

Методологије за оцену подужне равности аеродромских површина намењених кретању ваздухоплова

Немања Нешковић^а, Горан Младеновић^а

^а Грађевински факултет, Универзитет у Београду

ПОДАЦИ О РАДУ

DOI: 10.31075/PIS.65.01.01

Стручни рад

Примљен: 01/03/2019

Прихваћен: 04/04/2019

Кључне речи:

Подужна равност

BBI

IRI

APRas

ProFAA

РЕЗИМЕ

Као значајан показатељ стања аеродромских саобраћајних површина подужна равност, битно утиче на удобност и безбедност путника и чланова посаде при кретању авиона по маневарским површинама и полетно-слетној стази аеродрома, због чега је лоцирање неравних зона и њихова што бржа санација један од главних задатака при управљању аеродромском инфраструктуром. За оцену стања равности доступно је неколико различитих методологија. Неке од њих, као што је одређивање индекса IRI (International Roughness Index), преузете су из праксе на друмским саобраћајницама. Компанија Боинг (Boeing) је развила методологију која узима у обзир разлике у конструкцији авиона и друмских возила и та методологија се налази у оквиру стандарда ICAO (International Civil Aviation Organization). Поред тога, развијају се и програми, који помоћу математичких модела, симулирају кретање авиона по мереном профилу и на тај начин одређују параметре који указују на степен равности површине. У овом раду су приказане наведене методе, као и њихова примена на конкретном примеру полетно-слетне стазе.

1. Увод

Подужна равност је поред носивости, одређивања коефицијента трења и утврђивања стања оштећености, један од најважнијих параметара, који се одређује при процени стања саобраћајних површина намењених за кретање авиона.

Неравност површина, може на различите начине утицати на квалитет одвијања саобраћаја на аеродрому [1, 2]:

- Може изазвати вибрације, које спречавају пилота да читава вредности на инструментима приликом полетања;
- Може изазвати оштећења или смањити животни век стајног трапа;
- Услед губитка контакта између пнеуматика и коловоза, може се продужити зауставни пут авиона, и
- Неудобна вожња може изазвати нелагодност и панику међу путницима.

За мерење равности, као и код друмских саобраћајница доступне су четири класе уређаја.

Класу 1 чине изузетно прецизни уређаји који могу да мере такозване "стварне" профиле. Мерени профил чини основу за прорачун параметра као што је IRI (*International Roughness Index*).

Такође, овакви уређаји се користе за припрему подлога на којима ће се вршити компјутерске симулације кретања авиона.

Неки од примера су: корачало (*Walking Profiler*), *Face Dipstick* и *AR&L (Auto Rod and Level)*.

Треба напоменути да је приликом одређивања равности аеродромских површина пожељна употреба уређаја класе 1 [3].

* Corresponding author: neskovic93@gmail.com



Слика 1. Уређај AR&L фирме APR Consultants [4]

У класу 2 спадају уређаји који мере “релативне” профиле. Приликом њихове употребе неопходно их је калибрисати уређајима класе 1. Као пример се могу навести ласерски профилометри [3].

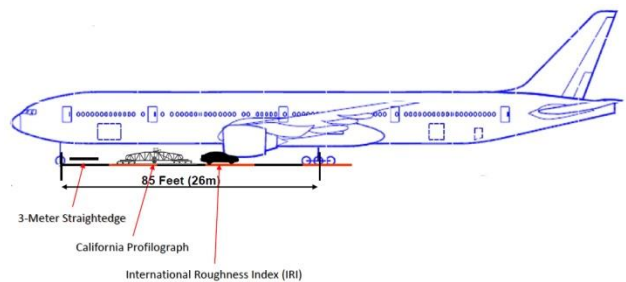
Класу 3 чине уређаји који се на енглеском скраћено означавају као *RTRRMS (Response-Type Road Roughness Measuring Systems)*. У ову групу спадају различити профилографи (често коришћен на аеродромима је *California* профилограф), као и *Bump Integrator*. Ако се уређај ове класе користи за одређивање параметра као што је *IRI*, неопходно је прво на референтним деоницама успоставити корелационе једначине између очитавања на уређају и вредности *IRI* [3].

У Класу 4 улазе различите врсте субјективних процена стања. Примедба пилота на равност је често први показатељ лошег стања аеродромске површине [1, 3].

Добијене профиле је даље неопходно анализирати применом неке од постојећих методологија. Велики број метода преузет је са друмских саобраћајница и не даје задовољавајуће резултате на аеродромским површинама.

Као пример се може навести поменути *California* профилограф. Иако се често користи на аеродромима, треба узети у обзир да је његова дужина 7.62 m, док је на пример (слика 2.) дужина круте базе авиона *Boeing 777-200* 26 m. Због наведеног, јасно је да ова методологија не мора увек дати меродавне резултате у анализи равности површина предвиђених за кретање ваздухоплова.

У раду ће бити приказани поједини критеријуми и методологије који се у великом броју случајева користе за оцену равности аеродромских површина.



Слика 2. Упоредни приказ дужине круте базе авиона *Boeing 777-200* са дужинама уређаја који се користе за утврђивање равности [5]

2. Индекс равности IRI

Иако развијен од стране Светске банке за потребе одређивања равности на путевима, индекс *IRI* се и даље у појединим земљама (нпр. у Канади [6]) примењује и на аеродромима. Базиран је на математичком моделу четвртине возила, у коме се добијена сума симулираних вертикалних померања дели са раздаљином.

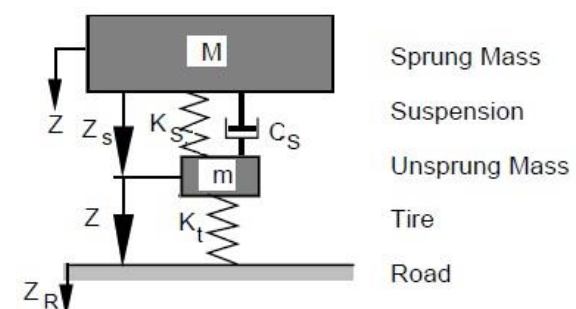
$$IRI = \frac{1}{l} \int_0^{1/v} |\dot{z}_s - \dot{z}_u| dt$$

где су:

l - дужина мереног профила;

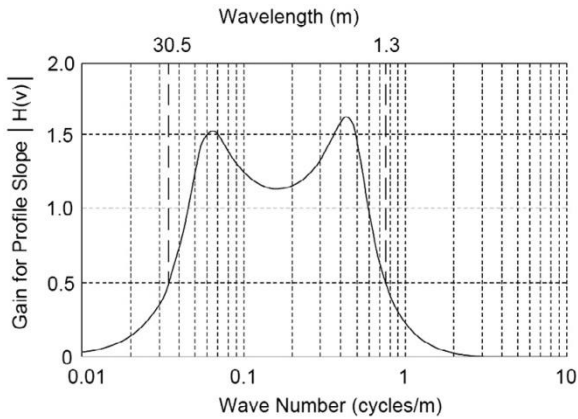
\dot{z}_s - извод по времену вертикалног померања масе возила ослоњеног на систем вешања (*sprung mass*);

\dot{z}_u - извод по времену вертикалног померања масе система вешања и осовина (*unsprung mass*), и v - брзина кретања возила (користи се 80 km/h).



Слика 3. Приказ модела четвртине возила [7]

На овај начин добијени добијени индекс има јединице нагиба (нпр. m/km , mm/m). Модел је у могућности да детектује и вреднује ограничен опсег таласних дужина. Осетљивост модела се смањује на 0.5 за таласне дужине од 1.3 m (0.77 циклуса/m) и 30.5m (0.033 циклуса/m). Међутим, ипак постоји одређена осетљивост модела изван овог опсега, као што се може видети на слици 4 [3,7].

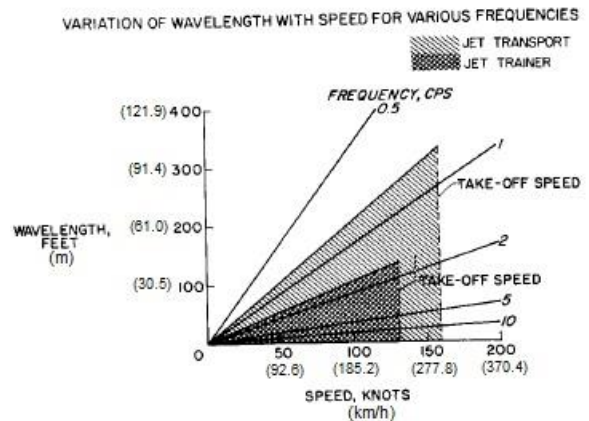


Слика 4. Осетљивост модела четвртине возила на различите таласне дужине, при прорачуну индекса *IRI* [3]

Због карактеристика математичког модела, *IRI* није прикладан за процену коловоза на аеродромима када су у питању неравнине већих таласних дужина. Осим тога *IRI* не може исправно да региструје реакцију авиона на неравнину. Наиме авион на неравност доминантно реагује ротацијом око хоризонталне осе управне на правац кретања (*pitch*), те је очигледно да модел који је горе описан не може, исправно, да региструје овакву врсту реакције [3]. Неки аутори (нпр. холандски *CROW* [1]) тврде да је могуће методологију *IRI*, успешније, применити на рулним стазама где је брзина кретања ваздухоплова мања и креће се у границама од 37-55 km/h (10-20 чворова). Поређења ради, брзина на полетно-слетној стази је већа од 185 km/h (100 чворова). Због наведеног, максимална таласна дужина која утиче на авион је значајно мања на рулним стазама. На пример, *Cardoso* је 2007. Године истраживао интеракцију између *B737-400* и полетно-слетне стазе. Установљено је да је за брзину од 100 чворова критична таласна дужина 73 m, док је при брзини од 20 чворова она само 15 m (што је у опсегу методе *IRI*) [3].

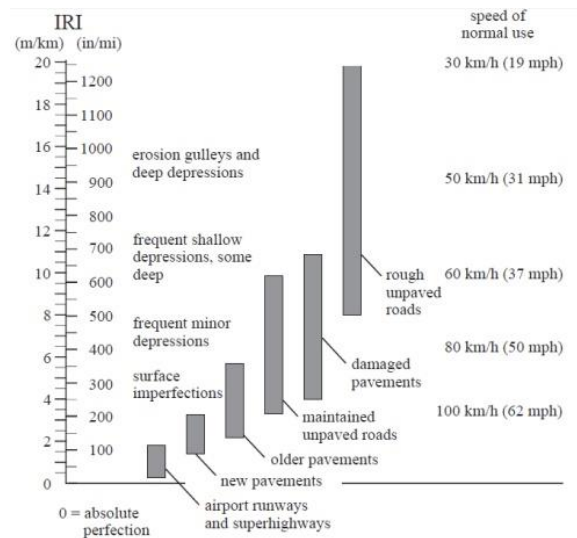
У студији, коју је 1965. урадила *NASA* [8], може се наћи дијаграм који показује утицај различитих таласних дужина, на два типа авиона, при различитим брзинама. На основу овог дијаграма се такође може закључити да би примена индекса *IRI* имала смисла на површинама на којима се авиони крећу мањим брзинама (поготову ако се ради о мањим типовима авиона).

Може се још напоменути и да су и *Woods* и *Papagiannakis* 2009. урадили поређење стандардних критеријума равности (нпр. *IRI*, *Ride Number*, *BBI*) са параметрима који описују реакцију авиона (убрзање центра гравитације; убрзање пилотовог седишта; оптерећење на носном точку и главном стајном трапу), посматрајући брзине од 47 и 82 km/h (20 и 45 чворова).



Слика 5. Зависност између таласне дужине, типа и брзине авиона [8]

Установљено је да индекс *IRI* успео да препозна неправилности које су изазвале најзначајније реакције авиона. Међутим треба истаћи да се на рулној стази могу, као последица већих таласних дужина, појавити нежељена дејства на реакцију авиона, која не могу бити примењена употребом индекса *IRI*. У сваком случају на аеродромима се не могу употребити граничне вредности *IRI*, које се користе на путевима [3].



Слика 6. Граничне вредности индекса *IRI* [7]

У свом раду *Loprencipe* и *Zocali* [3] су показали како примена индекса *IRI* може довести до погрешних одлука у планирању одржавања аеродрома.

FAA од 2008. године спроводи истраживања на симулаторима авиона *Boeing 737-800* и *Airbus 330-200* [9]. Сумирајући добијене резултате, *Larkin* [10] је закључио да се примена индекса *IRI* показала као поуздана на рулним стазама и платформама.

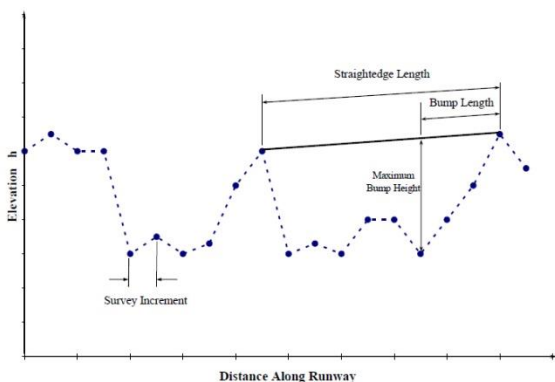
3. Boeing/ICAO метода

Компанија *Boeing* је предложила критеријум [2] за оцену равности аеродромских површина, који анализира сваку неравнину појединачно, узимајући у обзир њену висину и дужину. Предложена методологија се данас налази у склопу документа *Annex 14* [11], који издаје *ICAO (International Civil Aviation Organization)*.

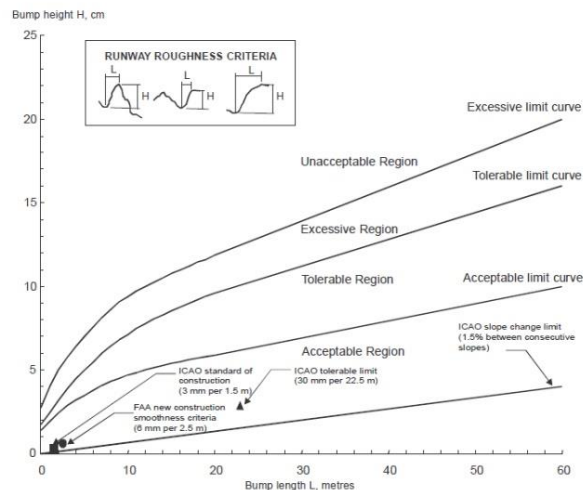
Приликом анализе, у обзир се узимају све неравнине дужине до 60 m. Сматра се да неравнине већих дужина не могу утицати на кретање ваздухоплова по аеродромским површинама [2]. *Boeing*, у наведеном документу, предлаже да се снимање профила врши на свака 3 m. *FAA* у прописима [12] захтева да интервал буде 0.25m (пожељно), али никако мање од 0.5m.

Према *FAA* [12], при развијању наведене методе, разматрано је кретање потпуно натоварених, млазних, транспортних авиона, при брзинама од 240 - 370 km/h (130 - 200 чворова). Због тога се критеријум може сматрати конзервативним за површине на којима се одвија спортији саобраћај (рулне стазе и платформе).

На сликама 8 и 9 се може видети да *ICAO* и *FAA* користе готово индентичне критеријуме (критеријум *FAA* има једну зону мање). Поред граничних вредности за *Boeing/ICAO* методу, на дијаграмима се могу видети и граничне вредности за оцену равности применом "летве" (*Straight Edge*) одређене дужине, које прописују *ICAO* и *FAA*. Такође је приказан и критеријум војске САД-а, који предвиђа мање конзервативне границе од оних датих у стандардима цивилног ваздухопловства.



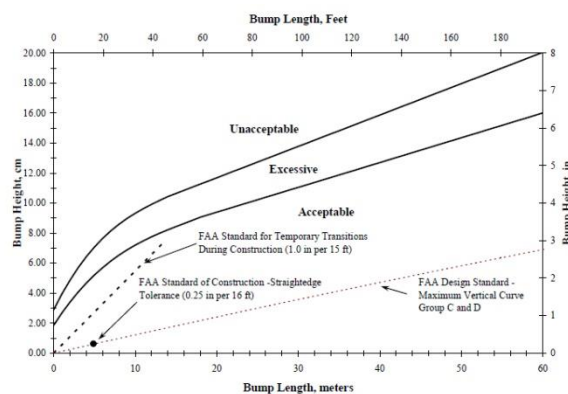
Слика 7. Шематски приказ одређивања висине и дужине неравнине [2]



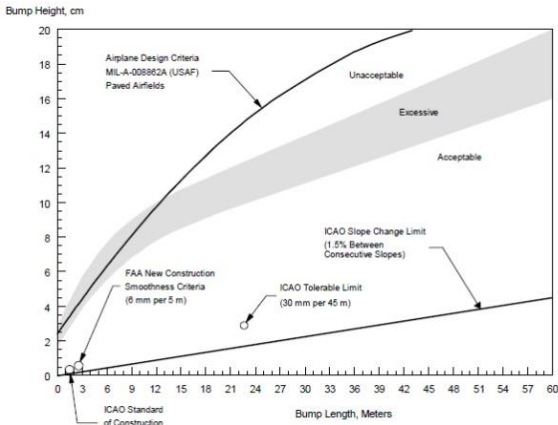
Слика 8. Критеријум за оцену равности према *ICAO* [11]

Како је за сваку измерену тачку потребно одредити одговарајућу висину, за више различитих дужина неравнине, те на тај начин пронаћи меродаван однос дужине и висине, примена ове методе у пракси може бити изузетно компликована. Због тога је *FAA* развила софтвер *ProFAA* који врши анализу мерених профила.

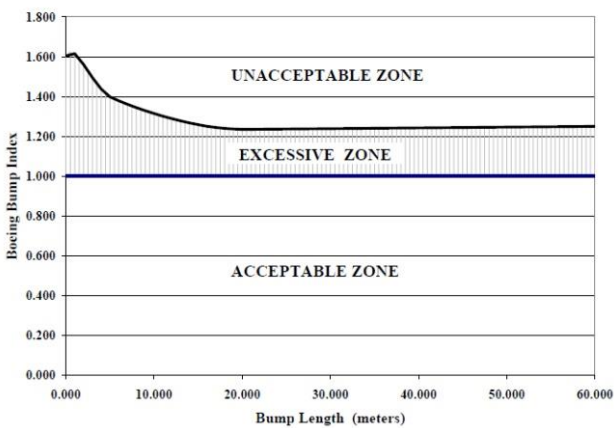
Као резултат анализе програм, приказује вредности *BBI (Boeing Bump Index)* за сваку тачку на профилу. *BBI* показује однос измерене висине и максималне дозвољене висине, за дату дужину неравнине. На овај начин добијен, *BBI*, за површине у "прихватљивом" стању не може бити већи од 1. [12]



Слика 9. Критеријум за оцену равности према *FAA* [12]



Слика 10. Поређење војног и цивилног критеријума у САД [2]



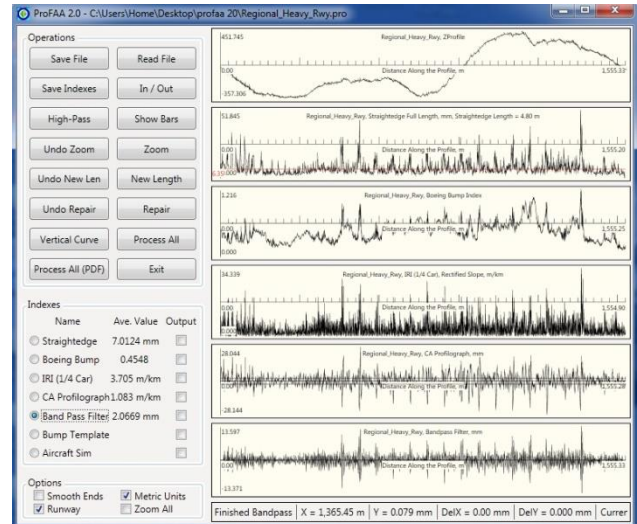
Слика 11. Приказ граничних вредности BBI [12]

Као што се може видети, софтвер *ProFAA* поред прорачуна *BBI* (*Boeing Bump Index*) приказује и добијене вредности за неке од раније споменутих методологија, као што су вредност *IRI*, резултат кретања *California* профилографа и вредности добијене применом *Straight Edge* ("летве") анализе за дужине од 1.5 до 76.2 м.

Треба напоменути да је у софтверу могуће симулирање и кретања авиона, о чему ће бити више речи у наставку.

CROW је у својим студијама [1,13] истакао и ограничења и недостатке *Boeing/ICAO* методе:

- Метода утврђује утицај само појединачних оштећења; не узима у обзир утицаје који би се јавили комбиновањем неколико узастопних неравнина;
- Претпоставка је да је понашање свих авиона приликом преласка одређене неравнине исто, што свакако није случај, и
- Различите брзине кретања авиона нису узете у разматрање у наведеној методологији.



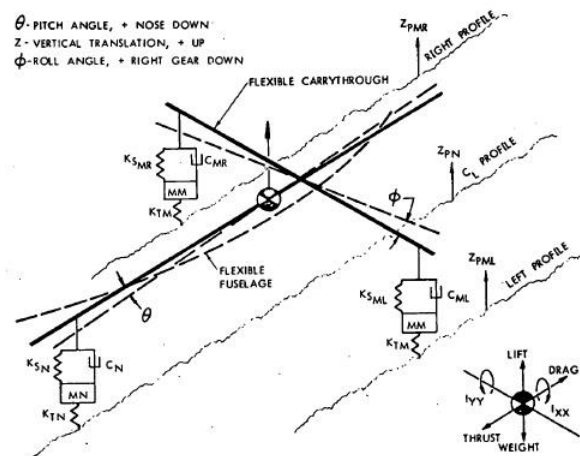
Слика 12. Резултати прорачуна у софтверу ProFAA

Упркос наведеним недостацима, *CROW* предлаже употребу [13] *Boeing/ICAO* методологије као првог корака у лоцирању неравнине, у случају примљене жалбе пилота на равност неке од саобраћајних површина на аеродрому.

4. Процена равности коловоза применом симулација кретања авиона (критеријуми базирани на вертикалном убрзању авиона)

NASA је у студији из 1967. године [8] предложила процедуру за процену равности на основу вертикалног убрзања кабине авиона. Као максимално дозвољено, коришћено је убрзање од +/- 0.4 g.

Anthony G. Gerardi је у радовима из 1976. и 1977. године [14,15] приказао математички модел авиона који се може користити за одређивање динамичке реакције ваздухоплова приликом кретања по аеродромским саобраћајним површинама. Степени слободе и изглед модела приказани су на слици 13.



Слика 13. Приказ математичког модела авиона који је дао *Anthony G. Gerardi* [15]

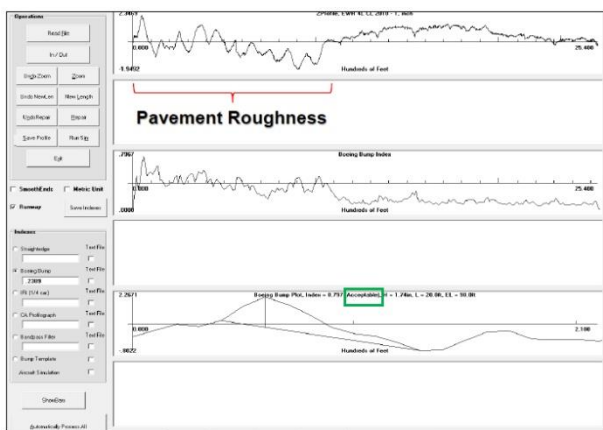
Даљим развојем приказаног модела настао је софтвер *APRas* (*Aircraft Pavement Roughness Assessment*). На основу симулација кретања авиона, софтвер рачуна вертикално убрзање у свакој тачки снимљеног профила. Рачуна се убрзање позиције пилота (*PSA-Pilot Station Acceleration*), као и убрзање центра гравитације (*CGA- Centre of Gravity Acceleration*). *APRas* нуди могућност симулирања: полетања, одустајања од полетања, слетања и кретања константном брзином. Поред наведеног могућа је и тзв. *Velocity Sweep* анализа, која симулира све могуће брзине на сваком метру, мереног профила [1].

Неки од најважнијих фактора који утичу на реакцију авиона на неравност површине су [1]:

- Брзина којом авион наилази на неравнину;
- Растојање између носног точка и главног стајног трапа;
- Тежина авиона у центру гравитације;
- Положај неравнина на полетно-слетној стази, и
- Међусобна удаљеност између неравнина на полетно-слетној стази.

На основу примера који даје фирма *APR Consultants* [5] може се видети једна од предности примене софтвера за симулацију у односу на *BBI* методологију разматрану у претходном поглављу.

Као што се може видети на слици 14 коришћењем програма *ProFAA* и *BBI* методологије, добијена је задовољавајућа равност на разматраној полетно-слетној стази (треба имати у виду да се неравна зона налази у првих 300 m полетно-слетне стазе).



Слика 14. Резултати прорачуна равности коришћењем софтвера *ProFAA* и *BBI* методологије [5]

На слици 15 се види да се слични резултати добијају и при симулацији полетања у програму *APRas*. Равност је и применом ове методологије у задовољавајућем стању, уз мања одступања од границе ± 0.4 g.

Ако би се, међутим, неравна зона налазила даље на полетно-слетној стази, као на примеру приказаном на слици 16 видело би се да су на овом месту вредности вертикалног убрзања значајно веће од дозвољених.

Овакве резултате је проузроковала веће брзина при полетању на овом делу полетно-слетне стазе.

Како *BBI* методологија не узима у обзир брзину кретања авиона, њени резултати се у овом случају не би поклопили са добијеним резултатима у програму *APRas*.

Поред наведеног програмског пакета *APRas*, треба рећи да је и у већ приказаном софтверу *ProFAA* могуће вршити симулацију кретања авиона.

Међутим, за разлику од програма *APRas*, *ProFAA* нема могућност симулирања кретања променљивом брзином, карактеристичног за полетање и слетање.

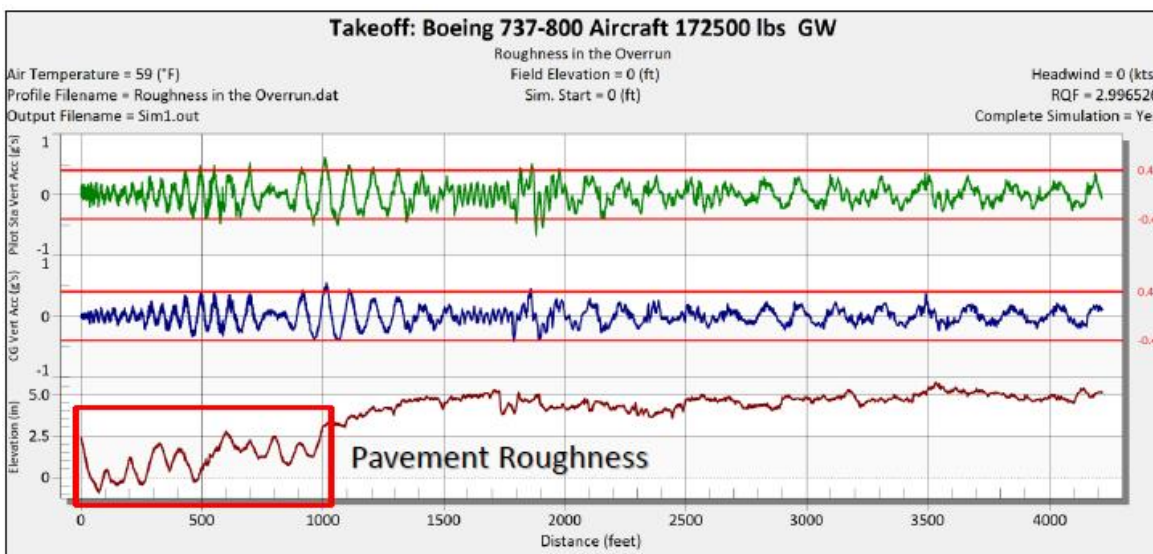
Могуће је само кретање константном брзином. Препоручене су брзине од 37 km/h (20 чворова, што симулира кретање по рулној стази), односно 185 km/h (100 чворова, што симулира кретање по полетно-слетној стази).

Такође, постојећа база авиона је мања у односу на ону код програма *APRas* [2].

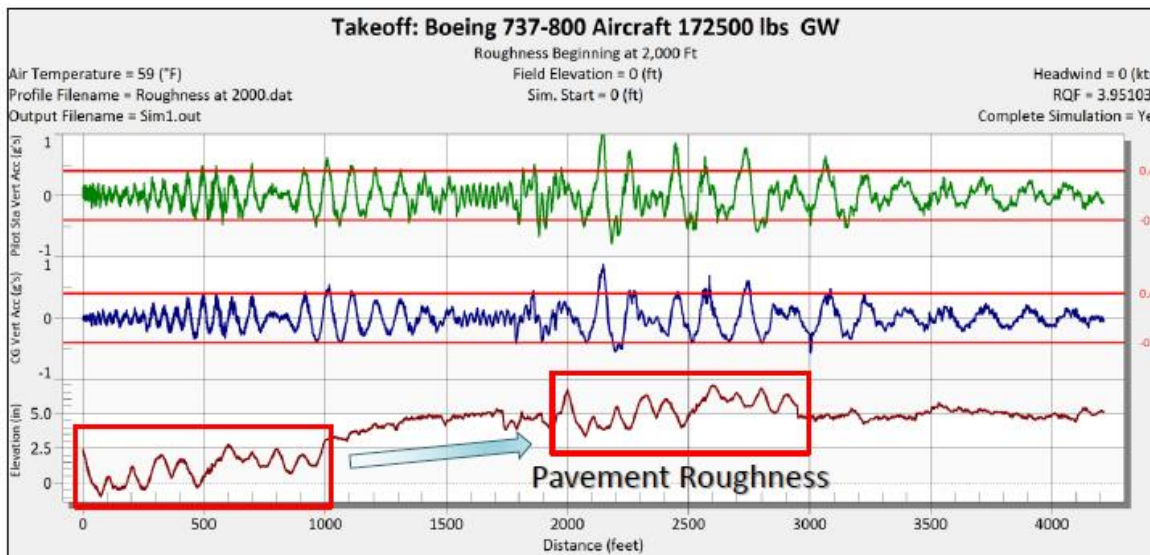
Доступни су углавном застарели модели авиона, као што су *Boeing 727* и *McDonnell Douglas DC-10*. За разлику од софтвера *APRas*, *ProFAA* се може слободно преузети на интернет страници *FAA* [9].

Као резултат истраживања на симулаторима авиона *Boeing 737-800* и *Airbus 330-200*, поменутих у претходном поглављу, очекује се усвајање новог критеријума за утврђивање равности, а са тим и унапређење програма *ProFAA* [10].

Иако су у питању симулације, које подразумевају велики број поједностављења при формирању модела, програми који симулирају кретање авиона су се показали као најбољи алати за лоцирање деоница које показују незадовољавајућу подужну равност, за поједине типове ваздухоплова [1].



Слика 15. Приказ прорачуна равности коришћењем симулације у програму APRas (са неравном зоном на почетку профила) [5]



Слика 16. Приказ прорачуна равности коришћењем симулације у програму APRas (са поновљеном неравном зоном на стационачи km 0+600- km 0+900) [5]

5. Пример прорачуна равности

На примеру снимљеног подужног профила једне полетно-слетне стазе, преузетом са интернет презентације FAA [9], урађен је прорачун равности применом приказаних поступака. При прорачуну је коришћен програм ProFAA, који се може слободно преузети на истој интернет страници.

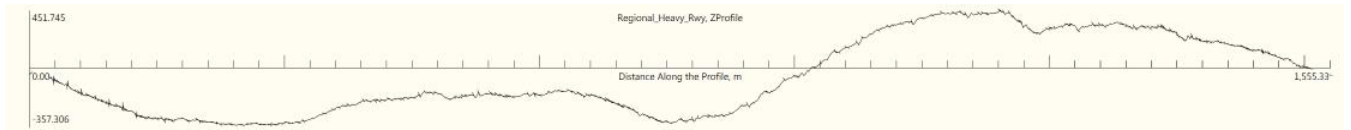
Вредност IRI добијена програмом ProFAA за целу деоницу је 3.705 m/km, што указује на релативно лошу равност за полетно-слетне стазе аеродрома (слика 6).

Програм ProFAA пружа могућност приказивања промене индекса IRI дуж снимљеног профила (слика 18). Добијени дијаграм, такође, указује да је на највећем делу дате полетно-слетне стазе прекорачена гранична вредност индекса IRI предвиђена за аеродромске површине.

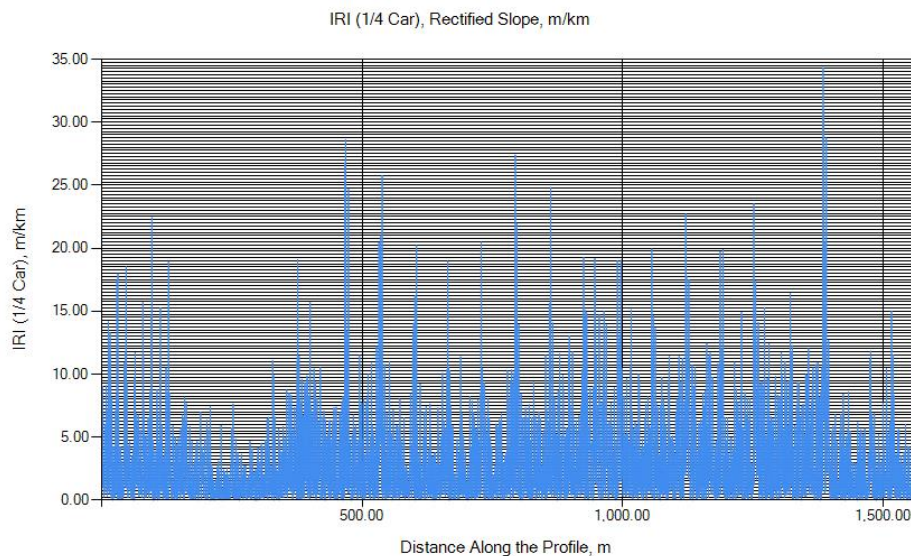
На слици 19 су приказане вредности IRI добијене прорачуном у програму ProVAL, који се често користи за анализу равности друмских саобраћајница. Вредност IRI за целу деоницу износи 3.742 m/km, што је приближно вредности добијеној програмом ProFAA.

Приказани дијаграм промене индекса *IRI* добијен је за дужину сегмента од 5 m (у програму *ProFAA* та дужина је износила 25 cm, што је растојање између две измерене тачке на подужном профилу).

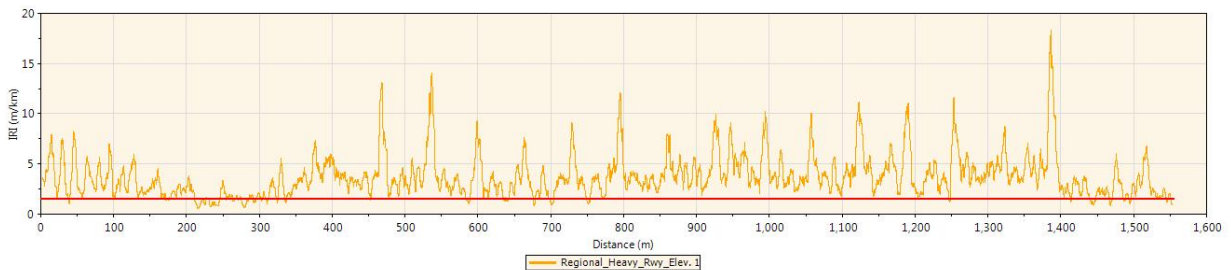
Одређивањем просечне вредности на већој дужини сегмента, добијене су и ниже вредности пикова на дијаграму, док је сам облик дијаграма остао непромењен.



Слика 17. Приказ подужног профила за који су рачунати индекси равности



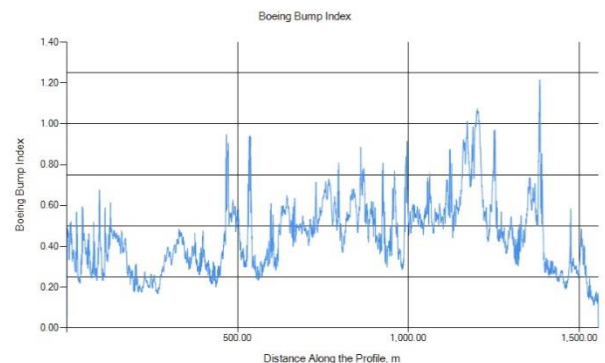
Слика 18. Промена индекса *IRI* дуж профила полетно-слетне стазе у програму *ProFAA*



Слика 19. Резултати индекса *IRI* дуж профила полетно-слетне стазе у програму *ProVAL*

На слици 20 могу се видети добијене вредности индекса *BBI*. Ако се добијени резултати упореде са резултатима *IRI*, може се закључити да се положај пикова у великој мери поклапа. Међутим, ако се у обзир узму граничне вредности предвиђене стандардом *FAA* [12], види се да је само на две локације вредност *BBI* већа од 1, што се самтра границом “прихватљиве” зоне по стандарду *FAA* (слика 11) [12], док ни једна од две поменуте локације не улази у “неприхватљиву” зону која захтева хитну интервенцију. На основу наведеног може се видети да само употреба индекса *IRI* може навести на закључак да је неопходан много већи обим радова, него што је заправо случај. Наиме, на слици 6 се види да је гранична вредност *IRI* за полетно слетну стазу нешто мања од 2 m/km.

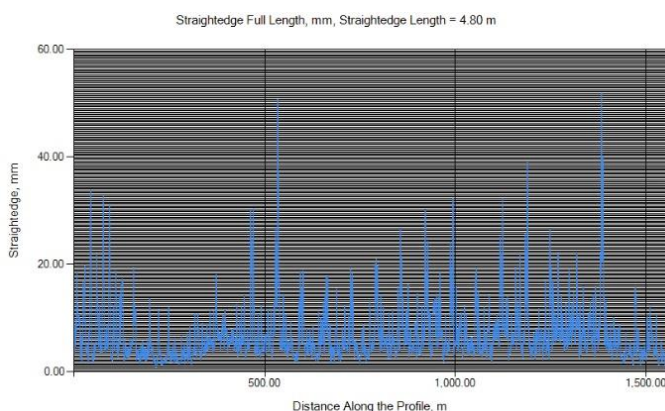
Прихватање овог критеријума би указивало на то да је на највећем делу профила неприхватљив степен равности.



Слика 20. Резултати *BBI* индекса добијени у програму *ProFAA*

У наведеном стандарду *FAA*, у опису “прихватљиве” зоне може се видети да се могу очекивати жалбе пилота на равност када се вредности индекса приближе граничним. Ове локације је, према стандарду, потребно идентификовати и предвидети корективне мере у будућности.

У идентификацији места која у будућности могу значајније доприносити неравности на аеродромским површинама може помоћи критеријум “летве”, који *FAA* даје првенствено за оцену равности новоизграђених површина на аеродромима. Према овом критеријуму се испод летве дужине 4.8 m не сме налазити неравнина већа од 6.4 mm. На слици 21 приказани су резултати добијени симулацијом мерења летвом по мереном профилу.



Слика 21. Приказ резултата симулације мерења летвом дужине 4.8 m

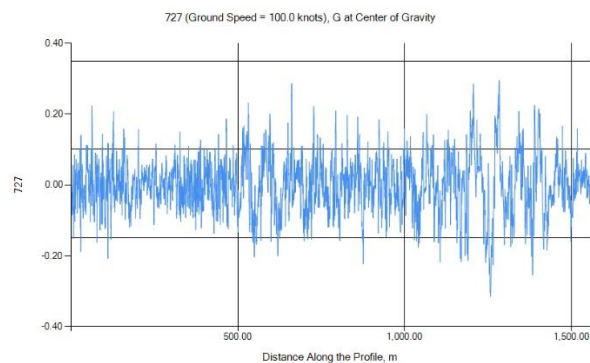
Добијени резултати јасно показују да није у питању нова коловозна конструкција и да постоји велики број неравнина које у будућности могу значајније утицати на смањивање равности коловозне конструкције.

Резултати симулације кретања авиона *Boeing 727* показују одређене сличности са претходним вредностима.

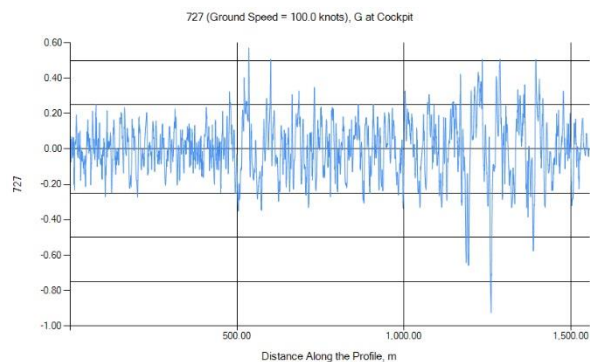
Брзина кретања авиона при симулацији је 185 km/h (100 чворова). Вертикално убрзање центра гравитације (слика 21) ни у једној тачки не прелази усвојену границу од +/- 0.4 g.

Са друге стране добијене вредности вертикалног убрзања пилотске кабине (слика 22) указују на неравност у истим зонама, као оне добијене методом *BBI*.

Софтвери који симулирају кретање авиона, као што је већ речено, у обзир узимају и међусобни утицај суседних неравнина, за разлику од методе *BBI*, што може бити један од разлога непоклапања дужина и положаја “неравних” зона.



Слика 22. Вредности убрзања центра гравитације авиона, добијене симулацијом кретања авиона *Boeing 727* у програму *ProFAA*, при брзини од 185 km/h

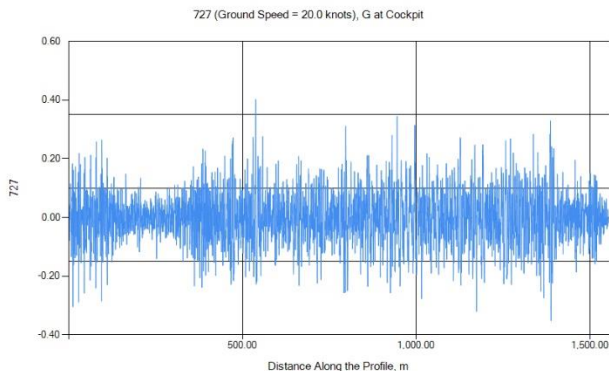


Слика 23. Вредности убрзања седишта пилота, добијене симулацијом кретања авиона *Boeing 727* у програму *ProFAA*, при брзини од 185 km/h

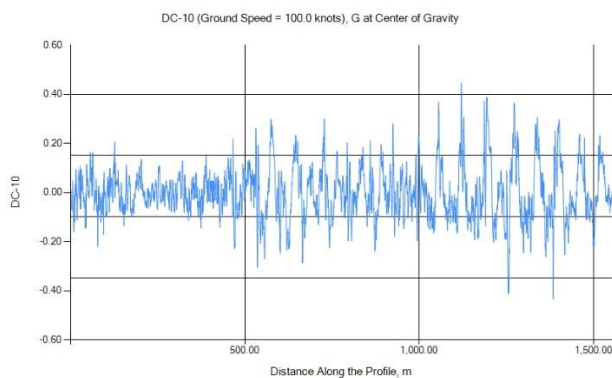
Резултати који приказују убрзање позиције пилота, при брзини кретања од 37 km/h (20 чворова), приказани су на слици 24. Као што се може видети, при брзини кретања карактеристичној за кретање по рулним стазама не постоји локација која би озбиљније утицала на удобност вожње. Ако се добијене вредности упореде са оним добијеним при прорачуну индекса *IRI*, може се видети да се у случају усвајања веће дужине сегмента резултати потпуно поклапају и да је равност на задовољавајућем нивоу. Смањивањем дужине сегмента на коме се рачуна просечна вредност индекса *IRI*, расте и разлика у добијеним резултатима. Наравно, још једном треба напоменути, да је у самом примеру реч о профилу полетно-слетне стазе, док је само на овом месту усвојена претпоставка да је реч о рулној стази или платформи, како би се проверила тврдња да је методологија *IRI* применљива на маневарским површинама аеродрома на којима се авиони крећу мањим брзинама.

Осим приказаних резултата за *Boeing 727*, вршена је и симулација за авион, *McDonnell Douglas DC-10*. Резултати се нешто мање поклапају са добијеним резултатима *BBI*. Зоне у којима је уочена недовољна равност полетно-слетне стазе су знатно дуже. Један од разлога може бити тај што је авион *DC-10* већи од авиона *Boeing 727*.

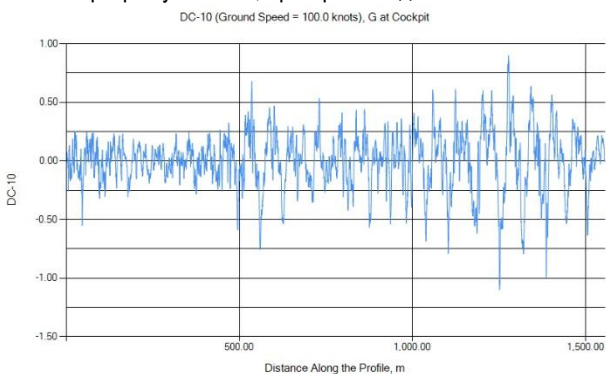
Дужина круте базе DC-10 је 22.07 m, док је код авиона Boeing 727 (за модел 727-100) 16.23 m, односно 19.28 m (за модел 727-200).



Слика 24. Вредности убрзања седишта пилота, добијене симулацијом кретања авиона Boeing 727 у програму ProFAA, при брзини од 37 km/h



Слика 25. Вредности убрзања центра гравитације авиона, добијене симулацијом кретања авиона DC 10 у програму ProFAA, при брзини од 185 km/h



Слика 26. Вредности убрзања седишта пилота, добијене симулацијом кретања авиона DC 10 у програму ProFAA, при брзини од 185 km/h

Максимална маса при полетању DC-10 може бити и до 250 t, док код авиона Boeing 727 она иде до 95 t [16]. Веће поклапање индекса *BBI* са резултатима симулације Boeing 727 може се образложити чињеницом да је при формирању методе Boeing користио и резултате са летова авиона Boeing 727 [2].

Према приказаним резултатима, за дату полетно-слетну стазу, препоручило би се што хитније санирање оштећења на местима на којима *BBI* има вредност већу од 1 и ако је могуће у оним зонама у којима се та вредност значајно приближила горњој граници прихватљиве зоне (на пример прелазак из прве у другу трећину полетно-слетне стазе). Након тога се може поново снимити равност и урадити симулација кретања авиона. На основу резултата симулација, могу се планирати даљи кораци у одржавању деонице.

6. Закључак

На основу свега приказаног може се видети да се методологије базиране на симулацијама кретања авиона истичу као најпоузданије у оцени подужне равности маневарских површина на аеродромима, и њеног утицаја на кретање авиона. За ову методологију, међутим, и даље не постоји глобално прихваћен важећи стандард.

Осим тога, једини слободно доступан софтвер има јасно изражене недостатке, пре свега у погледу застареле базе авиона. Као што се могло видети из примера прорачуна, коришћење меродавног авиона је од кључне важности за процену стања равности коловозне конструкције, ако се користи наведени метод.

Boeing/ICAO метода се, према већини аутора, показала као релативно једноставна и поуздана метода за лоцирање неравнина које могу утицати на удобност вожње, поготово ако је реч о полетно-слетној стази.

Када је реч о методологији *IRI*, она се у случају полетно-слетних стаза показала као конзервативна. На рулним стазам и платформама се због мањих брзина кретања може користити, јер даје реалније и мање конзервативне вредности у односу на методологију по процедури Boeing/ICAO.

Свака од приказаних методологија има јасно изражене мане које треба узети у обзир при одређивању равности и планирању одржавања површина на аеродрому.

Methodologies for assessing the longitudinal roughness of airport taxiways and runways

Nemanja Nešković, B. Sc. CE,
Goran Mladenović, Ph. D. CE
University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering,
emladen@imk.grf.bg.ac.rs

Abstract: As a significant indicator of the condition of airport surfaces, the longitudinal roughness significantly affects the comfort and safety of passengers and crew members when navigating the airplanes on the airport taxiways and runways, which is why the location of uneven zones and their prompt rehabilitation is one of main tasks in managing the airport infrastructure. Several different methodologies are available to assess the pavement surface roughness. Some of them, such as the International Roughness Index (IRI), have been taken from road practices. Boeing has developed a methodology that takes into account differences in the design of aircraft and road vehicles and this methodology is specified within the ICAO (International Civil Aviation Organization) standard. In addition, various softwares are being developed which, using mathematical models, simulate aircraft movement along the measured profile, and thus determine the parameters related to longitudinal roughness of the surface. This paper presents the methods and their application on a concrete example of an airport runway pavement.

Key words: Longitudinal roughness, BBI, IRI, APRas, ProFAA

- [8] Morris, G.J. and Hall, A.W., "Recent Studies of Runway Roughness", NASA SP-83, Conference on Aircraft Operating Problems, May 1965. Доступно преко: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19650021499.pdf> (1.4.2019.)
- [9] Интернет страница FAA <https://www.airporttech.tc.faa.gov/Airport-Pavement/Nondestructive-Pavement-Testing/AirportPavementRoughnessResearch> (1.4.2019.)
- [10] Larkin, A., "Development of New Roughness Standard for In-Service Airport Pavement" Доступан преко: http://www.erpug.org/media/files/forelasningar_2017/9%20Albert%20Larkin%20ERPUG%202017-10-19.pdf (1.4.2019.)
- [11] International Civil Aviation Organization (ICAO), *International Standards and Recommended Practices, Aerodromes, Annex 14 to the Convention on Civil Aviation*, Volume 1 Aerodrome Design and Operations, 7th edition. International Civil Aviation Organization, 2004.
- [12] *Guidelines and procedures for measuring airfield pavement roughness*. Advisory Circular No. 150/5380-9, U.S. Department of Transportation. Washington, DC: Federal Aviation Administration, 2009. Доступно преко: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5380_9.pdf (1.4.2019.)
- [13] *Runway roughness characterization using Power Spectral Density and Boeing/ICAO method*. Report D09-03. CROW, Ede, 2009.
- [14] Gerardi, T.G., "Digital simulation of flexible aircraft response to symmetrical and asymmetrical runway roughness". Technical report AFFDL-TR-77-37, Air Force Flight Dynamics Laboratory, 1977. Доступно преко: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a053588.pdf> (1.4.2019.)
- [15] Gerardi, T.G., "Dynamic Response of Aircraft to Pavement Unevenness", TRB Special Report 175, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1976. Доступно преко: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr175/175-017.pdf> (1.4.2019.)
- [16] Интернет страница Boeing, www.boeing.com (1.4.2019.)

Литература

- [1] *Survey on Airport Pavement Roughness Assessment, State of the art study 2006*. Report D06-01, CROW, Ede, 2006.
- [2] DeBord, K.J. "Runway Roughness Measurement, Quantification – The Boeing Method." D6-81746. The Boeing Commercial Airplane Company, 1990. Доступно преко: <https://www.rpug.org/download/2015/9-1-Injun%20Song.pdf> (1.4.2019.)
- [3] Loprencipe, G. and Zoccali, P., "Comparasion of methods for evaluating airport pavement roughness", International Journal of Pavement Engineering, 2017.
- [4] Интернет страница APR Consultants, <https://www.aprconsultants.com/auto-rod-and-level-2/> (1.4.2019.)
- [5] Интернет страница APR Consultants, <http://www.aprconsultants.com/wp-content/uploads/2018/03/APRs-Aircraft-Simulation-Technology.pdf> (1.4.2019.)
- [6] *Measurement and evaluation of runway roughness*. Civil Aviation Standards. Advisory Circular AC 302-023, Transport Canada, 2015. Доступно преко: <https://www.tc.gc.ca/en/services/aviation/reference-centre/advisory-circulars/ac-302-023.html> (1.4.2019.)
- [7] Sayers, M.W. and Karamihias, S.M., "The Little Book of Profiling", University of Michigan, 1998. Доступно преко: <http://www.umtri.umich.edu/content/LittleBook98R.pdf> (1.4.2019.)