

## Implementacija sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija na aerodromu Nikola Tesla u Beogradu

Nemanja Nešković<sup>a</sup>, Goran Kovačević<sup>a</sup>, Nevena Vajdić<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Belgrade Airport d.o.o. Beograd

### PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS.68.02.02

Stručni rad

Primljen: 05/05/2022

Prihvaćen: 20/06/2022

Korespondent autor:

neskovic93@gmail.com

*Ključne reči:*

APMS

Upravljanje održavanjem

### REZIME

Na aerodromu Nikola Tesla u Beogradu je već duže vreme prepoznata potreba za uvođenjem sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija (*APMS – Airport Pavement Management System*) kojim bi se postojeće procedure unapredile i omogućilo što optimalnije korišćenje sredstava namenjenih održavanju. Godine 2019. je počelo testiranje i konfigurisanje jednog takvog sistema. U radu su predstavljeni karakteristike samog sistema i izazovi koji su se javili tokom implementacije.

### 1. Uvod

Uvođenje Sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija (*APMS – Airport Pavement Management System*) na aerodromu Nikola Tesla u Beogradu počelo je u julu 2019. godine kada je počela test faza.

Uvođenje sistema za upravljanje održavanjem ima za cilj da se svi dostupni podaci o istorijatu građenja, upotrebljenim materijalima, kao i rezultati ispitivanja vršenih na aerodromu nađu u jednoj dobro struktuiranoj GIS bazi podataka. Tako struktuirani indikatori stanja postaju međusobno uporedivi i mogu pomoći inženjerima u donošenju odluka kada je u pitanju planiranje održavanja kolovoznih konstrukcija. Pored toga postoji mogućnost relativno jednostavnog formiranja različitih tipova izveštaja.

### 2. Istorijat građenja i održavanja manevarskih površina na aerodromu

Prve kolovozne konstrukcije na Aerodromu Nikola Tesla u Beogradu izgrađene su u periodu između 1958. i 1962. godine. Prvobitno su izgrađene dve platforme sa pratećim rulnim stazama za kretanje aviona do parking pozicije, pet rulnih staza i poletno-sletna staza. Kolovoznu konstrukciju prvobitnih površina čini betonska ploča dimenzije 7.5 x 8.0 m i debljine od 30 do 35 cm preko sloja šljunka debljine oko 35 cm.

U narednim decenijama na aerodromu su proširene postojeće i izgrađene nove manevarske površine. Danas se održava preko 500 000 m<sup>2</sup> kolovoznih konstrukcija namenjenih kretanju vazduhoplova. Na aerodromu su trenutno dominantne tipične krute kolovozne konstrukcije od kojih su neke presvučene jednim slojem asfalta. Izuzetak je kolovozna konstrukcija poletno-sletne staze kod koje se u centralnoj zoni nalazi i do 30 cm asfaltnih slojeva, te se prema dostupnim analizama defleksionih bazena ponaša dominantno kao fleksibilna kolovozna konstrukcija.

Prema dostupnim informacijama, praćenje stanja oštećenosti manevarskih površina se u početku radilo ručno ucrtavanjem oštećenja i izvršenih popravki na situacioni plan. Treba napomenuti da od najranijih perioda aerodrom poseduje i podatke o izvršenim, pre svega geotehničkim ispitivanja, ali i merenjima ravnosti, nosivosti, kao i rezultate snimanja vršene georadarom.

Razvojem *CAD* alata praćenje stanja oštećenosti počinje da se radi preko računara uz primenu dominantno *Pavement Condition Index - PCI* metodologije (*ASTM*, 2020). Prvi ciklus snimanja stanja oštećenosti *PCI* metodologijom rađen je 2012. godine i od tada je urađeno tri ciklusa snimanja. Trenutnim aerodromskim procedurama pored praćenja stanja oštećenosti previđeno je i merenje nosivosti ugibomerom sa padajućim teretom (*Heavy Weight Deflectometer - HWD*) uz proveru vrednosti *Pavement*

*Classification Number - PCN*, kao i kontrola ravnosti i provera koeficijenta trenja koji su dominantno vezani za poletno-sletnu stazu.

### 3. Osnovni principi rada sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija na aerodromu

Prvi korak u kreiranju APMS-a je formiranje referentne mreže i unos postojećih podataka vezanih za istorijat građenja i karakteristike upotrebljenih materijala. Kada postoji referentna mreža moguće je uneti i dostupne rezultate parametara stanja kolovoznih konstrukcija. Prikupljeni podaci se dalje obrađuju primenom različitih modela koji se definišu, a odnose se na: različita ograničenja (budžet, važnost predmetne kolovozne konstrukcije, mogućnost zatvaranja, itd.); stabla odlučivanja; modele propadanja i tretmane održavanja. Rezultat na ovaj način struktuirane analize za cilj ima formiranje plana održavanja koji se može periodično ažurirati daljom kalibracijom navedenih modela i novim informacijama o stanju kolovoznih konstrukcija.

Pored opisanog, sistem za upravljanje održavanjem uveden na aerodromu ima i modul za praćenje aktivnosti na redovnom održavanju i manjim popravkama. Prikupljanje ovih informacija može biti značajno, posebno da bi se istakla opravdanost složenijih i sveobuhvatnijih tretmana održavanja.



Slika 1. Osnovni principi sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija

Izvor: Prezentacije vezane za sistem upravljanja održavanjem kolovoznih konstrukcija izrađene od strane VINCI Concessions

### 4. Referentni podaci

Kako bi se formirala prostorna baza podataka neophodno je bilo prvo formirati referentnu mrežu. Za osnovu mreže uzeta je postojeća podela izvršena prema *PCI* metodologiji gde je osnovna jedinica *Tile* što odgovara poddeonici (*sample unit*) prema *PCI* metodologiji. Okvirna površina jednog *Tile* prema *PCI* metodologiji je 450 m<sup>2</sup> ili oko 20 ploča u slučaju krute kolovozne konstrukcije (*ASTM*, 2020). Sistem prepoznaje i manju celinu za planiranje održavanja u slučaju krute kolovozne konstrukcije, što je ploča (*Slab*), kao i veće *Lane*, *Zone*, *Component*.

Za formiranje mreže korišćeni su postojeći georeferencirani crteži u *.dwg* formatu dostupni na aerodromu, od kojih su upotrebom programskog paketa *AutoCAD MAP* formirane datoteke u *.shp* formatu koji se tipično koristi u GIS bazama podataka. Pored navedenog obavezni deo referentne mreže su i centralne linije manevarskih površina.

Ovde se može napomenuti da su prilikom formiranja baze podataka formirane i *.shp* datoteke koje predstavljaju zelene površine definisane propisima koji se odnose na vazdušni saobraćaj, kao što su osnovna staza poletnosletne staze (*Runway Strip*), zaštitna površina kraja poletno-sletne staze (*RESA – Runway End Safety Area*), kao i zaštitni pojasevi rulne staze (*Taxiway Shoulder*).

Kako je održavanje ispunje spojnica u zadovoljavajućem stanju značajna aktivnost u održavanju krutih kolovoznih konstrukcija, u sistemu su formirane i datoteke koje predstavljaju svaku od spojnica, te se na taj način jednostavno može pratiti stanje i efikasno planirati održavanje.

Kako su u toku radovi na rekonstrukciji i proširenju aerodromskog kompleksa i novoizgrađene površine se uključuju u sistem za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija. U budućnosti je planirano uključivanje sistema svetlosnog obeležavanja manevarskih površina, kao i sistema kišne kanalizacije.



Slika 2. Prikaz trenutne referentne mreže aerodroma Nikola Tesla definisane u sistemu za upravljanje održavanjem  
Izvor: Preuzeto iz aerodromskog sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija

### 5. Indikatori stanja

U sistemu su kreirani svi indikatori stanja kolovoznih konstrukcija čije je praćenje definisano aerodromskim procedurama. Pored već definisanih, sistem poseduje i bazu indikatora stanja formiranih na drugim aerodromima koji se takođe mogu koristiti, a po potrebi se mogu kreirati i novi indikatori.

Unos dosadašnjih rezultata merenja vršenih na aerodromu pokazao se kao izuzetno složen i dugotrajan proces jer je svaki od rezultata bilo neophodno uneti ručno i odrediti u odnosu na uspostavljenu referentnu mrežu. U budućnosti će unos rezultata merenja biti znatno olakšan zahvaljujući predefinisanim obrascima koje će dobijati i same kompanije koje budu radile merenja na aerodromu. Pregled indikatora stanja koji se unose u APMS dat je u nastavku.

### 5.1. Indikatori stanja – PCI/SCI/FOD

Indikator stanja oštećenosti kolovozne konstrukcije PCI koji se osim u putnoj privredi koristi i na aerodromima definisan je standardom ASTM D-5340 (ASTM, 2020). Osim unosa, obrade i čuvanja postojećih podataka sistem poseduje i mogućnost izračunavanja indeksa PCI na osnovu unetih (snimljenih) oštećenja. Pored indeksa PCI u sistemu su definisana i dva indikatora izvedena iz ove metodologije SCI – *Structural Condition Index*, koji u obzir uzima samo strukturalna oštećenja kolovozne konstrukcije (Shahin, 1994), kao i indeks FOD – *Foreign Object Debris* koji prikazuje mogućnost generisanja krhotina stranih predmeta koji su prepoznati kao rizični za odvijanje vazdušnog saobraćaja (US Department of the Air Force, 2004).

**Tabela 1.** Prikaz oštećenja PCI metodologije koja se koriste za proračun indeksa FOD u slučaju krute kolovozne konstrukcije

Oštećenje	Intenzitet (L (Low) = Nizak; M (Medium) = Srednji; H (High) = visok)
Izdizanje	L, M, H
Pukotine u uglovima	L, M, H
“D” pukotine	L, M, H
Linijske pukotine	L, M, H
Oštećenje ispune spojnica (faktor korekcije: 4.0)	L, M, H
Male zakrpe	L, M, H
Velike zakrpe	L, M, H
Ispadanje agregata	-
Pumpanje kroz pukotine i spoj.	-
Površinska oštećenja	L, M, H
Sleganje ili denivelacija ploča	L, M, H
Izlomljena ploča	L, M, H
Pukotine usled skupljanja	-
Krunjenje spojnica	L, M, H
Krunjenje u uglovima ploča	L, M, H

Napomena: Tipovi oštećenja, kao i intenziteti oštećenja za koje se smatra da dovode do pojave FOD prikazani su podebljano  
Izvor: (US Department of the Air Force, 2004)

**Tabela 2.** Prikaz oštećenja PCI metodologije koja se koriste za proračun indeksa FOD u slučaju konlovodne konstrukcije sa zastorom od asfalt betona

Oštećenje	Intenzitet (L (Low) = Nizak; M (Medium) = Srednji; H (High) = visok)
<b>Mrežaste pukotine (factor korekcije: 0.6)</b>	L, M, H
Ispilivanje bitumena	-
<b>Blok pukotine</b>	L, M, H
Poprečno nabiranje	L, M, H
Depresije	L, M, H
<b>Erozija usled sagorevanja veziva</b>	-
<b>Reflektovane pukotine</b>	L, M, H
<b>Podužne i poprečne pukotine</b>	L, M, H
<b>Mrlje od goriva</b>	-
<b>Zakrpe i namerni kvarovi</b>	L, M, H
Uglačan agregat	-
<b>Odošćenje materijala</b>	L, M, H
Kolotrazi	L, M, H
<b>Deformacije usled kretanja betonskih ploča</b>	L, M, H
<b>Deformacije usled proklizavanja slojeva</b>	-
Bubrenje	L, M, H

Napomena: Tipovi oštećenja, kao i intenziteti oštećenja za koje se smatra da dovode do pojave FOD prikazani su podebljano  
Izvor: (US Department of the Air Force, 2004)

### 5.2. Indikatori stanja – parametri defleksionog bazena

U sistemu se čuvaju i podaci o izmerenim defleksijama prikupljeni merenjem ugibomerom sa padajućim teretom - HWD. Sistem ima mogućnost da koriguje unete vrednosti defleksionog bazena u odnosu na zadatu temperaturu i opterećenje, što između ostalog olakšava i poređenje dobijenih rezultata. U samim analizama, a u slučaju fleksibilnih kolovoznih konstrukcija, sistem koristi i dva parametra defleksionog bazena  $d_0$  (maksimalni ugib ispod centra ploče koji prikazuje sveukupno stanje kolovozne konstrukcije) i  $BLI$  – *Base Layer Index* ( $d_0 - d_{300}$  prepoznat u literaturi i kao *SCI - Surface Curvature Index*, indikator stanja asfaltnih slojeva kolovozne konstrukcije (Mladenović, 2022))

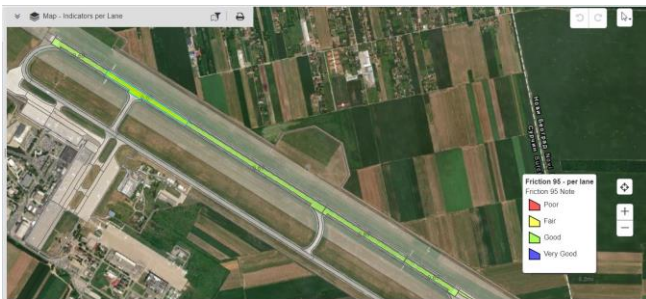
### 5.3. Indikatori stanja – odnos ACN/PCN

Metodologija za ocenu stanja nosivosti kolovoznih konstrukcija na aerodromima je u upotrebi od 80-ih godina XX veka kada je definisana od strane ICAO - *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 1983). Smatra se da kolovozna konstrukcija ima zadovoljavajuću nosivost sve dok je njen PCN – *Pavement Classification Number* niži od vrednosti ACN – *Aircraft Classification Number* kritičnog vazduhoplova. Očekuje se da ACN/PCN metodologija u bliskoj budućnosti bude zamenjena metodologijom *ACR/PCR (Aircraft/Pavement Classification Rating)*, koja je razvijena po sličnom principu, ali uzimajući u obzir savremene analitičke metode dimenzionisanja kolovoznih konstrukcija.

#### 5.4. Indikatori stanja – ravnost i trenje

Pored međunarodnog indeksa ravnosti (*IRI – International Roughness Index*) koji je preuzet iz putne privrede i koji se standardno koristi na aerodromima, na aerodromu Nikola Tesla ravnost poletno-sletne staze izražava se i preko *Boeing Bump Index – a*. U pitanju je metodologija razvijena od strane kompanije *Boeing* za upotrebu na aerodromima, koja u obzir uzima razlike u konstrukciji vazduhoplova i drumskih vozila pre svega u pogledu dužine krute baze (*DeBord, 1990*).

Pored indikatora stanja ravnosti, na poletno-sletnoj stazi redovno se proverava i koeficijent trenja. Metodologija definisana aerodromskim procedurama se bazira na uputstvu američke Savezne uprave za vazduhoplovstvo *FAA – Federal Aviation Administration (FAA, 1997)*.

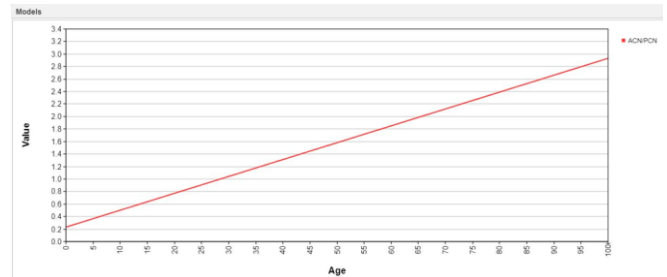


**Slika 3.** Prikaz vrednosti koeficijenta trenja u sistemu za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija  
Izvor: Preuzeto iz aerodromskog sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija

#### 6. Modeli propadanja kolovozne konstrukcije

Za svaki od navedenih indikatora koji se nalaze u sistemu usvojen je model propadanja, koji definiše ponašanje datog parametra kroz vreme. Svi modeli trenutno definisani u sistemu za upravljanje održavanjem su epirijski (regresioni) dobijeni iz dostupnih baza podataka. Sistem ima i mogućnost korekcije modela na osnovu unetih novih podataka.

Jedan od modela koji je u upotrebi u sistemu je i *ACN/PCN* model formiran na osnovu istorijskih podataka sa poletno-sletne staze Aerodroma Nikola Tesla. Kao početna godina pri formiranju modela korišćena je 2005. godina kada je na poletno-sletnoj stazi urađena poslednja sanacija. Model je formiran tako što su korišćeni podaci o snimljenim defleksijama 2010., 2012., 2014. i 2019. godine uz odgovarajuća saobraćajna opterećenja, te je regresionom analizom ustanovljen zakon promene indikatora *ACN/PCN* kroz vreme. Kako sam proračun *PCN* nije u potpunosti standardizovan i kako sama vrednost u velikoj meri zavisi od odabira kritičnog aviona, za potrebe formiranja modela vrednost *PCN* je ponovo izračunata za svaku od navedenih godina jedinstvenom metodologijom definisanom u uputstvu američke Savezne uprave za vazduhoplovstvo (*FAA, 2014*) uz *Airbus A320* kao kritični avion.



**Slika 4.** Prikaz primera modela propadanja *ACN/PCN* definisanog u sistemu za upravljanje održavanjem  
Izvor: Preuzeto iz aerodromskog sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija

#### 7. Tretmani održavanja definisani u sistemu

Kao jedan od najvažnijih činilaca sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija je baza dostupnih tretmana održavanja. Za svaki od tretmana pored cene neophodno je definisati uticaj tretmana na indikatore stanja, kao i vremenski period koji mora da protekne pre nego što primena tretmana bude ponovo opravdana.

Definisanje cena i efekta tretmana pokazalo se kao izuzetno složeno posebno u slučajevima krutih kolovoznih konstrukcija, gde je veliki broj tretmana definisan kao popravka i/ili zamena određenog procenta strukturno oštećenih ploča. Sa tim u vezi rađene su i različite analize pri kojima se pratila promena indeksa *PCI* usled eliminacije pojedinih tipova oštećenja.

#### 8. Stabla odlučivanja i optimizacija

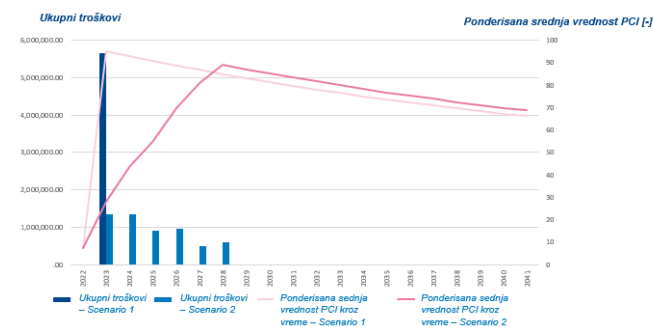
Pored indikatora stanja, modela propadanja i tretmana održavanja u sistemu su definisana i stabla odlučivanja, koja na osnovu indikatora stanja i položaja kolovozne konstrukcije u mreži predlažu neophodne tretmane održavanja.

Kada su definisani svi prethodno opisani ulazni podaci u sistemu je moguće vršiti različite oblike analiza čiji je osnovni cilj usvajanje kratkoročnih i dugoročnih planova održavanja aerodromske mreže, kao i njihova optimizacija i ažuriranje. Postoji mogućnost analiza sa neograničenim sredstvima u kojima sistem samo na osnovu stanja kolovoznih konstrukcija predlaže ili analizira efekte predloženih tretmana održavanja. Takođe moguće je vršiti analize i sa ograničenim sredstvima u kojima sistem uzima u obzir i ograničenja definisana raspoloživim budžetom.

Rezultati jedne tipične analize prikazani su na slici 5. Za određenu manevarsku površinu na osnovu stanja, bez ograničenja u budžetu, sistem je predložio tretmane održavanja sa pretpostavkom da se svi izvedu u prvoj godini (scenario 1).



Kada se u obzir uzmu ograničenja u budžetu kao i ograničenje definisano operativnim potrebama (nemogućnost zatvaranja tako velike površine na duži vremenski period) analiza je ponovljena (scenario 2). Iz prikazanog konkretnog primera može se videti da je ukupni očekivani efekat radova nešto manji u slučaju scenarija 2, ali uz znatno realnije raspolaganje sredstvima namenjenim održavanju. Ovakve analize naravno nikada nisu jednoznačne i sistem za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija služi kao podrška inženjerima prilikom donošenja odluka i pravljenja planova, ali se ne predviđa odlučivanje umesto njih.



**Slika 5.** Primer analize u u sistemu za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija  
Izvor: Preuzeto iz aerodromskog sistema za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija

## 9. Mobilna aplikacija za redovno održavanje

Pored izrade godišnjih i višegodišnjih planova održavanja sistem poseduje i modul (aplikaciju) za redovno održavanje. Cilj aplikacije je da se upotrebom mobilne stanice (tableta ili mobilnog telefona) automatizuju aktivnosti kao što su praćenje stanja na dnevnom nivou, izrada radnih naloga, praćenje njihove realizacije, a samim tim i stvarnih troškova redovnog održavanja. Na ovaj način se relativno lako mogu formirati različite vrste izveštaja koji bi se mogli, pre svega, koristiti kako bi se eventualno dokazala ekonomska opravdanost sveobuhvatnijih tretmana održavanja.

## 10. Zaključak

Iako i dalje na početku implementacije, sistem za upravljanje održavanjem kolovoznih konstrukcija na aerodromu pokazuje svoje prednosti u odnosu na dosadašnje načine praćenja stanja, planiranja i upravljanja održavanjem kolovoznih konstrukcija. Ove prednosti su prvenstveno vidljive u jednostavnijem praćenju stanja kolovoznih konstrukcija koje je omogućeno digitalizovanjem i standardizovanjem dosadašnjih rezultata merenja vršenih na aerodromu i njihovom smeštanju u jedinstvenu bazu podataka, šire sagledavanje i tumačenje rezultata kroz odmah dostupne indikatore stanja i relativno jednostavno generisanje različitih tipova izveštaja za potrebe odlučivanja višeg menadžmenta.

Daljom upotrebom i razvojem sistema u budućnosti se očekuje značajna podrška inženjerima u izradi optimalnih planova održavanja i valorizacija uloženih resursa u razvoj i implementaciju sistema.

## Implementation of the system for maintenance management of road structures at the Nikola Tesla Airport in Belgrade

**Nemanja Nešković**, B.Sc.CE  
Belgrade Airport d.o.o. Beograd

**Goran Kovačević**, B.Sc.CE  
Belgrade Airport d.o.o. Beograd

**Nevena Vajdić**, Ph.D.CE  
Belgrade Airport d.o.o. Beograd

**Abstract:** At the Nikola Tesla Airport in Belgrade, the need for the introduction of the Airport Pavement Management System (APMS) has been recognized for a long time, which would improve the existing procedures and enable the most optimal use of funds intended for maintenance. In 2019, testing and configuration of such a system began. The paper presents the characteristics of the system itself and the challenges that arose during implementation.

**Key words:** APMS, Maintenance Management

## Literatura

- [1] ASTM D5340-20: Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys
- [2] Shahin, M.Y., 1994. Pavement management for airports, roads, and parking lots.
- [3] US Department of the Air Force,  
Headquarters Air Force Civil Engineer Support Agency, Engineering Technical Letter (ETL) 04-9: Pavement Engineering Assessment (EA) Standards
- [4] Mladenović, G. 2022. Predavanja iz predmeta Održavanje puteva  
Dostupno na:  
[https://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/predavanje\\_5\\_homogeni\\_potezi\\_merenje\\_nosivosti\\_kolovoznih\\_konstrukcija\\_1647\\_002104354.pdf](https://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/predavanje_5_homogeni_potezi_merenje_nosivosti_kolovoznih_konstrukcija_1647_002104354.pdf) (22.05.2022)
- [5] ICAO, 1983. Aerodrome Design Manual - Part 3 - Pavements (Doc 9157 - Part 3), 2<sup>nd</sup> Edition
- [6] DeBord, K.J., 1990. Runway Roughness Measurement, Quantification – The Boeing Method. D6-81746. The Boeing Commercial Airplane Company.
- [7] FAA, 1997. AC 150/5320-12C, Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-resistant Airport Pavement Surfaces
- [8] FAA, 2014. AC 150/5335-5C, Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN