

Dr. Szabó László mk. őrnagy  
"VEREB" FELSŐSZÁRNYAS MOTOROS KÖNNYŰREPÜLŐGÉP  
-SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT- REPÜLESMECHANIKAI ELEMZÉSE

I. rész

BEVEZETÉS

Hazánkban egyre nagyobb népszerűségnek örvendenek az ultrakönnyű és motoros könnyűrepülőgépek. Elterjedésük fő oka az egyszerű kialakításuk miatti viszonylagos olcsóságuk, emellett kiválóan alkalmasak oktató, sport és egyéb célokra. Sok helyen meglátva az ebben rejlő üzleti lehetőségeket kezdtek az ilyen kategóriájú repülőgépek tervezéséhez, illetve építéséhez.

A Szolnoki Repülőügyi Főiskolán 1992-ben kezdtek hozzá egy motoros könnyűrepülőgép építéséhez Hajagos Károly repülőgépvezető - oktató, valamint Svehlik János főiskolai docens vezetésével. Az építést a Főiskola Repülőgépipítő és Konstruktőr Szakköre és az azt irányító Repülőtechnika Üzem-bentartó és Javító Tanszék tanári munkaközössége végezte. A repülőgép a "VEREB" nevet kapta. A gépet ROTAX 508-as motorral és merev légcsavarral látták el. A légcsavar tervezője és készítője Nagy Szilveszter volt.

A Budapesti Műszaki Egyetem Közlekedésmérnöki Kar repülő szakmérnöki kurzus diplomamunkájaként ezen repülőgépet választottam. Munkámat Dr. Steiger István egyetemi docens, valamint Svehlik János főiskolai docens konzulensi irányításával végeztem.

A diplomaterv célja az volt, hogy a szakhatósági engedély megszerzéséhez szükséges repülésmechanikai számítások egy részét - az erre a célra megbízott szakembertől függetlenül, számítógépes szoftverek felhasználásával - végezzem

el és ezzel a munkával hozzájáruljak a repülőgép várható tulajdonságainak megismeréséhez.

A következő feladatok elvégzését tűztem ki célul:

Szárnyprofil vizsgálata; repülési sebességek meghatározása maximális felszállósúly figyelembevételével; a szárny és a repülőgép polárgörbéinek számítása; a szükséges és a rendelkezésre álló vonóerő és teljesítmény meghatározása (Penaud-diagram); az emelkedési és süllyedési sebességek, illetve polárisok meghatározása; az elérhető zuhanási sebesség és zuhanásból való felvétel minimális sugarának kiszámítása; a  $60^\circ$ -os bedöntésű forduló sugarának és idejének kiszámítása; a felszállási és leszállási úthossz meghatározása; a repülőgép mellső és hátsó súlypont helyének, valamint a statikai hosszstabilitás értékének kiszámítása.

#### REPÜLÉSMECHANIKAI ELEMZÉS KIINDULÓ ADATAI

A repülőgép szárnya:

Szárnya egyfőtartós elcsavarásmentes, téglalap alaprajzú, fémszerkezetű alumínium cső segéd tartóval. Orrborítása üvegszálalás epoxi műgyanta alapú, borítása vászon. Profilja Wortmann FX 60-126. Pozitív V beállítása  $1^\circ 30'$ , előrenyílása  $30'$ , beépítési szöge  $3,2^\circ$ , húr hossza 1,49 m. Fém bordái a főtartóhoz és segéd tartóhoz ragasztott és szegecskötéssel csatlakoznak, diagonális merevítői úgyszintén. Szárnydúcok csatlakozása alul-felül egyaránt oldható kötéllel történik csakúgy, mint a szárny bekötő vasalásé. Vég- és főbordák te-li bordák, a többi dural cső merevítésű könnyített borda. Üzemanyag tartályok (26-28 l) a főborda és az 1.sz. borda között elhelyezve.

A teljes fesztáv menti csűrők differenciált, mechanikus vezérlések (pusch-pull bowden, rudazat, himba). Későbbi (széria) változatokon  $2/3$  fesztávnyi csűrő,  $1/3$  fesztávnyi

egyszerű fékszárny tervezett a fel- és leszálló úthossz csökkentése, illetve az emelkedő képesség javítása érdekében. Jelenlegi csűrő geometriai elcsavarása  $14^\circ$ .

A repülőgép fesztávolsága: ..... 10,6 m  
A repülőgép szárnyfelülete: .....  $15,794 \text{ m}^2$   
A szárny alaprajzi alakja: ..... téglalap  
A profil húr hossza: ..... 1,49 m  
Az aerodinamikai tengely távolsága az orrponttól: ... 1,2135 m  
A szárny beépítési szöge: .....  $3,2^\circ$   
A profil felhajtóerő-tényező iránytangense: ..... 5,6  
A profil kritikus állásszöge: .....  $13,14^\circ$   
A profil maximális felhajtóerő-tényezője: ..... 1,551,7  
A profil  $C_y$ - $\alpha$ ,  $C_m$ - $\alpha$ ,  $C_y$ - $C_x$  értékei: ..... katalógusból

A vízszintes farokfelület adatai:

- felülete: .....  $2,324 \text{ m}^2$   
- terjedtsége: ..... 2,89 m  
- beállítási szöge: .....  $-1^\circ$

A magassági kormánylap húr hossza: ..... 0,42 m

A magassági kormánylap maximális kitérítési szögei:

- lefelé: .....  $17^\circ$   
- felfelé: .....  $-25^\circ$

A farokfelület húr hossz negyedének távolsága az

orrponttól: ..... 4,69 m

A profil felhajtóerő-tényező iránytangense: ..... 5,73

A függőleges vezérsík adatai:

- felülete: .....  $2,514 \text{ m}^2$   
- terjedtsége: ..... 1,6 m  
- beépítési szöge: .....  $0^\circ$   
- kitérítési szöge: .....  $\pm 25^\circ$   
- oldalkormány átlagos húr hossza: ... 0,686 m

- AC távolsága az orrponttól: ..... 4,765 m
- a profil felhajtóerő-tényező
- iránytangense: ..... 5,73

### Törzs

Törzse vegyes szerkezetű. Alumínium cső gerinc, alumínium támaszrudakkal. Az utaskabin alumínium és acél profi-  
lok, csövek felhasználásával készült üvegszál-as epoxi mű-  
gyanta alapú borítással, lexán szélvédővel és ajtókkal, egy-  
más melletti fa szerkezetű kárpitozott ülésekkel. Az ülések  
mögötti csomagter borítása vászon. A kabin hossza 1,85 m,  
szélessége 1,45 m, magassága 1,36 m. A farokrész ragasz-  
tott-szegescselt dural cső rácsszerkezet vászon borítással.  
Kormánylapjai push-pull rendszerű bowden, rövid rudazatok  
és himbák kombinációjával vezérelt.

- kialakítása: ..... bot-rács zárt kabinnal
- hossza: ..... 5,475 m
- legnagyobb szélessége: ..... 1,46 m
- legnagyobb magassága: ..... 1,27 m
- súrolt felülete: ..... 4,188 m<sup>2</sup>

Futókerék homlokfelülete: ..... 0,2123 m<sup>2</sup>  
 Futószárak homlokfelülete: ..... 0,084 m<sup>2</sup>  
 Futószárak keresztmetszeti alakja: ..... lekerekített

Kormányozható orrfutója mechanikusan fékezhető. Főfutó-  
műve progresszív karakterisztikájú spirál rugókkal rugózott  
gumipogácsás lökésgátlóval. Felfüggesztése lengőkaros. Kere-  
kei műanyag áramvonalazó borítást kaptak. Nyomtáv 1,75 m,  
tengelytáv 1,29 m (későbbi példányokon 1,84 m-re tervezve).

### Hajtómű (motor + légcsavar)

Motorja ROTAX - 508, folyadékhűtéses, kétütemű, két-hengeres Otto-motor. Üzemanyagellátása indításhoz kézi, a motor üzeme alatt a szívótér vákuum működtette membrános tápszivattyúval történik. Indítása elektromotoros, gyújtása elektronikus vezérlésű mágnesgyújtás.

### Légcsavar

- típusa: ..... CLARK Y
- átmérője: ..... 1,88 m
- alapbeállítási szöge: .....  $11,01^\circ$
- szögsebesség: ..... 278 1/s

A hajtómű rendelkezésre álló vanderő és teljesítménye:  
(dr. Gausz Tamás) "SROF" számítógépes program alapján V és  $\eta$  függvényében inputként rendelkezésre áll.

A rendelkezésre álló erő ( $F_R$ ) és teljesítmény ( $P_R$ ) a sebesség ( $V$ ) valamint a légcsavar hatásfoka ( $\eta$ ) függvényében

$V$ [ m/s ]	$F_R$ [ N ]	$P_R$ [ KW ]	$\eta$ [ % ]
0	1540.00	45.63	0.00
1	1525.88	45.83	3.33
2	1511.27	46.02	6.57
3	1496.22	46.21	9.71
4	1480.72	46.39	12.77
5	1464.75	46.56	15.73
6	1448.32	46.71	18.60
7	1431.44	46.86	21.38
8	1414.09	46.99	24.08
9	1396.30	47.10	26.68
10	1378.05	47.20	29.19
11	1359.35	47.28	31.62
12	1340.22	47.35	33.97
13	1320.64	47.39	36.22
14	1300.64	47.42	38.40
15	1280.21	47.42	40.50
16	1259.37	47.40	42.51
17	1238.11	47.35	44.45
18	1216.45	47.28	46.31
19	1194.40	47.18	48.10
20	1171.97	47.06	49.81
21	1149.15	46.90	51.46
22	1125.97	46.71	53.03
23	1102.43	46.49	54.54
24	1078.53	46.24	55.98
25	1054.30	45.96	57.35
26	1029.73	45.64	58.67
27	1004.83	45.28	59.92
28	979.62	44.89	61.11
29	954.10	44.45	62.24

V [ m/s ]	F <sub>R</sub> [ N ]	P <sub>R</sub> [ KW ]	η [ % ]
30	928.28	43.98	63.32
31	902.17	43.47	64.33
32	875.78	42.92	65.30
33	849.11	42.33	66.20
34	822.17	41.69	67.05
35	794.98	41.01	67.85
36	767.53	40.29	68.59
37	739.84	39.52	69.27
38	711.91	38.70	69.90
39	683.74	37.84	70.47
40	655.35	36.93	70.98
41	626.75	35.97	71.43
42	597.92	34.97	71.82
43	568.89	33.91	72.13
44	539.66	32.81	72.38
45	510.23	31.65	72.54
46	480.60	30.45	72.61
47	450.79	29.19	72.58
48	420.80	27.88	72.43
49	390.62	26.52	72.18
50	360.27	25.10	71.76
51	329.75	23.64	71.15
52	299.06	22.11	70.32
53	268.21	20.54	69.21
54	237.19	18.91	67.74
55	206.02	17.22	65.80
56	174.69	15.48	63.20
57	143.21	13.68	59.65
58	111.58	11.83	54.71
59	79.80	9.92	47.47
60	47.87	7.95	36.13
61	15.81	5.93	16.27
62	-16.40	3.84	-26.47

Villamos rendszere 12 V-os egyenáramú, 80 W teljesítményű töltő mágnessel. Akkumulátora 35 Ah-ás, a motor indításához szükség szerint külső csatlakozással. Fogyasztói az indítómotoron túl: helyzetfények, leszálló-guruló fényezés, fénymajak, fordulatszámérő, Üzemidő-számláló.

Műszerezettsége: barometrikus sebesség, magasság és variométer, időóra, folyadék csillapítású mágneses iránytű, elektromos Üzemidő-számláló, elektronikus fordulatszámérő, töltésjelző és hengerfejhőmérő forráspont jelzővel, üszös működésű vizuális Üzemanyag mennyiségmérő. Rádiója a 118-136 MHz-es tartományban legalább 25 kHz-ként hangolható URH adó-vevő állomás.



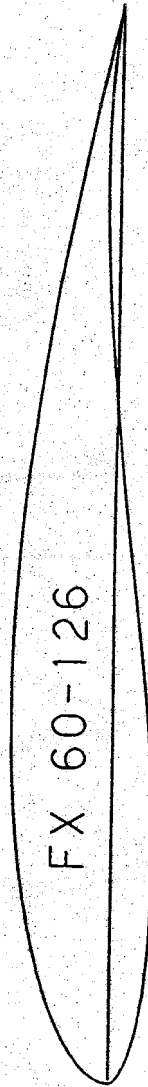
Az FX 50-126 katalógus adatai

NR	X/T	YO/T	YU/T
1	1.00000	.00000	.00000
2	.99891	.00024	.00014
3	.99571	.00068	.00068
4	.99034	.00198	.00146
5	.98291	.00353	.00279
6	.97344	.00554	.00357
7	.96192	.00798	.00483
8	.94848	.01084	.00610
9	.93299	.01412	.00732
10	.91571	.01777	.00845
11	.89644	.02181	.00944
12	.87590	.02611	.01022
13	.85350	.03070	.01074
14	.82970	.03552	.01073
15	.80435	.04055	.01073
16	.77773	.04567	.01056
17	.74975	.05084	.00997
18	.72115	.05589	.00941
19	.69133	.06082	.00847
20	.66074	.06549	.00730
21	.62938	.06974	.00602
22	.59750	.07402	.00468
23	.56525	.07781	.00333
24	.53274	.08118	.00196
25	.49997	.08425	.00051
26	.46733	.08679	.00000
27	.43489	.08893	.00000
28	.40243	.09041	.00000
29	.37056	.09138	.00000
30	.33933	.09160	.00000
31	.30851	.09130	.00000
32	.27801	.09019	.00000
33	.24998	.08859	.00000
34	.22221	.08615	.00000
35	.19550	.08327	.00000
36	.17037	.07958	.00000
37	.14643	.07555	.00000
38	.12433	.07077	.00000
39	.10330	.06585	.00000
40	.08422	.06021	.00000
41	.06694	.05457	.00000
42	.05158	.04868	.00000
43	.03822	.04174	.00000
44	.02650	.03493	.00000
45	.01732	.02802	.00000
46	.00950	.02096	.00000
47	.00422	.01349	.00000
48	.00102	.00675	.00000
49	.00000	.00000	.00000

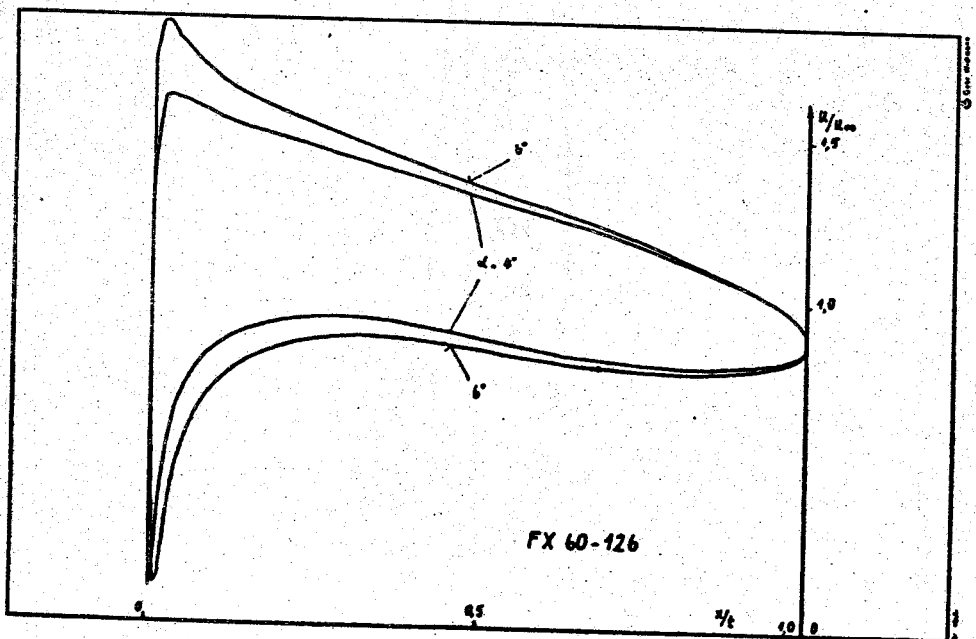
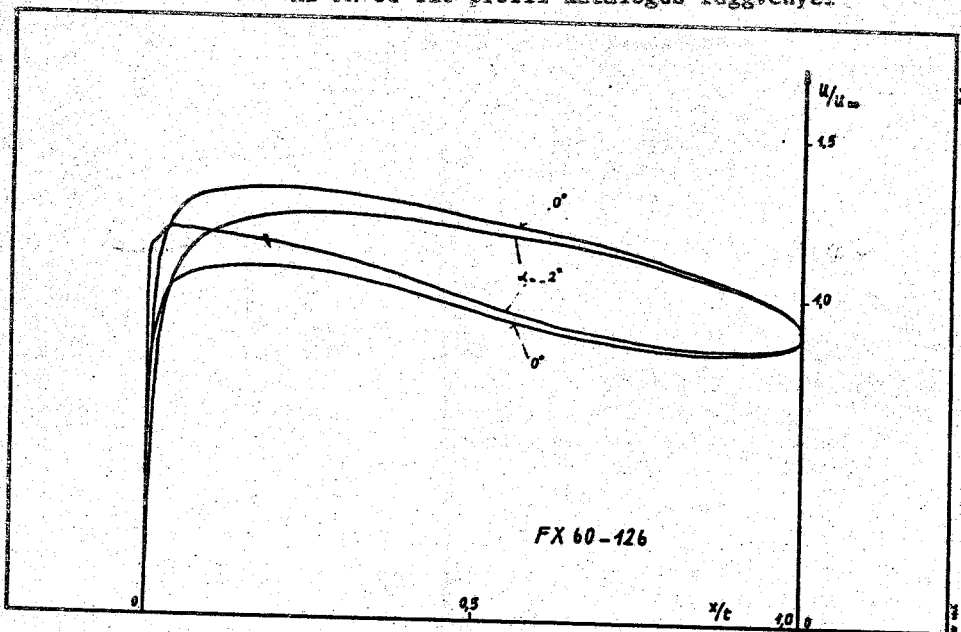
DIC./T... = .120 PUECKLAG./T = .279  
 MOELRUM/T = .036 PUECKLAGE/T = .565

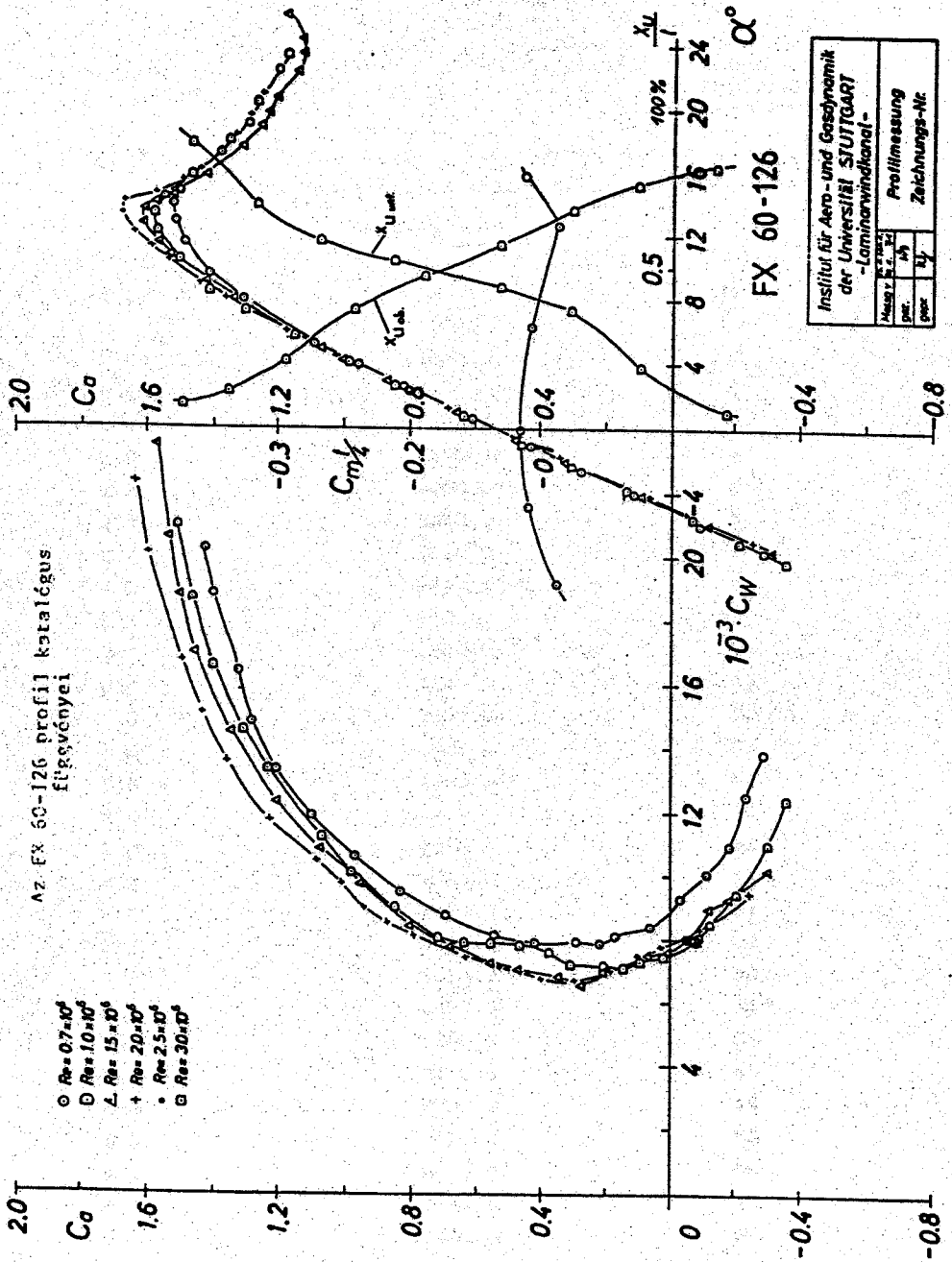
PROFILTIFFE = T

A szárny FX 60-126 profilja



Az FX 60-126 profil katalógus függvényei





Institut für Aero- und Gasdynamik  
 der Universität STUTTGART  
 -Laminarwindkanal-  
 Profilmessung  
 Zeichnungs-Nr.

Messr. Nr.	12
prot.	1/3
gezeichnet	1/3

FX 60-126

A statikus hosszstabilitás vizsgálatához felhasznált -Labodics J. repülőmérnök (Aeroplex)- által készített - szoftver input készletének kielégítésére regresszióvizsgálatot kellett végezni a wortmann-katalógus függvényei alapján. A vizsgálatot dr. Bálint-dr. Tátrai szerzőpáros által készített "Gyakorlati statisztikai számítások" Novotrade szoftverrel végeztem el.

A profil ellenállás-tényező --- állásszög ( $C_{x\alpha}$ ) függvény regressziós vizsgálata másodfokú polinommal

AZ ADATMÁTRIX

sor- szám	$\alpha$ (rad)	$C_{x\alpha}$ * (E-03)
1	- 0.1256	10.0
2	- 0.1186	9.5
3	- 0.1117	9.0
4	- 0.1047	8.5
5	- 0.0994	8.1
6	- 0.0925	7.9
7	- 0.0837	7.6
8	- 0.0767	7.1
9	- 0.0663	7.2
10	- 0.0523	7.1
11	- 0.0436	6.8
12	- 0.0363	6.7
13	- 0.0261	6.7
14	- 0.0191	6.7
15	- 0.0069	6.8
16	0.0000	6.9
17	0.0104	7.1
18	0.0244	7.3
19	0.0349	7.5
20	0.0436	7.7
21	0.0523	7.8
22	0.0628	8.0
23	0.0730	8.3
24	0.0872	8.6
25	0.0977	8.8
26	0.1099	9.3
27	0.1221	9.7
28	0.1291	10.2

## AZ ADATMÁTRIX

( folytatása )

sor- szám	$\alpha$ Crad.	$Cx_{\alpha}$ * (E-03)
29	0.1431	10.6
30	0.1553	11.0
31	0.1675	11.5
32	0.1815	11.9
33	0.1884	12.6
34	0.2024	13.7
35	0.2146	14.8
36	0.2234	15.8
37	0.2373	16.6
38	0.2565	18.7
39	0.2652	20.5
40	0.2862	22.2
41	0.3114	24.0

A KÖZELÍTÉS  $Y = A_0 + A_1 * X + \dots + A_M * X^M$  ALAKU

$$A_0 = 6.83616142 \text{ E} - 03$$

$$A_1 = 1.64659229 \text{ E} - 03$$

$$A_2 = 0.172547459$$

(Ahol:  $Y = Cx$   
 $A_{C0...M0} = d_{C0...M0}$   
 $X = \alpha$ )

Igy:  $Cx = d_0 + d_1 \alpha + d_2 \alpha^2 \dots$

*Megjegyzés: A statikus stabilitás számításához felhasznált szoftver ezekkel az input karakterekkel bíri a jellemzőket.)*

## REGRESSZIÓS TÁBLAZAT

### REGRESSZIÓS

NÉGYZETÖSSZEG = 7.92633613 E - 04

SZABADSÁGI FOK = 2

NÉGYZET ÁTLAG = 3.96316807 E - 04

### MARADÉK

NÉGYZETÖSSZEG = 6.86248245 E - 06

SZABADSÁGI FOK = 38

NÉGYZET ÁTLAG = 1.80591643 E - 07

### TELJES

NÉGYZETÖSSZEG = 7.99495096 E - 04

SZABADSÁGI FOK = 40

F = 2194.54676

DETERMINÁCIÓS KOEFF. = 0.99141649

KORRELÁCIÓS KOEFF. = 0.995696996

BECSLÉS STANDARD DEV. = 4.24960735 E - 04

### AZ ADATMÁTRIX

* sor- szám	* $\alpha$ (rad)	MÉRT $Cx_{\alpha}$ * (E-03)	SZÁMITOTT $Cx_{\alpha}$ * (E-03)
1	- 0.1256	10.0	9.351
2	- 0.1186	9.5	9.067
3	- 0.1117	9.0	8.805
4	- 0.1047	8.5	8.555
5	- 0.0994	8.1	8.377
6	- 0.0925	7.9	8.160
7	- 0.0837	7.6	7.907
8	- 0.0767	7.1	7.724
9	- 0.0663	7.2	7.465
10	- 0.0523	7.1	7.222

AZ ADATMÁTRIX

(folytatása)

* sor- szám	* $\alpha$ (rad)	MÉRT $Cx_{\alpha}$ * (E-03)	SZÁMI TOTT $Cx_{\alpha}$ * (E-03)
11	- 0.0436	6.8	7.093
12	- 0.0383	6.7	7.026
13	- 0.0261	6.7	6.910
14	- 0.0191	6.7	6.867
15	- 0.0069	6.8	6.833
16	0.0000	6.9	6.836
17	0.0104	7.1	6.871
18	0.0244	7.3	6.979
19	0.0349	7.5	7.103
20	0.0436	7.7	7.235
21	0.0523	7.8	7.394
22	0.0628	8.0	7.620
23	0.0750	8.3	7.930
24	0.0872	8.6	8.291
25	0.0977	8.8	8.644
26	0.1099	9.3	9.101
27	0.1221	9.7	9.609
28	0.1291	10.2	9.924
29	0.1431	10.6	10.605
30	0.1553	11.0	11.253
31	0.1675	11.5	11.953
32	0.1815	11.9	12.819
33	0.1884	12.6	13.270
34	0.2024	13.7	14.237
35	0.2146	14.8	15.135
36	0.2234	15.8	15.815
37	0.2373	16.6	16.943
38	0.2565	18.7	18.610
39	0.2652	20.5	19.408
40	0.2862	22.2	21.440
41	0.3114	24.0	24.376



A profil nyomatéki-tényező---állásszög ( $Cm_{\alpha}$ ) függvény  
 regressziós vizsgálata negyedfokú polinommal

AZ ADATMÁTRIX

sor- szám	$\alpha$ (rad)	$Cm_{\alpha}$ * (E-02)
1	- 0.1395	- 9.62
2	- 0.1255	- 9.87
3	- 0.1116	- 10.25
4	- 0.1029	- 10.37
5	- 0.0872	- 10.62
6	- 0.0697	- 10.87
7	- 0.0523	- 11.00
8	- 0.0366	- 11.25
9	- 0.0156	- 11.37
10	- 0.0000	- 11.50
11	0.0191	- 11.32
12	0.0348	- 11.30
13	0.0523	- 11.00
14	0.0697	- 10.87
15	0.0872	- 10.70
16	0.1098	- 10.50
17	0.1221	- 10.37
18	0.1569	- 9.75
19	0.1883	- 9.37
20	0.2546	- 9.37
21	0.2617	- 9.50
22	0.2792	- 10.70
23	0.2967	- 11.50
24	0.3141	- 12.00

A KÖZELÍTÉS  $Y = A_0 + A_1 * X + \dots + A_M * X^M$  ALAKU

$A_0 = - 0.113680635$   
 $A_1 = - 6.09742138$   
 $A_2 = 1.01721493$   
 $A_3 = - 0.2370065$   
 $A_4 = - 10.2275067$

(Ahol:  $Y = C_{m \times}$   
 $A_{C_0 \dots M} = k_{C_0 \dots M}$   
 $X = \alpha$

Igy:  $C_m = k_0 + k_1 \alpha + k_2 \alpha^2 + k_3 \alpha^3 + k_4 \alpha^4$

*Heggyezzo: A statikus stabilitás számításhoz felhasznált szoftver ezekkel az input karakterekkel léri a jellemzhet.)*

#### REGRESSZIÓS TÁBLÁZAT

##### REGRESSZIÓS

NÉGYZETÖSSZEG = 1.22128209 E - 03

SZABADSÁGI FOK = 4

NÉGYZET ÁTLAG = 3.05345322 E - 04

##### MARADÉK

NÉGYZETÖSSZEG = 5.52541765 E - 05

SZABADSÁGI FOK = 19

NÉGYZET ÁTLAG = 2.90811455 E - 06

##### TELJES

NÉGYZETÖSSZEG = 1.27663626 E - 03

SZABADSÁGI FOK = 23

F = 104.997763

DETERMINÁCIÓS KOEFF. = 0.956718935

KORRELÁCIÓS KOEFF. = 0.978120103

BECSLÉS STANDARD DEV. = 1.70531949 E - 03

AZ ADATMÁTRIX

* sor- szám	* $\alpha$ (Crad)	MÉRT $C_{m\alpha}$ * (E-02)	SZÁMÍTOTT $C_{m\alpha}$ * (E-02)
1	- 0.1395	- 9.62	- 9.646
2	- 0.1255	- 9.87	- 9.916
3	- 0.1116	- 10.25	- 10.178
4	- 0.1029	- 10.37	- 10.337
5	- 0.0872	- 10.62	- 10.604
6	- 0.0697	- 10.87	- 10.867
7	- 0.0523	- 11.00	- 11.082
8	- 0.0366	- 11.25	- 11.230
9	- 0.0156	- 11.37	- 11.353
10	- 0.0000	- 11.50	- 11.388
11	0.0191	- 11.32	- 11.362
12	0.0348	- 11.30	- 11.288
13	0.0523	- 11.00	- 11.152
14	0.0697	- 10.87	- 10.968
15	0.0872	- 10.70	- 10.742
16	0.1098	- 10.50	- 10.408
17	0.1221	- 10.37	- 10.216
18	0.1569	- 9.75	- 9.690
19	0.1883	- 9.37	- 9.340
20	0.2546	- 9.37	- 9.638
21	0.2617	- 9.50	- 9.802
22	0.2792	- 10.70	- 10.359
23	0.2967	- 11.50	- 11.159
24	0.3141	- 12.00	- 12.233

A cikk II. részében a repülésmechanikai számításom, valamint a statikus hosszstabilitás vizsgálatom elméleti összefüggését mutatom be, amely elméletek, összefüggések, képletek adták eredményeim (outputok) alapját.