

A REPÜLŐGÉP KERÉK FÉKEZÉSE NEDVES FELSZÁLLÓPÁLYÁN

Dr. Kiss Lajos mk. őrnagy
főiskolai adjunktus

A fékezett repülőgép kerekek és a nedves felszállópályák közötti kapcsolat meghatározására több éve folytatnak különböző kutatásokat és kísérleteket. A publikáció rövid betenkitést ad ezen tevékenységek múltjáról.

Az 1970 -es év végén megjelent publikációk pl. [1] -melyek a fékezett kerekek esetén a leszállási úthossz megállapítására vonatkoztak - nem mutathattak pontos eredményt mivel a repülőtér burkolata és a futómű kerék ballonja közötti kapcsolatot sokkal több dolog határozza meg, mint azt Brewer tanulmánya írja. Ezek a [2] szakirodalom alapján a következők:

- a futómű kerékre normál és oldal terhelések, F_N , F_Z ;
- a futóköpeny elhasználódásának mértéke;
- a felület szennyezettségének mértéke;
- a felület porózussága;
- a felszállópálya hossz- és keresztirányú lejtése, (autópályák felhasználása esetén);
- a környezeti hőmérséklet;
- a szélviszonyok, (főleg keskeny pályák esetén);
- a vízréteg vastagsága;
- a siklási, csúszási tulajdonságok.

Több dolog a fenti felsorolásból repülésről repülésre változik, így ezeket sem lehet effektíven felhasználni a kísérletekben. Mindezek mellett a repülőgép kigurulására áramlástan és repülés-mechanikai tulajdonságok is hatnak, mint pl.: a repülőgép aerodinamikája, vezérlési és kormányzási rendszere, hajtóműve, fékezés kezdeti sebessége, maga a repülőgép felépítése, műrepülési tulajdonságai; a futóművek jellemzői, annak fékező rendszere és hatékonysága, a kerék, a futófelület, a fékrendszer, a blokkolásgátló és a sebesség

mérő adó érzékenysége, annak automatikus elektromos rendszerre, a szervó szelep, a rugóstag típusa és berugózásának mértéke.... stb., [8].

KORÁBBI KUTATÁSI EREDMÉNYEK

1968 - 1975 -ös évek között az USA Légierő, a NASA és a FAA¹ által folytatott kutatások bemutatták, hogy nem lehet egyszerűen modellezni a címben említett problémát. 1968 -ban a NASA és egy BRIT² cég összehasonlító elemzéseket végzett különböző futóművek kerékblokkolósos jellemzőit kutatva, F-4 D vadász, és CONVAIR 990 szállító repülőgépen nedves, víztócsával, vékony vízzéeggel borított felszállópályán. A kísérlet eredményei a következőben foglalható össze:

- a felszállópálya állapotának megfelelő módszerrel (RCR), JAMES decelométerrel³ (JBD) nem lehet prognosztizálni a csúszási jellemzőket, így azt nem is lehet meghatározni;
- a fékezhető futóművet nem lehet felhasználni a leszállási uthossz pontos meghatározására.

Az USA Légierő 1972 - 1973 között végzett munkáiban a kerék blokkolással, annak csúszási-siklási tulajdonságaival foglalkozott, melynek az eredményei a következők:

- a mérő futóműves megoldással nem lehet pontosan meghatározni a repülőgép kifutási uthosszát;
- a mérő futóműves vizsgálat megfelelő eredményt ad a blokkolási és stabilitási jellemzőkről;
- a NASA és az USA Légierő DBV típusu mérő futóműve különféleképpen értékelte a felszállópálya felületének csúszási tulajdonságait.

A kifutási uthosszra hatnak: a kerékre jutó terhelés, a felszállópálya felületének szerkezete, a víztelenítés, a

¹Federal Aviation Administration.

²Ez a Brit cég más folytat kísérleteket, [8].

³Lassulásmérőről van szó.

vízréteg vastagsága, a repülőgép aerodinamikai jellemzője, a hajtómű és a blokkolásgátlók működésének jellemzője.

Mind Ezeket figyelembe véve a kísérleteket a következő következtetésekkel zárták le:

- a fékezési folyamat leírására megfelelő az ún. megállási próba;
- a surlódási kapcsolat leírásának egyenletei minden repülőgépre más és más eredményt hozott;
- a kapcsolat surlódási együtthatóinak pontos meghatározása gondosabb mérési procedurát igényel;
- a kapcsolat pontos modellezésére valósabb körülményeket kell teremteni (futókerék, fékező rendszer és blokkolásgátló). Egyetlen egy létező futómű sem ad megfelelően pontos értéket a repülőgép kigurulására.

A fenti kísérletekből azt az általános következtetést vonták le, hogy a surlódási kapcsolat meghatározására a futómű és a pálya között kb. 47 olyan jellemző paramétert kellene megvizsgálni. Azt a legfontosabb 20 alap információt - mely egyszerűen mérhető vagy számítható - a [2] irodalom a következőkben adja:

- kerékabroncs paraméterei:

1. terhelés, F_N , F_Z ;
2. töltőnyomás, p_t ;
3. az abroncs konstrukciója (pl. radiál, diagonál...);
4. a kopóréteg mintázata;
5. futókerék mérete, $(D \times B, d \times b)$;
6. a kopóréteg anyagának erősítése;
7. az erősítőanyag típusa (természetes v. mesterséges);
8. az abroncs kopásának mértéke, (kopás intenzitása);

- a felületet borító folyadék paraméterei:

9. viszkozitás, (dinamikai, kinematikai);
10. sűrűség;
11. vízvastagság;

- a felszállópálya felületének paraméterei⁴:

- 12. mikrostruktúra;
- 13. makrostruktúra;
- 14. polirozott kerékkal mért mozgási ellenállás;
- 15. kopott kerékkal mért mozgási ellenállás;
- 16. erózió elleni stabilitás;
- 17. hőmérséklet;
- 18. sebesség;
- 19. gurulás és a blokkolás határhelyzete;
- 20. fékezés kori surlódási együttható.

Az 1983-ban végzett kísérleteknél négy különböző típusú kísérleti futóművet használtak fel:

- diagonálisan elhelyezett fékezhető futómű (DBV, NASA);
- surlódási együtthatót mérő (μ) futómű (Anglia);
- surlódást mérő BV-11 (Svéd);
- surlódva mérő Saab (SFT), ahol különbözőképpen mérték a surlódási együttható értéket, (lásd 1.sz. táblázat).

A DBV módszeren a blokkolt kerék paramétereit mérték, az Angol mérőszerkezeten az oldalirányú erőt, a Svéd mérőberendezésekkel azt a fékerőt mérték, ahol a megcsuszás állandósult.

1.sz. táblázat

	Futómű típusa	Mérete	Kopóréteg	Töltőnyomás, Pa	Terhelés, N	Módszer	Üzem mód
1	DBV	356* 191	sima	$1,66 \cdot 10^5$	5783	Blokkolással	129km/h megáll.
2	μ mérés	406* 102	sima	$6,9 \cdot 10^5$	1112	7,5°csúszáskor	64 km/h folyam.
3	surl. mérés	406* 102	mintázott	$1,17 \cdot 10^5$	1001	rögzített csuszás	64 km/h folyamatosan
4	SFT	406* 102	hosszirányú víz-elvezetővel	$7,0 \cdot 10^5$ $20 \cdot 10^5$	1401	rögzített csuszás	64 km/h folyamatosan

⁴Ez akkor érdekes, ha pl. fémből készült a szükségrepülőtér, vagy ha fűves pályán történik az üzemeltetés.

A DBV alvázon a csuszóerőt mérik a felszállópályán párosan, diagonálisan elhelyezett hagyományos autókerék blokkolásával, 120 km/h sebességről egészen a teljes megállásig. A mérés pontosítására akcelométert^S építettek be, amellyel a surlódási kapcsolatot értékét mérték. Az aerodinamikai homlokellenállás, a kerék gördülési ellenállása mind mind számítható a futómű különböző mozgásakor.

A μ mérő azt az oldalirányú erőt méri, amely a két kerék között keletkezik, ha az $7,5^\circ$ -al elfordul a mozgásirányhoz képest. A keletkező erő az adott helyzetben a surlódási erőt méri. Mivel a kúszás szöge változik a rendelkezésre álló [3] surlódás függvényében, az oldalirányú erő csökken a kúszási szög szerint, s kevés a valószínűsége, hogy $7,5^\circ$ -nál a maximális értékét lehet megkapni.

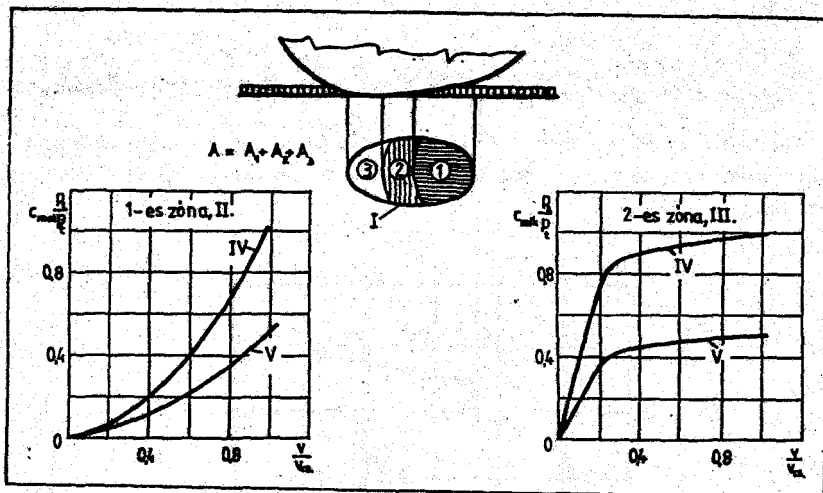
Az SFT alvázon egy SAAB típusú gépkocsira felszerelt keréket ellenőriznek, ami állandó, 15%-os csúszással gördül. A nyomtérk bevezetés a kerék és a pálya közötti kapcsolat mérésére szolgál. Mivel maximális surlódási erő fizikailag lehetetlen rögzített értékű csúszáskor, ezért a valószínű értéke a kapcsolattól független lesz!

A NASA CSÚSZÁSI ELMÉLETE

Magyarázatot ad a kerék gördülésére nedves felszállópályán, de pontatlan a kapcsolatot létrehozó erő pontos számítására. A NASA elméletében a kapcsolódási lenyomat három részre osztható. (1. ábra):

- 1- a víz teljesen kiszorul, megvalósul a dinamikai siklás;
- 2- vékony vízréteg marad, viszkozív siklás keletkezik;
- 3- száraz érintkezési terület, surlódási erő keletkezik.

A rendelkezésre álló surlódási erő elvével megegyezően a kapcsolat ezen három terület nagyságától függ. A zónák terület^S Gyorsulásmérőről van szó.



1. ábra

letei a ballonnyomástól függenek, melyet a 2. zónában mint a sebesség elsőfokú, az 1. zónában mint a sebesség másodfokú függvényei jellemeznek⁶. Ezt az összefüggést 32*8,8-as VII.⁷ kategóriájú futókerék kísérleténél állapították meg, mikor a folyadék nyomását sima Al.lap felhasználásakor is megmérték. Feltételezhető, hogy p_1 és p_2 folyadék nyomások az 1. és a 2. -es zónában pontosíthatók két tényező c_{mak} és c_{mik} felhasználásával. Ahol: c_{mak} az 1 -es zóna makroördességének, c_{mik} pedig a 2 -es zóna mikroördességének tényezője. A két adatot meglehetősen pontosan meghatározhatják a fékezhető futómű segítségével. Az 1. ábra kiegészítő jelölései:

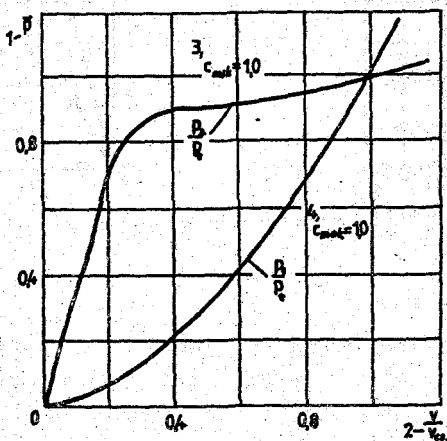
- I. - keréklenyomat;
- II. - dinamikai folyadék nyomás zóna;
- III - viszkóz folyadék nyomás zóna;

⁶ A [4] szakirodalom, 83. old (2) egyenlete hasonló kapcsolatot mutat.

⁷ Az adatok inch-ben értendők.

- IV. - sima felületű borítás;
- V. - érdes felületű borítás;
- v/v_{cs} - a kerék haladó mozgásának és csuszásának viszonyított sebessége;
- A - a kerék teljes lenyomata.

A NASA elméletében a folyadék nyomását a ballon nyomásához hasonlítják (p_p). Ennek kapcsán 2 görbét kapnak, amit a (2. ábrán) láthatunk.



2. ábra

Az ábra jelölései:

1. viszonyított folyadék nyomás;
2. a gördülés viszonyított haladó sebessége;
3. 2-es zóna;
4. 1-es zóna.

Há az adatokat sima felületre határozzák meg, akkor feltelezhető, hogy a kapott sebesség-nyomás függvény kapcsolat megfelel a $c_{max} = 1,0$ és $c_{mik} = 1,0$ értékeknek és hogy a nyomás függvény más, érdes felület esetében kisebb értékek-

kel számolható.

A csuszáskori kerék gördülés paraméterét meghatározva, az F_N függőleges terhelés egy része a 3-as száraz részre kerül. Feltételezik [2], hogy a kapcsolat hossz- és keresztirányú surlódási együtthatója azonos, így meghatározható az értéke nedves felszállópálya esetére:

$$\mu_R = \frac{A_3}{A} = \frac{\mu_x}{\mu_{\max.}} = \frac{\mu_z}{\mu_{\max.}} \quad (1)$$

$$\text{Amennyiben: } A_3 = A - (A_1 + A_2) \quad (2)$$

és alkalmazva az 1-es és 2-es zónában a viszonylagos folyadékok nyomások feltételezését, kapjuk:

$$A_1/A = c_{\max} P_1/P_L \quad (3)$$

$$A_2/A = c_{\text{mik}} P_2/P_L \quad (4)$$

$$\mu_R = \mu_x/\mu_{\max.} = 1 - (c_{\max} P_1/P_L + c_{\text{mik}} P_2/P_L) \quad (5)$$

Az (5) egyenletet a NASA alapvető siklási egyenletének tekintik. Az ezzel kapcsolatos NASA által alkalmazott számítási módszert a [2] szakirodalom részletesen kifejti.

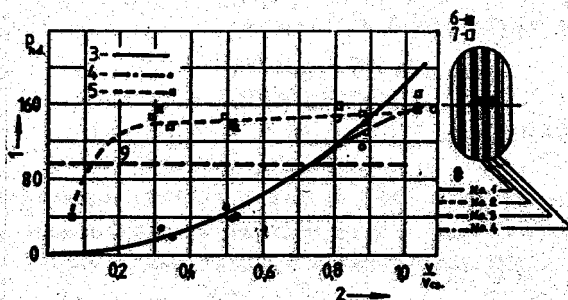
Az alkalmazott elmélet számítási szakasz a következőket feltételezi:

- több sebességen történik a fékezési kísérlet, hogy a görbe pontjait fel tudják venni;
- felépítik az $\mu_R = f(v/v_{cs})$ függvényt a kísérletek alapján. DBV futómű esetén pedig az μ_L kapcsolatot;
- interpolációval kiszámítják a c_{\max} és c_{mik} értékét;
- a folyadéknomás alapján ill. a (5) egyenlet segítségével meghatározzák az μ_R számított értékét;
- a ballonnyomást ismertnek tekintve $\mu_{\max.}$ és v_{cs} meghatározható;
- μ_{off} kiszámítható nedves felszállópályára.

Annak ellenére hogy az elmélet egyszerűnek és könnyűnek tűnik az alkalmazásra, megfigyelhetők a nehézségei is. Az 3. ábrán megadott kísérlet adatai 25,4mm vízréteg vastagságra

vonatkozik, ahol az alkalmazott jelölések:

1. hidrodinamikai nyomás földközéleben;
2. átszámított sebesség;
3. folyadék dinamikai nyomása;
4. $N^{\circ}-1$. adó értéke a középvonalon;
5. $N^{\circ}-2$. adó értéke a szomszédos felületről;
6. borda;
7. csatorna;
8. nyomás adó elhelyezése;
9. ballonnyomás.



3. ábra

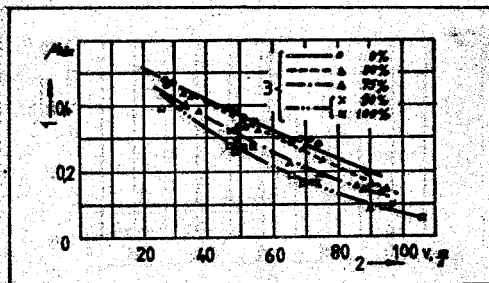
Azt a nyomást amit a borda alatt mérnek, a 2. zónához, a csatornában mért nyomást pedig az 1. zónához viszonyítják.

A következő NASA által alkalmazott elméletben a kiegészítés abban áll, hogy a dinamikai és viszkozus nyomások egyenlők a ballon nyomásával, (sebesség szerint), a sebesség pedig egyenlő a siklási (csuszási) sebességgel, $v_{cs} = 9 \sqrt{p_t}$. A 3. ábra bemutatja hogy ez a feltételezés nem teljesen igaz.

A NASA végrehajtott kísérletei néhány paraméter kapcsolatait erősítették meg nedves felszállópálya esetén: radiális terhelés; futógumi mérete, szerkezete, mintázata; csatornák mélysége; kopóréteg összetétele; hőmérséklet; vízréteg vas-

tagsága; felszállópálya borításának szerkezete; futókerék gördülésének módja és helyzete.

Az 4. ábra adatai a kerékköpeny kopásának hatását mutatja be, 32 * 8,8 VII. kerékre, hosszirányú csatornával, 1,03 MPa ballonnyomás esetén, nedves pálya használatakor.



4. ábra

- Az ábra jelölései: 1 - közepes μ ;
 2 - gördülési sebesség;
 3 - kerék kopás %-ban.

A kapott értékek átszámítására táblázatok állnak rendelkezésre, melyek a csuszási együtthatókkal vannak kapcsolatban.

A NASA korábbi kutatásai meggyőzően bemutatták, hogy a gumi csuszó surlódása jelentősen csökken a hőmérséklet növelésekor.

AZ EREDMÉNYEK IPARI FELHASZNÁLÁSA

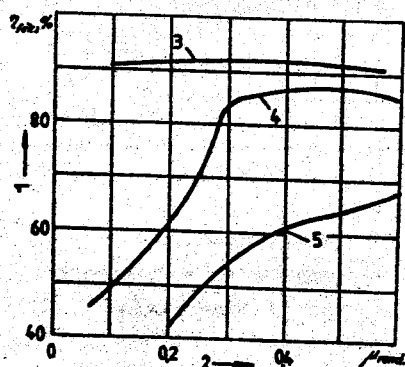
A repülőgép gyártó cégek nagy figyelmet fordítanak a hatásos és megbízható fékrendszerek gyártására. A fékezési nyomtérk értékeinek követelménye és a fékezési energia mennyisége számítógépen kerül feldolgozásra komplex számítógépes programok alkalmazásával, az eddigi eredmények ismeretében.

A rendszerek vizsgálatokor automatikus fékezési eljárások-

kat alkalmaznak:

- * fékezés állandó surlódási együtthatóval;
- * felszállópálya változó állapotának adaptációja, (nedves vízűcsás és jeges);
- * stabil mozgás a futókereken, hosszirányú lengés;
- * a fékező erőt a repülőgépezet vezérli;
- * felszállópálya egyenetlenség, pl. fűves pálya esete.

Jelenleg 4 családját alkalmazzák az ABS rendszernek. A 5. ábra próbapadi értékeket mutat be három repülőgépen alkalmazott ABS típusnál.



5. ábra

- Az ábra jelölései:
- 1 - a fékezés hatásossága;
 - 2 - max. meg. surlódási együttható;
 - 3 - haladó műszaki rendszer;
 - 4 - közbelső műszaki rendszer;
 - 5 - régi műszaki rendszer.

ZÁRÓ MEGJEGYZÉS

Mivel hiányzik a repülőgépekkel folytatott pontos próbapadi ellenőrzések sora, a fenti kísérletekből az így a kapott eredményeket a hajózó személyzet képzésében csak óvato-

san alkalmazhatják. A futómű alkalmazásával a pálya állapotát, annak tisztaságát javítását kísérhetik figyelemmel. Az ilyen pályákon történő mozgások esetén a fékezett kerekek dinamikai tulajdonságai is érdekesnek mondhatók. Erről a következő számban lesz szó.

ALKALMAZOTT JELÖLESEK

- p_1 1 zóna folyadék nyomása;
- p_2 2 zóna folyadék nyomása;
- p_1 ballonnyomás;
- H_R gördülő kerék hidrodinamikai paramétere;
- H_L csúszó kerék hidrodinamikai paramétere;
- H_x nedves felületen a hosszirányú gördülési ellenállás;
- H_z nedves felületen a csuszási surlódási ell.;
- $H_{max.} = 0,9300 - 0,0011 p_1$;
- $H_{eff} = H_{max} \eta$;
- η kísérleti együttható (NASA).

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Brewer H.K. Cornering Properties of Aircraft Tires, to be presented at the ASTM Tire Symposium, Akron, Ohio, Nov.13. 1974.
2. Hainline B C, Amberg R L, Srinath S K: Prediction of Aircraft Braking Friction on Wet Runways, A look at past and current research activities, SAE Tech. Pap. Ser. 1983, N° 831362, p.1-15.
3. Kiss Lajos: Lateral Motion of Aircraft on the Runway, 19th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 18-23. September, 1994, Anaheim, California, USA.
4. Kiss Lajos: Futókerékre ható üzemeltetési paraméterek. MH. SZRF. TKK. 1993\2-3 p.75-91.
5. Watling A.G. The Dynamic Response of an Aircraft Wheel to Variations in Runway Friction, Aeronautical Journal 1988. 92. N° 915 p. 169-178.