НУМЕРИЧКО ИСТРАЖИВАЊЕ ТЕКСТУРЕ ПУТА СА АСПЕКТА ДИНАМИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА МОТОРНИХ ВОЗИЛА

проф. др Мирослав Демић, дипл.инж.маш.
Академија инжењерских наука Србије, Београд, demic@kg.ac.rs

DOI: 10.31075/PIS.64.03.04

Стручни рад

Резиме: *Информације које возач прима од околине и возила укључује податке о макро и микропрофилу пута, вибрацијама и буци подсистема, одступању возила од жељене путање, обртног момента на точку управљача, споју пнеуматика и тла и сл. У овом раду ће бити речи о површини пута на микроплану, тј . о миокронеравнинама пута. Указаће се на неопходност познавања параметара текстуре површине пута, који су од значаја за динамичке побуде моторних возила. Микропрофил, односно његово стање ће бити идентификовано применом теорије математичке обраде фотографија, а добијени подаци су због малог броја узорака, прелиминарног карактера. Међутим, развијени поступак идентификације параметара површине пута ствара услове за детаљнија истраживања, што може бити коришћено у наредном периоду за истраживање динамичких карактеристика моторних возила, али и при анализи оштећења коловоза, састава материјала путева и сл.*

Кључне речи: *возило, пут, микронеравнине, фотографије, текстура, динамичке карактеристике*

A NUMERICAL RESEARCH OF THE TEXTURE OF THE ROAD SURFACE FROM THE ASPECT OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF MOTOR VEHICLES

Miroslav Demic, Ph.D. mech. eng.
Academician of Academy of Engineering Sciences of Serbia,, demic@kg.ac.rs

Professional paper

Summary: *Information that driver receives from the environment and vehicle includes information on the macro and microprofile of the road, vibration and noise of the subsystem, deviation of the vehicle motion from the desired path, torque at the steering wheel, tire-road contact area, etc. This paper will focus on the road surface area at the micro plan level, i.e. on the micro unevenness of the road. The necessity of having. The microprofile, i.e. its state, will be identified using the theory of mathematical processing of photographs, and the obtained data are due to a small number of samples, of a preliminary character. However, the developed procedure for identifying the road surface parameters creates conditions for more detailed research, which can be used during further research of the dynamic characteristics of motor vehicles, but also in the analysis of roadway damage, composition of road materials, etc.*

Keywords: *vehicle, road, microprofile, texture, dynamic characteristics.*

1. УВОД

Информације које возач прима од околине и возила садржи податке о макро и микропрофилу пута, вибрацијама и буци подсистема, одступању возила од жељене путање, обртног момента на точку управљача, споју пнеуматика и тла и сл.

Овај проблем је описан у [1], па овде неће бити предмет пажње, већ ће се иста посветити површини пута на микроплану, тј . текстури микронеравнина пута. Имајући у виду да стање површине пута има утицаја на управљивост, осцилаторну удобност, безбедност и буку пнеуматика, а тиме и буку возила, контакт пнеуматика и тла и сл., оцењује се целисходним да се стање површине пута оцењује савременијим методама. Прецизније речено, микропрофил, односно његово стање, ће се идентификовати применом теорије математичке обраде фотографија.

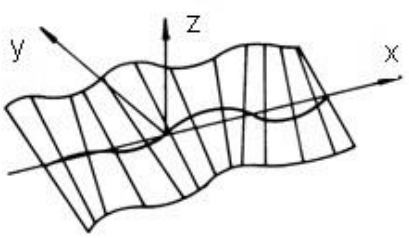
У [2] су коришћене фотографије за анализу утицаја мешавине асфалта на квалитет путева, а у овом раду ће се анлизирати могућност повезивања параметара фотографија са побудама које путна површина изазива. Прецизније речено, пажња ће се посветити текстури површине пута, односно, учиниће се покушај да се на основу ње, применом математичке теорије обраде фотографија, развије метода за оцену квалитета коловоза, јер је он у тесној вези са побудама од микронеравнина пута, односно поменутим динамичким карактеристикама возила.

Већина истраживача се слаже да микропрофил припада групи случајних процеса и због тога он изазива случајне осцилације возила [1,3-11]. Напомиње се да су, због малог броја коришћених фотографија, резултати прелиминарног карактера.

Међутим, развијени поступак идентификације параметара површине пута ствара услове за детаљнија истраживања, што може у наредном периоду, уз доградњу методе, бити коришћено током истраживања динамичких параметара моторних возила, али и при анализи оштећења коловоза и сл.

2. НЕКЕ НАПОМЕНЕ У ВЕЗИ МАТЕМАТИЧКЕ ОБРАДЕ ФОТОГРАФИЈА

У општем случају [5] пут представља случајну просторну површину, слика 1.



Слика 1. Приказ микропрофила пута просторном површином

Математички је она дефинисана изразом:

$$z = z(x, y) \quad (1)$$

При идентификацији параметара фотографија користи се и 2Д Фуријеова трансформација, о којој ће овде укратко бити речи. Наиме, на основу (1), „2Д“ Фуријеова трансформација у комплексном облику је дата изразом [12,13]:

$$Z_{xy}(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} z(x,y)e^{-j2\pi(ux+vy)}dxdy \quad (2)$$

- где су „u“ „v“ кружне учестаности за „x“ и „y“ осу.

Познавање комплексне величине (2) омогућава израчунавање инверзне Фуријеове трансформације:

$$z(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} Z_{xy}(u,v)e^{+j2\pi(ux+vy)}dudv \quad (3)$$

Аналогно се могу написати и изрази за дискретну „2Д“ Фуријеову трансформацију.

$$Z(k,l) = \frac{1}{\sqrt{MN}}\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} z(m,n)e^{-j2\pi(k\frac{m}{M}+l\frac{n}{N})} \quad (4)$$

где су:

- M, N – димензије матрице фотографије у Пикселима, а
- m , n - индекси чланова матрице.

Инверзна „2Д“ Фуријеова трансформација је дата изразом:

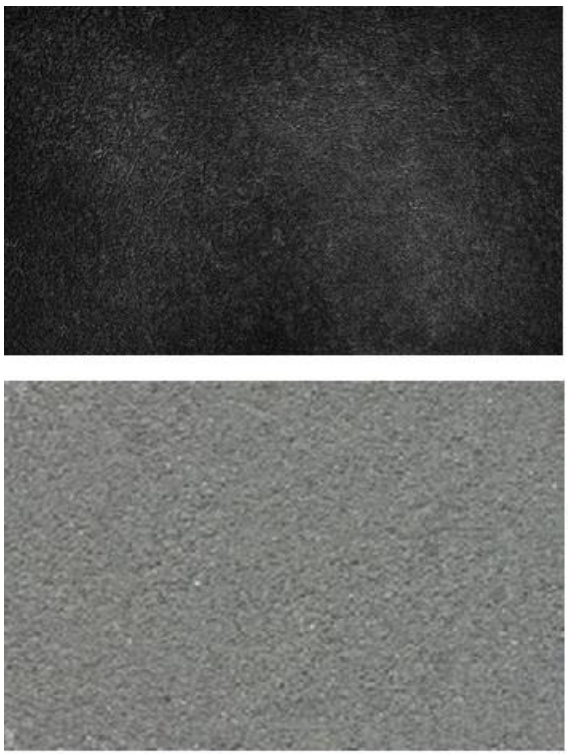
$$z(m,n) = \frac{1}{\sqrt{MN}}\sum_{k=0}^{M-1}\sum_{l=0}^{N-1} Z(k,l)e^{+j2\pi(k\frac{m}{M}+l\frac{n}{N})}$$

Треба уочити да се израз (4) може написати у облику комплексних бројева, тако да комплексни облик изражен Ојлеровом формулом уводи појам модула и фазног угла, о чему овде даље више неће бити речи, а читаоци се упућују на [12,13].
Оцењује се целисходним да се у наредном тексту укаже на елементарне појмове о фотографији. У најкраћем, фотографија представља матрицу са пикселима као елементима [14-18]. Код обраде фотографија се, најчешће, користи осмобитни концепт, код кога су амплитуде сваког пиксела дефинисане нивоима од 0 до 255 (црно бела фотографија). Обично се као 0 узима црна, а 255 бела боја, тако да у осмобитном концепту можемо имати 256 нијанси боја. Код фотографије у боји (начешће се користи модел са три боје: црвена-зелена-плава, - на енглеском RGB, и YCbCr-комбинација боја која се користи код ТВ пријемника, видети [16]), па тада 24-битни приступ 8x8x8=256x256x256 даје приближно 16 милиона комбинација [14-18]. У литератури се, имајући у виду начин на основу којег се дефинишу амплитуде – нивои, обично подразумева да то представља енергију боја [14-16].
Како је ова материја комплексна и детаљно приказана у [14-17], о њој овде неће бити више речи. За обраду фотографија у раду је коришћен софтвер [18]. Развијени софтвер је поседовао могућност обраде фотографија, применом „2Д“ Фуријеове трансформације, и то у директном и инверзном смеру, као и могућност коришћења филтера за обраду RGB и YCbCr фотографија. Напомиње се да је прилагођен за слике резолуције 256x256 пиксела, али је омогућено и учитавање и других димензија (излазни резултати су истих димензија као и за оригинал слике).

3. МЕТОДА

Да би се створили услови за истраживање карактеристика текстуре путева уз коришћење теорије обраде фотографија, било је неопходно фотографисати карактеристичне површине путева. Оцењено је да су од интереса за анализу асфалт (различитог квалитета површине), коцка и макадам. Циљ овог рада је био да се утврди могућност коришћења теорије обраде фотографија при оцени врсте и квалитета путева у Србији, па су направљени снимци површина путева, уз коришћење апарата Sony a900, Модел DSLR-A900.

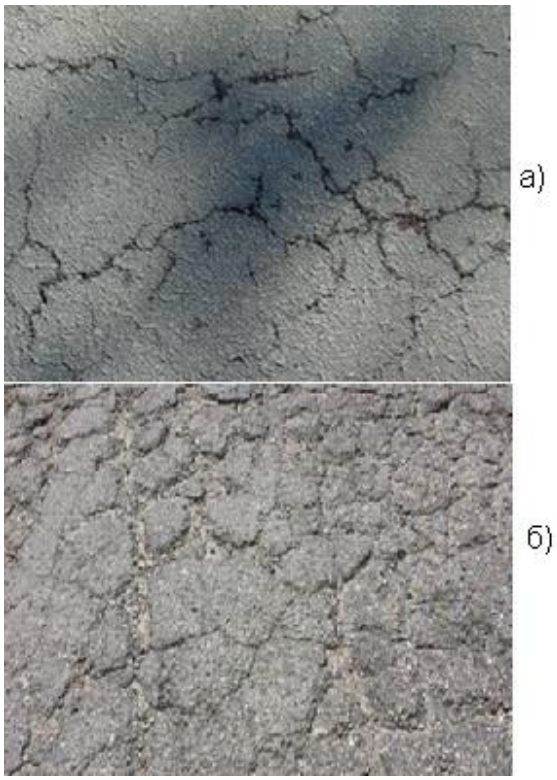
Током фотографисања апарат се налазио на сталку висине 1 м са објективом чија је оса била нормална на површину пута. При томе су били истоветни временски услови (осветљење) и исти параметри фотографског апарата. Снимци су приказани на сликама 2-7.



Слика 2. Нов асфалтни покривач тамније (Афалт 1, а) и светлије боје (Асфалт 2, б)



Слика 3. Храпави асфалтни покривач тамније (Афалт 1, а) и светлије боје (Асфалт 2, б)



Слика 4. Мало оштећен асфалт (Асфалт 5, а), и више оштећен асфалт (Асфалт 6, б)

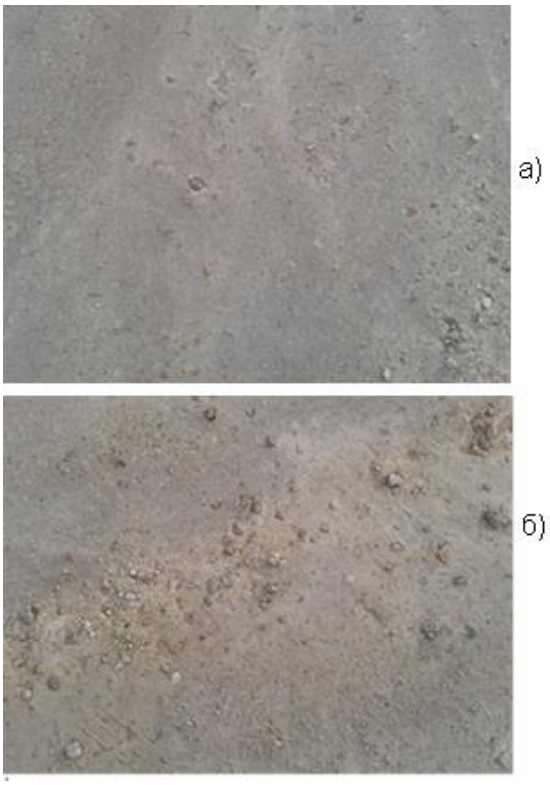


Слика 5. Веома оштећен асфалт (Асфалт 7)

На поменутим фотографијама са Асфалт 1 и Асфалт 2 означени су квалитети асфалта за аутопутеве, тамније и светлије боје. Асфалт 3 и Асфалт 4 представљају нешто храпавије асфалтне површине тамније и светлије боје, без видљивих оштећења, док су за Асфалт 5 - 7 означени асфалтни путеви са мањим и већим оштећењима.



Слика 6. Исправна коцка (Коцка 1, а) и оштећена коцка (Коцка 2, б)



Слика 7. Исправан макадам (Макадам 1, а) и оштећени макадам (Макадам 2, б)

Коцка 1 и Коцка 2 означава исправну и оштећену путну површину од коцке, а Макадам 1 и Макадам 2 исправну и оштећену површину макадамског пута.

4. ОБРАДА И АНАЛИЗА ПОДАТАКА

Применом софтвера Reshade фотографије приказане на Сликама 2-7 су доведене на приближно исту резолуцију, а применом „2Д“ Фуријеове трансформације и софтвера [18] израчунати су спектри амплитуде. Ради илустрације, растери модула амплитуде спектара Асфалта 1 и Коцке 2, су приказани на Слици 8, при чему је амплитуда спектара дата у логаритамској размери.

Анализом свих растера, који су делимично приказани на Слици 8, може се утврдити да су белине најинтензивније на средини фотографија, јер су амплитуде центриране [18]. То говори о томе да су светле нијансе боје, односно њихова енергија, више концентрисане око средине фотографија. Треба уочити да се у случају постојања оштећења текстуре, јављају и амплитуде чије су координате удаљеније од средишта фотографија.

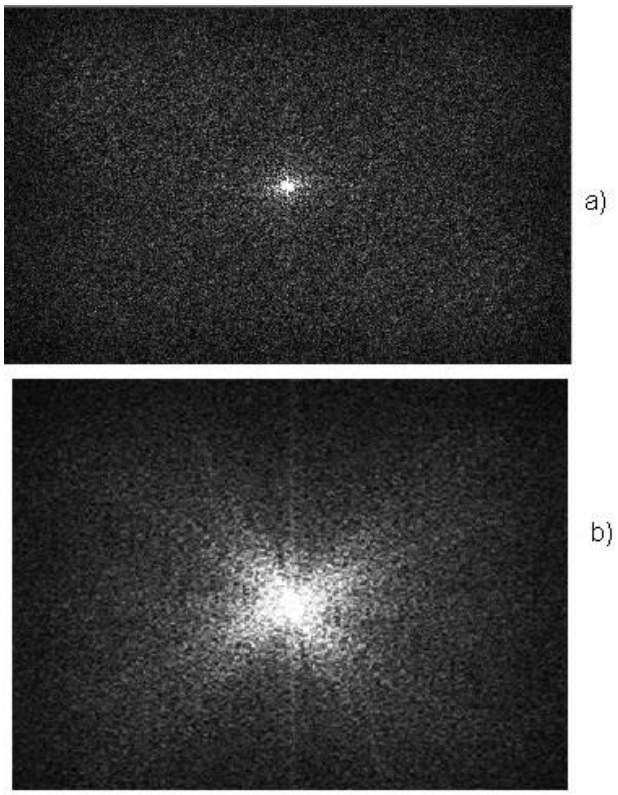
Очигледно је, такође, да растери спектара зависе од врсте пута и оштећења. У овом случају, примена растера за анализу квалитета путне површине није сврсисходна, јер не омогућава детаљнију бројчану анализу података. Коришћени софтвер је имао и могућност исказивања резултата у бројчаном облику, што је омогућило цртање просторних графика. Ради даље анализе, нацртане су „3Д“ слике свих спектара, а које су делимично приказане на Слици 9, на примеру Асфалта 1 и Коцке 2.

Анализом свих података, делимично приказаних на Слици 9, утврђено је да је највећа амплитуда на средини слике (због центрирања података), а да су са удаљењем од центра, амплитуде мање. Међутим, коришћење графика је отежано, због случајног варирања амплитуда спектара, па је, ради детаљније анализе, оцењено целисходним да се израчунају максималне и ефективне вредности свих израчунатих спектара, према изразу:

$$z_{ef} = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{1}^{M \cdot N} F^2(m,n) \qquad (6),$$

- где F(m,n) представља модуо спектра снаге фотографија, а остале ознаке су исте као и у изразу (4).

То је учињено применом програма Аналсигдем [19], а резултати дати у Табели 1.



Слика 8. Растер спектара: Асфалт 1, а), Коцка 2, б)

Табела 1. Максималне и ефективне вредностиспектара амплитуда

Врста пута	Максимална вредност, пиксел	Ефективна вредност, пиксел
Асфалт 1	12002,40918	46,20958
Асфалт 2	28690,70313	128,57714
Асфалт 3	8983,62598	55,74090
Асфалт 4	28370,20508	105,19943
Асфалт 5	25442,29102	117,11030
Асфалт 6	38597,28125	150,09024
Асфалт 7	20033,50195	92,56416
Коцка 1	49894,7421	144,11108
Коцка 2	49772,8593	143,8612
Макадам 1	52528.8437	147,9934
Макадам 2	53160,01563	150,31067

На основу података из Табеле 1 може се утврдити да Асфалт 1 (тамније боје) има мању вредност амплитуда спектара од Асфалта 2 (светлије боје) - Слика 2. Ово се односи како на максималне вредности, тако и на ефективности посматраних спектара, а што је очигледно када се има у виду да је белој боји дата највећа вредност енергије, током дигитализације. Исту ситуацију имамо и код храпавог асфалта (Асфалт 3 и Асфалт 4 - приказани на слици 3).

Када се ради о оштећеном асфалтном покривачу, спектар амплитуда зависи од врсте и величине оштећења, односно од заступљености црне и беле боје на фотографији.

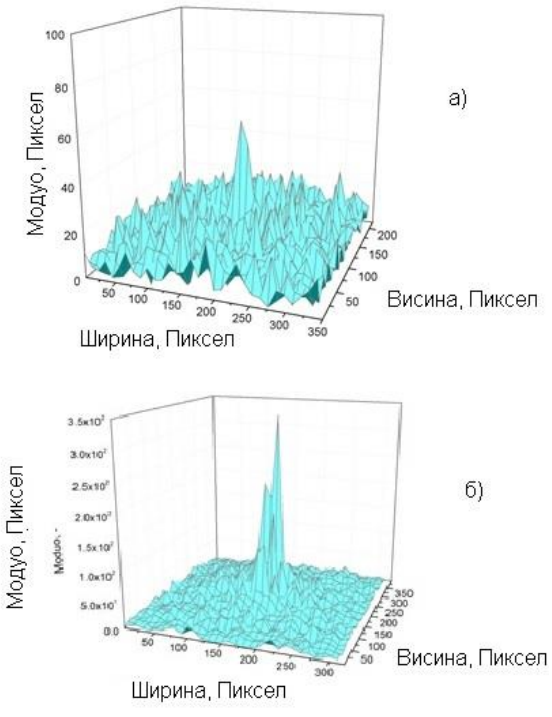
Наиме, у случају мало и више оштећеног асфалта (приказани на Слици 4) веће су максималне и ефективне вредности код асфалта са већим оштећењем, што говори о томе да је у том случају већи утицај светлијих нијанси боја.

Код афалта 7 (приказаног на Слици 5) имамо појаву мањих максималних и ефективних вредности него у случају асфалта 5 и 6, што говори о томе да у случају већих оштећења постоји већи утицај тамнијих нијанси боја.

У случају покривача од коцке, максималне и ефективне вредности су нешто веће код исправне (Коцка 1), него код оштећене коцке, Коцка 2 - Слика 6. Ово се може објаснити чињеницом да код исправне коцке постоји нешто већи утицај беле боје.

Анализа података макадамских путева, чије су фотографије приказане на Слици 7, указује на чињеницу да је код оштећеног макадама (Макадама 2) већи утицај светлијих нијанси боја, јер су спектри амплитуда већи, у односу на Макадам 1 (неоштећени макадамски пут).

У случају да су амплитуде спектара равномерније распоређене по површини фотографије већој максималној вредности, обично, одговара и већа ефетивна вредност. Међутим, у случају када се у спектру појави веома велика вредност у једној тачки посматране фотографије, а у тачкама које су од ње удаљене много мање, може се десити да максимална и ефективна вредност не прате једна другу по величини, а што се обично јавља када постоји веома изражен утицај беле боје.



Слика 9. Спектри амплитуда за Асфалт 1, а), Коцка 2, б)

Наглашава се да метода заснована само на анализи параметара фотографија путне површине, не омогућава директно повезивање са величином осцилаторних побуда моторних возила, па у наредном периоду, треба комбинивати методу фотографисања површине пута, уз истовремено коришћење додатних мерних уређаја-сензора.

Када се ради о дефинисању критеријума за оцену степена оштећења површине пута, у наредном периоду треба вршити детаљнија истраживања уз коришћење фотографија и, унапред, дефинисаним оштећењима путне површине (нпр.: рупе правилних облика различитих дубина, таласасти путеви и сл.). Анализа фотографија тако оштећених површина путева би омогућила да се дефинишу критеријуми за оцену оптималног времена за санацију путева. Како је метода једноставна, очекује се да ће она смањити трошкове испитивања степена оштећења путне површине у циљу њене санације, као што је то истакнуто у [11].

5. ЗАКЉУЧАК

Развијена метода анализе карактеристика текстуре површине пута се може применити при дефинисању допуштених оштећења коловоза пре санације.

Дефинисање критеријума за оцену оштећења захтева далеко обимнија истраживања, што није био циљ овог рада.

Добијени подаци су од великог значаја јер би се додатним уређајима и доградњом методе, омогућила идентификација параметара побуда моторних возила које имају велики утицај на њихове динамичке карактеристике.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Демић, М. (2008). Кибернетски систем: човек-возило-окружење“, Центар за научна истраживања САНУ и Универзитета у Крагујевцу, монографија.

[2] Матић, Д, Младеновић, Т. (2014). Анализа асфалтних мешавина на основу дводимензионалних скенираних слика, Пут и Саобраћај, 4.

[3] Demić, M, Diligenski, Đ. (2018). A Contribution to the Research of the Influence of Road Surface Texture from the Aspect of Dynamic Characteristics of Motor Vehicles, IMK-14 – Research & Development in Heavy Machinery 24, EN27-32 UDC 621 ISSN 0354-6829.

[4] Gillespie, T. (1992). Fundamental of Vehicle Dynamics, SAE.

[5] Демић , М. (2006). Динамичке побуде аутомобила, Институт Винча-Центар за моторе ивозила.

[6] Demić, M, Diligenski, Đ. (2003). The road surface profile investigation perspective, The 30' Session, Modern Technologies in XXI Century, Bucharest, Romania, CD, pp. 35-42.

[7] Демић, М. (2003). Прилог пројектовању уређаја за регистровање микронеравнина путева, Техника, (Машинство) 52, 4/5.

[8] Demić, M. at all. (2010). New design of a road profiler, International Journal of Automotive Technology, Vol. 11, No. 6, pp. 801−808, DOI 10.1007/s12239−010−0095−0.

[9] Sayers, M., Karmihas, S. (1998). The Little Book of Profiling-Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles, University of Michigan.

[10] Viner, H. at all. (2017). Surface Texture Measurement on Local Roads, published project report ppr148, Copyright TRL Limited, [Citirano 19. Avgusta, 2017] , Dostupno na https://www.researchgate.net/publication/265006175_Surface_Texture_Measurement_on Local Roads.

[11] Pidverbesky, B. at all (2017).Road Surface Texture Measurement Using Digital Processing and Informtion Theory, Lnd Transport New Zeland Research Report, 290.

[12] Bendat, J. S., Piersol, A. G. (2000). Random Data Analysis and Measurement Procedures, John Wiley and Sons, London..

[13] Bendat, J. S. , Piersol, A. G. (1980). Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis, John Wiley and Sons. London.

[14] Acharya, T. Ajoj, Ray, (2005). Image Processing-Principles and Application, John Willey and Sons Publication.

[15] Gonzales, R., Woods, R. (2017). Digital Image Processing, Prentice Hall, New Jersey 07458, [Citirano 19. Avgusta, 2017]. Dostupno na: web.ipac.caltech.edu/.../Digital_Image_Processing_2ndEd.pdf.

[16] Поповић, М. (2006). Дигитална обрада слике, Микрокњига, Београд.

[17] Sceliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications, Springer.

[18] Kuroki, N. ”FFT2D” software (2017). [Citirano 20. Septembra, 2017] , Dostupno na: http://cas.eedept.kobe-u.ac.jp/WelcomeES1/OpenSoft/FFT2D/index_en.html.

[19] Демић, М. “АНАЛСИГДЕМ“ софтвер (2017). [Цитирано 30. Октобра, 2017], Доступно на: http://www.ptt.rs/korisnici/i/m/imizm034/index.swf.