

Kiss Lajos mk.százados, főiskolai adjunktus

FUTÓKEREKRE HATÓ ÜZEMELTETÉSI PARAMÉTEREK

Napjaink egyik fontos megoldandó szakmai problémája a repülőgépek fel- és leszállása közbeni útirányú kormányzás biztosítása. Annak ellenére hogy folyamatosan hallani a kormányberendezések, a fék- és a blokkolásgátló rendszerek korszerűsítéséről, az utóbbi években növekedett az útirányú stabilitás elvesztése miatt bekövetkező események és katasztrófák száma.¹

Ebben a kapcsolatban sebezhető az összes repülőgép, különösen azok a harci gépek, melyek nedves, havas, nagy keresztirányú lejtéssel rendelkező pályákra szállnak le. Fékezéskor hosszirányú siklás, elcsodródás jön létre és csökken a kerekekre ható oldalirányú erő is.

E cikkemben a repülőgép futóművének gumiköpenyére ható oldal- és hosszirányú erőkkel, valamint ezek jellemzőivel foglalkozom, három nagy valószínűséggel bekövetkező esetben.

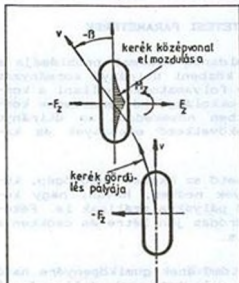
1. A kerék gördülésekor és oldalcsúszásakor keletkező erők

A repülőgép földön történő mozgása elsősorban a köpeny és a felület közötti súrlódási erő hatására történik. Az 1. ábrán egy olyan kerék látható, mely kezdetben párhuzamosan gurul a felszállópálya tengelyével. Amikor a gördülő kerekekre egy feltételezett kúszást okozó $-F_z$ erő hat, akkor a kerekekre az érintkezési síkban ugyanolyan nagyságú, de ellentétes irányú oldalirányú F_z erő hat, mely megakadályozza a repülőgép legördülését a pályáról. A kerék ilyen jellegű mozgása β kúszási szöggel jellemezhető, amely a kezdeti és az adott kerék mozgásirány között mérhető.

A csúszással gördülő kerék c_{zk} oldalerő együtthatójának meghatározásához az oldalirányú F_z erő és a függőlegesen ha-

¹Flight International, 1992, július, 22-28, 31-35. oldal.

tó F_N terhelésből származó erők viszonyát veszik. A c_{zk} és a β között meghatározott összefüggés van. (2.sz.ábra). Fontos

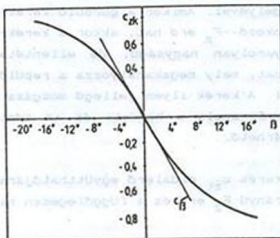


1. ábra

paraméter a repülőgép utirányú kormányzásában a kerék oldalirányú merevsége, mely az oldalirányú erő görbéjének kúszási szög szerinti iránysszögéből nulla kúszási szögnél határozható meg. A repülőgép jobb kormányozhatósága érdekében kívánatos olyan kerékekkel felszállni, melynek nagy az oldalirányú merevsége, ami egyben csökkentheti a külső köpeny kopását a különböző fordulónál. A hagyományos kereszttezett konstrukciójú kerékekkel összehasonlítva a nagyobb oldalirányú merevséggel rendelkező radiális kord-

szálú köpennyel ellátott kerékek talán ez az egyik legnagyobb előnye.

A nonlineáris jellegre való átmenet abból következik, hogy megváltozik a ballon merevségének és a rendelkezésre

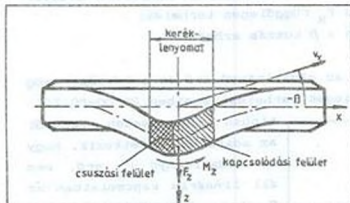


2. ábra

álló súrlódásnak a kölcsönhatása. A 3. ábrán látható a felszálló pálya felületén adott kúszási szög esetén a kerék gördülése.

A gumiköpeny azon pontjai, melyek a kerék felülettel történő érintkezési pontján kívül esnek, külső hatásoktól mentesek. Azok keresztirányú elmozdulása csaknem előidézi az

az alatt elhelyezkedő víz deformációját. Annak mértékében ahogy a köpeny ezen pontjai érintkezésbe kerülnek a pályaburkolattal, a súrlódási erő hatására nem mozdulnak el. Amennyiben a kerék v_x irányban, a koronavonallal $(-\beta)$ hajlásszöget bezárva mozog, akkor a köpeny pontjai - áthaladva az érintkezési zónán - a kerékhez viszonyítva keresztirányban összenyomódnak. Ez a keresztirányú deformáció maga után vonja a ballon külső részében a visszaállító erőrendszert, amely az oldalirányú F_z erők eredőjét jelenti.



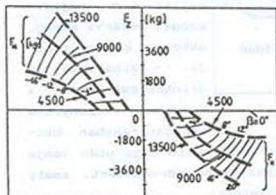
3. ábra

Következésképpen, minél nagyobb a kúszási szög, annál nagyobb a keresztirányú deformáció, illetve annál nagyobb az eredő oldalirányú erő. A merevség és a súrlódási erő ilyen kölcsönhatása a kis kúszási szögeknél jelentkezik (2. ábra) és lineárisan jellemezhető kapcsolatot rejt az oldalirányú erők és a kúszás között. Azonban a visszaállító F_z erő, csak bizonyos határértéket vehet fel. Ez a határérték a rendelkezésre álló helyi súrlódási erőből, és a függőleges terhelés eloszlásától függ.

Nagy kúszási szögeknél a rendelkezésre álló súrlódás kevésnek tűnik az oldalirányú visszaállító erő felvételére, ennek következtében jelentős csúszás keletkezik, - először az érintkezési felület hátsó részénél, ahol is a legnagyobb a keresztirányú elmozdulás - majd pedig a kúszási szög növekedésekor a csúszás áttevődik az érintkezési felület mellső részére is. A csúszás ezen jellege a 2. ábrán a lineáris rész átmeneténél van.

Legfontosabb Üzemeltetési jellemzők, melyek az oldalirányú erőre hatnak: - az F_N függőleges terhelés;
- és a β kuszás szöge.

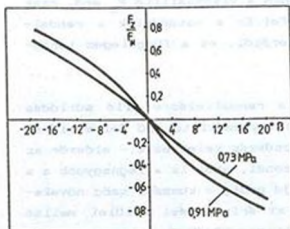
A 4. ábrán látható az oldalirányú erő és a kuszási szög kapcsolata három függőleges terhelési esetben 20.00-20 III.



4. ábra

tipusú kerék esetén. Ezekből az adatokból következik, hogy az oldalirányú F_z erő, nem áll lineáris kapcsolatban az F_N és a β értékével, vagyis csökkentve a radiális terhelést az oldalirányú merevség csökken, a lineáris összefüggés az F_z/F_N ill. β között megszűnik, vagyis csúszáskor a repülőgépet irány szerint csökkentett radiális terhelés esetén nehezebb kormányozni mint normál terheléskor, különösen havas vagy sáros felszállópálya használatakor.

A kerék ballonjának nyomása szintén hatással van az oldalirányú F_z erőre, vagyis a töltőnyomás növelése egyidejűleg megnöveli az oldal-

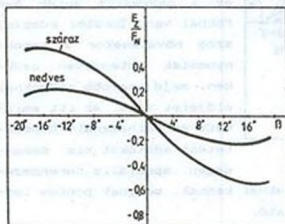


5. ábra

és függőleges merevséget, amely ellentétesen hat az oldalirányú erő keletkezésére. A megnövelt oldalmerevség hatása a megnövelt oldalirányú erőre részlegesen csökken, -a lenyomat hosszának csökkenése miatt- mely függőleges merevség növekedésének következmé-

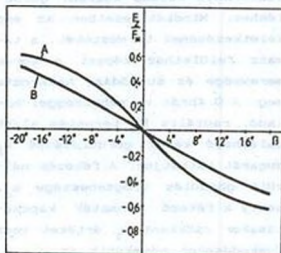
nye. A ballon nyomásának növelésekor az oldalirányú erő növekedése kisebb mint az várható lenne. (pl. az 5. ábrán látható hogy 25 %-kal megnövelve a ballonnyomást az oldalirányú erő csak 10 %-kal nőtt meg).

A köpeny hatékonysága az iránytartás biztosításában erősen csökken havas síkos és jeges felszállópályákon. A 6.



6. ábra

nyezőinek görbéi A és B köpeny kialakítás esetén. Kerék csúszással történő gördülésekor, oldalirányú erő keletkezése

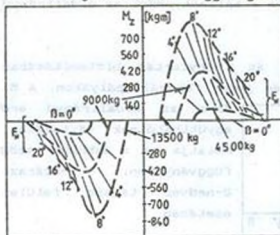


7. ábra

6. ábra az oldalirányú erő együttthatóinak változását mutatja be a küszási szög függvényében: 1-száraz, 2-nedves támasz felület esetében.

Jelentősen hatással van az oldalirányú erőre a köpeny anyaga és a kialakítása. A 7. ábrán látható hogyan különböznek egymástól az oldalirányú erők tényezőinek görbéi A és B köpeny kialakítás esetén. Kerék csúszással történő gördülésekor, oldalirányú erő keletkezése mellett (F_z), ún. saroknyomaték M_{zk} is keletkezik, melyet visszaállító nyomatéknak neveznek, mivel a csúszás ellenében hat. (lásd 3. ábra). A kormányozható kerekek futószár bekötéseinek ezt a nyomatéket fel kell venniük. Fontos tényezőként jelentkezik ez a saroknyomaték az ún. simi keletkezésében. A saroknyomatéknak M_{zk} bonyolult kapcsolata van a β küszás

szögével, a függőleges F_N terheléssel. Kapcsolatukat a 8. ábra mutatja be. Adott függőleges F_N terhelésekor a saroknyomaték növekszik a küszási szög növekedésekor és felveszi a maximális értékét.

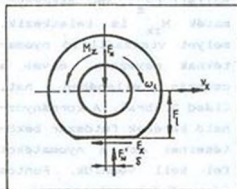


8. ábra

Normál Üzemeltetés esetén ez a maximális érték 6-8 foknál van. További küszási szög növelésekor a saroknyomaték intenzíven csökken, majd nagyobb szögeknél előjelet vált. Az itt említett és felhasznált Üzemeltetési adatokat kis sebességen, speciális berendezéseken mozgó sík támaszfelületnél kapták, melynek pontos leírása az [1] munkában található.

2. A kerék fékezésekor keletkező erők

A kerék fékezési nyomaték hatása közbeni viselkedése több dologban hasonló az oldalirányú küszás közbeni gördüléshez. Mindkét esetben az erők keletkezésének természetét, a támasz felülethez képest a kerék merevsége és surlódása határozta meg.



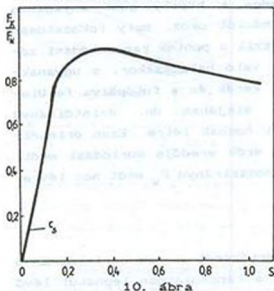
9. ábra

A fékezés nélküli gördülés szögsebessége ω_0 , amely a fékező nyomaték kapcsolásakor csökkent ω_1 értéket vesz fel. A fékezési nyomaték növekedésekor növekszik az $\omega_0 - \omega_1$ különbsége.

Mennyiségi érzékelésére bevezették az:

$$S = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \quad (1)$$

viszonyszámot, amit viszonylagos átfordulásnak neveznek. A fékezés következtében a kerék és a felszállópálya felületé-

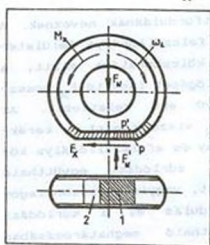


10. ábra

nek kölcsönhatása miatt, a repülőgépet lassító F_x hosszirányú erő keletkezik. Az F_x/F_N viszony mint a kerék-köpeny és afelszállópálya közötti súrlódási együttható ismert, vagyis a viszonylagos átfordulás és a súrlódási együttható meghatározásában mintegy hasonlóság húzódik az oldalirányú erő c_{zk} együtthatója és a küszási szög értelmében. Egy jellegzetes összefüggése a repülőgép kerekek F_x/F_N az S -től száraz repülőtéri felület esetén [5], a 10. ábrán látható, ahol $S = 0$ a kerék szabad gördülésének, az $S = 1$ pedig a kerékblokkolásnak felel meg. A görbe dőlése $S = 0$ nál a kerékbálon hosszirányú merevséget határozza meg, melyet c_s -el jelölnék. Ettől a merevségtől függ az erő növekedése a görbe kezdetén. A kísérleti eredményekből tapasztalták, hogy a nagy hosszirányú merevséggel rendelkező ballonok növelik a hosszirányú F_x erőt és nagyobb kopási ellenállással rendelkezik a fékezés közben.

A fékezés fizikai magyarázata a kerék deformációs képével mutatható be. (11. ábra). A p pont a köpeny külső részén található, a p' pont pedig belül a vázon van. A kapcsolási zónával való találkozás előtt mindkét pont külső feszültségtől mentes és egymáshoz képesti helyzetük változatlan, azaz

egy vonalban vannak. A p pont a támasztási felülettel történő érintkezés után v_x sebességgel, míg a p' pont a fékezés



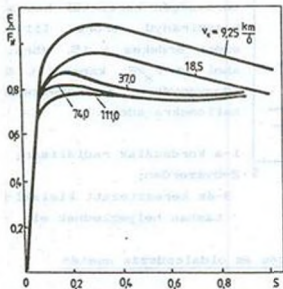
11. ábra

A fékezési nyomaték kis értékénél a max. érintőirányú feszültség (nyíró feszültség) a kapcsolatban leghátul lévő pontban kisebb értékű a rendelkezésre álló súrlódásnál, ami a jelentős csúszás hiányát és az F_x/F_N az S -től való lineáris kapcsolatát feltételezi. Nagy fékezési nyomaték esetén a nyírófeszültség meghaladja a rendelkezésre álló súrlódást, aminek következtében a csúszás megnövekszik. A fékezési nyomaték növelésekor a csúszási terület szélesedik, előre halad s végül az egész kapcsolódási zónát felöleli. Ebben a helyzetben a "teljes csúszás" a meghatározó.

A fent említett fékezési folyamat a ballon merevségének és a súrlódás közötti szoros kölcsönhatásnak az eredménye, mely függvénye több tényezőnek kezdve a repülőter felületének geometriai sajátosságától egészen a futókerékben alkalmazott kord anyag típusáig.

Fékezéskor a kerék súrlódásra legnagyobb hatással a mozgás sebessége és a pálya szennyezettsége van. A gumi

súrlódásának a csúszássebességtől való függése miatt a száraz pályán történő gördülési sebesség növekedésekor a kerék fékező hatása hirtelen lecsökken. A 12. ábrán a súrlódási



12. ábra

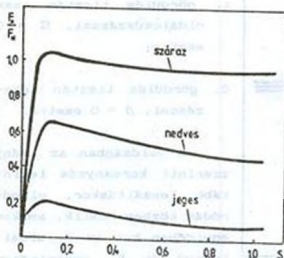
- A_s kísérleti úton megállapított együttható.

tényezők görbéi a viszonylagos elfordulásnak és a $v_x = 9.25, 18.50, 37.00$ km/h sebességnek a függvényében láthatók, [7].

A [2] munkában egyszerű lineáris összefüggést találhatunk a kerék súrlódási együtthatójára fékezéskor, a csúszási sebesség v_s függvényében (az egész érintkezési felület kúszásakor).

$$\mu = \mu_0 (1 - A_s v_s) \quad (2)$$

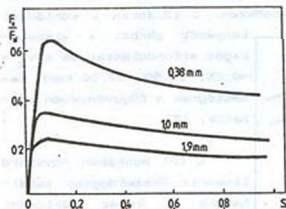
ahol: - $v_s = S v_x$;



13. ábra

A repülőtérfelületének szennyezettsége a kerék fékezésének jellegére [5] a 13. ábrán látható, ahol F_x/F_N az S függvényében adott: 1.-száraz; 2.-nedves; 3.-jeges felszállópálya esetére. A 13. ábra 2 görbéje nedves felszállópályára vonatkozik mely meghatározott vízmagasságnak felel meg. A vízréteg vastagságának hatása az F_x/F_N

összefüggésre az S függvényében [7] a 14. ábrán látható, 0.38, 1.00, 1.90 mm -es vízrétegnél.



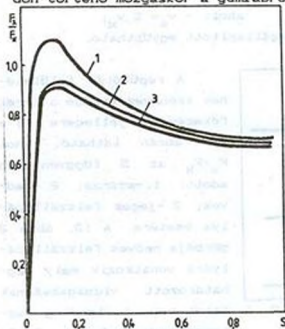
14. ábra

A ballon szerkezete a merevségén keresztül hat a hosszirányú erőre [11], ezért érdekes a 15. ábra, ahol az F_x/F_N kapcsolat S függvényében a következő ballonokra adott:

- 1-a kordszálak radiálisan;
- 2-övszerden;
- 3-és keresztezett kialakításban helyezkednek el.

3. Keréggördülés fékezés és oldalcsúszás esetén

A repülőgép kormányzásának kinetikai feladataiban, főleg történő mozgáskor a gumiabroncsra ható erőket két speciális esetre határozzák meg:

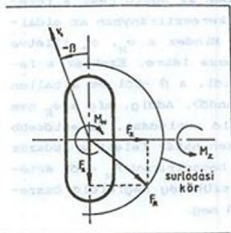


15. ábra

- 1. gördülés tisztán csak oldalcsúszással, $S = 0$ esetre;
- 2. gördülés tisztán fékezéssel, $\beta = 0$ esetre.

A valóságban az irány szerinti kormányzás leginkább leszálláskor, elsodródás közben romlik, amikor egyidőben hat az F_z oldalirányú és F_x hosszirányú erő. A fékezés és az oldal-

irányú kúszás együttes hatása eredményeképpen a rendelkezésre álló erő nagysága jelentősen csökken. (Összehasonlítva



mikor a hatás külön-külön jelentkezik). Az F_z és F_x kölcsönhatásának magyarázatára rendszerint az ún. súrlódási kör kifejezést használják (lásd 16. ábra), melynek alapja arra támaszkodik, hogy az érintőirányú erő vektor a föld síkjában nem lehet nagyobb az F_z és a μ súrlódási együttható szorzatánál [3], vagyis:

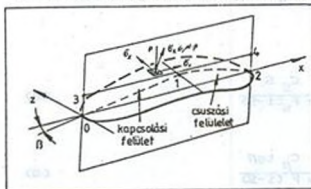
$$F_R = \mu F_z \quad (4)$$

16. ábra

ahol: $\vec{F}_R = \vec{F}_x + \vec{F}_z$.

Ez az elv a súrlódási erőnek határt szab (16. ábra), illetve bizonyos értékkel rendelkezik a jelenség mennyiségi leírásához.

Az utóbbi időben jelent meg egy másik korszerűbb modell, ami a fékezés és az oldalirányú kúszás együttes hatását írja le.



17. ábra

Ebben a modellben a fent említett kerék gördülésének mechanikáját használják, s kapcsolatban volt a gépjárművek kinetikai vizsgálatával [2]. A 17. ábra egy keréknyomatot ábrázol, mely az F_x és F_N erők közös hatása alatt áll. Amikor a kőpeny különböző "feszültség mentes"

része bekerül az érintkezési zónába, a súrlódási erő hatása alá kerül s a földhöz képest nyugalomban marad. A kapcsolódási felületen történő mozgás mértékében az adott rész a fékezés következtében úgy hossz-, mint keresztirányban az oldalirányú küszás miatt csúszni kezd. Mindez a σ_x , σ_z illetve ezek eredőjét σ_R feszültségeket hozza létre. Ezeknek a feszültségeknek az értéke függ az S-től, a β -tól és a ballon merevségétől (mindkét irányban értendő). Addig, míg a σ_R nem haladja túl a $\mu \cdot p$ rendelkezésre álló súrlódást, jelentősebb "sziklás" nem keletkezik, azonban ezen határ felett a csúszás bekövetkezik. Az oldalirányú F_z és hosszirányú F_x erők értékei az érintkezési felületen σ_R feszültség megfelelő összetevőinek integrálásával határozható meg.

Az oldal- és hosszirányú erők a viszonylagos csúszás és a küszási szög függvényében történő pontos bemutatása a [2]-es munkában található. A következőkben bemutatom ezek végleges egyenleteit:

$$\frac{F_x}{F_N} = \frac{\bar{S}}{\bar{S}_R} \cdot \frac{F_R}{F_N} \quad (6)$$

$$\frac{F_z}{F_N} = \frac{\bar{\beta}}{\bar{S}_R} \cdot \frac{F_R}{F_N} \quad (7)$$

ahol:

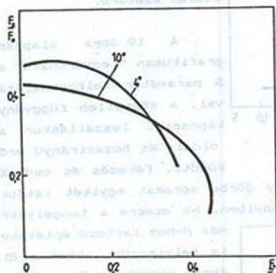
$$\bar{S} = \frac{C_S S}{\mu F_N (1-S)} \quad (8)$$

$$\bar{\beta} = \frac{C_\beta \operatorname{tg} \beta}{\mu F (1-S)} \quad (9)$$

$$\bar{S}_R = (\bar{S}^2 + \beta^2)^{0.5} \quad (10)$$

$$F_R = \begin{cases} \mu F_N \bar{S}_R, & \bar{S}_R \leq 0.5 \\ \mu F_N \left(1 - \frac{1}{4\bar{S}_R}\right), & \bar{S}_R > 0.5. \end{cases} \quad (11)$$

A fenti egyenletek alapján alakították ki a 18. ábrát,



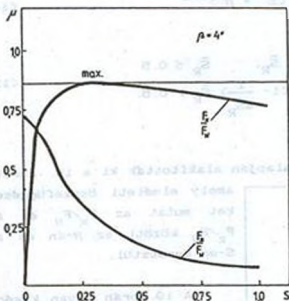
18. ábra

amely elméleti összefüggéseket mutat az F_x/F_N és az F_z/F_N között az β -án és az S -en keresztül.

A 19. ábrán olyan kísérleti adatok szerepelnek [2], melyek megmutatják az oldal- és hosszirányú erők kölcsönös összefüggését. A "0" hosszirányú viszonylagos átfordulásakor a balonra oldalirányú erő hat, melynek nagysága a β szöggel arányos. Ilyen megközelítésben az oldalirányú

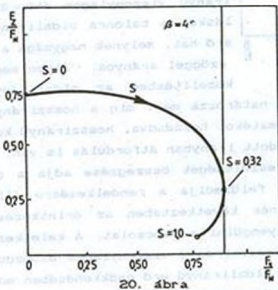
küszömozgást a β nagysága határozza meg, míg a hosszirányú küszás nulla. Fékezési nyomatókat hozzáadva, hosszirányú küszás is fellép, mivel az adott irányban átfordulás is van. A hossz- és keresztirányú feszültségek összegzése adja a σ_R eredő feszültséget, amely felülmúlja a rendelkezésre álló súrlódás határértékét. Ennek következtében az érintkezési zóna hátsó részében kezd gyengülni a kapcsolat. A keletkező csúszás miatt csökken a keresztirányú viszonylagos elmozdulás deformációja, amely az oldalirányú erő csökkenésében mutatkozik meg. További fékezés közbeni hosszirányú siklás nö-

velése ahhoz vezet, hogy egyre nagyobb zóna vesz részt a csúszásban, ami az oldalirányú erő nagyságának csökkenésével



19. ábra

mellett. A 20. ábrán [2] egy görbe sorozat egyikét látjuk, 4° -os kuszási szögnel. Amennyiben, ha ezekre a tengelyekre



20. ábra

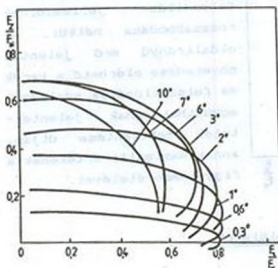
jár együtt! A 10. ábrán a súrlódási együttható változása látható a ballon és a felszállópálya között, adott oldalirányú erő együtthatója F_z/F_N a viszonylagos átfordulás S függvényében adott $\beta = 4^\circ$ kuszás esetére.

A 10. ábra alapján, grafikusán "legyártható" az S paraméter felhasználásával, a közvetlen függvénykapcsolat leszálláskor az oldal- és hosszirányú erők között, fékezés és csúszás között. A 21. ábrán [2] egy görbe sorozat egyikét látjuk, 4° -os kuszási szögnel. Amennyiben, ha ezekre a tengelyekre más β -hoz tartozó értékeket is felvisszük, akkor a 21. ábrát kapjuk, mely megfelelően jó összefüggést ad 4 alapvető mennyiség F_x , F_z , β és S között.

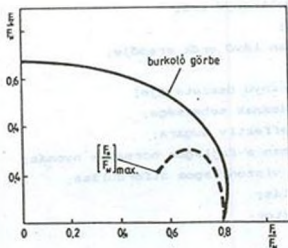
A 21. ábra burkológörbét a 22. ábrán láthatjuk, melyet egyes irodalmak ún. határkapcsolatnak neveznek (1. görbe). Mindez felöleli az összes elméletileg lehetséges, a repülőgép irány szerinti kormányzásakor a

rendelkezésre álló oldal- és hosszirányú erők közötti összefüggést.

A gyakorlatban a kapcsolódási határ jelentősen szűkül, mivel a modern blokkolásgátlók fékezéskor megvalósítják a



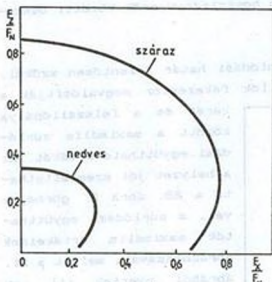
21. ábra



22. ábra

kerék és a felszállópálya között a maximális súrlódási együttható értékét. Ez a helyzet jól szemléltethető a 22. ábra 2. görbéjével, a súrlódási együtthatók maximális értékeinek ábrázolásával, melyet a 21. ábrából nyertek ill. az F_x/F_N - S kapcsolat vízszintes érintőjének felhasználásával kapnak, (lásd 19. ábra). A 22. ábra bemutatja,

hogy az olyan esetekben mikor a kerék súrlódása maximális a felszállópályával, a rendelkezésre álló oldalirányú erő értékének csökkenéséhez vezet. Ez az érték azonban még bőven megfelel a repülőgép normál körülmények közötti irány szerinti kormányzásának. A 23. ábrán látható, hogy nedves felszállópályán a kerék pályával való határkapcsolata hirtelen lecsökken (10), amely az útirányú kormányzás elvesztéséhez vezethet.



23. ábra

Következésképpen, fontos hogy az oldal- és hosszirányú erők legoptimálisabb kapcsolatát ismerjük. A 21. ábrán látható, a felszállás jellemzőinek rosszabbodása nélkül, az oldalirányú erő jelentős növekedése elérhető a kerék és felszállópálya súrlódási együtthatójának jelentéktelen csökkentése útján, annak maximális értékének a figyelembevételével.

4. Jelölések

- C_s - hosszirányú merevség;
- C_β - a ballon oldalirányú merevsége;
- F_x - a ballonra ható hosszirányú erő;
- F_z - a ballonra ható oldalirányú erő;
- F_N - a radiális terhelés;
- F_R - az érintkezési síkban lévő erők eredője;
- M_z - fékezési nyomaték;
- v_x - kerék mozgás hosszirányú összetevője;
- v_s - keréklenyomat csúszásának sebessége;
- R_1 - kerék gördülésének effektív sugara;
- p - az érintkezési zónában a fajlagos normális nyomás;
- S - a kerék hosszirányú viszonylagos átfordulása;
- \bar{S} - átszámított átfordulás;
- \vec{S}_R - eredő átfordulás vektor;
- β - kúszási szög;
- $\bar{\beta}$ - viszonylagos kúszási szög;
- ω_0 - fékezetlen kerék gördülési szögsebessége;
- ω_1 - fékezett kerék gördülési szögsebessége;

δ - föld függőleges reakciójának elmozdulása;

μ - súrlódási együttható;

σ_x - kúszás kapcsoló feszültsége x irányban;

σ_y - kúszás kapcsoló feszültsége y irányban;

σ_R - kúszás eredő feszültsége.

FELHASZNALT IRODALOM

1. Brewer H.K. Cornering Properties of Aircraft Tires, to be presented at the ASTM Tire Symposium, Akron, Ohio, Nov. 13, 1984.
2. Dughoff H. Tire performance characteristics affecting vehicle response to steering and braking control inputs. Highway Safety Research Institute, Ann Arbor, Michigan, 1979.
3. Holmes K.E. and R.D. Stone Tire forces as functions of cornering and braking slip on wet road surfaces. Symposium on handling of vehicles under emergency conditions, Inst. Mech. Eng., Jan., 8, 1979.
4. Livingston D.I. and J.E. Brown Jr., Physics of the slipping wheel. II. slip under both tractive and lateral forces, Jr. Rubber chemistry and tech.
5. McCarty J.L. Results from recent studies of tire braking performance, ASMT Tire traction symposium, Lanham, Maryland, 1982.
6. Goodenow G.L. Tire road friction measuring system - a second generation, SAE Paper No. 880137, 1978.
7. Harned J.L. Measurement of tire brake force characteristics as related to wheel slip control system design, SAE Paper No. 890214, 1978.
8. Byrdsong T.A. Investigation of the effect of Wheel braking on side force capability of a pneumatic tire, NASA TN D-4802, 1978.
9. Beauregard C. and R.G. McNall, Tire cornering traction test methods, SAE Paper No. 730147, 1983.
10. Martin J.F. Force and moment characteristics of passenger car tires, Calpsan Corp. Report No. YD-3150-K-1, 1983.
11. Bird K.D. Private communication, June 26, 1984.