

## DESPRE MĂSURĂTORILE COEFICIENTULUI DE FRECARÉ ÎN CONTACTUL PNEU-PISTĂ

**Ionuț Marius NAZARIE**

Facultatea de Inginerie Mecanică, Autovehicule și Robotică, Universitatea "Ștefan cel Mare", Suceava, România

Autorul corespondent: Ionuț Nazarie, e-mail: [ionut.nazarie@gmail.com](mailto:ionut.nazarie@gmail.com)

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Ilie MUSCĂ**, profesor, Facultatea de Inginerie Mecanică,  
Autovehicule și Robotică, Universitatea "Ștefan cel Mare", Suceava, România

**Rezumat:** Coeficientul de frecare dintre pista de aterizare și pneurile aeronavelor este un element esențial în siguranța operațiunilor de aterizare. Pentru ca aceste operațiuni să se desfășoare în siguranță, aeroporturile au obligația de a verifica valoarea coeficientului de frecare utilizând echipamente speciale. Acest lucru se face periodic și ori de câte ori există premise, că aderența la pistă a pneurilor să se fi modificat (prin modificarea condițiilor meteo sau din alte cauze), cu echipamente omologate destinate acestui scop, așa cum este și echipamentul ASFT T5. În cadrul acestui articol se realizează o analiză și o interpretare a unor rezultate ale măsurătorilor coeficientului de frecare pe o pistă de aeroport, cu un echipament de măsurare de tip ASFT T5. Măsurarea valorilor acestui coeficient, făcută pe porțiuni prestabilite ale zonei de rulare și interpretarea coeficienților de frecare, bazată pe aspecte fenomenologice și observații directe pe pistă, conduc la concluzii practice, privind posibilitatea de estimare a momentului când trebuie preconizate lucrări de mentenanță ale suprafeței de rulare a pistei, fiind în același timp și un bun indicator al gradului de degradare locală a stării suprafeței.

**Cuvinte cheie:** frecare pneu-pistă, măsurători, contaminare pistă

### Introducere

Frecarea pneu-pistă contribuie direct la stabilitatea aeronavei pe pistă și este un factor crucial care, atunci când este prea mică, poate determina producerea de accidente la aterizare sau decolare. Aeronava care rulează pe pistă se bazează pe frecarea generată între anvelope și suprafața pistei, ceea ce permite aeronavei să păstreze direcția, să vireze, să ruleze și, în cele din urmă, să oprească.

Frecarea este un fenomen care se manifestă printr-o forță care se opune mișcării relative între anvelope și pistă. Forța de frecare de alunecare se caracterizează prin coeficientul de frecare,  $\mu$ , definit ca raportul dintre forța tangențială de frecare dintre banda de rulare a pneului și suprafața pistei și reacțiunea normală.

La contactul inițial al pneurilor cu pista, acestea întâi patinează, apoi încep să se rotească sub efectul interacțiunii cu pista și, după un anumit timp, capătă o anumită viteză de rotație, denumită ca "spin up speed" [1].

Valorile măsurate ale coeficientului de frecare sunt singurele informații obiective privind starea suprafeței pistei, celelalte aspecte sunt subiective (apreciere, estimare contaminare de către personalul ce realizează inspectarea stării suprafeței pistei).

Astfel, măsurătorile coeficienților de frecare sunt informații valoroase, în special în situațiile de cumul a contaminanților pe pistă, atunci când se monitorizează degradarea aderenței pe suprafață, fiind un indicator al stării suprafeței portante a pistei și a siguranței desfășurării operațiunilor.

## Prezentarea echipamentului de măsurare de tip ASFT T5 [2]

Pentru efectuarea măsurătorilor s-a folosit un echipament de tip ASFT T5 (figura 1). Suprafața de contact este de tip covor asfaltic. ASFT este un echipament de sol, integrat electromecanic-hidraulic de înaltă tehnologie, compus dintr-un sistem de transmisie mecanică, sistem hidraulic, sistem computerizat de măsurare și control și sistem de control electric.



**Figura 1. Echipament măsurare coeficient frecare- ASFT T5**

Principiul general de funcționare al ASFT T5 se bazează pe măsurarea forței care antrenează în mișcare de rotație, o roată de măsurare, apăsată pe pistă cu o sarcină constantă, prestabilă. Mișcarea și efortul sunt culese de la roata de măsurare prin intermediul unei transmisii prin lanț, de la care sistemul de măsurare evaluează forța de frecare și calculează coeficientul de frecare. Concomitent sistemul monitorizează ceilalți parametri respectiv forța de apăsare a roții de măsurare pe pistă, viteza de deplasare, condițiile meteo, etc.

Se pot efectua două tipuri de măsurători:

8. Primul tip de măsurători care se poate realiza este cu frecare continuă, când roata de măsurare este acționată permanent cu o sarcină de 140 kgf pe suprafață, fiind în contact cu pista, pe întreaga lungime de măsurare.
9. Cel de al doilea tip presupune setarea de intervale predefinite de măsurare, când, la atingerea distanței setate roata de măsurare, care este în rulare liberă pe suprafață, este acționată cu o sarcină de 140 kgf pe suprafață și se măsoară coeficientul de frecare. Există 2 moduri de a face acest lucru, fie prin pornirea manuală a măsurătorii, fie automat prin definirea unui autostart după o distanță predefinită. Coeficientul de frecare de alunecare este coeficientul obținut într-o condiție de blocare a roții de măsurare, similar cu ceea ce se întâmplă atunci când pneurile aeronavei ating pista, la aterizare.

În cadrul măsurătorilor roata de măsurare folosită a fost de tip T520, cu presiune interioară de 7 bari și confecționată să se comporte asemănător unui pneu de aeronavă, acționarea /coborârea acesteia realizându-se cu ajutorul sistemului hidraulic integrat, figura 2.



**Figura 2. Roata de măsurare- T520**

### Desfășurarea măsurătorilor

În cadrul acestui studiu s-a folosit funcția de autostart pentru a efectua măsurători ale coeficientului de frecare la distanțe de măsurare de 150 metri, pe o distanță totală de 1800 metri.

Măsurătorile s-au efectuat în lungul pistei, pe două linii paralele cu axa/linia centrală a acesteia și situate la distanțe de 6 metri stânga și 6 metri dreapta. Viteza medie de măsurare utilizată a fost de 65 km/oră. Distanța față de axă s-a adoptat având ca referință aeronavele care operează frecvent, aeronave de tip Airbus 321, respectiv locul cu probabilitatea de rulare cea mai mare, deoarece pilotul ghidează aeronava după linia de axă a pistei iar distanța între grupurile de roți din trenul de aterizare este 12 metri.

### Prelucrarea și interpretarea rezultatelor

În figura 3 se prezintă un mod de afișare a unui rezultat al măsurării coeficienților medii de frecare pe zone de măsurare, în formă tabelară. Măsurătorile au fost centralizate în vederea interpretării.

Summary all		
Speed Avg	76	Km/h
Max	0.90	$\mu$
Min	0.46	$\mu$
Zone A Avg	0.73	$\mu$
Zone B Avg	0.72	$\mu$
Zone C Avg	0.68	$\mu$
<b>TOT Avg</b>	<b>0.71</b>	<b><math>\mu</math></b>

Figura 3. Model de afișare a sintezei rezultatelor coeficienților medii de frecare pe zone de măsurare

Au fost efectuate un număr de 6 treceri (câte 3 pe fiecare parte a axului pistei) cu echipamentul de măsurare de-a lungul pistei. Reprezentarea grafică a valorii medii a coeficienților de frecare măsurați este evidențiată în figura 4.

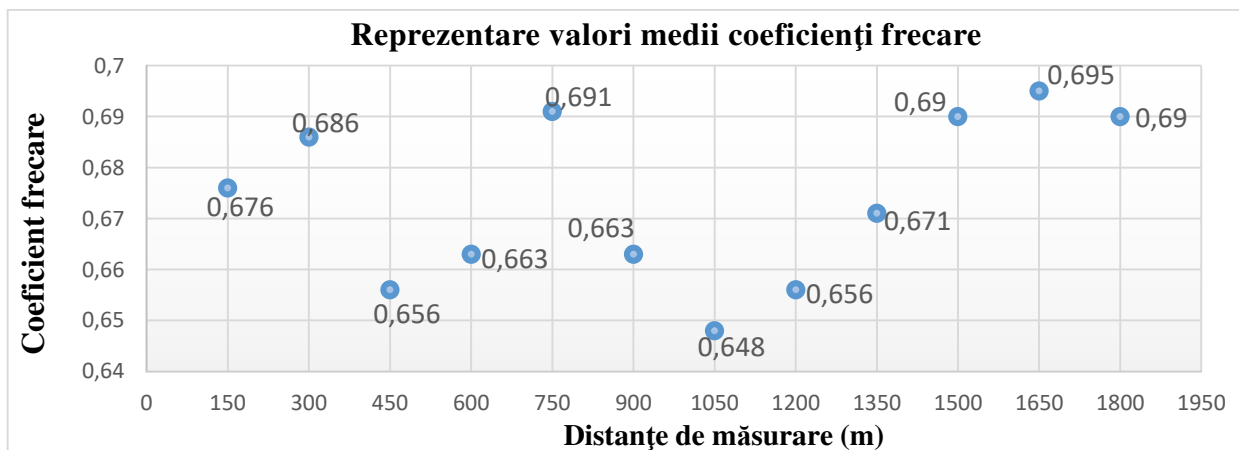


Figura 4. Reprezentare valori medii coeficienți de frecare corespunzător distanțelor de măsurare

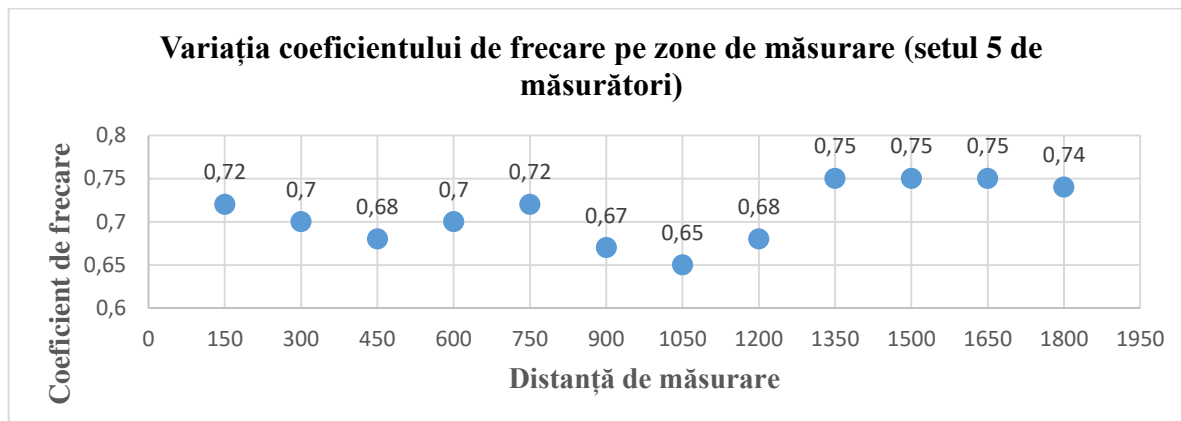
Coeficientul de frecare mediu a fost calculat ca o valoare medie aritmetică a coeficienților obținuți din măsurători, pentru fiecare distanță de măsurare, pentru cele 6 seturi.

Graficul evidențiază o distribuție relativ neuniformă. Astfel, se apreciază că distribuția valorilor discrete poate fi influențată și de faptul că roata de măsurare nu măsoară/calcă exact în același loc, deci nu rulează pe același tip de suprafață sau pe aceeași tip/grad de contaminare a suprafeței (uscată, cu urme de cauciuc etc.).

Pe porțiunile unde roata de măsurare a întâlnit depuneri de cauciuc, valorile coeficientului de frecare sunt mai scăzute, ele depinzând de situația existentă în locul respectiv. De aceea, pentru siguranța aterizării se apreciază că sunt mai importante măsurătorile continue ale coeficientului de frecare pe suprafața pistei decât cele la distanțe prestabilite.

Se apreciază că o micșorare a distanței de măsurare sau chiar o măsurare continuă ar conduce la o creștere a acurateții de estimare a valorilor locale ale coeficientului de frecare pe lungimea pistei, identificând mai precis zonele unde aceasta este afectată de factori externi ca: uzura suprafeței de rulare (lustruire, faianțare), gradul de acoperire cu contaminanți (urme de cauciuc, apă, zăpadă, gheață) precum și grosimea depozitelor de cauciuc.

În figura 5 este prezentat un exemplu de rezultate, ales aleatoriu, obținut în cadrul măsurătorilor, respectiv setul 5 de măsurători.



**Figura 5. Variația coeficientului de frecare pe distanțe măsurate (setul 5 de măsurători)**

Variația coeficientului de frecare este de la 0,65 la 0,75. Această diferență se apreciază că este datorată rugozității covorului asfaltic, uzurii suprafeței portante (lustruire, faianțare) și contaminării (depuneri de cauciuc).

Valorile cele mai scăzute ale coeficientului de frecare, intervalul 0,65-0,68, corespund zonelor celor mai utilizate, care prezintă gradul de contaminare mai mare cu urme de cauciuc provenite din pneurile aeronavei, respectiv 450 metri și 900-1200 metri.

Valorile obținute pe zona de la 450 metri se explică prin faptul că această zonă corespunde locului unde roțile aeronavei ating preponderent pista, pneurile intră în patinare și apoi trec în mișcare preponderentă de rostogolire. La trecerea cu echipamentul, roata de măsurare a efectuat măsurători pe aceste urme.

Pe distanța 900-1200 metri valorile scăzute ale coeficientului de frecare se datorează faptului că aterizarea predominantă este pe această pistă într-un singur sens, astfel această zonă fiind mai contaminată cu urme de cauciuc decât alte zone din pistă și corespunde zonei de rulare cu frânare a aeronavei.

Valorile corespunzătoare intervalului 0,7-0,75, sunt măsurate pe zonele care nu sunt contaminate cu urme de cauciuc.

Tipul acesta de măsurători reflectă coeficientul de frecare local, efectiv, care este puternic dependent de situația în locul respectiv, unde roata de măsurare întâlnește sau nu o depunere de cauciuc, provenită dintr-un contact inițial pneu- pistă.

Este posibil ca un avion care aterizează și atinge pista puțin lateral față de ax și la aceeași distanță de capăt, să atingă într-o zonă cu un alt coeficient de frecare, deci să nu atingă zona contaminată pe care s-au efectuat măsurători. De aceea pentru siguranța aterizării sunt mai importante măsurătorile continue decât cele la distanțe prestabilite, efectuate longitudinal, la mai multe distanțe față de axul pistei.

### **Concluzii**

În urma analizei efectuate se constată că valorile coeficientului de frecare în contactul pneu-pistă nu au o distribuție uniformă pe suprafața măsurată, împrăștierea poate fi datorată rugozității covorului asfaltic, uzurii suprafeței portante (lustruire, faianțare) și contaminării (depunerii de cauciuc).

Măsurătorile au fost realizate pe intervale predefinite în scopul analizării gradului de obiectivitate în a reflecta condițiile de pe suprafața pistei. Micșorarea distanței de măsurare poate oferi mai multe date despre variația coeficientului de frecare, astfel acurațetea cu care se va realiza estimarea coeficienților medii de frecare va fi îmbunătățită.

Valorile medii ale coeficientului de frecare, obținute la distanțele prestabilite, ce variază între 0,648 și 0,695, semnifică o stare a suprafeței diferită pe lungimea pistei, care nu asigură un coeficient de frecare constant.

Valorile coeficienților de frecare se pot lua ca referință în vederea stabilirii caracteristicilor de frecare pe suprafață, fiind un bun indicator în preconizarea lucrărilor de mentenanță. Acest lucru se poate realiza prin compararea valorilor coeficienților de frecare obținuți cu valorile de referință, reglementate ale coeficientului de frecare: 0,6 pentru planificarea mentenanței și 0,5 pentru valoarea minimă acceptată de operare [3].

Pentru o imagine precisă a distribuției valorilor coeficientului de frecare pe întreaga pistă, ar trebui analizate cumulativ mai multe valori măsurate, precum și evoluția lor în timp deoarece mărimea valorilor măsurate depinde esențial de starea locului pe unde trece roata de măsurare și această stare poate să difere atât pe lungimea cât și pe lățimea zonei posibile de contact pneu-pistă.

Gradul de degradare al suprafeței poate astfel fi determinat prin monitorizarea variațiilor coeficientului de frecare obținut prin măsurători în timp.

### **Bibliografie**

- [1] Yadong Niu, Sixiang Zhang, Guangjun Tian, Huabo Zhu and Wei Zhou ,Estimation for Runway Friction Coefficient Based on Multi-Sensor Information Fusion and Model Correlation,2020
- [2] ASFT Industries AB, Manual Computer System Description, Techniques , ASFT Trailers (T-10 or T-5) , 2011
- [3] EASA, Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014) Subpart C Aerodrome Maintenance , 2024