkal

5. számú táblázat

1.3.2. Az adat-átalakítás, feldolgozás és végtermék pontossága

Az átalakítás különböző módjai (szkenelés, interaktív digitalizálás, automatikus vagy félautomatikus interaktív vonalkövetés) során fellépő hibák nagysága - a felhasznált

alapanyaghoz viszonyítva - nem lépi túl az eredeti grafikus ábrázolásnál megadott hibahatárokat. Ebből adódóan a DTA-50 pontossága:

(2)

$$h_a = 2 * \mu$$

$$h_{\max}^2 = h_a^2 * h_f^2$$

$$h_f \leq h_a$$

(3)

$$h_{\max} = \sqrt{2 * h_a^2}$$

(4)

ahol:

h_a = az alapanyag maximális hibája

h_f = a feldolgozás maximális hibája

$h_{\max}$ = a DTA-50 1.0 maximális hibája

μ = az alapanyag középhibája

A fenti értékek nem érvényesek a térkép matematikai alapját képező elemekre, melyeknél a számítástechnikai eszközökkel generált elemek nem rendelkeznek hibával (kilóméter-hálózat, szelvénykeretek), valamint a GAB-ból beépített pontokra, melyeknek pontossága 0,1 m a terepen.

A fenti pontosságok a technológiai eljárások közötti ellenőrzésekkel lettek biztosítva.

1.4. A DTA-50 1.0 fogalmi adatmodellje

1.4.1. A DTA-50 1.0 elemei

A DTA-50 1.0 elemei az alábbi négy típusba sorolhatók:

1. pontszerű objektum,
2. vonalas objektum,
3. felületi objektum,
4. névjegy.

A DTA-50 1.0 elemeinek listája az elemtáblázatban¹ (3. fejezet) található. Az elemek köre csak a Magyarországon előforduló objektumokra terjed ki. A táblázat összeállításának alapját a Katonai digitális topográfiai térképek általános követelményei című (MSZK-1066) szabvány - a továbbiakban KDTT szabvány, valamint érvényben lévő jelkölcsök és utasítások képezik.

1.4.2. A DTA-50 1.0 elemeinek kapcsolata

A DTA-50 1.0 elemeinek (pont, vonal, felület) kapcsolata megfelel a KDTT (MSZK-1066) szabványnak. A DTA-50 1.0 elemei között az alábbi kapcsolatok vannak:

- szomszédsági kapcsolat;
- illeszkedési kapcsolat;
- sziget kapcsolat.

Ezek segítségével írható le az elemek kapcsolódása.

Mindhárom elemtípus között az alábbi illeszkedési feltételek teljesülnek:

- **pont - vonal kapcsolat**
 - ha a pontszerű elem beszűrési pontja egy vonalra vagy metszéspontra esik, az csomópont;
- **vonat - vonat (csomópont) kapcsolat**
 - az azonos elemkódokkal rendelkező más nyomvonalú vonalas elemek találkozásánál csomópont keletkezik, az elemek csomóponttól csomópontig egységet képeznek;
- **vonat - felület kapcsolat**
 - a vonat és a felületet reprezentáló poligon találkozásánál csomóponti kapcsolat létesül, a közös vonalszakasz egybeeső;
- **felület - felület kapcsolat**
 - felületek szomszédsági és sziget kapcsolatánál átfedés, a közös határvonalnál hézag nem fordul elő, azaz a közös határvonalak egybeesnek.

A rajzelemeknek, amelyek ugyanazon geometriai vonalon haladnak, a vektorizálás után is egybeesnek.

1.4.3. Attribútum táblák

A DTA-50 1.0 nem tartalmaz attribútum táblákat. A DTA-50 1.0 elemeihez kapcsolandó attribútum táblák létrehozásánál ajánlottak a KDDT (MSZK-1066) szabvány M2 mellékletében definiált attribútum táblák.

1.5. DTA-50 1.0 tartalmi leírása

1.5.1. A DTA-50 1.0 kategóriái

A DTA-50 1.0 elemei kategóriákba vannak csoportosítva. Ez a beosztás a bővíthetőség és a leválogathatóság lehetőségét szolgálja. A kategóriák felosztása az angol ábécé nagybetűivel jelölve a következő:

B Alappontok	I Domborzat
C Települések	J Növényzet és talajok
D Létesítmények	K Határok
E Közlekedés	Keret és kilométer-hálózat
F Hidak, átkelőhelyek	Település nevek
G Vízrajz	Vízrajzi nevek
H Vízi és hajózási létesítmények	

A betűjellel nem jelölt kategóriák külön állományként csatlakoznak a DTA-50 1.0-hoz.

A kategóriákon belül az elemkódok 5-6 karakterből állnak. Az első karakter a kategória betűjelzése, a következő 4 karakter numerikusan sorszámozza az elemet, a hatodik karakter (ha van) hasonló elemek megkülönböztetésére szolgál.

1.5.2. A DTA-50 1.0 elemeinek jellemzői

A térképi elemek típusuktól függően a következő módon lettek vektorizálva:

ELEM TÍPUS	DIGITALIZÁLÁS MÓDJA
Egyezményes jellel ábrázolt vonalas elemek	tengelyvonalon (Pl.: utak, vezetékek)
Felületi elemek	határoló vonal mentén zárt poligonként (tó, erdő, méretarányban ábrázolható folyó)
Méretarányban kifejezhető pontszerű objektumok	határoló vonal mentén zárt poligonként (épület méretarányban)
Méretarányban nem kifejezhető pontszerű objektumok	beszűrési pontra illesztett cellával (templom, áteresz)
Vonalas elemek melyek másodlagos attribútumot hordoz(hat)nak	az eredeti elem digitalizált vonalán (szakadó part)
Szöveges elemek	A DTA-50 1.0-hoz kifejlesztett betűkészletekkel

6. számú táblázat

A digitalizálás módja, illetve a másodlagos attribútumot hordozó elemek az adatbázis 1. számú mellékletében találhatók meg.

1.6. Mennyiségi adatok

A DTA-50 1.0 mérete az ország teljes területére ~ 1 Gbyte,
egy átlagos információ sűrűségű szelvényre ~ 3,1 Mbyte

1.7. A DTA-50 1.0 adatformátuma

A DTA-50 1.0 Intergraph és DEC hardver eszközökön, Intergraph és Laser Scan szoftver környezetben lett elkészítve. Az alap adatformátuma az Intergraph szoftverek által meghatározott formátum (.DGN). Lehetséges az Intergraph rendszer által ismert más GIS rendszerek szerinti adatformátumra való konvertálás is (pl. .DXF, LaserScan, kidolgozás alatt van az ARC/INFO és a MAPINFO adatformátum).

1.8. A DTA-50 1.0 általános alkalmazási területei

Országos, regionális, megyei és szakági információs rendszerek térképi alapja, amelynek segítségével a különböző leíró adatbázisok integrálhatóak. Segítségével azonos

térinformatikai alapstruktúra alakítható ki a helyileg és szervezetiileg különálló rendszerek között, megkönnyítve ezzel az adatcserét, a szakmai együttműködést.

2. A DTA-50 1.0 .DWG, .DXF rétegtáblázata (részlet)²

Kategóriák	Réteg	Tartalom
B-Alappontok	1	B-ALAPPONTOK
C-Települések	2	C-VÁROSOK
	3	C-FALVAK
	4	C-LAK ÖBJEKTUM
	5	C-SPORTPALYA
	6	C-SZAKKRAJIS ÖBJE
	7	C-TÖRNYÖK ROMOK
	8	C-TÉNYITKEZÉS
	9	C-KASTÉLYOK
D-Létesítmények	10	D-GYÁRAK
	11	D-BANYÁSZAT

7. számú táblázat

3. A DTA-50 1.0 elem táblázata (részlet)²

Kód	Megnevezés	Típus	Réteg	Szín	Stílus	Vast.	Más- od.	Digitalizálás i mód	Cella kód	KDDT kód
B0101	Háromszögelési pont	POINT	1	-	-	-	0	Pontszerű objektum	B0101	AC01
B0201	Háromszögelési pont halmon	POINT	1	-	-	-	0	Pontszerű objektum	B0201	AC05

8. számú táblázat

4. A DTA-50 1.0 file név konverziója

A file-ok nevének első öt karaktere a szelvény megnevezésére utal. A file neve a következő alakú:

xnnny_zz.qqq

ahol:

x az övre, illetve a zónára utaló betű (a, b, c, d)

zóna	33	34
öv		
M	a	b
L	c	d

9. számú táblázat

- nnn a szelvény száma, elértet nullákkal háromjegyre bővítve
 y a szelvény betűjele
 _zzz a kategória, illetve egyéb információkat hordozó karakterek (az adatállomány formátumától függ)
 qq q a formátumnak megfelelő kiterjesztés

Például az L-34-14-D szelvény alapformátumú (MGE) adatállományának neve:

d014d_c.dgn

vagy ugyanezen szelvény neve AutoCAD formátumban:

d014d_.dwg.

5. A DTA-50 1.0 felhasználásának lehetőségei a főiskolai karon

Az adatbázis oktatási célú felhasználásának lehetőségét egyrészt az adatbázis belső struktúrája, másrészt az az adatbázis futtatásához szükséges szoftver (pl.: AutoCAD) által biztosított lehetőségek adják, melyek a következők:

1. A térképi információk szelektív megjelenítését biztosítja az adatbázis felépítése, az információk a megfelelő főliák ki/be kapcsolásával leválogathatók, így lehetségesek az adott feladatnak legjobban megfelelő térképek, feladatlapok előállítása.
2. Az adatbázis megfelelő karbantartásával, felújításával a térképi információk a "legfrissebb" állapotát tükrözik a valós terepnek, egyszerűbbé válik a térképek felújítása.
3. A térképre rajzolandó egyezményes jelek digitalizáló tábla, vagy az előre elkészített típus rajzfile kiválasztásával a térképszelvényekre egyszerűen berajzolhatók.
4. Lehetséges az egyes tereprészletek háromdimenziós megjelenítése, ez a repülési feladatok előkészítésének hatékonyságát javíthatja.
5. Egyszerűen megállapítható az adott tereppontból be nem látható területek nagysága, alakja.

6. Útvonaloptimalizálási feladatok gyorsan és egyszerűen végrehajthatók.

7. Folyók, tavak gátszakadása esetén meghatározható az adott vízállás mellett a vízzel elöntött területek nagysága, ezáltal az adott területen levő objektumok, harceszközök, személyi állomány veszélyeztetettségének mértéke.

8. Megfelelő vetítő eszközzel az adott tereprészlet az oktatás során kivetíthető, az adott tananyag szemléltetése egyszerűen megoldható.

9. Elektronikus hálózatok megléte esetén lehetővé válik a térképi információk gyors továbbítása az információkat felhasználók felé.

10. A nézőpont megválasztásával a három dimenziós szelvények szakaszosan, vagy folyamatosan szemléltethetők, a repülési feladatok előkészítésének hatékonyságát javítva.

11. A térkép színei, árnyalása beállítható.

12. Az adott térképrészlethez beilleszthetők fényképi (video) információk.

13. Az adatbázis segítségével tetszőleges méretarányú szelvények előállíthatók.

Az említett lehetőségek vázlatosan kerültek felsorolásra, mellőzve az adatbázis felhasználásának egyéb lehetőségeit. A lehetőségek teljessé tétele a megfelelő hardver- és szoftver erőforrások folyamatos - az anyagi lehetőségeket figyelembe vevő - bővítésével, az oktatók felkészültségének emelésével oldhatók meg.

Lábjegyzet:

¹ az adatbázis teljes elemtáblázatát a műszaki leírás 1. számú melléklete tartalmazza.

² az adatbázis teljes rétegtáblázatát a műszaki leírás 1. számú melléklete tartalmazza.

Felhasznált irodalom

[1] ADTA-50 1.0 műszaki leírása.



MŰSZAKI TUDOMÁNYI ROVAT

Rovatvezető: Dr. Gedeon József

Rovatszerkesztők: Dr. Szabó László

Dr. Szabolcsi Róbert

Vörös Miklós

Timár Szilárd



MŰSZAKI TUDOMÁNYI ROVAT

Fővárosi: Dr. János János

Fővárosi: Dr. János János

Dr. János János

Dr. János János

Dr. János János

A MAXIMÁLIS TELJESÍTMÉNYŰ PONT KÖVETÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI NAPELEMES RENDSZEREKBEN 1

Szegedi Péter mérnök főhadnagy
főiskolai tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Szolnoki Repülőtisztai Főiskolai Kar
Fedélzeti Rendszerek Tanszék

A napelemes rendszerekben alkalmaznak általában egy elektromos áramkört, akkumulátort és napelemet. Az elektromos áramkör állítja elő minden időpillanatban az optimális feszültség- és áramértéket az akkumulátor és a felhasználó számára. Ezen rendszerek legdrágább eleme a napelem, ezért jogos követelmény a napelem optimális teljesítményű üzemének biztosítása, és a minél jobb hatásfok elérése. A párhuzamos energiakezelés elvét kitagadva a hatásfok-javulás vizsgálatára lehetőséget láttunk egy polaritásváltóval megépített MPPT áramkör megépítésére. Ennek a megvalósítását és mérési eredményeit több cikkem keresztül mutatom be.

BEVEZETÉS

A földre lesugárzott napenergia elegendő lenne arra, hogy fedezze a jelenlegi energiafelhasználás sokszorosát. Kézenfekvő, hogy ezt a lehetőséget, mint energiaforrást hasznosítsák. A napenergiát napelemek segítségével alakítják át elektromos energiává. A jelenlegi napelemes technika igen drága, és a napelemek hatásfoka nagyon alacsony, 15-23%, esetleg 28%. Az űrbeli alkalmazásoknál mégis szinte kizárólagosan ezt alkalmazzák energiaforrásként, de bárhol is alkalmazzák mindig felmerül igényként az adott méretű napelemből kivehető maximális energia kinyerése.

A napelem áram-feszültség karakterisztikán mindig található egy maximális teljesítményű pont (Maximum Power Point). A széles tartományban mozgó maximális teljesítményű pont követése szükséges követelménye a maximális villamosenergia kinyerésének. A követésre sok bonyolult, komoly hardver és szoftver igényekkel bíró számítógépes követőrendszereket fejlesztettek már ki. A költségek optimalizálása, a még

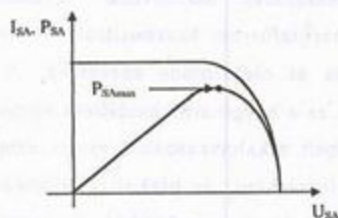
kisebb méret, és a súly csökkentése érdekében az eszközök fejlesztésének iránya az egyre jobb hatásfokú és egyre egyszerűbb megoldások keresése felé irányul.

1. MAXIMÁLIS TELJESÍTMÉNYŰ PONT

1.1. A maximális teljesítményű pont követésének néhány lehetősége

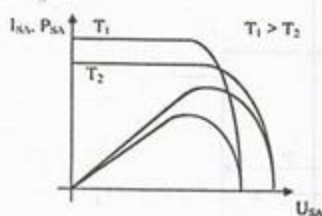
A napenergiát hasznosító rendszerek legdrágább eleme a napelem. Fizikai mérete a rendszer teljesítményének meghatározó eleme. A rákapcsolt fogyasztók energiaigényét azonban csak megvilágítása idején képes biztosítani.

A maximális teljesítményű pont helyét a napelem degradációja, hőmérséklete, illetve a besugárzás szöge és intenzitása erősen befolyásol. Az 1. ábrán látható a napelem-tábla áram-feszültség karakterisztikája és a kimenő teljesítmény-feszültség karakterisztikája.

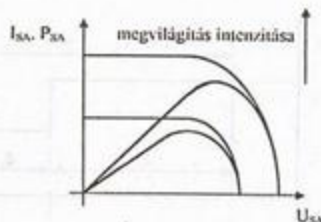


1. ábra
A napelem I_{SA} - U_{SA} és P_{SA} - U_{SA}
karakterisztikája

Ezek a nem lineáris karakterisztikák a hőmérséklettől és a megvilágítástól erősen függenek, ez a 2. és 3. ábrákon látható.



2. ábra
A napelem I_{SA} - U_{SA} és P_{SA} - U_{SA} karakterisztikája a cellahőmérséklet függvényében

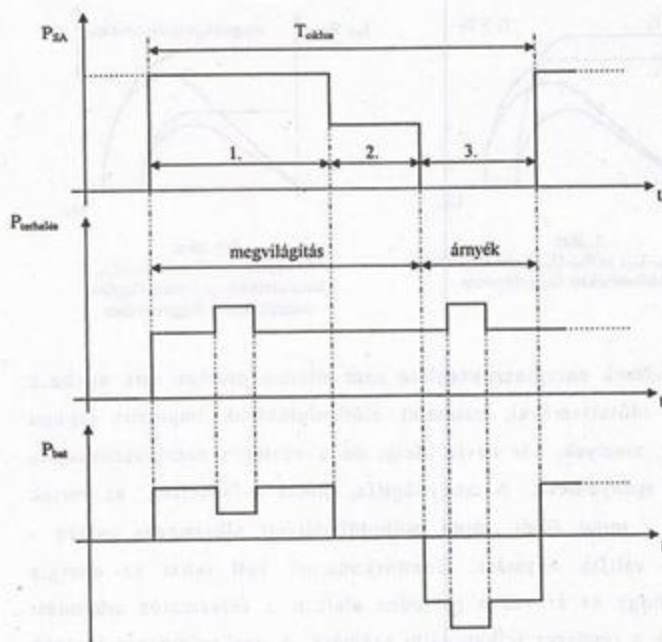


2. b. ábra
A napelem I_{SA} - U_{SA} és P_{SA} - U_{SA} karakterisztikája a megvilágítás intenzitásának függvényében

A terhelések energiaszükséglete nem minden esetben esik egybe a megvilágítás időtartamával, valamint előfordulhatnak impulzus jellegű terhelések is, amelyek, bár rövid ideig, de a névleges energiaszükséglet többszörösét igényelhetik. A megvilágítás, illetve a "sötétség" az esetek többségében - mind földi, mind műholdfedélzeti alkalmazás esetén - periodikusan váltják egymást. Gondoskodnunk kell tehát az energia tárolásáról, hogy az árnyékos periódus alatt is a folyamatos működést biztosíthassuk a rendszer felhasználói számára. A gyakorlatban a legtöbb esetben akkumulátorokat használnak, melyek a terhelések teljesítmény változásait, esetleges csúcsigényeit is kielégítik.

A megvilágítás és a "sötétség" ideje a műholdfedélzeten jól számítható a pályaadatok alapján. Földi viszonyok között ez a ciklusidő állandó (24 óra), de az időjárást komoly kockázati tényezőnek kell tekinteni. A ciklusidő, illetve az ehhez illeszkedő energiaigény ismeretében kiszámítható egy ciklus maximális energiaszükséglete. Például egy ciklusidő teljesítményigényeit szemlélteti a 3. ábra.

1. A napelem tábla MPPT-ben működik
2. Biztonsági időtartalék
3. Árnyékos ciklusidő rész



3. ábra

A napelem és a felhasználók teljesítményének egy lehetséges időciklusa

$$P_{\text{felhasználók}} \cdot T_{\text{ciklus}} = P_{\text{SAMPPT}} \cdot T_{\text{megvilágítás}} \quad (1.1)$$

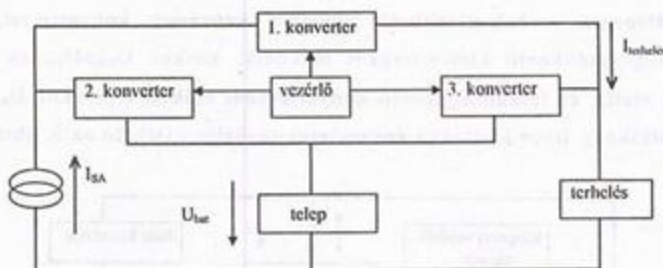
Ezt az energiát (a 3. ábrán látható) a megvilágítás ideje alatt kell a napelemből kinyerni.

Anyagi megfontolások alapján a napelem méretét minimalizálni kell. A megvilágítás időszakában minél tovább a maximális munkapontban működik a napelem, annál inkább minimalizálható a napelem-tábla mérete

az adott energiaszükséglet figyelembevételével. A 3. ábrán látható módon biztonsági időtartalék ráhagyása szükséges az előforduló veszteségek miatt. Az energiaellátó-rendszer megbízhatósága miatt nem lehet azt a kockázatot vállalni, hogy a megvilágítás időszakában mindvégig maximális munkapontban működjön a rendszer, ezért megfelelő méretű biztonsági időtartalékot kell figyelembe venni a napelem-tábla méretezésnél (5-10%).

A napelem maximális munkapontban történő üzemeltetéséhez feszültségét (U_{SA}), vagy áramát (I_{SA}) szabályozzák. Általában az egyszerűség miatt a feszültséget szabályozzák. Ezt egy olyan áramkör alkalmazásával érik el, ami lehetővé teszi a maximális teljesítményű pont követését. Ezt Maximum Power Point Tracking-nek nevezik (MPPT). A módszer alapjait A.F.Boehringer és J.Hausmann írták le.

A '70-es években jelent meg Y. Robin - Jouan és A. Poncin tudományos munkája a háromszög koncepció. A publikációban kifejtették, hogy a telep, a terhelés és a napelem szétválasztására van szükség. Egy ilyen "háromszög koncepciót" mutat be a 4. ábra.



4. ábra
Klasszikus háromszög koncepció

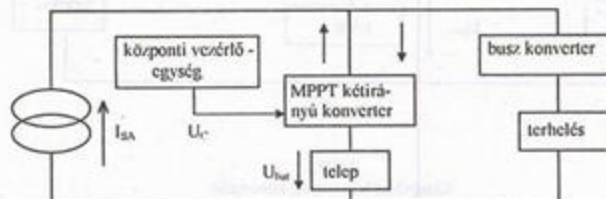
A háromszög szerkezet konverterei az elektromosenergiát átjuttatják a napelem-táblából a terhelésre, a telepről a terhelésre, vagy a napelem-

táblából az akkumulátorba. Ezt három konverter végzi (4. ábra). A konvertereket egy központi vezérlő egység irányítja a terhelés teljesítményigényének, az akkumulátor töltöttségi fokának és a napelem megvilágításának a függvényében. Az 1. konverter a napelem és a terhelés közötti kapcsolatot biztosítja. A 2. konverter az akkumulátor töltéséért, a 3. konverter az akkumulátor kisütéséért felelős. A napelem optimális üzemét úgy biztosítják, hogy kapcsolatain mindig az adott maximális teljesítményű ponthoz tartozó feszültséget állítják be a központi vezérlő egység utasításainak megfelelően. [1] [2] [3]

A maximális teljesítményű pont követésének többféle alternatívája létezik. A kutatások újabb és újabb megoldásokhoz vezetnek. Ezek közül néhány:

1.1.2. Digitális "hill-climbing" MPPT

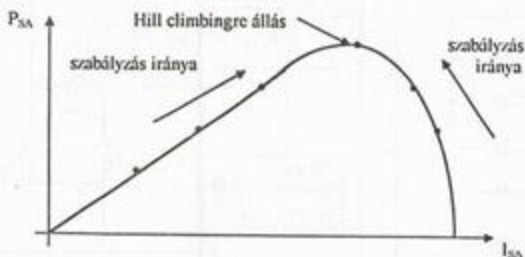
A háromszög koncepciónál alkalmazott (4. ábra) 2-es, 3-as konverter - amelyeknek a feladata az akkumulátor töltésének, illetve kisütésének szabályozása - helyettesíthető egyetlen kétirányú konverterrel, ami feszültségesőkentő konverterként működik, amikor $U_{SA} > U_{bat}$ (a töltés ideje alatt), és feszültségnövelő konverterként működik, amikor $U_{bat} > U_{SA}$ (kisütéskor). Ilyen kétirányú konverteres szabályzó látható az 5. ábrán.



5. ábra

Kétirányú konverterrel megvalósított MPPT

Az U_C vezérlő jelet a napelem teljesítménye és annak deriváltja határozza meg. A sajátossága, hogy egy úgynevezett hill climbing (görbemaximumra állás) algoritmus szerint kerül értelmezésre a 6. ábrán látható módon.



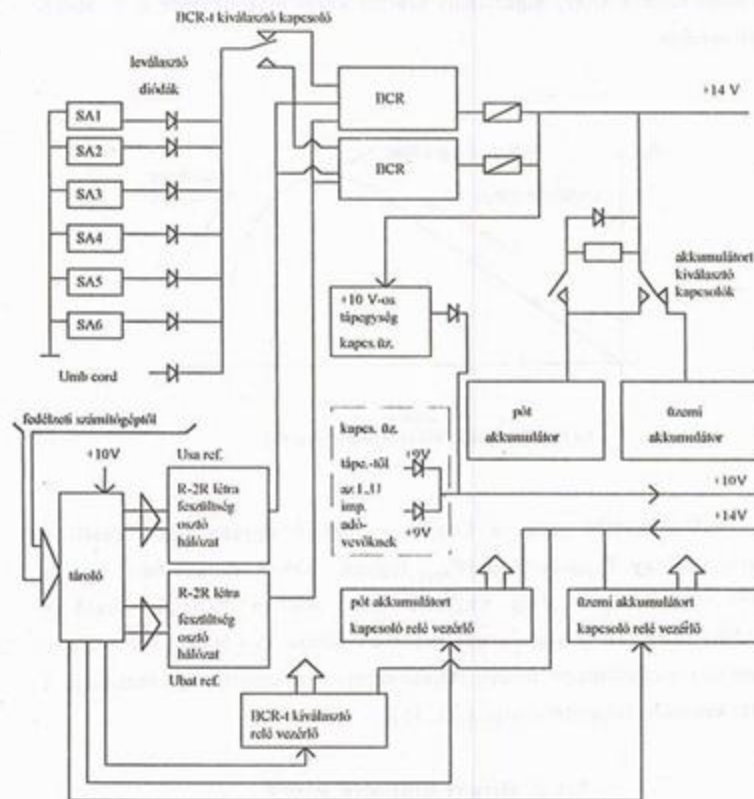
6. ábra
Az MPPT beállítása hill climbing módszerrel

Az U_C vezérlő jellel a központi vezérlő egység úgy vezérli a konvertert, hogy $P_{\text{SAMPPPT}} = P_{\text{töltő}} + P_{\text{buzs}}$ legyen. Abban az esetben, ha a terhelés (P_{buzs}) rövid ideig nagyobb lesz, mint a P_{SAMPPPT} , akkor a töltőteljesítménynek ($P_{\text{töltő}}$) "negatívvá" kell válnia. A kétirányú konverter U_C hatására megváltozott irányú teljesítményt fog kezelni, így biztosítja a terhelés megnövekedett teljesítményigényét. [3]

1.1.3. Direkt digitális MPPT

Digitális MPPT-t alkalmaznak az AMSAT Phase III B műhold tápellátó rendszerében. A rendszer vezérlését egy számítógépre bízták, ami különböző perifériákon keresztül figyeli a napelem áramát és feszültségét, az akkumulátor feszültségét, hőmérsékletét, a sugárzás

intenzitását. Ezeknek és a beprogramozott környékfeszültség értékeknek megfelelően vezérli a napelemre kapcsolódó konvertert. Az AMSAT Phase III B műhold tápellátó rendszerének blokkvázlata látható a 7. ábrán.

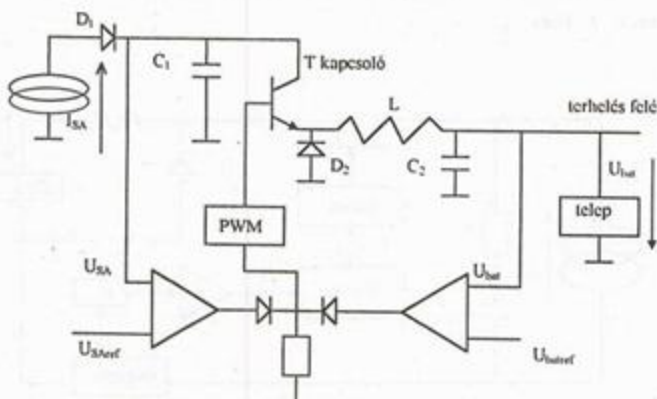


7. ábra A Phase III B tápellátó rendszerének vázlata

Amíg U_{bat} nem egyenlő U_{batref} -el, addig a számítógép a figyelt paraméterek és az előre megírt szoftver alapján MPPT-be vezérli a rendszert, a BCR (akkumulátor töltés szabályzó) a bemenő feszültségét stabilizálja. Ha $U_{BAT} = U_{BATref}$, akkor a BCR működésében állapotváltozás

következik be, a kimenő feszültségét stabilizálja, a rendszer nem működik MPPT-ben.

A BCR két referenciajelet kap. Az egyik a napelem referenciafeszültsége, a másik az akkumulátor referenciafeszültsége. A referenciajeleket a vezérlő áramkörből R-2R létrás ellenállás osztó hálózaton keresztül kapja meg az akkumulátor töltését szabályzó egység. A BCR egységen belül egy PWM (impulzus szélesség modulátor) egységbe jutnak a referenciajelek, ezeknek és a telep feszültségének megfelelően az impulzus szélesség modulátor kimenő jelének a kitöltési tényezője vezérli a T kapcsolót, ez a 8. ábrán látható.



8. ábra
A BCR egység egyszerűsített áramköri vázlata

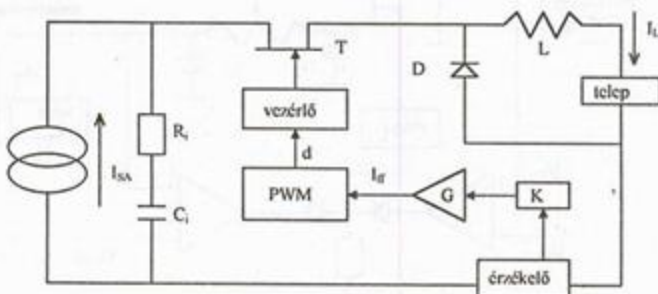
A BCR egység az üzemi vagy a pót akkumulátor töltését vezérli. A túltöltés megakadályozható, mert a teljes feltöltöttséghez tartozó feszültség minden akkumulátor hőmérsékletnél könnyen számolható és az akkumulátor töltő szabályzó referencia D/A áramkörével beállítható. Továbbá az alkalmazott soros szabályzás miatt az akkumulátor töltése

megszakítható, vagyis a soros szabályzó eszköz lekapcsolja az akkumulátort a napelemről nagy megvilágítás és/vagy kis terhelés esetén.

Az űrbeli alkalmazás körütekintő tervezést, többszörös redundanciát követel. A világűr káros sugarai főleg a CMOS áramkörökbe becsapódó α részecskék miatt veszélyesek, mert meghamisítják a tárolt információt. [4]

1.1.4. Buck konverteres analóg MPPT

Egyszerű felépítése szembetűnő az előzőekhez képest. Egy feszültségsökkentő (Buck) konverterrel valósítják meg, de bármely ismert konverter felhasználható az energiaforrás teljesítménymaximumon való tartására, 9. ábra.



9. ábra
Buck konverteres MPPT

Ez a szabályzás a felhasznált konverter kimenő áramának pozitív visszacsatolásán alapul. A szabályzó egy áramkicsatoló sőntelemből és egy G erősítésű áramerősítőből áll, ami egy hibajellel (I_{err} -el) vezérli az impulzus szélesség modulátort. A hibajel a kívánt és valóságos kimenő feszültség közötti különbségből adódik. A PWM kimenő jelének kitöltési

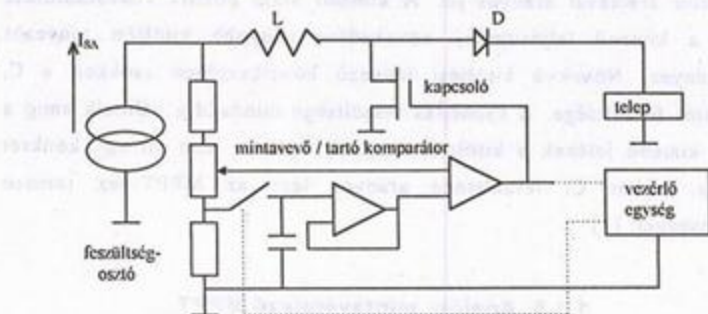
tényezője (d) vezérli a T tranzisztort. A PWM bemenetén lévő I_{rr} hibajel a konverter áramával arányos jel. A kimenő áram pozitív visszacsatolása miatt a kimenő teljesítmény növekedése nagyobb kitöltési tényezőt eredményez. Növekvő kitöltési tényező következtében csökken a C_i kapacitás feszültsége. A kapacitás feszültsége mindaddig változik amíg a PWM kimenő jelének a kitöltési tényezője (d) be nem áll egy konkrét értékre, ekkor C_i feszültsége arányos lesz az MPPT-hez tartozó feszültséggel. [1]

1.1.5. Analóg mintavételező MPPT

A módszer alapját a maximális teljesítmény tényező, az MPR adja. Az MPR az MPP-hez tartozó feszültség (U_{SAMPP}) és az üresjárási feszültség (U_{SA0}) hányadosa. A földi körülmények között közel állandó értékű, $T=300K$ -n. Ezen az elven működő MPPT látható a 10. ábrán.

$$MPR = \frac{U_{SAMPP}}{U_{SA0}} = 0,86 \quad (1.2)$$

A mintavevő / tartó áramkör a vezérlés hatására mintákat vesz a napelem tábla leosztott feszültségéből, ami eközben terheletlen, mert a konvertert erre az időre a vezérlő egység kikapcsolja. A minták a napelem-tábla üresjárási feszültségével U_{SA0} -al lesznek arányosak. A feladat ezután az, hogy a bemeneti feszültség értéke a mintavett jel értékének $MPR=0,86$ szorosa legyen. A napelem-tábla karakterisztikájának változásával változik a mintavett U_{SA0} értéke is, ennek megfelelően az MPP-hez tartozó feszültség (U_{SAMPP}) korrigálható a bemeneten a kitöltési tényező megváltoztatásával.



10. ábra
Analog mintavételező MPPT

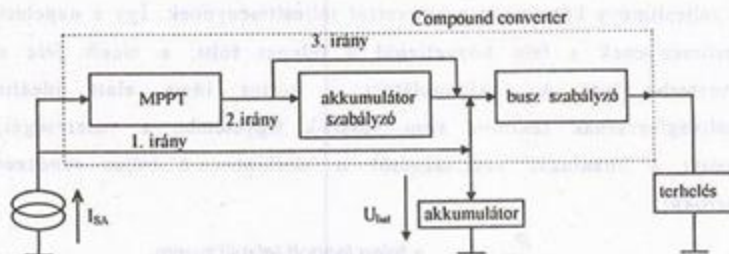
Hátránya ennek a megvalósításnak, hogy az $MPR=0,86$ közelítés csak földi körülmények között érvényes, így olyan esetekben, ahol a környezeti hőmérséklet ingadozás nagy (pl.: világűr) ez az eljárás nem alkalmazható. [6]

1.1.6. Párhuzamos struktúrájú MPPT

Az eddig bemutatott MPPT eljárások közös jellemzője, hogy csak egy úton áramlik a villamos energia a forrás (napelem) és a terhelés között. A párhuzamos energiaátalakító eljárásnál (PPCT) az energiának lehetősége van a forrás és a terhelés között több párhuzamos úton áramolni. (11. ábra) Az ábrán látható, hogy három irányban tud eljutni a napelem energiája a terhelésre:

1. irány: napelem - Busz szabályzó - terhelés
2. irány: napelem - MPPT - Akkumulátor szabályzó - Busz szabályzó - terhelés

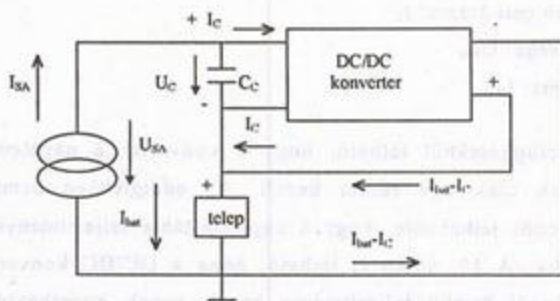
3. irány: napelem - MPPT - Busz szabályzó - terhelés



11. ábra

Párhuzamos felépítésű MPP szabályzós energiacellátás

A PPCT struktúra egyik elvi újdonsága, a párhuzamos elrendezésű MPPT, sematikusan vázolt elvi rajza látható a 12. ábrán. Egy lehetséges megvalósításának áramköri rajza a 15. ábrán látható.



12. ábra

Újszerű elrendezésű MPPT

Az ábrán látható, hogy a napelemmel sorba kapcsolódik a telep és egy kapacitás. A kapacitás a DC/DC konverter bemeneti kapacitása. A DC/DC konverter valósítja meg az MPP követést, és az akkumulátor

töltését. Amikor a kapacitás feszültsége U_c (egyben a DC/DC konverter bemeneti feszültsége is) pl: egyenlő a telep feszültségével, akkor a telepbe jutó teljesítmény kétszerese a konverter teljesítményének. Így a napelem teljesítményének a fele közvetlenül a telepet tölti, a másik fele a konverterbe jut. Az akkumulátort a töltés ideje alatt ideális feszültségforrásnak tekintve nem vesszük figyelembe a veszteségét, valamint a huzalozás veszteségétől is eltekintve a teljes rendszer hatásfoka:

$$\eta_{rendszer} = \frac{P_{ki}}{P_{be}} = \frac{\text{a telep leadott teljesítménye}}{\text{a napelem tábla leadott teljesítménye}} \quad (1.3)$$

$$\eta_{rendszer} = \frac{U_{bat} \cdot I_c + \eta_{\text{átalakító}} \cdot U_c \cdot I_c}{(U_c + U_{bat}) \cdot I_{SA}} = \frac{1 + \eta_{\text{átalakító}} \cdot \frac{U_c}{U_{bat}}}{1 + \frac{U_c}{U_{bat}}} \quad (1.4)$$

A konverter hatásfoka: $\eta_{\text{átalakító}}$

A konverter bementi feszültsége: U_c

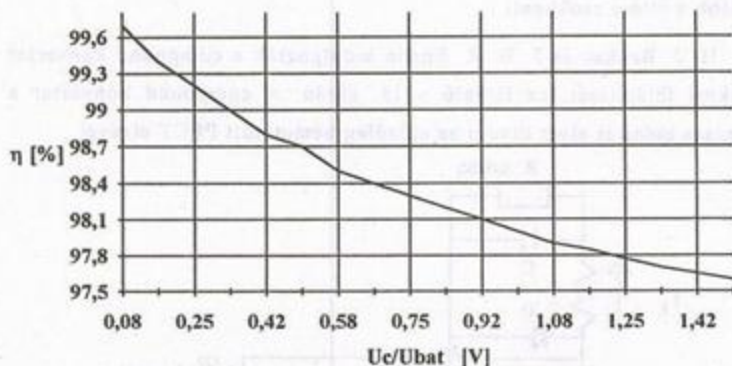
A konverter bementi árama: I_c

A telep feszültsége: U_{bat}

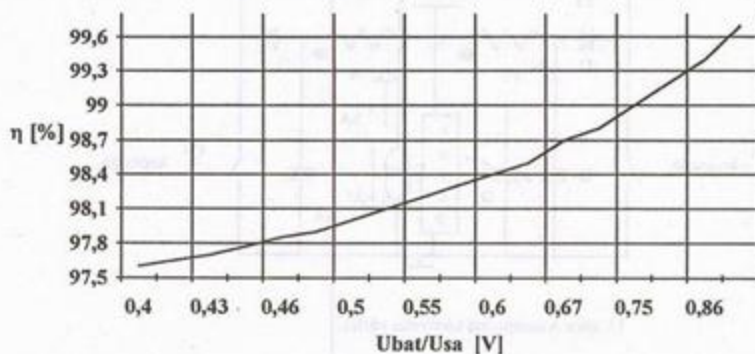
A napelem árama: I_{SA}

Az összefüggésekből látható, hogy a konverter a napelem-tábla teljesítményének csak egy részét kezeli. Az eddigiekben bemutatott konverterek közös jellemzője, hogy a napelem-tábla teljesítményének a 100%-át kezelik. A 12. ábrán is látható, hogy a DC/DC konverter az összteljesítménynél kisebb teljesítményt kezel, ennek következtében a relatív vesztesége csökken. Így az előzőekben ismertetett konverterekkel azonos hatásfoku DC/DC konverter alkalmazása esetén a rendszer hatásfoka nő. [5]

Pl: ha a $\eta_{\text{átalakító}} = 96\%$, és az $U_{\text{bat}} = 12\text{V}$,
valamint az $U_{\text{SA}} = 13\text{--}30\text{V}$ között változik, akkor a rendszer hatásfoka a
13., 14. ábrán látható módon változik.



13. ábra
A rendszer hatásfokának ábrázolása U_c/U_{bat} függvényében

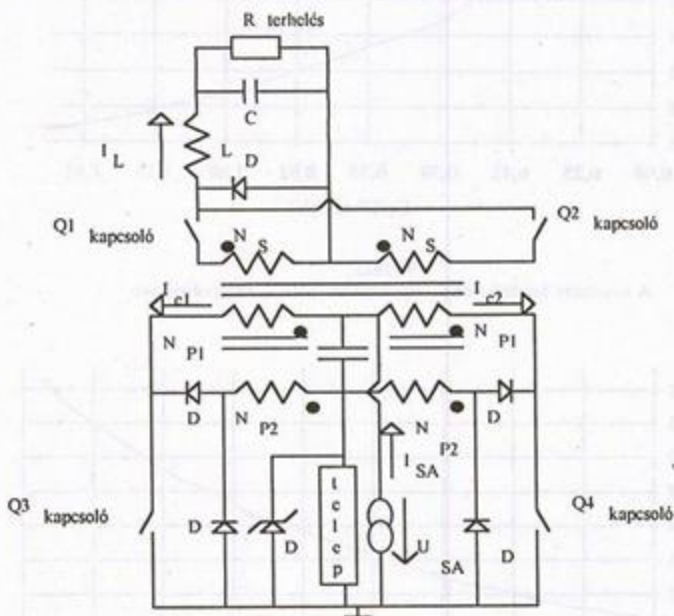


14. ábra
A rendszer hatásfokának ábrázolása $U_{\text{bat}}/U_{\text{SA}}$ függvényében

A karakterisztikákból leolvasható, hogy ha a konverter bemenő feszültsége (U_c) kisebb vagy egyenlő az akkumulátor feszültségével (U_{bat}),

akkor kb 2-3,5%-os hatásfok javulást eredményez ez a módszer. Ha U_c nagyobb mint az U_{bat} akkor a hatásfok javulás kisebb, kb 1,5-2%-os, vagyis ez a módszer a veszteséget, kizárólag a felépítéséből adódóan, legalább a felére csökkenti.

H. J. Beukes és J. H. R. Enslin kidolgozták a compound konverter áramköri felépítését, ez látható a 15. ábrán. A compound konverter a mágneses erősítés elvét ötvözi az előzőleg bemutatott PPCT elvével.



15. ģibra A compound konvertē vāzlatā

Két szabályzó köre van. A Q3 és a Q4 kapcsolók az MPP szabályzást végzik. Egy galvanikus elválasztó fokozat kimeneti diódáit vezérelt kapcsolókra (Q1 és Q2) cserélve a valósítják meg a buszfeszültség szabályozását. [5]

2. Polaritásváltóval felépített MPPT

A párhuzamos teljesítménykezelés elvének a tanulmányozása után lehetőségként merült fel a 12. ábrán látható elvi felépítésből kiindulva a hatásfok javulás vizsgálata. A DC/DC konverter helyébe bármilyen galvanikus leválasztású konverter megfelel. De a galvanikus leválasztású konverterek bonyolult felépítésűek, sok induktivitást, sok vezérelt kapcsolót tartalmaznak. A DC/DC átalakítók közül csak a polaritásváltó konverter felel meg az áramkör azon követelményének, hogy a bemenete és kimenete között polaritásváltás valósuljon meg.

Így egy egyszerűbb felépítésű rendszer megtervezése és megépítése lehetséges a hatásfok-növekedés vizsgálatához. Ilyen egyszerűbb felépítésű rendszernek is van létjogosultsága kisebb műholdak energia-ellátó-rendszerében. Egyszerűbben, jobb hatásfokkal a buszfeszültség szabályozása nélkül valósíthatja meg az MPP követését.

ÖSSZEFOGLALÁS

A napelemes rendszerekben szükséges alkalmazni MPP követést a napelem drága volta és az űrbeli alkalmazásokban gondot okozó többlet teher (több napelem-tábla) elkerülése végett. Megvizsgáltunk néhány - napelemes tápellátó-rendszerekben alkalmazott - MPP szabályozási módszert. A párhuzamos energiakezelés elvét alkalmazó rendszer felépítéséből adódó hatásfok-növekedés lehetősége egy hatásfok-vizsgálat lefolytatására ösztönzött. A H. J. Beukes és J. H. R. Enslin által megvalósított MPP szabályzót bonyolultnak találtuk egy tesztdáramköri hatásfok-vizsgálat lefolytatásához. A mérések elvégzésére egy

polaritásváltóval megépített MPP szabályzót készítettünk. Az áramkör megvalósítását és mérési eredményeit több cikkben keresztül ismertetem.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] D. B. Snyman (MIEEE), J. H. R. Enslin
Simplified Maximum Power Point Controller for PV Installations
23rd IEEE PV Specialists Conference May 1993.
- [2] Solar Energy Research Institute
Basic photovoltaic principles and methods
Van Nostrand Reinhold Company 1984
- [3] W.J.A. Teulings, J.C. Marpinard, A. Capel, D.O' Sullivan
A new Maximum Power Point Tracking system
24TH Annual Electronics Specialist Conference
- [4] Richard Redl, Antal Bánfalvi
Power conditioning system of an international amateur radio satellite
XXXIV. congress of the Institut Astronautical Federation 1993. oct.
- [5] H.J. Beukes, JHR Enslin
Analysis of a New Compound Converter as MPPT, Battery Regulator and Bus Regulator for Satellite Power Systems
24TH Annual Power Electronics Specialist Conference
- [6] Ferenczi Ödön
Kapcsolóüzemű tápegységek
Műszaki könyvkiadó, 1978

The most of solar array systems consist three typical parts such as a solar array, a battery and an electric circuit. The optimum voltage and current are produced for the battery and for the user by the electric circuit. Because of the high price of the solar array, the evident requirements, prescribed for solar array systems are high efficiency and working on optimal power. The paper is recommending a new MPPT electric circuit with the reversing switch and using the principle of parallel power control, which offers maximum efficiency. Electric circuit design will be shown through series of papers. The present one is the first of them.

INSTABIL SZABÁLYOZÁSI RENDSZER STABILIZÁLÁSA ÁLLAPOT-VISSZACSATOLÁSSAL

Dr. Szabolcsi Róbert*, Eszes János**, Dr. Németh Miklós***
*főiskolai adjunktus, **főiskolai tanársegéd, ***főiskolai tanár

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Repüléstudományi Intézet

A szerzők célja összefoglalni a determinisztikus rendszerek négyzetes integrál kritériumon alapuló tervezésére vonatkozó elméleti ismereteket. Az optimális tervezést egy példán keresztül mutatják be. A vizsgált repülőgép instabil, ezért a szerzők a teljes állapot visszacsatolást javasolják a stabilis működés biztosítása érdekében. A cikkben alkalmazott súlyozó mátrixok egyrészt biztosítják a stabilis működést, másrészt alkalmazásuk során a többi minőségi jellemző is megfelelő lesz. Az optimális tervezési probléma megoldása során a szerzők Ljapunov második, közvetlen módszerét alkalmazzák.

1. BEVEZETÉS

A szabályozási rendszerekkel szemben támasztott alapvető követelmény a stabilis működés. A modern repülőgépek manőverezőképességének javítását gyakran az úgynevezett instabil tervezéssel oldják meg. A cikkben vizsgált repülőgép a hosszirányú statikus stabilitás határára tervezett, valamint a dinamikus viselkedését is instabil működés jellemzi.

A klasszikus szabályozástechnikában a dinamikus rendszerek tervezésére és analízisére ún. klasszikus, frekvenciatartománybeli eljárásokat alkalmaztak. A vizsgálati (analízis) és tervezési (szintézis) módszerek kidolgozása Bode, Nyquist és Nichols nevéhez fűződik. Az 1960-as évektől a frekvencia tartományban alkalmazott tervezési és analízis módszereket folyamatosan felváltották az időtartománybeli irányításeleméleti módszerek. A "modern", időtartománybeli módszerek a rendszer állapottól leírására épülnek. Az állapottervezési elmélet kidolgozója és jeles alkalmazója voltak R.E. Kalman és Letov.

2. A NÉGYZETES INTEGRÁLKRITÉRIUM

Lineáris, autonóm szabályozási rendszer állapotegyenletét és a kimeneti egyenletet az alábbi alakban szokás megadni [1, 2, 6] :

$$\dot{x} = Ax + Bu ; y = Cx + Du \quad (2.1)$$

ahol : x állapotvektor, u bemeneti vektor, y kimeneti vektor, A állapotmátrix, B bemeneti mátrix, C kimeneti mátrix és D segédmátrix. Az A , B , C és D mátrixok valós eleműek.

Többváltozós állandó paraméterű irányított rendszer esetében a minimálandó funkcionált az alábbi egyenlettel szokás megadni [6] :

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\dot{x}^T Q \dot{x} + u^T R u) dt \rightarrow \text{Min} \quad (2.2)$$

ahol : Q - pozitív definit (vagy pozitív szemidefinit) diagonális mátrix, R - pozitív definit diagonális mátrix.

Az integrálandó $\dot{x}^T Q \dot{x}$ kvadratikusság alak a minőségi jellemzőkről hordoz információt, míg az $u^T R u$ kvadratikusság alak a költségeket jellemzi [6]. Ezek a tagok skalár mennyiségek, mivel [6] :

$$\begin{aligned} \dot{x}^T Q \dot{x} &= \begin{bmatrix} \dot{x}_1 & \dots & \dot{x}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & q_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & q_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \dot{x}_n \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \dot{x}_1 & \dots & \dot{x}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \dot{x}_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ q_n \dot{x}_n \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^n q_i \dot{x}_i^2(t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

valamint

$$\begin{aligned}
 \mathbf{u}^T \mathbf{R} \mathbf{u} &= \begin{bmatrix} u_1 & \dots & u_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & r_2 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & r_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & r_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} u_1 & \dots & u_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 u_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ r_n u_n \end{bmatrix} = \sum_{j=1}^n r_j u_j^2(t)
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

A (2.3) és a (2.4) egyenletek alapján azt mondhatjuk, hogy a (2.2) integrálkritérium az $x_1^2(t)$ és az $u_j^2(t)$ görbék alatti területet minimálja.

3. AZ ELFAJULT RICATTI - FÉLE MÁTRIX EGYENLET

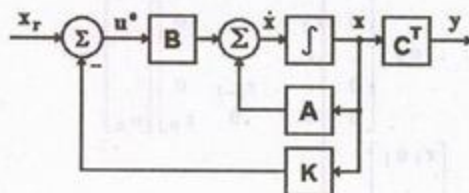
Tekintsük adottnak a vizsgált rendszer állapotegyenletét [1, 2, 5] :

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{B} \mathbf{u} \tag{3.1}$$

Az optimális vezérlési törvény [5] :

$$\mathbf{u}^o(t) = -\mathbf{K} \mathbf{x}(t) \tag{3.2}$$

alakú, amely biztosítja a (2.2) négyzetes integrálkritérium minimális értékét. Az optimálási feladat megoldottnak tekinthető bármely $\mathbf{x}(0)$ kezdeti értékre, ha ismertek a $\mathbf{K}$ mátrix elemei. Az optimális szabályozási rendszer hatásvázlata az 1. ábrán látható. A referencia jel legyen zérus értékű.



1. ábra

A teljes állapotviszacsatolású rendszer hatásvázlata

Helyettesítsük a (3.2) egyenletet a (3.1) állapotegyenletbe. Kapjuk, hogy

$$\dot{x} = A x - B K x = (A - B K) x \quad (3.3)$$

A továbbiakban feltételezzük, hogy az $(A - B K)$ mátrix sajátértékei negatív valós részüek. Helyettesítsük a (3.2) egyenletet a (2.2) egyenletbe. A következő egyenletet kapjuk :

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (x^T Q x + x^T K^T R K x) dt = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} x^T (Q + K^T R K) x dt \rightarrow \text{Min} \quad (3.4)$$

A (2.2) integrálkritérium minimalizálásához Ljapunov második, közvetlen módszerét használjuk fel. Feltételezzük, hogy bármely x állapotvektorhoz rendelhető egy valós elemű P pozitív definit Hermite - féle hermetikus mátrix, amelyre igaz, hogy $P = P^T$. Ebben az esetben igaz a következő egyenlet [5] :

$$x^T (Q + K^T R K) x = - \frac{d}{dt} (x^T P x) \quad (3.5)$$

Az $x^T P x$ kvadrátikus alak deriválása és a (3.3) egyenlet felhasználása után kapjuk, hogy [5] :

$$\mathbf{x}^T(\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}) \mathbf{x} = -\mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x} - \mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x} = -\mathbf{x}^T \left[(\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K})^T \mathbf{P} + \mathbf{P} (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}) \right] \mathbf{x} \quad (3.6)$$

Ljapunov második közvetlen módszere szerint, ha az $(\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K})$ mátrix sajátértékei negatív valós részűek, akkor $\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}$ pozitív definit mátrix esetén létezik olyan pozitív definit $\mathbf{P}$ amelyre igaz, hogy :

$$(\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K})^T \mathbf{P} + \mathbf{P} (\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}) = -(\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}) \quad (3.7)$$

A (3.7) egyenletet szokás Ljapunov - féle mátrix egyenletnek nevezni. A négyzetes integrálkritérium most a következő alakban adható meg :

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \mathbf{x}^T (\mathbf{Q} + \mathbf{K}^T \mathbf{R} \mathbf{K}) \mathbf{x} dt = - \left[\mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x} \right]_0^{\infty} = -\mathbf{x}^T(\infty) \mathbf{P} \mathbf{x}(\infty) + \mathbf{x}^T(0) \mathbf{P} \mathbf{x}(0) \quad (3.8)$$

Mivel az $\mathbf{A} - \mathbf{B} \mathbf{K}$ mátrix sajátértékei negatív valós részűek, ezért $\mathbf{x}(\infty) \rightarrow 0$. A (3.8) egyenlet a következő alakban írható fel :

$$J = \mathbf{x}^T(0) \mathbf{P} \mathbf{x}(0) \quad (3.9)$$

Mint az a (3.9) egyenletből látszik, az integrálkritérium függ az $\mathbf{x}(0)$ kezdeti feltételtől is.

Korábban ismeretes, hogy az $\mathbf{R}$ mátrix valós elemű pozitív definit Hermite - féle hermetikus mátrix. Ezért igaz, hogy :

$$\mathbf{R} = \mathbf{T}^T \mathbf{T} \quad (3.10)$$

ahol : $\mathbf{T}$ - nonsinguláris (reguláris) mátrix.

A (3.10) egyenlet figyelembevételével a (3.7) egyenletet a következő módon írhatjuk fel :

$$(A^T - K^T B^T)P + P(A - BK) + Q + K^T T^T TK = 0 \quad (3.11)$$

A (3.11) egyenlet a kijelölt szorzások után az alábbi alakban írható fel:

$$A^T P + PA + (-K^T B^T P - PBK + K^T T^T TK) + Q = 0 \quad (3.12)$$

Felhasználva, hogy $P = P^T$, valamint $R^{-1} = T^{-1}(T^T)^{-1}$, a zárójelben álló kifejezés tovább alakítható:

$$\begin{aligned} K^T T^T TK - K^T B^T P - PBK &= K^T T^T TK - K^T [T^T (T^T)^{-1}] B^T P - P^T BK + (P^T - P) B R^{-1} B^T P = \\ &= K^T T^T TK - K^T T^T (T^T)^{-1} B^T P - P^T B (T^{-1} T) K + P^T B [T^{-1} (T^T)^{-1}] B^T P - P B R^{-1} B^T P = \\ &= [K^T T^T - P^T B T^{-1}] [TK - (T^T)^{-1} B^T P] - P B R^{-1} B^T P = \\ &= [TK - (T^T)^{-1} B^T P]^T [TK - (T^T)^{-1} B^T P] - P B R^{-1} B^T P \end{aligned} \quad (3.13)$$

Ezért a (3.12) egyenlet az alábbi módon írható fel:

$$A^T P + PA + [TK - (T^T)^{-1} B^T P]^T [TK - (T^T)^{-1} B^T P] - P B R^{-1} B^T P + Q = 0 \quad (3.14)$$

A négyzetes integrálkritérium minimalása, vagyis az optimális vezérlési törvény K szorzavezetési mátrixának meghatározása az

$$x^T [TK - (T^T)^{-1} B^T P]^T [TK - (T^T)^{-1} B^T P] x \quad (3.15)$$

szorzat minimalását jelenti. Mivel a (3.15) mátrix nem negatív, ezért a (3.14) egyenlet minimális (zérus) értéket akkor vesz fel, amikor

$$TK = (T^T)^{-1} B^T P \quad (3.16)$$

A (3.16) egyenletből fejezzük ki a K visszacsatolási mátrixot :

$$K^0 = T^{-1} (T^T)^{-1} B^T P = R^{-1} B^T P \quad (3.17)$$

A (3.17) egyenlet definiálja az optimális K visszacsatolási mátrixot. Az optimális vezérlési törvény :

$$u^0(t) = -K^0 x(t) = -R^{-1} B^T P x(t) \quad (3.18)$$

A P mátrix megállapítására gyakran alkalmazzák az ún. elfajult Ricatti-féle algebrai mátrixegyenletet [1,2,3,4] :

$$A^T P + PA - PBR^{-1} B^T P + Q = 0 \quad (3.19)$$

Az eddig elhangzottak alapján megfogalmazhatjuk az optimálási feladat megoldásának lépéseit :

- 1, A (3.19) egyenlet alapján meghatározzák a P pozitív definit költségmátrixot ;
- 2, A kapott P mátrixot behelyettesítik a (3.17) egyenletbe. A K visszacsatolási mátrix optimális, az optimális vezérlési törvényt a (3.18) egyenlet definiálja.

Az optimális visszacsatolási mátrix K^0 meghatározását számítógépes programcsomagok segítik. Ezek közül a legelterjedtebbek a MATLAB [3,5], MATRIX_x és a CTRL - C nevű programok.

Ezen cikkben a szerzők a MATLAB® programcsomag Control System Toolbox programjának az "lqr.m" file-ját alkalmazták a tervezési feladat megoldására.

4. INSTABIL REPÜLŐGÉP STABILIZÁLÁSA ÁLLAPOT-VISSZACSATOLÁSSAL

Legyen a vizsgált szabályozási rendszer a repülőgép hosszirányú mozgását stabilizáló robotpilóta. A repülőgép állapotegyenlete legyen a következő [4]:

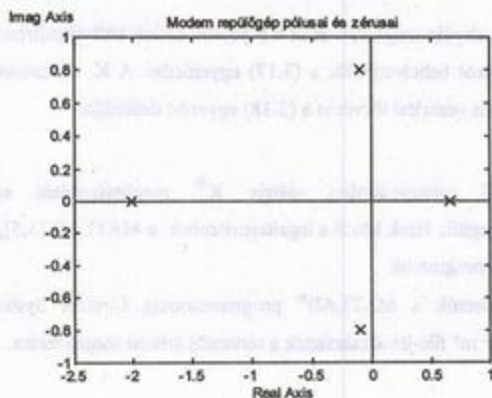
$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{\alpha} \\ \dot{\omega}_z \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.007 & 0.012 & 0 & -9.81 \\ -0.128 & -0.54 & 1 & 0 \\ 0.064 & 0.96 & -0.99 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ \alpha \\ \omega_z \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -0.036 \\ -12.61 \\ 0 \end{bmatrix} \delta_m \quad (4.1)$$

ahol v_x a repülőgép sebessége, α állásszög, ω_z bólintási szögsebesség, δ_m a magassági kormány kitérése, valamint θ a bólintási szöget jelöli.

A nemirányított repülőgép sajátértékei a komplex síkon az alábbiak:

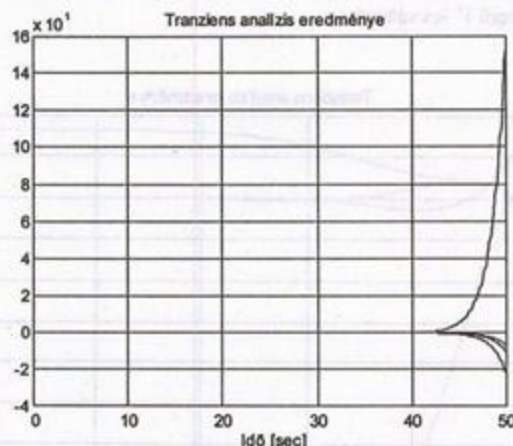
$$\lambda_1 = 0,6606; \lambda_{2,3} = -0,0959 \pm 0,8029 i; \lambda_4 = -2,0058 \quad (4.2)$$

A repülőgép pólusai a 2. ábrán láthatók. A repülőgép zérushelyekkel nem rendelkezik.



2. ábra
A szabad repülőgép pólusai : x - pólushelyek

Mint az a 2. ábrán jól látható, a szabad repülőgép λ_1 sajátértéke a komplex sík jobb felére esik, tehát a repülőgép mozgása instabil. A szabad repülőgép transziens viselkedése a 3. ábrán látható. A bemeneti jel az állásszög 1° -os ugrásszerű változása.



3. ábra
A szabad repülőgép transziens viselkedése
 v_x - "—" ; α - "- -" ; ω_z - "- · -" ; θ - "· · ·"

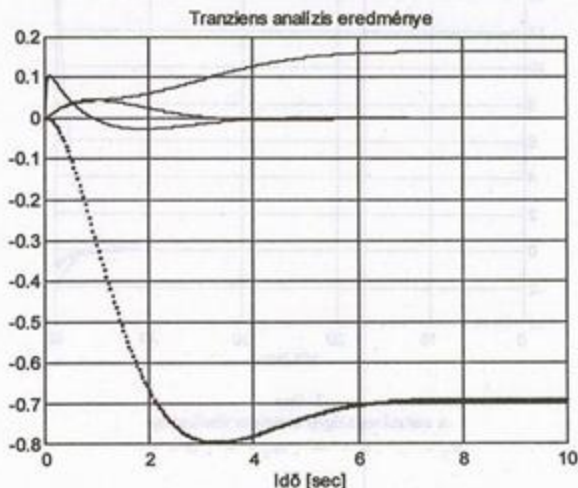
Tervezzünk olyan szabályozót a repülőgép számára, amely biztosítja a repülési jellemzők értékeinek megtartását. A tervezés során alkalmazzuk a (2.2) integrálkritériumot. Legyenek az integrálkritérium súlyozó mátrixai a következők :

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R = [10] \quad (4.3)$$

A (4.3) súlyozó mátrixokat alkalmazva a (2.2) integrálkritérium minimális értékét biztosító állapotviszacsatolási mátrix tehát :

$$K = [-0,3344 \quad 0,2947 \quad 2,2996 \quad 3,8167] \quad (4.4)$$

A (4.4) állapotviszacsatolási mátrixszal rendelkező szabályozási rendszer (1. ábra) tranziens viselkedése a 4. ábrán látható. Bemeneti jel ebben az esetben is az állásszög ugrásszerű 1° -os változása.



4. ábra

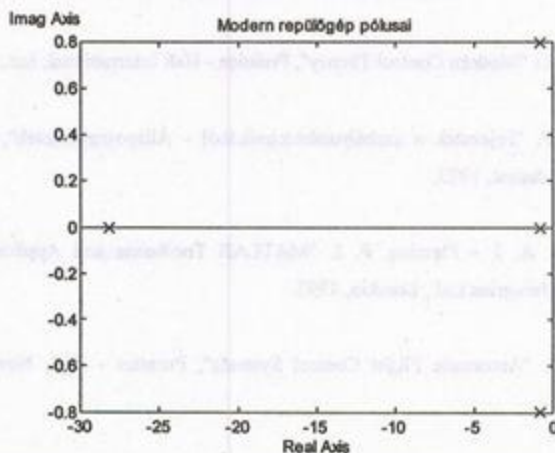
A teljes állapotviszacsatolású rendszer tranziens viselkedése

v_x - " - - - "; α - " - - - "; ω_z - " - - - "; θ - " - - - "

A zárt szabályozási rendszer sajátértékei a következők lesznek :

$$\lambda_{1,2} = -0,7636 \pm 0,7937 i ; \lambda_3 = -0,7738 ; \lambda_4 = -28,2444 \quad (4.5)$$

A zárt szabályozási rendszer pólusai az 5. ábrán láthatók. A rendszer zérusokkal nem rendelkezik.



5. ábra

Az irányított repülőgép pólusai: x - pólushelyek

Mint az az 5. ábrán látható, a zárt szabályozási rendszer pólusai a komplex sík baloldali részén helyezkednek el, tehát a rendszer stabilis működésű. Így a szabályozó tervezési feladatot megoldottnak tekinthetjük.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk szerzői összefoglalták a determinisztikus rendszerek LQ alapú tervezésével foglalkozó elméleti ismereteket. A teljes állapotviszacsatolás egyik szokványos alkalmazását tartalmazó cikkükben új példán keresztül bemutatták a négyzetes integrál kritérium alkalmazását olyan repülőgépre, amelynek hosszirányú statikus stabilitási derivatív együttthatója zérus, tehát a stabilitás határán működik. A szabad repülőgép pozitív előjelű pólusát a komplex sík jobboldali feléről állapotviszacsatolással helyezték át a baloldali félsíkra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Brogan, W. L. "Modern Control Theory", Prentice - Hall International, Inc., 1991.
- [2] Dr. Csáki F. "Fejezetek a szabályozástechnikából - Állapotegyenletek", Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [3] Clipperfield, A. J. - Fleming, P. J. "MATLAB Toolboxes and Applications for Control", Peter Peregrinus Ltd., London, 1993.
- [4] McLean, D. "Automatic Flight Control Systems", Prentice - Hall, New York - London, 1990.
- [5] Ogata, K. "Designing Linear Control Systems with MATLAB", Prentice - Hall International Editions, 1994.
- [6] Vegte, J. V. "Feedback Control Systems", Prentice - Hall International, Inc., New Jersey, 1990.

ABSTRACT

The aim of authors is to summarize theoretical backgrounds of LQ based design methods. The optimal synthesis method is introduced through an example of controller synthesis for aircraft. The aircraft model is unstable, therefore the authors propose full state feedback in order to ensure stable working. Weighting matrices used in this paper allows to stabilize the unstable aircraft, secondly dynamic performance characteristics will be appropriate. During solving the LQ optimal design problem authors use the second method of Lyapounov.

A MAXIMÁLIS TELJESÍTMÉNYŰ PONT KÖVETÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI NAPELEMES RENDSZEREKBE 2

Szegedi Péter mérnök főhadnagy
főiskolai tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Szolnoki Repülőtisztai Főiskolai Kar
Fedélzeti Rendszerek Tanszék

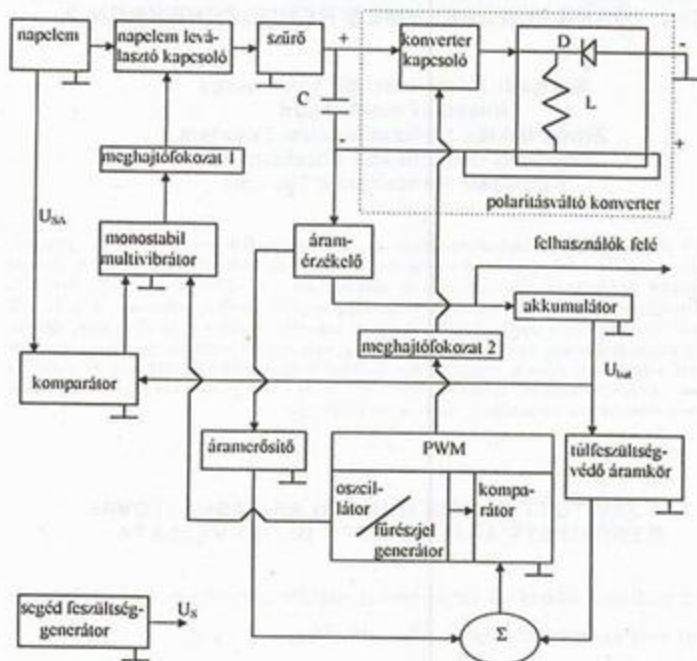
Az űrbeli és a földi alkalmazásokban is a maximális munkapontban történő üzemeltetés mellett elsődleges követelmény a minél kisebb veszteségű és a lehető legegyszerűbb felépítésű követőáramkör használata. A párhuzamos teljesítménykezelés módszere lehetőséget biztosít kizárólag a felépítésből adódóan a hatásfok javulására. Az, hogy ez a gyakorlatban is igaz tesztáramkörü méréssel is igazolható. A mérés lebonyolításához többek között szükség van egy feszültség forrásra, aminek a karakterisztikája közelíti a napelem áram-feszültség karakterisztikáját. A cikkben bemutatom a tesztáramkör blokkvázlatát és a teszteléshez szükséges napelem-szimulátort, valamint a szimulátor mérési eredményeit.

3. A JAVÍTOTT HATÁSFOKÚ POLARITÁSVÁLTÓVAL MEGÉPÍTETT ANALÓG MPPT BLOKKVÁZLATA

Az új kapcsolóüzemű teljesítmény-átalakító tervezésekor elsődleges szempont volt az egyszerűség és a következő specifikáció:

- egy $U_{SA0} = 24V$, $I_{SA0} = 1A$ -es határjellemzőkkel rendelkező napelemet illeszt egy 12V-os akkumulátorhoz úgy, hogy a napelem bemeneti feszültségét az optimális, MPP-hez tartozó értéken tartja
- a napelemet a "sötét" illetve a gyengén megvilágított időszakokra válassza le a konverter bemenetéről
- az akkumulátor esetleges túltöltését akadályozza meg
- működési frekvenciája $f=50kHz$

Ezeknek a feltételeknek megfelelő tesztáramkör blokkvázlata látható a 1. ábrán.



1. ábra

Hatásfok növelt MPP szabályozású energiaellátó-rendszer blokkvázlata

1.1. A blokkok feladata

Napelem: A napelem egy fotoelektromos generátor, a Nap elektromágneses sugárzásának (fényének) energiáját közvetlenül elektromos energiává alakító félvezetőkkel álló áramforrás. Egy-egy elem igen vékony, nagy tisztaságú egykristályos szilíciumlap, (gallium-arszenid), amelynek két eltérő tulajdonságú rétege van. A két réteg között a napfény hatására elektromos feszültség keletkezik.

Napelem leválasztó kapcsoló: A napelem leválasztó kapcsoló egy vezérelt kapcsoló, ami a napelemet leválasztja a "sötét" illetve a gyengén megvilágított időszakokra a konverter bemenetéről.

Szűrő: Egy aluláteresztő jellegű szűrő, a polaritásváltó konverter által keltett zavartól védi a többi áramkört (pl: a komparátort), és a bemenetről jövő zajtól védi a polaritásváltó konvertert.

Polaritásváltó konverter: A polaritásváltó a bemenete és a kimenete között ellentétes polaritású stabilizált egyenfeszültséget hoz létre. Amikor a konverter kapcsoló (ami egy vezérelt kapcsoló) zárt állapotban van, akkor a bemeneti feszültség az L energiatároló induktivitásra kapcsolódik. Ekkor a D dióda nem vezet. Az áram az L induktivitáson lineárisan nő. A konverter kapcsoló kikapcsolásakor az L induktivitáson átfolyó áram megszűnik. Az induktivitás mágneses mezőjének összeomlása ellentétes polaritású induktív feszültséget kelt a tekercs kábelein. Ez az ellentétes polaritású induktív energia az ekkor vezető állapotban lévő D diódán keresztül a polaritásváltó konverter kimenetére jut. A kimenetéről töltődik az akkumulátor és a kimenetéről kapják meg a felhasználóegységek a működésükhöz szükséges energiát.

Áramérzékelő: Az áramérzékelő folyamatosan hibajelét közvetít az áramerősítőn keresztül a PWM egységnek. Abban az esetben, ha a túlfeszültség-védelem aktív, akkor a hibajel nem tud érvényre jutni. Az áramérzékelőn eldisszipálódó teljesítmény veszteségként jelentkezik.

Meghajtófokozat 1.: A meghajtófokozat 1. a monostabil multivibrátorról vagy a komparátorról érkező jeleknek megfelelően vezérli a napelem leválasztó kapcsolót. A napelem leválasztó kapcsolótól galvanikusan választja el a vezérlőegységeket (komparátor, monostabil multivibrátor, stb.).

Monostabil multivibrátor: A monostabil multivibrátor az oszcillátortól érkező tüimpulzus sorozatból megfelelő kitöltési tényezőjű impulzus-sorozatot állít elő a meghajtó fokozat 1.-nek, hogy a napelem leválasztó kapcsolót vezérelni tudja.

Komparátor: A komparátor a napelem és az akkumulátor feszültségét hasonlítja össze, és az összehasonlítás eredményének megfelelően tiltja vagy engedélyezi a monostabil multivibrátoron keresztül a napelem leválasztó kapcsoló működését.

Oscillátor: Az oszcillátor impulzus-sorozatot állít elő a napelem leválasztó kapcsoló működtetéséhez.

Meghajtófokozat 2.: A meghajtófokozat 2. a PWM-ről érkező jeleknek megfelelően vezérli a konverter leválasztó kapcsolót. A konverter leválasztó kapcsolótól galvanikusan választja le a vezérlő egységeket (PWM, stb.).

Áramerősítő: Az áramerősítő az áramérzékelőről érkező kis szintű jeleket erősíti.

PWM: A PWM az áramérzékelőről érkező hibajelek hatására különböző szélességű impulzusokat állít elő a konverter kapcsoló számára. Működéséhez szükséges jeleket egy fűrészel generátortól, és az áramerősítőtől kapja.

Túlfeszültségvédő: A túlfeszültségvédő az akkumulátor túltöltődését akadályozza meg.

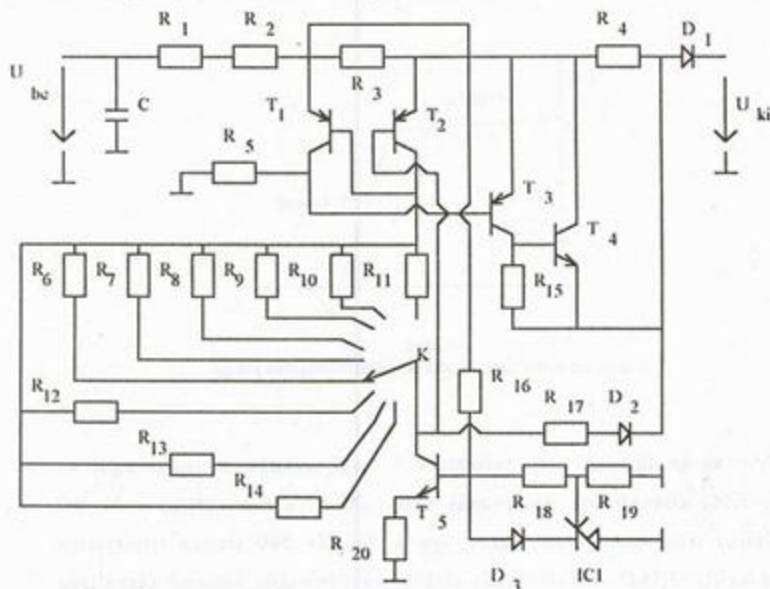
Segéd feszültséggenerátor: A segéd feszültséggenerátor az egyes áramköri elemek tápfeszültség igényét elégíti ki, és referenciafeszültséget ad a túlfeszültségvédő áramkörnek. [1], [2]

2. A napelem-szimulátor

Ahhoz, hogy a hatásfok javulás bizonyítható legyen szükség van többek között napelemre, akkumulátorra, poláritásváltó áramkörre, és más különböző feladatokat ellátó segédáramkörökre, a 1. ábrán látható blokkvázlat szerint.

Napelem helyett egy napelem-szimulátor szolgáltatja a bemenő jelet, a kapcsolási rajza a 2. ábrán látható. A napelem-szimulátorral szemben támasztott követelményeket (a napelem kimenő karakterisztikáját jól

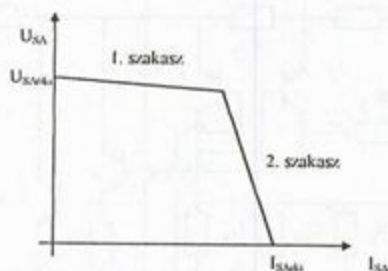
közelítse, a kiírásban szereplő specifikációnak tegyen eleget) ez az áramkör teljesíti, a mérési eredményei az 5-19. ábrán láthatók.



2. ábra A napelem-szimulátor

A napelem-szimulátor kimeneti üresjárási feszültségét a bemenő feszültség (U_{bc}) határozza meg. Bármilyen stabil kimenő feszültséggel rendelkező feszültséggenerátor megfelel erre a célra, aminek a kimenő feszültsége $U=16-24V$ között változtatható. Méréshez a DC POWER SUPPLY TYPE: 9120 labor tápegység került felhasználásra. A kimenő rövidzárási áram értéke $I_{SArki}=0,5-1A$ között az R_6-R_{14} beállító ellenállás hálózattal állítható be. Értékük tapasztalati úton mérésel lett meghatározva, $R_6=12,2\Omega$, $R_7=15\Omega$, $R_8=16\Omega$, $R_9=19,5\Omega$, $R_{10}=20\Omega$, $R_{11}=22\Omega$, $R_{12}=24\Omega$, $R_{13}=25,5\Omega$, $R_{14}=27\Omega$.

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztikájának jellege a 3. ábrán látható.



3. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztikájának jellege

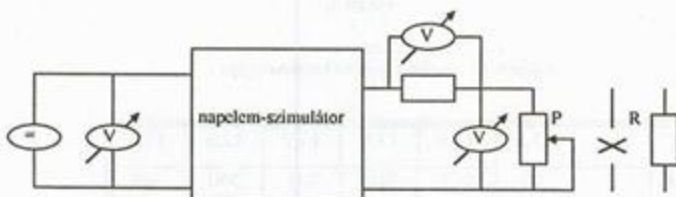
Az ábrán látható karakterisztika 1. szakaszának meredekségét az $R_1=R_2=1,5\Omega$ ellenállások határozzák meg. Ebben a szakaszban a T_1 BC 212 típusú tranzisztor nem vezet, így a T_3 BD 240 típusú tranzisztor bázisát az $R_5=3,9k\Omega$ -os ellenállás (értékét a minimális bemenő feszültség és a tranzisztor nyitáshoz szükséges áram határozza meg) "felhúzza", a tranzisztor vezet. Ha T_3 vezet, akkor T_4 2N3055 típusú tranzisztor is vezet és az $R_4=33\Omega$ -os ellenállást rövidre zárja. A 2. szakasz meredekségének csökkentése érdekében az $R_{17}=39k\Omega$ ellenállásból és a D_2 1N4148 típusú diódából álló előrecsatolást alkalmaztuk. A könyökpont helyzetét az $R_3=132m\Omega$ -os ellenállás, a T_1 , T_2 BC 212 típusú tranzisztorok, és a K kapcsolóval kiválasztott beállító ellenállás (R_6-R_{14}) értéke határozza meg.

Az akkumulátorok megengedett maximális töltőárama [A] általában a tárolókapacitásuk [Ah] 10%-a, ezért az alkalmazott napelem szimulátor $I_{S,ABmax}$ -hoz alkalmazkodva egy 10Ah-nál nagyobb kapacitású 12V-os akkumulátor a megfelelő. Akkumulátor helyett a méréseknél egy DC

POWER SUPPLY TYPE:TR 9178 labor tápegység volt csatlakoztatva a tesztáramkörhöz. [3], [4]

3. A napelem-szimulátor mérési eredményei

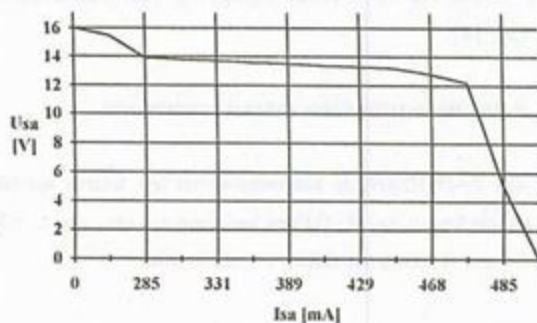
Az áramkör egy $P=47\Omega/200W$ -os potenciométerrel lett lezárva méréskor. A szakadás és a 47Ω lezárás között egy $R=1k\Omega$ -os lezáráson is volt mérve a kimenő feszültség és a kimenő áram. A mérési összeállítás a 4. ábrán látható.



4. ábra

A napelem-szimulátor mérési összeállítása

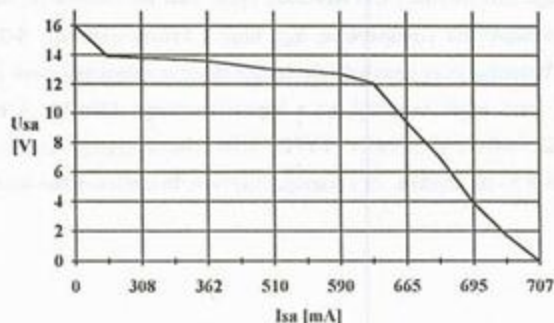
A feszültségmérők MINIMULTI MM2002 típusú kézi mérőműszerek. Az áram mérése feszültségmérésre volt visszavezetve, úgy, hogy a kimenőkörbe egy S-2 típusú söntellenállás volt bekötve és az azon eső feszültséget mérte egy feszültségmérő (a söntellenálláson 1,5A áram folyik keresztül, ha a kapocsfeszültsége 150mV). A bemenő feszültséget egy DC POWER SUPPLY TYPE: 9120 labortápegység biztosította. A mérési eredmények a 5.-19. ábrákon, és a hozzájuk kapcsolódó táblázatokban láthatók.



5. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 1.

U_{sa} [V]	16	15,5	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5
I_{sa} [mA]	0	10	285	306	331	360	389
U_{sa} [V]	13,4	13,3	13,2	12,8	12,2	5,1	0
I_{sa} [mA]	403	429	452	468	470	485	496

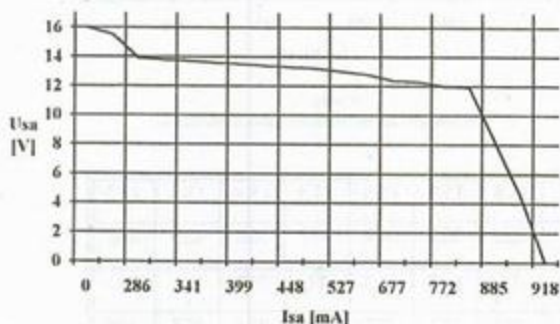
Táblázat a 5. ábrához, a K kapcsoló 16Ω-os állásban.



6. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 2.

U_{SA} [V]	16	13,9	13,8	13,7	13,6	13,3	13	12,9	
I_{SA} [mA]	0	284	308	333	362	440	510	534	
U_{SA} [V]	12,7	12,1	9,4	7	3,9	1,7	0		
I_{SA} [mA]	590	643	665	686	695	702	707		

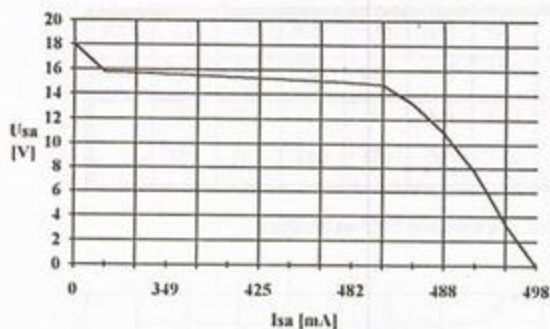
Táblázat a 6. ábrához, a K kapcsoló 22Ω -os állásban.



7. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 3.

U_{SA} [V]	16	15,5	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5	13,4	13,3	13,2
I_{SA} [mA]	0	10	286	315	341	368	399	425	448	474
U_{SA} [V]	13	12,8	12,4	12,3	12	11,9	8,2	4,6	0	
I_{SA} [mA]	527	594	677	706	772	810	885	899	918	

Táblázat a 7. ábrához, a K kapcsoló 27Ω -os állásban.

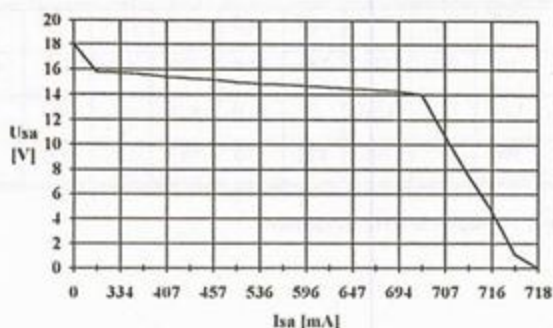


8. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 4.

U_{sa} [V]	18	15,8	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,2
I_{sa} [mA]	0	322	333	349	377	398	425	450
U_{sa} [V]	15,1	15	14,8	13,3	11	7,7	3,4	0
I_{sa} [mA]	466	482	483	487	488	493	498	498

Táblázat a 8. ábrához, a K kapcsoló 16Ω-os állásban.

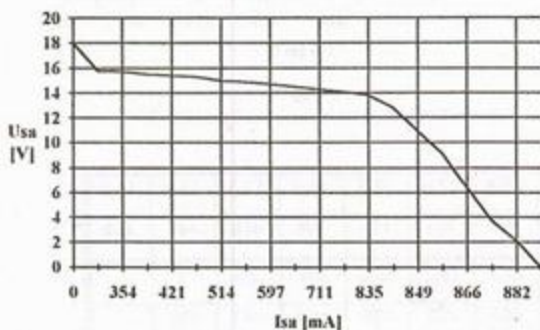


9. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 5.

U_{SA} [V]	18	15,8	15,7	15,6	15,4	15,3	15,2	15	14,9	14,8	14,7
I_{SA} [mA]	0	323	334	353	407	426	457	507	536	569	596
U_{SA} [V]	14,6	14,5	14,4	14,3	14	10,7	7,5	4,6	1,1	0	
I_{SA} [mA]	616	647	670	694	697	707	712	716	718	718	

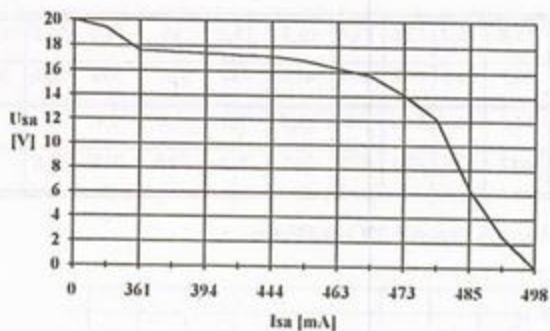
Táblázat a 9. ábrához, a K kapcsoló 22 Ω -os állásban.



10. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 6.

U_{SA} [V]	18	15,8	15,7	15,5	15,4	15,3	15	14,9	14,7	14,5
I_{SA} [mA]	0	324	354	394	421	452	514	553	597	673
U_{SA} [V]	14,3	14,1	13,8	12,8	10,9	9,1	6,4	3,7	2,1	0
I_{SA} [mA]	711	754	835	842	849	856	866	877	882	890

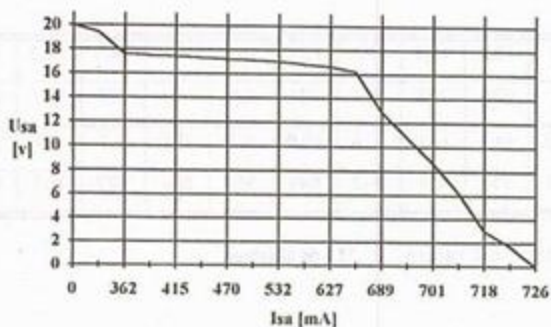
Táblázat a 10. ábrához, a K kapcsoló 25,5 Ω -os állásban.



11. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 7.

U_{sa} [V]	20	19,4	17,6	17,5	17,4	17,3	17,2	16,9
I_{sa} [mA]	0	12	361	373	394	418	444	458
U_{sa} [V]	16,3	15,7	14,2	12,2	6,4	2,6	0	
I_{sa} [mA]	463	466	473	479	485	487	498	

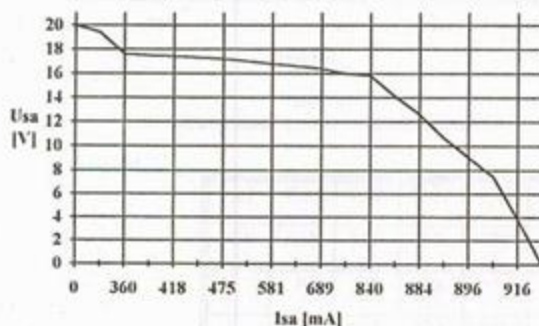
Táblázat a 11. ábrához, a K kapcsoló 15Ω-os állásban.



12. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 8.

U_{SA} [V]	20	19,4	17,6	17,5	17,4	17,3	17,2	17,1	17	16,8
I_{SA} [mA]	0	12	362	388	415	442	470	494	532	576
U_{SA} [V]	16,6	16,2	12,9	10,8	8,7	6,2	3	1,7	0	
I_{SA} [mA]	627	680	689	695	701	708	718	721	726	

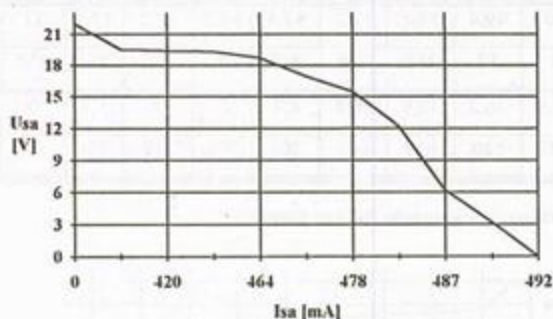
Táblázat a 12. ábrához, a K kapcsoló 20 Ω -os állásban.



13. ábra
A napelem szimulátor kimenő karakterisztika 9.

U_{SA} [V]	20	19,4	17,6	17,5	17,4	17,3	17,2	17	16,8	16,6
I_{SA} [mA]	0	12	360	390	418	449	475	536	581	635
U_{SA} [V]	16,4	16	15,8	14,1	12,6	10,7	9,1	7,5	3,9	0
I_{SA} [mA]	689	793	840	878	884	891	896	903	916	930

Táblázat a 13. ábrához, a K kapcsoló 25,5 Ω -os állásban.

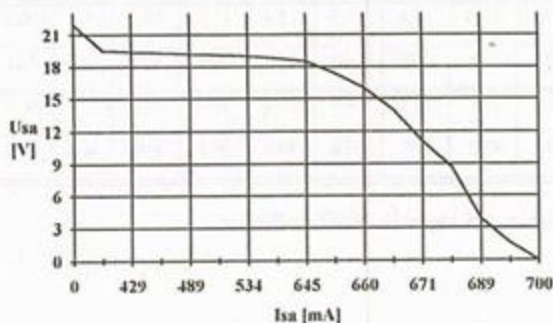


14. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 10.

U_{sa} [V]	22	19,5	19,4	19,3	18,7	16,9
I_{sa} [mA]	0	399	420	444	464	468
U_{sa} [V]	15,5	12,2	6,2	3,2	0	
I_{sa} [mA]	478	484	487	492	492	

Táblázat a 14. ábrához, a K kapcsoló 12,2 Ω -os állásban.

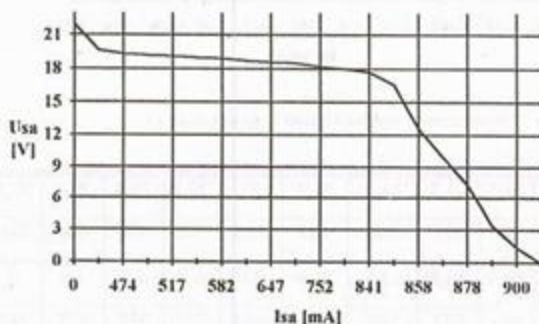


15. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 11.

U_{SA} [V]	22	19,5	19,4	19,3	19,2	19,1	19	18,8	18,5
I_{SA} [mA]	0	400	429	459	489	516	534	581	645
U_{SA} [V]	17,4	16	14	11,1	8,7	3,8	1,6	0	
I_{SA} [mA]	656	660	664	671	677	689	695	700	

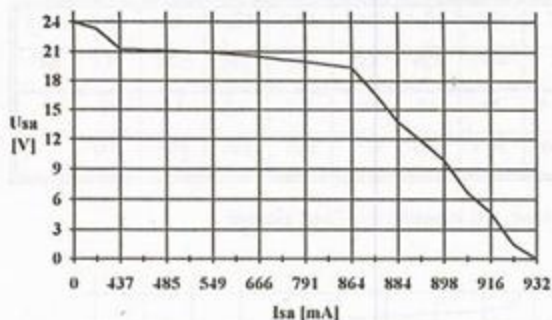
Táblázat a 15. ábrához, a K kapcsoló 19,5Ω-os állásban.



16. ábra
A napfotóelem-szimulátor kimenő karakterisztika 12.

U_{SA} [V]	22	19,6	19,3	19,2	19,1	19	18,9	18,7	18,6	18,5
I_{SA} [mA]	0	400	474	495	517	541	582	629	647	686
U_{SA} [V]	18,2	18	17,7	16,6	12,6	10	7,3	3,4	1,4	0
I_{SA} [mA]	752	804	841	844	858	868	878	892	900	904

Táblázat a 16. ábrához, a K kapcsoló 24Ω-os állásban.

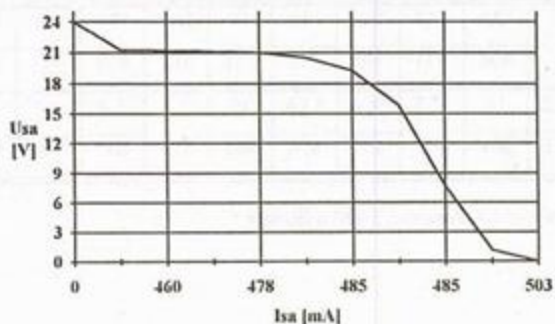


17. ábra

A napcsem-szimulátor kimenő karakterisztika 13.

U_{sa} [V]	24	23,3	21,3	21,2	21,1	21	20,9	20,7	20,5	20,2	20
I_{sa} [mA]	0	15	437	464	485	526	549	609	666	734	791
U_{sa} [V]	19,7	19,4	16,8	13,8	11,9	9,9	6,7	4,7	1,4	0	
I_{sa} [mA]	847	864	873	884	890	898	908	916	928	932	

Táblázat a 17. ábrához, a K kapcsoló 12,2 Ω -os állásban.

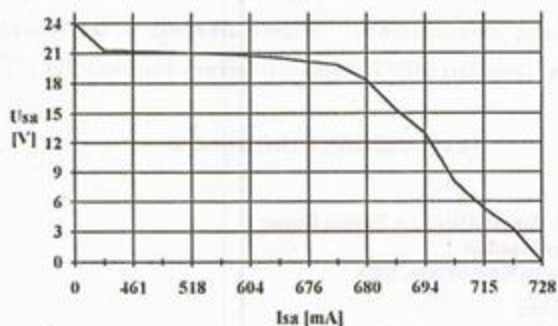


18. ábra

A napcsem-szimulátor kimenő karakterisztika 14.

U_{SA} [V]	24	21,3	21,2	21,1	21	20,5
I_{SA} [mA]	0	437	460	477	478	483
U_{SA} [V]	19,3	15,9	7,7	1,1	0	
I_{SA} [mA]	485	485	485	486	503	

Táblázat a 18. ábrához, a K kapcsoló 19,5Ω-os állásban.



19. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 15.

U_{SA} [V]	24	21,3	21,2	21,1	21	20,9	20,7	20,5	20,1
I_{SA} [mA]	0	437	461	482	518	545	604	642	676
U_{SA} [V]	19,8	18,3	15,4	13	8,1	5,3	3,3	0	
I_{SA} [mA]	677	680	688	694	708	715	719	728	

Táblázat a 19. ábrához, a K kapcsoló 24Ω-os állásban.

A karakterisztikákból látható, hogy a megépített napelemszimulátor az elvárt kimenő karakterisztika jelleget (3. ábra) jól közelíti. A karakterisztikákon egyértelműen meghatározhatók, és az áramkörön egyértelműen beállíthatók a maximális teljesítményű pontok.

ÖSSZEFOGLALÁS

A polaritásváltóval felépített MPPT áramkör teszteléséhez szükség volt egy napelem-szimulátorra, amit megépítettünk. A szimulátort leteszteltük. A mérések eredményeit vizsgálva egyértelműen kiderül, hogy a szimulátor kimeneti karakterisztikája a jó közelítéssel követi a napelem karakterisztikát a számunkra lényeges szakaszokon (a maximális teljesítményű pont környezetében). Vagyis alkalmas a tesztáramkör (a polaritásváltóval felépített MPPT) bemeneti jelének biztosítására. [5]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szászné Dr Tolnai Klára, Dr Tamási Ferenc
Mesterséges holdak
Zrínyi Katonai Könyvkiadó, 1986
- [2] Ferenczi Ödön
Kapcsolóüzemű tápegységek
Műszaki könyvkiadó, 1978
- [3] **Diodes Rectifiers Thyristors Transistors**
Tungsum Semiconductor Devices 80/81
- [4] **Linear Circuits Data Book 1992**
Volume 3
Texas Instruments 1992
- [5] Szegedi Péter
Diplomaterv
BME, 1996

Both aerospace and on-ground applications of solar array systems - working in maximum power point conditions - can be characterized with minimized losses and simplified electric control circuits. The applied parallel power control method allows to maximize efficiency through its hardware elements. This fact can be verified using the data of measurement. For the measurement there is used a special voltage source, transfer characteristics of which are nearby to the solar array current-voltage characteristics. This paper shows the block diagram of a test circuit and the solar array simulator. The task also contains the results of the measurement.