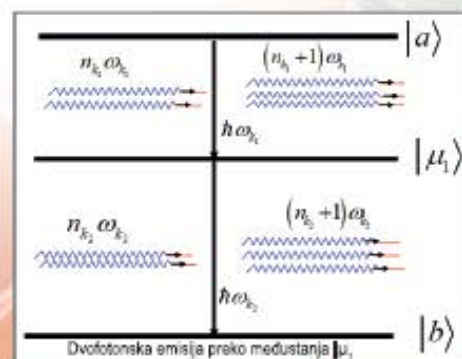
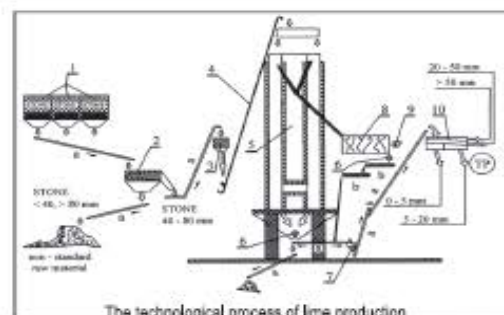


Tehnički Glasnik

Technical Journal



Razvoj injekcijski prešane polimerne spajalce



TEHNIČKI GLASNIK TECHNICAL JOURNAL

Znanstveno-stručni časopis Veleučilišta u Varaždinu
Scientific professional journal of Polytechnic of Varaždin

Godište (Volume) 7
Varaždin, lipanj (June) 2013.

Broj (Number) 2
Stranica (Pages) 97-220

Adresa uredništva (Address of Editorial Office):

Veleučilište u Varaždinu – Tehnički glasnik
J. Križanića 33, HR-42000 Varaždin, Hrvatska;
Tel. ++385/ 42/ 493 328, Fax. ++385/ 42/ 493 333
e-mail: casopis@velv.hr
http://www.velv.hr/main/o_nama/knjznica/tehnicki_glasnik

Osnivač i izdavač (Founder and Publisher):

Veleučilište u Varaždinu

Savjet časopisa (Council of Journal):

Predsjednik Marin MILKOVIĆ (VELV Varaždin), član Milan KLJAJIN (SF Slavonski Brod),
član Ante ČIKIĆ (VTŠ Bjelovar), član Krešimir BUNTAK (MS Koprivnica), član Živko
KONDIĆ (VELV Varaždin)

Urednički odbor (Editorial Board):

Marin MILKOVIĆ, Živko KONDIĆ, Damir VUSIĆ, Ivan ŠUMIGA, Marko STOJIC, Goran
KOZINA, Marko HORVAT (VELV Varaždin); Krešimir BUNTAK (MS Koprivnica);
Duško PAVLETIĆ i Branimir PAVKOVIĆ (TF Rijeka); Božo SOLDO (GTF Varaždin); Nikola
MIRVAC i Igor ZJAKIĆ (GF Zagreb); Biserka RUNJE i Krešimir GRILEC (SF Zagreb); Ivan
SAMARDŽIĆ, Dražan KOZAK, Leon MAGLIĆ (SF Slavonski Brod); Ante ČIKIĆ (VTŠ
Bjelovar); Darko DUKIĆ (Sveučilište u Osijeku, Odjel za fiziku); Ante STOJIC (VELSB
Slavonski Brod); Srđan MEDIĆ (VELK Karlovac); Goran BELAMARIĆ (TV Zagreb); Mijo
VRHOVSKI (VERN Zagreb); Sanja KALAMBURA (Veleučilište Velika Gorica)

Međunarodni urednički savjet (International Editorial Council):

Boris TOVORNIK (UM FERi Maribor); Nenad INJAC (KPH Wien/Krems); Džafer
KUDUMOVIĆ (MF Tuzla); Marin PETROVIĆ (MF Sarajevo); Salim IBRAHIMEFENDIĆ (KF
Kiseljak); Zoran LOVREKOVIĆ (VTŠ Novi Sad); Igor BUDAK (Fakultet tehničkih nauka,
Univerzitet u Novom Sadu); Darko BAJIĆ (Mašinski fakultet Univerziteta Crne Gore);
Tomáš HANÁK (Brno University of Technology, Czech Republic); Aleksandr Viktorovich
SHKOLA, Klimenko Evgenij VLADIMIROVIĆ, Oleg Aleksandrovich POPOV (Odessa State
Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine)

Glavni urednici (Editors-in-Chief):

Živko KONDIĆ, Marin MILKOVIĆ

Tehnički urednici (Technical Editor):

Milan KLJAJIN, Džafer KUDUMOVIĆ, Goran KOZINA

Grafički urednik (Graphics Editor):

Dean VALDEC

Tajništvo (Secretary Office):

Maja GOTAL

Lektori i prevoditelji (Linguistic Advisers and Translators):

Ivana GRABAR, Ivana JURKOVIĆ (za engleski jezik)
Ljiljana ŠARAC (za hrvatski jezik)

Informatička podrška (IT support):

Davor LEVANIĆ

Svi objavljeni članci u časopisu su recenzirani (All papers published in journal have
been reviewed)

Časopis je besplatan i izlazi u četiri broja godišnje (The journal is free and published
four issues per year)

Naklada (Circulation): 150 primjeraka (issues)

Časopis je referiran u (Journal is referred in):

EBSCOhost Academic Search Complete
Hrčak - Portal znanstvenih časopisa RH

Rukopisi se ne vraćaju (Manuscripts are not returned)

Registracija časopisa (Registration of journal):

Časopis "Tehnički glasnik" upisan je u Upisnik HGK o izdavanju i distribuciji tiska 18.
listopada 2007. godine pod rednim brojem 825.

Uređenje zaključeno (Preparation ended):

Lipanj (June) 2013.

SADRŽAJ
CONTENT

<i>Stojić M.</i> DVOFOTONSKI PROCESI U ATOMIMA TWO-PHOTON PROCESSES IN ATOMS	97
<i>Keček D., Poldrugač A., Vuković P.</i> POOPĆENJA PITAGORINOG POUČKA GENERALIZATION OF THE PYTHAGOREAN THEOREM	103
<i>Havaš L., Keček D., Knez K.</i> USPOREDBA I PRIMJENA „DISTANCE VECTOR“ I „LINK STATE“ MREŽNIH PROTOKOLA COMPARISON AND APPLICATION OF “DISTANCE VECTOR” AND “LINK STATE” NETWORK PROTOCOLS	108
<i>Jurković, I., Hršak, B., Badrov, T.</i> NAZIVLJE SINKRONE TEHNOLOGIJE RAČUNALNO POTPOMOGNUTOGA OBLIKOVANJA THE TERMINOLOGY OF CAD SYNCHRONOUS TECHNOLOGY	116
<i>Čapan S., Petrović I., Jurković I.</i> MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA EUROPEAN SOLAR RADIATION ATLASA NA PRIMJERU ANALIZE DNEVNOG PRIVIDNOG KRETANJA SUNCA THE POSSIBILITIES OF THE EUROPEAN SOLAR RADIATION ATLAS USAGE ON THE EXAMPLE OF DAILY OSTENSIBLE SUN MOVEMENT ANALYSIS	122
<i>Čikić A., Polenus M.</i> USPOREDBA KORIŠTENJA RAZLIČITE VRSTE PLINOVITOG GORIVA U PROIZVODNJI ŽIVOG VAPNA THE COMPARISON OF USING VARIOUS TYPES OF GASEOUS FUEL IN LIME PRODUCTION	126
<i>Horvat M., Bilić M., Kondić V.</i> PRIMJENA REL ZAVARIVANJA U IZRADI ČELIČNIH KONSTRUKCIJA APPLICATION OF SMAW PROCESS IN THE CONSTRUCTION OF STEEL STRUCTURES	132
<i>Bujanić B., Vurušić S.</i> RAZVOJ INJEKCIJSKI PREŠANE POLIMERNE SPAJALICE DEVELOPMENT OF INJECTION MOULDED POLYMER CLIP	138
<i>Posavec M., Cerin I., Stepanić J.</i> MODELIRANJE DETEKCIJE POGREŠKE U INFORMACIJSKOM SUSTAVU PRIMJENOM INFORMACIJSKE ENTROPIJE MODELLING THE FLAW DETECTION IN AN INFORMATION SYSTEM USING INFORMATION ENTROPY	142
<i>Petric Maretić K., Modrić D., Milković M.</i> ISPITIVANJE UTJECAJA KARAKTERISTIKA PAPIRA NA PARAMETAR w FUNKCIJE RAZMAZIVANJA TOČKE LORENTZOVOG OBLIKA TESTING THE IMPACT OF PAPER CHARACTERISTICS ON A PARAMETER w OF THE LORENTZ SHAPED POINT SPREAD FUNCTION	148
<i>Vlašić J., Zjakić I., Zlatić S.</i> ODREĐIVANJE NAJMANJE PISMOVNE UPOTREBLJIVE VELIČINE U OZNAČAVANJU PROIZVODA DETERMINING OF SMALLEST USEFUL FONT SIZE IN PRODUCT LABELLING	154
<i>Turkalj R., Bernik A., Vusić D.</i> nCLOTH SUSTAV ZA SIMULIRANJE TKANINA nCLOTH SYSTEM FOR SIMULATING FABRICS	162
<i>Lukaček M., Milković M., Hajdek K.</i> ANALIZA MANIFESTACIJE McCOLLUGH EFEKTA U CROSS- MEDIA REPRODUKCIJSKIM SUSTAVIMA ANALYSIS OF THE McCOLLUGH EFFECT MANIFESTATION IN CROSS-MEDIA REPRODUCTION SYSTEMS	170
<i>Hižak D., Mikac M.</i> RAZVOJ JEDNOSTAVNOG ALATA ZA ANALIZU ZVUKA NA MOBILNOJ ANDROID PLATFORMI DEVELOPMENT OF A SIMPLE TOOL FOR AUDIO ANALYSIS ON MOBILE ANDROID PLATFORM	177
<i>Miljković P., Vlašić J., Hajdek K.</i> IMPLEMENTACIJA SIMULACIJSKE RAČUNALNE TEHNOLOGIJE KROZ PROCESSE TISKA IMPLEMENTATION OF A SIMULATION INFORMATION TECHNOLOGY THROUGH PRINTING PROCESSES	182
<i>Šimunić N., Groš J., Medić S.</i> RAZVOJ NOVOG PROIZVODA POMOĆU TEHNOLOGIJE BRZE IZRADE PROTOTIPOVA NEW PRODUCT DEVELOPMENT USING THE TECHNOLOGY FOR RAPID PROTOTYPING	187
<i>Petrović V., Milković M., Valdec D.</i> KOMPARACIJA KARAKTERISTIKA INK-JET OTISAKA DOBIVENIH VODENIM, SOLVENTNIM I UV BOJILIMA COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF INK-JET PRINTS OBTAINED USING WATER BASED, SOLVENT AND UV INKS	191
<i>Kos Ž.</i> ZAKONODAVNI I PRAVNI ASPEKTI VEZANI UZ PLAN IZVOĐENJA RADOVA I ZNAČAJ PRIMJENE PLANA LEGISLATIVE AND LEGAL ASPECTS RELATED TO THE PLAN OF UNDERTAKING CONSTRUCTION WORKS AND THE IMPORTANCE OF ITS APPLICATION	198

<i>Kos Ž.</i> FAZNO PROMJENLJIVI MATERIJALI PHASE-CHANGE MATERIALS	202
<i>Lipovec N., Kozina G.</i> EKONOMSKA ANALIZA I OCJENA ZAKONITOSTI PONUDE I POTRAŽNJE ECONOMIC ANALYSIS AND EVALUATION OF SUPPLY AND DEMAND LEGALITY	206
<i>Buntak K., Droždek I., Kovačić R.</i> NEMATERIJALNA MOTIVACIJA U FUNKCIJI UPRAVLJANJA LJUDSKIM POTENCIJALIMA NONMATERIAL MOTIVATION IN THE FUNCTION OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT	213
Zanimljivosti Curiosities	III
Naputak autorima Instructions for authors	IV

DVOFOTONSKI PROCESI U ATOMIMA

TWO-PHOTON PROCESSES IN ATOMS

Marko Stojić

Original scientific paper

Abstract: A procedure for determining multiphoton probability in atoms is presented using time-dependent perturbation theory. The evolution operator is obtained in the form of infinite order using iterative procedure for solving the Schrödinger equation. By applying the dipole approximation on the operator interaction, the final expressions for the probability of two-photon spontaneous and stimulated emissions are obtained.

Key words: time-dependent perturbation theory, probability of transitions, evolution operator, operator interaction, the dipole approximation

Izvorni znanstveni članak

Sažetak: Korištenjem vremenskog računa smetnje prikazan je postupak određivanja vjerojatnosti višefotonskih procesa u atomima. Operator evolucije izražen je u obliku beskonačnog reda iterativnim postupkom rješavanja Schrödingerove jednačbe. Primjenom dipolne aproksimacije u operatoru interakcije dobiveni su konačni izrazi za vjerojatnosti stimulirane i spontane dvofotonske emisije fotona.

Ključne riječi: vremenski račun smetnje, vjerojatnost prijelaza, operator evolucije, operator interakcije, dipolna aproksimacija

1. UVOD

Teorija vremenskog računa smetnje pokazala se vrlo uspješnom u raznim područjima suvremene fizike. Posebno je značajna njena primjena u opisu kvantnomehaničkih sustava pri međudjelovanju s elektromagnetskim poljem.

U ovom radu izložit ćemo slučaj međudjelovanja elektromagnetskog polja s atomom, pri čemu se javljaju složeni višefotonski procesi.

Za opis i razumijevanje ovakvih fizikalnih procesa mogu se koristiti različiti matematički formalizmi. Izbor matematičkog postupka nije od neke posebne važnosti, osim praktične primjene, tj. da se računa brže i jednostavnije.

Operatorski oblik vremenskog računa smetnje predstavlja primjer korisnog i efikasnog matematičkog formalizma koji se vrlo često koristi u kvantnoj mehanici.

Postupak se svodi na postavljanje i rješavanje Schrödingerove jednačbe u kojoj je vremensko odvijanje stanja iskazano preko operatora evolucije.

Jednačba se rješava iterativnim postupkom, a operator evolucije dobiva se u obliku beskonačnog reda. U računanju se zadržavaju samo dominantni članovi reda, dok se operator interakcije uzima u dipolnoj aproksimaciji [1-4].

2. VREMENSKI RAČUN SMETNJE

Uzajamno djelovanje elektromagnetskog polja i atoma predočit ćemo hamiltonijanom

$$H = H_A + H_R + V, \quad (1)$$

gdje H_A opisuje atom, H_R elektromagnetsko polje, a V interakciju između atoma i elektromagnetskog polja.

U vremenskom računu smetnje polazimo od Schrödingerove jednačbe za stanje $\psi(t)$, tj.

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(t) = H\psi(t). \quad (2)$$

Odvijanje stanja može se izraziti preko operatora evolucije $U(t, t_0)$ koji povezuje valnu funkciju u trenutku t_0 i vremenu t , odnosno

$$\psi(t) = U(t, t_0)\psi(t_0), \quad (3)$$

uz uvjet

$$U(t_0, t_0) = 1. \quad (4)$$

Iz zahtjeva ortonormiranosti valne funkcije imamo

$$\langle \psi(t) | \psi(t) \rangle = \langle \psi(t_0) | U^\dagger(t, t_0) U(t, t_0) | \psi(t_0) \rangle = 1$$

pa proizlazi da je operator evolucije unitaran, tj.

$$U^\dagger(t, t_0) U(t, t_0) = 1.$$

Rješenje Schrödingerove jednačbe (2) svodi se na iznalaženje rješenja jednačbe za operator evolucije, tj.

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} U(t, t_0) = H U(t, t_0). \quad (5)$$

Ako hamiltonijan H ne ovisi o vremenu, tada jednačba (5) ima rješenje

$$U(t, t_0) = \exp \left[\frac{1}{i\hbar} H(t - t_0) \right]. \quad (6)$$

Analogno za nesmetani hamiltonijan

$$H_0 = H_A + H_R$$

konstruiramo rješenje

$$U^0(t, t_0) = \exp\left[\frac{1}{i\hbar} H_0(t - t_0)\right]. \quad (7)$$

Poznajući rješenje Schrödingerove jednačbe za nesmetani hamiltonijan H_0 , možemo naći rješenje za hamiltonijan H ako pretpostavimo da je interakcija slaba. U ovom slučaju $U^0(t, t_0)$ zadovoljava jednačbu (5) kao nulta aproksimacija, tj.

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} U^0(t, t_0) \approx H U^0(t, t_0). \quad (8)$$

Na ovaj način možemo $U(t, t_0)$ pisati kao produkt unitarnog operatora $U^0(t, t_0)$ kojeg znamo i $U'(t, t_0)$ kojeg možemo pretpostaviti, dakle

$$U(t, t_0) = U^0(t, t_0) U'(t, t_0). \quad (9)$$

Što je nulta aproksimacija bolja, to će $U'(t, t_0)$ biti bliži jedinici. Uvrštavajući izraz (9) u jednačbu (5), dobivamo:

$$\frac{\partial U^0(t, t_0)}{\partial t} U'(t, t_0) + U^0(t, t_0) \frac{\partial U'(t, t_0)}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right) H U^0(t, t_0) U'(t, t_0).$$

Budući da je

$$\frac{\partial U^0(t, t_0)}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right) H_0 U^0(t, t_0),$$

pišemo

$$U^0(t, t_0) \frac{\partial U'(t, t_0)}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right) (H - H_0) U^0(t, t_0) U'(t, t_0). \quad (10)$$

Razlika između smetanog i nesmetanog hamiltonijana je u interakciji V između vanjskog polja i atoma pa je

$$U^0(t, t_0) \frac{\partial U'(t, t_0)}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right) V U^0(t, t_0) U'(t, t_0). \quad (11)$$

Ako jednačbu (11) pomnožimo s $U^{0\dagger}(t, t_0)$, dobivamo

$$U^{0\dagger}(t, t_0) U^0(t, t_0) \frac{\partial U'(t, t_0)}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right) [U^{0\dagger}(t, t_0) V U^0(t, t_0)] U'(t, t_0). \quad (12)$$

Zbog unitarnosti operatora evolucije bit će

$$\frac{\partial U'(t, t_0)}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right) [U^{0\dagger}(t, t_0) V U^0(t, t_0)] U'(t, t_0). \quad (13)$$

Uvođenjem nove oznake

$$V'(t) = U^{0\dagger}(t, t_0) V U^0(t, t_0), \quad (14)$$

jednačba (13) poprima oblik

$$\frac{\partial U'(t, t_0)}{\partial t} = \left(\frac{1}{i\hbar}\right) V'(t) U'(t, t_0). \quad (15)$$

Koristeći rubni uvjet $U'(t_0, t_0) = 1$, dobivamo

$$U'(t, t_0) = 1 + \left(\frac{1}{i\hbar}\right) \int_{t_0}^t V'(\tau) U'(\tau, t_0) d\tau. \quad (16)$$

Ovu integralnu jednačbu možemo riješiti metodom iteracije, tj.

$$U'(t, t_0) = 1 + \left(\frac{1}{i\hbar}\right) \int_{t_0}^t V'(\tau) d\tau + \left(\frac{1}{i\hbar}\right)^2 \int_{t_0}^t V'(\tau_1) d\tau_1 \int_{t_0}^{\tau_1} V'(\tau_2) d\tau_2 + \dots \quad (17)$$

Konačno će biti

$$U'(t, t_0) = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} U'^{(n)}(t, t_0), \quad (18)$$

gdje je

$$U'^{(n)}(t, t_0) = \left(\frac{1}{i\hbar}\right)^n \int_{t_0}^t d\tau_n d\tau_{n-1} \dots d\tau_1 V'(\tau_n) V'(\tau_{n-1}) \dots V'(\tau_1). \quad (19)$$

Pomnoživši jednačbu (18) s $U^0(t, t_0)$ i primjenivši relacije (9) i (14), dobivamo

$$U(t, t_0) = U^0(t, t_0) \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} U'^{(n)}(t, t_0)\right], \quad (20)$$

gdje je

$$U'^{(n)}(t, t_0) = \left(\frac{1}{i\hbar}\right)^n \int_{t_0}^t d\tau_n d\tau_{n-1} \dots d\tau_1 U^{0\dagger}(\tau_n, t_0) V(\tau_n) U^0(\tau_n, t_0) U^{0\dagger}(\tau_{n-1}, t_0) V(\tau_{n-1}) U^0(\tau_{n-1}, t_0) \dots U^{0\dagger}(\tau_1, t_0) V(\tau_1) U^0(\tau_1, t_0). \quad (21)$$

2.1 Određivanje vjerojatnosti prijelaza

Valnu funkciju $\psi(t)$ možemo odrediti poznajući $U(t, t_0)$ pa će biti

$$\psi(t) = U(t, t_0)\psi(t_0).$$

Također ćemo pretpostaviti da nam je poznata funkcija $\psi(t_0)$ koja opisuje stacionarno stanje.

Nesmetani hamiltonijan H_0 ima vlastita stanja: $|a\rangle, |b\rangle, \dots$, koja čine ortonormiran sustav s vlastitim vrijednostima E_a, E_b, \dots , tako da je

$$\begin{aligned} H_0 |a\rangle &= E_a |a\rangle, \\ H_0 |b\rangle &= E_b |b\rangle, \end{aligned} \quad (22)$$

pri čemu je

$$\langle a|b\rangle = \delta_{ab}. \quad (23)$$

Neka se naš sustav u trenutku $t=t_0$ nalazi u stanju $|a\rangle$, tj. $\psi(t_0)=|a\rangle$. Nastupanjem interakcije elektrona s fotonom sustav može prijeći u neko drugo stanje.

Vjerojatnost prijelaza iz stanja $|a\rangle$ u stanje $|b\rangle$ u vremenskom intervalu $t=t_0$ izražena je kvadratom amplitude prijelaza

$$P_{ab}^{(n)} = \left| \langle b|U(t, t_0)|a\rangle \right|^2. \quad (24)$$

Koristeći relaciju (20), jednačba (24) postaje

$$P_{ab}^{(n)} = \left| \langle b|U^0(t, t_0) \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} U^{(n)}(t, t_0) \right] |a\rangle \right|^2. \quad (25)$$

Budući da je za $a \neq b$

$$\langle b|U^0(t, t_0)|a\rangle = 0, \quad (26)$$

vjerojatnost prijelaza (25) poprima oblik

$$P_{ab}^{(n)} = \left| \langle b|U^0(t, t_0) \sum_{n=1}^{\infty} U^{(n)}(t, t_0) |a\rangle \right|^2. \quad (27)$$

Uvođenjem nove oznake

$$U_{ab}^{(n)} = \langle b|U^0(t, t_0) \sum_{n=1}^{\infty} U^{(n)}(t, t_0) |a\rangle, \quad (28)$$

vjerojatnost (27) uobičajeno pišemo

$$P_{ab}^{(n)} = \left| U_{ab}^{(n)} \right|^2. \quad (29)$$

Amplituda vjerojatnosti prijelaza u najnižem stupnju računa smetnje, tj. za $n=1$ glasi:

$$\begin{aligned} U_{ab}^{(1)} &= \left(\frac{1}{i\hbar} \right) \langle b|U^0(t, t_0) \\ &\int_{t_0}^t U^{0\dagger}(\tau, t_0) V(\tau) U^0(\tau, t_0) d\tau |a\rangle. \end{aligned} \quad (30)$$

Korištenjem relacije (7), jednačbu (30) pišemo u obliku

$$\begin{aligned} U_{ab}^{(1)} &= \left(\frac{1}{i\hbar} \right) \int_{t_0}^t \langle b| \exp \left[\frac{1}{i\hbar} H_0(t-\tau) \right] \\ &V(\tau) \exp \left[\frac{1}{i\hbar} H_0(\tau-t_0) \right] d\tau |a\rangle. \end{aligned} \quad (31)$$

Na isti način za $n=2$ dobivamo

$$\begin{aligned} U_{ab}^{(2)} &= \left(\frac{1}{i\hbar} \right)^2 \langle b| \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_2} \exp \left[\frac{1}{i\hbar} H_0(t-\tau_2) \right] V(\tau_2) \\ &\exp \left[\frac{1}{i\hbar} H_0(\tau_2-\tau_1) \right] V(\tau_1) \exp \left[\frac{1}{i\hbar} H_0(\tau_1-t_0) \right] d\tau_2 d\tau_1 |a\rangle. \end{aligned} \quad (32)$$

Pošto su hamiltonijani H i H_0 neovisni o vremenu, i operator interakcije bit će neovisan o vremenu, tj.

$$V(\tau) = V. \quad (33)$$

Uvođenjem potpunog skupa vlastitih stanja hamiltonijana H_0

$$\sum_{\mu} |\mu\rangle \langle \mu| = 1 \quad (34)$$

i korištenjem svojstava (22), jednačba (32) postaje

$$\begin{aligned} U_{ab}^{(2)} &= \left(\frac{1}{i\hbar} \right)^2 \sum_{\mu} V_{b\mu} V_{\mu a} \int_{t_0}^t \int_{t_0}^{\tau_2} \exp \left[-i\omega_b(t-\tau_2) - i\omega_{\mu}\tau_2 - i\omega_a t_0 \right] \\ &\exp \left[-i(\omega_a - \omega_{\mu})\tau_1 \right] d\tau_1, \end{aligned} \quad (35)$$

gdje su:

$$\begin{aligned} V_{b\mu} &= \langle b|V|\mu\rangle, & V_{\mu a} &= \langle \mu|V|a\rangle, \\ \omega_b &= \frac{E_b}{\hbar}, & \omega_a &= \frac{E_a}{\hbar}, & \omega_{\mu} &= \frac{E_{\mu}}{\hbar}. \end{aligned} \quad (36)$$

Uzimanjem $t_0=0$ jednačba (35) poprima nešto jednostavniji oblik:

$$\begin{aligned} U_{ab}^{(2)} &= \left(\frac{1}{i\hbar} \right)^2 \sum_{\mu} V_{b\mu} V_{\mu a} \int_0^t \int_0^{\tau_2} \exp \left[-i\omega_b t - i(\omega_{\mu} - \omega_b)\tau_2 - i(\omega_a - \omega_{\mu})\tau_1 \right] d\tau_1. \end{aligned} \quad (37)$$

Nakon integriranja gornje jednačbe dobivamo:

$$\begin{aligned} U_{ab}^{(2)} &= \left(\frac{1}{\hbar} \right)^2 \sum_{\mu} \frac{V_{b\mu} V_{\mu a}}{\omega_{\mu} - \omega_a} \\ &\exp(-i\omega_b t) \frac{\exp i(\omega_b - \omega_a)t - 1}{\omega_b - \omega_a}. \end{aligned} \quad (38)$$

Vjerojatnost procesa u jedinici vremena bit će

$$W_{ab}^{(2)} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \left| U_{ab}^{(2)} \right|^2. \quad (39)$$

Uvrštavanjem izraza (38) u relaciju (39) dobivamo

$$W_{ab}^{(2)} = \left(\frac{1}{\hbar} \right)^4 \left| \sum_{\mu} \frac{V_{b\mu} V_{\mu a}}{\omega_{\mu} - \omega_a} \right|^2 \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1 - \cos(\omega_b - \omega_a)t}{(\omega_b - \omega_a)^2 t}. \quad (40)$$

Korištenjem reprezentacije δ funkcije u obliku

$$\delta(\omega_b - \omega_a) = \frac{1}{\pi} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1 - \cos(\omega_b - \omega_a)t}{(\omega_b - \omega_a)^2 t}, \quad (41)$$

izraz (40) postaje

$$W_{ab}^{(2)} = \left(\frac{1}{\hbar}\right)^4 \left| \sum_{\mu} \frac{V_{b\mu} V_{\mu a}}{\omega_{\mu} - \omega_a} \right|^2 2\pi \delta(\omega_b - \omega_a). \quad (42)$$

Analognim postupkom možemo doći i do izraza za vjerojatnost procesa N-toga reda u vremenskom računu smetnje, tj.

$$W_{ab}^{(N)} = \left(\frac{1}{\hbar}\right)^{2N} \left| \sum_{\mu_{N-1}, \mu_{N-2}, \dots, \mu_1} \frac{V_{b\mu_{N-1}} V_{\mu_{N-1}\mu_{N-2}} \dots V_{\mu_1 a}}{(\omega_{\mu_{N-1}} - \omega_a) \dots (\omega_{\mu_1} - \omega_a)} \right|^2 2\pi \delta(\omega_b - \omega_a). \quad (43)$$

3. DVOFOTONSKI PROCESI

Određivanje vjerojatnosti dvofotonskih procesa početak ćemo uvođenjem operatora interakcije elektrona s elektromagnetskim poljem. Operator interakcije dan je izrazom

$$V = -\frac{e}{cm} pA(\vec{r}), \quad (44)$$

gdje su: $A(\vec{r})$ vektorski potencijal, p operator količine gibanja, e naboj elektrona, m masa elektrona i c brzina svjetlosti. Vektorski potencijal $A(\vec{r})$ ima oblik

$$A(\vec{r}) = \sum_k \sqrt{\frac{2\pi\hbar c^2}{\omega_k L^3}} \vec{\varepsilon}_k \left[a_k \exp(i\vec{k}\vec{r}) + a_k^\dagger \exp(-i\vec{k}\vec{r}) \right], \quad (45)$$

u kojem $\vec{\varepsilon}_k$ predstavlja vektor polarizacije, dok su a_k^\dagger

i a_k operatori stvaranja i poništenja fotona.

Uvrštavanjem vektorskog potencijala (45) u jednažbu (44), operator interakcije poprima oblik

$$V = -\sqrt{\frac{2\pi\hbar e^2}{m^2 L^3}} \sum_k p \vec{\varepsilon}_k \left[a_k \exp(i\vec{k}\vec{r}) + a_k^\dagger \exp(-i\vec{k}\vec{r}) \right] \frac{1}{\sqrt{\omega_k}}. \quad (46)$$

Uvođenjem dipolne aproksimacije, tj. uzimanjem samo prvog člana razvojnog reda eksponencijalnih funkcija, vektorski potencijal postaje znatno jednostavniji:

$$V = -\zeta \sum_k p \vec{\varepsilon}_k (a_k + a_k^\dagger) \frac{1}{\sqrt{\omega_k}}, \quad (47)$$

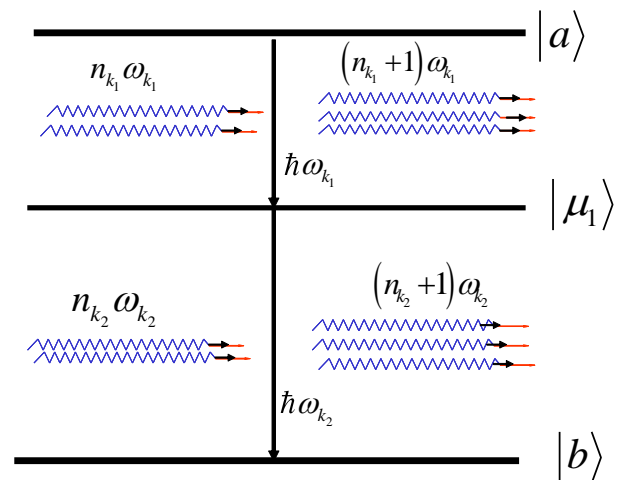
gdje je

$$\zeta = -\sqrt{\frac{2\pi\hbar e^2}{m^2 L^3}}.$$

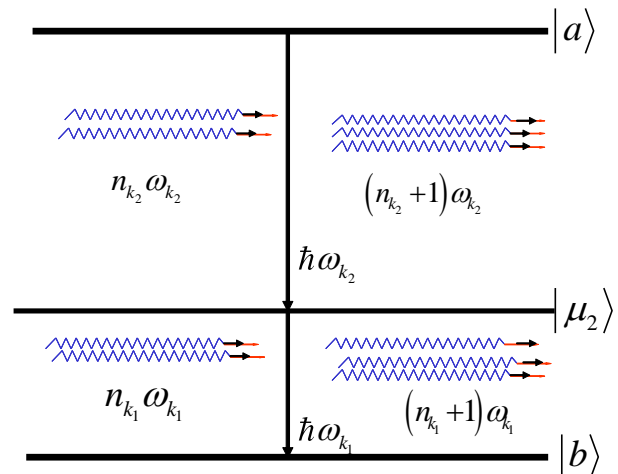
Ova aproksimacija je razumljiva jer je doprinos drugih članova u razvoju eksponencijalnih funkcija mali. Tako npr. za područje vidljive svjetlosti $\lambda \approx 10^{-6}$ m, uz dimenzije atoma $a \approx 10^{-10}$ m, proizlazi da je produkt $|\vec{k}\vec{r}| \approx 10^{-3}$.

Da bismo izračunali matrice elemente dvofotonskih procesa potrebno je konstruirati valne funkcije. Pošto se radi o stanjima fotona i vlastitim stanjima elektrona u atomu, valna će funkcija biti produkt valnih funkcija stanja elektrona i fotonskih stanja.

Ako se atom nalazi u polju fotona frekvencija ω_{k_1} i ω_{k_2} , onda je moguća emisija ili apsorpcija fotona preko dva međustanja (slike 1. i 2.).



Slika 1. Dvofotonska emisija preko međustanja $|\mu_1\rangle$



Slika 2. Dvofotonska emisija preko međustanja $|\mu_2\rangle$

Valne funkcije početnog i konačnog stanja bit će:

$$|a\rangle = |f\rangle | \dots n_{k_1}, \dots n_{k_2}, \dots \rangle, \\ |b\rangle = |g\rangle | \dots n_{k_1} + 1, \dots n_{k_2} + 1, \dots \rangle, \quad (48)$$

dok su valne funkcije međustanja

$$\begin{aligned} |\mu_1\rangle &= |c_1\rangle | \dots n_{k_1} + 1, \dots n_{k_2}, \dots \rangle, \\ |\mu_2\rangle &= |c_2\rangle | \dots n_{k_1}, \dots n_{k_2} + 1, \dots \rangle. \end{aligned} \quad (49)$$

Djelovanjem operatora stvaranja i poništenja čestica na valne funkcije fotonskih stanja imamo:

$$\begin{aligned} a_k^\dagger | \dots n_{k_1}, \dots \rangle &= \sqrt{n_{k_1} + 1} | \dots n_{k_1} + 1, \dots \rangle, \\ a_k | \dots n_{k_1}, \dots \rangle &= \sqrt{n_{k_1}} | \dots n_{k_1} - 1, \dots \rangle. \end{aligned} \quad (50)$$

Vjerojatnost dvofotonskog procesa za slučaj emisije preko međustanja $|\mu_1\rangle$ i $|\mu_2\rangle$ bit će:

$$W_{ab}^{(2)} = \left(\frac{1}{\hbar} \right)^4 \left| \sum_c \frac{V_{b\mu_1} V_{\mu_1 a}}{\omega_{\mu_1} - \omega_a} + \frac{V_{b\mu_2} V_{\mu_2 a}}{\omega_{\mu_2} - \omega_a} \right|^2 2\pi\delta(\omega_b - \omega_a). \quad (51)$$

Matrične elemente u sumaciji možemo izračunati koristeći operator smetnje:

$$V_{b\mu_1} = -\zeta \sum_{k_2} \sqrt{n_{k_2} + 1} \langle g | p\vec{\varepsilon}_{k_2} | c_1 \rangle \frac{1}{\sqrt{\omega_{k_2}}}. \quad (52)$$

Budući da je

$$\langle g | p\vec{\varepsilon}_{k_2} | c_1 \rangle = im\omega_{k_2} \langle g | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_2} | c_1 \rangle, \quad (53)$$

uvrštavanjem u (52) imamo

$$V_{b\mu_1} = -im\zeta \sum_{k_2} \sqrt{(n_{k_2} + 1)\omega_{k_2}} \langle g | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_2} | c_1 \rangle. \quad (54)$$

Analogno dobivamo i ostale matrične elemente:

$$\begin{aligned} V_{\mu_1 a} &= -im\zeta \sum_{k_1} \sqrt{(n_{k_1} + 1)\omega_{k_1}} \langle c_1 | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_1} | f \rangle, \\ V_{b\mu_2} &= -im\zeta \sum_{k_1} \sqrt{(n_{k_1} + 1)\omega_{k_1}} \langle g | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_1} | c_2 \rangle, \\ V_{\mu_2 a} &= -im\zeta \sum_{k_2} \sqrt{(n_{k_2} + 1)\omega_{k_2}} \langle c_2 | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_2} | f \rangle. \end{aligned} \quad (55)$$

Razliku frekvencija u izrazu (51) prikazat ćemo koristeći relacije:

$$\begin{aligned} \omega_a &= \omega_f + n_{k_1}\omega_{k_1} + n_{k_2}\omega_{k_2}, \\ \omega_b &= \omega_g + (n_{k_1} + 1)\omega_{k_1} + (n_{k_2} + 1)\omega_{k_2}, \\ \omega_{\mu_1} &= \omega_{c_1} + (n_{k_1} + 1)\omega_{k_1} + n_{k_2}\omega_{k_2}, \\ \omega_{\mu_2} &= \omega_{c_2} + n_{k_1}\omega_{k_1} + (n_{k_2} + 1)\omega_{k_2}. \end{aligned} \quad (56)$$

Na ovaj način vjerojatnost dvofotonske emisije (51) poprima oblik:

$$\begin{aligned} W_{ab}^{(2)} &= \left(\frac{m\xi}{\hbar} \right)^4 \sum_{k_1, k_2} (n_{k_1} + 1)(n_{k_2} + 1) \omega_{k_1} \omega_{k_2} \\ &|M^{(2)}|^2 2\pi\delta(\omega_{fg} - \omega_{k_1} - \omega_{k_2}), \end{aligned} \quad (57)$$

pri čemu je

$$|M^{(2)}|^2 = \left| \sum_c \frac{\langle g | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_2} | c \rangle \langle c | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_1} | f \rangle}{\omega_{cf} + \omega_{k_1}} + \frac{\langle g | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_1} | c \rangle \langle c | \vec{r}\vec{\varepsilon}_{k_2} | f \rangle}{\omega_{cf} + \omega_{k_2}} \right|^2,$$

gdje su

$$\omega_{fg} = \omega_f - \omega_g,$$

$$\omega_{cf} = \omega_c - \omega_f.$$

Sumacija po valnim vektorima k_1 i k_2 može se zamijeniti integralom. Odredit ćemo broj fotona koji se nalaze u kocki dimenzija L , pri čemu je L znatno veći od dimenzija atoma i valne duljine fotona, tj.:

$$\begin{aligned} L &= n_x \lambda_x = 2\pi n_x \frac{\lambda_x}{2\pi} = 2\pi \frac{n_x}{k_x}, \\ L &= n_y \lambda_y = 2\pi n_y \frac{\lambda_y}{2\pi} = 2\pi \frac{n_y}{k_y}, \\ L &= n_z \lambda_z = 2\pi n_z \frac{\lambda_z}{2\pi} = 2\pi \frac{n_z}{k_z}. \end{aligned} \quad (58)$$

Svakoj točki u prostoru s koordinatama n_x, n_y, n_z , odgovara valni vektor u „ k -prostoru“. Veza između ova dva prostora dana je relacijom

$$dn = \left(\frac{L}{2\pi} \right)^3 dk_x dk_y dk_z = \left(\frac{L}{2\pi} \right)^3 k^2 dk d\Omega, \quad (59)$$

gdje je Ω prostorni kut.

Zamjenom $k = \frac{\omega}{c}$ u gornji izraz imamo

$$dn = \left(\frac{L}{2\pi} \right)^3 \frac{\omega^2}{c^3} d\omega d\Omega. \quad (60)$$

Gustoća stanja po jediničnoj frekvenciji za jedan smjer polarizacije bit će

$$\rho(\omega)_{\varepsilon=1} = \frac{dn}{d\omega} = \left(\frac{L}{2\pi} \right)^3 \frac{\omega^2}{c^3} \int d\Omega,$$

odnosno

$$\rho(\omega)_{\varepsilon=1} = \frac{dn}{d\omega} = 4\pi \left(\frac{L}{2\pi} \right)^3 \frac{\omega^2}{c^3}. \quad (61)$$

Ako uzmemo u obzir i drugi smjer polarizacije (drugog fotona), gustoća će biti

$$\rho(\omega)_{\varepsilon=1,2} = \frac{dn}{d\omega} = 8\pi \left(\frac{L}{2\pi} \right)^3 \frac{\omega^2}{c^3}, \quad (62)$$

odnosno

$$\begin{aligned}\rho(\omega_{k_1})d\omega_{k_1} &= \rho(\omega_1)d\omega_1 = \frac{1}{\pi^2} \left(\frac{L}{c}\right)^3 \omega_1^2 d\omega_1, \\ \rho(\omega_{k_2})d\omega_{k_2} &= \rho(\omega_2)d\omega_2 = \frac{1}{\pi^2} \left(\frac{L}{c}\right)^3 \omega_2^2 d\omega_2.\end{aligned}\quad (63)$$

Primjenom izraza (63) možemo sumaciju (57) zamijeniti integralom. S obzirom na to da pri dvofotonskim procesima ne brinemo o redosljedju fotona (prvi foton-drugi foton), prijelazom na integriranje moramo dobivenu vjerojatnost podijeliti s 2. Nakon kraćeg sređivanja dobivamo:

$$\begin{aligned}W_{ab}^{(2)} &= \frac{1}{2} (2\pi)^3 \left(\frac{e^4}{\hbar^2}\right) \left(\frac{1}{c^6 \pi^4}\right) (n_1 + 1)(n_2 + 1) \\ &\int_0^\infty \int_0^\infty \omega_1^3 \omega_2^3 d\omega_1 d\omega_2 \left|M^{(2)}\right|^2 \delta(\omega_{fg} - \omega_1 - \omega_2).\end{aligned}\quad (64)$$

Koristeći poznato svojstvo delta funkcija

$$\int f(\omega_b) \delta(\omega_b - \omega_a) d\omega_b = f(\omega_a) \quad (65)$$

i imajući u vidu da je $\omega_{fg} - \omega_1 = \omega_2$, izraz (64) pišemo u obliku:

$$\begin{aligned}W_{ab}^{(2)} &= \frac{1}{2} (2\pi)^3 \left(\frac{e^4}{\hbar^2}\right) \frac{1}{c^6 \pi^4} (n_1 + 1)(n_2 + 1) \\ &\int_0^\infty \left|M^{(2)}\right|^2 \omega_1^3 \omega_2^3 d\omega_1.\end{aligned}\quad (66)$$

Zamjenom $\omega_1 = 2\pi\nu_1$, $\omega_2 = 2\pi\nu_2$ u gornju jednadžbu konačno će biti:

$$\begin{aligned}W_{ab}^{(2)} &= \frac{1}{2} \frac{2^{10} \pi^6}{c^6} \left(\frac{e^4}{\hbar^2}\right) (n_1 + 1)(n_2 + 1) \\ &\int_0^\infty \left|M^{(2)}\right|^2 \nu_1^3 \nu_2^3 d\nu_1.\end{aligned}\quad (67)$$

Iz dobivenog izraza zaključujemo da vjerojatnost dvofotonske emisije postoji i kad je $n_1 = n_2 = 0$. To je onda slučaj spontane emisije čija je vjerojatnost

$$W_{ab}^{(2)} = \frac{1}{2} \frac{2^{10} \pi^6}{c^6} \left(\frac{e^4}{\hbar^2}\right) \int_0^\infty \left|M^{(2)}\right|^2 \nu_1^3 \nu_2^3 d\nu_1, \quad (68)$$

dok je stimulirana emisija oblika:

$$\begin{aligned}W_{ab}^{(2)} &= \frac{1}{2} \frac{2^{10} \pi^6}{c^6} \left(\frac{e^4}{\hbar^2}\right) (n_1 n_2 + n_1 + n_2) \\ &\int_0^\infty \left|M^{(2)}\right|^2 \nu_1^3 \nu_2^3 d\nu_1\end{aligned}\quad (69)$$

Na ovaj način dobili smo konačne izraze za vjerojatnost dvofotonskog procesa promatranjem emisije fotona [5-9]. Do sličnog rezultata došli bi i promatranjem apsorpcije. Računanjem se pokazuje da je razlika samo u članu koji iskazuje broj fotona, tako da se umjesto produkta $(n_1 + 1)(n_2 + 1)$ javlja produkt $n_1 n_2$.

4. ZAKLJUČAK

Procesi višega reda s istodobnim sudjelovanjem više fotona u pobuđivanju, raspršenju i ionizaciji atoma imaju veliku važnost u modernoj fizici. Zbog toga višefotonski procesi predstavljaju stalan interes fizičara u svijetu. Razlozi za ovu vrstu istraživanja su višestruki: od preispitivanja nekih osnovnih postavki kvantne mehanike i elektrodinamike, do mogućnosti višefotonske spektroskopije.

Teorija vremenskog računa smetnje pokazala se prikladnom u opisu ovakvih procesa. Primjenom ove teorije, uz korištenje dipolne aproksimacije, dobiveni su konačni izrazi za vjerojatnosti spontane i stimulirane dvofotonske emisije. Iako dobiveni izrazi za računanje vjerojatnosti imaju relativno jednostavan oblik, oni u sebi kriju velike poteškoće pri računanju.

Glavni problem javlja se kod provođenja beskonačne sumacije po međustanjima u izrazu $M^{(2)}$. Za rješavanje ovog problema razvijeno je više matematičkih metoda koje ćemo prikazati u idućem radu.

5. LITERATURA

- [1] M. Göppert-Mayer, Ann.Phys. (Leipzig) **9** (1931.) 273
- [2] G. Breit i Teller, Astrophys. J. **91**, 215 (1940.).
- [3] H. A. Bethe i E. E. Salpeter, Handbuch der Physik, Band XXXV, Springer-Verlag **88** (1957.)
- [4] A. Messiah, Quantum Mechanics II, North-Holland Publishing Company, Amsterdam (1961.)
- [5] G. W. F. Drake i S. P. Goldman, Phys. Rev. A **23**, 2093 (1981.)
- [6] V. Florescu, Phys. Rev. A **30**, 2441, (1984.)
- [7] J.P. Santos, E Parente, i P. Indelicato, Eur. Phys. J. D **3**, 43 (1998.)
- [8] M. Martinis i M. Stojić, Fizika A **9** (2000.) 3, 115-128.
- [9] U. D. Jentschura, J. Phys A **40**, F223 (2007.)

Kontakt autora:

dr.sc. Marko Stojić
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42000 Varaždin
mstojic@velv.hr

POOPĆENJA PITAGORINOG POUČKA

GENERALIZATION OF THE PYTHAGOREAN THEOREM

Damira Keček, Ana Poldrugač, Predrag Vuković

Stručni članak

Sažetak: U radu je predstavljen jedan od najstarijih matematičkih poučaka, Pitagorin poučak. Izvedena su njegova tri prostorna analogona te su izložena poopćenja ovoga poučka u ravnini i prostoru.

Cljučne riječi: Pitagorin poučak, prostorni analogon Pitagorinog poučka, poopćenje Pitagorinog poučka

Professional paper

Abstract: This paper presents one of the oldest theorems of mathematics, the Pythagorean theorem. Three spatial analogues of the Pythagorean theorem are derived and generalizations of the Pythagorean theorem in the plane and space are exposed.

Keywords: Pythagorean theorem, spatial analogues of the Pythagorean theorem, generalization of Pythagorean theorem

1. UVOD

Shvaćanje brojeva kao tajanstvenih simbola svega što je u svijetu i u čovjeku imalo je svoje korijene već u antici. I danas se nailazi na te pojave kao što je strah od "nesretnog" broja 13. Učenja o tajanstvenim svojstvima brojeva vezana su naročito za čuvenu matematičku školu Staroga vijeka, koju je u 6. stoljeću prije naše ere osnovao Pitagora. Za Pitagorejce, tj. one koji su usvajali Pitagorina učenja i pripadali njegovoj školi, broj je bio nešto što stvarno postoji, baš kao što postoje fizička tijela, nešto od čega je stvoren ovaj naš svijet. Brojevi prema njihovom učenju ne izražavaju samo oblike svemira, nego i njegovu materiju. Pitagorejsko proučavanje brojeva počelo je kao duhovno traganje. Prema njihovu je mišljenju svaki broj imao svoj simbolički identitet. Broj jedan je bio stvoritelj svih brojeva, budući da se višestrukim dodavanjem od broja jedan može napraviti bilo koji drugi broj. Stoga je broj jedan imao poseban status i nije se smatrao brojem u istom smislu kao i ostali brojevi. Broj dva odnosio se na ženski, broj tri na muški lik, a broj pet na njihovo jedinstvo. Pet je također bio broj pravilnih poliedara, geometrijskih tijela čije su sve stranice identični pravilni mnogokuti. Pravilni su poliedri tetraedar, sa četiri jednakostranična trokuta, kocka (šest kvadrata), oktaedar (osam trokuta), dodekaedar (dvanaest peterokuta) i ikozaedar (dvadeset trokuta). Tih pet geometrijskih tijela prema Pitagorejcima predstavlja pet elemenata za koje se vjerovalo da tvore svemir: vatru, zemlju, zrak, vodu i nebeski svod koji ih sve okružuje. Stoga je tih pet geometrijskih tijela imalo gotovo status svetosti i prikazani u obliku pentagrama postali su pitagorejski emblem. Iako su ova otkrića bila vrlo važna, zasjenjuju

ih druga dva događaja koja su uvelike odredila budući smjer razvoja matematike: Pitagorin dokaz poznatog poučka koji nosi njegovo ime, te otkriće nove vrste brojeva koji se ne mogu zapisati kao omjer dvaju cijelih brojeva, a nazvani su iracionalnim brojevima. Pitagorin poučak i njegova primjena bila je tema diplomskog rada [1] koji je pridonio izradi ovog članka. Pitagorin poučak počinje s prirodnim brojevima, a završava spominjanjem iracionalnih brojeva. Zašto? Iz vrlo jednostavnog razloga. Pomoću Pitagorinog poučka može se odrediti duljina dijagonale jediničnog kvadrata. Ova dijagonala ima duljinu $\sqrt{2}$ i dobro se zna da se taj broj ne može zapisati kao omjer prirodnih brojeva. Tu činjenicu Pitagorejci su vrlo teško prihvatili. Za detalje pogledati npr. u [2].

Ovaj članak je koncipiran na sljedeći način. U drugom dijelu članka dani su prostorni analogoni Pitagorinog poučka. Treći dio govori o raznim poopćenjima Pitagorinog poučka i predstavlja najvažniji dio članka. Ova poopćenja se zasigurno mogu primijeniti u raznim tehničkim znanostima (npr. elektrotehnika i građevinarstvo).

2. PROSTORNI ANALOGONI PITAGORINOG POUČKA

Pravokutni trokut može se promatrati na tri različita načina: kao polovica pravokutnika, kao trokut kojemu su stranice iz jednog vrha okomite te kao trokut čije dvije okomite stranice tvore otvorenu izlomljenu liniju. Ovakav pogled na pravokutni trokut vodi analogiji s tri prostorna tijela.

1) Promatra li se pravokutni trokut kao polovica pravokutnika, njegov analogon bit će polovica kvadra, tj. uspravna trostrana prizma (slika 1.) kojoj je osnovka pravokutni trokut.

2) Promatra li se pravokutni trokut kao trokut kojemu su stranice iz jednog vrha okomite, njegov analogon bit će tetraedar (slika 2.) kojemu su bridovi iz jednog vrha međusobno okomiti.

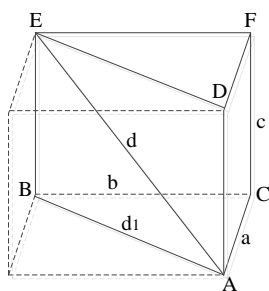
3) Promatra li se pravokutni trokut kao trokut čije dvije okomite stranice tvore otvorenu izlomljenu liniju, njegov analogon je tetraedar omeđen pravokutnim trokutima.

S obzirom na to da postoje tri prostorna analogona pravokutnog trokuta, postoje i odgovarajuće relacije analogne Pitagorinom poučku. U nastavku su promatrana redom sva tri prostorna analogona Pitagorinog poučka [3].

2.1. Prvi prostorni analogon Pitagorinog poučka

Teorem 2.1. Neka je $ABCDEF$ trostrana prizma dobivena dijagonalnim presjekom kvadra i neka je $a = |CA|$, $b = |CB|$, $c = |CF|$, $d_1 = |AB|$, $d = |AE|$. Tada vrijedi

$$d^2 = a^2 + b^2 + c^2. \tag{1}$$



Slika 1. Trostrana prizma

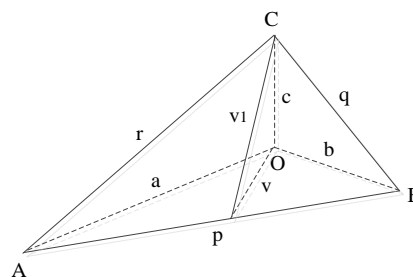
Dokaz: Iz pravokutnog trokuta $\triangle ABE$ i $\triangle ABC$ dobiva se

$$d^2 = d_1^2 + c^2, \\ d_1^2 = a^2 + b^2,$$

a odavde proizlazi $d^2 = a^2 + b^2 + c^2$. Relacija (1) izražava vezu duljine dijagonale polaznog kvadra i duljina njegovih bridova iz jednog vrha te je ona prvi prostorni analogon Pitagorinog poučka.

2.2. Drugi prostorni analogon Pitagorinog poučka

Teorem 2.2. Neka je $OABC$ tetraedar kod kojeg su plošni kutovi kod vrha O pravi. Duljine bridova koji izlaze iz vrha O označimo s a, b, c , a duljine ostalih triju bridovima s p, q, r . Kvadrat površine strane nasuprot vrhu s pravim kutovima jednak je zbroju kvadrata preostalih triju površina, tj. $P^2(\triangle ABC) = P^2(\triangle OAC) + P^2(\triangle OBC) + P^2(\triangle OAB)$, (2) $p = \sqrt{a^2 + b^2}$, $q = \sqrt{b^2 + c^2}$, $r = \sqrt{a^2 + c^2}$.



Slika 2. Tetraedar

Dokaz: Površine pravokutnih trokuta $\triangle OAB$, $\triangle OBC$ i $\triangle OAC$ su redom $P(\triangle OAB) = \frac{ab}{2}$, $P(\triangle OAC) = \frac{ac}{2}$,

$P(\triangle OBC) = \frac{bc}{2}$ pa su njihovi kvadrati redom

$$P^2(\triangle OAB) = \frac{a^2b^2}{4}, P^2(\triangle OAC) = \frac{a^2c^2}{4}, P^2(\triangle OBC) = \frac{b^2c^2}{4}.$$

Može se uočiti da je visina v trokuta $\triangle OAB$ iz vrha O jednaka $v = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}}$, a da je visina v_1 trokuta $\triangle ABC$ iz

vrha C dana s $v_1^2 = c^2 + v^2 = c^2 + \frac{a^2b^2}{a^2 + b^2}$. Stoga je

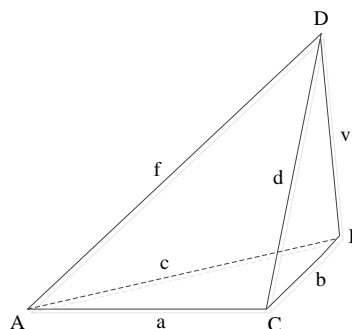
$$P^2(\triangle ABC) = \frac{1}{4} p^2 v_1^2 = \frac{1}{4} (a^2 + b^2) \left(c^2 + \frac{a^2b^2}{a^2 + b^2} \right) \\ = \frac{1}{4} (a^2c^2 + b^2c^2 + a^2b^2) \\ = P^2(\triangle OAC) + P^2(\triangle OBC) + P^2(\triangle OAB)$$

Relacija (2) drugi je prostorni analogon Pitagorinog poučka. Ista se može izvesti i primjenom Heronove formule na trokut $\triangle ABC$.

2.3. Treći prostorni analogon Pitagorinog poučka

Teorem 2.3. Neka je $ABCD$ tetraedar kojemu su bridovi \overline{AC} , \overline{BC} , \overline{BD} duljina a, b, v u parovima okomiti i neka su P_A, P_B, P_C, P_D površine strana tetraedra nasuprot vrhova A, B, C, D tada vrijedi

$$P_A^2 - P_C^2 + P_B^2 - P_D^2 = 0. \tag{3}$$



Slika 3. Tetraedar

U ovom slučaju nije lako naći vezu među površinama. Kada se površine kvadriraju dobiva se:

$$P_A^2 = \frac{1}{4}b^2v^2,$$

$$P_B^2 = \frac{1}{4}a^2d^2 = \frac{1}{4}a^2(v^2 + b^2) = \frac{1}{4}a^2v^2 + \frac{1}{4}a^2b^2,$$

$$P_C^2 = \frac{1}{4}v^2c^2 = \frac{1}{4}a^2v^2 + \frac{1}{4}b^2v^2, P_D^2 = \frac{1}{4}a^2b^2.$$

Detaljnijim proučavanjem ovih jednakosti veza među promatranim površinama glasi: $P_A^2 - P_C^2 + P_B^2 - P_D^2 = 0$.

Relacija (3) treći je prostorni analogon Pitagorinog poučka, a ovdje je zapisan u ekvivalentnom implicitnom obliku kao $a^2 - c^2 + b^2 = 0$.

3. POOPĆENJA PITAGORINOG POUČKA

3.1. Kosinusov poučak

Iako je Pitagorin poučak specijalan slučaj kosinusovog poučka, često se koristi za njegovo dokazivanje. Zbog toga se u nastavku daje dokaz koji se temelji na definiciji kosinusa kuta te se nakon toga pokazuje postupak prelaska kosinusovog poučka u Pitagorin.

Teorem 3.1. *Kvadrat duljine jedne stranice trokuta jednak je zbroju kvadrata duljina drugih dviju stranica, umanjeno za dvostruki produkt duljina tih stranica i kosinusa kuta kojeg one određuju, tj. u bilo kojem trokutu vrijedi:*

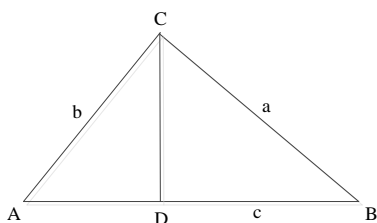
$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha, \quad (4)$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos \beta, \quad (5)$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma. \quad (6)$$

Dokaz: Neka je D nožište visine iz vrha C trokuta $\triangle ABC$. Iz pravokutnog trokuta $\triangle ADC$ i $\triangle BDC$ dobiva se

$$|AD| = b \cos \alpha, \quad |BD| = a \cos \beta.$$



Slika 4. Trokut ABC

Kako je $c = |AB| = |AD| + |BD|$, to je

$$c = b \cos \alpha + a \cos \beta \quad (7)$$

i analogno

$$a = c \cos \beta + b \cos \gamma \quad (8)$$

$$b = a \cos \gamma + c \cos \alpha \quad (9)$$

Pomnoži li se prva od ovih jednakosti s $(-c)$, a druga s a i treća s $(-b)$, nakon zbrajanja dobiva se (4). Na

sličan način dobivaju se preostale dvije jednakosti (vidi [4]).

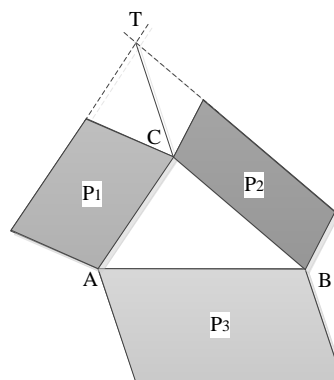
Za $\gamma = \frac{\pi}{2}$, zbog $\cos \frac{\pi}{2} = 0$, jednakost

$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$ prelazi u Pitagorin poučak $c^2 = a^2 + b^2$, iz čega se vidi da je kosinusov poučak poopćenje Pitagorinog poučka na proizvoljan trokut.

3.2. Poopćenja Papusa Aleksandrijskog

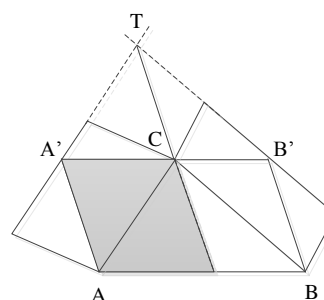
Nad stranicama \overline{AC} i \overline{BC} bilo kojeg trokuta $\triangle ABC$ konstruiraju se prema van paralelogrami s površinama P_1 i P_2 te neka je T presjek pravca na kojima leže paralele s \overline{AC} i \overline{BC} . Nad trećom stranicom \overline{AB} konstruira se paralelogram čija je druga stranica paralelna i jednaka \overline{CT} i neka mu je površina P_3 . Tada je

$$P_3 = P_1 + P_2. \quad (10)$$



Slika 5. Paralelogrami nad stranicama trokuta ABC

Dokaz je jednostavniji ako se treći paralelogram konstruira prema unutra, tj. translacija za vektor \overline{CT} (vidi [5]).



Slika 6. Translacija za vektor \overline{CT}

Kako je $|\overline{AA'}| = |\overline{CT}| = |\overline{BB'}|$, vrhovi A' i B' leže na stranicama trećeg paralelograma. Tada je površina $P_1 = p(AA'TC)$, jer paralelogrami imaju iste baze, a nasuprotne im stranice leže na paralelnim pravcima. No, $p(AA'TC)$ jednaka je površini osjenčanog paralelograma sa slike 6. Na isti način postupa se s drugim paralelogramom pa se dobiva da je p_2 jednaka površini

preostalog dijela paralelograma $AA'B'B$. Dakle, $P_1 + P_2 = P_3$, čime je tvrdnja dokazana.

3.3. Poopćenje na sfernu geometriju

Sfera je skup svih točaka prostora koje su jednako udaljene od čvrste točke O koja se zove središte ili centar sfere, a ta udaljenost radijus R sfere. Dakle, sfera je skup

$$S^2(O; R) = \{T \in \mathbb{R}^3 \mid d(O, T) = R\}.$$

Sfera s centrom u ishodištu O prostornog koordinatnog sustava i radijusa 1 zove se standardna sfera i označava se sa S^2 . Dakle, $S^2(O; 1)$. Ako se sfera presiječe ravninom kroz njeno središte, u presjeku se dobiva velika kružnica sfere čiji je radijus jednak radijusu sfere. Pravokutan sferni trokut je sferni trokut koji ima barem jedan pravi kut (slika 7.), iako može imati dva i tri prava kuta (ako je C sjeverni pol, a A i B su točke na ekvatoru). Kutovi sfernog trokuta su kutovi α, β, γ između njihovih stranica, tj. između tangenata na lukove kružnica kojima pripadaju stranice a, b, c sfernog trokuta $\triangle ABC$. U sfernoj geometriji vrijedi sinusov i kosinusov poučak.

Teorem 3.2. (Kosinusov poučak za stranice) Za bilo koji sferni trokut ABC na standardnoj sferi $S^2(O; 1)$ vrijedi $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \alpha$ kao i još dvije analogne formule.

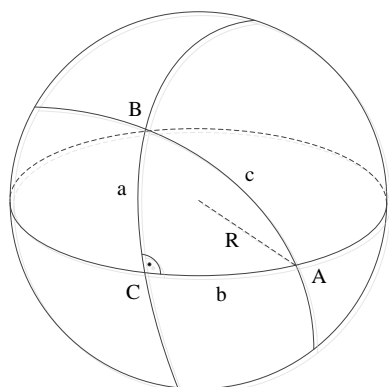
Dokaz: Može se vidjeti u [4].

Teorem 3.3. (Sferni Pitagorin poučak) Ako su a, b, c stranice pravokutnog sfernog trokuta na sferi $S^2(O; R)$,

onda su $\frac{a}{R}, \frac{b}{R}, \frac{c}{R}$ tim stranicama pripadni središnji

kutovi izraženi u radijanima pa se sferni Pitagorin poučak može pisati u obliku

$$\cos \frac{c}{R} = \cos \frac{a}{R} \cdot \cos \frac{b}{R}. \quad (11)$$



Slika 7. Sfera

Dokaz: Iz teorema 3.2. primijenjenog na pravokutni sferni trokut na standardnoj sferi, jer je za središnji kut α kružnice radijusa R pripadna dužina luka krivulje jednaka $l = R \cdot \alpha$.

Napomena: Može se pokazati da se iz (11) dobiva standardni Pitagorin poučak za trokut u Euklidskoj

ravnini. Koristeći razvoj u red $\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots$,

dobiva se

$$1 - \frac{1}{2!} \left(\frac{c}{R}\right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{c}{R}\right)^4 - \dots = \left(1 - \frac{1}{2!} \left(\frac{a}{R}\right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{a}{R}\right)^4 - \dots\right) \left(1 - \frac{1}{2!} \left(\frac{b}{R}\right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{b}{R}\right)^4 - \dots\right)$$

iz čega se nakon sređivanja dobiva

$$c^2 - \frac{1}{12} \frac{c^4}{R^2} + \dots = a^2 + b^2 - \frac{a^2 b^2}{2R^2} - \frac{a^4}{12R^2} + \frac{b^4}{12R^2} + \dots$$

Uzimajući u obzir da su duljine stranica trokuta fiksne, a središte sfere se pomiče, odnosno polumjer sfere teži u beskonačno ($R \rightarrow \infty$), granična vrijednost

$$\lim_{R \rightarrow \infty} \left(c^2 - \frac{1}{12} \frac{c^4}{R^2} + \dots \right) = \lim_{R \rightarrow \infty} \left(a^2 + b^2 - \frac{a^2 b^2}{2R^2} - \frac{a^4}{12R^2} + \dots \right)$$

daje dobro poznati Pitagorin poučak.

Dakle, geometrija na sferi se približava Euklidskoj geometriji što je radijus veći, odnosno ako su stranice a, b i c vrlo male u usporedbi s R . Na sličan način može se

pokazati da formula $\sin \alpha \sin \frac{c}{R} = \sin \frac{a}{R}$ prelazi u

limesu za $R \rightarrow \infty$ u formulu $c \sin \alpha = a$.

4. ZAKLJUČAK

Pitagora i njegovi sljedbenici dali su veliki doprinos razvoju matematike. Pitagora je koristio definicije na račun matematičkih osobina u prirodi, što navodi na činjenicu da je upravo on napravio korak prema sistematizaciji geometrije. Nesumnjivo je da je pitagorejska misao prisutna i u današnjoj kulturi i civilizaciji. Tako se, uz matematiku, astronomiju i fiziku, primjeri nalaze i u medicini, biologiji, psihologiji. Pitagorina teorija brojeva do danas je predmet proučavanja, ali najvrednijim njegovim radom na polju geometrije smatra se postavljanje poučka o odnosu stranica pravokutnog trokuta.

5. LITERATURA

- [1] Poldrugač, A.: Pitagorin poučak i njegova primjena, Diplomski rad, Učiteljski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Odsjek u Čakovcu, 2011.
- [2] Gleizer, G. I.: Povijest matematike za školu, Školske novine i HMD, Zagreb, 2003.
- [3] Kurnik Z.: Analogija, MIŠ, Vol. 1, No. 3 (2000.) 101-109
- [4] Pavković, B.; Veljan, D.: Elementarna matematika II, Tehnička knjiga, Zagreb, 1992.
- [5] Maor, E.: The Pythagorean Theorem: A 4 000-Year History, Princeton University Press, United Kingdom, 2007.

Kontakt autora:

Damira Keček, dipl. ing. mat.

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33

42 000 Varaždin

damira.kecek@velv.hr

Ana Poldrugač (bivši student)

Učiteljski fakultet Zagreb

Odsjek u Čakovcu

Dr. Ante Starčevića 55

40 000 Čakovec

doc. dr. sc. Predrag Vuković

Učiteljski fakultet Zagreb

Odsjek u Čakovcu

Dr. Ante Starčevića 55

40 000 Čakovec

predrag.vukovic@ufzg.hr

USPOREDBA I PRIMJENA „DISTANCE VECTOR“ I „LINK STATE“ MREŽNIH PROTOKOLA

COMPARISON AND APPLICATION OF “DISTANCE VECTOR” AND “LINK STATE” NETWORK PROTOCOLS

Ladislav Havaš, Damira Keček, Kristijan Knez

Stručni članak

Sažetak: Veliki rast i razvoj računalnih mreža te razmjena velike količine podataka naglašava potrebu za korištenjem kvalitetnih mrežnih protokola. Temeljni zadatak modernih mrežnih protokola je osiguravanje sigurne i pouzdane komunikacije između računala i procesa, sprečavanje neželjenog pristupa informacijama te pronalaženje optimalnog (najkraćeg) puta kroz mrežu. Osnovni cilj izrade ovog rada je usporedba i prikaz mogućnosti korištenja Distance Vector i Link State protokola usmjeravanja. U radu je ukratko prikazan razvoj protokola usmjeravanja te je napravljena njihova podjela i analiza mogućnosti primjene. Detaljno su opisani Belmann-Fordov, DUAL (Diffusing Update ALgorithm) i Dijkstra algoritam pronalaženja najkraćeg puta u mreži, koji su osnova za kreiranje kvalitetnih tablica usmjeravanja. Prikazan je postupak povezivanja nekoliko lokalnih mreža i konfiguriranje usmjernika različitim protokolima usmjeravanja. Usporedbom brzine konvergencije tablica usmjeravanja u realnom okruženju provjerene su mogućnosti primjene Distance Vector i Link State protokola u manjim i srednje velikim mrežama.

Ključne riječi: Belmann-Ford, Dijkstra, Distance Vector, Link State, računalna mreža, usmjernik

Professional paper

Abstract: Significant growth and development of computer networks and the exchange of great amount of data emphasize the need for using high quality network protocols. The basic task of modern network protocols is to provide safe and reliable communication between a computer and the process, prohibiting unwanted access to the information, and finding an optimal (the shortest) route through the network. The main goal of this paper is to compare and display application possibilities in using Distance Vector and Link State routing protocols. This paper shows the development of routing protocols in brief and there is also their classification and the analysis of application possibilities. It describes Belmann-Ford, DUAL (Diffusing Update ALgorithm) and Dijkstra algorithms for finding the shortest route through the network in details – they are the basis for creating high quality routing tables. A procedure of linking the tables of several local networks and the configuration of a router of different routing protocols are also shown. By comparing the speed of table convergence of routing in real time and in real surroundings, application possibilities of Distance Vector and Link State protocols were tested in smaller and in medium-size networks.

Key words: Belmann-Ford, Dijkstra, Distance Vector, Link State, computer network, router

1. UVOD

Brzi razvoj računalnih mreža je uvjetovan sve većom potrebom povezivanja velikog broja dislociranih korisnika, te razmjenom velike količine multimedijalnih podataka. Odabir odgovarajućeg mrežnog protokola u ovisnosti o realiziranoj mrežnoj topologiji je preduvjet kvalitetne, brze i pouzdane komunikacije između krajnjih korisnika, što je i bila tema završnog rada [1] na kojem je temeljen ovaj članak.

Glavni zadatak današnje ICT tehnologije je osigurati široku paletu telekomunikacijskih kanala i servisa za povećanje kvantitativne i kvalitativne razmjene informacija i znanja među korisnicima mreže.

Mrežni komunikacijski protokol predstavlja skup određenih pravila koja su potrebna da bi podaci mogli proći preko komunikacijskog kanala. Pojednostavljeno

rečeno, pojedini protokol je „zajednički jezik“ kojim se članovi u mreži dogovaraju oko prijenosa podataka. Standardizacija protokola je uvedena sa svrhom da omogući raznolikost odabira i primjene algoritama za povezivanje računala unutar jedne ili više mreža računala. Grupiranje i povezivanje protokola je moguće zbog slojevite strukture računalnih mreža (OSI model) [2], [3].

Glavni zadatak usmjeravanja (engl. routing) prometa u mreži je osigurati dostupnost toka podataka od izvorišta do odredišta i pri tome optimalno iskoristiti mrežu te osigurati zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Tu funkciju ostvaruju usmjernici (engl. Routers). Usmjernik je uređaj koji usmjerava podatkovne pakete na njihovom putu kroz računalnu mrežu pri čemu se taj proces odvija na mrežnom (trećem) sloju OSI modela. Usmjernici su zapravo računala specifične namjene.

Najviše se koriste u IP mrežama, jer je njihova najveća primjena upravo za potrebe najveće računalne mreže danas – Interneta. Osnovni zadatak svakog usmjernika je provjera odredišne adrese svih pristiglih podatkovnih paketa, pronalazak odredišne mreže u tablici usmjerenja i preusmjerenje tih paketa na odgovarajuće sučelje.

Usmjernici uče o udaljenim mrežama dinamički, pomoću protokola usmjerenja ili ručno pomoću statički definiranih ruta. Mreža najčešće koristi kombinaciju dinamičkih protokola usmjerenja i statičkih ruta. Statičke rute su vrlo česte i ne zahtijevaju istu količinu obrade kao u slučaju dinamičkih protokola usmjerenja.

Postoje dvije osnovne vrste usmjerivačkih protokola, a dijele se prema načinu izračunavanja optimalnog puta na:

- Protokole vektora udaljenosti (engl. Distance Vector)
- Protokole stanja veze (engl. Link State)

Najpoznatiji Distance Vector protokoli su RIP (engl. Routing Information Protocol), IGRP (engl. Interior Gateway Routing Protocol) i EIGRP (engl. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol).

Predstavnici Link State protokola su OSPF (engl. Open Shortest Path First) i IS-IS (engl. Intermediate System to Intermediate System).

2. RAZVOJ I PODJELA PROTOKOLA ZA USMJERAVANJE

RIP protokol je najstariji od svih Distance Vector protokola usmjerenja. Nastao je na osnovama protokola GWINFO (engl. Gateway Information Protocol), koji je razvila tvrtka Xerox. S razvojem XNS-a (engl. Xerox Network System), GWINFO je evoluirao u RIP. Implementacijom u BSD (engl. Berkeley Software Distribution) verziju UNIX-a, postiže veliku popularnost. Javljanjem potrebe za standardizacijom protokola, Charles Hedrick je napisao RFC 1058 u 1988. godini, u kojem je dokumentiran postojeći protokol verzije 1 te su specificirana neka poboljšanja. Od tada je RIP poboljšan u RIPv2 1994. godine (standard RFC 1723) i u RIPng (engl. RIP next generation) 1997. godine, namijenjen za IPv6 adresiranje.

Za rješavanje potreba većih mreža razvijena su dva napredna protokola usmjerenja: OSPF i IS-IS. Cisco je razvio IGRP (engl. Interior Gateway Routing Protocol) i EIGRP koji je također dobar u većim mrežnim implementacijama [4], [5]. Razvijen je i BGP (engl. Border Gateway Protocol) koji omogućuje povezivanje i komunikaciju između različitih autonomnih sustava.

EIGRP je Distance Vector protokol usmjerenja. On je besklasni (engl. Classless) protokol usmjerenja koji je objavljen 1992. zajedno s pojavom operativnog sustava IOS 9.21. EIGRP je poboljšana verzija IGRP protokola usmjerenja. Tvrtka CISCO je razvila IGRP sredinom 80-tih godina kao odgovor na neke limite od postojećeg protokola RIP.

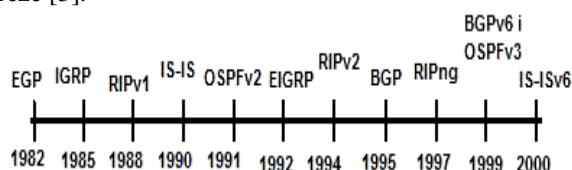
OSPF protokol je dizajniran od strane IETF (engl. Internet Engineering Task Force) koji su dio OSPF radne

skupine koja postoji i danas. Razvoj OSPF-a je započeo 1987. godine i trenutačno postoje dvije verzije koje su u uporabi:

- OSPFv2 - OSPF za IPv4 mreže (RFC1247 i RFC 2328)
- OSPFv3 - OSPF za IPv6 mreže (RFC 2740)

Većinu radova na OSPF-u je obavio John Moy, autor i koautor većine RFC standarda u vezi s OSPF-om.

IS-IS je dizajniran od strane ISO (engl. International Organization for Standardization) i opisan je u normi ISO 10589. Radia Perlman je bio glavni dizajner IS-IS protokola usmjerenja koji je izvorno dizajniran za OSI protokole, a ne za TCP/IP protokole. Tek kasnije Integrated IS-IS ili Dual IS-IS uključuje podršku i za IP mreže [3].



Slika 1. Vremenski prikaz razvoja protokola usmjerenja [4]

Protokoli usmjerenja se generalno dijele na IGP i EGP protokole.

IGP-ovi (engl. Interior Gateway Protocols) se koriste za usmjerenje unutar domene usmjerenja. Autonomni sustav se obično sastoji od mnogo pojedinačnih mreža koje pripadaju tvrtkama, školama i drugim ustanovama sa zajedničkim upravljanjem i administracijom te s jedinstvenim identifikatorom autonomnog sustava (AS) u sklopu interneta. IGP se koristi za rute unutar autonomnog sustava, ali također se koristi za rute unutar samih pojedinih mreža. IGP za IP uključuju RIP, IGRP, EIGRP, OSPF i IS-IS.

EGP-ovi (engl. Exterior Gateway Protocols) su dizajnirani za korištenje između različitih autonomnih sustava koji su pod kontrolom različitih uprava. BGP je jedini EGP protokol usmjerenja i njega koristi internet.

Kombinacijom IGP-a i EGP-a omogućena je IP povezanost jednog kraja svijeta s drugim.

IGP-ovi se mogu podijeliti u svije skupine:

- Distance Vector protokole usmjerenja (RIP, IGRP, EIGRP)
- Link State protokole usmjerenja (OSPF, IS-IS)

3. RIP

3.1. RIPv1

Ovaj protokol je *classful* Distance Vector protokol. RIPv1 je bio jedan od prvih protokola razvijen za usmjerenje IP paketa. RIP koristi broj skokova za svoju metriku, a broj od 16 skokova znači da je ruta nedostupna. Kao rezultat toga, RIP se može koristiti samo u mrežama u kojima nema više od 15 usmjernika između bilo koje dvije mreže.

RIP usmjernici šalju svoje kompletne tablice usmjeravanja susjedima, i to svakih 30 sekundi, osim za one rute koje su obuhvaćene pravilom podijeljenog obzorja (engl. Split Horizon). Split Horizon je pravilo koje sprečava pojavu petlji kod Distance Vector protokola usmjeravanja. Prema tom pravilu, informacija o ruti se nikad ne šalje natrag kroz sučelje na koje je ažuriranje došlo.

Korištenje RIP protokola se omogućuje naredbom *router rip* u globalnom konfiguracijskom modu usmjernika. Naredba *network* se koristi za određivanje sučelja usmjerivača koja će biti omogućena za RIP sa classful mrežnim adresama za svaku izravno spojenu mrežu. Ta naredba osposobljava sučelja za primanje i slanje RIP ažuriranja.

Naredba *debug ip rip* se može koristiti za prikaz RIP ažuriranja koja su poslana i primljena na usmjerniku. Da bi se spriječilo slanje RIP ažuriranja kroz određeno sučelje, za LAN gdje nema drugih usmjernika, koristi se naredba *passive-interface*.

U tablici usmjeravanja su RIP unosi prikazani slovom R i imaju administrativnu udaljenost 120. Zadane (engl. default) rute se propagiraju korištenjem naredbe *default-information originate* u konfiguracijskom modu usmjernika.

Pošto je RIPv1 *classful* protokol usmjeravanja, ne podržava nesusedne (engl. Discontiguous) mreže i VLSM (engl. Variable Length Subnet Masks), te maska podmreže nije uključena u usmjernička ažuriranja. Kada usmjernik primi RIPv1 ažuriranje, RIP mora odrediti masku podmreže te rute. Ako ruta pripada istoj glavnoj classful mreži kao i ažuriranje, RIPv1 uzima masku podmreže primajućeg sučelja. Ako ruta pripada drugoj glavnoj classful mreži, RIPv1 primjenjuje zadanu classful masku. Naredbom *show ip protocols* mogu se prikazati informacije o bilo kojem protokolu usmjeravanja koji je omogućen na usmjerniku. U slučaju RIP-a, ova naredba prikazuje informacije brojača, status automatske sumarijacije, omogućene mreže na usmjerniku i dr.

3.2. CIDR i VLSM

CIDR (engl. Classless Inter-Domain Routing) je uveden 1993. godine zamijenivši prethodnu generaciju IP adresne sintakse classful mreža. CIDR dopušta učinkovitije korištenje IPv4 adresnog prostora i agregaciju prefiksa poznatu kao sumarijacija rute ili supermrežiranje. S CIDR-om klase adresa (klasa A, klasa B, klasa C) postaju besmislene. Mrežne adrese više nisu određene vrijednostima prvog okteta, ali je dodijeljena dužina prefiksa ili maska podmreže. Adresni prostor i broj korisnika na mreži sada može biti određen prefiksom koji ovisi o broju korisnika potrebnih za određenu mrežu.

CIDR koristi VLSM kako bi dodijelio IP adrese podmrežama po potrebi, a ne po klasama. VLSM omogućuje da podmreža može biti dodatno podijeljena u još manje podmreže [6]. VLSM je zapravo subnetiranje podmreža. Propagiranje CIDR supermreža ili VLSM podmreža zahtijeva classless (besklasni) protokol usmjeravanja koji u ažuriranjima zajedno s mrežnom adresom uključuje masku podmreže.

Utvrđivanje sumarizirane rute i maske podmreže za grupu mreža se može izvesti u tri jednostavna koraka. Prvi je da se mreže pretvore u binarni format, drugi je da se s lijeva na desno zbroje bitovi koji se podudaraju tako da se dobije duljina prefiksa ili maska podmreže sumarizirane rute. Zadnji korak je kopiranje bitova koji se podudaraju i dodavanje nula na ostatak adrese.

3.3. RIPv2

Ovo je classless Distance Vector protokol usmjeravanja. Zbog toga u ažuriranjima zajedno s adresama mreža uključuje masku podmreže. Podržava CIDR supermreže, VLSM i nesusedne mreže.

Classful protokoli poput RIPv1 ne mogu podržavati nesusedne mreže jer automatski sumariziraju na glavnim mrežnim granicama. Usmjernik koji prima ažuriranje od više usmjernika koji oglašavaju istu classful sumariziranu rutu, ne može otkriti koje podmreže pripadaju kojoj sumariziranoj ruti. Ova nemogućnost dovodi do neočekivanih rezultata i pogrešnog usmjeravanja paketa.

Na usmjerniku je inicijalno zadana verzija RIPv1 pa se naredbom *version 2* mijenja verzija u RIPv2. Slično kao i RIPv1, RIPv2 automatski sumarizira na glavnim mrežnim granicama, no kod RIPv2 se automatska sumarijacija može isključiti naredbom *no auto-summary*. Automatska sumarijacija mora biti onemogućena kako bi se mogle podržati nesusedne mreže. Maska podmreže je uključena uz svaku mrežnu adresu u ažuriranjima, a naredbom *debug ip rip* se mogu vidjeti ažuriranja i maske podmreže poslana zajedno s adresama mreža. Sve ostale naredbe kod konfiguracije protokola su identične kao i kod RIPv1.

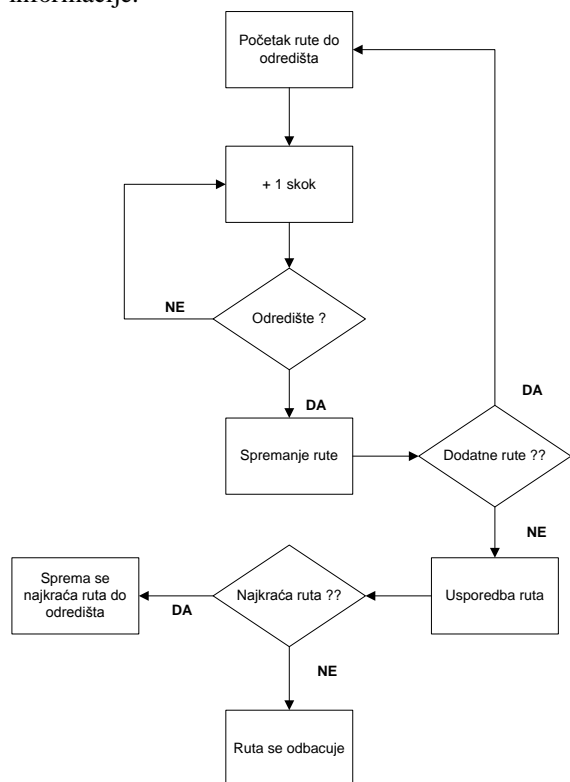
3.4. Bellman-Ford algoritam

Nazvan je po američkim matematičarima Richardu Bellmanu i Lesteru Fordu mlađem. Bellman-Ford algoritam pronalazi najkraće putove od početne točke s ograničenjem na jedan link (vezu), zatim na dva linka i tako dalje. Prvi korak je traženje točaka udaljenih za jedan skok, zatim se nalaze točke udaljene za dva skoka itd. Tablica se izrađuje ovisno o broju linkova. Informacije se izmjenjuju sa susjednim usmjernicima, a svaki podatak sadrži put za slanje paketa do svake destinacije u mreži i udaljenost ili vrijeme za slanje na tom putu (cijena). Proces izmjenjivanja informacija se događa i ako se ne događaju promjene u susjedstvu. Ako graf sadrži negativni ciklus, tj. ciklus čija suma rubova ima negativnu vrijednost, onda nema najbolji put i to zbog toga jer svaka ruta može biti bolja od još jednog kretanja kroz negativni ciklus. U takvim slučajevima Bellman-Ford algoritam može otkriti negativne cikluse i ukazati na njihovo postojanje, ali ne može stvoriti odgovor s pravim najkraćim putem. Praktična primjena ovog algoritma je u RIP protokolu usmjeravanja [7]. Sastoji se od sljedećih koraka:

1. Svaki usmjernik izračunava udaljenost između sebe i svih ostalih čvorova unutar autonomnog sustava i te informacije pohranjuje u svoju tablicu.

2. Svaki usmjernik šalje svoju tablicu svim susjednim usmjernicima.
3. Kada usmjernik primi tablice udaljenosti od svojih susjeda, izračunava najkraće puteve do svih ostalih usmjernika i ažurira vlastitu tablicu da bi zabilježio svaku promjenu.

Nedostatak je što se ažuriranja ne događaju trenutno jer se šire od točke do točke kroz mrežu. Zbog toga se ponekad u tablici usmjerenja mogu pojaviti krive informacije.



Slika 2. Dijagram toka Bellman-Ford algoritma

4. EIGRP

EIGRP je classless Distance Vector protokol usmjerenja. U tablici usmjerenja za rute koristi slovo D. Zadana administrativna udaljenost mu je 90 za interne rute i 170 za rute primljene iz vanjskog izvora.

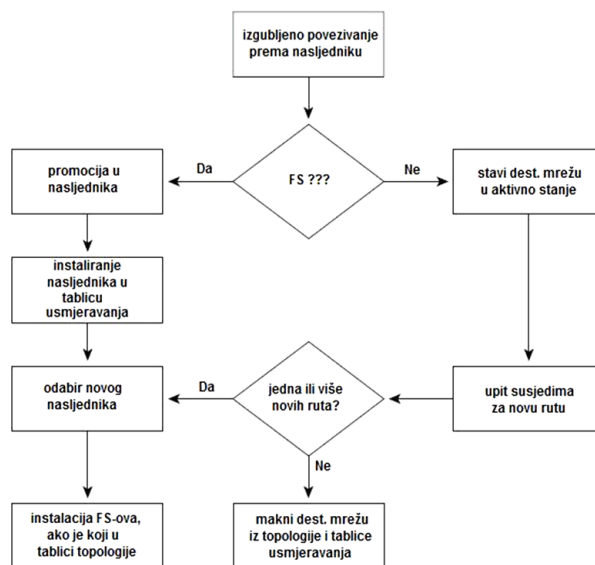
Za dostavu EIGRP paketa koristi RTP (engl. Reliable Transport Protocol) kao protokol na transportnom sloju. Koristi pouzdanu isporuku EIGRP ažuriranja, upite i odgovore te nepouzdanu isporuku za EIGRP pozdrave i potvrde (engl. Hellos and Acknowledgments). Pouzdani RTP znači da se mora vratiti EIGRP potvrda. Prije nego se ažuriranje pošalje, usmjernik otkriva svoje susjedstvo i to s EIGRP hello paketima. Na većini mreža hello paketi se šalju svakih 5 sekundi. Vrijeme zadržavanja (engl. Hold Time) je tri puta duže od hello-a, tj. 15 sekundi. Provjera uspostavljenih veza sa susjednim usmjernicima je moguća naredbom *show ip eigrp neighbors*.

EIGRP ne šalje periodička ažuriranja poput RIP-a nego šalje djelomična ili ograničena ažuriranja koja uključuju samo promjene ruta i to samo onim usmjernicima kojima je potrebna ta informacija. Kod određivanje najboljeg puta koristi složenu metriku sastavljenu od propusnosti, kašnjenja, pouzdanosti i

opterećenja. Inicijalno je definirano da se koristi samo propusnost i kašnjenje. Zadani izračun je najmanja propusnost plus zbroj svih kašnjenja od izlaznog sučelja usmjerniča do određene mreže.

4.1. DUAL algoritam

U središtu EIGRP-a je DUAL (engl. Diffusing Update Algorithm). Kako bi se odredio najbolji put i potencijalni zamjenski putevi, koristi se DUAL FSM (engl. Finite State Machine). Nasljednik je susjedni usmjernik koji se koristi za prosljeđivanje paketa koristeći rutu s najmanje troškova do određene mreže. Izvodljiva udaljenost (engl. Feasible Distance, FD) je najmanja izračunata metrika za dohvaćanje određene mreže preko nasljednika. Izvodljivi nasljednik (engl. Feasible Successor, FS) je susjed koji ima do iste mreže kao i nasljednik rezervni put bez petlji, a također zadovoljava i uvjete izvodljivosti (engl. Feasible Condition, FC). FC je zadan kada je susjedova izvještana udaljenost (engl. Reported Distance, RD) do mreže manja od FD-a do iste destinacijske mreže. Jednostavno, RD je susjedov FD do destinacijske mreže.



Slika 3. Dijagram toka FSM DUAL algoritma [8]

EIGRP se konfigurira naredbom *router eigrp* u kojoj treba odrediti i broj autonomnog sustava. Vrijednost autonomnog sustava je zapravo process-id i mora biti ista na svim usmjernicima u EIGRP domeni usmjerenja. Naredba *network* je slična onoj koja se koristi kod RIP-a, ali se uz adresu mreže stavlja wildcard maska ili obrnuta maska. Za propagaciju statičkih ruta se koristi naredba *redistribute static*.

5. OSPF

OSPF je classless Link State protokol usmjerenja. Ima zadanu administrativnu udaljenost 110, a u tablici usmjerenja je označen slovom O. Aktivira se naredbom *router ospf* uz koju se još dodaje process-id i to u globalnom konfiguracijskom modu. Process-id je lokalno značajan, što znači da ne mora odgovarati

drugim OSPF usmjernicima kako bi se uspostavilo susjedstvo s njima.

Naredba *network* ima istu funkciju kao i kod ostalih IGP protokola usmjeravanja, ali s malo drugačijom sintaksom.

```
Router(config-router)#network mrežna-adresa  
wildcard-mask area area-id
```

Wildcard maska je inverzija maske podmreže, a *area-id* bi trebao biti postavljen na 0.

Za uspostavljanje susjedstva koriste se OSPF *hello* paketi koji se šalju svakih 10 sekundi na višepriputnim i point-to-point (od točke do točke) segmentima i 30 sekundi na NBMA segmentima (engl. Non-Broadcast Multiaccess). Svaki usmjernik čeka određeno vrijeme (engl. *dead interval*) prije nego prekine susjedstvo sa susjedom. *Dead interval* je četiri puta duži od *hello* intervala.

Da bi usmjernici uspostavili susjedstvo, njihovi *hello* i *dead* intervali, te vrsta mreže i maska podmreže, moraju odgovarati. Za provjeru susjedstva koristi se naredba *show ip ospf neighbors*.

Router-ID jedinstveno identificira svaki usmjernik u domeni, a dobiva se na temelju tri kriterija:

1. koristi se IP adresa konfigurirana naredbom *router-id*
2. ako *router-id* nije konfiguriran, usmjernik bira najvišu IP adresu bilo kojeg od svojih loopback sučelja
3. ako nema loopback sučelja, usmjernik bira najvišu aktivnu IP adresu od bilo kojeg svog fizičkog sučelja

Loopback sučelje je softver koji se koristi kao simulacija fizičkog sučelja. Poput drugih sučelja, može imati svoju IP adresu. U laboratorijskom okruženju loopback sučelja su korisna u kreiranju dodatnih mreža bez potrebe za fizičkim sučeljima na usmjerniku.

Za određivanje vrijednosti cijena u metrici koriste se propusnosti izlaznih sučelja usmjerivača prema određenoj mreži. Višepriputne mreže mogu stvoriti različite izazove što se tiče poplava (engl. *flood*) s LSA-ovima (engl. *Link State Advertisement*), uključujući i stvaranje višestrukih adjacencija (povezanosti sa susjedima). Dolazi do opsežnih poplava LSA-ova pa OSPF bira DR (engl. *Designated Router*) koji je točka za prikupljanje i distribuciju LSA-ova poslanih i primljenih u višepriputnoj mreži. BDR (engl. *Backup Designated Router*) je odabran da preuzme ulogu DR-a u slučaju da DR padne. Svi ostali usmjernici su poznati kao DRother. Svi usmjernici šalju svoje LSA-ove prema DR-u koji zatim tim informacijama „poplavi“ sve ostale usmjernike u višepriputnoj mreži.

Usmjernik koji ima najviši *router-ID* je DR, a usmjernik sa sljedećim najvišim *router-ID*-om je BDR. To se može izmijeniti naredbom *ip ospf priority* u modu sučelja. IP OSPF prioritet je zadan na 1 na svim višepriputnim sučeljima. Ako je usmjernik konfiguriran s novom vrijednošću prioriteta, usmjernik s najvišim prioritetom je DR, a sljedeći najviši je BDR. Vrijednost prioriteta 0 znači da usmjernik ne može postati ni DR ni BDR.

Zadana ruta se propagira slično kao i kod RIP-a. Za propagaciju statičke zadane rute koristi se naredba *default-information originate*. Važna naredba za provjeru

konfiguracijskih informacija, *process ID*-a, *router ID*-a i mreža koje usmjernik oglašava, je *show ip protocol*.

Kod mrežnih protokola, ponajviše kod OSPF i IS-IS, naširoko se koristi algoritam traženja najkraćeg puta od početnog vrha, izvora, do krajnjeg vrha, cilja, poznatiji pod nazivom Dijkstrin algoritam [9]. Algoritam je otkrio nizozemski računalni stručnjak Edsger Dijkstra 1959. godine. Osim algoritma traženja najkraćeg puta, Dijkstrin doprinos u računarstvu očituje se i u razvoju programskog jezika ALGOL, razvoju tzv. semafora za nadzor računalnih procesa te u razvoju računalnih operativnih sustava. U sljedećem poglavlju dane su osnove teorije grafova te je opisana procedura Dijkstrinog algoritma.

6. TEŽINSKI GRAF. DIJKSTRIN ALGORITAM

Graf G je uređeni par $G = (V, E)$ koji se sastoji od nepraznog skupa $V = V(G)$ čiji su elementi vrhovi od G i skupa $E = E(G)$ čiji su elementi bridovi od G . Šetnja u grafu G je naizmjeničan niz vrhova i bridova. Ako su u šetnji svi vrhovi različiti, šetnja se naziva put. Graf je povezan ako postoji put između svaka dva vrha grafa. Funkcija $w: E(G) \rightarrow R^+$ koja svakom bridu $e \in E(G)$ pridružuje broj $w(e) \in R^+$ naziva se težinska funkcija, a broj $w(e)$ težina brida $e \in E(G)$. Bridovima su dakle pridružene težine koje predstavljaju npr. duljinu ceste u kilometrima, vrijeme izraženo u satima, cestarinu u kunama i sl. Graf G čijim su bridovima pridružene težine naziva se težinski graf. Za podgraf H grafa G broj $w(H) = \sum_{e \in E(H)} w(e)$ je

težina podgraфа H . Dakle, težina podgraфа H grafa G je suma težina svih bridova u grafu. Udaljenost $d(u, v)$ dva vrha $u, v \in V(G)$ u težinskom grafu je duljina najkraćeg puta između vrhova u i v , a najkraći put između vrhova u i v u težinskom grafu smatra se put najmanje težine. Detaljnije o teoriji grafova vidi u [10]. Problem najkraćeg puta jedan je od najvažnijih algoritamskih problema sa širokom praktičnom primjenom. Problem najkraćeg puta u težinskom grafu svodi se na traženje puta između dva vrha s najmanjom težinom. Slijedom spomenutog, jedan od najpoznatijih algoritama za traženje putova najmanje težine u težinskom grafu s pozitivnim težinama je Dijkstrin algoritam. Algoritam otkriva najkraći put iz određenog vrha, označenog s 1, do svih drugih vrhova 2, 3, ..., n u G . Neka je D_j duljina najkraćeg puta između vrhova 1 i j u G . U svakom koraku svaki vrh v dobiva ili trajnu oznaku, oznaku *TO* te se s D_v označava najkraći put od vrha 1 do vrha v , ili vrh dobiva privremenu oznaku, oznaku *PO* te se s \tilde{D}_v označava gornja međa duljine najkraćeg puta od vrha 1 do vrha v . Neka je

S_{TO} skup vrhova s trajnom oznakom, a S_{PO} skup vrhova s privremenom oznakom.

Za povezani graf $G = (V, E)$ s vrhovima $1, 2, \dots, n$ i udaljenostima $d(i, j) > 0$ od vrha i do vrha j , procedura izračunavanja duljine najkraćeg puta od vrha 1 do ostalih vrhova $2, 3, \dots, n$ u G je sljedeća [11]:

ULAZ: n vrhova, bridovi (i, j) i udaljenosti $d(i, j)$

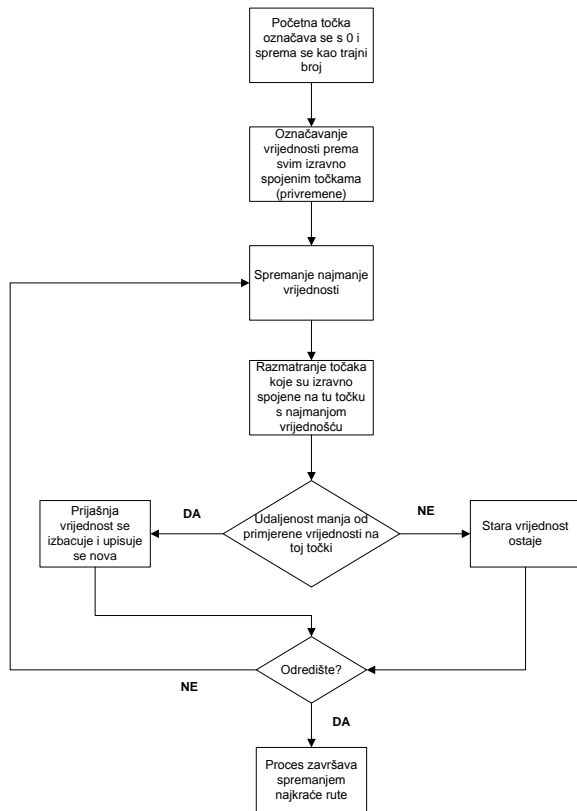
IZLAZ: duljine D_j najkraćih putova od vrha 1 do vrha j , $j = 2, 3, \dots, n$

Korak 1: vrh 1 dobiva oznaku TO i $D_1 = 0$. Vrh $j (= 2, 3, \dots, n)$ dobiva oznaku PO i $\tilde{D}_j = d(1, j) (= \infty$ ako brid $(1, j) \notin E)$. Stavlja se $S_{TO} = \{1\}$, $S_{PO} = \{2, 3, \dots, n\}$.

Korak 2: pronalazi se k u S_{PO} za koji je \tilde{D}_k najmanja. Stavlja se $D_k = \tilde{D}_k$. Uzima se najmanji k ako ih ima više. Briše se k iz S_{PO} i uključuje u S_{TO} . Ako je $S_{PO} = \emptyset$ tada

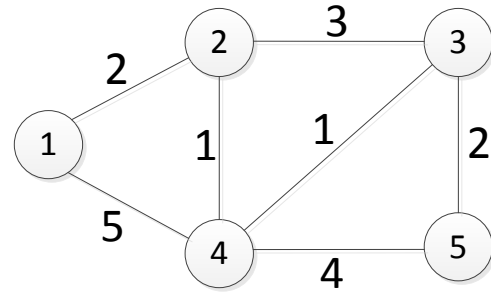
IZLAZ D_2, \dots, D_n . STOP. Inače

Korak 3: Za svaki j u S_{PO} stavlja se $\tilde{D}_j = \min_k \{ \tilde{D}_j, D_k + d(k, j) \}$. Vratiti se na korak 2.



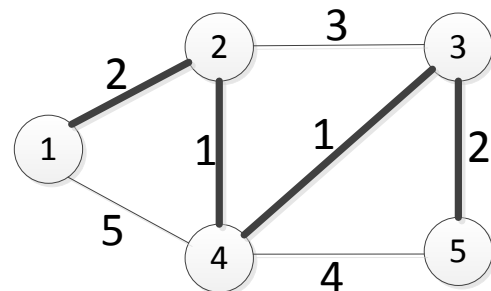
Slika 4. Dijagram toka za Dijkstra algoritam

Izračunavanje udaljenosti Dijkstra algoritmom od vrha 1 do ostalih vrhova grafa G , kao na slici 5., prezentirano je u nastavku.



Slika 5. Graf G

Početno stanje je $D_1 = 0$, $\tilde{D}_2 = 2$, $\tilde{D}_3 = \infty$, $\tilde{D}_4 = 5$, $\tilde{D}_5 = \infty$. Stavlja se $S_{TO} = \{1\}$, $S_{PO} = \{2, 3, 4, 5\}$. Za $k = 2$ stavlja se $D_2 = \tilde{D}_2 = 2$. $S_{TO} = \{1, 2\}$, $S_{PO} = \{3, 4, 5\}$. Zatim se računa $\tilde{D}_3 = \min_2 \{ \tilde{D}_3, D_2 + d(2, 3) \} = \min_2 \{ \infty, 2 + 3 \} = 5$, $\tilde{D}_4 = \min_2 \{ \tilde{D}_4, D_2 + d(2, 4) \} = \min_2 \{ 5, 2 + 1 \} = 3$, $\tilde{D}_5 = \min_2 \{ \tilde{D}_5, D_2 + d(2, 5) \} = \min_2 \{ \infty, 2 + \infty \} = \infty$. Za $k = 4$ stavlja se $D_4 = \tilde{D}_4 = 3$. $S_{TO} = \{1, 2, 4\}$, $S_{PO} = \{3, 5\}$. Računa se $\tilde{D}_3 = \min_4 \{ \tilde{D}_3, D_4 + d(4, 3) \} = \min_4 \{ 5, 3 + 1 \} = 4$, $\tilde{D}_5 = \min_4 \{ \tilde{D}_5, D_4 + d(4, 5) \} = \min_4 \{ \infty, 3 + 4 \} = 7$. Za $k = 3$ stavlja se $D_3 = \tilde{D}_3 = 4$. $S_{TO} = \{1, 2, 4, 3\}$, $S_{PO} = \{5\}$. Računa se $\tilde{D}_5 = \min_3 \{ \tilde{D}_5, D_3 + d(3, 5) \} = \min_3 \{ 7, 4 + 2 \} = 6$. Za $k = 5$ stavlja se $D_5 = \tilde{D}_5 = 6$. $S_{TO} = \{1, 2, 4, 3, 5\}$, $S_{PO} = \emptyset$. Konačno, $D_2 = 2$, $D_3 = 4$, $D_4 = 3$, $D_5 = 6$. Najkraći putovi od vrha 1 do svih vrhova težinskog grafa G nacrtani su debelom linijom na slici 6.



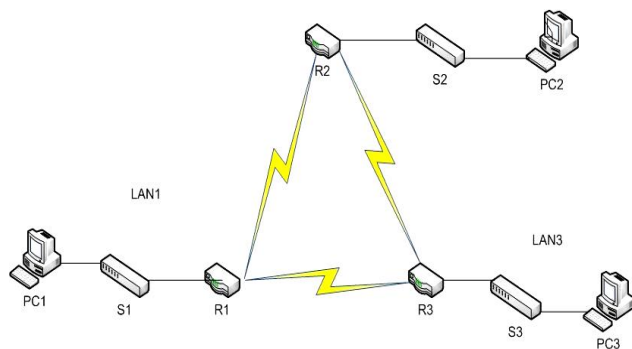
Slika 6. Najkraći putovi

Algoritam je vrlo sličan Bellman-Fordovom algoritmu. Razlika je u tome što Dijkstrin algoritam ne može raditi s negativnim vrijednostima. Za Bellman-Ford algoritam, algoritam provjerava vrijednosti točaka. Ako postoji negativna vrijednost, algoritmu se javlja greška. Dijkstrin algoritam pronalazi najkraće putove od početne točke do svih točaka u mreži [9].

7. KONFIGURACIJA

Fizička realizacija mreže je izvedena korištenjem CISCO-vih usmjernika i korištenjem aplikativnog programa PuTTY, kojim su upisivane potrebne naredbe namjenjene CISCO-vim operativnim sustavima. PuTTY je besplatni Telnet/SSH korisnički program, a riječ je o programu koji preko serijske komunikacije računala i usmjernika omogućuje parametriranje i programiranje usmjernika i preklopnika (engl. switch).

Slika 7. prikazuje fizičku topologiju izgrađene mreže za potrebe parametriranja i usporedbe EIGRP i OSPF protokola.



Slika 7. Topologija korištena u konfiguraciji protokola [4]

U prvoj fazi je potrebno izvršiti osnovnu konfiguraciju na svakom usmjerniku (konfiguracija imena, lozinka, banner). Zatim je potrebno konfigurirati sučelja svakog usmjernika te sam protokol usmjeravanja. Poželjno je korištenje naredbi koje omogućuju provjeru susjedstva i ruta uključenih u ažuriranja.

```
COM1 - PuTTY
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#interface fa0/0
R1(config-if)#ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 22 09:26:04.803: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 22 09:26:05.803: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R1(config-if)#interface s0/1/0
R1(config-if)#ip address 192.168.1.18 255.255.255.252
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 22 09:26:42.183: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1/0, changed state to down
R1(config-if)#interface s0/1/1
R1(config-if)#ip address 192.168.1.25 255.255.255.252
R1(config-if)#clock rate 64000
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 22 09:27:41.003: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1/1, changed state to down
```

Slika 8. Primjeri konfiguracije serijskih i lokalnih sučelja

```
COM1 - PuTTY
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#network 172.16.2.0 0.0.0.255 area 0
R1(config-router)#network 192.168.1.16 0.0.0.3 area 0
R1(config-router)#network 192.168.1.24 0.0.0.3 area 0
R1(config-router)#end
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#
R1#
*Mar 28 09:17:04.535: %SYS-5-CONFIG I: Configured from console by console
```

Slika 9. Primjer konfiguracije OSPF protokola i mreža uključenih u OSPF ažuriranja

Da bi se neka ruta smatrala dostupnom, dostupnost treba provjeriti naredbom *ping*.

8. ZAKLJUČAK

Upotreba sve većih i složenijih dinamičkih računalnih mreža, međusobno umrežavanje različitih uređaja, povezivanje različitih mreža u složene strukture te rastuća ovisnost čovječanstva o mrežnim tehnologijama naglašavaju važnost protokola usmjeravanja. Od velike je važnosti brzo i točno dostaviti poslano podatke kako bi se povećala efikasnost mreže.

S obzirom na različite topologije, potrebe i prirode procesa, treba pažljivo odabrati odgovarajući protokol usmjeravanja. Zbog kompleksnosti problema usmjeravanja treba se prilikom modeliranja i implementacije protokola usmjeravanja držati općih smjernica unutar OSI modela.

Statičko usmjeravanje je pogodno za primjenu u manjoj lokalnoj mreži, ali nikako ne može izvršavati složene zadatke usmjeravanja unutar neke veće računalne mreže. Distance Vector protokoli pronalaze moguće najbolje putove na osnovu dostupnih informacija o udaljenosti do odredišta. Susjedima se šalje cijela tablica usmjeravanja. Ovi protokoli su jednostavni i učinkoviti u malim mrežama i vrlo su lagani za parametriranje i održavanje. U velikim i srednje velikim mrežama imaju loša konvergencijska svojstva pa su zato razvijeni Link State protokoli s boljim performansama.

Kod Link State protokola usmjernik poznaje topologiju mreže i ne šalje cijelu tablicu usmjeravanja, nego se svim usmjernicima u mreži šalje samo informacija o stanju veze u obliku malih LSA paketa. Na temelju tih informacija usmjerivači mogu kvalitetno izračunati sve raspoložive rute. Ova metoda je pouzdanija, troši manje pojase širine mreže, odnosno propusnosti, a konvergencija je brža.

Negativna strana Link State protokola je kompleksniji algoritam, što znači i veće opterećenje procesora usmjernika i veća potrošnja memorije, naročito prilikom početne konvergencije kada usmjernici imaju prazne tablice usmjeravanja.

Protokoli usmjeravanja su vrlo kompleksna tema o kojoj se može mnogo pisati i detaljno je analizirati sukladno konfiguracijama zatečenim u praksi. Radi se o veoma zanimljivom području koje će se zasigurno u budućnosti dalje razvijati i unapređivati. S vremenom će se sigurno pojaviti mnoštvo novih i boljih protokola, algoritama, novih načina razmišljanja i pristupanja problemima s kojima će biti susretanja u konačnom svijetu beskonačnih mogućnosti umrežavanja.

9. LITERATURA

- [1] Knez, K.: Usporedba i primjena „Distance Vector“ i „Link State“ mrežnih protokola, Završni rad br. 275/EL/2012, VELV Varaždin, 2013.
- [2] Kurose, J. F.; Ross, K. W.: Computer Networking, Pearson Education, 2012.
- [3] http://hr.wikipedia.org/wiki/OSI_model (Dostupno: 04.03.2013.)
- [4] <http://www.cisco.com/web/learning/netacad/index.html> (Dostupno:04.03.2013.)
- [5] Odom W.: Cisco CCNA Routing and Switching, Cisco press, 2010.
- [6] Browning P., Subnetting Secrets, Reality press, 2012.
- [7] Cavendish D.; Gerla M.: Internet QoS Routing using the Bellman-Ford Algorithm, Chapman & Hall, 1998.
- [8] Graziani R.; Johnson A.: Routing Protocols and Concepts, Cisco press, 2008.
- [9] http://en.wikibooks.org/wiki/Artificial_Intelligence/Search/Dijkstra's_Algorithm (Dostupno:10.04. 2013.)
- [10] Veljan D.: Kombinatorika s teorijom grafova, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [11] Kreyszig E.: Advanced engineering mathematics – 10th ed., John Willey & Sons, 2010.

Kontakt autora:

mr. sc. Ladislav Havaš
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42 000 Varaždin
ladislav.havas@velv.hr

Damira Keček, dipl. ing.
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42 000 Varaždin
damira.kecek@velv.hr

Kristijan Knez (bivši student)
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42 000 Varaždin
krknez@velv.hr

NAZIVLJE SINKRONE TEHNOLOGIJE RAČUNALNO POTPOMOGNUTOGA OBLIKOVANJA

THE TERMINOLOGY OF CAD SYNCHRONOUS TECHNOLOGY

Ivana Jurković, Božidar Hršak, Tatjana Badrov

Izvorni znanstveni članak

Sažetak: Sinkrona tehnologija novost je na području računalno potpomognutoga oblikovanja. Ova tehnologija predstavlja značajan napredak u izradi projektne dokumentacije te se sve više stručnjaka njome koristi. Kako se radi o novoj tehnologiji, pojavili su se brojni novi nazivi. Prema Lukendi [1], u izgradnji nazivlja trebaju sudjelovati i jezikoslovci i stručnjaci pojedinih struka. Ovaj rad temelji se na spoznajama stečenima tijekom prevođenja priručnika „Uvod u programski alat Solid Edge“ [2]. Prijevod priručnika koji je izvorno objavljen na engleskom jeziku plod je suradnje stručnjaka iz područja strojarstva i jezikoslovlja. U ovome radu predstavljeni su problemi kod prevođenja nazivlja iz područja sinkrone tehnologije s engleskoga na hrvatski jezik. Prijedlozi normiranja nazivlja temelje se na terminološkim načelima te su u radu detaljno prikazani.

Ključne riječi: nazivlje, računalno potpomognuto oblikovanje, sinkrona tehnologija, terminološka načela

Original scientific paper

Abstract: Synchronous technology is a new CAD technology. It represents a significant progress in creating technical documentation and is used more and more by experts in this field. As this is a new technology, many new terms related to it have appeared. As stated by Lukenda [1], both linguists as well as experts in a certain profession should participate in the development of terminology. This paper refers to insights gained while translating the tutorial “Getting started with Solid Edge“. The aforementioned translation of the tutorial that was originally published in English represents a fruitful cooperation between experts in the fields of mechanical engineering and linguistics. This paper focuses on problems in translating the terminology of synchronous technology from English into Croatian. The terminology standardization suggestions are based on terminological principles and are presented in detail.

Key words: terminology, computer-aided design, synchronous technology, terminological principles

1. UVOD

Za početak svakoga proizvodnog procesa potrebna je tehnička dokumentacija koja služi kao „sredstvo komuniciranja u tehnici i daje osnove za daljnje korake u procesu konstruiranja, definiranja tehnologije, proizvodnje, funkcije, montaže te analize gibanja“ [3]. S obzirom na činjenicu da je „[r]azvoj CAD sustava za parametarsko modeliranje pomoću značajki bitno smanjio vrijeme potrebno od ideje pa do njezine realizacije“ [4], danas je projektiranje gotovo nemoguće zamisliti bez korištenja suvremenih alata za računalno potpomognuto oblikovanje. Sinkrona tehnologija novost je na tom području, a njen doprinos ogleda se u brzini izrade i primjeni tehničke dokumentacije. Ubrzan napredak tehnologije računalno potpomognutog oblikovanja sa sobom donosi nove nazive, uglavnom kalkove te brojne potpuno neprilagođene engleske nazive s kojima su, kao i kod većine drugih novih tehnologija, povezani mnogi terminološki problemi. Uz nazivlje koje se odnosi na sinkronu tehnologiju računalno potpomognutoga oblikovanja, važno je istaknuti kako se dio naziva pojavljuje i u tekstovima koji se odnose na

tradicionalnu tehnologiju. Cijelo područje računalno potpomognutoga oblikovanja terminološki je nedovoljno obrađeno te je analizirano 30 karakterističnih naziva iz područja sinkrone tehnologije, bez obzira pojavljuju li se i u tekstovima o tradicionalnoj tehnologiji.

Kako navode Halonja i Mihaljević, „[u] tradicionalnome računalnom nazivlju problem je kako iz mnoštva istoznačnih naziva koji se pojavljuju u praksi za isti pojam odabrati onaj koji po svojoj strukturi najbolje odgovara hrvatskoj normi“ [5]. Obrađeni korpus specifičan je jer se u njemu pojavljuje približno podjednak broj naziva iz područja sinkrone tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja koji imaju jedan ili više sinonima, te nazive za koje još ne postoji potvrđen hrvatski naziv. Za razliku od nazivlja bežičnih računalnih mreža, u nazivlju sinkrone tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja sinonimi nisu rijetki (npr. *svojstvo* ili *značajka* ili *feature*, *modeliranje* ili *konstruiranje* ili *oblikovanje*), ali je važno istaknuti da se radi o nazivima koji nisu vezani isključivo za sinkronu tehnologiju već se pojavljuju i u tekstovima o tradicionalnoj tehnologiji. Često se javljaju slučajevi terminoloških praznina, odnosno „slučajevi kad se za

engleski naziv još nije pojavio ni jedan prijedlog hrvatskog naziva“ [5]. Terminološke praznine pojavljuju se, za razliku od slučajeva sinonimije, uglavnom kod naziva koji su vezani za noviju, sinkronu tehnologiju. Za razliku od nazivlja nekih drugih područja tehnologije i računarstva, kao što je npr. slučaj s nazivljem bežičnih računalnih mreža [5], nazivlje sinkrone tehnologije sadrži vrlo mali broj sastavljenih kratica (npr. CAD, CAM, PPS). Većina njih se već ustalila u hrvatskoj terminologiji budući da nisu isključivo vezane za novije tehnologije. Iz toga razloga sastavljene kratice nisu predmet terminološke obrade.

1.1. Što je sinkrona tehnologija

Sinkrona tehnologija novo je postignuće u računalno potpomognutom oblikovanju, a pomoću nje se „određene CAD dizajnerske aktivnosti mogu odraditi i do 100 puta brže od klasičnog pristupa“ [6]. Za razliku od tradicionalne tehnologije koja se temelji na linearnom stablu, sinkronom tehnologijom se omogućuje da se nepovezane značajke ne koriste kod izmjena. Time se znatno štedi na vremenu, a dimenzije modela mogu se dodati u bilo kojem trenutku i bilo kojim slijedom. Modeli oblikovani pomoću alata temeljenih na sinkronoj tehnologiji sadrže jedinstven sustav sinkronosti i povijesno temeljenih značajki pa korisnici nisu prisiljeni birati isključivo jednu opciju. Očekuje se da će se sinkrona tehnologija u budućnosti sve više koristiti i potrebno je usustavljivati hrvatsko nazivlje iz toga područja.

1.2. Korpus

Pregledani korpus na temelju kojeg je izvršena terminološka analiza nazivlja sinkrone tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja obuhvaća stručnu literaturu (članke, sveučilišne i veleučilišne udžbenike, prijevode knjiga s engleskoga jezika) i mrežne izvore. Obradeno je 30 naziva karakterističnih za sinkronu tehnologiju, a dio tih naziva pojavljuje se i u tekstovima o tradicionalnoj tehnologiji budući da sinkrona tehnologija predstavlja nadogradnju tradicionalne tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja. Od mrežnih izvora autori su pregledali mrežne stranice tvrtke ITCR d.o.o. [7] koja je službeni distributer i pružatelj stručne podrške za softver Solid Edge ST tvrtke Siemens. S obzirom na to da je obradeno nazivlje koje pripada hrvatskome standardnom jeziku, iz analize su isključeni forumi, mrežni dnevници i slični mrežni izvori koji sadrže mnoge žargonizme i izraze koji ne pripadaju standardnome jeziku. Za potrebe terminološke analize korišteni su i informatički rječnici, no u njima se nalazi manji broj naziva obrađenih u ovome radu.

2. JEZIČNA ANALIZA NAZIVLJA SINKRONE TEHNOLOGIJE

Programske alate koji se temelje na sinkronoj tehnologiji, kao i priručnike za njihovo korištenje,

izrađuju zapravo strane tvrtke, a izvornici su gotovo uvijek pisani na engleskome jeziku. Pošto se programska rješenja rijetko prevode na druge jezike, u hrvatskim se tekstovima o računalno potpomognutom oblikovanju često pojavljuje mnogo novih naziva, uglavnom prevedenica s engleskoga jezika i potpuno neprilagođenih engleskih pojmova. „Ti strani nazivi pripadaju engleskomu jeziku, a njihovo se strano podrijetlo ističe izvornim načinom pisanja. Ako se pojavljuju u hrvatskome tekstu, oni se mogu navesti pod navodnicima ili kurzivirati“ [5]. Međutim, u praksi se često događa da se engleska riječ preuzima bez kurziviranja, kao što pokazuje sljedeći primjer:

„Putem ovog besplatnog downloada dobit ćete pristup potpunoj verziji programa Solid Edge, s kompletnim alatima kao što su modeliranje dijelova, **assembly** konstruiranje, izrada tehničke dokumentacije i mnogim dodatnim aplikacijama.“ (<http://www.itcr.hr>)

Kako u hrvatskome jeziku postoji odgovarajući naziv za engleski naziv *assembly*, a to je naziv *sklop* koji je višestruko potvrđen u literaturi te udovoljava prihvaćenim terminološkim načelima [8], nema razloga zašto bi se u ovome kontekstu koristila strana riječ.

Engleski nazivi iz područja sinkrone tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja dijele se na sljedeće skupine:

1. jednorječni nazivi: *feature*, *extrude*, *assembly*, *sketch*
2. višerječni nazivi: *solid feature*, *solid model*, *base feature*, *sketch plane*, *grab and go handle*, *steering wheel*
3. sastavljene kratice: CAD, CAE, CAM, PPS

Hrvatski nazivi iz područja sinkrone tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja dijele se na:

1. jednorječne nazive: *značajka*, *izvlačenje*, *sklop*, *skica*
2. višerječne nazive: *značajka tijela*, *čvrsti model*, *ravnina skiciranja*, *upravljač izravnog modeliranja*

Sastavljene kratice „koje nastaju od jednoga ili više početnih glasova, od početnih slogova ili miješanim načinom od riječi višečlanoga pojma“ [9] nisu nastale hrvatskom tvorbom već su nastale u engleskom jeziku te su kao takve preuzete u hrvatski jezik. U korpusu nije pronađen primjer sastavljene kratice koja je nastala hrvatskom tvorbom. Broj sastavljenih kratica je u odnosu na ostale skupine naziva vrlo mali, a nijedna od njih nije karakteristična samo za sinkronu tehnologiju računalno potpomognutoga oblikovanja. Koriste se i u tekstovima o starijim tehnologijama te su se uglavnom ustalile u nazivlju računalno potpomognutoga oblikovanja.

U nastavku je spomenuto nekoliko primjera iz korpusa:

1. jednorječni nazivi:

„Unutar 3D modela, *Design Tableom* se mogu kontrolirati značajke modela, odnosno *feature*, te skice – *sketch*evi unutar značajki.“ [10]

„U ovoj ravnini se izrađuje osnovna skica koja se zatim korištenjem značajke **ekstruzije** (Extrude) ili neke druge **značajke** razvuče u prostor.“ [4]

2. višerječni nazivi:

„Simulacija za **“sheet metal”** konstruiranje“ [7]

„Na slici 3. prikazan je **upravljač izravnog modeliranja - Steering Wheel**, karakterističan upravo za sinkronu (ST) tehnologiju.“ [6]

„Iza ovog koraka skica je **potpuno ograničena (Fully defined)**.“ [4]

3. sastavljene kratice:

„Ovaj proces 3D modeliranja omogućuje da se određene CAD dizajnerske aktivnosti mogu odraditi i do 100 puta brže od klasičnog pristupa...“ [6]

„Projektiranje podržano računalom, korištenje suvremenih baza podataka na računalnim medijima te **PPS** (produkcijско-planski sustav), kao sastavni dio **CAE-a** (engl. *Computer Aided Engineering*, razvoj podržan računalom).“ [11]

Iz primjera se može uočiti da se u tekstovima o računalno potpomognutome oblikovanju engleski nazivi često ostavljaju uz hrvatske nazive, i uglavnom su označeni kurzivom (u korpusu ima i primjera navođenja engleskih naziva bez kurziva). U pisanim izvorima rijetko se koriste isključivo engleski nazivi bez navođenja hrvatskih inačica. Pojava ostavljanja engleskih naziva uz hrvatske nazive ne čudi s obzirom na činjenicu da se razvojem tehnologije nazivlje iz područja računalno potpomognutoga oblikovanja neprestano obogaćuje pa se tako prema [4] navodi da se „[r]adi boljeg razumijevanja u udžbeniku u zgradama kurzivom navodi i nazivlje na engleskom jeziku“. Hudeček i Mihaljević [8] spominju neke od najčešćih zablude koje stoje na putu uspješnoj primjeni terminološkoga načela koje se odnosi na upotrebu stranih riječi, odnosno na davanje prednosti domaćoj riječi pred stranim riječima. Između ostaloga, strane se riječi koriste jer se smatra kako strani naziv bolje odražava određeni pojam ili zato jer svi tako govore. U većini pregledanih izvora iz našega korpusa engleski naziv nalazi se u zagradi uz hrvatski naziv te je pisan kurzivom. Tu vjerojatno nije riječ o zabludi, već o tome da autori dodavanjem engleskih naziva žele naglasiti vezu između hrvatskoga naziva koji koriste i engleskoga naziva kojeg će čitatelji pronaći u

programskom alatu koji koriste (malo je programskih alata prevedeno na hrvatski jezik), te u literaturi napisanoj na engleskome jeziku koje ima znatno više na tržištu nego literature napisane na hrvatskome jeziku ili prevedene na hrvatski jezik.

Kod višerječnih naziva postoje primjeri kod kojih su sve riječi hrvatske, ali ima i primjera kod kojih je jedan dio naziva na engleskome, a drugi dio na hrvatskome jeziku. Kod većine takvih primjera ostavljanje engleskoga dijela naziva zapravo nije potrebno jer postoje adekvatni nazivi na hrvatskome jeziku. Npr., kod izraza *“sheet metal” konstruiranje* ne postoji razlog zašto se *sheet metal* ne bi zamijenio hrvatskim nazivom *lim*, a cijeli naziv hrvatskim nazivom *oblikovanje limenih dijelova*.

U tablici 1. prikazano je 30 naziva karakterističnih za nazivlje sinkrone tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja. Uključene su četiri kategorije – engleski naziv, potvrđeni hrvatski nazivi (ako postoje), predloženi hrvatski naziv i definicije. Naš odabir predloženoga hrvatskog naziva temelji se na prihvaćenim terminološkim načelima [8]:

1. Domaće riječi imaju prednost pred stranim
2. Nazivi latinskoga i grčkoga podrijetla imaju prednost pred nazivima iz engleskoga, francuskoga, njemačkoga
3. Prošireniji i korisnicima prihvatljiviji naziv ima prednost pred manje proširenim
4. Naziv mora biti usklađen s fonološkim, morfološkim, tvorbenim, sintaktičkim sustavom hrvatskoga standardnog jezika
5. Kraći nazivi imaju prednost pred duljim nazivom
6. Naziv od kojega se lakše tvore tvorenice ima prednost pred onime od kojega se ne mogu tvoriti tvorenice
7. Treba izbjegavati da naziv unutar istoga terminološkog sustava ima više značenja
8. Nazive se smije bez valjana razloga mijenjati
9. Naziv ima prednost pred drugim istoznačnim nazivima ako odgovara pojmu kojemu je pridružen i odražava svoje mjesto u pojmovnome sustavu

Tablica 1. Terminološka obrada nazivlja sinkrone tehnologije računalno potpomognutoga oblikovanja

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv	definicija
<i>assembly environment</i>		okolina za oblikovanje sklopova	dio programskoga alata u kojemu se oblikuju modeli sklopova
<i>base feature</i>		značajka osnovnoga modela	značajka korištena za oblikovanje početnoga modela koji služi kao osnova za oblikovanje završnoga trodimenzijskog modela
<i>basic feature</i>	osnovna značajka	osnovna značajka	značajka pomoću koje se stvara osnovna geometrija modela
<i>center point</i>		središte	referentna točka koja se nalazi u središtu kružnice ili kružnoga luka
<i>cutout feature</i>	značajka oduzimanja, značajka oduzimanja dijelova tijela, značajka oduzimanja materijala	značajka oduzimanja	značajka pomoću koje se modificira osnovni model tako da se dio ili dijelovi osnovnoga modela odsijeku
<i>endpoint</i>	krajnja točka	krajnja točka	referentna točka koja se nalazi na završetku linije ili kružnoga luka
<i>environment</i>	okolina, okruženje	okolina	dio programskoga alata namijenjen za oblikovanje određenoga modela
<i>exploded view</i>	eksplozijski pogled, eksplozijski pogled sklopa, prikaz rastavljenog sklopa, rastavljeno stanje sklopa, rastavljanje blokova	prikaz rastavljenog sklopa	prikaz modela koji omogućuje pogled na sastavne dijelove sklopa te time daje uvid u način na koji je sklop sastavljen

<i>extrude handle</i>		hvatište za izvlačenje	alat za izvođenje značajke izvlačenja; znak u obliku trodimenzijske dvosmjerne strelice koji se prikaže odabirom funkcije izvlačenja na traci s naredbama
<i>extruded cutout feature</i>	značajka oduzimanja izvlačenjem	značajka oduzimanja izvlačenjem	značajka pomoću koje se osnovni model modificira tako da se iz njega funkcijom izvlačenja uklanja jedan ili više njegovih dijelova
<i>extruded feature</i>	značajka ekstruzije, značajka izvlačenja	značajka izvlačenja	značajka pomoću koje se dvodimenzijska skica razvuče u prostor čime nastaje trodimenzijski model
<i>feature</i>	<i>feature</i> , svojstvo, obilježje, značajka	značajka	ključna razlikovna osobina modela
<i>feature-based modelling</i>	modeliranje pomoću svojstava, modeliranje svojstvima, modeliranje pomoću značajki	modeliranje pomoću značajki	tehnika modeliranja koja omogućuje integriranje geometrijskog modela i konstruiranja [4]
<i>fully defined sketch</i>	definirana skica, potpuno ograničena skica	potpuno ograničena skica	skica koja se u ravnini u kojoj je izrađena ne može slobodno pomicati
<i>grab and go handle</i>		hvatište za modeliranje	alat pomoću kojega se oblikuje skica ili trodimenzijski model
<i>grab and go tool</i>		alat za izravno modeliranje	alat karakterističan za sinkronu tehnologiju računalno potpomognutoga oblikovanja koji služi za izravno izvođenje izmjena na modelu
<i>hole</i>	otvor, provrt, rupa	provrt	dio trodimenzijskoga modela koji predstavlja šuplji otvor, a konstruira se funkcijom oduzimanja materijala izvlačenjem
<i>midpoint</i>		središnja točka	referentna točka koja se nalazi na središtu linije ili kružnoga luka
<i>relationship handle</i>		pokazivač odnosa	funkcija programskoga alata koja pokazuje odnos između elemenata skice
<i>revolved cut feature</i>	značajka oduzimanja rotiranjem oko osi	značajka oduzimanja rotiranjem	značajka pomoću koje se osnovni model modificira tako da se dio ili dijelovi osnovnoga modela odsijeku rotiranjem skice u prostoru
<i>revolved feature</i>	značajka okretanja, značajka rotiranja oko osi	značajka rotiranja	značajka pomoću koje se dvodimenzijska skica rotiranjem oko osi oblikuje u trodimenzijski model
<i>round feature</i>		značajka zaobljenosti	značajka koju imaju zaobljeni rubovi trodimenzijskog modela
<i>sketch</i>	nacrt, skica	skica	skup dvodimenzijske geometrije koji služi kao osnova za izradu trodimenzijskoga modela
<i>sketch plane</i>	ravnina skiciranja	ravnina skiciranja	ravna površina u trodimenzijskom prostoru u kojoj se izrađuje skica trodimenzijskoga modela
<i>sketch region</i>		omeđena skica	dvodimenzijski, potpuno zatvoren prostor koji služi kao osnova za izradu trodimenzijskoga modela
<i>snap point</i>		referentna točka	karakteristična točka modela na koju se korisnik želi referencirati pri sljedećoj naredbi
<i>solid</i>	čvrsti element, element, geometrijsko tijelo, model, objekt, prostorni model, tijelo, trodimenzionalni model	tijelo	oblik koji ima tri dimenzije
<i>solid feature</i>	značajka tijela	značajka tijela	značajka obujma koja razlikuje trodimenzijski od dvodimenzijskoga modela
<i>solid model</i>	čvrsti model, model čvrstog tijela	čvrsti model	model kod kojega su sve površine zatvorene i međusobno povezane
<i>steering wheel</i>	upravljač izravnog modeliranja	upravljač izravnog modeliranja	alat za modeliranje koji služi za izravno upravljanje izmjenama trodimenzijskoga modela

2.1. Problem sinonimije

Iz tablice 1. se vidi supostojanje sinonimnih naziva u obrađenom korpusu i izvorima. „Prije nego što se ustalili jedan hrvatski naziv koji odgovara određenome pojmu i određenome engleskom nazivu, u praksi se često upotrebljava niz istoznačnica.“ [12].

Budući „da su u nazivlju sinonimi štetni“ [13], potrebno je odlučiti se za naziv koji se najbolje uklapa u postojeću terminologiju te je dovoljno prihvatljiv kako bi mogao postati dio hrvatskoga standardnog jezika. Pri odabiru jednog od sinonimnih naziva autori su se oslonili na ranije spomenuta terminološka načela [8]. U nastavku se nalaze objašnjenja za odabir pojedinačnih naziva kod kojih supostojaju sinonimni nazivi.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>cutout feature</i>	značajka oduzimanja, značajka oduzimanja dijelova tijela, značajka oduzimanja materijala	značajka oduzimanja

Sva tri potvrđena hrvatska naziva udovoljavaju temeljnim terminološkim načelima, a naziv *značajka oduzimanja* odabran je kao preporučeni naziv zbog načela prema kojemu kraći naziv ima prednost pred duljim nazivima, i zbog toga jer se bolje uklapa u postojeći pojmovni sustav. Pošto i drugim dvorječnim engleskim nazivima koji sadrže naziv *feature* odgovaraju dvorječni hrvatski nazivi (*extruded feature* – *značajka izvlačenja*), smatramo da se naziv *značajka oduzimanja* bolje uklapa u pojmovni sustav od ostalih potvrđenih naziva.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>environment</i>	okolina, okruženje	okolina

Oba potvrđena naziva odgovaraju terminološkim načelima, a naziv *okolina* predlažemo jer je potvrđen i u informatičkom rječniku [14].

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>exploded view</i>	eksplozijski pogled, eksplozijski pogled sklopa, prikaz rastavljenog sklopa, rastavljeno stanje sklopa, rastavljanje blokova	prikaz rastavljenog sklopa

Potvrđeni nazivi *eksplozijski pogled* i *eksplozijski pogled sklopa* sadrže anglicizam *eksplozijski* pa smatramo da ne bi trebao postati prihvaćeni hrvatski naziv. Potvrđeni nazivi *rastavljanje blokova* i *rastavljeno stanje sklopa* ne odgovaraju definiciji te predlažemo potvrđeni naziv *prikaz rastavljenog sklopa* kao hrvatski naziv za engleski potvrđeni naziv *exploded view*.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>extruded feature</i>	značajka ekstruzije, značajka izvlačenja	značajka izvlačenja

Kod ovoga naziva jasno je zašto smo se odlučili za naziv *značajka izvlačenja*, a radi se o primjeni prvoga načela prema kojemu hrvatski nazivi imaju prednost pred stranima.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>feature</i>	<i>feature</i> , svojstvo, obilježje, značajka	značajka

Potvrđeni naziv *feature* ne bi smio postati prihvaćeni hrvatski naziv jer se radi o stranoj riječi. Potvrđeni nazivi *svojstvo*, *obilježje* i *značajka* odgovaraju terminološkim načelima, ali se naziv *značajka* već ustalio u nazivlju i ima znatno više potvrda u korpusu od ostalih pa ga stoga navodimo kao predloženi naziv.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>feature-based modelling</i>	modeliranje pomoću svojstava, modeliranje svojstvima, modeliranje pomoću značajki	modeliranje pomoću značajki

Kako je naziv *značajka* predložen kao odgovarajući hrvatski naziv za engleski naziv *feature*, predlažemo naziv *modeliranje pomoću značajki* kao hrvatski naziv koji odgovara engleskomu nazivu *feature-based modelling* jer je jedini potvrđeni naziv koji sadrži riječ *značajka* te se zato bolje uklapa u postojeći pojmovni sustav.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>fully defined sketch</i>	definirana skica, potpuno ograničena skica	potpuno ograničena skica

Iako je potvrđeni naziv *definirana skica* kraći, predlažemo potvrđeni naziv *potpuno ograničena skica* jer bolje odgovara definiciji, odnosno bolje odražava značenje pojma.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>Hole</i>	otvor, provrt, rupa	provrt

Sva tri potvrđena naziva odgovaraju terminološkim načelima, međutim naziv *provrt* ima znatno više potvrda te je prošireniji u struci od ostala dva.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>revolved feature</i>	značajka okretanja, značajka rotiranja oko osi	značajka rotiranja

S obzirom na to da u pojmovnome sustavu ne postoji naziv koji bi se odnosio na „rotiranje koje se ne odvija oko osi“, smatramo da je dio *oko osi* potvrđenoga naziva *značajka rotiranja oko osi* nepotreban u samom nazivu. Nazivu *značajka rotiranja* dajemo prednost pred nazivom *značajka okretanja* jer se naziv *rotiranje* ustalio u pojmovnome sustavu tehničkih znanosti i ima znatno više potvrda u korpusu od naziva *okretanje*.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>sketch</i>	nacrt, skica	skica

Naziv *nacrt* ne bi se smio koristiti kao naziv koji odgovara engleskom nazivu *sketch* jer se radi o različitim pojmovima. Naziv *nacrt* u istome se pojmovnom sustavu koristi u značenju jednog od pogleda na model, točnije na pogled sprijeda, a odgovara mu engleski naziv *front view*.

engleski naziv	potvrđeni hrvatski nazivi	predloženi hrvatski naziv
<i>Solid</i>	čvrsti element, element, geometrijsko tijelo, model, objekt, prostorni model, tijelo, trodimenzionalni model	tijelo

Nazivi *čvrsti element*, *element*, *model*, *objekt*, *prostorni model* i *trodimenzionalni model* ne odgovaraju potpuno definiciji. Između potvrđenih naziva *geometrijsko tijelo* i *tijelo* predlažemo naziv *tijelo* jer je kraći, a uklanjanjem pojma *geometrijsko* u nazivlju računalno potpomognutoga oblikovanja ne može doći do nesporazuma jer ne postoji nijedan drugi pojam koji je nazvan *tijelo*. Iz perspektive jezične ekonomije bolje je koristiti kraći naziv od duljega. „Kad se stvara ili upotrebljava koji naziv, veća preciznost izraza dovodi do manje lakoće u izražavanju i razumijevanju. Ne treba težiti većoj preciznosti od one koja je nužna da bi se razgraničili svi nazivi određenoga terminološkog sustava.“ [15]

engleski naziv	potvrđeni hrvatski naziv	predloženi hrvatski naziv
<i>solid model</i>	čvrsti model, model čvrstog tijela	čvrsti model

Potvrđeni naziv *čvrsti model* predlažemo zbog načela da kraći naziv ima prednost pred duljim.

3. ZAKLJUČAK

Sinkrona tehnologija novost je na području računalno potpomognutoga oblikovanja i kao takva donosi brojne nove nazive. S obzirom na činjenicu da su programski alati i priručnici za njihovo korištenje uglavnom pisani na engleskome jeziku, česta je pojava da se stručnjaci iz toga područja u žargonu koriste engleskim nazivljem. Za potrebe analize nazivlja sinkrone tehnologije obrađen je korpus sastavljen od knjiga, prijevoda knjiga, članaka i mrežnih izvora u kojima se razmatra problematika računalno potpomognutoga oblikovanja. U analizu su uključeni karakteristični nazivi iz područja sinkrone tehnologije, bez obzira na to pojavljuju li se i u tekstovima o drugim tehnologijama računalno potpomognutoga oblikovanja. Analiza korpusa pokazala je da nazivlje sinkrone tehnologije sadrži sinonimne nazive te veći broj terminoloških praznina. Kako sinonimija u nazivlju nije poželjna, analizirani su nazivi s jezičnog i terminološkog stajališta te je predložen naziv koji se najbolje uklapa u postojeći pojmovni sustav. Za pojmove kod kojih postoji terminološka praznina predložen je naziv koji odgovara jezičnim i terminološkim načelima, te odgovara definiciji pojma na koji se odnosi. Hoće li se predloženi nazivi ustaliti u terminologiji računalno potpomognutoga oblikovanja ovisi o brojnim čimbenicima, a mogu poslužiti i kao osnova za daljnju raspravu.

5. LITERATURA

- [1] Lukenda, M.: Rad na normiranju terminologije, Rasprave ZJ, Vol. 10-11 (1984.-1985.) 81-86
- [2] Jurković, I.; Hršak, B.; Golubić, S.: Uvod u programski alat Solid Edge (u pripremi)
- [3] Opalić, M.; Kljajin, M.; Sebastijanović, S.: Tehničko crtanje, Zrinski d.d. Čakovec, Čakovec 2003.
- [4] Kljajin, M.; Karakašić, M.: Modeliranje primjenom računala, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2012.
- [5] Halonja, A.; Mihaljević, M.: Nazivlje bežičnih računalnih mreža, Rasprave Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje, Vol. 32 (2006.) 87-108
- [6] Hršak, B.; Golubić, S.; Carek, D.; Izrada 3D modela kućišta centrifugalne pumpe, Tehnički glasnik, Vol. 6, No. 1 (2012.) 34-38
- [7] <http://www.itcr.hr> (Dostupno: 9.6.2013.)
- [8] Hudeček, L.; Mihaljević, M.; Hrvatski terminološki priručnik, Institut za hrvatski jezik i jezikoslovlje, Zagreb, 2009.
- [9] Babić, S.: Tvorba riječi u hrvatskom književnom jeziku, HAZU, Zagreb, 1991.
- [10] Hršak, B.; Golubić, S.; Bošnjak, M.: Izrada 3D modela kućišta ravnog ventila DN 50, Tehnički glasnik, Vol. 6, No. 1 (2012.) 22-26

- [11] Švigir, N.; Sumina, D.; Padovan, L.: Tehničko crtanje uporabom CAD programa, Graphis Zagreb, Zagreb, 2007.
- [12] Halonja, A.; Mihaljević, M.: Nazivlje računalnih mreža, Rasprave Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje, Vol. 29 (2003.) 87-101
- [13] Mihaljević, M.: Terminološki priručnik, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 1998.
- [14] Kiš, M.: Informatički rječnik, Naklada Ljevak, Zagreb, 2002.
- [15] Mihaljević, M.: Kako se na hrvatskome kaže WWW?: Kroatistički pogled na svijet računala, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2003.

Kontakt autora:

Ivana Jurković, pred.

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4, Bjelovar
E-mail: ijurkovic@vtsbj.hr

Božidar Hršak, mag. ing. mech.

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4, Bjelovar
E-mail: bhrsak@vtsbj.hr

mr. sc. Tatjana Badrov, pred.

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4, Bjelovar
E-mail: tbadrov@vtsbj.hr

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA EUROPEAN SOLAR RADIATION ATLASA NA PRIMJERU ANALIZE DNEVNOG PRIVIDNOG KRETANJA SUNCA

THE POSSIBILITIES OF THE EUROPEAN SOLAR RADIATION ATLAS USAGE ON THE EXAMPLE OF DAILY OSTENSIBLE SUN MOVEMENT ANALYSIS

Stjepan Capan, Igor Petrović, Ivana Jurković

Stručni članak

Sažetak: Primjena European Solar Radiation Atlasa (ESRA) u analizama dnevnih kretanja Sunca po nebu i njegovih učinaka je rasprostranjena u svim inženjerskim strukama. Matematički odnosi visine i azimuta Sunca u određenom trenutku, definiranom datumom i vremenom, mogu se npr. u elektrotehnici koristiti za proračune proizvodnje i upravljanje fotonaponskim postrojenjem. Rezultati na mjernim stanicama širom Europe daju empirijske odnose zračenja, vremena i proizvodnje električne energije. U ovom radu je dan pregled modela za prividno kretanje Sunca kroz dnevnu analizu visine i azimuta Sunca, te analiza proizvodnje fotonaponskog postrojenja na krovu zgrade Visoke tehničke škole u Bjelovaru pomoću web sučelja implementacije ESRA modela za spomenutu primjenu – PVGIS (Photovoltaic Geographical Information Systems).

Ključne riječi: azimut Sunca, visina Sunca, fotonaponsko postrojenje, proizvodnja električne energije, empirijski model, PVGIS

Professional paper

Abstract: The application of the European Solar Radiation Atlas (ESRA) in daily Sun motion in sky analysis and its effects is widely spread in all engineering professions. Mathematical relations for Sun azimuth and height in specified moment, defined by date and time, can, for instance, be used in electrical engineering calculations of energy production and control of photovoltaic plants. The results obtained at measuring stations across Europe produce empirical relations between irradiation, time and electrical energy production. In this research a model of ostensible Sun movement through daily analysis of its height and azimuth, and the analysis of production of integrated photovoltaic plant on the roof of the Technical College in Bjelovar with the web interface implementation of ESRA model for specified application – PVGIS (Photovoltaic Geographical Information Systems) are presented.

Key words: Sun azimuth, Sun height, photovoltaic plant, electric energy production, empirical model, PVGIS

1. INTRODUCTION

The analysis of natural resources and hydrometeorological data bases is currently integrated in many different professions; from agricultural analyses and spatial planning to complex planning, design and exploitation of electric energy and industrial plants. Hydrometeorological data bases are stored for years and used for analyzing climate changes on Earth. The amount of data and the distribution of measuring stations ensure highly accurate results and conclusions regarding the changes that arise from pollution. Scientific research in areas in which a rapid increase in the quality of planning, design and resources exploitation has been noticed could not have been based on statistical data from the past because such data did not exist. Therefore, such research is orientated towards the existing data infrastructure that is available, namely the hydrometeorological data in the first place.

One of the approaches to collecting, analyzing and generating universal sets of open type results is ESRA [1], which is completely adapted to implementation by users who are not fully competent in the area whose results they use. Being integrated as a complete software solution, ESRA involves a basic measuring data base and various type displays of directly or indirectly calculated results. For the calculation of these results various existing and well-known models were made and checked.

2. THE EUROPEAN SOLAR RADIATION ATLAS

The zone covered by the ESRA data base is limited to the area of Europe 30° in the east to 70° in the west, as well as from 25° do 75° in the north. The main research area is Europe. Figure 1 represents the research area in the canonical projection with x-y coordinates.



Figure 1. Data coverage area in ESRA

The entire research generated two fundamental results: data base and ESRA software package. The data base consists of results collected in the period between 1.1.1981 and 31.12.1990 from measuring stations distributed across the whole observed area, especially densely in Switzerland.

According to the measuring results digitalized maps of the transparency factors were made, based on which maps of overall, dispersed and direct irradiation were made. Maps were made in the 10x10 km² raster, and the reference point is positioned in its center. The input data for making digital maps of various characteristics of a chosen location are geographical position, height above mean sea level, overall, dispersed and direct solar irradiation, transparency factor, biomass growth factors and various types of general data such as borders and names of states etc. The other set of data refers to parameters that are not available at all measuring stations, i.e. the number of sun hours, total irradiation, Ångström coefficients a_m and b_m , environment temperature, air pressure, humidity and amount of precipitation. Spatial analysis was carried out and the results were presented using several different models for the calculation of spatial characteristics in the environment of a selected location.

The available sets of data are shown in several different formats, but for some measuring stations not all formats are available. Detailed hydrometeorological data measured at 90 measuring stations are available in daily values, whereas six measuring stations measured them in hours and one station in half-hour periods. Monthly values are available for a large number of measuring stations distributed across Europe and its surroundings. Monthly mean values of the number of sun hours are, for instance, available from 695 measuring stations.

The use of the ESRA software is adapted to many different professional and implementations. It provides engineers and architects with the possibility of gaining insight into solar resources at required locations for the purpose of dimensioning the equipment, producing energy, ensuring available resources for buildings etc. Another user group refers to agronomists, foresters, landscape and town planners who require various hydrometeorological data such as air temperature, air humidity, precipitation amounts etc. A special user group includes researchers involved in various research types, e.g. for scientific causes in photovoltaic production of electric energy and climate research and education.

Furthermore, ESRA is frequently used as an additional source of data in professions whose needs are not directly related to these data, but require them for more detailed processing of other significant topics, e.g. in politics and journalism. An example of such implementation is the PVGIS software that, based on network data bases, assesses the possibilities of photovoltaic plant production on various locations in Europe.

3. OSTENSIBLE SUN MOVEMENT MODELING

Ostensible Sun movement modeling, observed from a certain location, is derived from geometrical relations between Earth and Sun and time periods in which movements take place. Linear models take into account ideal movement trajectories, but do not present the accurate relation between bodies, i.e. parameters that describe that movement.

The time of sunrise and sunset is always equally distant from noon if it is defined that noon is the moment in which Sun passes over the meridian that goes along a defined location. Thereby it is clearly defined that this is valid for every location λ and its referential λ_{st} . Furthermore, all locations observed in this way that are situated on a particular meridian will have the same noon and the time of sunrise and sunset. However, the conventional time measurement is adapted to more practical forms for everyday usage that especially refer to time zones in intervals of one full hour, which is called *civil time* and is marked with t_{mj} . If input data are set in civil time, it is necessary to translate them to time defined by ostensible Sun movement observed from a defined location using the equation (1), which is called *solar time* and is marked with t_s . Summer and winter time calculation is taken into account by means of the additional constant C . Time correlation Δt_v , shown in figure 2, represents non-linearity in geometrical relations between Earth and Sun.

$$t_s = t_{mj} + \Delta t_v + \frac{\lambda - \lambda_{st}}{15} - C [h] \tag{1}$$

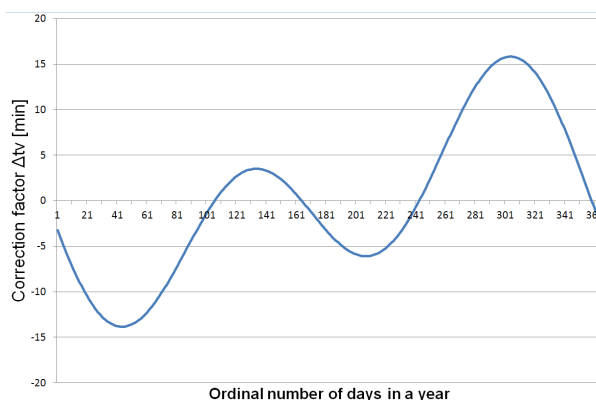


Figure 2. Equation of time according to the ESRA model

The imperfection of the Earth movement trajectory around Sun and the position of rotation axis relative to this trajectory alter relative geometrical relations,

depending on the position of Earth on the trajectory. The angle distance of the line passing through the center of Earth and the center of Sun from the equator is called declination. Declination determines the Sun height at noon for a given location. During summer declination is positive, so in the northern hemisphere Sun has a larger angle height at noon than the annual mean value, while during winter declination is negative, so Sun is lower than the annual mean value.

By knowing the latitude φ , Sun hour ω and declination δ the mathematical position of Sun's center in the sky may be calculated using azimuth angles and the height. Sun's height γ_s is the angle between the horizontal plane in the observation position and the line that connects Sun's center and the observation point. The value is calculated by the equation (2). Sun's azimuth α_s is shown referentially towards south where it amounts to 0° , and towards north across east in negative values to -180° and across west in positive values $+180^\circ$. The value is calculated by equations (3) and (4).

$$\gamma_s = \sin^{-1}(\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega) \quad (2)$$

$$\cos \alpha_s = \frac{\sin \varphi \cdot \sin \gamma_s - \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \gamma_s} \quad (3)$$

$$\sin \alpha_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos \gamma_s} \quad (4)$$

4. ESRA MODEL RESULTS

The realization of the ESRA model of Sun movement was carried out in MS Office Excel. Input data consist of geographical coordinates of the observed location and the date and time for which Sun's position in the sky is calculated. Based on these data Sun's height (figures 3 and 5) and Sun's azimuth (figures 4 and 6) may be calculated at any given moment.

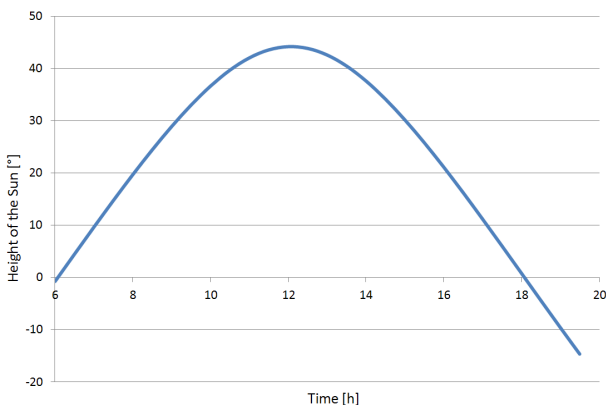


Figure 3. An example of Sun's height calculation results on 21st March 2012

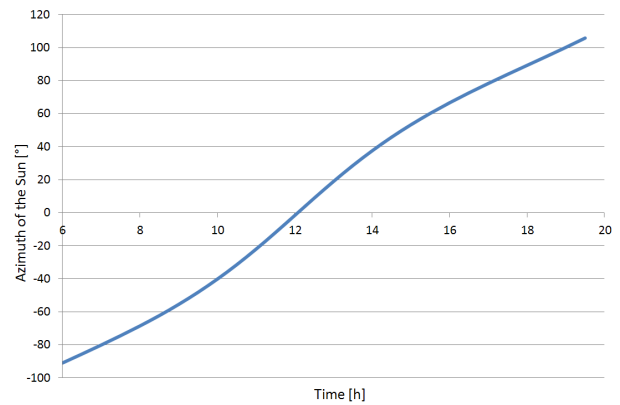


Figure 4. An example of Sun's azimuth calculation results on 21st March 2012

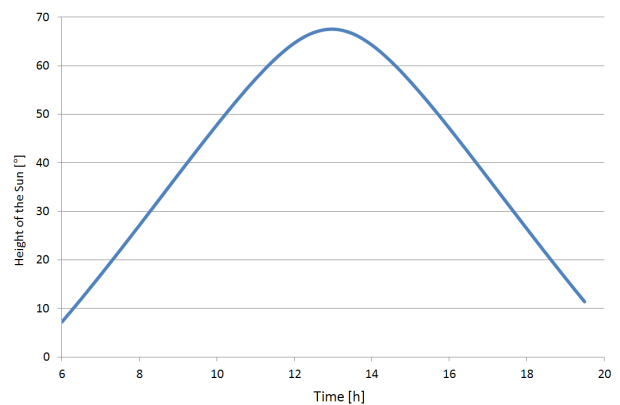


Figure 5. An example of Sun's height calculation results on 21st June 2012

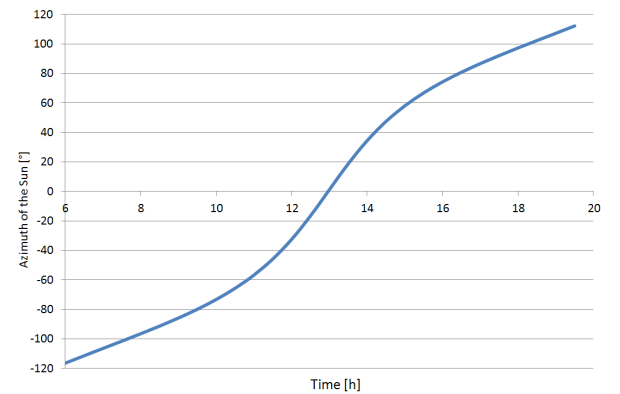


Figure 6. An example of Sun's azimuth calculation results on 21st June 2012

On the example of spring equinox and summer solstice differences in the Sun's trajectory in the sky on various days in the year may be noticed. Winter days have significantly lower daily amplitude of Sun's height than the summer ones. Due to the equal appearance of the daily diagram of Sun's height, this fact results in later sunrise and earlier sunset in winter than in summer.

Such analyses are also the foundation for more complex calculations, e.g. using conventional analytical models for calculating electric energy production at photovoltaic plants. The mathematical model that derives from [1] is PVGIS [2], shown in figure 7, which uses measurement results and empirical relations from the very measuring stations that are described in [1].

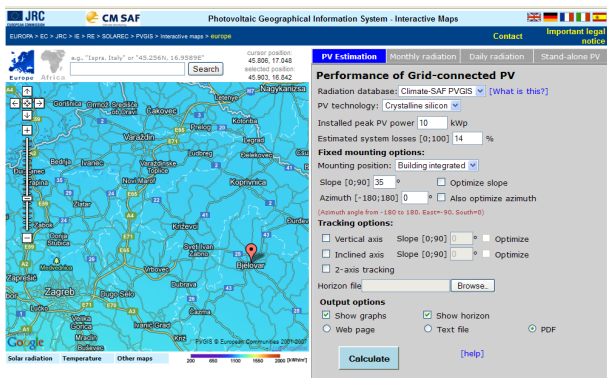


Figure 7. On-line PVGIS interface

The location of the photovoltaic plant on the building of the Technical College in Bjelovar (location 45°54'9" in the north 16°50'31" in the east, [3]) has the maximum installed power amounting to 10 kW. An example of monthly results of individual modeling of PVGIS electric energy production shown in table 1 refers to the production within an average day in the month (E_d) and the average total monthly production, (E_m) of electric energy by the photovoltaic plant. Apart from the energy results, data related to the average monthly irradiation onto the horizontal (H_d) and inclined plane (H_m) are generated as well. PVGIS anticipates the electric energy production in average months for various operating modes, as shown in figure 8, and in an average year, as shown in table 2. The optimum parameters of this photovoltaic plant are empirical data generated from PVGIS network data bases, and are different for various operating modes. Thus, the orientation optimum for the fix operating mode refers to azimuth amounting to -1° and inclination amounting to 34° , whereas at directing the azimuth the optimum inclination amounts to 53° .

Table 1. The production of electric energy by a photovoltaic plant in the fix operating mode ($-1^\circ, 34^\circ$)

	E_d / kWh	E_m / kWh	H_d / kWh/m ²	H_m / kWh/m ²
January	13.30	413	1.68	52.2
February	23.30	652	3.00	83.9
March	31.50	977	4.22	131
April	38.10	1140	5.25	158
May	42.20	1310	6.00	186
June	42.40	1270	6.08	182
July	43.10	1340	6.19	192
August	41.10	1270	5.94	184
September	33.50	1010	4.69	141
October	25.90	803	3.51	109
November	16.00	479	2.02	60.7
December	11.30	351	1.40	43.5
average month	30.20	918	4.17	127

Tabela 2. Annual electric energy production by a photovoltaic plant for various operating modes

	Fix [kWh]	Azimuth [kWh]	Inclination [kWh]	Biaxial [kWh]
year	11000	14900	14900	15200

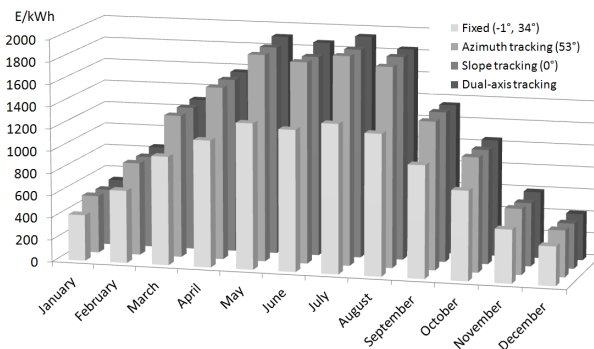


Figure 8. Comparison of modeled productions according to PVGIS for various operating modes

From the obtained results it may be concluded that the largest contribution in the energy produced by a photovoltaic plant is achieved by implementing the shift routing as opposed to the fix operating mode. The gain obtained by implementing biaxial directing is insignificant, so it is economically unacceptable.

5. CONCLUSION

Empirical mathematical model derived from measurement results at measuring stations across Europe are used for modeling purposes in all areas of engineering. Although they do are not subject to strict mathematical relations, i.e. they have no specified relations between all parameters, a certain accuracy of results obtained by such models may be expected due to measured data bases. The PVGIS model that arises from measurement results at measuring stations in Europe is frequently used in modeling photovoltaic plants. The results are taken as general and describe the actual state quite well.

5. REFERENCES

- [1] K. Scharmer, J. Greif: The European solar radiation atlas Vol. 1: Fundamentals and maps, *Les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2000.*
- [2] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- [3] <https://maps.google.hr/>

Contact:
 Technical College in Bjelovar
 Trg Eugena Kvaternika 4, Bjelovar

Stjepan Capan, (former student)
cejp.man@gmail.com

Igor Petrović, mag. ing. el.
 043 / 241 – 201, ipetrovic@vtsbj.hr

Ivana Jurković, lecturer
ijurkovic@vtsbj.hr

THE COMPARISON OF USING VARIOUS TYPES OF GASEOUS FUEL IN LIME PRODUCTION

USPOREDBA KORIŠTENJA RAZLIČITE VRSTE PLINOVITOG GORIVA U PROIZVODNJI ŽIVOG VAPNA

Ante Čikić, Mihael Polenus

Review article

Abstract: In lime production drive fuel is the most significant factor in determining the price, competitiveness and sustainability of a product on the market. The comparison and analysis of partial or total usage of synthetic gas obtained by wood chips gasification were carried out. The technological process of lime production in the Maerz furnace was described, and fundamental technical and economic parameters of using and/or substituting natural and synthetic gas were graphically and analytically presented. The impact of price alterations and distance radius related to the supply of wood chips on annual drive fuel costs was analyzed. The reduction in annual drive fuel costs by using synthetic gas was quantified. A full analysis of the applicability of wood chips gasification plant from the aspect of technical and technological conditions, cost-effectiveness, sustainability and ecological effectiveness within a concrete lime production process is required.

Key words: lime, Maerz furnace, natural gas, synthetic gas, cost-effectiveness.

Pregledni rad

Sažetak: U proizvodnji živog vapna pogonsko gorivo je najutjecajniji faktor u formiranju cijene, konkurentnosti i održivosti proizvoda na tržištu. Uspoređeno je i analizirano djelomično ili potpuno korištenje sintetičkog plina dobivenog rasplinjavanjem drvene sječke. Opisan je tehnološki proces proizvodnje živog vapna u Maerzovoj peći, te su grafički i analitički prikazani osnovni tehnički i ekonomski parametri korištenja i/ili supstitucije prirodnog i sintetičkog plina. Analizirani su utjecaji promjene cijena i polumjera udaljenosti dobave drvene sječke na godišnje troškove pogonskog goriva. Kvantificirano je smanjenje godišnjih troškova pogonskog goriva primjenom sintetičkog plina. Nužna je cjelovita analiza primjenjivosti postrojenja za rasplinjavanje drvene sječke s aspekta tehničkih i tehnoloških uvjeta, ekonomičnosti, održivosti i ekološke učinkovitosti u konkretnoj proizvodnji živog vapna.

Ključne riječi: živo vapno, Maerzova peć, prirodni plin, sintetički plin, ekonomičnost

1. INTRODUCTION

The main raw material for lime production is limestone with the density amounting to around 2600 – 2750 kg/m³ and the percentage of CaO amounting to 30 – 55 %. In technological processing lime granulation of 40 – 80 mm with low humidity, below 2 %, is usually used. During lime production, gaseous fuel is combusted in a furnace of a suitable capacity in direct contact with the raw material at the temperature between 850 °C and 1050 °C. The average thermal energy consumption for the production of 1 ton of lime ranges between 960 kWh and 1050 kWh, i.e. between 99.8 m³ and 109.1 m³ of natural gas, whose mean lower heat of combustion amounts to 9.6222 kWh/m³ [1]. The block diagram of lime production process is shown in figure 1. Due to the price increase of natural gas and the fact that its percentage in the output price of a mass unit of lime is increasing, which significantly affects the competitiveness on the

market, the possibility of using gaseous fuel obtained from renewable biomass has been looked into. For the purpose of cost reduction and the sustainability of the plant whose nominal capacity amounts to around 200 t/day of lime, the comparison and analysis of partial or total usage of synthetic gas obtained by wood chips gasification were carried out.

2. TECHNOLOGICAL PROCESS OF LIME PRODUCTION

The technological process of lime production is shown in the schematic in figure 2. [1]. The stone is transported from the warehouse to the sieve, after which the stone with granulation amounting to 40-80 mm is transported onto scales, and then by an adapted inclined transport to the Maerz furnace filling system.

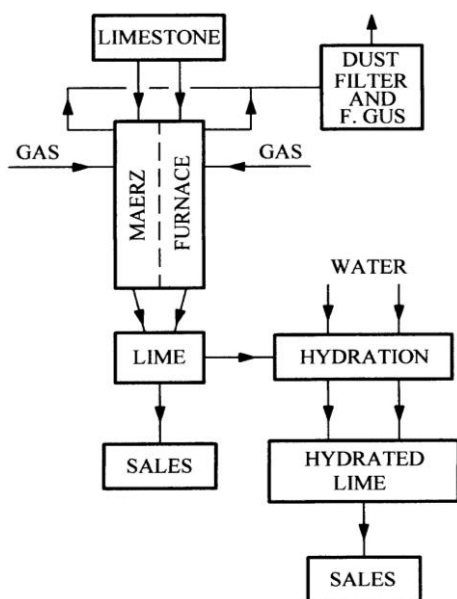
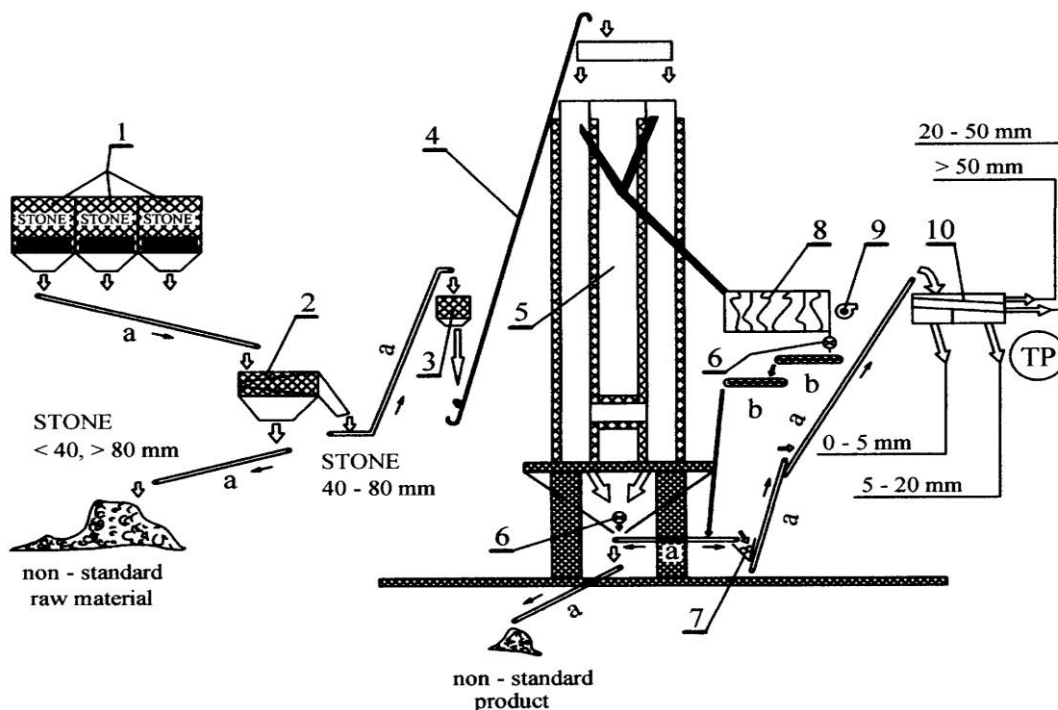


Figure 1. Block diagram of lime production

The stone (raw material) with granulation amounting to below 40 mm and above 80 mm is removed from the technological process. Through the infeed hopper and two distribution flaps, shaft 1 and shaft 2 of the Maerz furnace (figure 3) are interchangeably fed. At the top of shaft 1 and shaft 2 there are 15 burners per shaft. Directly above the gaseous fuel inlet the combustion air is fed in the combustion zone. The maximum thermal effectiveness of the Maerz furnace amounts to $Q_{MF} = 6.29$ MWh for the production of around 200 tons of lime in a single day [1]. By means of simultaneous filling of the shaft with stone and combustion of gaseous fuel and movement of the raw material and burning gases in the same direction, the contribution is made to the quality of stone baking and high efficiency of the process. Lime calcining finishes at the height of the connection channel between shaft 1 and shaft 2 at the temperature of around 1100 °C. The obtained heat is not completely used for lime calcining.



- 1. Stone warehouse 2. Stone sieve 3. Scales 4. Transporter 5. Maerz two-shaft furnace
- 6. Dosing feeder 7. Lime mill 8. Dust and flue gas filter 9. Dedusting ventilator
- 10. Primary lime sieve a – belt conveyors b – worm conveyors
- TP – Further technological processing

Figure 2. The technological process of lime production

Therefore, through the opening of each shaft fresh air is blown in, which cools the lime from the active shaft. The mixture of air and combusted gases with the temperature of around 1000 °C flows through the connection channel from shaft 1 into shaft 2, where the total amount of air with the cooled gas mixture is used for the protection of burners from dust and overheating (shaft 2), as well as for pre-heating the stone inserted in

shaft 2, whereat the combustion air in shaft 2 is pre-heated to around 700 °C. Operation reversion of each shaft depends on the finishing of limestone calcining process, i.e. leaving a certain amount of lime at the bottom of the furnace. During the reversion time the shaft (1 or 2), that is entered by a mixture of combustion products and air, is filled by a certain amount of stone that is pre-heated and the process is interchangeably

repeated. The height of the pre-heating zone amounts to between 3 m and 5 m, the height of the active combustion zone amounts to 6.3 m, and the height of the cooling zone amounts to 4.4 m. According to practical experience, in vertical shafts 1 or 2 the lime production process in the active shaft lasts between 8 and 15 minutes, depending on the stone type, whereas reversion lasts around 1 minute. Shafts 1 and 2 are interchangeably filled with stone, and lime is constantly emptied from the bottom of both shafts. Depending on the given capacity, the mass of the dosed stone amount is constant. The change in capacity depends on the combustion duration time and the number of dosing a stone amount in a single hour. After milling, lime is transported to be graded through the primary sieve, and then to the final technological processing.

The operating pressure of gaseous fuel amounts to 400mbar, whereas the operating pressure of the combustion air and fresh air for cooling within regulation boundaries amounts to between 350 mbar and 400 mbar. The output gases with the maximum temperature of 160 °C are purified by bag filters before being released to atmosphere. Due to high thermal load, furnace walls are coated with high-quality brick and additional insulation material.

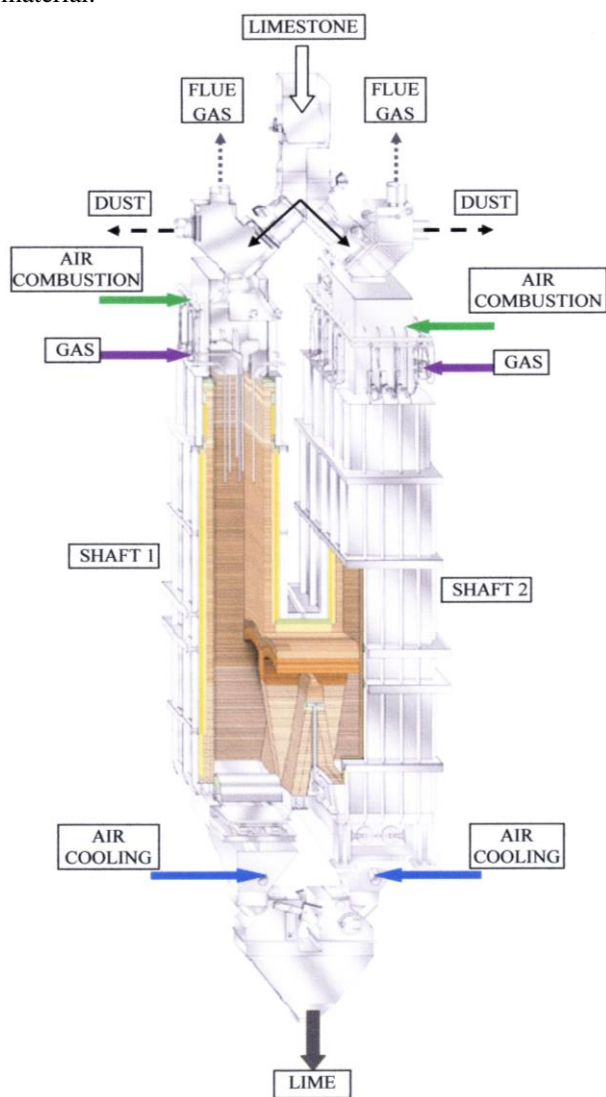


Figure 3. The scheme of Maerz furnace [1]

2.1 Production parameters – natural gas

The quantified values of annual lime production and energy balance at the combustion of natural gas in the Maerz furnace are shown in table 1.

Table 1. Annual lime production and energy balance – natural gas

Description	Values
Lime production m_l , t/a	56160
Natural gas consumption V_{NG} , m ³ /a	5724770
Average thermal effectiveness of natural gas, kWh/m ³	9.62
Average lower heat of combustion of natural gas $H_{d,NG}$, MJ/m ³	34.64
Overall thermal effectiveness, kWh	55084812
Consumed energy, MJ	198306033
Consumed energy, MJ/t, lime	3531,3
Price of natural gas, €/m ³	0.416
Overall cost of natural gas, €/a	2381504

The average daily production during one year amounts to around $m_{l,d} = 153.86$ t/day, which is around 23 % less than the maximum nominal capacity of the Maerz furnace. Due to equipment and assembly maintenance, a lower number of working hours per year of the Maerz furnace is possible, which conditions the oscillation of daily capacities to the maximum value in individual time intervals. The consumption of natural gas (NG) and synthetic gas (SG) is determined by the following relation:

$$V_{NG(SG)} = \frac{Q_{MF}}{H_{d(NG,SG)}} \quad \text{m}^3/\text{h}. \quad (1)$$

The annual consumption of natural gas (NG) or synthetic gas (SG) is determined by the following equation:

$$V_{NG(SG),a} = V_{NG(SG)} \cdot 8760 \quad \text{m}^3/\text{a}. \quad (2)$$

3. SYNTHETIC GAS FROM RENEWABLE BIOMASS

By means of gasification, solid biomass (wood chips) is transformed into combustible synthetic or reactor gas applicable for combustion in furnaces or gas device plants. It is estimated that by means of gasification a single mass unit of woods chips with moisture of up to 20 % results in around 90 % of synthetic gas and around 10 % of ash/charcoal.

The main phases in the gasification process are: drying of wood chips at the temperature of around 200 °C, oxygen-free pyrolysis up to the temperature of 500 °C, followed by reduction and oxidation at temperatures between 900 °C and 1200 °C. The basic components of the obtained synthetic (reactor) gas are: CH₄, CO, H₂, CO₂, N₂ and negligible amounts of ethane and propane.

The amount of each synthetic gas component depends on the temperature and pressures at which the process develops and on the type and structure of biomass. Due to the presence of harmful substances (nitrogen and sulphur compounds, tar...), synthetic gas is purified after the gasification, and especially to a high degree of purity if it is used for direct combustion in the furnace [2, 3, 4].

Although technological procedures are continuously developed and upgraded, the most frequently used procedure is biomass gasification in the fluidized layer and in the updraft fixed bed gasifier (figure 4a.) and downdraft fixed bed gasifier (figure 4b.) [3, 5, 6].

In the updraft fixed bed gasifier it is possible to carry out the gasification of biomass (wood chips) sized between 5 mm and 100 mm with moisture amounting to 50 %. In downdraft fixed bed gasifiers the gasification of biomass (wood chips) uniformly sized between 20 mm and 100 mm with moisture amounting up to the maximum of 20 % is carried out. The minimum thermal effectiveness of the reactor amounts 10 kW, and the maximum one, depending on the construction, between 10 MW and 20 MW. In downdraft fixed bed gasifiers pyrolysis products pass through a hot gasification zone of charcoal, which contributes to the significant reduction in the tar percentage in the reactor gas. In this case, if the reactor gas is used for internal combustion engine drive, the gas purification plants are simpler and cheaper [3, 5, 6, 7].

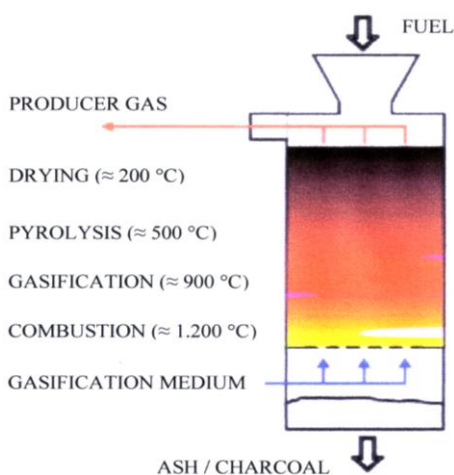


Figure 4a. Diagram of the updraft fixed bed gasifier

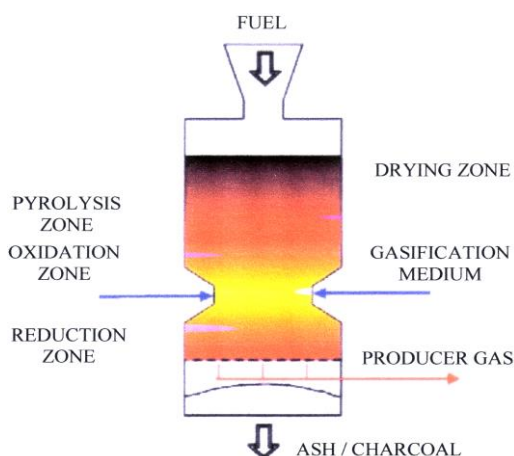


Figure 4b. Diagram of downdraft fixed bed gasifier

3.1 Synthetic gas characteristic

The chemical composition of reactor (synthetic) gas from biomass (wood chips) with average percentages of individual components is shown in table 2.

Table 2. The chemical composition of synthetic (reactor) gas from biomass (wood chips)

Component	Average volume proportion, %	Volume proportion, % (calculation)	Lower heat of combustion, H_d , MJ/m ³
CH ₄	1.5 – 2.5	2.5	35.7
CO	18 – 24	22	12.6
H ₂	14 – 17	16	10.79
CO ₂	10 – 11	10.5	0.0
N ₂	45 – 52	49	0.0

The lower heat of combustion of the reactor (synthetic) gas is determined according to the following relation:

$$H_{d,SG} = 0,025 \cdot H_{d,CH_4} + 0,22 \cdot H_{d,CO} + 0,16 \cdot H_{d,H_2} \quad (3)$$

In a concrete case the calculated lower heat of combustion of the reactor (synthetic) gas amounts to $H_{d,SG} = 5.3909 \text{ MJ/m}^3 \approx 5.4 \text{ MJ/m}^3$. At the reactor exit synthetic gas with the temperature of around 600 °C cools up to the maximum temperature of 50 °C. For its cooling from around 600 °C to 50 °C, 717.86 kJ/kg of heat is consumed at the mean synthetic gas temperature $c_{p,SG} = 1.3052 \text{ kJ/kg.K}$. By means of a compressor at a suitable operating preset pressure the cooled synthetic gas enters into the combustion zone in the Maerz furnace.

3.2 Characteristic of biomass – wood chips

It is difficult to determine the composition of the produced wood chips according to wood types. They are of various energetic values that significantly depend on moisture content per mass unit. The moisture content in the produced wood chips mass m_S ranges between $u = 20 \%$ and $u = 50 \%$. From the absolutely dry wood chips mass unit – atro mass (m_{atro}) of all wooden remnants around $q_E = 5.2 \text{ kWh/kg}$ of thermal energy is obtained. The assessment of the thermal effect Q_E of biomass – wood chips m_{WC} of any moisture is determined by the following relation:

$$Q_E = m_{WC} \cdot \left(1 - \frac{u}{100}\right) \cdot q_E \quad \text{kWh.} \quad (4)$$

According to (4), from 1 ton of wood chips of the average moisture content $u = 35 \%$ around $Q_{E,35} = 3380 \text{ kWh}$ is obtained, while from 1 ton of wood chips of the average moisture content $u = 20 \%$ around $Q_{E,20} = 4160 \text{ kWh}$ of thermal energy is obtained. Heat of combustion of wood chips with $u = 20 \%$ amounts to $H_{dC,20} = 14976 \text{ kJ/kg}$, while regarding wood chips with $u = 35 \%$ it amounts to $H_{dC,35} = 12168 \text{ kJ/kg}$ [8, 9].

Wood chips mass m_{WC} with moisture content $u = 35 \%$ for gasification (f_i – wood chips mass gasification

content = 0.9) and the synthetic gas production m_{SG} is determined according to the following relation:

$$m_{WC} = \frac{m_{SG}}{f_i} \cdot \frac{H_{dC,20}}{H_{dC,35}} \quad \text{kg/h.} \quad (5)$$

Synthetic gas mass is defined by the following equation:

$$m_{SG} = V_{SG} \cdot \rho_{SG} \quad \text{kg/h,} \quad (6)$$

whereat synthetic gas density amounts to $\rho_{SG} = 0.9517 \text{ kg/m}^3$ at the temperature of around $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.3 Calculation values – synthetic gas

Calculation values of full substitution of natural gas by synthetic gas obtained by gasification of wood chips with moisture content amounting to $u = 35 \%$ for the annual lime production $m_v = 56160$ tons are shown in table 3.

Table 3. Annual lime production – synthetic gas, calculation values

Description	Values
Lime production m_l , t/a	56160
Synthetic gas consumption V_{SG} , m^3/h	4193
Synthetic gas consumption V_{SG} , m^3/a	36733133
Average lower heat of combustion of synthetic gas $H_{d,SG}$, MJ/m^3	5.4
Synthetic gas density ρ_{SG} , kg/m^3	0.9517
Synthetic gas mass m_{SG} , kg/h	3990.7
Synthetic gas mass m_{SG} , kg/a	34958923
Average lower heat of combustion of wood chips H_{dC} , kJ/kg	12168
Bulk density of w. chips ρ_{BDC} , kg/m^3	330
Wood chips gasification content f_i	0.9

Wood chips mass m_{ws} , kg/h	5454
Wood chips mass m_{ws} , kg/day	130896
Wood chips mass m_{ws} , t/a	47777
Wood chips volume V_{VC} , m^3/h	16.53
Wood chips volume V_{VC} , m^3/day	396.7
* Wood chips volume V_{VC} , m^3/a	123955

*Volume is reduced by the warehouse capacity of wood chips conditioned by a one-day transport discontinuation in each week during the year.

4. COMPARISON AND ANALYSIS OF RESULTS

The diagram in figure 5 represents the quantified values with different substitution contents of natural gas by synthetic gas obtained by wood chips gasification with humidity content amounting to $u = 35 \%$ for the annual lime production in Maerz furnace.

For the average purchase price of 1 m^3 of natural gas $C_{NG} = 0.416 \text{ €}$, i.e. the average price of 1 kg of natural gas $C_{av,NG} = 0.5546 \text{ €}$ ($\rho_{NG} = 0.75 \text{ kg}/\text{m}^3$) and the average purchase price of prepared wood chips to the distance radius from the location of synthetic gas consumption of around 50 km $C_{WC} = 40 \text{ €}/\text{ton}$, the graphs in figure 6 comparatively present the costs for various substitution relations of natural gas by synthetic gas.

For using synthetic gas obtained by wood chips gasification the construction of a suitable plant with a biomass warehouse in the vicinity of lime production is required. Around 11.2 kg of wood chips with moisture content amounting to $u = 35 \%$ is necessary for the gasification and obtaining of synthetic gas for the substitution of 1 kg of natural gas. By full natural gas substitution ($H_{d,NG} = 34.64 \text{ MJ}/\text{m}^3$) by synthetic gas ($H_{d,SG} = 5.40 \text{ MJ}/\text{m}^3$) drive fuel costs are reduced by approximately 20% at annual production of 56160 tons of lime in the Maerz furnace.

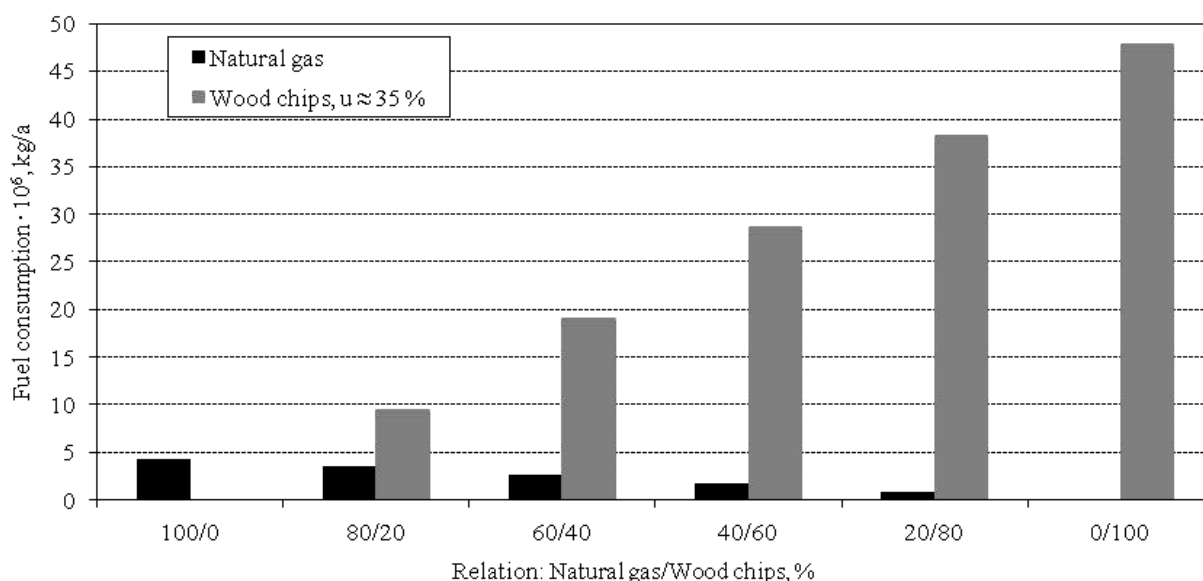


Figure 5. Natural gas substitution by synthetic gas from wood chips

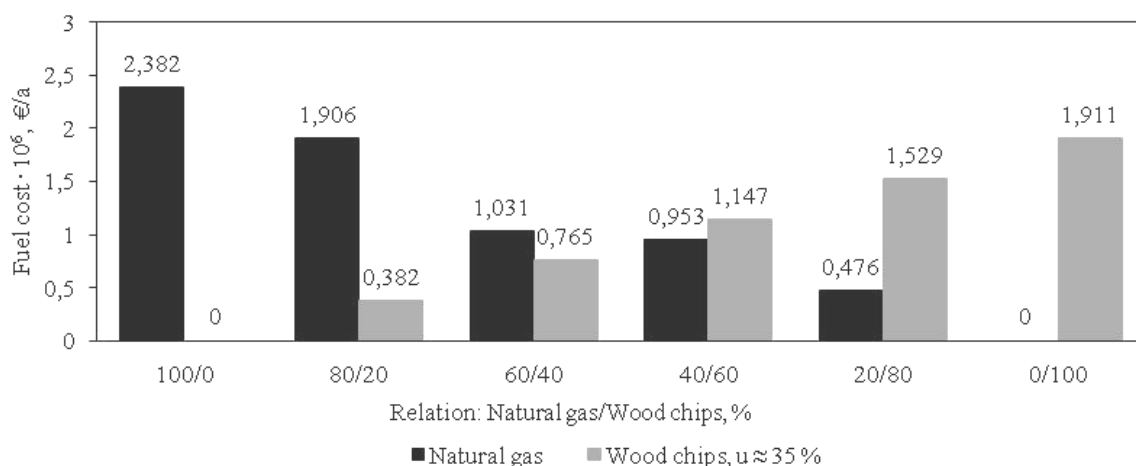


Figure 6. Annual costs of drive fuel for various relations between natural and synthetic gas

By reducing the price of wood chips of the aforementioned technical characteristics by approximately 25 % ($C_{WC} = 40$ €/ton) and the supply radius to the maximum distance of 30 km from the gasification plant and usage of synthetic gas, the annual drive fuel costs in lime production are reduced by 40 % at full natural gas substitution. At a natural gas price higher by around 10 % than the stated value and its full substitution by synthetic gas from wood chips supplied from a maximum distance of 50 km from the Maerz furnace, the annual drive fuel costs would reduce by approximately 27 %, and if wood chips were supplied from the distance radius of 30 km, the annual costs would reduce by around 45 %.

The substitution proportion of natural gas by synthetic gas depends on a range of significant parameters. A greater content of synthetic gas results in the increased cost-effectiveness of lime production in the overall annual fuel consumption.

5. CONCLUSION

The cost-effectiveness of lime production of a higher annual capacity (56160 tons) in the Maerz furnace depends on the drive fuel price. Due to the price increase of natural gas and influence on the competitiveness of a lime mass unit, the comparison and analysis of partial or total usage of synthetic gas obtained by wood chips gasification were carried out. The technological process of lime production in the Maerz furnace was described, and basic technical and economical parameters of the usage and/or substitution of natural and synthetic gas were presented. The influence of price alterations and the wood chips supply distance radius on annual drive fuel costs was analyzed. According to the current unit process of natural gas and wood chips, the application of synthetic gas would reduce the annual drive fuel costs in lime production in the Maerz furnace by around 20 % up to maximally 45 %. The justifiability of substituting natural gas by synthetic gas depends on a range of technical, economical and ecological parameters. It is recommendable to observe the technical and technological conditions and characteristics of the biomass gasification plant in detail, as well as its

applicability, sustainability and ecological effectiveness in a concrete lime production process.

6. LITERATURE

- [1] Manual for use and maintenance, Maerz Ofenbau AG, Zurich, Switzerland, 2003.
- [2] Caputo, A. C., Palumbo, M., Pelagagge, P., M., Scacchia, F.: Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 28, Issue 1, January 2005., Pages 35 – 51.
- [3] Kirubakaran, V., Sivaramakrishnan, V., Nalini, R., Sekar, T., Premalatha, M., Subramanian, P.: A review on gasification of biomass, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, Issue 1, January 2009., Pages 179 – 186.
- [4] Hanoaka, T., Inoue, S., Uno, S., Ogi, T., Minowa, T.: Effect of wood biomass components on air – steam gasification, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 28, Issue 1, January 2005., Pages 69 – 76.
- [5] Zainal, Z., A., Rifau, A., Quadir, G., A., Seciharamu, K., N.: Experimental investigation of a downdraft biomass gasifier, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 23, Issue 4, October 2002., Pages 283 – 289.
- [6] Devi, L., Ptasinski, K., J., Janssen, F., J., G.: A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 24, Issue 2, February 2003., Pages 125 – 140.
- [7] <http://www.ashden.org/biomass-gasification>
- [8] Čikić, A., Kondić, Ž.: *Osnove mehaničkih operacija*, Visoka tehnička škola u Bjelovaru, Bjelovar 2012.
- [9] Labudović, B. i suradnici: *Osnove primjene biomase*, Energetika marketing, Zagreb, 2012.

Contact data:

Ante Čikić, PhD, Assistant Professor
 Technical College in Bjelovar
 Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
acikic@vtsbj.hr
Mihael Polenus (former student)
 Technical College in Bjelovar

PRIMJENA REL ZAVARIVANJA U IZRADI ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

APPLICATION OF SMAW PROCESS IN THE CONSTRUCTION OF STEEL STRUCTURES

Marko Horvat, Marijan Bilić, Veljko Kondić

Stručni članak

Sažetak: Ovaj rad govori o osnovama ručnog elektrolučnog postupka zavarivanja, o njegovoj primjeni, prednostima i nedostacima. Prikazani su parametri koji utječu na proces zavarivanja ovim postupkom, zatim dodatni materijali i na kraju osvrt na tehnološki samog postupka.

Ključne riječi: REL zavarivanje, ekonomičnost, kvaliteta

Professional paper

Abstract: This paper presents the theoretical basis of manual arc welding process, its application together with its advantages and disadvantages. The paper gives an overview of basic and influential parameters this procedure has on the welding process, the review of additional materials, and the review of the procedure's technologicality.

Key words: SMAW process, cost efficiency, quality

1. UVOD

Ručno elektrolučno zavarivanje (REL, slika 1. i 2.), eng. SMAW (Shielded Metal Arc Welding; MMA – Manual Metal Arc; MMAW – Manual Metal Arc Welding; Stick Welding), je najstariji elektrolučni postupak zavarivanja. Iako je električni luk istraživao već početkom 19. stoljeća (1800. g. Davy; 1802. Petrov) REL se prvi put javlja 1882. u varijanti s ugljenom elektrodom (N.N. Bernardos). Godine 1888. N.S. Slavjanov predlaže elektrolučni postupak zavarivanja s metalnom elektrodom da bi 1907. Oscar Kjellberg patentirao obloženu elektrodu. Isprva se obložena elektroda proizvodila uranjanjem gole žice u otopinu minerala, a nakon primjene procesa ekstrudiranja u izradi obloženih elektroda (1936.) obložene elektrode cijenom postaju pristupačne. Tako ovaj postupak zavarivanja postaje najznačajniji postupak zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija. Dodatnu popularnost postupak dobiva i automatiziranom varijantom (1938. K.K. Madsen) koja je primjenjivana u japanskim brodogradilištima (gravitacijsko zavarivanje). S mjesta najčešće primjenjivog postupka zavarivanja potiskuje ga razvoj mehaniziranih postupaka zavarivanja te automatizacija i robotizacija procesa zavarivanja koja se javlja u drugoj polovici 20. stoljeća.

Bez obzira na to, REL zavarivanje i danas ima važno mjesto u proizvodnji zavarenih konstrukcija i pokazuje se kao tehnološko rješenje ako je riječ o izvođenju kraćih zavara, o pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, reparaturnom zavarivanju, zavarivanju u otežanim uvjetima rada itd. Ne osporavajući nepobitne prednosti i pogodnosti koje je donijela automatizacija i robotizacija u zavarivanju, u radu se navode primjeri tehnološke

primjene REL postupka zavarivanja koji je ujedno bio temelj za razvoj ostalih elektrolučnih postupaka. [1, 2, 3, 4]

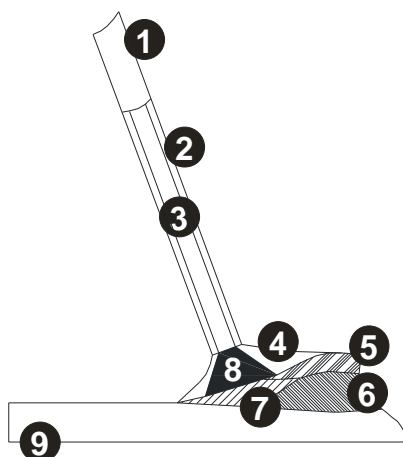


Slika 1. REL zavarivanje [5]

2. OSNOVE REL POSTUPKA ZAVARIVANJA

Kod ovog elektrolučnog postupka zavarivanja električni luk se uspostavlja kratkim spojem između elektrode (ona je ujedno i dodatni materijal) i radnog komada. Taljenjem jezgre i obloge elektrode stvara se odgovarajuća količina rastaljenog materijala, troske i plinova. Tekuća troska prekriva metalnu kap za vrijeme prolaza kapi kroz električni luk, a dodatnu zaštitu metalne kapi tvore plinovi koji nastaju disocijacijom komponenata obloge. Obloga se tali od unutarnje strane prema vanjskoj, tako da se na vrhu elektrode stvara

krater koji usmjerava struju plinova i kapi rastaljenog metala i troske prema rastaljenom osnovnom materijalu. Hlađenjem se tekući metal skrućuje, a sloj troske koji ga prekriva regulira njegovu brzinu ohlađivanja, a samim tim utječe na tijek i uvjete kristalizacije. Ravnomjernim "dodavanjem" elektrode u električni luk od strane zavarivača te njenim poprečnim gibanjem (bilo pravolinijskim kretanjem ili drugim propisanim kretanjem) na mjestu zavarivanja, nastaje zavareni spoj. Poprečno gibanje elektrode (okomito na smjer gibanja) utječe na oblik zavarenog spoja (širinu) i na količinu unesene topline u radni komad (osnovni materijal).



Slika 2. Shematski prikaz REL zavarivanja: 1 – obložena elektroda; 2 – obloga; 3 – žica; 4 – zaštitni plinovi; 5 – troska; 6 – metal zavara; 7 – rastaljeni materijal; 8 – električni luk; 9 – osnovni materijal

Uspostavljanje električnog luka provodi se kresanjem (povlačenjem elektrode) ili dodiranjem (kratkim spojem) uz odmak elektrode nakon uspostavljanja električnog luka. Prekid električnog luka izvodi se podizanjem elektrode iznad kraja zavarenog spoja ili prelaskom luka na skrnutu trosku. Nepravilno izvođenje uspostave i prekida električnog luka može izazvati pogreške u zavarenim spojevima zbog slabije zaštite mjesta zavara u tom trenutku. Najčešća mjesta pogrešaka kod ove vrste elektrolučnog zavarivanja su mjesta izvođenja nastavka zavarenog spoja. Ako se nastavak spoja izvodi uspostavom električnog luka na mjestu kratera završetka prethodnog prolaza, vjerojatnost nastanka poroznosti u spoju je velika. Pravilno izvođenje nastavka spoja izvodi se uspostavom luka na stranici žlijeba, prije završnog kratera na već položenom sloju ili ispred završnog kratera uz pomak elektrode u smjeru prethodnog spoja. [1, 2, 3]

3. PRIMJENA REL POSTUPKA ZAVARIVANJA

REL postupak zavarivanja ima široku primjenu. Najčešće se koristi kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metalnih materijala. Ipak, zbog ekonomičnosti (male brzine zavarivanja i relativno male količine depozita u jedinici vremena) primjenjuje se za izvođenje kraćih zavara ne

preko debljina većih od 15 mm kod sučeonih zavarenih spojeva te kod kraćih kutnih spojeva manje debljine zavara gdje nije potrebna pojačana penetracija u samom korijenu zavara.

Prednosti REL postupka zavarivanja:

- širok spektar dodatnih materijala
- mala cijena opreme za zavarivanje u odnosu na MIG/MAG i EP postupke zavarivanja
- pogodan za manja proizvodna i reparaturna zavarivanja
- mogućnost zavarivanja u svim položajima
- pogodan za izvođenje terenskih radova
- jednostavno rukovanje opremom
- dobra mehanička svojstva zavarenih spojeva

Nedostaci REL postupka zavarivanja:

- mala brzina zavarivanja i niska produktivnost u odnosu na MIG/MAG i EP postupke zavarivanja
- kvaliteta zavarenog spoja značajno ovisi o vještinama zavarivača
- vrijeme izobrazbe zavarivača je relativno dugo
- neizbježan otpad elektrode ("čik" – 8-10%)
- gubitak materijala zbog prskanja
- gubitak vremena zbog čišćenja troske
- nastajanje štetnih plinova i jakog bljeskanja prilikom zavarivanja
- dugotrajan rad ostavlja štetne posljedice na zdravlje zavarivača [1, 2, 3]

4. PARAMETRI ZAVARIVANJA I OSTALI UTJECAJNI FAKTORI KOD REL-a

Osnovni parametri i utjecajni faktori kod REL postupka zavarivanja su:

- jakost struje
- polaritet i vrsta struje
- brzina zavarivanja
- nagib elektrode i dužina električnog luka
- poprečna kretanja elektrode (njihanje)
- uspostava i prekid električnog luka
- položaj zavarivanja

Jakost struje zavarivanja ovisi o promjeru i tipu elektrode, vrsti spoja, debljini osnovnog materijala te o položaju zavarivanja. Povećanjem dimenzija elektrode raste i jakost struje zavarivanja (zbog potrebne veće količine topline za taljenje elektrode). Jakost struje raste s rastom točke taljenja obloge elektrode. Izbor jakosti struje također ovisi o vrsti elektrode i njene produktivnosti (visokoproduktivne elektrode trebaju veću jakost struje od onih s normalnim stupnjem iskorištenja). Kod ovog postupka zavarivanja najčešće vrijednosti struje iznose od 30 do 40 A × d – promjer [mm], odnosno 10% - 20% manje vrijednosti struje ako se radi o prisilnim položajima zavarivanja.

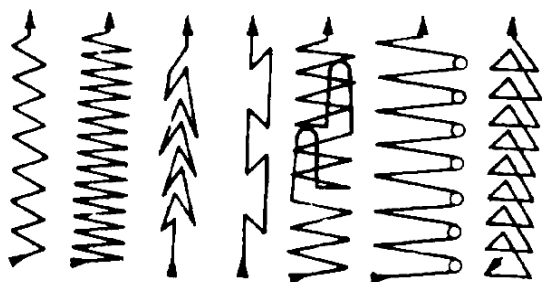
Struja zavarivanja ovisi o vrsti, odnosno oblozi elektrode kojom se zavaruje. Vrsta, polaritet i jakost struje obično se odabire prema preporuci proizvođača.

Pogrešno odabrana vrsta i polaritet struje zavarivanja može uzrokovati pogreške u zavarenom spoju (najčešće poroznost), lošu stabilnost električnog luka i pojavu povećanog prskanja. Preporučuje se da se za elektrode s bazičnom oblogom koriste istosmjerni izvori struje za zavarivanje (elektroda na + polu), dok većina ostalih elektroda može koristiti i izmjenične izvore struje za zavarivanje.

Ovisno o tehnici rada (eventualnim poprečnim kretanjima elektrode), vrsti i dimenzijama spoja, vrsti osnovnog i dodatnog materijala, jakosti struje i vrsti elektrode, ovisi i brzina zavarivanja. Također se brzina zavarivanja odabire i prema dopuštenoj količini topline koja se unosi u osnovni materijal. Tako se npr. spojevi na korozijski postojanim visokolegiranim čelicima zapravo izvode većim brzinama kako bi unos topline bio što manji i da bi se spriječile neželjene mikrostrukturne pojave koje kasnije mogu biti inicijator korozijskih procesa. Općenito, rutilno i kiselo obloženim elektrodama moguće je postići veće brzine zavarivanja u usporedbi s bazičnim elektrodama.

Nagib elektrode, dužina, (visina) električnog luka i penetracija međusobno su zavisne veličine. Većim nagibom elektrode postiže se duži električni luk (nije poželjno jer se smanjuje zagrijavanje i taljenje osnovnog materijala, zaštita taline je mala, a gubitak materijala zbog štrcanja veliki), dok kraći električni luk ima veću snagu, a time i veću penetraciju. Propisana dužina električnog luka kod kiselih i rutilnih elektroda najčešće je jednaka promjeru elektrode, dok se kod bazičnih elektroda uzima vrijednost polovice promjera elektrode. Pri zavarivanju u prisilnim položajima pravilnim nagibom elektrode zadržava se talina i na taj način se utječe na sam oblik zavarenog spoja.

Poprečna gibanja elektrode (gibanja okomita na smjer zavarivanja – njihanje) utječu na oblik zavarenog spoja i na unos topline u osnovni materijal. Odabir načina kretanja elektrode ovisi o radnim uvjetima i zahtjevima zavarenog spoja. Neka od mogućih poprečnih kretanja elektrode prikazana su na slici 3. [1, 2, 3]



Slika 3. Moguća poprečna kretanja elektrode [2]

5. KARAKTERISTIKE I ULOGA DODATNOG MATERIJALA

U postupku ručnog elektrolučnog zavarivanja primjenjuju se obložene elektrode. Obložene elektrode sastoje se od metalne jezgre (šipka, žica) i obloge (slika 4.).



Slika 4. Obložene elektrode za REL zavarivanje [6]

U proizvodnji elektroda za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika najčešće se upotrebljava vučena žica od niskougljičnog čelika (max 0,1% C, udio P i S što manji), a sva potrebna legiranja su iz obloge. Kod elektroda za visokolegirane čelike upotrebljava se žica kemijskog sastava koji odgovara sastavu zavarenog spoja. Kod ovih elektroda legiranje iz obloge je minimalno.

Funkcija obloge elektrode je višestruka, a kemijski sastav obloge sastoji se iz više komponenata:

- komponente za stabilizaciju električnog luka (materijali koji snižavaju prosječni potencijal ionizacije para metala – materijali prve i druge grupe periodnog sustava elemenata: npr. kalijev i natrijev karbonat)
- komponente koje stvaraju trosku (materijali koji omogućuju nastajanje troske za vrijeme taljenja elektrode: npr. oksid, rude različitih elemenata)
- komponente za stvaranje plinova (elementi koji stvaraju zaštitne plinove: npr. organski karbonati, celuloza)
- komponente za legiranje i dezoksidaciju (metalne komponente za nadomjestak legiranih elemenata, metalne komponente s velikim afinitetom za spajanje s kisikom pri čemu nastali oksidi odlaze u trosku)
- vezivne komponente

Funkcija obloge se najčešće dijeli na:

- električnu funkciju
- metaluršku funkciju
- fizikalnu funkciju

Zadaća električne funkcije obloge elektrode je laka uspostava električnog luka te stabilnost istog. Stabilnost električnom luku daje ionizirana atmosfera između vrha elektrode i osnovnog materijala. Problem stabilnosti električnog luka kod REL-a osobito dolazi do izražaja ako se radi s izmjeničnim strujama. U tom slučaju mijenja se smjer struje i luk gasi na početku svake poluperiode. U trenutku gašenja luka pada temperatura što izaziva i rekombinaciju plinova u stupu luka. Također, snižava se temperatura katode i anode. Prethodno spomenuti materijali koji snižavaju prosječni potencijal ionizacije omogućuju lako ponovno paljenje električnog luka.

Metalurška funkcija obloge elektrode ima trostruku zadaću: legiranje, otplinjavanje i rafinacija. Metalurško djelovanje nastaje taljenjem obloge. Intenzitet i smjer metalurškog djelovanja najviše ovisi o bazičnosti troske koja je određena odnosom kiselih i bazičnih komponenata iste, što je pak posljedica oksida različitih elemenata od čega se troska sastoji. S obzirom na vrstu oksida koji sudjeluju kao komponente troske, bazičnost troske (bazicitet) može se izračunati, a na temelju

dobivenih vrijednosti određuje se kakvoća troske (bazična, kisela ili neutralna). Podatak o bazičnosti troske vrlo je važan jer izravno utječe na mehanička svojstva zavarenog spoja. Isto tako, bazičnost troske povoljno utječe i na proces legiranja metala zavara preko obloge, tj. olakšava ulazak legirnog elementa u metal zavara. Pri tome je važno znati da su elementi koji sudjeluju u legiranju najčešće oni koji se teško vežu s kisikom. Suprotno tome, elementi s jakim afinitetom vezivanja s kisikom teško ulaze u metal zavara, ali aktivno sudjeluju u procesu dezoksidacije (otplinjavanja). Funkcija rafinacije je uklanjanje sumpora i fosfora iz taline, tj. iz metala zavara. I ovaj proces je povezan s bazičnošću elektrode: što je troska bazičnija, to će i udio ovih elemenata biti manji, tj. veća količina primjesa iz taline prelazi u trosku.

Obloga elektrode ima zaštitnu funkciju. Troska nastala taljenjem obloge elektrode obavlja kapljice rastaljenog materijala i tako sprečava kontakt rastaljenog materijala s dušikom, kisikom i vodikom iz zraka za vrijeme prolaza kapljica kroz električni luk. Istu funkciju troska ima i kada stvori zaštitni "film" na metalu zavara, s time da ujedno i smanjuje njegovu brzinu ohlađivanja pa tako u znatnoj mjeri povoljno utječe na tijek kristalizacije zavarenog spoja u smislu boljih mehaničkih svojstava. Kemijskim sastavom obloge utječe se i na viskozitet te na napetost površine rastaljenih kapljica. Ova fizikalna funkcija obloge omogućava izvođenje zavarivanja u različitim prostornim položajima (npr. zavarivanje u prisilnim položajima). [1, 2, 3]

Obložene elektrode za REL zavarivanje dijele se:

- a) Prema tipu obloge:
 - a. oksidne
 - b. rutilne
 - c. kisele
 - d. bazične
 - e. celulozne
 - f. drugi tipovi
- b) Prema namjeni:
 - a. za zavarivanje
 - b. za navarivanje
 - c. za žlijebljenje i rezanje
- c) Prema tehnološkim svojstvima:
 - a. duboko penetrirajuće
 - b. visokoproduktivne
 - c. specijalne
- d) Prema debljini obloge:
 - a. tanko obložene
 - b. srednje obložene
 - c. debelo obložene
- e) Prema vrsti osnovnog materijala:
 - a. za nelegirane i niskolegirane čelike
 - b. za visokolegirane čelike
 - c. za zavarivanje sivog lijeva
 - d. za zavarivanje obojenih metala
- f) Prema dimenzijama

6. UREĐAJI I OPREMA ZA REL ZAVARIVANJE

Oprema za REL zavarivanje sastoji se od izvora struje za zavarivanje, vodiča, držača elektrode, stezaljke za masu te zaštitnih sredstava i pomoćnog ručnog alata.

Izbor struje za zavarivanje ovisi o vrsti elektrode za zavarivanje, tj. o specifikacijama proizvođača. Najbolje je koristiti izvor struje sa strmopadajućom statičkom karakteristikom koja omogućava malu promjenu jačine struje zavarivanja ovisno o promjeni dužine električnog luka. Ova karakteristika je vrlo važna kod svih elektrolučnih postupaka gdje visina električnog luka ovisi o zavarivaču i njegovim vještinama. S obzirom na dodatni materijal, moguće je koristiti izvore struje za zavarivanje koji daju izmjeničnu i istosmjernu struju s potrebnim parametrima zavarivanja. Zahvaljujući tome da su danas po cijeni vrlo prihvatljivi, u radioničkim i industrijskim uvjetima rada prevladavaju invertorski uređaji. Invertorski uređaji su izvori struje za zavarivanje malih dimenzija koji izmjeničnu struju gradske mreže pretvaraju u pulzirajuću istosmjernu struju koja se potom na oscilatoru pretvara u visokonaponsku izmjeničnu struju frekvencije i do 30 kHz. Takva struja se transformira na potreban napon zavarivanja i ispravlja se diodama. Takvom istosmjernom strujom moguće je raditi sa svim vrstama elektroda, a pol se odabire prema preporukama proizvođača. Izmjenični izvori struje za zavarivanje danas se samo koriste kao "hobby" uređaji. [1, 2, 3, 4]

7. ŽLIJEBLJENJE I OBLICI SPOJEVA

Oblikovanje žlijeba kod čeličnih konstrukcija je uz odabir elektrode i jačinu struje jedan od najvažnijih parametara kod izrade čeličnih konstrukcija. Oblik i dimenzije žlijeba ne ovise samo o debljini materijala nego i o pristupačnosti korijenu, sprečavanju pojave kapljevina, o deformacijama zavarenog spoja i utrošku dodatnog materijala.

Za limove tanje od 2 mm koristi se najčešće rubni spoj, a priprema se savijanjem rubova. "I" žlijeb se koristi za debljine od 3 do 5 mm, priprema je ravan rez materijala, a "V" žlijeb se koristi za debljine do 15 (20) mm, s nagibom žlijeba 60 °. Razmak u korijenu prilagođava se načinu izvođenja korijenskog prolaza, uvjetima zavarivanja, vrsti i dimenzijama elektrode te mogućnosti nastanka deformacija. Za materijale većih debljina koristi se "Y" i "X" (dvostruki "V") žlijeb. Na odabir žljebova utječu moguće pogreške u korijenskom prolazu i popuni te potrošnja dodatnog materijala. [1, 2, 3, 4]

8. TEHNOLOGIČNOST PRIMJENE REL ZAVARIVANJA U IZRADI ČELIČNIH KONSTRUKCIJA

Tehnološki zavarivani proizvodi obuhvaćaju troškove izrade zavarenog proizvoda, kvalitetu i pouzdanost te ekološke aspekte izrade zavarenog proizvoda (minimalan utrošak energije i materijala, mogućnost recikliranja i ekološkog zbrinjavanja proizvoda itd.).

Troškovi izrade zavarenog proizvoda mogu se razmatrati sa stajališta glavnih troškova izrade (oprema, energija,

dotadni materijal, plaća operatera) i vremena potrebnog za izradu zavarenog proizvoda ili konstrukcije. Ukupno trajanje zavarivanja sastoji se od pripremno-završnog vremena i glavnog vremena (vrijeme zavarivanja). Kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje pripremno-završno vrijeme ima značajan utjecaj u ukupnom vremenu zavarivanja, dok kod serijske proizvodnje to vrijeme može iznositi samo 2 % ukupnog vremena zavarivanja. Faktori koji utječu na pripremno-završno i glavno vrijeme kod zavarivanja su tehnološki i organizacijski. Kod pripremno-završnog vremena najčešće su to složenost konstrukcije, oprema za zavarivanje, ponovljivost radova, organizacija radnog mjesta, mjesto izvođenja zavarivačkih radova itd. Faktori koji utječu na osnovno ili tehnološko (glavno) vrijeme zavarivanja su vrsta i debljina osnovnog materija, vrsta i priprema žlijeba, redosljed spajanja, prostorni položaj šava, položaj zavarivača prilikom izvođenja zavarivanja, tip i dimenzije elektrode itd. Kod primjene celuloznog tipa obložene elektrode može se primijeniti silazna tehnika zavarivanja i na taj način se postiže bolja produktivnost i smanjenje tehnološkog vremena zavarivanja. Na slici 5. je prikazano REL zavarivanje čeličnih plinovodnih cijevi silaznom tehnikom, uz primjenu celuloznog tipa elektrode.



Slika 5. REL zavarivanje cjevovoda celuloznom elektrodom (silazna tehnika)

Kod REL postupka zavarivanja pripremno-završno vrijeme je kraće u odnosu na automatska i robotska zavarivanja, što dolazi do izražaja kao osnovna prednost kod kraćih zavara na relativno tanjim limovima i pojedinačne, odnosno maloserijske proizvodnje. U suprotnom slučaju prednost je na automatskom i robotiziranom zavarivanju (robotizirano zavarivanje kod fleksibilnih proizvodnih programa i serijske proizvodnje, dok automatski postupci zavarivanja dolaze do punog izražaja kod velikoserijske proizvodnje i kada se traži visoka učinkovitost zavarivanja s obzirom na količinu depozita i/ili brzinu zavarivanja). Dakle, kod profesionalnih i industrijskih zavarivanja i serijske proizvodnje REL postupak zavarivanja je skup i spor. Iako se pripremno-završno vrijeme može svesti na minimum, pomoćna vremena (zamjena elektroda, pregledi i čišćenje rubova, čišćenje troske itd.) koja sudjeluju u ukupnom vremenu procesa zavarivanja su velika što daje lošu produktivnost. Isto tako, količina depozita (količina dodatnog materijala u kg/h) je i

višestruko puta manja nego kod nekih drugih postupaka elektrodučnog zavarivanja (npr.: REL - elektroda Ø3,25 - 1,5 kg/h; MAG PPŽ - žica Ø1,2 – 6 kg/h). Uz to, obuka zavarivača je dugotrajna i skupa. Ipak, mala pripremno-završna vremena, jednostavna oprema, univerzalnost postupka te veliki spektar dodatnog materijala daju potpunu opravdanost izbora REL zavarivanja u većini slučajeva pojedinačne (komadne) proizvodnje, a osobito u slučajevima reparaturnog zavarivanja i navarivanja. [1, 2, 3, 4]

9. ZAKLJUČAK

Iako je od prve primjene ručnog elektrodučnog postupka zavarivanja prošlo više od 130 godina, ovaj postupak, uz neke manje modifikacije te uz njegovu pravilnu primjenu, upotrebljava se i danas. Osnove procesa ostale su iste, a modifikacije su posljedica razvoja dodatnih materijala i/ili opreme (najčešće se to odnosi na razvoj izvora struje za zavarivanje). Pod pravilnom primjenom smatra se odabir REL zavarivanja u uvjetima kada je ekonomičan i tehnološki. Ekonomičnost procesa se utvrđuje računskim simulacijama u skladu s potrebama konstrukcija (izračuni na osnovi složenosti konstrukcije, veličinu serije itd.). Na ekonomičnost procesa utječu cijena opreme i cijena dodatnih materijala (elektroda). Tehnologičnost postupka opravdana je mogućnošću primjene REL postupka zavarivanja na gotovo svim metalnim materijalima i njegovim legurama, laka prilagodljivost na specifične i otežane uvjete rada, višestruka namjena procesa (zavarivanje, navarivanje, žlijebljenje i rezanje), dostupnost opreme i dodatnih materijala, jednostavna primjena u terenskim uvjetima, kvaliteta zavarenog spoja itd. Bez obzira na neke veće nedostatke samog postupka, sigurno je da će REL zavarivanje i dalje imati široku primjenu kao važan način zavarivanja i navarivanja istorodnih i raznorodnih metalnih materijala.

10. LITERATURA

- [1] Kralj, S.; Andrić, Š.: Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1992.
- [2] Lukačević, Z.: Zavarivanje, Strojarski fakultet – Slavonski Brod, Slavonski Brod, 1998.
- [3] Priručnik za zavarivanje, Elektroda Zagreb, Zagreb 1987.
- [4] Inženjersko tehnički priručnik – Zavarivanje I, II, III, IV, Biblioteka tehničke literature, Beograd, 1979.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Shielded_metal_arc_welding (Dostupno 02.05.2013.)
- [6] <http://www.harrisweldingsupplies.com/e6011-stick-electrodes-332-5lbs.aspx> (Dostupno 02.05.2013.)

Kontakt autora:

Marko Horvat, dipl. ing.

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33

42000 Varaždin

e-mail: marko.horvat@velv.hr

Marijan Bilić (student)

Visoka tehnička škola u Bjelovaru

Trg Eugena Kvaternika 4

43000 Bjelovar

Veljko Kondić, ing.

Preloška 1a

42000 Varaždin

e-mail: veckon@hi.t-com.hr

RAZVOJ INJEKCIJSKI PREŠANE POLIMERNE SPAJALICE

DEVELOPMENT OF INJECTION MOULDED POLYMER CLIP

Božo Bujanić, Saša Vurušić

Pregledni rad

Sažetak: Razvoj novog polimernog proizvoda u izravnoj je ovisnosti o karakteristikama proizvodnog procesa i karakteristikama materijala proizvoda. Veliki broj različitih polimera čini razvojni proces jako složenim. U radu će za razvoj polimerne spajalice biti korišteni CAE alati. Tijekom razvojnog procesa posebna pozornost bit će pridana izboru vrste polimera. Također će biti simulirano punjenje kalupne šupljine da bi se izbjegli potencijalni problemi pri injekcijskom prešanju. Rezultati dobiveni simulacijom bit će korišteni za optimiranje spajalice, konstruiranje kalupa i za optimiranje parametara preradbe poput tlaka ubrizgavanja, temperature stijenke kalupne šupljine itd.

Ključne riječi: injekcijsko prešanje, polimer, razvoj, simulacija, spajalica

Review article

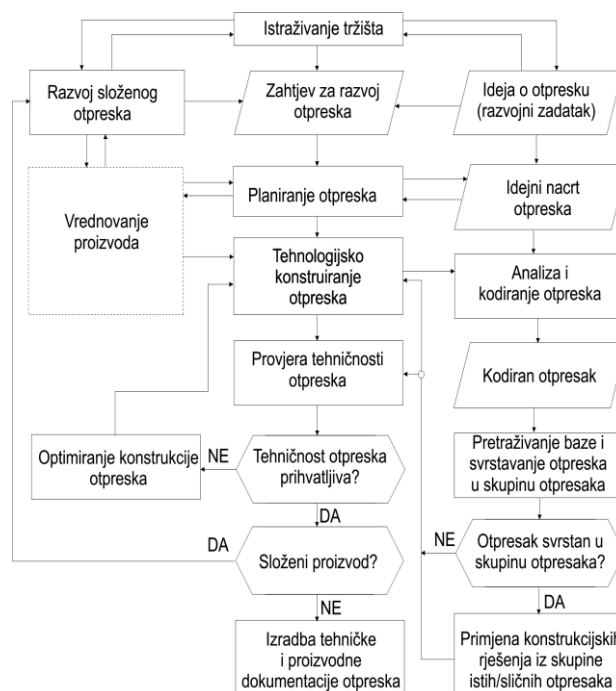
Abstract: The development of a new polymer product directly depends on the characteristics of a production process and characteristics of the material. Large number of different types of polymers make the development process very complex. In this paper, CAE tools will be used for the new plastic paper clip development. During the development process special attention will be paid to the choice of the polymer material. Also, simulation of injection moulding will be conducted in order to avoid potential injection moulding problems. The results gained from the simulation will be used for the optimization of the paper clip, for the mould design and for optimization of processing parameters, e.g. injection pressure, mould cavity wall temperature, etc.

Key words: clip, development, injection moulding, polymer, simulation

1. UVOD

Razvoj novog proizvoda počinje fazom istraživanja i planiranja razvoja. U toj se fazi na temelju zahtjeva kupaca, analize tržišta ili drugih kriterija utvrđuje potreba za proizvodnjom određenog proizvoda i formulira se zahtjev za razvojem proizvoda. [1] Prema zakonitostima metodičkog konstruiranja, u početnoj fazi konstruiranja proizvoda treba definirati ukupnu i parcijalne funkcije proizvoda. [2, 3] Pri svakom razvoju novog proizvoda treba imati na umu da oko 75% svih grešaka na proizvodima nastaje tijekom njihova razvoja. U toj je fazi njihovo uklanjanje najjeftinije i najbezbolnije. S druge strane analize pokazuju da se 80% svih grešaka otkrije i uklanja tek tijekom proizvodnje, kontrole kvalitete i upotrebe proizvoda. Uklanjanje grešaka u tim fazama uvijek je skuplje. [1] Slika 1. prikazuje shemu razvoja injekcijski prešanih polimernih otpresaka. [4]

Središnju fazu konstruiranja ponajviše karakterizira visoka uzajamna povezanost triju glavnih aktivnosti: oblikovanja, dimenzioniranja i izbora materijala. Zbog interaktivnosti između faza, izvođenje nema čvrsti sekvencijski tok. Također u toj je fazi, zbog potrebe za visokim stupnjem sinteze i interaktivnosti, pomoć računala nezaobilazna. [5]



Slika 1. Shema razvoja injekcijski prešanih proizvoda [4]

2. TEHNOLOGIJSKO KONSTRUIRANJE SPAJALICE

2.1. Analiza zahtjeva na spajalicu

Proces tehnološkog konstruiranja počinje analizom zahtjeva koje spajalica mora ispunjavati. Najvažniji zahtjevi na funkcionalnost, proizvodljivost, ergonomiju i estetiku razmatrani su istodobno i ovisno. Njihov utjecaj na izgled spajalice vidi se na slici 2. Oblik i veličina spajalice mora omogućiti pridržavanje do 20 komada listova papira veličine A4 ili manje, dati se proizvoditi postupkom injekcijskog prešanja, biti lagana i sigurna za upotrebu, mora lijepo izgledati i ujedno služiti kao promocija *Veleučilišta u Varaždinu*.



Slika 2. Idejna skica spajalice


2.2. Izbor materijala

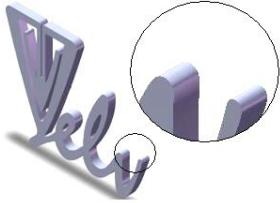


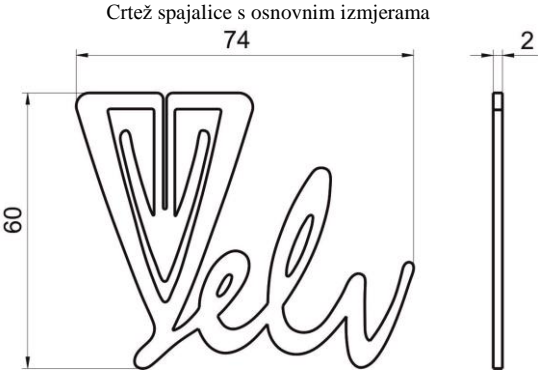
Kao materijal odabran je poliamid 6 proizvođača *BASF* trgovačkog naziva *Ultrad B3S* (PA6) zbog svojih mehaničkih svojstava i dostupnosti na tržištu. Najvažnije mehaničko svojstvo odabranog materijala je njegova žilavost i visoka otpornost na krhki lom. Za izbor materijala korištena je baza materijala *CAMPUS*.

2.3. Oblikovanje spajalice

Za oblikovanje spajalice primijenjeni su programski paketi *Adobe Flash CS4* i *SolidWorks 2007*. Postupak modeliranja prikazan je u tabeli 1. Prilikom modeliranja u obzir su uzeti svi zahtjevi postavljeni na spajalicu.

Tabela 1. Postupak modeliranja spajalice

<p>1. Crtanje izgleda spajalice, ispunjavanje zahtjeva funkcionalnosti, ergonomije i estetike (<i>Adobe Flash CS4</i>)</p>	
--	---

<p>2. Modeliranje osnovnog oblika, ispunjavanje zahtjeva funkcionalnosti, ergonomije i estetike (<i>SolidWorks 2007</i>)</p>	
<p>3. Modeliranje radijusa, ispunjavanje zahtjeva proizvodljivosti, ergonomije i estetike (<i>SolidWorks 2007</i>)</p>	
<p>4. Modeliranje skošenja stijenki, ispunjavanje zahtjeva proizvodljivosti (<i>SolidWorks 2007</i>)</p>	
<p>Crtež spajalice s osnovnim izmjerama</p> 	

2.4. Provjera tehničnosti spajalice

Pri provjeri tehničnosti spajalice uzeti su u obzir pretpostavljeni uvjeti preradbe. Za to su upotrijebljene analitičke i numeričke metode u obliku programskog paketa za simulaciju injekcijskog prešanja. Provjera tehničnosti započeta je izračunom vremena hlađenja otpreska. Spajalica se može promatrati kao pločasti otpresak debljine 2 mm. Podaci potrebni za proračun vremena hlađenja otpreska su:

- karakteristična izmjera otpreska $s_0 = 2$ mm
- koeficijent oblika (ploča) $K_0 = 1$
- koeficijent unutrašnjosti $K_{U2} = 8/\pi^2$
- temperatura taljevine $T_T = 533$ K (260 °C)
- temperatura stijenke kalupne šupljine $T_K = 343$ K (70 °C)
- temperatura postojanosti oblika $T_{PO} = 373$ K (100 °C)
- efektivna toplinska difuznost poliamida $a_{ef} = 6,2 \cdot 10^{-8}$ m²/s

$$\bar{t}_h = \frac{s_o^2}{K_O \cdot a_{ef} \cdot \pi^2} \cdot \ln \left[K_{U2} \cdot \frac{T_T - T_K}{\bar{T}_{PO} - T_K} \right] = 10,7 \text{ s} \quad [1]$$

Simulacija punjenja kalupne šupljine načinjena je u programskom paketu *Mold Adviser*. Najvažniji ulazni parametri simulacije bili su: polimer – *Ultramid B3S*, temperatura taljevine $T_T = 533 \text{ K}$ (260 °C) i temperatura stijenke kalupne šupljine $T_K = 343 \text{ K}$ (70 °C). Rezultati simulacije prikazani su na slikama 3-9. U prvom dijelu analiziran je optimalan položaj ušća, dok se u drugom dijelu simulacije analizirao utjecaj položaja ušća na temperaturu čela taljevine, tlak u kalupnoj šupljini i potrebno vrijeme popunjavanja kalupne šupljine. Od ostalih rezultata dobivenih simulacijom potrebno je istaknuti vrijeme hlađenja koje je iznosilo 6,2 sekunde.



Slika 3. Analiza optimalnog položaja ušća



Slika 4. Vrijeme ubrizgavanja za položaj ušća I



Slika 5. Vrijeme ubrizgavanja za položaj ušća II



Slika 6. Temperatura čela taljevine za položaj ušća I



Slika 7. Temperatura čela taljevine za položaj ušća II



Slika 8. Tlak u kalupnoj šupljini za položaj ušća I



Slika 9. Tlak u kalupnoj šupljini za položaj ušća II

U drugom dijelu optimiranja razmatran je utjecaj različitih temperatura plastomerne taljevine i temperatura stijenke kalupne šupljine na vrijeme ubrizgavanja otpreska i tlak u kalupnoj šupljini. Rezultati za temperaturu taljevine $T_T = 523 \text{ K}$ ($250 \text{ }^\circ\text{C}$) i temperaturu stijenke kalupne šupljine $T_K = 333 \text{ K}$ ($60 \text{ }^\circ\text{C}$) prikazani su slikama 10 i 11.



Slika 10. Vrijeme ubrizgavanja – parametri simulacije II



Slika 11. Tlak u kalupnoj šupljini – parametri simulacije II

3. REZULTATI I RASPRAVA

Analizom zahtjeva koje polimerna spajalica mora ispuniti utvrđene su osnovne smjernice za tehnologijsko konstruiranje. Odabran je materijal iz grupe poliamida, za koji se očekuje da optimalno ispuni mehaničke, estetske i ekonomske zahtjeve. Pri modeliranju spajalice računalo se ne samo na funkcionalne, ergonomske i estetske zahtjeve, već se spajalica konstruirala na temelju zahtjeva postupka injekcijskog prešanja. Izračunato vrijeme hlađenja otpreska i rezultat dobiven simulacijom injekcijskog prešanja nisu iste vrijednosti. Razlog tome može biti u različitim ulaznim parametrima koji se uzimaju u obzir pri svakom postupku. U analitičkom postupku nisu uzeti u obzir kanali za temperiranje, niti karakteristike medija za temperiranje, dok su ti podaci obuhvaćeni u numeričkoj metodi. Analiza optimalnog položaja ušća ponudila je nekoliko mogućih mjesta. Daljnjim istraživanjem pokazano je da položaj ušća ima značajan utjecaj na tijek punjenja kalupne šupljine. To je pokazano na primjerima potrebnog vremena ubrizgavanja, temperature čela taljevine i tlaka ubrizgavanja. Vrijeme ubrizgavanja i tlak u kalupnoj šupljini za parametre simulacije II pokazuju više vrijednosti, što ukazuje na to da je položaj ušća II nepovoljniji od položaja ušća I. Ponekad nije moguće

odabrati najbolji položaj ušća zbog npr. konstrukcijskih ograničenja kalupa za injekcijsko prešanje. U takvim slučajevima treba optimalno odrediti položaj ušća u odnosu na sve postavljene zahtjeve. Drugi dio simuliranja procesa punjenja kalupne šupljine obuhvatio je optimiranje temperatura preradbe. Snižavanje temperature taljevine i temperature stijenke kalupne šupljine za $10 \text{ }^\circ\text{C}$ uzrokovalo je povišenje potrebnog vremena ubrizgavanja na 1,6 sekundi i povišenje tlaka u kalupnoj šupljini na 45,87 MPa. Takvi rezultati su se mogli i očekivati. Međutim, snižavanje temperatura taljevine i temperature stijenke kalupne šupljine pokazalo je povišenje potrebnog vremena hlađenja otpreska od 6,87 s što nije bilo očekivano. Jedan od razloga koji to može objasniti je taj da je došlo do razvitka veće količine viskozne topline zbog više smične viskoznosti polimerne taljevine.

4. ZAKLJUČAK

Tehnologijsko konstruiranje spajalice uključilo je primjenu inženjerskih numeričkih i analitičkih alata. Modeliranje pomoću računala i dobivanje modela spajalice na računalu omogućilo je simuliranje punjenja kalupne šupljine, te optimiranje položaja ušća i parametara preradbe. Međutim, rezultati dobiveni simulacijama trebaju biti samo smjernica i ne smije im se slijepo vjerovati. Inženjeri trebaju biti ti koji donose konačne odluke na temelju rezultata simulacija, analitičkih i numeričkih izračuna i svojeg iskustva.

4. LITERATURA

- [1] Raos P., Čatić I., (1992.), *Razvoj injekcijski prešanih polimernih tvorevina*, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb
- [2] Koller R., (1976.), *Konstruktionmethode für den Maschinen Geräte und Apparatebau*, Springer Verlag, Berlin
- [3] Roth K., (1982.), *Konstruieren mit Konstruktionkatalogen*, Springer Verlag, Berlin
- [4] Bujanić B., Čatić I., Grupna tehnologija kod injekcijskog prešanja, *Polimeri* 28 (2007.), 1., 40-45
- [5] Raos P., Tehnologijsko konstruiranje u suvremenom konceptu razvoja injekcijski prešanih proizvoda, *Polimeri* 13 (1992.), 3-10

Kontakt autora:

Božo Bujanić
Šestan-Busch d.o.o.
bozo.bujanic@velv.hr

MODELIRANJE DETEKCIJE POGREŠKE U INFORMACIJSKOM SUSTAVU PRIMJENOM INFORMACIJSKE ENTROPIJE

MODELLING THE FLAW DETECTION IN AN INFORMATION SYSTEM USING INFORMATION ENTROPY

Marko Posavec, Igor Cerin, Josip Stepanić

Prethodno priopćenje

Sažetak: U članku je na principijelnoj razini postavljen model zrakoplovnog informacijsko-komunikacijskog sustava između perifernih, senzorskih jedinica i središnje, upravljačke jedinice. Numeričkom simulacijom obuhvaćena su dva karakteristična stanja modela: stanje (i) regularne dinamike i stanje (ii) neregularne dinamike. Stanja razlikuje pojava greške koja je karakterizirana po vrsti, učestalosti i relativnom intenzitetu. Prijenos podataka između elemenata sustava opisan je informacijskom entropijom. Razlika između stanja regularne i neregularne dinamike iskazana je promjenama srednje vrijednosti i standardnog odstupanja informacijske entropije. Na temelju dinamike informacijske entropije postavljenog modela izdvojena su odstupanja stanja od regularnoga koja se mogu uočiti praćenjem promjene informacijske entropije od odstupanja za koja to nije moguće provesti.

Ključne riječi: informacijsko-komunikacijski sustav zrakoplova, numerička simulacija, informacijska entropija

Preliminary communication

Abstract: The article describes the principle level of aircraft information-communication system, containing modelled peripheral or sensory unit and central or processing unit. Numerical simulation is applied onto two states of the system – states of (i) regular and (ii) irregular dynamics. The states are differentiated due to an error that is characterised by the type, rate of occurrence and relative intensity. Data transfer between system elements is described in terms of information entropy. The difference between the state of regular and the state of irregular dynamics is expressed in terms of change of average information entropy and accompanying standard deviation. Based on the dynamics of information entropy for the set model, the deviations from a regular state that can be observed using information entropy were separated from the deviations that cannot be observed using it.

Key words: aircraft information-communication system, numerical simulation, information entropy

1. UVOD

Suvremeni informacijsko-komunikacijski sustavi transportnih aviona vrlo su složeni. Sastoje se od relativno velikog broja elemenata grupiranih u više hijerarhijskih razina. Tok podataka između elemenata je stalan i propisane strukture. U takvom sustavu nalaze se trenutni i prethodni podaci o stanju svih praćenih cjelina aviona, atmosfere i ostale okoline aviona [1, 2].

Informacijsko-komunikacijski sustavi aviona validirani su prije korištenja [1]. Složenost strukture, brojnost predviđenih regularnih procesa i visoki zahtjevi na pouzdanost rada tih sustava rezultiraju izrazito temeljitom i složenom validacijom. Odstupanja od regularnog stanja, čije posljedice mogu biti katastrofalne, uobičajeno se ograničuju na vjerojatnost jedne pojave tijekom 10^9 sati leta [3, 4]. U zabilježenim odstupanjima od regularnog stanja uočeno je više uzroka.

Ovaj rad temelji se na pretpostavci da određen postotak odstupanja prati dinamika sljedećeg tipa:

odstupanja počinju kao varijacije prihvatljivih raspona, narastaju izvan dopuštenih iznosa kad nastupa detektirano neregularno stanje i provedba posebnih mjera. Za opisanu dinamiku karakteristično je određeno vrijeme narastanja odstupanja tijekom kojega se više puta bilježi stanje cjelina u kojima se odstupanje manifestira.

Za takvu dinamiku odstupanja postavljaju se dvije hipoteze: (H1) narastanje odstupanja traje više vremenskih jedinica tijekom kojih se trenutno stanje odstupanja bilježi u informacijsko-komunikacijskom sustavu aviona, te (H2) zabilježene promjene statistički značajno mijenjaju neke od statističkih mjera toka podataka u sustavu, posebno informacijsku entropiju [5]. Za odstupanja koja ne ispunjavaju hipotezu (H2) podrazumijeva se kako su relativno malih iznosa tako da ne utječu na svojstva leta. S druge strane, za odstupanja koja ne ispunjavaju hipotezu (H1) uzima se kako narastaju izrazito brzo s obzirom na vrijeme odziva informacijsko-komunikacijskog sustava i takva odstupanja nisu izravno razmatrana u ovom radu.

Cjelovita provjera hipoteza zahtijevala bi rad s realnim informacijsko-komunikacijskim sustavom aviona, odnosno pripadnim simulatorom. Za potrebe predstavljanja modela i uvođenja kriterija odlučivanja postavljen je principijelni, vrlo pojednostavljeni model informacijsko-komunikacijskog sustava. Postavljeni model sustava sastoji se od jednog izvora podataka u pripadnom kontekstu. Na tom modelu određuju se sljedeće veličine: srednja vrijednost i standardna nepouzdanost informacijske entropije i to za stanje bez odstupanja i za stanje narastajućeg odstupanja, tj. regularno, odnosno neregularno stanje.

Model je opisan u sljedećem odjeljku. Rezultati numeričke simulacije modela i diskusija o rezultatima prikazani su u trećem odjeljku. Četvrti odjeljak zaključuje rad te daje smjernice nastavka istraživanja.

2. MODEL INFORMACIJSKO-KOMUNIKACIJSKOG SUSTAVA

2.1. Polazne veličine

Model sustava sastoji se od jednog senzora, komponente za prijenos elektroničkih podataka, središnje jedinice te protokola za prijenos podataka. Senzor šalje skalarnu podatke. Niz podataka koje senzor šalje središnjoj jedinici je vremenska serija. Komponente za prijenos elektroničkih podataka uključuju moguće pretvornike (npr. analogno-digitalni pretvornik), vodiče i druge hardverske i softverske komponente. Protokol za prijenos podataka, npr. ARINC 429 [6], definira učestalost uzorkovanja podataka. Time posljedično definira i vremensku jedinicu, tj. korak kojim u središnju jedinicu pristije novi podatak. Zbog takve diskretnosti prikupljanja podataka uzima se kako je vrijeme u modelu diskretna varijabla. Zbog toga se posebno ne razlikuje vremensku jedinicu od rednog broja određenog podatka. Atmosfera u modelu sudjeluje neizravno u vidu utjecaja na iznos mjerene veličine. Zbog preciziranja pristupa uzima se kako avion leti ukupnom brzinom stalnog iznosa i horizontalnog smjera u određenoj atmosferi. Senzor je Pitotova cijev ili kombinacija Pitotove cijevi i otvora za statički tlak. Mjereni podatak je iznos brzine aviona. Zbog niza faktora koji se pritom javljaju, kako u sastavu i dinamičkim atmosferi tako i u svojstvima komponenti za prijenos elektroničkih podataka, uzima se da se brzina prikazivana na brzinomjeru nasumično, relativno malo mijenja u vremenu. Uz pretpostavku kako je broj uzroka promjene indicirane brzine relativno velik, kako su ti uzroci međusobno neovisni i kako je pojedini od njih gotovo infinitezimalno malog iznosa, slijedi da je raspodjela indiciranih brzina u koracima slučajna varijabla opisana normalnom raspodjelom kojoj je srednja brzina jednaka postavljenoj indiciranoj brzini leta, a raspon odstupanja jednak mjeri utjecaja svih uzroka promjena. Središnja jedinica se uzima implicitno, kao mjesto na kojemu se bilježe iznosi indicirane brzine, tj. podaci iz odgovarajuće vremenske

serije čime se završava komponenta za prijenos elektroničkih podataka.

Za potrebe kvantificirane, numeričke simulacije, prenošeni podatak označen je kao x . Iznos izvorne veličine, brzine leta u odnosu na atmosferu, analogna je veličina. Međutim, prema suvremenim protokolima podaci kojima se barata unutar informacijsko-komunikacijskog sustava digitalne su, dakle diskretizirane varijable. Međutim, njihova razlučivost znatno je profinjenija od razlučivosti razina varijable s kojima će se reprezentirati pojedino stanje. Vremenska serija uzastopnih iznosa podatka je $\{x_k\}$. Srednja vrijednost i pripadno standardno odstupanje vremenske serije su \bar{x} , odnosno σ_x , i uzimamo kako se te vrijednosti ne razlikuju značajno od očekivane vrijednosti i korijena varijance odgovarajuće normalne raspodjele $E(x)$, odnosno $\sigma(x)$. Iz spomenutoga slijedi da su sve razmatrane vremenske serije dovoljno reprezentativne da ih se smatra nizovima koji su isto raspodijeljeni, tako da su im veličine \bar{x} i σ_x reprezentacije odgovarajućih veličina pripadne normalne raspodjele.

Za nasumičnu varijablu x kojoj je funkcija raspodjele vjerojatnosti $p(x)$ određuje se informacijska entropija H prema izrazu [5].

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log_2 p(x) dx, \quad (1)$$

u kojemu $\log_2(\cdot)$ označava logaritam po bazi 2. Mjerna jedinica informacijske entropije je bit. Informacijska entropija u (1) je funkcional. Slijedom formuliranih pretpostavki, uzimamo da se bez značajne razlike ta entropija može izračunati za konačnu vremensku seriju $\{x_k\}$ diskretne varijable x prema izrazu

$$H = - \sum_n f_n \log_2 f_n, \quad (2)$$

pri čemu je f_n relativna frekvencija razine x_n diskretne varijable n :

$$f_n = \frac{|\{x | x \in \{x_k\} \vee x = x_n\}|}{|\{x_k\}|} \quad (3)$$

U izrazu (3) oznake $||$ u brojniku i nazivniku znače broj elemenata konačnog skupa. Zbrajanje u (2) provodi se po svim razinama varijable x . U slučaju polazno diskretne varijable x , te su razine različiti iznosi x . U slučaju polazno kontinuirane varijable x , nju je potrebno npr. diskretizirati primjenom analogno-digitalnog pretvornika, a broj razina je ovisan o razlučivosti pretvornika. Varijabli čija je razlučivost u informacijsko-komunikacijskom sustavu znatno veća od one potrebne za izvrijednjavanje entropije, prema prethodno spomenutom, također se pristupa kao efektivno-analognom varijabli. Tako se transformira u razine potrebne za određivanje entropije pa se i njoj smanjuje razlučivost. U skladu s uobičajenim konstruiranjem razina diskretne varijable raspodijeljene po normalnoj raspodjeli, iznosima kojima pripadaju relativno male vjerojatnosti (tzv. iznosima na „repovima“ raspodjele) pripisana je po jedna razina.

Za N različitih vremenskih serija $\{x_k\}_i$ ($i = 1, \dots, N$), primjenom (2) dobivaju se različiti iznosi entropije. Za

raspodjelu entropije $\{H_i\}$ uzimamo da je normalna raspodjela, pripadne srednje vrijednosti \bar{H} i standardnog odstupanja σ_H , određena izrazima:

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i, \quad (4)$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2} \quad (5)$$

2.2. Regularno stanje

Regularno stanje je ono za koje vrijedi:

$$\bar{x} = 370,4 \text{ km/h} = 200 \text{ kt}$$

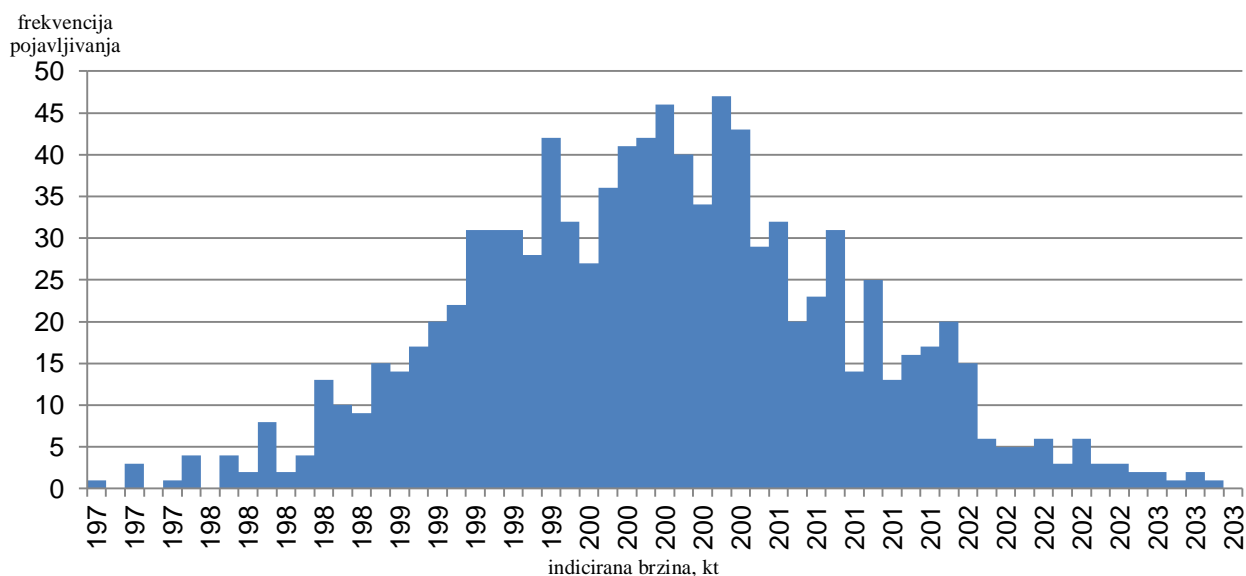
$$\sigma_x = 5,56 \text{ km/h} = 3 \text{ kt}$$

Nadalje će se iznosi brzina, u skladu s oznakama u zrakoplovstvu, navoditi u jedinicama *knot* (kt, čvor). Za informacijsku entropiju je prema (2), (3), (4) i (5):

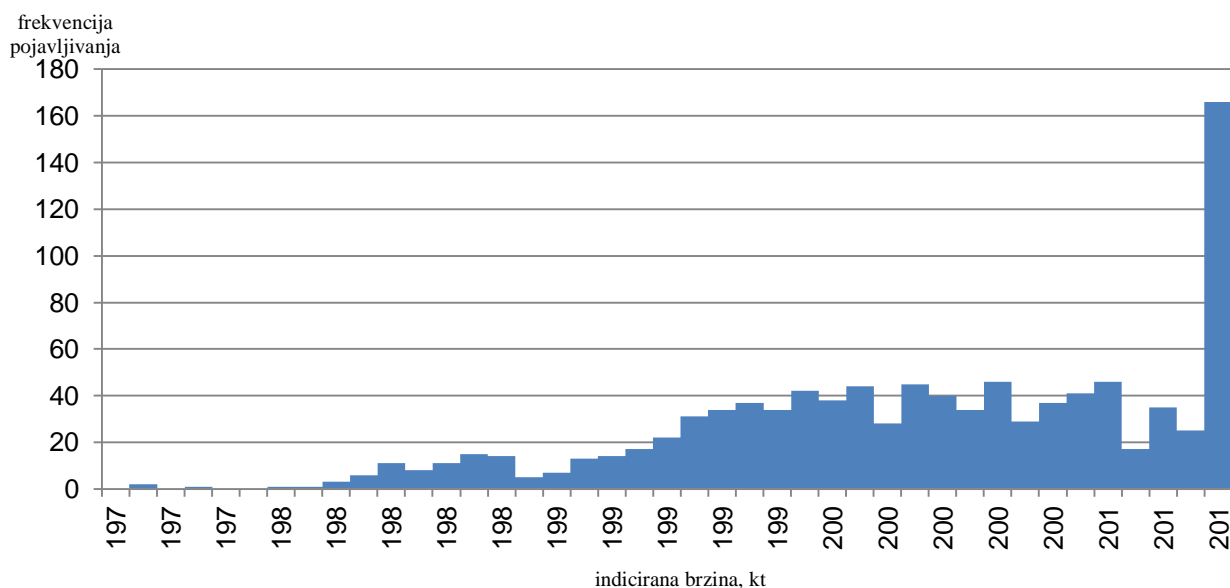
$$\bar{H} = 5,18 \text{ bit}$$

$$\sigma_H = 0,06 \text{ bit}$$

Tipična raspodjela iznosa indicirane brzine u vremenskoj seriji od $N = 1000$ uzastopnih iznosa prikazana je na slici 1. Za veći broj podataka N raspodjela postaje sve sličnija normalnoj raspodjeli. Prikazani podaci grupirani su u 60 razina. Ova i sve druge raspodjele dobivene su simulacijom podataka po normalnoj ili drugim raspodjelama u sklopu programa MS *Excel*. Za promjene broja razina dolazi do određenih promjena iznosa srednje vrijednosti informacijske entropije. Razlike srednjih vrijednosti informacijske entropije su neznatne, za relativno



Slika 1. Histogram frekvencija pojavljivanja (Nf_n) razina vremenske serije od $N = 1000$ podataka za indiciranu brzinu. Razine su raspona $\pm 0,1$ kt oko spomenutog iznosa.



Slika 2. Histogram frekvencije pojavljivanja (Nf_n) razina vremenske serije od $N = 1000$ podataka za indiciranu brzinu u neregularnom stanju za $x_G = 201,0$ kt. Razine su raspona $\pm 0,1$ kt oko spomenutog iznosa.

veliki raspon broja razina u smislu da njihove brojčane vrijednosti nisu identične, ali su znatno manje od pripadnih standardnih odstupanja. Ukupno trajanje prenošenja vremenske serije regularnog stanja je 20 s, jer je trajanje vremenskog intervala između dva uzastopna podatka za brzinu x iznosa 20 ms u skladu s protokolom ARINC 429.

2.3. Neregularno stanje

Neregularno stanje je stanje u kojemu je nastupila greška. U ovome modelu greška je značajno odstupanje indicirane varijable od predviđene vrijednosti, iako se nije promijenila brzina leta u odnosu na atmosferu. Razlozi takvog odstupanja mogu biti brojni. Bez daljnjeg preciziranja, modeliramo grešku na sljedeći način: ako je trenutna indicirana brzina u regularnom stanju x_{reg} manja ili jednaka nekoj karakterističnoj brzini x_G , onda je u neregularnom stanju indicirana brzina x_{nonreg} jednaka trenutnoj brzini u regularnom stanju. Ako je trenutna indicirana brzina u regularnom stanju x_{reg} veća od x_G , onda je trenutna indicirana brzina u neregularnom stanju x_{nonreg} jednaka x_G . Dakle:

$$x_{\text{nonreg}} = \begin{cases} x_{\text{reg}}, & x_{\text{reg}} \leq x_G, \\ x_G, & x_{\text{reg}} > x_G. \end{cases} \quad (6)$$

Na slici 2. prikazana je tipična raspodjela podataka iz vremenske serije od $N = 1000$ uzastopnih iznosa indicirane brzine za $x_G = 201$ kt. Uočljiva je maksimalna frekvencija pojave indicirane brzine razine 201 kt. Ta razina obuhvaća sve pojave iznosa indicirane brzine veće ili jednake $x_G = 201$ kt u vremenskoj seriji i predstavlja određenu pogrešku u sustavu. Prikazano odstupanje predstavlja određenu klasu pogreški u senzoru ili drugim cjelinama modeliranog informacijsko-komunikacijskog sustava. Uz odstupanje, definirano drukčije nego (6), moguće je obuhvatiti i različite druge, jednostruke ili višestruke, stacionarne ili nestacionarne pogreške.

Srednju vrijednost i standardno odstupanje informacijske entropije u neregularnom stanju označavamo s $\bar{H}(x_G)$, odnosno $\sigma(x_G)$.

Prema hipotezi (H1), narastanje odstupanja traje određeno vrijeme, tj. greška narasta tijekom određenog broja koraka. Prije nastupanja greške vremenske serije su oslikavale stacionarno regularno stanje. Nakon nastupanja greške kontinuirano se mijenja srednja vrijednost entropije, dok se nakon određenog vremenskog razdoblja ne postigne stacionarna vrijednost $\bar{H}(x_G)$. Srednje vrijednosti entropija izvrijednjenih tijekom narastanja pogreške označavamo kao $\bar{h}(t)$. Pripadne granične vrijednosti su $\bar{h}(0) = \bar{H}$ i $\bar{h}(t \rightarrow \infty) \rightarrow \bar{H}(x_G)$. Uočimo, $\bar{H}(x_G \rightarrow \infty) \rightarrow \bar{H}$.

3. REZULTATI SIMULACIJE I DISKUSIJA

Promjena srednje vrijednosti entropije prikazana je skalirano: na ordinati grafa na slici 3. prikazan je omjer promjene iznosa srednje informacijske entropije i standardnog odstupanja informacijske entropije regularnog stanja. Na apscisi istog grafa prikazana je

razlika karakterističnog, graničnog iznosa pogreške indicirane brzine i srednje vrijednosti indicirane brzine regularnog stanja, podijeljena sa standardnim odstupanjem indicirane brzine regularnog stanja.

Vremenska ovisnost informacijske entropije izvrijednjene za vremensku seriju tijekom narastanja pogreške, $\bar{h}(t)$ prikazana je na slici 4.

Veličine koje se odnose na entropiju uvijek su izvrijednjene primjenom izraza (2) na odgovarajuću vremensku seriju. Vremenske serije korištene u različitim trenucima djelomično se preklapaju. Potrebno je razjasniti zašto se pogreška u indiciranoj brzini uvodi trenutno, dok se s obzirom na entropije govori o narastanju odstupanja. Razlog je u tome što vremenske serije iz kojih se računaju veličine vezane uz entropiju, neposredno nakon uvođenja pogreške (6), znatnim dijelom obuhvaćaju iznose indiciranih brzina generiranih u trenucima prije uvođenja pogreške (6), dakle kad je indicirana brzina opisana po raspodjeli regularnog stanja. Kako se entropijske veličine računaju u sve kasnijim trenucima, udio vremenske serije koji pripada indiciranim brzinama određenim prema (6) je sve veći, zbog čega je udio neregularnog stanja u ukupnom stanju kojeg opisuje vremenska serija sve veći. Statistički gledano, tijekom prijelaznog razdoblja statistička težina regularnog stanja smanjuje se od 1 do 0, a statistička težina neregularnog stanja raste od 0 do 1.

Prema grafu na slici 3., pri malim odstupanjima od regularnog stanja ($x_G > 202,25$ kt) srednja vrijednost informacijske entropije $\bar{H}(x_G)$ veća je od srednje vrijednosti entropije regularnog stanja \bar{H} . Relativno povećanje iznosi do 1%. Razloge spomenutom povećanju treba tražiti u promjeni oblika raspodjele varijable x u vremenskoj seriji $\{x_k\}$ – za relativno velike iznose x_G lokalni maksimum raspodjele (na razini upravo x_G) nije izražen i ne prevladava. Međutim, bez obzira na smanjivanje intervala unutar kojeg je raspodjela različita od nule, lokalni ekstrem doprinosi uniformnosti raspodjele, daje veću težinu ekstremnijim vrijednostima indicirane brzine i efektivno povećava nesigurnost u predviđanju indicirane brzine, tj. povećava informacijsku entropiju. Dakle, u toj granici odstupanja definiranih izrazom (6) sustav efektivno postaje neuređeniji prilikom postizanja neregularnosti stanja.

Kako se x_G približava \bar{x} , utjecaj odstupanja je sve veći tako da je i relativna apsolutna promjena entropije sve veća, a pritom se samoj entropiji smanjuje iznos. To je u skladu s činjenicom da se u tom području znatno smanjuje raspon razina za koje je raspodjela indiciranih brzina različita od nule čime se smanjuje neizvjesnost u sustavu, predviđanje indicirane brzine postaje izvjesnije, odnosno narastanje odstupanja vodi na uređenije neregularno stanje. S obzirom na razliku $x_G - \bar{x}$, promjena entropije je simetrična tako da je u (6) bilo dovoljno razmatrati grešku indicirane brzine u jednom krilu raspodjele što se tiče srednje vrijednosti regularnog stanja.

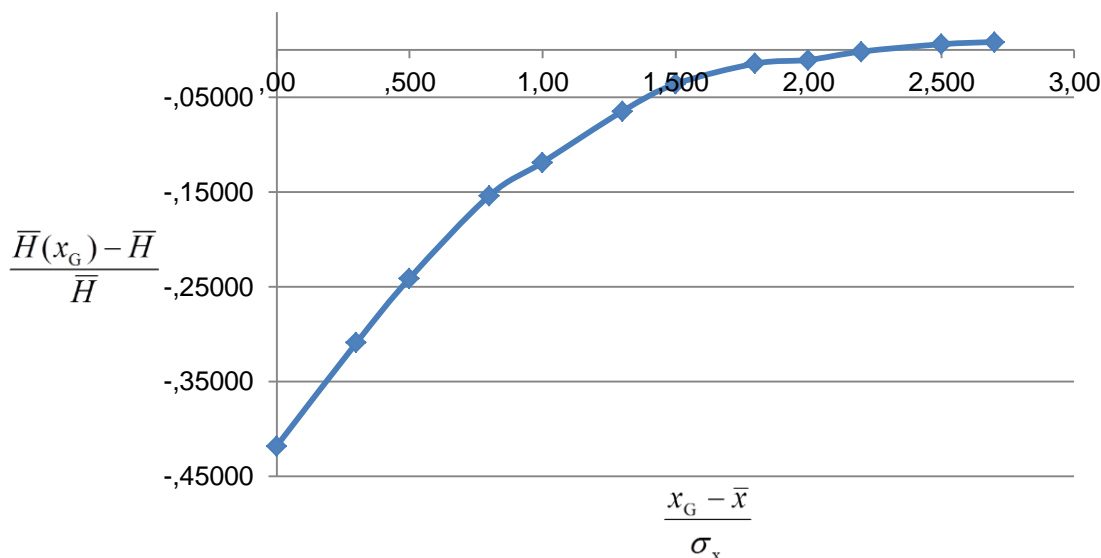
Osim samog narastanja odstupanja posebno su važna pitanja:

1. Je li $\bar{H}(x_G)$ značajno različito od \bar{H}

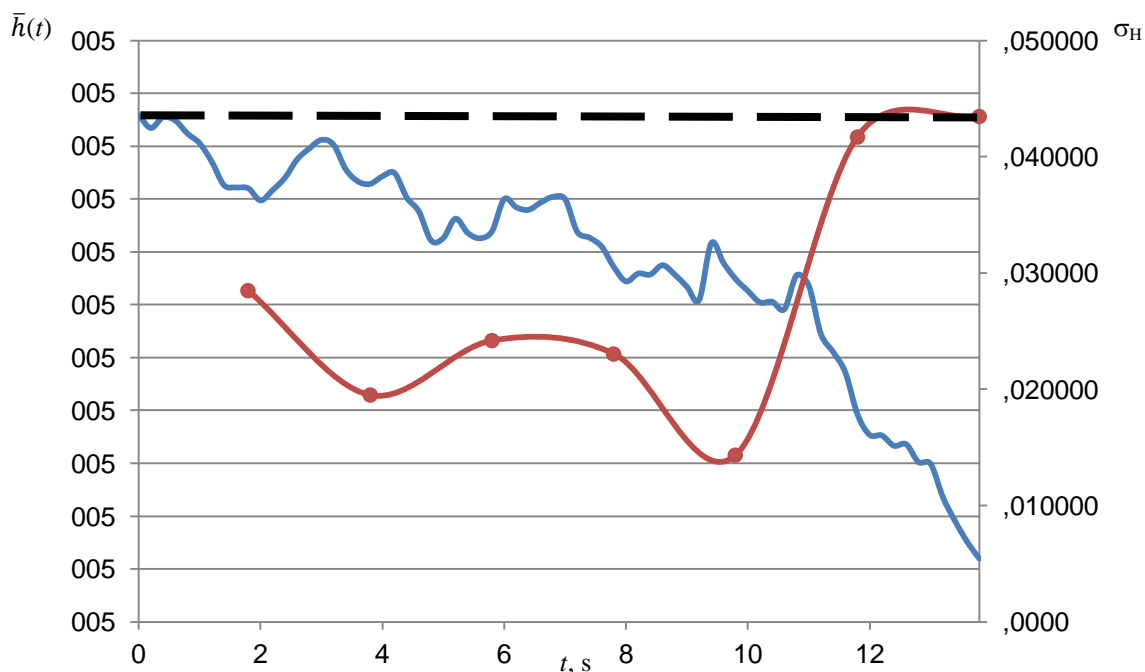
2. Ako je odgovor na prethodno pitanje potvrđan, u kojem trenutku τ za dani x_G odstupanje $\bar{h}(\tau)$ postaje značajno različito od \bar{H}

Odgovori na ova pitanja mogu se dati statistički u smislu da se razmatraju raspodjele entropija opisane srednjim vrijednostima \bar{H} , odnosno $\bar{H}(x_G)$ i pripadnim srednjim odstupanjima. Zatim se primjenom uobičajenih testova za zadanu razinu značajnosti provjeri je li razumno tvrditi kako su razlike između

raspodjela značajne, odnosno je li razumno tvrditi kako su raspodjele statistički jednakovrijedne [7]. Nisu apsolutno zadani iznosi razlika pri kojima se za postavljenu razinu značajnosti prihvaća ili odbija tvrdnja o jednakovrijednim (različitim) raspodjelama, nego ih treba postaviti nakon temeljitog razumijevanja modela. Na razini ovog članka, s obzirom na uvedena pojednostavljenja, nije smisleno postavljati utvrđene granice razlika srednjih vrijednosti entropija.



Slika 3. Relativna promjena entropije u ovisnosti o skaliranoj razini pogreške



Slika 4. Ovisnost srednje vrijednosti entropije neregularnog stanja $\bar{h}(t)$ i pripadnog standardnog odstupanja σ_H o vremenu t . Plava krivulja odnosi se na entropiju (os s lijeve strane grafa), a crvena na standardno odstupanje (os s desne strane grafa). Masno otisnuta iscrtkana linija iznosa entropije $\bar{H} = 5,18$ je referentna vrijednost.

Umjesto toga pretpostavit ćemo da za apsolutnu vrijednost razlike srednjih vrijednosti entropija regularnog i neregularnog stanja

$$R = |\bar{H} - \bar{H}(x_G)| \quad (6)$$

postoji kritični iznos R_{cr} , tako da pri $R > R_{cr}$ statistički smatramo kako je odstupanje dovoljno intenzivno da se

analizom entropija uoči postojanje greške koja je odstupanje uzrokovala.

Neovisno o samom iznosu R_{cr} moguća su tri ishoda:

1. $R \ll R_{cr}$, npr. $R < \sigma_H$ ili neke slične mjere
2. $R \approx R_{cr}$
3. $R > R_{cr}$

U 1. slučaju odstupanje nije moguće uočiti primjenom analize entropije. U trećem slučaju odstupanje je moguće uočiti primjenom analize entropije, štoviše uočavanje je moguće već u nekom relativno kratkom vremenu τ . U drugom slučaju zapravo nije razumno zaključivati o značajnosti utjecaja odstupanja primjenom opisane analize entropija. U nedostatku daljnjih podataka, ovaj se slučaj razrješuje isto kao i slučaj 1. U slučaju mogućnosti generiranja dodatnih podataka koji se odnose na indiciranu brzinu (npr. većom učestalošću uzorkovanja tog podatka), odnosno na drugu mjerenu veličinu funkcionalno povezanu s njom (bilo da je riječ o istoj veličini mjerenoj drugim senzorom, ili kvalitativno drugačiju mjerenu veličinu), postoji mogućnost pretvaranja ovog slučaja u 3. slučaj. Slično tome, u 3. slučaju, nakon fokusiranja na utjecaj odstupanja na $\bar{h}(\tau)$, moguće je pretjeranim inzistiranjem na što ranijem uočavanju narastanja odstupanja opet ostvariti 2. slučaj.

Neovisno o tome što se brojčane vrijednosti razlikuju, pojava greške kakvu npr. opisuje izraz (6) označava suštinsku promjenu raspodjele i nemogućnost korištenja standardnih testova za standardna odstupanja, a naknadno za srednje vrijednosti. Na ovoj principijelnoj razini nije dolazila do izražaja promjena raspodjele, jer ni raspodjele koje se odnose na regularno i neregularno stanje nisu uspoređivane po standardnim testovima.

4. ZAKLJUČAK

U radu je primjenjena metoda analize informacijske entropije na podatke koje se odnose na promjenjivo stanje neke mjerene veličine. U slučaju hipotetske greške, popratna promjena veličina vezanih s entropijom koristi se kao indikator pojave i narastanja odstupanja.

Postavljen je model principijelne razine s jednom varijablom za koju se analiziraju vremenske serije dobivene bilježenjem uzastopnih iznosa varijable kako ih odašilje senzor. Model služi kao polazište razvijenijih, utemeljenijih modela čije postavljanje zahtijeva prethodno poznavanje realističnih raspodjela podataka u regularnim stanjima, te realistično modeliranje greške i njenog utjecaja na odstupanja mjerenih i proračunanih veličina. Numeričkom simulacijom modela ustanovljeno je za koje iznose modelirane greške dolazi do statistički uočljivih promjena u raspodjeli podataka koje tijekom stacionarnog leta odašilje senzor.

Karakteristično trajanje uočavanja vezano je uz specifičnost modela. Za očekivati je kako će se u slučaju više varijabli pojedina od njih rjeđe bilježiti. Shodno tome će se narastanje odstupanja i mogućnost njegovog uočavanja produljiti u vremenu.

Sama po sebi, višedimenzionalnost, u smislu matematičke neovisnosti mjerenih veličina, omogućuje pouzdanije uočavanje narastanja odstupanja praćenjem većeg broja dimenzija. To je u skladu s polazišnom idejom da se ovu metodu primijeni na odstupanja koja

narastaju tijekom vremena, koja se zapažaju kao poremećaji na razini cijelog sustava ili bar većeg broja njegovih elemenata. Pritom iznos poremećaja na pojedinom elementu nekog avionskog sustava tijekom relativno dugog vremenskog intervala ne prelazi kritičnu vrijednost koja bi dovela do alarma i pokretanja prinudnih postupaka neovisno o promjenama u drugim dijelovima sustava.

Naposljetku, svi spomenuti rezultati pretpostavljali su, izravno ili neizravno, normalne raspodjele u podlozi izračuna. Dok je to ispravno pretpostaviti za regularno stanje, raspodjele vezane za neregularno stanje nisu normalne raspodjele već su općenito neparometrijske raspodjele. U tom smislu usporedba regularnog i neregularnog stanja na temelju srednjih vrijednosti i standardnih odstupanja entropija predstavlja samo okvirnu mjeru statističke usporedbe.

5. LITERATURA

- [1] Spitzer, C. R., ur.: Avionics Development and Implementation, CRC Press, 2006.
- [2] Čosić, J.; Štepanić, J.: Case Study in Innovation Diffusion: Aircraft Electrical System. Međunarodno savjetovanje Information Society 2011, Zbornik, Ljubljana, 2011.
- [3] Spitzer, C. R.: Setting Requirements. Odj. 19.1. Spitzer, C. R., ur.: The Avionics Handbook. CRC Press, 2001.
- [4] McCormick, F.: Certification of Civil Avionics. Odj. 23.6. Spitzer, C. R., ur.: The Avionics Handbook. CRC Press, 2001.
- [5] Sinković, V.: Informacija, simbolika i semantika, Školska knjiga, 1997.
- [6] ARINC Inc.: ARINC Specification 429 Part 1-17, ARINC Inc., Annapolis, 2004.
- [7] Montgomery, D. C.; Runger, G. C.: Applied Statistics and Probability for Engineers (Third Edition), John Wiley & Sons, Inc., 2003.

Kontakt autora:

Marko Posavec, mag. ing. aero. ing.
S IT SOLUTIONS HR D.O.O.
marko.posavec@gmail.com

Igor Cerin, stručni suradnik
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5
10002 Zagreb
igor.cerin@fsb.hr

izv.prof.dr.sc. Josip Štepanić
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5
10002 Zagreb
josip.j.stepanic@fsb.hr

ISPITIVANJE UTJECAJA KARAKTERISTIKA PAPIRA NA PARAMETAR w FUNKCIJE RAZMAZIVANJA TOČKE LORENTZOVOG OBLIKA

TESTING THE IMPACT OF PAPER CHARACTERISTICS ON A PARAMETER w OF THE LORENTZ SHAPED POINT SPREAD FUNCTION

Katja Petric Maretić, Damir Modrić, Marin Milković

Originalni znanstveni rad

Sažetak: *Potpovršinsko raspršenje svjetlosti u papiru (tekstilu ili drugim transparentnim materijalima) ovdje je izračunato u okviru Monte Carlo simulacije, što je kao rezultat dalo funkciju razmazivanja točke (PSF) Lorentzove forme. Papir je bio modeliran s obzirom na različite parametre opisa papira: premazanost, sastav i komponente papira te valne duljine svjetlosti kojom je papir obasjavan. S obzirom na to da je Lorentzova raspodjela parametarska, izračunate su ovisnosti parametra w Lorentzove raspodjele o debljini premaza papira o faktoru asimetrije celuloznih vlakana kao sastavnica papira, te o valnoj duljini svjetlosti koja pada na papir. Pokazalo se da osim celuloznih vlakana ostale komponente papira nemaju utjecaj na parametar w .*

Rezultati su pokazali da je parametar w manji za premazani papir, za manje asimetrične sastavnice papira i za manju valnu duljinu svjetlosti, što je u ovisnosti koeficijentata apsorpcije, odnosno raspršenja svjetlosti u papiru, i valne duljine svjetlosti.

Ključne riječi: *Monte Carlo simulacija, funkcija razmazivanja točke, parametar w Lorentzove raspodjele*

Original scientific paper

Abstract: *Subsurface scattering of light in paper (fabric or other transparent material) has been calculated in the framework of Monte Carlo simulation, which has given the Lorentz shaped point spread function (PSF) as the result. The paper was modelled with respect to various parameters of the paper description: coating, the composition of paper, and a dependence on the wavelength of the light by which the paper was illuminated. Given the fact that the Lorentz distribution is parametric, the following was calculated: the dependence of the Lorentz distribution parameter w on the thickness of paper coating, on the asymmetry factor of cellulose fibres as a component of paper, and on the wavelength of the light that falls onto the paper. It has been shown that in addition to cellulose fibres, other components of paper have no influence on the parameter w .*

The results have shown that the parameter w is smaller for coated paper, for less asymmetric components of paper and a smaller wavelength of light, which depends on the absorption coefficients and scattering of light in a paper and on the wavelength of light.

Keywords: *Monte Carlo simulation, point spread function, Lorentz distribution parameter w*

1. UVOD

Prijenos informacije u procesu uspostave grafičke komunikacije ovisi o interakciji svjetlosti i supstrata. Ako je tiskovna podloga djelomično transparentna, dio svjetlosti se reflektira s površine, a dio svjetlosti ulazi u supstrat između otisnutih elemenata gdje općenito dolazi do potpovršinskog raspršenja svjetlosti u podlozi. Višestruko potpovršinsko raspršenje rezultira time da se svjetlost djelomično apsorbira ispod otisnutih elemenata te se djelomično vraća na površinu i površinski reflektira. Posljedica toga je tamniji otisak, odnosno povećanje rasterskog elementa što je poznato pod nazivom prirast rasterske vrijednosti (dot gain). U ovom slučaju riječ je o optičkom prirastu rasterske vrijednosti, tj. o dijelu

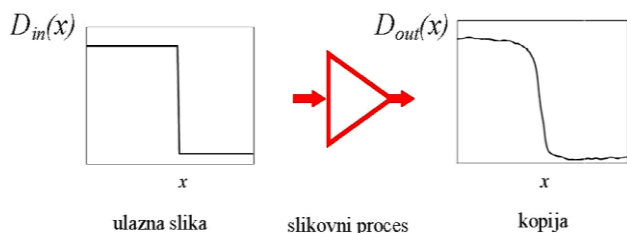
prirasta koji je uzrokovan neizbježnim fenomenom potpovršinskog raspršenja svjetlosti kad je tiskovna podloga djelomično transparentna. Taj je fenomen moguće opisati rješavanjem diferencijalnih jednadžbi transporta zračenja. Drugi pristup opisu optičkog ponašanja papira koristi se matematičkom operacijom konvolucije funkcije razmazivanja točke i reflektancijskog profila, odnosno inverznom Fourierovom transformacijom umnoška Fourierovih transformacija PSF i reflektancijskog profila. Funkcije razmazivanja mogu se odrediti eksperimentalno ili ih se može teorijski modelirati. Obično se LSF modelira s Gaussovom funkcijom, no ovaj se rad orijentira na PSF Lorentzovog oblika, što je dobiveno Monte Carlo simulacijom potpovršinskog raspršenja fotona u

modeliranom papiru. Lorentzova raspodjela je parametarska i ima oblik:

$$PSF(r) = \frac{1}{\pi} \frac{\frac{w}{2}}{(r-r_c)^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} \quad (1)$$

1.1. Funkcija razmazivanja

U grafičkoj tehnologiji analiza kvalitete tiskovnih otisaka orijentira se vrlo često na detekciju ruba rasterskih elemenata.



Slika 1. Kopija oštrog ruba nije oštra nakon realnog preslikavanja

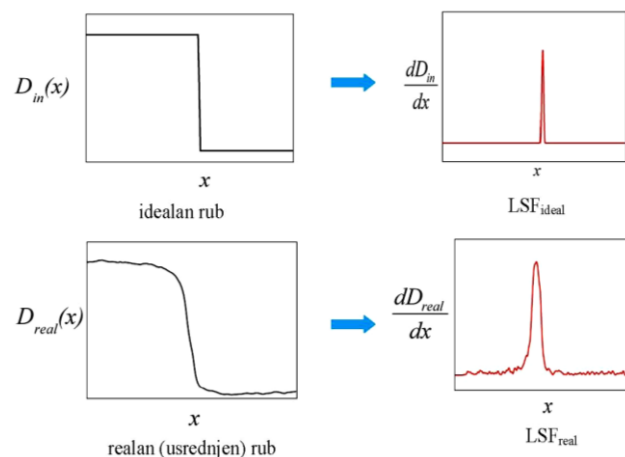
Naime, u svakom realnom procesu preslikavanja fizika samog slikovnog sustava djeluje tako da dolazi do zamučivanja (blur), tj. kopija oštrog ruba nije oštra.

Savršena reprodukcija nije moguća. Stvarni slikovni sustavi uvijek imaju neke gubitke, što znači da obično dolazi do degradacije jednog dijela ulazne informacije. Mora postojati neka vrsta procesa razmazivanja u slikovnom mehanizmu koji uzrokuje da kopija oštrog ruba bude razmazana (neoštra). Ovaj proces je najvjerojatnije uzrokovan difuzijom boje u papir u tiskanom obliku slike, ili bljeskom svjetla u optičkom sustavu. U granicama savršene optike, difrakcija svjetla na otvoru objektiva rezultat će "difrakcijski ograničenom" funkcijom razmazivanja ("diffraction limited" spread function). Neki fizikalni procesi uvijek će rezultirati nekom vrstom fenomena razmazivanja koji sprječava da slikovni sustavi imaju savršenu rezoluciju. Fenomen fizičkog razmazivanja karakteriziramo kao funkciju razmazivanja točke (the point spread function – PSF) ili funkciju razmazivanja linije (the line spread function – LSF).

1.2. Kako funkcija razmazivanja određuje rezoluciju

Funkcija razmazivanja može se mjeriti neovisno. Npr., može se mjeriti difrakcioni limit leće ili difuziona karakteristika tinte na papiru. Često je funkcija razmazivanja slikovnog sustava uzrokovana s više procesa koji rezultiraju razmazivanjem. U takvom slučaju lakše je mjeriti ukupnu funkciju razmazivanja slikovnog sustava, a to se radi usporedbom izlaza i ulaza. Ako je ulaz idealan rub, kao na slici 1., onda izlaz nije savršeno gladak zbog funkcija razmazivanja sustava,

te možemo izračunati funkciju razmazivanja sustava iz zamagljena ruba. LSF je derivacija funkcije ruba izlazne slike kad je ulazna slika savršen rub. Primjena prve derivacije na takvoj slici, u smjeru važne varijacije, poboljšava vidljivost malih koraka i ostalih detalja.



Slika 2. Ilustracija funkcije razmazivanja idealnog i realnog ruba

Naravno, kontinuirana derivacija ne može se izvršiti za slike s digitaliziranim konačnim brojem piksela. Umjesto toga, razlika između vrijednosti susjednih piksela može se izračunati kao konačna derivacija. Ova razlika ima nešto šuma, ali usrednjavanje u smjeru okomitom na derivaciju može izgladiti rezultat.

1.3. Modeliranje PSF uz pomoć Monte Carlo simulacije

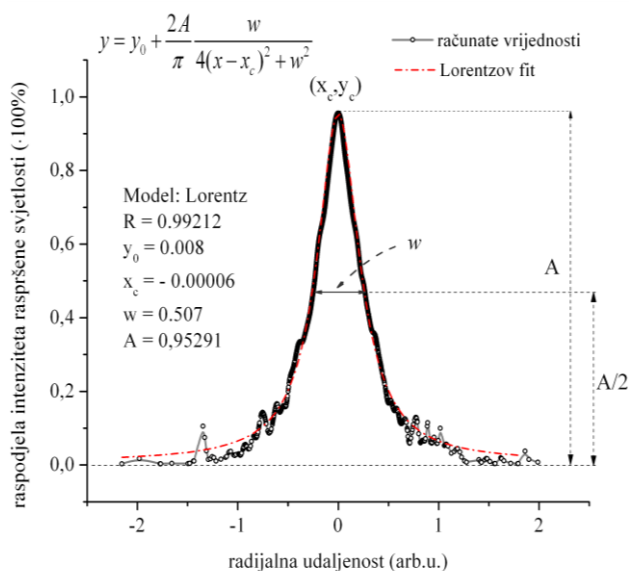
Polazeći od same definicije PSF, izračunat je njen oblik kao funkcija parametara papira. Modeliranjem linijskih profila željelo se ispitati pojedinačni utjecaj svakog parametra kao što su: koeficijenti raspršenja i apsorpcije komponenti papira, postotak zastupljenosti [1]. komponenata, parametri asimetrije koji su važni za određivanje doprinosa celuloznih vlakana na raspršenje, vrste i debljine slojeva (ako se uzme u obzir premazani papir), indeks loma ulaznog sloja premaza i njegova debljina, vrstu i oblik površine papira, i mnoge druge parametre koji manje ili više utječu na kolektivni efekt koji se naziva optički prirast rastertonske vrijednosti. Raniji pristupi nisu imali kompleksnost potrebnu za stvaran opis sustava, a njihovi autori prezentirali su aproksimacije koje nisu uvijek imale najkorektniju fizikalnu osnovu. Tako su potkraj sedamdesetih godina prošlog stoljeća, vođeni intuitivnom idejom da promatrana distribucija raspršene svjetlosti koja dolazi od točkastog izvora ima zvonolik profil centriran u ulaznoj točki, Yule i Nielsen predložili da LSF bude opisana pomoću Gaussove raspodjele.

Korišteni model [2],[3] na temelju stohastičkog pristupa pokazuje da je za određeni skup parametara kompletan opis dan Lorentzovom raspodjelom koju smo stavili, radi jednostavnosti, u ishodište koordinatnog sustava (slika 3.). Dobivena funkcija je neovisna o

položaju u upadnoj ravnini, tako da se može smatrati invarijantnom na pomak.

Da bi modelirali $PSF(x)$, pušten je snop fotonskih paketa okomit na površinu papira i brojao je ukupno $20 \cdot 10^6$ fotona. Nakon njihovog prolaska kroz medij registriran je njihov intenzitet i položaj prilikom povratka na ulaznu površinu. Dobivena raspodjela nakon normiranja na jedinicu površine ispod analitičke krivulje prepoznaje se kao $PSF(x)$. U stvarnosti zapravo ima mnogo više fotona, međutim u ovom slučaju ovaj broj predstavlja kompromis između realnijeg opisa i konzumacije računalnog vremena. Povećanjem broja fotona smanjio bi se šum u reflektanciji s površine papira, pri čemu se profil same linije ne mijenja.

Funkcija $PSF(x, y)$ daje gustoću toka kao funkciju pravokutnih koordinata u ravnini slike i opisuje kako se oštra točka razmazuje zbog raspršenja svjetlosti u substratima.



Slika 3. Izračunata radijalna raspodjela podpovršinski raspršenog svjetlosnog snopa ulaznih fotonskih paketa koji prodiru u površinu u točki (0,0) premazanog papira i modelirani profil Lorentzovom raspodjelom (koeficijent korelacije $R = 0,99212$) [2]

Argument za aproksimaciju cilindrične simetrije dobivenih profila može se vidjeti na slici 4. Slika je dobivena s više od 20.000 izračunatih točaka (zbog jednostavnosti nisu sve na slici), što je relativno mali broj fotona, ali ilustrira spomenutu simetriju prilično dobro. Svaka točka na slici predstavlja izlazni položaj fotonskog paketa.

Prikazana raspodjela raspršenja svjetlosti (slika 3.), ako je površina ispod krivulje normirana, predstavlja raspodjelu vjerojatnosti. Normiranje izračunate ukupne površine ispod profila na jedinicu zahtijeva definiciju PSF kao vjerojatnosti da foton izlazi na mjestu (x, y) ako ulazi u točki $(0,0)$ na istoj površini. Ova vjerojatnost zahtijeva da površinski integral profila bude jednak jedinici.



Slika 4. Površinska raspodjela izlaznih fotonskih paketa pokazuje približnu cilindričnu simetriju izračunatog podpovršinskog raspršenja svjetlosnog snopa

$$PSF(r) = \frac{1}{\mathfrak{R}} \left(\frac{1}{\pi} \frac{\frac{w}{2}}{(r-r_c)^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} \right) \quad (2)$$

gdje je r_c položaj centra raspodjele, a w parametar koji određuje širinu profila. Konstanta \mathfrak{R} je određena definicijom PSF kao vjerojatnost, tako da je:

$$\mathfrak{R} = \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{\pi} \frac{\frac{w}{2}}{(r-r_c)^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} \right) dr \quad (3)$$

Kao što je već spomenuto, u literaturi se susreće nekoliko pristupa koji opisuju bočno raspršenje svjetlosti u papiru pomoću funkcije PSF . Većina tih funkcija je određena empirijski ili uz pretpostavku određene vrste funkcija [4],[5]. Međutim, drugi autori su se usredotočili na numeričke simulacije [6], na mjerenja mikroskopske reflektancije [7] ili na difuziju zračenja [8]. Postoje dvije predložene formulacije: Gaussova [9] funkcija razmazivanja linije $LSF(x)$ i eksponencijalna PSF [10],[11]. Pošto PSF funkcija također može biti prepoznata kao gustoća vjerojatnosti, neki autori pokušali su sa stohastičkim modelima kod opisivanja lateralnog raspršenja u papiru. Veza između PSF i LSF :

$$LSF(x) = \int_{-\infty}^{\infty} PSF(x, y) dy \quad (4)$$

Pokušaj opisa papira prema zakonima optike (Fresnelova refleksija na granici između dva medija) doveo je do realizacije Clapper-Yule modela [12] koji je napravljen za potrebe predviđanja refleksije fotografskih slika.

Clapper-Yule model ima prednost modeliranja zrcalne refleksije i internih refleksija (Fresnelova refleksija) na granici papir-zrak. Model predviđa kako je širenje svjetlosti u papiru veliko u odnosu na prostor između rasterskih elemenata, a time je i vjerojatnost da svjetlost napušta papir proporcionalna rastertonskoj vrijednosti izraženoj u postocima.

Kao što je spomenuto, mnogi se autori koriste Gausovim analitičkim oblikom PSF. Međutim, naša simulacija potpovršinskog profila raspršenja svjetlosti u papiru pomoću Monte Carlo metode jasno pokazuje da je bolji opis dan Lorentzovim profilom. Da bi razlučili koji je od opisa točniji, morali smo usporediti konvoluirane profile otisnutih linija (s PSF(x) i Lorentzovog i Gausovog oblika) s mjerenim.

2. ANALIZA PARAMETRA w

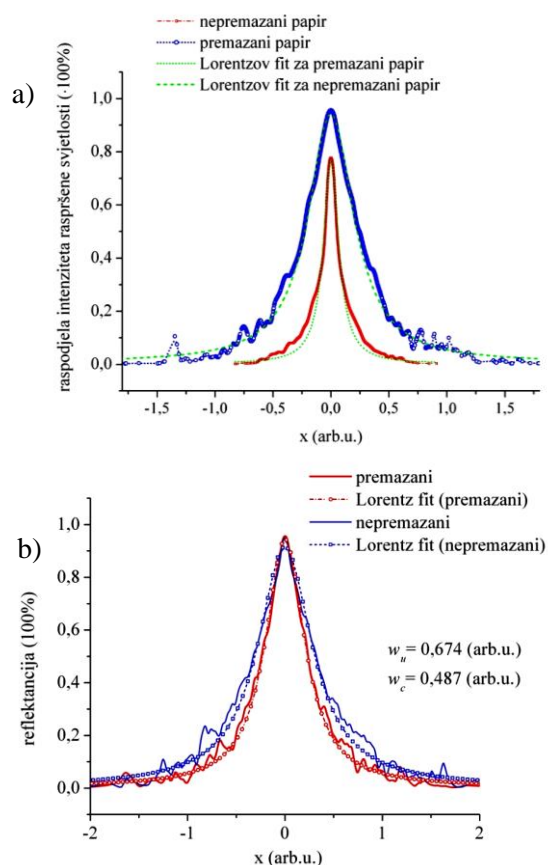
Kako je PSF u ovom slučaju opisana Lorentzovom raspodjelom, ne može se parametar w izjednačiti sa standardnom devijacijom σ , tj. ne možemo ga smatrati mjerom šuma koji je posljedica optičkog prirasta rastertonske vrijednosti [13]. Daljnja usporedba generiranih PSF za premazane i nepremazane papire otkriva da postoje razlike u parametru w zbog prisutnosti premaza (slika 5.).

To znači da parametar w na neki način ovisi o sastavu površine papira (indeks loma), iako ne možemo reći ništa više o prirodi tog odnosa, te o debljini premaza. Ista analiza provedena je pomoću različitih debljina papira i postotaka zastupljenosti pojedine komponente papira, ali spomenuta teorijska razmatranja i izračuni potpovršinskog raspršenja svjetlosti nisu dali rezultate koji bi pokazali utjecaj tih varijacija na parametar w .

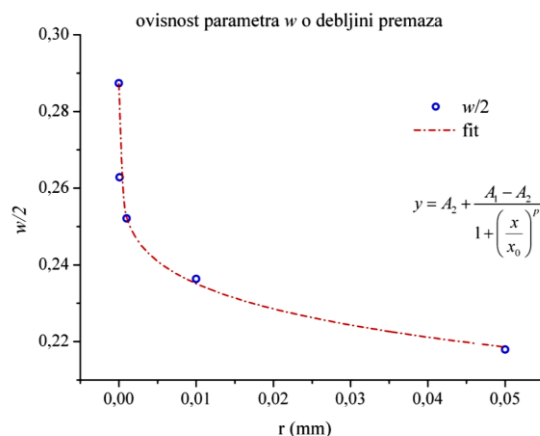
2.1. Ovisnost w o premazu

Kako naš profil ovisi samo o jednom parametru, w , pokušalo se pronaći objašnjenje koje se može razabrati iz činjenice da je modelirana polovina širine profila w različita za premazani i nepremazani papir, kao što je prikazano na slici 5.

Slika 5. pokazuje usporedbu modeliranih profila raspodjele raspršenog zračenja premazanog i nepremazanog papira. Očito je primjetna razlika u intenzitetu distribucije u korist premazanog papira u smislu užeg parametara w . To je posljedica višestrukih internih refleksija na granici osnova papira - premaz. Kao rezultat toga smanjena je transmisija, a broj fotona koji se vraćaju na ulaznu površinu je manji jer se naknadno reflektiraju od spomenute granice kad na nju dolaze iz unutrašnjosti papira. Naravno, to nije slučaj s nepremazanim papirom i raspršenje na njemu je istaknutije.



Slika 5. Usporedba modeliranih radijalnih raspodjela potpovršinskog raspršenog zračenja premazanog i nepremazanog papira (izračunate raspodjele u okviru Monte Carlo pristupa): a) izračunate raspodjele i b) normirane na istu maksimalnu (vršnu) vrijednost kako bi se omogućila usporedba parametra w

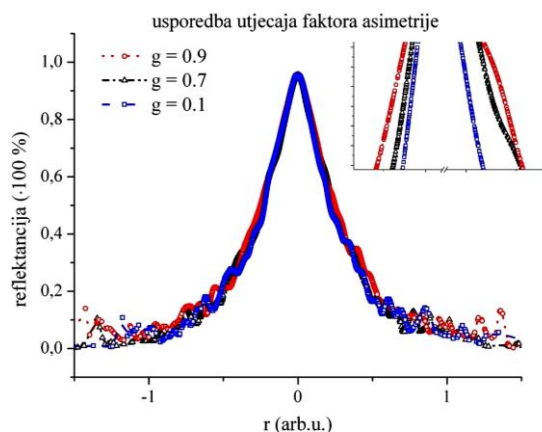


Slika 6. Ovisnost parametra w o debljini premaza

Na slici 6. prikazana je ovisnost parametra w o debljini premaza. Funkcionalna ovisnost dana je izrazom na slici. Izraz prikazuje tzv. logističku funkciju [13] koja daje najbolji fit (koeficijent korelacije = 0,999) koji smo dobili korištenjem programa Origin 8.5. Dobiveni podaci su isključivo teorijski. Unatoč tome što nisu mogli biti eksperimentalno provjereni, daju zanimljiv rezultat zbog čega je ovaj graf i prikazan.

2.2. Ovisnost w o faktoru asimetrije g

Promatrana je i ovisnost parametra w o više različitih komponenti papira, zapravo ovisnost o postotnom udjelu svake od komponenti (celuloze, punila, keljiva, zraka, ...). Analiza nije pokazala primjetne razlike u parametru w prilikom variranja količinskih vrijednosti spomenutih komponenti.

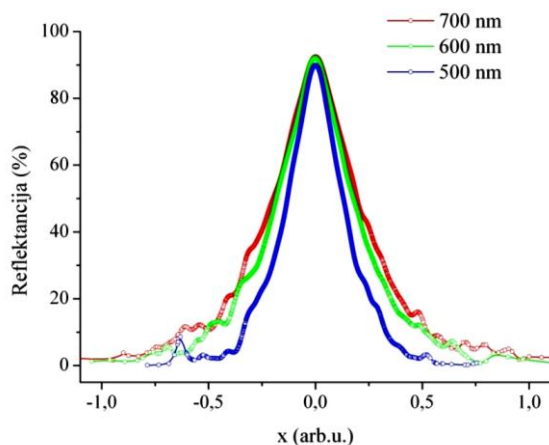


Slika 7. Utjecaj faktora asimetrije na parametar w . Vidi se da se parametar smanjuje kako faktor asimetrije ide prema vrijednosti nula.

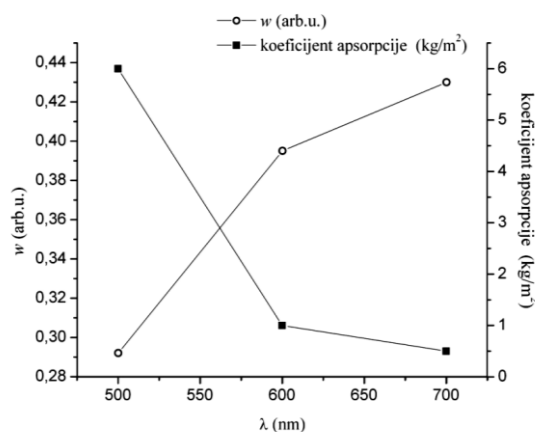
Jedina ovisnost parametra w pokazuje se prilikom variranja vrijednosti faktora asimetrije celuloze g (kao komponente koja je najzastupljenija u papiru) u prikazanom modelu, što je prikazano na slici 7. S obzirom na to da je faktor asimetrije g imanentan celuloznim vlaknima, ovaj rezultat bi eventualno mogao biti smjernica prilikom dizajniranja nekog papira bez celuloze.

2.3. Ovisnost w o valnoj duljini svjetlosti

Sljedeća ovisnost koja je ispitivana bila je ovisnost parametra w o valnoj duljini svjetlosti (slika 8). Vidi se da padom valne duljine pada i vrijednost parametra w .



Slika 8. Ovisnost poluširine profila w o valnoj duljini svjetlosti



Slika 9. Ovisnost parametra w o promjeni koeficijenta apsorpcije s valnom duljinom

3. ZAKLJUČAK

Parametar w , a time i oštrina otisnutog ruba, pokazao se promjenjivim s obzirom na modeliranje površine i sastava papira, kao i s obzirom na valnu duljinu svjetlosti koja pada na otisak. Očigledno je da premazani papiri imaju manji w u odnosu na nepremazane, što još jednom dokazuje da se na takvim papirima ostvaruju otisci veće rezolucije. Sastojci papira nisu bitno utjecali na promjenu parametra w , osim onih sastojaka koji su asimetrične građe. Celulozna vlakna manjeg faktora asimetričnosti daju uži w . Isto tako, svjetlost manje valne duljine rezultira manjim parametrom w , što je posljedica ovisnosti faktora apsorpcije i raspršenja o valnoj duljini svjetlosti.

Te spoznaje omogućuju modeliranje papira s boljim svojstvima s obzirom na uklanjanje optičkog prirasta rastertonske vrijednosti.

4. LITERATURA

- [1] Yule, J.A.C.; Howe, D.J.; Altman, J.H.; The effect of the spread function of paper on halftone reproduction, *TAPPI Journal*, Vol. 50, No. 7, 337-344, (1967.)
- [2] Modrić, D.: Raspršenje i transport svjetlosti u tiskovnim podlogama, PhD thesis, University of Zagreb, (2007.)
- [3] Modrić, D.; Beuc, R.; Bolanča, S.; Monte Carlo Modeling of Light Scattering in Paper, *J. Imag Sci Tech*, 53(2): 020201-020201-8, (2009.)
- [4] Fischer, G.; Rodriguez-Giles, J.; Scheuter, K. R.; Ein physikalisches Modell für die Beschreibung von Lichtstreuprozessen. *Die Farbe*, 30(1/6):199-220, 1982.
- [5] Rogers, G.L.: *Optical Dot Gain: Lateral Scattering Probabilities*. Reiner Eschbach, (ed.), *Recent Progress in Digital Halftoning II*, chapter V, pages 495-500. IS&T, (1999.)
- [6] Yang, L.; Gooran, S.; Kruse, B.; *Simulation of Optical Dot Gain in Multichromatic Tone*

- Reproduction*. J Imag Sci Tech, **45**(2):198–204, (2001).
- [7] Shinichi, I.; Norimichi, T.; Yoichi, M.; *Analyzing CTF of Print by MTF of Paper*. J Imag Sci Tech **42**(6):572–576, (1998.)
- [8] Rogers G. L.; *Optical Dot Gain in a Halftone Print*. J Imag Sci Tech, **41**(6):643–656, (1997.)
- [9] Clapper, F.R.; Yule, J.A.C.; *The effect of multiple internal reflections on the densities of halftone print on paper*, J. Opt. Soc. Am. **43** (1953), 600–603.
- [10] Engeldrum, P.G.; Pridham, B.; *Application of Turbid Medium Theory to Paper Spread Function Measurements*, Proc. TAGA Proc., Vol. 47, 339–352 (1995.)
- [11] Gustavson, S.; Color Gamut of Halftone Reproduction, *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 41, No. 3, 283–290 (1997.)
- [12] Murray, A.; *Monochrome reproduction in photoengraving*, J. Franklin Institute (Philadelphia) **221** (1936.), 721.
- [13] Maretić, K. P.: Implementacija Lorentzove funkcije u modeliranju reflektancijskoga profila slikovnoga elementa, PhD thesis, University of Zagreb

Kontakt autora:**dr.sc. Katja Petric Maretić**

Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
Getaldićeva 2, Zagreb
01/2371-080, katja.petric.maretic@grf.hr

doc.dr.sc. Damir Modrić

Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu
Getaldićeva 2, Zagreb
damir.modric@grf.hr

prof.dr.sc. Marin Milković

Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, Varaždin
dekan@velv.hr

ODREĐIVANJE NAJMANJE PISMOVNE UPOTREBLJIVE VELIČINE U OZNAČAVANJU PROIZVODA

DETERMINING OF SMALLEST USEFUL FONT SIZE IN PRODUCT LABELLING

Jelena Vlašić, Igor Zjakić, Sanja Zlatic

Izvorni znanstveni članak

Sažetak: Čitljivost predstavlja glavni problem u označavanju različitih potrošačkih proizvoda. Veličina pisma određuje čitljivost teksta i ima ključnu ulogu u performansama čitanja. Raspon korištenih veličina pisama koji su u općoj upotrebi na deklaracijama proizvoda, a manji su od optimalnih veličina i izvedeni u suženom pismovnom rezu, uzeti su kao temeljni elementi analize u radu. Vidljivost pod uvjetima umjetnog osvjetljenja, brzina čitanja, stopa pogrešaka i zastajanje prilikom čitanja predloženi su kao kriteriji ocjenjivanja čitljivosti. Istraživanje je provedeno iz dvije različite perspektive vidnog statusa čitatelja. Ovim se radom, znanstvenim metodama istraživanja, nastojalo ukazati na upotrebljivost malih veličina na proizvodima i potreba da iste budu što čitljivije.

Ključne riječi: veličina pisma, pismovni rez, čitljivost, označavanje proizvoda

Original scientific paper

Abstract: Legibility represents the main issue in the labelling of various consumer products. Font size determines the legibility of the text and plays a crucial role in the reading performance. The range of font sizes that are commonly used in product labelling and that are smaller than the optimal size and constructed in condensed font were taken as the basic elements of this article. Visibility depending on artificial light, reading speed, error rate, and pausing during reading, have been suggested as the criteria for legibility evaluation. The survey was conducted from two different perspectives based on the visual status of the reader. With this paper and the scientific methods of research used in it, the intention was to show usefulness of small font size on the product labels and the necessity of making them more readable.

Key words: font size, font style, legibility, product labelling

1. UVOD

Obavijesti o proizvodu, tzv. deklaracije, glavni su medij za informiranje potrošača o značajkama proizvoda i imaju ključnu komponentu u komunikaciji između proizvođača i korisnika.

Svaka oznaka proizvoda funkcionirat će kao primarni tekst koji uz prenošenje informacije educira potrošače na različite načine o samom proizvodu. Samim time postali su bitni posrednički tekstovi u komunikacijskom procesu između proizvođača i potrošača, funkcionirajući pri tome kao poruka i kao medij [1].

Svojom vizualnom artikulacijom moraju prenijeti poruku u svrhu informiranja i educiranja, a takvu je poruku potrebno oblikovati da ona bude jasna, vidljiva i čitljiva.

Živimo u društvu temeljenom na znanju i sve je više potrošača koji čitaju deklaracije na proizvodima. One pružaju mnogo korisnih informacija prilikom donošenja odluke o kupnji proizvoda. Međutim, deklaracije su često teško čitljive, slova su premala, sužena i suviše zbijena u malom prostoru, što može biti izazov za čitanje čak i dobro obrazovanim i visoko motiviranim potrošačima. Kada je tekst organiziran tako da ne odgovara

minimalnim zahtjevima vidljivosti, čitljivosti i jasnoći, korisnici se demotiviraju u traženju i čitanju informacija [2].

U Republici Hrvatskoj samo neke od informacija na deklaracijama su regulirane važećim propisima. Zakon ne propisuje veličinu slova već se samo napominje kako obavijesti o proizvodu moraju biti jasne, vidljive i čitljive [3].

Precizna definiranost tako ostaje stvar subjektivne procjene i pri tome se omogućava da tipografsko oblikovanje deklaracija zaobilazi zakonske odredbe. Tekst deklaracije je često zbijen, bez proreda je i u fontu manjim od 6pt, koji se smatra najmanjom potrebnom veličinom što se tiče deklaracija. [2].

Cilj ovoga rada je objektivno i znanstveno utemeljen pristup istraživanju čitljivosti malih pismovnih veličina.

2. ČITLJIVOST TEKSTUALNIH INFORMACIJA

Tipografija je medij putem kojega se komunicira otisnutim tekstom te se prenosi informacija koja kao takva predstavlja važan čimbenik u osiguravanju lakoće čitanja informacija na deklaracijama proizvoda. Svrha joj

je da prenese informacije do čitatelja, da komunicira identitet i karakter proizvoda, da prezentira i promovira te time izazove interes. Izbor pravilno oblikovane tipografije unaprijedit će proizvod, komunikaciju i identitet [4].

Tipografija predstavlja obilje mogućnosti i oblika od estetske i praktične važnosti. Pravilno oblikovana tipografija podrazumijeva onu tipografiju koja prati osnovna načela čitljivosti teksta pružajući pri tome uvjet jednostavnosti čitanja [1].

Čitanje je od temeljne važnosti u modernoj kulturi i sigurno pripada najrasprostranjenijim i najintenzivnijim aktivnostima suvremenog čovjeka. Čitanje je proces u toku kojeg individuum dekodira pisani govor [5]. Interaktivni je i holistički proces koji objedinjuje dizajn, otisnuti tekst, ali i resurse i iskustva čitatelja [6].

Čitljivost se može definirati kao mjera jednostavnosti, brzine i točnosti čitanja. Čitljivost nam ukazuje na to kako se lako slovni znakovi mogu prepoznati i kako se lako tekst može pročitati [7]. Tako se može reći da čitljivost uključuje percepciju izoliranih slova i riječi te čitanje kontinuiranog, odnosno smislenog tekstualnog materijala [5]. Čitljivost teksta postiže se pravilnim tipografskim oblikovanjem i obilježjima slovnog znaka koji omogućuju oku razlikovati jedno slovo od drugog. Usmjerena je na poboljšanje jasnoće predočene informacije i nije vezana za sadržaj teksta.

Osnovni tipografski faktori koji utječu na čitljivost teksta:

1. veličina pisma/udaljenost čitanja
2. kombinacija boja podloge i slovnih znakova definirana kao optički kontrast
3. izbor vrste pisma (serifna ili bez serifa)
4. pismovni rez
5. razmak između redaka definiran kao prored
6. dužina retka teksta izražena u broju slovnih znakova u retku
7. razmak između slova
8. razmak između riječi
9. poravnanje teksta definirano kao isključivanje
10. raščlanjivanje teksta (uvlake, odlomci i sl.)
11. uređenje stranice i marginalni prostori
12. kvaliteta tiskovne podloge [8]

Tipografsko oblikovanje kombinira izbor tih faktora prilikom dizajna deklaracije proizvoda i ti će čimbenici odrediti lakoću čitanja informacija [1].

Jedan od najutjecajnijih parametara lakoće čitanja informacija jest pismovna veličina. Veličine pisma koje se danas koriste u računalima slijede veličine olovni slova korištenih u prošlosti za ručno slaganje sloga [9]. Za potrebe ručnog sloga olovna slova lijevala su se u rasponu od 6pt do najviše 72 pt, a samo iznimno ispod ili iznad toga. Veličina nonparel (franc. nonpareil – kojemu nema premda, neusporediv) naziv je za pismovnu veličinu od 6pt koja odgovara veličini 2,256mm. Ista je smatrana najmanjom pismovnom veličinom koja se može upotrijebiti za slaganje tekućeg teksta [10].

Današnja DTP tipografska točka korištena u računalima zbog anglosaksonskog mjernog sustava [9] od 6pt iznosi 2,116 mm [11], te će ista na temelju ovih saznanja biti krajnja tipografska veličina u ispitivanju čitljivosti malih pismovnih veličina.

2.1. Optimalna čitljivost

Optimalna čitljivost ovisna je o mnogim parametrima.

Optimalna pismovna veličina kreće se oko 10-11 pt sa stvarnim proredom oko 20% veličine pisma. Podrazumijeva pri tome čitanje teksta s udaljenosti od 30cm jer se planirana veličina pisma odnosi prema udaljenosti čitanja u omjeru 1:100 [12].

Općenito se može reći da pisma bez serifa (skupina grotesk) imaju prednost dokle god se radi o relativno kratkim priopćenjima, dok kod dužih tekstova prednost prelazi na stranu serifnih pisama (skupina antikva).

Kurentna slova čitljivija su od verzalnih. Za čitanje verzalnog teksta čitatelju je potrebno dva do tri puta više vremena, ovisno o dužini teksta.

Čitljivost također zavisi od pismovnog reza, što znači da su općenito čitljiviji tekstovi koji nisu kurzivni, prošireni, suženi i nemaju nikakve efekte naglašavanja (nježni, poludebeli, debeli) [12].

Optimalna dužina retka je oko 80mm s brojem slovnih znakova u retku između 50-60 koji uključuje razmake između riječi, interpunkcijske znakove itd. [8].

Razmak između slova je važna osobina koja u velikoj mjeri utječe na čitljivost teksta [13]. Bjeline među slovima mogu se proširiti (spacionirati) ili podrezati (kerning) [12]. Slova bi trebala teći u riječi lagano i prirodno neprekinuto bjelinama ili suženo pretjeranim naguravanjem [14].

Optimalan razmak između riječi teško je precizno odrediti. Tu vrijede pravila da razmak između riječi mora biti veći od onoga između pojedinih slova, a manji od onog između pojedinih redaka teksta, te mora biti jednak najčešćem slovnom znaku u tekstu. Drugo pravilo ovisi o jeziku pa bi tako, statistički gledano, u hrvatskom jeziku razmak trebao iznositi širinu kurentnog slova "a", u njemačkom širinu kurentnog slova "n", a u anglosaksonskom svijetu uglavnom se navodi širina verzalnog slova "T". Kao neformalno pravilo ipak se ustalilo malo slovo "n". U svakom slučaju razmak između riječi trebao bi biti jednak ili barem što konzistentniji u cijelom tekstu. To je moguće kod tekstova koji su poravnati u lijevu stranu, poravnati u desnu stranu ili po sredini, a kod teksta koji je poravnat s obje strane uočljivo je da razmak među riječima često nije jednak i varira od retka do retka [15].

Za optimalnu čitljivost preporuča se isključivanje teksta u lijevo ili na puni format. U ovisnosti o situacijama, isključivanje se može obaviti i udesno ili u sredinu, ali se time smanjuje čitljivost [14].

Uvlačenje prvog reda odlomka povećava čitljivost za 7% [5]. Međutim, treba se pobrinuti da takva uvlačka nije prevelika da se ne naruši homogenost teksta. Također treba izbjegavati situacije u kojima u novom redu ostaje nekoliko slova ili jedna riječ. Situacija u kojoj zadnji red odlomka prelazi u novi stupac ili novu stranicu doživljava se kao greška u kojoj se narušava cjelina teksta [14].

Odvajanje riječi može se raditi u najviše tri retka zaredom, osim u specifičnim grafičkim proizvodima koji imaju uske stupce kao što su npr. novine gdje je maksimalni broj odvajanja zaredom pet.

Položaj sloga (teksta i slike) na grafičkom proizvodu trebao bi biti u "zlatnom rezu". Kažemo da su dvije veličine u omjeru zlatnog reza ako se manji dio odnosi prema većem kao što se veći dio odnosi prema ukupnom, tj. ako vrijedi:

$$\frac{m}{M} = \frac{M}{m+M} \quad (1)$$

Positivno rješenje pripadne kvadratne jednadžbe iznosi 0.6180339887 što označavamo malim grčkim slovom φ . Zapišemo li jednadžbu (1) recipročno, kao rješenje dobivamo broj 1.6180339887 kojeg označavamo velikim grčkim slovom Φ . [16]

Čitljivost je i svojstvo samog grafičkog materijala, odnosno boje i satiniranosti tiskovne podloge koje trebaju biti takve da ne reflektiraju velik dio svjetlosti.

Sjajne i izrazito bijele podloge mogu smanjiti čitljivost [17].

Interakcija boje teksta i boje pozadine također utječe na čitljivost. Što je veći kontrast između boje podloge i slovnih znakova, veća je čitljivost. Tekst u pozitivu (crno na bijelo) lakše je čitljiv od teksta u negativu (bijelo na crno) [6]. Ako bojom podloge (teksta) želimo posebno naglasiti poruku (sadržaj) potrebno je pažljivo odabrati boju teksta, odnosno podloge kako bi izabrana kombinacija boja bila što čitljivija [12]. Najbolje kombinacije su: crno na žutom, žuto na crnom, zeleno na bijelom, crveno na bijelom, bijelo na plavom te plavo na žutom. Najgore kombinacije su: zeleno na narančastom i crveno na zelenom [18].

BOJA 12	BOJA 5	BOJA 9	BOJA 18	BOJA 15
BOJA 6	BOJA 17	BOJA 1	BOJA 8	BOJA 11
BOJA 13	BOJA 4	BOJA 14	BOJA 2	BOJA 20
BOJA 19	BOJA 10	BOJA 16	BOJA 3	BOJA 7

Slika 1. Prikaz interakcije boje teksta i boje pozadine [18]

2.2. Vanjski čimbenici koji utječu na čitljivost

Postoje vanjski čimbenici koji mogu utjecati na čitljivost. Među njih se ubrajaju uvjeti gledanja, odnosno kut pod kojim se gleda, pozicija čitača, ali i vrsta i količina svjetla [19].

Posebno važno za ovaj rad je podatak da ljudsko oko doživljava proces starenja kojeg se obično naziva staračka dalekovidnost ili presbiopija (slika 2.). Javlja se u srednjoj životnoj dobi, između 40. i 45. godine života, zbog toga jer oko izgubi mogućnost zaoštavanja na bliske predmete [20]. Udaljenost na kojoj se oko može fokusirati na otisnuti tekst mijenja se s godinama. S

godinama promjene u svjetlu i udaljenost zahtijevaju veću adaptaciju oka. [1]



Slika 2. Lijevo - normalni vid, desno - presbiopija [21]

S obzirom na to da su deklaracije na proizvodima predmeti široke potrošnje, možemo razmotriti i demografsku sliku hrvatskog stanovništva. Državni zavod za statistiku objavio je popis stanovništva za 2011. godinu. Popis pokazuje da je hrvatsko stanovništvo demografski staro. Najviše stanovnika u dobi je od 50 do 54 godine, dok je prosječna starost stanovništva u Republici Hrvatskoj 41,7 godina [22]. Na temelju tih podataka za pretpostaviti je da većina naših stanovnika ima narušenu kvalitetu vida.

2.3. Metode ispitivanja čitljivosti

Metode i tehnike koje se koriste kod ispitivanja čitanja i u istraživanjima čitljivosti mogu se podijeliti u dvije velike grupe. U jednu grupu ulaze metode direktnog praćenja i/ili mjerenja karakteristika čitanja, a u drugu metode koje se sastoje u otežavanju situacije čitanja.

2.3.1. Metode direktnog praćenja i/ili mjerenja karakteristika čitanja

Tehnika refleksa treptanja - tehnika oko čije se valjanosti postavlja najviše dvojbe budući da se temelji na pretpostavci da pitanje manje čitljivog teksta izaziva povećanje frekvencije treptanja čitača. Prema pretpostavci te tehnike, čitljiviji bi bio onaj tekst kod kojeg čitatelj trepne što rjeđe.

Testovi čitanja - postoji nekoliko varijacija te tehnike; nakon zadanog zadatka može se mjeriti brzina čitanja, količina pročitano u nekom vremenu, točnost pročitano. Ispituje se uspješnost u čitanju u varijabilnim situacijama koje zahtijevaju vizualnu diskriminaciju.

Tehnika opažanja i snimanja pokreta očiju - pomoću te tehnike, osim onih temeljnih podataka o procesu čitanja, dobivaju se isti podaci kao i mjerenjem brzine čitanja. No, ta tehnika omogućava i dodatne podatke o tome zašto neoptimalno tipografsko uređenje zahtijeva više vremena za čitanje od optimalnog. Koristeći ovu tehniku može se odgovoriti na to je li produženo vrijeme posljedica većeg broja fiksacijskih pauza, dužih fiksacijskih pauza, većeg broja regresija ili svega ukupnog.

2.3.2. Metode koje se sastoje u otežavanju situacije čitanja

Metoda kratke ekspozicije - upotrebom kratke ekspozicije mjeri se brzina i točnost s kojom mogu biti

percipirana slova, simboli, riječi, fraze. Na taj način se može ustanoviti prepoznatljivost tiskanih simbola. Ta je metoda dobra za određivanje relativne čitljivosti slova u abecedi, matematičkih znakova, simbola, a korisna je i za ispitivanje varijabilnih faktora koji utječu na povećanje ili smanjenje čitljivosti.

Metoda najveće udaljenosti – mjera čitljivosti je udaljenost s koje se točno može prepoznati materijal. Korisna je za ispitivanje relativne čitljivosti slova i ispitivanje uloge forme riječi na percepciju.

Metoda indirektnog gledanja - mjeri se horizontalna distanca od fiksacijske točke na kojoj se simbol može točno percipirati. Koristi se za određivanje relativne čitljivosti i za provjeru je li bolji crni ili bijeli tisak.

Metoda liminalnog osvjetljenja - na čitljivost pisma zaključuje se iz najmanjeg kvanta svjetla koje je dovoljno da se jedan tekst pročita. Pretpostavlja se da je čitljivije ono pismo koje se može pročitati uz manje svjetla.

Tehnike mutiliranja sadržaja - materijal se posebnim postupcima zamaskira, učini se neoštrim, dodaju se namjerne tiskarske pogreške, "odreže" se gornji ili donji dio slova. Čitljivijim se materijalom smatra onaj koji može podnijeti više mutiliranja, a da još bude čitljiv.

Vibrometrijski postupak - vibrometrima se regulira titranje sadržaja pa se čitljivijim smatra onaj sadržaj koji se može pročitati uz više titranja.

Postupak brzog promicanja sadržaja – čitljivijim se smatra onaj sadržaj koji se može pročitati kod bržeg promicanja sadržaja [5].

3. ISPITIVANJE ČITLJIVOSTI

Sama ideja provedenih istraživanja zasnovana je na određivanju kritične pismovne veličine odgovarajuće za prosječnog čitača – potrošača. Pod kritičnom pismovnom veličinom podrazumijeva se najmanja pismovna veličina koju se može pročitati maksimalnom brzinom, bez puno pogrešaka i zastajanja.

Za vrijednosti koje će biti praćene i analizirane odabrane su male pismovne veličine, kao jedan od najutjecajnijih parametara čitljivosti deklaracija. Za potrebe istraživanja izrađeni su tekstovi koji simuliraju popis sastojaka čokolade. Pri tome su u tekstu korištene jednostavne riječi kako vokabular i sintaksa ne bi ograničavali učinkovitost.

Metoda odabranog ispitivanja je brzina čitanja kao najizravnija psihofizička mjera vizualne komponente čitljivosti. Ispitanici su zamoljeni da pročitaju na glas kratke odlomke teksta, a vrijeme u kojem su točno pročitali pretvara se u brzinu čitanja. Također, brojale su se pogreške kod brzine čitanja, te se mjerilo zastajkivanje koje će nam ukazati na teškoće čitljivosti pojedinog teksta.

Tekstovima je određena veličina pisma prema rasponu od 3pt do 6pt računalnog fonta Arial, bez dodanog razmaka između redova (proreda) oblikovanih u dva pismovna reza normalni i suženi. Zbog toga što se željelo istražiti kakav utjecaj na rezultate imaju tekstovi oblikovani kao na deklaracijama u kojima su često

limitirani formatom proizvoda (male pismovne veličine, kao kompresni slog i često suženog pismovnog reza).

U cilju postizanja što boljih rezultata, svi ostali parametri koji utječu na čitljivost postavljeni su u vrijednostima optimalne čitljivosti te kao takvi ne predstavljaju varijable u procesu istraživanja.

Istraživanje je provedeno na uređaju s različitim izvorima svjetla GretagMachbeth Judge II (slika 3.), a pomoću kojeg smo odabrali izvor svjetla A (2865⁰K) koja predstavlja klasičnu umjetnu svjetlost proizvedenu žaruljom s volframovom niti.



Slika 3. GretagMachbeth Judge II [23]

Odabrani ispitanici podijeljeni su u dvije grupe. U prvoj grupi bilo je 15 osoba mlađe populacije s prosjekom od 19 godina, a drugu grupu činile su 24 osobe iznad 40 godina s prosjekom od 57 godina. Svi sudionici fokusnih grupa pomno su odabrani tako da predstavljaju dobro obrazovanu populaciju ljudi, bez poremećaja u čitanju (aleksija, disleksija itd.), kako isti ne bi bili ograničavajući faktor u istraživanju. Izbor fokusnih grupa je metoda čija je namjena bila osigurati različite vidne statuse ispitanika uključene u uzorke ispitivanja.

Konačna analiza trebala bi dati odgovor na pitanje koja je kritična, odnosno najmanja pismovna veličina za koju je čitanje moguće ostvariti maksimalnom brzinom, bez puno pogrešaka i zastajkivanja prilikom čitanja.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U svrhu utvrđivanja najprikladnije pismovne veličine, vrijeme potrebno ispitanicima da pročitaju tekst prikazano je boxplot dijagramima.

Boxplot dijagram sastoji se od pravokutnika (box) i „brkova“ (whisker). Box predstavlja podatke koji se po vrijednosti nalaze u rasponu od 25% do 75% ukupne veličine. Donja linija predstavlja donji kvartil (Q_1), tj. vrijednost koja ima svojstvo da je 25% podataka manje od nje, a gornja linija predstavlja gornji kvartil (Q_3), tj. vrijednost koja ima svojstvo da je 25% podataka veće od nje. Linija unutar pravokutnika je medijan (M). Vrijednost koja ima svojstvo da je 50% podataka veće, a 50% podataka manje od nje.

Interkvartil (IQR) je razlika između gornjeg i donjeg kvartila, odnosno duljina našeg pravokutnika. Pokazuje nam koliki je raspon središnjih 50% podataka.

Outlieri su vrijednosti koje odstupaju od ostalih podataka, tj. vrijednosti koje su od gornjeg i donjeg kvartila udaljene za više od $1,5 \cdot IQR$.

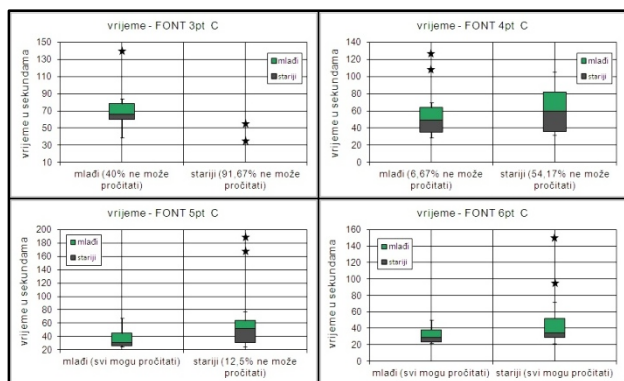
„Brkovi“ box plota označavaju minimalnu i maksimalnu vrijednost koje nisu outlieri.

Izgled box plota ukazuje na stupanj raspršenosti podataka. Standardna devijacija je statistički pojam koji označava mjeru raspršenosti podataka u skupu. Interpretira se kao prosječno odstupanje svih vrijednosti niza od njegove aritmetičke sredine i to u apsolutnom iznosu. Računa se kao pozitivan kvadratni korijen varijance, pri čemu je varijanca aritmetička sredina kvadrata odstupanja vrijednosti numeričke varijable od njene aritmetičke sredine. Za niz izmjerenih vrijednosti x_1, x_2, \dots, x_n varijanca je definirana izrazom:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

Dakle, standardna devijacija je:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$



Slika 4. Vrijeme potrebno ispitanicima za čitanje zadanog teksta (suženi pismovni rez)

Box plot dijagramom prikazani su podaci dobiveni mjerenjem vremena potrebnog za čitanje teksta suženog pismovnog reza (slika 4.). Za svaku pismovnu veličinu posebno su prikazani podaci dobiveni ispitivanjem mlađe i starije populacije. Kao što se i očekivalo, za čitanje istog teksta mlađoj je populaciji trebalo manje vremena nego starijoj.

Od mlađe populacije njih 40% nije moglo pročitati tekst veličine fonta 3 pt, 6,67% ne može pročitati tekst veličine 4pt, dok pismovnu veličinu 5pt i 6pt mogu svi pročitati.

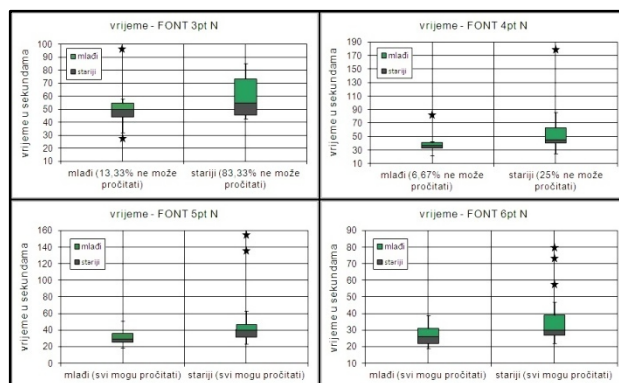
Većina starijih ispitanika (91,67%) tekst veličine fonta 3pt uopće nije mogla pročitati. Tekst veličine slova 4 pt ne može pročitati 54,17% starije populacije, 5 pt 12,5%, dok pismovnu veličinu 6pt mogu svi pročitati.

Mlađim ispitanicima je za čitanje teksta pismovne veličine 3pt trebalo između 32 i 58 sekundi, za tekst veličine 4pt između 29 i 70 sekundi, 5pt od 25 do 68, dok im je za tekst veličine slova 6pt trebalo između 22 i 50 sekundi. Kod teksta veličine 3pt i 4pt postojali su i "outlieri", što znači da je nekoliko ispitanika znatno

odstupalo od ostalih. Starijoj je populaciji za isti tekst trebalo nešto više vremena i znatno više ispitanika nije moglo pročitati zadani tekst. Pismovnu veličinu 4pt moglo je pročitati manje od 50% ispitanika, a ostalima je za taj tekst trebalo između 32 i 105 sekundi. Za tekst veličine 5pt trebalo im je između 25 i 77 sekundi, dok im je za 6pt trebalo od 21 do 72 sekunde.

Pogleda li se oblik box plot, može se uočiti da se povećanjem veličine slova duljina box plot smanjuje, što znači da se podaci sve više grupiraju oko aritmetičke sredine. Standardna devijacija uzorka kod mlađe populacije za veličine fonta od 3pt do 6pt iznosi: 13, 13, 59; 14,45 te 8,96. S obzirom na to da samo dva ispitanika starije populacije mogu pročitati tekst veličine fonta 3pt, u ovom se slučaju standardna devijacija računa samo za pismovnu veličinu od 4pt do 6pt: 25, 22; 16,14; 14,56. Iz dobivenih podataka, uzevši u obzir da su prilikom računanja standardne devijacije izbačeni "outlieri", možemo zaključiti da je kod obje populacije najmanje rasipanje podataka u slučaju najveće veličine slova, što je i bilo očekivano.

Dakle, na temelju ovih dijagrama može se zaključiti da kod suženog pismovnog reza mlađa populacija može pročitati, i to vrlo brzo, tekst pismovne veličine 5pt i 6pt uz činjenicu da je kod veličine slova 6pt manja raspršenost podataka. Starijoj populaciji suženi pismovni rez predstavlja dosta problema u čitanju. Samo su tekst veličine fonta 6 pt mogli pročitati svi ispitanici, s time da su podaci još uvijek dosta raspršeni te imamo "outlier".



Slika 5. Vrijeme potrebno ispitanicima za čitanje zadanog teksta (normalni pismovni rez)

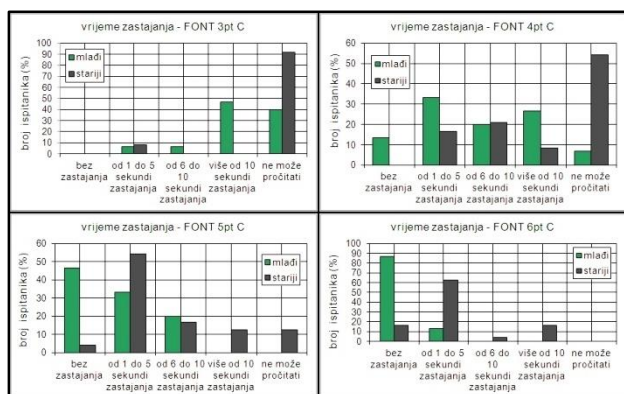
Isto ispitivanje napravljeno je i s normalnim pismovnim rezom (slika 5.). U ovom slučaju ispitanici su lakše i brže čitali tekst. Za svaku pismovnu veličinu veći postotak ispitanika mogao je pročitati tekst. Kod mladih veličinu teksta 3 pt nije moglo pročitati samo 13,33% ispitanika, 4 pt 6,67%, a 5 pt i 6 pt mogu svi pročitati. 83,33% starijih ispitanika nije moglo pročitati pismovnu veličinu 3 pt. Kod veličine 4 pt, za razliku od suženog pismovnog reza gdje ovu veličinu nije moglo pročitati više od 50% ispitanika, sada to ne može učiniti samo 25%. Kao i mlađim ispitanicima, tekst veličine 5 pt i 6 pt u ovom slučaju čitljiv je i starijoj populaciji.

Vrijeme potrebno za čitanje teksta sada je znatno manje. Mlađoj populaciji za veličinu fonta 3 pt trebalo je između 32 i 58 sekundi, 4 pt od 22 do 43 sekunde, 5 pt od 19 do 51 sekunda, a 6 pt ispitanici su pročitali za 19-39 sekundi. Starijoj je populaciji za čitanje istog teksta i

u ovom slučaju trebalo nešto više vremena. Za font 3 pt trebalo im je od 43 do 85 sekundi, 4 pt između 25 i 86 sekundi, 5 pt između 23 i 63 sekunde, a 6 pt od 22 do 47 sekundi.

Uspoređi li se vrijeme potrebno za čitanje zadanog teksta iste veličine pisanog normalnim i suženim pismovnim rezom, može se uočiti da se kod mlađe populacije maksimalno vrijeme čitanja smanjilo za 26, 27, 17 te 11 sekundi, pri čemu je vrijeme navedeno redom od najmanjeg do najvećeg fonta. Kod starije je populacije vrijeme čitanja za pismovnu veličinu 4 pt, 5 pt i 6 pt smanjeno za 12, 12 te 26 sekundi. Dakle, može se zaključiti da je kod mlađe populacije razlika između normalnog i suženog pismovnog reza izraženija na manjoj veličini slova. Slova veličine 6 pt lako su im čitljiva bez obzira na pismovni rez teksta. Kod starije je populacije slučaj malo drukčiji. U njihovom slučaju primjećuje se da tekst veličine 6 pt s normalnim pismovnim rezom znatno lakše čita nego onaj sa suženim.

Standardna je devijacija kod mlađih ispitanika za font od 4 pt do 6 pt iznosila redom: 7,17; 6,94; 8 i 5,48; dok su kod starije populacije te vrijednosti iznosile: 18,81; 14,72; 10,86 i 8,48. Usporede li se ove vrijednosti s vrijednostima dobivenih kod iste veličine teksta sa suženim pismovnim rezom, može se zaključiti da se raspršenost podataka znatno smanjila.



Slika 6. Vrijeme zastajanja – suženi pismovni rez

Osim mjerenja vremena potrebnog za čitanje zadanog teksta mjereno je i vrijeme zastajanja. Prilikom čitanja teksta sa suženim pismovnim rezom ispitanici su često zastajali. Prema broju sekundi koliko je trajalo zastajanje, podaci su grupirani u razrede. U prvom su razredu podaci o ispitanicima koji nisu zastajivali u čitanju. Iz dijagrama prikazanog na slici 6. može se zaključiti da je postotak ispitanika koji nisu zastajivali rastao s povećanjem veličine slova, te da kod starije populacije veoma mali postotak ispitanika nije zastajao prilikom čitanja. Tekst pismovne veličine 3 pt nijedan ispitanik nije mogao pročitati bez zastajanja. Mlađi ispitanici imali su problema i sa čitanjem fonta veličine 4 pt (samo 13,33% može pročitati bez zastajanja). Tekst veličine 5 pt bez zastajanja može pročitati 46,67%, dok je kod fonta 6 pt taj postotak narastao na 86,67%. Starijoj populaciji je gotovo nemoguće ovaj tekst pročitati bez zastajanja. Manji broj ispitanika to može učiniti kod teksta pismovne veličine 5 pt i 6 pt. Kod 5 pt taj postotak iznosi 4,17%, dok je kod 6 pt iznosio 16,67%.

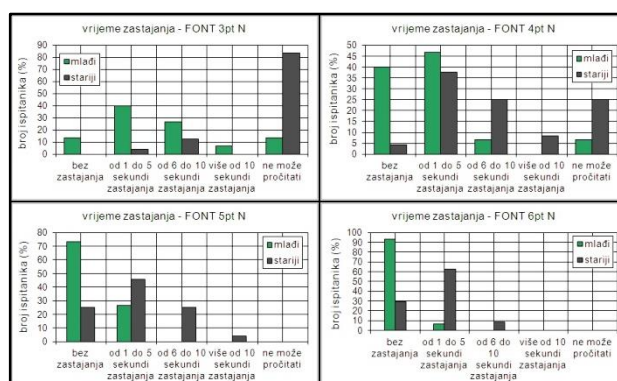
U drugi razred svrstani su ispitanici koji su zastali od jedne do pet sekundi. Ispitanici čije je vrijeme zastajanja trajalo točno 5 sekundi također upadaju u ovaj razred. Mlađi ispitanici u ovaj razred najviše upadaju kod čitanja teksta pismovne veličine 4 pt i 5 pt. U oba slučaja to je 33,33% ispitanika. Kod veličine 3 pt od jedne do pet sekundi zastaje 6,67% mlađih ispitanika, a kod veličine 6 pt 13,33%. S obzirom na to da suženi pismovni rez predstavlja dosta poteškoća u čitanju kod starije populacije, postotak ispitanika koji upadaju u ovaj razred narastao je tek kod pismovne veličine 5 pt (54,17%) i 6 pt (62,5%). Prilikom čitanja teksta pismovne veličine 3 pt ovaj postotak iznosi tek 8,33%, a kod veličine fonta 4 pt 16,67%, što znači da je za ovu pismovnu veličinu kod starije populacije vrijeme zastajivanja trajalo duže od 5 sekundi.

Ispitanici čije je vrijeme zastajanja trajalo od 5 do 10 sekundi (uključujući i one s točno 10 sekundi) svrstani su u treći razred. Kod pismovne veličine 3 pt ovdje upada samo 6,67% mlađih ispitanika. 20% zastaje između 5 i 10 sekundi prilikom čitanja teksta veličine fonta 4 pt i 5 pt, a kod veličine 6 pt niti jedan mlađi ispitanik ne pripada ovom razredu. Kod starije populacije u ovaj razred upada 20,83% ispitanika prilikom čitanja teksta veličine fonta 4 pt, 16,67% ispitanika prilikom čitanja teksta veličine 5 pt, te 4,17% ispitanika kod teksta pismovne veličine 6 pt.

Vrijeme zastajanja trajalo je više od 10 sekundi kod čitanja teksta veličine 3 pt za 46,67% mlađih ispitanika, dok je kod fonta 4 pt zastajanje trajalo duže od 10 sekundi za 26,67% ispitanika mlađe populacije. Prilikom čitanja teksta pismovne veličine 4 pt više od 10 sekundi zastalo je 8,33% starije populacije, kod 5 pt to je učinilo 12,5%, a kod 6 pt 16,67% starijih ispitanika.

U zadnji su razred svrstani ispitanici koji nisu mogli pročitati zadani tekst.

Iz dobivenih bar dijagrama može se zaključiti da su prilikom čitanja teksta suženog pisma mlađi ispitanici najviše zastajali kod pismovne veličine 3 pt, i to je vrijeme trajalo duže od 10 sekundi. Starija je populacija najviše zastajala kod teksta veličine slova 5 pt i 6 pt, i to je vrijeme trajalo od jedne do pet sekundi.

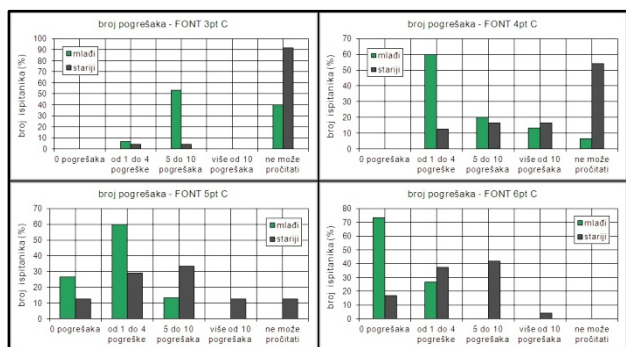


Slika 7. Vrijeme zastajanja – normalni pismovni rez

Kod normalnog pismovnog reza mlađi su ispitanici tekst veličine slova 5 pt i 6 pt čitali gotovo bez zastajanja (slika 7.). Prilikom čitanja teksta veličine 6 pt zastalo je samo 6,67% ispitanika i to je vrijeme trajalo manje od 6 sekundi, dok je kod teksta veličine 5 pt to učinilo 26,67%

ispitanika. Tekst pismovne veličine 4 pt 40% mlađih ispitanika čita bez zastajanja, 46,67% zastaje na 1 do 5 sekundi, 6,67% zastaje između 6 i 10 sekundi, dok 6,67% ne može pročitati ovaj tekst. Pismovnu veličinu 3 pt bez zastajanja čita 13,33% mlađih ispitanika, 40% zastaje na manje od 6 sekundi, 26,67% zastaje na 6 do 10 sekundi, 6,67% na više od 10 sekundi, a 13,33% ne može pročitati. Za razliku od suženog pismovnog reza, u ovom slučaju mlađi ispitanici i tekst pismovne veličine 4 pt čitaju s vrlo malo zastajanja.

Veliki postotak starije populacije (čak 83,33%) ni u ovom slučaju ne može pročitati tekst pismovne veličine 3 pt. Oni koji to mogu učiniti zastali su na 6 do 10 sekundi (12,%) ili na manje od 6 sekundi (4,17%). Kod pismovne veličine 4 pt samo 4,16% tekst čita bez zastajanja, 37,5% zastaje na manje od 6 sekundi, 25% zastaje na 6 do 10 sekundi, 8,33% na više od 10 sekundi dok 25% starijih ispitanika ovaj tekst ne može pročitati. Tekst veličine fonta 5 pt bez zastajanja može pročitati 25% ispitanika, sa zastajanjem kraćim od 6 sekundi 45,83%, između 6 i 10 sekundi 25%, a 4,17% zastaje na više od 10 sekundi. Tekst pismovne veličine 6 pt 29,17% ispitanika čita bez zastajanja, 62,5% zastaje na vrijeme kraće od 6 sekundi, a 8,33% na vrijeme od 6 do 10 sekundi. Kod starijih ispitanika tek se kod pismovne veličine 6 pt smanjilo vrijeme zastajanja. Kod ovog teksta većina ispitanika nije zastala ili je zastala na vrijeme kraće od 6 sekundi pa se može zaključiti da je ovaj tekst bio lako čitljiv i starijoj populaciji.



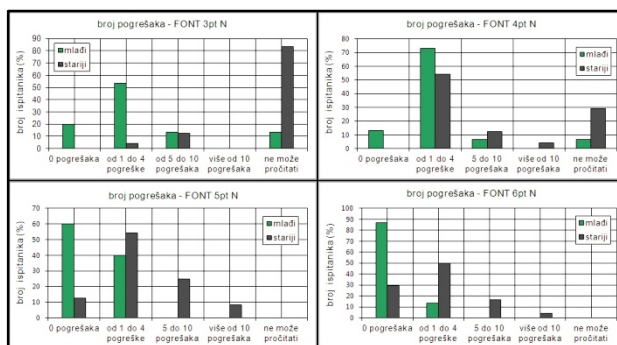
Slika 8. Broj pogrešaka – suženi pismovni rez

Kako bi se moglo zaključiti koju je najmanju pismovnu veličinu moguće pročitati bez većih poteškoća, ispitanicima su brojane pogreške u čitanju. Slika 8. prikazuje broj pogrešaka prilikom čitanja teksta sa suženim pismovnim rezom. Ispitanici su prema broju pogrešaka koje su napravili prilikom čitanja podijeljeni u pet razreda. U jednom se razredu nalaze ispitanici koji nisu napravili ni jednu pogrešku kod čitanja, u drugom razredu su oni koji su napravili 1-4 pogreške, u trećem 5-10 pogrešaka, u četvrtom više od 10 pogrešaka te u petom oni koji uopće nisu mogli pročitati zadani tekst.

Od 60% mlađih ispitanika koji mogu pročitati tekst sa suženim pismovnim rezom veličine fonta 3 pt, njih 53,33% napravilo je od 5 do 10 pogrešaka, a 6,67% od 1 do 4 pogreške. Tekst veličine 4 pt može pročitati 93,33% mlađih ispitanika. Od toga njih 60% je napravilo od 1 do 4 pogreške, 20% napravilo je 5 do 10 pogrešaka, a 13,33% više od 10 pogrešaka. Pismovnu veličinu 5 pt i 6 pt mogu svi pročitati. Prilikom čitanja teksta veličine 5 pt 26,67% mlađih ispitanika nije napravilo pogrešku, 60%

napravilo je od 1 do 4 pogreške, a 13,33% od 5 do 10 pogrešaka. Kod veličine 6 pt 73,33% nije pogriješilo, a 26,67% napravilo je od 1 do 4 pogreške.

Kod starijih ispitanika pismovnu veličinu 3 pt ne može pročitati 91,67%, a veličinu 4 pt 54,17%. Od preostalih 45,83% njih 12,5% napravilo je od 1 do 4 pogreške, te 16,67% 5 do 10 i više od 10 pogrešaka. Od 87,5% starijih ispitanika koji mogu pročitati suženi pismovni rez veličine 5 pt, 12,5% nije pogriješilo, 29,17% napravilo je od 1 do 4 pogreške, 33,33% 5-10 pogrešaka te 12,5% više od 10 pogrešaka. Tek kod veličine slova 6 pt svi ispitanici starije populacije mogu pročitati zadani tekst, ali još uvijek ima dosta pogrešaka u čitanju. Tek 16,67% nije napravilo ni jednu pogrešku, 37,5% pogriješilo je između 1 i 4 puta, 41,67% napravilo je 5-10 pogrešaka, a 4,17% više od 10 pogrešaka.



Slika 9. Broj pogrešaka – normalni pismovni rez

Prilikom čitanja teksta s normalnim pismovnim rezom broj se pogrešaka znatno smanjio (slika 9).

Najviše mlađih ispitanika kod veličine fonta 3 pt napravilo je od 1 do 4 pogreške (53,33%), a 20% ispitanika nije napravilo ni jednu pogrešku. 13,33% napravilo je od 5 do 10 pogrešaka, a isti postotak mlađe populacije ne može pročitati ovaj tekst. Veličinu 4 pt može pročitati 93,33% mlađih ispitanika. Od toga je 73,33% napravilo od 1 do 4 pogreške, 13,33% nije pogriješilo, a 6,67% napravilo je od 5 do 10 pogrešaka. Kod pismovne veličine 5 pt, 60% ispitanika nije pogriješilo, a 40% je napravilo manje od 5 pogrešaka. Tekst veličine 6 pt mlađi su ispitanici čitali gotovo bez pogrešaka, 86,67% nije pogriješilo, a 13,33% napravilo je manje od 5 pogrešaka.

Tek 16,67% starijih ispitanika može pročitati tekst normalnog pismovnog reza veličine slova 3 pt, a njih 12,5% napravilo je od 5 do 10 pogrešaka. Od 70,83% starijih ispitanika koji mogu pročitati pismovnu veličinu 4 pt 54,17% napravilo je između 1 i 4 pogreške, 12,5% između 5 i 10 pogrešaka, a više od 10 pogrešaka napravilo je 4,17% ispitanika. Kod pismovne veličine 5 pt 12,5% nije pogriješilo, 54,17% pogriješilo je od 1 do 4 puta, 25% 5 do 10 puta, te 8,33% više od 10 puta. Prilikom čitanja teksta pismovne veličine 6 pt gotovo 80% ispitanika je napravilo manje od 5 pogrešaka. 29,17% nije pogriješilo u čitanju, a 50% je napravilo od 1 do 4 pogreške. 16,67% je napravilo od 5 do 10 pogrešaka dok je 4,17% napravilo više od 10 pogrešaka.

5. ZAKLJUČAK

Deklaracija predstavlja proizvođača, stvara osjećaj brige za potrošača i neposrednog korisnika osiguravajući pri tome povjerenje i nesumnjivu naklonost proizvođaču. Nužno mora biti usmjerena prosječnom potrošaču brinući i o onima sa slabijim vidom. Ako je informacija na deklaracijama oblikovana da opravdava attribute "jasan, vidljiv i čitljiv", korisnici će bolje prihvatiti proizvod. Dakle, deklaracija nije samo važna korisniku već ima važnu ulogu proizvođaču u njegovoj marketinškoj strategiji za promicanje i plasiranje proizvoda na tržištu. Iz linije istovrsnih proizvoda tržišna je valorizacija jedino mjerilo uspjeha. Upravo će vizualna artikulacija informacija motivirati potencijalne korisnike, kultivirati prepoznatljivost proizvoda i utjecati na javno mnijenje i percepciju proizvoda.

Popis sastojaka na deklaracijama ima sadržajne zahtjeve, ali samo tipografski zahtjevi koji uključuju i minimalnu pismovnu veličinu mogu biti mjerodavni u vrednovanju čitljivosti.

S obzirom na provedena znanstvena istraživanja o upotrebljivosti najmanje pismovne veličine, veličina fonta od 6 pt, izmjerena na fontu Arial, normalnog ili suženog pismovnog reza trebala bi se uzeti kao minimum. Međutim, veličina fonta 5 pt isključivo normalnog pismovnog reza može biti prihvaćena kao minimum, ali u iznimnim situacijama.

6. LITERATURA

- [1] http://www.ciai.ca/website_reports/Food_label07_fu_11.pdf (Dostupno:05.01.2013.)
- [2] Silver, N. C.; Braun, C. C.: Perceived readability of warning labels with varied font sizes and styles, *Safety Science*, Vol. 16, No. 5–6 (1993) 615-625
- [3] <http://deklaracije.net/ODEklaracijama.htm> (Dostupno 03.01.2013.)
- [4] Lehner, F.:Quality control in software documentation: Measurement of text comprehensibility, *Information & Management*, Vol. 25, No. 3. (1993) 133-146
- [5] <http://darhiv.ffzg.hr/148/1/RenataKoković.pdf> (Dostupno: 12.01.2013.)
- [6] Felici, J.: The complete manual of typography second edition, Adobe Press, USA, 2011.
- [7] Flory, S. M.; Thomas, J.; Phillips, J.; Tassin, M. F.:Measuring readability: A comparison of accounting textbooks, *Journal of Accounting Education*, Vol. 10, No. 1 (1992) 151-161
- [8] Tinker, M.A.: Legibility of Print, Iowa State University Press, USA, 1963.
- [9] Bernard, M. L.; Chparro, B. S.; Mills, M. M.; Halcomb, C. G.:Comparing the effects of text size and format on the readability of computer-displayed Times New Roman and Arial text, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 59, No. 6 (2003) 823-835
- [10] Mesaroš, F.: Tipografski priručnik, Grafički obrazovni centar, Zagreb, 1985.
- [11] <http://www.unirarium.com/font>(Dostupno 11.02.2013.)
- [12] <http://sr.scribd.com/doc/9090658/Tipografskiprirucnik> (Dostupno 10.01.2013.)
- [13] Marković, D.; Cvetković, D.: Osnovi grafičkog dizajna, Univerzitet Singidunum, Fakultet za informatiku i menadžment, Beograd, 2009.
- [14] http://www.ss-graditeljska-ck.skole.hr/dokumenti?dm_document_id=105&dm_det=1 (Dostupno 12.01.2013.)
- [15] Tomiša, M.; Milković, M.: Grafički dizajn i komunikacija, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2013.
- [16] Pejaković, M.: Zlatni rez, Art studio Azinović, Zagreb, 2001.
- [17] Clark, G.L.; Kaminski, P. F.; Brown G.: The readability of advertisements and articles in trade journals, *Industrial Marketing Management*, Vol. 19, No. 3 (1990) 251-260
- [18] Zjakić, I.; Milković, M.: Psihologija boja, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2010.
- [19] Juola, J. F.; Tiritoglu, A.; Pleunis, J.:Reading text presented on a small display, *Applied Ergonomics*, Vol. 26, No. 3 (1995) 227-229
- [20] [http://www.df.uns.ac.rs/files/200/alan_karaahmetovic_-_strucni_rad_\(d-622\).pdf](http://www.df.uns.ac.rs/files/200/alan_karaahmetovic_-_strucni_rad_(d-622).pdf)
- [21] <http://www.top-lece.si/novice-lece/bolezni-oci>
- [22] <http://www.ezadar.hr/clanak/objavljeni-rezultati-popisa-stanovnistva> (Dostupno 12.01.2013.)
- [23] http://www.colormanagement.com/store_picture&src=20080203093721.jpg&w=500&h=500
- [24] http://www.math.uni-bielefeld.de/~amimica/files/stat_viezbe.pdf(Dostupno: 15.01.2013.)
- [25] Pauše, Ž.: Uvod u matematičku statistiku, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

Kontakt autora:

Jelena Vlašić, dipl.ing.

Veleučilište u Varaždinu
J.Križanića 33, 42 000 Varaždin
e-mail: jelena.vlasic@velv.hr

dr.sc. Igor Zjakić, docent

Grafički fakultet
Getaldićeva 2, 10 000 Zagreb
e-mail: igor.zjakic@gmail.com

Sanja Zlatić, dipl.ing., vanjski suradnik

Veleučilište u Varaždinu
J.Križanića 33, 42 000 Varaždin
e-mail: sanja.zlatic@velv.hr

nCLOTH SUSTAV ZA SIMULIRANJE TKANINA

nCLOTH SYSTEM FOR SIMULATING FABRICS

Robert Turkalj, Andrija Bernik, Damir Vusić

Stručni članak

Sažetak: Tema ovog rada je nCloth. Ideja je istražiti i proučiti sustav nCloth te njegovu primjenu prikazati izradom animacija u Autodesk Maya softveru. U radu je prikazano na koji se način i u koje svrhe upotrebljava nCloth. U radu su opisane postavke nCloth-a čije se vrijednosti mogu mijenjati kako bi se stvorila prividna realistična kvaliteta materijala.

Ključne riječi: 3D modeliranje, Autodesk Maya, nCloth, renderiranje, teksturiranje

Professional paper

Abstract: The subject of this paper is nCloth. The main idea is to study the nCloth system and to show its application working on animations in Autodesk Maya software. The paper presents how and for what purpose nCloth can be used. The paper describes the settings of nCloth whose values can be changed in order to create an apparent realistic quality of material.

Key words: 3D modelling, Autodesk Maya, nCloth, rendering, texturing

1. UVOD

Autodesk Maya je program za izradu 3D grafike. Sadrži veliki broj sustava, izbornika i alata, snažan jezik za programiranje te mnoštvo opcija za renderiranje, što li ga čini savršenim izborom za obavljanje raznih zadataka, bilo profesionalnih ili osobnih. [2] Jedan od mnoštva Mayinih sustava je i nCloth sustav koji objektima dodaje živahnost te oni mogu oponašati sva svojstva tkanine, krzna, kose i sl., kao što su gustoća, debljina, podatnost i dr. Ovaj članak je kreiran na temelju završnog rada br. 256/MM/2012, VELV; i najveći je naglasak upravo na nCloth-u, njegovim svojstvima i funkcijama. [1]

Osim primjera iz literature pomoću kojih će biti objašnjeni neki načini primjene nCloth-a (poput oponašanja tkanina u različitim situacijama i u interakciji s drugim aktivnim i pasivnim objektima), upotreba nCloth-a, njegovih izbornika i alata bit će objašnjena i kroz praktični rad kojeg čine tri animacije.

Prva animacija je poderana gusarska zastava koja vijori na vjetru, a pomoću nje pokazat će se kako primijeniti nCloth da se zastava ponaša kao tkanina. Drugom animacijom objasnit će se primjena nCloth-a na objekt kako bi poprimio obrise drugog objekta kada se spusti na njega. To će biti objašnjeno na primjeru prekrivača koji pada na trosjed. Treća animacija je haljina koja je pričvršćena na konop i suši se na vjetru, a u jednom se trenutku odvoji od konopa i padne na tlo. U toj su animaciji korištena dva nCloth objekta koji su u zavisnom suodnosu.

2. nCLOTH SUSTAV

Mayin nCloth sustav prvotno je zamišljen da stvori dinamičnu simulaciju tkanine kako bi se što više olakšalo stvaranje i animiranje.

Nucleus dynamics solver je središte nCloth simulacija što je i vidljivo iz samog naziva nCloth gdje n dolazi od riječi nucleus što na engleskom jeziku znači jezgra. S vremenom nCloth se razvio u dinamični sustav koji nadilazi jednostavno simuliranje tj. oponašanje odjeće.

Kreativno korištenje nCloth-a u kombinaciji s nParticles daje gotovo neograničene mogućnosti za stvaranje zanimljivih efekata. [3]

2.1. Kreiranje nCloth i Mesh Dynamic objekata

nCloth se može koristiti za simulaciju različitih vrsta materijala (od betona do vodenih balona) no najčešće se koristi kako bi se geometrijski poligon ponašao kao odjeća. Koristi isti dinamični sustav kao nParticles. nCloth objekt je poligonski objekt čiji su vrhovi pretvoreni u nParticles. Sustav virtualnih opruga povezuje nParticles i pomaže održati oblik nCloth objekta. nCloth objekti automatski se sudaraju s drugim nDinamic sustavima (kao što su nParticles i nRigids) koji su povezani s istim Nucleus solverom, ali se nCloth objekt sudara i sam sa sobom. [4]

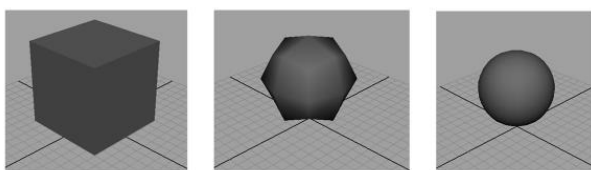
Svaka poligonska mreža modelirana u Mayi može biti pretvorena u dinamični nCloth objekt, također znan kao nDinamic objekt.

Poligonski objekti ne trebaju biti pripremljeni na nikakav poseban način, ali samo oni mogu biti korišteni, što znači da NURBS i subdivision površine ne mogu biti pretvorene u nCloth objekt.

U osnovi postoje dva tipa nCloth objekta: aktivni i pasivni. Aktivni nCloth objekti ponašaju se kao tkanina, meki su i podatni, a mogu biti i odskočni.

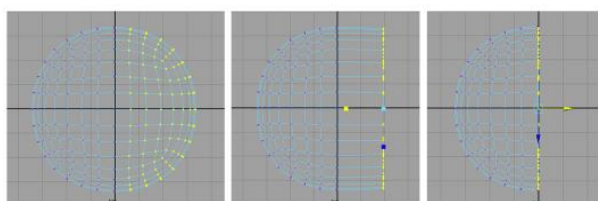
Pasivni objekti su čvrsti dijelovi geometrije koji reagiraju s aktivnim objektima. Npr. za simulaciju tj. oponašanje stolnjaka kako klizi sa stola, stolnjak bi bio aktivan objekt nCloth-a, a stol pasivni objekt nCloth-a. Pasivni objekt može biti animiran, a aktivni reagirati na animaciju. [5]

Maya sustav omogućuje stvaranje efekta podijeljene ćelije korištenjem dva ili više nCloth objekata. Ovisno o vrsti poligona, nCloth sustav nudi niz izbornika i alata kojima se taj efekt postiže. Kad se odabere i stvori željeni poligon s jednim podrazredom u širini, visini i dubini, kasnije ga je moguće proširiti prema potrebi. Za daljnji rad poligon se u poligonskom izbornom setu pomoću alata Smooth pretvara u zaglađenu površinu. Uzme li se za primjer poligon kocku, u Channel Box-u se odabire *polySmoothFace1* čvor i podjele se postavljaju na 3, što stvara sferu (zaglađena kocka nema polove na krajevima čime se sprečavaju neželjena iskrivljenja, tj. krivine kad se kocka pretvara u nCloth objekt).



Slika 1. Stvaranje poligona te rezultat alata Smooth

Prijelazom u bočni pogled i odabirom vrhova prelazi se na komponentan način, a odabirom vrhova na desnoj strani mreže i njihovim rastezanjem pomoću alata za skaliranje duž z- osi oni postaju ravni. Uključivanjem Grid Snapping-a i korištenjem alata za pomicanje, vrhovi se pomiču u središte kako bi se dobila zaobljena kocka sa jednom spljoštenom stranom te se takva kocka imenuje *cellLeft*. Nakon isključivanja Grid Snapping-a *cellLeft* se premješta na lijevu stranu središnje osi, a kanal z se postavlja na 0,08. Ponovnim uključivanjem Grid Snapping-a i korištenjem Move alata pivot točka se smješta u centar mreže. Prije nego li *cellLeft* bude duplicirana, kanali Translate i Rotate trebali bi biti postavljeni na 0, a kanal Scale na 1, dok skala z duplikata treba biti na -1.



Slika 2. Koraci stvaranja zaobljene kocke sa jednom spljoštenom stranom

Nakon imenovanja duplikata *cellRight* odabiru se obje strane i briše se povijest nakon čega je potrebno prebaciti na nDynamic set izbornik, odabrati oba objekta, zatim nMash te kreirati nCloth nakon čega će 2 nCloth-a biti dodana u Outliner-u.

Prijelazom na žičani rad i odabirom nCloth 1 jedna polovina ćelije postaje ljubičasta te ukazuje da je nCloth mreža ulazni priključak za taj dio geometrije. Na kraju se nCloth1 i nCloth2 mreže preimenuju u *cellLeftCloth* i *cellrightCloth*, ovisno o tome na koji dio geometrije su spojene, vremenski okvir se postavlja na 400 sličica i scena je spremna za pokretanje. Zbog uključene gravitacije u Nucleus solver-u oba djela geometrije padaju u prostor.

Kod stvaranja nCloth objekta ili bilo kojeg nCloth dinamičkog sustava stvoreno je i povezano nekoliko dodatnih čvorišta. Svaki nCloth objekt sastoji se od originalne geometrije nCloth čvorišta i Nucleus solvera. Prema zadanim postavkama stvoreni nDynamic objekti priključeni su na isti Nucleus solver. Dodatni čvorovi uključuju originalni *cellLeftShape* čvor koji je spojen kao ulazna mreža na *cellLeftShape* čvor. Time je određen izvorni početni oblik nCloth objekta. [2]

2.2. Stvaranje ljepljive površine i nConstraintsa

U prethodnim primjerima obje polovice ćelije zajedno tvore jedan, jedinstveni kružni sferni oblik, a za njihovo odvajanje potrebno je nDynamic postavke prilagoditi tako da se svaka polovica ćelije poveća i odgurne od druge polovice te se pomaknu u suprotnim smjerovima. Svako nCloth čvorište nudi mnoštvo postavki, a za lakši izbor i početak Maya omogućuje niz postavki koje se mogu koristiti kao predložak. Postavke se mogu primijeniti na nCloth objekte, a zatim prilagođavati sve dok se ne dobije željeni učinak tj. ishod. Za korištenje nCloth postavki potrebno je odabrati *cellLeftCloth* čvorište, otvoriti Attribute editor i *cellLeftClothShape* čvorište te na vrhu izbornika kliknuti i zadržati Presets tipku (zvjezdica kraj tipke znači da su sačuvane postavke dostupne za upotrebu).

Kako bi se postiglo da se ćelije drže zajedno, kao što se i dijele, može se povećati svojstvo ljepljivosti: To se svojstvo povećava u Attribute editor-u tj. u njegovom izborniku za oblik čvorišta (shape node tab) gdje se proširuje Collisions rollout panel i ljepljivost postavlja na 1. Postupak je isti i za *cellRight* objekt. Po pokretanju animacije vidljivo je da ćelije nakon povećanja ostaju zajedno, a prilagođavanjem i podešavanjem jačine ljepljivosti efekt se može podesiti tako da se ćelije naposljetku razdvoje.

nConstraints mogu se koristiti za spajanje nCloth objekata, ali i kao alternativne tehnike za atribut ljepljivosti. Postoje jedinstvene značajke koje omogućuju veću kreativnost ovog efekta. Nadoveže li se na primjer iz prethodne sekcije, nakon otvaranja Channel box-a i postavljanja ljepljivosti na 0 za obje ćelije u Outliner-u te postavljanja načina odabira na komponente, po zadanom bi se trebali pojaviti vrhovi na oba objekta.

Vrhovi središnjice trebaju biti označeni kako bi se u nDynamic-u odabirom nConstraint → Component To Component stvorilo niz struna koje povezuju dva objekta. Po pokretanju scene dvije strane ćelije drže se zajedno.

Rad sa nDynamics-om eksperimentalan je proces kod kojeg je za željeni rezultat potrebno podešavanje klizača. S obzirom da su mnogi atributi međusobno povezani najbolje je podesiti/prilagoditi jedan po jedan te ispitivati i provjeravati u toku. Moguće je premjestiti nCloth objekt nakon što je ograničen, no moguće je da se rezultati simulacije neće ponašati očekivano. Za izbjegavanje neželjenog ponašanja potrebno je provjeriti nalaze li se nCloth objekti i njihova ograničenja na pravom mjestu, te izbjegavati postavljanje Key frames-a na pomicanje/rotaciju nCloth objekta.

2.3. Spajanje nCloth objekta na dinamične krivulje

nCloth objekt moguće je spojiti na dinamične krivulje na način da se kreira standardna CV krivulja koja će biti korištena za pomicanje nCloth objekta oko scene.

Nakon odabira krivulje i prelaskom na Dynamic izbornik potrebno je odabrati Hair → Make Selected Curves Dynamic. Pretvorbom krivulje u dinamičnu krivulju stvara se duplikat originalne krivulje koja se nalazi unutar grupe naziva hairSystem1OutputCurves. Na izlaznu krivulju Hair sustava, koristeći put kretanja, prilaže se lokator. U opcijama za put kretanja Tone Range se postavlja na START, a key frame-s na putu kretanja U-vrijednosti brišu se tako da je lokator na jednom kraju krivulje te je na taj način lokator priključen/pričvršćen na krivulju. Transformacija nConstraint koristi se za priključivanje vrhova na središte nCloth objekta na lokator, a jednom kad se ta instalacija završi, krivulja se može koristiti za pomicanje nCloth objekta po cijeloj sceni.

2.4. Stvaranje nCloth objekta upotrebom pritiska

Korištenjem pritiska dio geometrije može se napuhati kao balon ili napraviti kao da je geometrija ispunjena tekućinom.

Postoje dva načina računanja pritiska (tlaka):

- Ručno podešavanje pritiska (tlaka)
- Detektiranje mase modela.

Ručno podešavanje pritiska (tlaka)

Ručno podešavanje pritiska je veoma jednostavno jer se koriste samo dvije kontrole: Pressures Slider i Pressures Damping. One mogu biti key frame-ane tako da izgleda kao da se nCloth objekt puni zrakom. Da bi se postiglo da se nCloth objekt napuhava, npr. na prvom frame-u treba postaviti pritisak na 0, dok npr. na 100 frame-u pritisak treba postaviti na 1. Duž tog intervala nCloth objekt će rasti.

Detektiranje mase modela

Ova metoda računanja mnogo je preciznija i ima više kontrola. Kada se detektiranje mase modela odabere kao

metoda pritiska, dostupne su dodatne kontrole poput: Pump Rate, Air Tightness, i Incompressibility. Pump Rate vrijednost određuje stopu na kojoj je zrak dodan unutar volumena. Pozitivne vrijednosti nastavljaju pumpati zrak u volumen, dok ga negativne vrijednosti isisavaju. Start Pressure vrijednost postavlja početni pritisak zraka unutar volumena na početku animacije, dok Air Tightness određuje propusnost nCloth objekta. Niže postavke dopuštaju zraku izlazak iz volumena. Incompressibility postavke odnose se na zrak unutar volumena. Niža vrijednost znači da je zrak jače stisnut što snizuje efekt napuhanosti ćelije. Aktiviranje Seal Holes uzrokuje da Solver ignorira otvore u geometriji.[3]

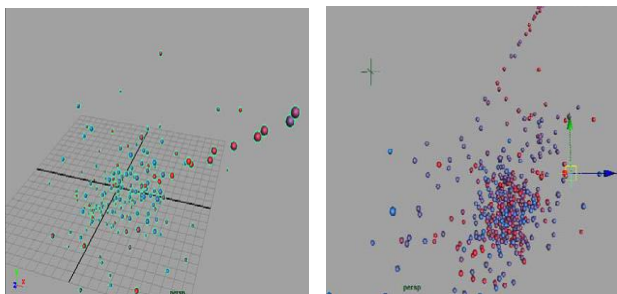
2.5. Dodatne tehnike

Kako bi se po završetku animacije ćelijama dodalo još ponešto stila postoje i neke dodatne tehnike. U Collisions rollout panel-u atribut ljepljivosti svake ćelije može se povećati na vrijednost npr. 0,5 a može se i obojiti Stickness texture map-u. Za to je potrebno označiti ćelije i odabrati nMesh → Paint Texture Properties → Stickiness. Aktivira se Artisan brush koji omogućuje bojanje određenih područja na površini ćelija. Kako bi objekti u početku bili kruti, a u određenom trenutku postali mekani, potrebno je Key frame-ove postaviti na svaki Input Mesh Attract atribut ćelije. Input Mesh je originalna geometrija koja je pretvorena u nCloth objekt. Postavljanje Input Mesh Attract atributa na 1 ili više uzrokuje da nCloth objekt poprimi objekt originalne geometrije. Smanjivanjem ove vrijednosti utjecaj nucleus dynamics-a se povećava i uzrokuje da objekti postaju meki.

Stvaranje nParticle Goal

Ciljni objekti privlače nParticle poput magneti, a cilj može biti lokator, dio geometrije ili čak drugi nParticle. Odluka hoće li se koristiti cilj ili utjecajno polje, generirana na nDinamic objektima, ovisi o efektu koji se želi stvoriti te obično uključuje eksperimentiranje. Jedan od načina stvaranja nParticle Cilj-a je da se kreira lokator, prebaci na nDinamic izbornik i odabere nParticles → Create nParticles → Balls to set the nParticle style to Balls, nakon čega se odabere nParticle → stvori nParticle → stvori emitter. Da bi se emitter postavio dalje od lokatora koristi se Move alat te se vrijednost x,y,z postavlja na 20, a dužina vremenske skale na 300. Po pokretanju animacije kugle su emitirane i padaju kroz prostor zbog postavki gravitacije na Nucleus čvorištu. U izbornicima nParticle → Cilj → Options Goal Weight je potrebno postaviti na 1. Po pokretanju scene nParticle se pojavljuju na lokatoru i s vremenom se grupiraju, a budući da je Goal Weight postavljen na 1, Cilj je na maksimalnoj snazi pa se nParticles kreću toliko brzo između emitera i Cilj objekta da se ne mogu vidjeti sve dok se ne spuste na Cilj. Nakon odabira nParticle objekta i postavljanja Goal Weight-a u Channel box-u na 0,25 te pokretanja animacije, može se vidjeti da su nParticles povučene prema lokatoru, kreću se pokraj Cilja te se vraćaju prema njemu gdje se grupiraju i počinju se sudarati stvarajući mnoštvo. Potrebno je stvoriti novi lokator i postaviti ga 10 jedinica iznad lokatora 1, odabrati nParticles i

CTRL+klik na lokator 2 gdje je Goal Weight također potrebno postaviti na 0,25. Po pokretanju scene nParticles vrve između 2 Cilj-a. Odabirom jednog od lokatora te nSolver → Interactive Playback, lokator se može pomicati po sceni i gledati kretanje nParticle koje su uvijek odvučene u sredinu između 2 Cilja.



Slika 3. Kretanje nParticlesa između izvora i cilja

Korištenje nCloth Cilja

Iskoristimo li nCloth objekt kao Cilj, možemo dobiti veoma zanimljiv efekt u kojem će nParticles biti privučene na nCloth površinu s kojom će se sudarati. Za stvaranje ovog efekta prvotno je potrebno kreirati poligonsku kocku u centru mreže s jednim podrazredom u širini, visini i dubini, te je povećati za 8 jedinica u svakoj osi. Prijelazom u Polygon izbornik, te odabirom Mesh → Smooth, u Channel Box-u se Divisions, polySmoothFace1 čvorišta, postavljaju na 3. Kako bi se kreirao nCloth objekt ponovo je potrebno prebaciti na nDinamic izbornik, odabrati nMash → kreiraj nCloth i napravi nCloth objekt. Na nCloth objekt se primjenjuje solidRubber koji se nalazi u Presets izborniku Attribute editora.

Duljina vremenske linije mora biti postavljena na 500 sličica. Prelaskom na Nucleus tab i aktiviranjem Use Plane opcije stvara se nevidljiva ravna površina gdje Origin os y mora biti postavljena na -4. Tada će po pokretanju animacije nCloth padati na nevidljivi pod i poskakivati. Zatim je potrebno stvoriti izvor koristeći nParticles → kreiraj nParticles → Balls to set the nParticle style to Balls, te nParticles → kreiraj nParticles → kreiraj emitter. Prema zadanome izvor bi trebao biti postavljen na omni, a visina bi trebala biti 100. U nParticles Cilj opcijama, Cilj Weight se postavlja na željenu veličinu i klikom na Create stvara se Cilj. Emitter se postavlja dalje od nCloth objekta, a po pokretanju scene nParticles lete prema nCloth objektu i napadaju ga. Svaka nParticles je privučena na vrh nCloth objekta. [6]

Kontroliranje sudaranja

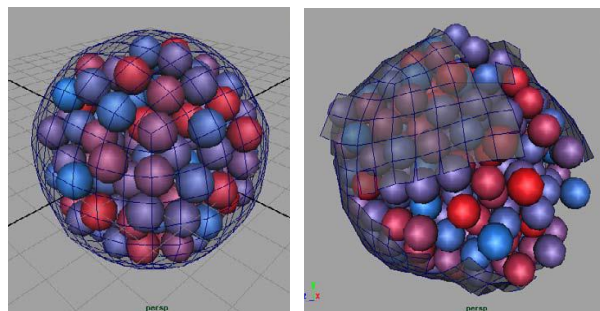
Koristeći Collision Event Editor moguće je specificirati što će se dogoditi kada se sudare nParticles i Cilj objekti. To se postiže na način da se odabere nParticle → Particle Collision Editor, te se u prozoru Editor-a All Collision check box ostavi aktiviran, a Event Type postavi na Emit.

Razlika između Emit-a i Split-a je prilično mala, ali kad je odabran Emit nove čestice se emitiraju iz točke sudara i moguće je odrediti da originalna nParticle umre, a kada je odbran Split ubijanje originalne nParticle nije moguće.

Stvaranje pucanja površine koristeći nParticles i nCloth površine

Uzme li se ponovo za primjer poligon kocka, pucanje površine, koristeći nParticles i nCloth površine, postiže se na način da se kocka uveća za jednak broj jedinica po svakoj osi, označi i prebaci na Polygon izbornik gdje se izabere Mash → Smooth. U Channel box-u odabire se polySmoothFace1 čvorište i sekcija raspodijele postavlja se na 3, nakon čega se u nMesh-u kreira nCloth objekt.

Otvaranjem Attribute editora za nCloth objekt i korištenjem Presets izbornika, RubberSheet se primjenjuje na nCloth objekt. U nucleus1 izborniku gravitacija se postavlja na 0 i odabire se nParticles → kreiraj nParticles → Balls postavljanje nParticles u Bals stil, potom nParticles → kreiraj nParticles → kreiraj izvor da bi se stvorio novi izvor. Po default-u izvor je smješten u prvotnu unutrašnjost nCloth objekta.



Slika 4. Prikaz pucanja površine koristeći nParticles i nCloth površine

Odabirom pCube1 u Outliner-u, nConstraint → Tearable surface, primjenjuje se novi Constraint na površinu, nakon čega ona puca i otvara se. Postavljanjem GlueStrenght na 0,3 i GlueStrenght Scale na 0,8 nContraint će se teže poderati pa se pucanje neće dogoditi sve do frame-a 500.

3. KREIRANJE ODJEĆE ZA SIMULACIJU

Kao što i samo ime sugerira nCloth je prvotno zamišljen da simulira dinamična svojstva. U daljnjem nastavku rada kroz jednostavne primjene bit će predstavljeni alati nCloth dinamičnih simulacija u kontekstu kreiranja naprednih simulacija s nParticles. Ove tehnike za korištenje nClotha mogu se primijeniti na jednostavnim ali i kompleksnim likovima tj. modelima.

Modeli stvarani za primjenu nCloth-a moraju biti poligonske mreže. Smooth mesh polygons rade na isti način kao i standardni poligoni. Kao primjer, u ovoj sceni, uzet je jednostavni crtani lik koji je obučen i animiran. Njegova majca i hlače kreirani su standardnim poligonskim tehnikama modeliranja.

Oba objekta trenutno su glatke poligonske mreže. Prizor je ureden tako da prikazani slojevi sadrže glavne komponente modela i animirane odjeće. [7]

Pretvaranje glatkih poligonskih mreža u nCloth

Glatke poligonske mreže mogu se pretvoriti u nCloth pri čemu se automatski prebacuju na standardni poligonski način. Kreiranjem nCloth-a u nMesh-u i prijelazom na standardni poligonski način te pritiskom na tipku 3, ponovo postaju glatki mrežni poligoni. Nakon pokretanja scene hlače padaju s lika, a prvi korak u sprečavanju da hlače skliznu je napraviti da tijelo lika bude Passive Collider objekt. Za to je potrebno isključiti Reference mode u Display Layer Editor-u. Tada se direktno može odabrati ČOVJEK geometrija, nakon čega se u nMesh-u kreira Passive Collider. Iako nema veze što je lik obučan i animiran dobro je pretvoriti poligone u nCloth objekte kad je lik u zadanoj pozi i nema interakcije između nCloth i Passive Collider geometrije. Nakon pokretanja scene hlače i dalje padaju, ali su spriječene da padnu s likovih nogu.

Dodavanje transformiranog ograničenja

Kako bi spriječili da likove hlače skliznu s tijela potrebno je stvoriti transformirano ograničenje koje se nadovezuje na odabrane vrhove nCloth objekta do centralne točke drugog objekta bez da utječe na poziciju nCloth vrhova. Kad su ograničeni objekti pomaknuti ili zarotirani, vrhovi ih slijede i vuku ostatak nCloth objekta za njima. U centru se nalazi lokator. To je Root control lokator korišten za animaciju likovog kostura i može se koristiti kao objekt ograničenja nCloth hlača. Desnim klikom miša odabiru se Rubovi i prelazi se na mod rada s rubovima. Nakon odabira svih kutova oko vrhova hlača pomoću To Vertices label-a kutovi se pretvaraju u vrhove. Vrhovi bi trebali biti žuti sve do klika na Root → nConstraint → Transform, kada bi trebali pozeleniti, ukazujući na to da su ograničeni tj. zadržani, a u Outliner-u je stvoreno novo dynamicConstraint1 čvorište. [8]

Svojstva za oslikavanje nCloth

nCloth svojstva kako što su Bounce, Stretch i Wrinkle mogu biti oslikane uz nCloth objekt. Dva su načina da se to uradi: mape svojstava vrhova i mape svojstava tekstura. Bojanjem mapa svojstava vrhova direktno se boje vrijednosti svojstava uz vrhove objekta. Što više vrhova ima taj objekt više se detalja može kreirati za mapu svojstava vrhova. Vrijednosti mape vrhova sačuvane su s objektom i ne trebaju se povezivati s unutarnjim poljima mape.

Mape svojstava tekstura su neovisne o broju vrhova objekta, ali zahtijevaju da su UVs ispravno kreirane za objekt, što znači da se ne preklapaju i ostaju unutar 0 do 1 ranga u UV teksturnom editoru. Kad se boje mape vrhova ili tekstura one se nalaze u Attribute polju u Dynamic property sekciju nCloth čvorišnog oblika Attribute editora. [9]

4. IZRADA PROJEKTA

Za izradu projekta korišten je program Autodesk Maya animacijski softver koji pruža sveobuhvatne kreativne značajke za izbor alata za animaciju, modeliranje, simuliranje, renderiranje i komponiranje na veoma prilagodljivoj (rastezljivoj) produkcijskoj

platformi. Za vizualne efekte, razvoj igara, post proizvodnju ili druge 3D animacijske projekte, Maya nudi set alata za zadovoljavanje brojnih produkcijskih zahtjeva. [10] Projekt je rađen na prijenosnom računaru sa četverojezgrenim procesorom AMD Phenom II Quad-Core na 2.1 GHz, sa 4GB DDR3 radne memorije.

Modeliranje je u potpunosti vršeno unutar Maya i to koristeći tehnike poligonskog modeliranja. Postavljanje tekstura je također vršeno u Mayi. Prema potrebi, neke teksture doradene su unutar Adobe Photoshopa CS3. Dobivene slike projekta potrebno je spojiti u animaciju, te je za taj postupak korišten Adobe After Effect CS3.

4.1. Razrada teme

Cilj projekta je izrada animacija koje prikazuju mogućnosti nCloth sustava. Projekt je osmišljen kao tri zasebne animacije koje zahtijevaju određene postavke. Svaka od animacija prikazuje jedan od mnogih primjena nClotha.

Animacije su smještene u starom hangaru koji je zamišljen kao studio za snimanje. Interijer hangara ispunjen je raznim modelima. Scene i sadržaj animacija neće biti sadržajno povezani.

Animacije su osmišljene kako bi dočarale na koje se sve načine može koristiti nCloth. Za renderiranje je korišten Maya softver.

4.2. Izrada 3D modela

Maya nudi mnogo načina za premještanje, rotiranje i skaliranje objekata u sceni i brojne prečice za obavljanje tih uobičajenih poslova. Ovi postupci, poznatiji pod nazivom transformacije, mogu se obavljati na dva različita načina: unošenjem nove koordinate ili vrijednosti u okvir sa parametrima ili korištenjem nekih od brojnih alata za manipulaciju za slobodno premještanje objekata po sceni ili za ograničavanje objekata duž određene osi.

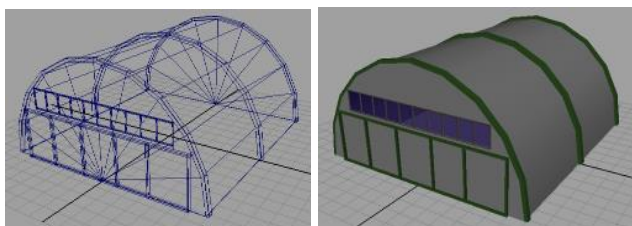
Za manipuliranje objektima korišteni su sljedeći alati:

- Move Alat - alat koji služi za pomicanje cijelog objekta ili samo jedne od komponenata duž x,y,z osi
- Rotate Alat - alat koji služi za rotiranje cijelog objekta ili samo jedne od komponenata oko x,y,z osi
- Scale Alat - alat koji služi za skaliranje cijelog objekta ili samo jedne od komponenata duž x,y,z osi
- Universal Manipulator – alat koji predstavlja kombinaciju mnogih funkcija radi brže upotrebe, značajno štedi vrijeme prilikom obavljanja standardnih transformacija.

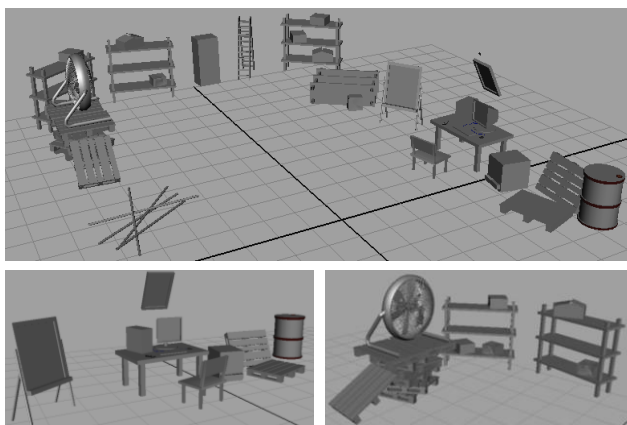
Stvaranje scene započinje modeliranjem potrebnih objekata pomoću primitivnih poligona. Potrebno je modelirati hangar koji će u sve tri animacije služiti kao studio za snimanje. Modeliranje hangara započinje kreiranjem plohe koja ima ulogu poda. Sam hangar nastao je iz poligona valjka koji je rotiran prema potrebi te je u bočnom pogledu bilo potrebno izbrisati donju polovicu valjka.

Da bi hangar poprimio konačan izgled uz alate za manipuliranje nabrojani su neki od korištenih alata:

- Extrude → Alat koji omogućuje da vršimo različite oblike izvlačenja tri tipa komponenta: površine, rubova i lica. Za svaki od ovih postupaka postoje posebne opcije, a one se mogu vršiti kada se izabere odgovarajući element geometrije. Ona omogućava da se iz neke površine izvuče dodatna geometrija.
- Cut Lica Alat → Alat koji može sjeći kroz površinu u bilo kojem smjeru, nezavisno o orijentaciji komponenta. Ona pravi ravan rez kroz model. Služi i za stvaranje dodatne podjele površina za lakšu i precizniju manipulaciju.



Slika 5. Low poly model hangara



Slika 6. Ostali modeli u sceni

4.3. Teksturiranje i osvjetljenje

Postoji nekoliko načina teksturiranja 3D modela i svaki način ima svoje prednosti i nedostatke. Ovisno o kompleksnosti i detaljnosti 3D modela, te o namjeni samog 3D modela, izvodi se detaljnost i preciznost teksturiranja. Na samom početku teksturiranja odabire se tip materijala koji se postavlja na model. Nekoliko različitih vrsta materijala koji se nude određuju hoće li model biti mat ili sjajan, transparentan ili reflektirajući.

Najvažniji izbornici za teksturiranje su Attribute Editor, Hypershade i UV Texture Editor. Na svim modelima i hangaru korišteni su materijali Lambert i Blinn. Nakon pridijeljenog odgovarajućeg materijala, na svaki model bilo je potrebno postaviti teksturu.

Pronalaskom odgovarajuće teksture na Internetu bilo je potrebno istu postaviti na određeni objekt / Face.

Da bi se došlo do željenog rezultata teksturu je potrebno ručno podesiti u izborniku UV Texture Editor-u. Prije ručnog podešavanja korištena je tehnika UV mapiranja tzv. Automatskog UV mapiranja.

Osvjetljenje je također vrlo bitan element koji je presudan u kvaliteti i realističnosti 3D scene. Bitno je napomenuti da je svjetlost u 3D svijetu samo nepotpuna simulacija svjetlosti u stvarnom svijetu koja je zasad poprilično nedostižna zbog kompleksnih kalkulacija koje bi se trebale izračunavati pri svakom koraku renderiranja scene. Uzevši to u obzir, za pravilno osvjetljavanje potrebno je ponuditi više svjetlosnih izvora. Ima različitih tipova svjetla, poput Directional Light-a (usmjereno svjetlo), Point Light (svjetlost se prosipa iz jedne točke u svim smjerovima), Ambient Light-a, Spot Light-a itd. Budući da se sve scene nalaze u zatvorenom prostoru (hangaru), nakon eksperimentiranja sa svim ponuđenim svjetlima najbolji rezultati dobiveni su Point Light-om te su isti korišteni pri izradi animacija.

4.4. Primjena nClotha

nCloth je vrsta dinamičkog sustava koji je izgrađen od povezanih čestica koje se koriste za simulaciju dinamičkih materijala kao što su odjeća, baloni, elastični objekti i sl. Dinamička mreža se sastoji od mreže čestica povezanih linkovima kako bi se stabilizirao nCloth materijal. [11]

U postavkama za nCloth mogu se mijenjati različite vrijednosti kako bi se za materijal stvorio privid realističnih kvaliteta. U isto vrijeme kada je poligon pretvoren u nCloth, stvoren je Nucleus Solver. To je čvor koji djeluje u Autodesku Maya. Definira globalne postavke kao što su: smjer i jačina gravitacije, smjer vjetera i kvalitete koje će imati efekt.

4.4.1. Piratska zastava (Simulacija br.1)

Prvi korak u izradi piratske zastave koja vijori na vjetru je pronalazak odgovarajuće teksture (slika zastave) te njeno modeliranje. Zatim se kreira plošni poligon koji se podijeli po visini i širini s vrijednostima za visinu 20 te za širinu 15. Klikom na desnu tipku miša odabire se Face Mode te se pomoću alata Lasso odabiru Lica koji se žele izbrisati kako bi zastava izgledala poderano. Nakon učinjenog zastavu je potrebno pretvoriti u nCloth objekt (nCloth → create nCloth). Kako zastava ne bi padala kroz prostor potrebno ju je pričvrstiti na fiksni objekt, u ovom slučaju jarbol. To je moguće učiniti na način da se kreira nConstraint. Odaberu se krajnji vrhovi zastave (tamo gdje će zastava biti pričvršćena na jarbol) i u izborniku nConstraint odabere se Transform. Sada će dio zastave padati u prostor, a na mjestu gdje će biti pričvršćena na jarbol ostaje fiksna. Nakon što se objekt označi, u Attribute Editor-u potrebno je podesiti neke postavke: Friction smanjiti na 0.1 i povećati Stretch Resistance na 40000. Za ostvarivanje dojma vijorenja u Nucleus čvorištu uključuje se vjetar te se njegova brzina povećava na 35. Potom se u Attribute Editor-u Dump smanjuje na 0.01.

Za još realnije virenje u izborniku Fields odabire se Volume Axis te se isti povećava na vrijednost 25 u svim smjerovima (x,y,z os), a Turbulence se povećava na 2, Turbulence Speed na 1 i Detail Turbulence na 0.5. Sada vijorenje zastave izgleda prirodno i realno te je model spreman za animaciju.



Slika 7. Primjena nClotha na model

4.4.2. Trosjed s prekrivačem (Simulacija br. 2)

U drugoj animaciji korišten je model trosjeda te pokrivač u obliku elipse koji ga pokriva. Za izradu prekrivača potrebno je kreirati primitivni poligon, cilindar. Na kreiranom valjku Subdivisions Caps povećan je na 6, a Subdivisions Axis na 30. Prijelazom na Face mod izbrisani su svi poligoni osim gornje plohe da se iz valjka dobije krug. Za daljnji rad potrebno je napraviti Freeze Transformations te izbrisati povijest modeliranja. Time se dobije geometrija koja izgleda čisto. Sva lica te geometrije imaju po četiri kuta osim onih u sredini koji ih imaju po 3. U sredini kruga je velika koncentracija poligona što zadaje mnogo problema. Cilj je stvoriti ravnomjernu geometriju.

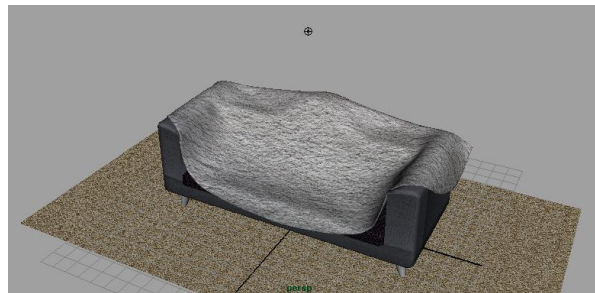
Na model kruga primijenjen je nCloth (nCloth → Create nCloth), dok je trosjed pretvoren u pasivni objekt kako bi se stvorila interakcija između ta dva modela te se prekrivač zadržao na trosjedu pokretanjem animacije. U postavkama za kreiranje pasivnog objekta korišten je isti Solver. Kod pokretanja animacije može se vidjeti da prekrivač kada padne na trosjed ne reagira ispravno (ne poprima u potpunosti obrise trosjeda). Da bi to izgledalo što realnije potrebno je koristiti novi način za stvaranje prekrivača, a dosadašnji izbrisati.

Za ispravan način potrebno je kreirati Circle (Create → NURBS Primitives → Circle) te ga smjestiti iznad trosjeda. Kreirani NURBS potrebno je konvertirati u poligon, no prije toga potrebno je podesiti sljedeće postavke: Quads, Count i postaviti na 1000 poligona. Nakon podešavanja kliknemo na Transslate. Na rubovima su nastali mali trokutići kojih se potrebno riješiti. Prebacivanjem na poligonski način rada odabere se Mesh → Cleanup te njegove postavke u kojima je potrebno označiti Lica with more than 4 sides i odabrati Cleanup. Nakon učinjenog odabire se Freeze Transformation i briše se povijest. Modeliranom poligonu prekrivača dodjeljuju se materijal i tekstura. Sljedeći korak je povezivanje prekrivača sa nCloth sustavom kreirajući nCloth na prekrivač.

Premotavanjem i pokretanjem animacije prekrivač pada na trosjed i poprima njegov oblik te interakcija izgleda mnogo bolje. Kako bi simulacija bila što uvjerljivija i realnija na prekrivač se primjenjuje Smooth kako bi se stvorila dodatna geometrija. Trenutni prekrivač je veoma tanak te ga je potrebno malo podebljati. Označavanjem svih Lica odabiremo alat

Extrude i povećavamo do željene debljine (Local Translate z). Sada prekrivač izgleda kao debeli dio tkanine.

Kako bi se prekrivač preciznije priljubio uz trosjed potrebno je postaviti Solver Display trosjeda i prekrivača na Collision Thickness. Thickness prekrivača postavlja se na 0.42, a trosjeda na 0.011. U Wireframe mode-u zelena boja predstavlja originalnu geometriju, a ljubičasta Collision Thickness. Nakon isključivanja Solver Display-a i pokretanja animacije prekrivač preciznije prijanja uz trosjed. Podešavanjem Bounce i Friction atributa prekrivanje trosjeda bit će veoma realno (prekrivač = Bounce 0, Friction 1; trosjed = Bounce 1, Friction 1).



Slika 8. Rezultat simulacije na prekrivaču

4.4.3. Tkanina na konopcu (Simulacija br.3)

U sceni treće animacije nalaze se dva stupa povezana konopcem i haljina. Kako bismo postigli da haljina i konopac postanu nCloth objekti prvo je potrebno kreirati nCloth, a zatim u Nucleus-u 1 uključiti Use Plane. Pokretanjem animacije haljina i konopac padaju na tlo. Kako bi spriječili da konopac padne potrebno je prebaciti u žičani prikaz i upotrijebiti nConstraint → Point to surface. Tim korakom vrhove s jednog kraja užeta pričvršćujemo na jedan stup te vrhove drugog kraja užeta na drugi stup. Pokretanjem animacije haljina pada, a konopac se njiše. Uključivanjem Interactive Playback stupovi se mogu pomicati te se tim alatom zateže konopac. Kako bi se konopac zategao potrebno je stupove pomaknuti svakog u svoju stranu dok se ne dođe do željenoga rezultata. Po završetku zatezanja konopac je potrebno označiti te u izborniku Edit nCloth odabrati Initial State → Set From Curet. Tim postupkom konopac je zategnut na pravilan način i oba kraja su mu pravilno pričvršćena na stupove. U sceni se nalaze dva nCloth objekta (haljina i konopac) koja je nužno pričvrstiti jedan na drugi. Kako bi se haljina pričvrstila na konopac odabiru se tri vrha haljine s desne i tri vrha haljine s lijeve strane te se pomoću alata Point to Surface pričvršćuje na konopac. Pokretanjem animacije haljina pada i povlači konopac prema dolje.

Konopac izgleda pre elastično, a da bi animacija bila što realnija potrebno je promijeniti neke postavke konopca: Mass=50, Stretch Resistance=200, Compression Resistance=100, te Bend Resistance=1.

Da bi se postiglo vijorenje haljine na vjetru podešavaju se sljedeće postavke: Air Density=5.5, Wind Speed=40, Wind Direction(x-os)=0.5, te Wind Noise=0,015. Da bi animacija bila što zanimljivija

haljina se u jednom trenutku odvaja od konopca i leti zrakom, a da bi se to postiglo Glue Streght se u određenom trenutku postavlja na 1 te se uključuje Set Key. U trenutku kada se želi postići da se haljina odvoji od užeta Glue Streight se postavlja na 0 i uključuje se Set Key.



Slika 9. Rezultat simulacije na tkanini

4.5. Renderiranje i postprodukcija

Renderiranje je proces stvaranja izlaznih slika na temelju površina, tekstura i materijala, svjetala i svega onog ostalog što se nalazi u sceni. U tom procesu definira se izlazni format za okvire, rezolucija, kvaliteta i mnogi drugi parametri koji utječu na izgled završnog okvira. Za renderiranje animacija korišten je Maya softver. Prije samog renderiranja potrebno je podesiti postavke. U ovom slučaju animirana je Perspective te je nju potrebno odabrati pod kameru koja će se renderirati. Za kvalitetu slike korištena je HD 720. Kod postavki Maya Softver korištena je produkcijska kvaliteta.

Postprodukcija podrazumijeva rad na slikovnim datotekama nakon završetka renderiranja, a sastoji se od uređivanja i montiranja gotovih slika i audio materijala, te montaže vizualnih efekata i audio efekata. Taj proces rađen je unutar After Effects-a. Za izradu finalne animacije koju će koristiti krajnji korisnik, potrebno je renderirati projekte. To se radi pomoću Render Queue. Da bi krajnji proizvod imao što manje MB a njegova kvaliteta da ostane na nivou korištena je kompresija (DivX 6.9.2 Codek), što na kraju rezultira .avi formatom.

Nakon podešavanja postavki projekt je spreman za renderiranje. Renderiranje završnog proizvoda može potrajati i do nekoliko sati, ovisno o broju projekata koji su uključeni, te korištenim efektima. Animacija je potom spremna za gledanje u video preglednicima ili za postavljanje na neki od video servisa na Internetu.

5. ZAKLJUČAK

Želja za razvojem i unapređenjem mnogih industrija, poput one filmske ili računalne, dovela je i do razvoja brojnih računalnih softvera koji će omogućiti razne

specijalne efekte i olakšati njihovu primjenu te ih na taj način približiti većem broju korisnika. Danas je u najširoj primjeni Maya program za izradu grafike i 3D-a u kojem su sadržani mnogi sustavi, a jedan od njih je i nCloth. nCloth najbolji je postojeći sustav za oponašanje tkanine i njenih svojstava.

Put do današnjeg stupnja razvoja ovog sustava trajao je nekoliko godina tijekom kojih se nCloth usavršavao kako bi bio što učinkovitiji i jednostavniji za upotrebu. Njegovi izbornici i alati pružaju nebrojene mogućnosti za rad. Za oponašanje tkanine, krzna ili kose, nCloth nudi na raspolaganje mnoštvo atributa i postavki kojima se postiže realan dojam. Gotovo je nemoguće zamisliti snimanje bilo kojeg novijeg animiranog filma u kojem nije korišten nCloth i neke njegove funkcije.

Iako su se u prošlosti koristile neke alternative za oponašanje odjeće, poput SyFlex-a, danas ne postoji ni jedan koji bi svojim svojstvima, funkcijama i mogućnostima mogao nadmašiti nCloth ili se uopće mogao mjeriti s njime.

6. LITERATURA

- [1] Turkalj.R.: nCloth sustav za simuliranje tkanina, Završni rad br. 256/MM/2012, VELV Varaždin, 2012.
- [2] Keller E.: Mastering Autodesk Maya 2011, Wiley Publishing, Indianapolis, Indiana, 2010.
- [3] Robinson M.; Stein N.: Maya 8, Kompjuter biblioteka, Beograd, 2007.
- [4] <http://www.3dhr.net/novosti/> (Dostupno 21.7.2012.)
- [5] <http://usa.autodesk.com/maya/> (Dostupno 21.7.2012.)
- [6] http://images.autodesk.com/adsk/files/autodeskmaya_nucleus_whitepaper.pdf (Dostupno 21.07.2012.)
- [7] <http://images.autodesk.com/adsk/files/nclothadvanc edtechniques.pdf>, (Dostupno 02.08.2012.)
- [8] <http://www.cgmotionbox.com/2011/08/basic-maya-ncloth-dynamic-constraint-tutorial/> (Dostupno 02.08.2012.)
- [9] <http://www.digitaltutors.com/11/training.php?vid=6034> (Dostupno 26.07.2012.)
- [10] [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Autodesk Maya&oldid=470796092](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Autodesk_Maya&oldid=470796092) (Dostupno 26.07.2012.)
- [11] <http://www.am.unze.ba/pzi/2009/TurcinovicNermana/index.html> (Dostupno 02.08.2012.)

Kontakt autora:

Robert Turkalj (bivši student)
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42000 Varaždin

Andrija Bernik, dipl.inf.
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42000 Varaždin
091 8991882

doc.dr.sc. Damir Vusić
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42000 Varaždin

ANALIZA MANIFESTACIJE MCCOLLUGH EFEKTA U CROSS- MEDIA REPRODUKCIJSKIM SUSTAVIMA

ANALYSIS OF THE MCCOLLUGH EFFECT MANIFESTATION IN CROSS-MEDIA REPRODUCTION SYSTEMS

Marinela Lukaček, Marin Milković, Krunoslav Hajdek

Stručni članak

Sažetak: *Ljudski vizualni sustav svakodnevno se suočava s različitim fizikalnim podražajima koji iz okoline ulaze u naš sustav. Naš mozak zaprima te informacije, obrađuje ih, ali ih ponekad pogrešno interpretira u pogledu bojenih i geometrijskih informacija. To se događa kada smo suočeni s različitim psihofizikalnim vizualnim efektima. Mogućnost doživljaja efekata pokazuje kako naš osjetilni sustav u osnovi nije savršen, te da različite osobe različito percipiraju objekte koji nas okružuju; na što također utječe medij reprodukcijskog sustava.*

Osim efekata koji su posljedica nesavršenosti naših vidnih organa, postoje i oni temeljeni na višim razinama percepciji. McCollughov efekt je jedan od takvih efekata gdje se radi o naknadno posljedičnom adaptacijskom efektu, koji je uvjetovan bojom i geometrijskom strukturom slikovnog zapisa. U radu se istražuje manifestacija McCollugh efekta na različitim medijima prilikom reprodukcije specifičnih slikovnih zapisa kako bi se prikazala njegova važna uloga u percepciji informacije o boje.

Ključne riječi: *psihofizika, „cross-media“, boja, McCollugh efekt*

Professional paper

Abstract: *The human visual system is daily confronted with a variety of physical stimuli reaching it from the environment. Our brain receives and processes the information. However, this information is sometimes interpreted wrongly in terms of colouring and geometric information. This happens when we are faced with various psychophysical visual effects. The possibility to experience these effects shows that our sensory system is not perfect and that different people perceive different surrounding objects in a different way, which is also connected with the reproductive system of the medium. Therefore, a lot of psychophysical visual research is devoted to the study of stimuli and their perception in the brain.*

Besides the effects that appear due to the imperfection of our visual system, there are those based on higher levels of perception - in the human brain. The McCollugh effect is one of these – it is an adaptation aftereffect, which is influenced by the colour and geometric structure of an image. This paper explores the manifestation of the McCollugh effect through various media during the reproduction of specific images to reflect its important role in the colour perception information.

Key words: *psychophysics, „cross-media“, colour, McCollugh effect*

1. UVOD

Psihofizika je znanstvena disciplina u čijem se težištu interesa nalazi istraživanje odnosa između fizičkog stimulusa (podražaja) i pripadajuće percepcijske reakcije odnosno doživljaja. Sam pojam percepcije obuhvaća procjenjivanje i razumijevanje fizičke situacije ili fizičkog stimulusa posredovanjem jednog ili više osjetila (Hofstetter et al. 2000). Percepcija je pojava koja se odvija u našem mozgu (ovisna je o neurološkom sustavu, pozornosti, psihološkoj osnovi i sl.) i u pravilu nije ju moguće direktno izmjeriti [15]. Psihofizika se kao znanstvena disciplina bavi se proučavanjem svih dimenzije ljudske percepcije (opipa, okusa, sluha, vida, ..). Međutim, s obzirom tematiku ovoga rada, nama je

primarno interesantna psihofizika vizualne percepcije, koju je Gescheider 1985. godine definirao kao deskriptivnu znanost orijentiranu ka specificiranju sposobnosti senzora normalnog ljudskog vizualnog sustava [16].

U vizualnoj komunikaciji, boju možemo, uz sam oblik (2D ili 3D objekta) promatrati kao osnovni stimulus, te je time i definirati kao psihofizikalni doživljaj kromatskog i akromatskog sadržaja koji je nastao kao posljedica valnih duljina u rasponu od 380 do 750 nm.

Pri tome ne treba zaboraviti da percepcija boje osim o samim njenim fizikalnim karakteristikama ovisi i o njenoj okolini, pozadini, vidnom kutu, zatim o vrsti i intenzitetu izvora svjetlosti, ali i o samom promatraču, odnosno fiziološkim karakteristikama njegovog

vizualnog sustava te o njegovom trenutnom psihološkom stanju.

Pogrešno bi bilo interpretirati percepciju kao stvarni svijet identičan onom fizikalnom kojeg pokušavamo doživjeti. Psihofizikalni vizualni efekti uzrokuju odstupanje ili krivu interpretaciju u percepciji elemenata koje promatramo.

Do krive interpretacije može doći na primarnoj razini vizualnog sustava, odnosno na razini našeg vidnog organa – oka ili na višoj razini odnosno u našem mozgu. Osim pozadinskih vizualnih efekata, koji su poznati većini ljudi i koji nastaju na razini našeg vidnog organa, postoji i široki raspon tzv. adaptacijskih psihofizikalnih vizualnih efekata, čija je manifestacija osim uz bojene karakteristike stimulusa vezana i uz njihov položaj u prostoru te uz geometrijsku strukturu (oblik, veličinu, složenost, ponovljivost, međusobni položaj elemenata u kompleksnom stimulusu, međusobni odnos veličina elemenata, kut gledanja i udaljenost, površinske karakteristike, rezolucija slike, kut rastriranja ...) pa se isti zbog pripadajuće kompleksnosti mehanizama potrebnih za njihovu percepciju nazivaju adaptacijskim efektima temeljenim na "višim" ili kortikalnim nivoima percepcije.

Primjer jednog od takvih efekta je McCollugh efekt čija je manifestacija osim bojom određena i smjerom, odnosno organizacijom i orijentacijom linija u percepcijskom polju.

U ovom radu provedena je analiza McCollughov efekta prilikom njegove manifestacije u „cross-media“ reprodukcijским sustavu. Bojeni podražaj te njegova vizualna percepcija unutar „cross-media“ reprodukcijških sustava pokazuje odstupanja u percepciji boje istog podražaja. Upotreba različitih vrsta medija teži prema tome da se istovjetne slikovne informacije na različitim medijima prikažu jednako ili barem što sličnije. Različiti mediji koje koristimo u svakodnevnom životu imaju različite karakteristike primara i različite opsege boja koje mogu prezentirati.

2. TEORETSKI DIO

Psihofizikalna istraživanja teže tome da odrede da li ispitanik može otkriti podražaj, identificirati ga, usporediti ga sa nekim drugim stimulusom i opisati magnitudu ili prirodu te razlike. U svrhu psihofizikalnih istraživanja uvijek se koristi stimulus koji se objektivno i fizikalno može izmjeriti. Kod takvih istraživanja proučavaju se sve dimenzije i svi osjeti ljudske percepcije.

Psihofizikalna vizualna istraživanja određuju prag započinjanja reakcije engleski „threshold“, to jest točka intenziteta gdje ispitanik može detektirati prisutnost stimulusa [2].

„Cross-media“ komunikacijski sustavi služe prijenosu različitih oblika informacija u multimedijском okruženju, među kojima su i informacije o boji.

Boja čini naš život ugodnim, raznovrsnim i potpunim. Uspješnost komunikacije unutar „cross-media“ sustava određena je učinkovitošću i prikladnošću prijenosa informacija među korisnicima, uz minimalan gubitak informacija. Jedna od zadaća „cross-media“

komunikacijskih sustava je osigurati uvjete za istovjetnu percepciju boje neovisno o mediju komuniciranja, te neovisno o svim ostalim parametrima koji utječu na percepciju boje [12].

Percepcija boje jako je važna budući da nam ona pomaže u specifikiranju stvari u prirodnom, ali i u umjetnom okruženju. Različiti reprodukcijški sustavi služe kako bi prvotnu informaciju o boji jednako prenijeli na svim ostalim medijima, što je pokazalo da taj prijenos informacije o boji ima stanovita odstupanja od medija do medija. Uzrok tome također su manifestacije psihofizikalnih vizualnih efekata.

Cross-media komunikacije su integrirani i interaktivni doživljaji koji se pojavljuju unutar različitih medija. Gledatelji su aktivni dio tih doživljaja koji se pojavljuju na Internetu, filmu, mobilnim uređajima, tiskanom obliku i drugima [16].

Reprodukcija boje definira se kao učinak zračenja nekog izvora svjetla na dojam obojenosti predmeta kojega izvor obasjava, u usporedbi s izgledom obojenosti istih predmeta obasjanih s usporednom vrstom svjetla, te ona označava vezu između reproducirane i originalne boje [34].

2.1. Tehnike vizualnog ocjenjivanja u „Cross-media“ reprodukcijским sustavu

Braun, Fairchild i Alessi, 1996. godine definirali su pet tehnika vizualnog ocjenjivanja odnosa između originala i reprodukcije na način prezentiranja istog stimulusa na različitim medijima. Informacije o boji čak i u istovrsnim medijima mogu biti specifikirane na različite načine i sa različitim karakteristikama.

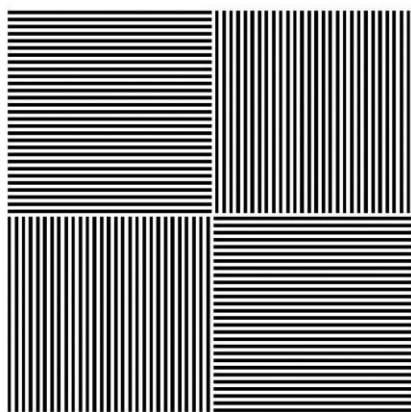
Memorijsko usuglašavanje je tehnika ocjenjivanja kod koje se original i njegova reprodukcija ne mogu vidjeti u isto vrijeme, niti promatrač može nanovo pogledati original kako bi dao svoju konačnu ocjenu. Ocjena se daje na osnovi pamćenja, odnosno memorijske usporedbe u odstupanju reprodukcije od originala. Sukcesivno binokularno memorijsko usuglašavanje je tehnika ocjenjivanja koja je po svojim principima slična memorijskoj, razlika je u tome što promatrač u bilo kojem trenutku može iznova pogledati original. Ocjenjivanje se u principu temelji primarno na osnovi pamćenja. Simultano binokularno usuglašavanje je tehnika ocjenjivanja kod koje se original i reprodukcija nalaze jedna pored druge, u cjelovitom vidnom području u isto vrijeme. Ocjenjivanje se provodi simultanom usporedbom originala i reprodukcije. Kod ove tehnike moguća je točnija ocjena nego u prethodne dvije zato što je vrijeme procjenjivanja nesukladnosti između originala i reprodukcije mnogo kraće. Simultano haploskopsko usuglašavanje je tehnika ocjenjivanja kod koje se original promatra jednim okom, a reprodukcija drugim okom u isto vrijeme. Između očiju nalazi se simetrična pregrada koja onemogućuje da se jednim okom vide i reprodukcija i original. Sukcesivno „Gazfeldovo“ haploskopsko usuglašavanje je tehnika ocjenjivanja slična prethodnoj, ali je promatrač spriječen da original i reprodukciju promatra istodobno“ [1].

2.2. McCollough efekt

Celeste McCollough je 1965. godine u svome radu "Color adaptation of edge-detectors in the human visual system" publiciranom u časopisu „Science“, objavila postojanje novog geometrijsko-strukturalnog adaptacijskog naknadnog posljedičnog efekta čija je manifestacija determinirana smjerom, odnosno organizacijom i orijentacijom linija u percepcijskom polju. Ovaj efekt je od tada pa sve do današnjih dana ostao jedan od najčešće analiziranih efekta.

Ovaj efekt je fenomen ljudske vizualne percepcije u kojem se rešetke bez obojenja percipiraju kao blago obojeni – odnosno desaturirani tonovi pozadina na koje je provedena adaptacija. S obzirom da se radi o naknadnom posljedičnom efektu, potrebno je određeno vrijeme indukcije kako bi se isti manifestirao.

Efekt nastaje kao posljedica geometrijske strukture na adaptacijskom polju, odnosno horizontalno i vertikalno postavljenih rešetaka linija kao što je prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1. Prikaz geometrijske strukture vertikalnih i horizontalnih linija



Slika 2.2. Prikaz geometrijske strukture obojenja

Kako bismo doživjeli efekt potrebno je promatrati dijelove slike 2.2. sa sustavom okomitih linija na zelenoj pozadini i sustava horizontalnih linija na crvenoj pozadini. Pri tome nije potrebna stroga fiksacija odnosno promatranje jedne točke, već je samo potrebno naizmjenično svakih nekoliko sekundi preusmjeriti pogled na pozadine različitog obojenja. Vrijeme adaptacije na bojene karakteristike pozadine traje nekoliko minuta (2-4). Nakon navedenog vremenskog perioda, ispitanicima se paralelno prezentiraju sustavi istovjetnih horizontalnih i vertikalnih crnih linija na bijeloj podlozi Slika 2.1. Velika većina ispitanika između crnih linija na mjestima koje odgovaraju bijeloj podlozi

percipirati će nijanse prethodnih podloga u obliku blago desaturiranih tonova [4].

Zanimljivo je naglasiti da ukoliko se sustavima horizontalnih i vertikalnih crnih linija na bijeloj podlozi zamjene mjesta, odnosno ukoliko postavimo horizontalne linije na mjesta vertikalnih i obrnuto, percipirane desaturirane boje prethodnih podloga koje se uočavaju (naknadni posljedični efekt) također će promijeniti svoj položaj zauzimajući s obzirom na smjer linija (horizontalni ili vertikalni) položaj istovjetan kao kod prvobitnih podloga na koje je provedena adaptacija.

Istovjetan efekt ostvaruje se i sa nizom drugih boja. Najizraženiji je ukoliko se kao podloge upotrebe komplementarne boje: purpurna i zelena, crvena i zelenoplava te žuta i plava. Neka istraživanja su pokazala da se ovaj efekt može postići promatrajući samo jednu boju i orijentaciju linija, iako na to postoje argumenti da su tada boje vidljivije samo zbog kontrasta.

Također je važno napomenuti da naknadni posljedični efekt percepcije desaturiranih nijansi prethodnih podloga počinje slabiti i nestajati promjenom smjera linija. Slabljenje efekta najizraženije je ukoliko se iste zaokrenu za kut od 45° . Iz navedenoga, jasno se zaključuje da je manifestacija McCollough-ovog efekta izrazito uvjetovana i geometrijskom strukturom i bojom, ali ipak presudno orijentacijom linija.

Za razliku od ostalih naknadnih posljedičnih efekata koji su u pravilu kratkotrajni; traju od nekoliko sekundi, do jedne, dvije ili najviše deset minuta. McCollough efekt može trajati i nekoliko sati, dana, pa čak i tjedana, a Jones i Holding su u svojoj studiji iz 1975. godine, zabilježili trajanje McCollough-ovog efekta u trajanju od 2040 sati [17]. Također je dokazano da se McCollough-ov efekt u pravilu ne prenosi sa jednog oka na drugo, što dodatno potkrepljuje prethodnu tezu (Savoy, 1984) [18].

Utvrđeno je da se i kod pacijenata koji boluju od kortikalnog sljepila ili uznapredovalne vizualne agnozije primarnog vizualnoga korteksa može manifestirati McCollough-ov efekt (Humphrey et al., 1995).

Također, važno je napomenuti da intenzitet McCollough-ovog efekta te njegovo trajanje izrazito ovisno o vremenu provedenom na adaptaciji, te o učestalosti stimuliranja sustavom linija nakon adaptacije.

Povećanjem trajanja adaptacije te učestalosti stimuliranja produžava se trajanje McCollough-ovog efekta (MacKay i MacKay, 1975; Stromeyer, 1978) [19,20].

Svaki naknadno posljedični efekt zahtjeva vrijeme indukcije sa indukcijским stimulusom. Također zahtjeva testni stimulus na kojem se može manifestirati efekt. Indukcijski stimulus kod McCollough efekta su crvene horizontalne linije i zelene vertikalne linije. Boje koje se pojavljuju kao posljedica indukcije su desaturirane u odnosu na boje pozadine na koje se provodi adaptacija.

Razmatrajući relacije između nivoa procesiranja stimulusa i McCollough-ov efekta, mnogi aspekti i činjenice upućuju da mehanizmi koji ostvaruju navedeni efekt djeluju na početnim nivoima vizualnog procesiranja u sklopu primarnog vizualnog korteksa, ili čak i ranije u prijenosu vizualnih signala od vidnog organa do primarnog korteksa. Jedno od objašnjenja razloga manifestacije efekta jest da dolazi do pogreške u procjeni u našem vizualnom sustavu te da je efekt inducirao

adaptaciju na boju na rubu osjetljivih monokularnih neurona u nižim razinama vizualnog korteksa.

Ovakve parove boja i orijentirane linije se ne nalaze često u prirodnim sredinama i ljudsko oko nije na njega naviknuto te je moguće da naš vidni sustav prilagođava odgovarajuće neurone do neutralne točke u adaptaciji na orijentaciju kontingenta boje. Na neki način moglo bi se reći da ovaj efekt nema adaptacijske vrijednosti, već ima mogućnost predviđanja događaja.

Neurofiziološka objašnjenja ukazuju na adaptaciju stanica u lateralnim područjima koji su odgovorni za kromatske aberacije oka kako bi adaptacija stanica u vizualnom korteksu mogla reagirati na boju i orijentaciju, budući da se u primarnom vizualnom korteksu „V1“ nalaze takozvani setovi sastavljeni od stupaca koji su odgovorni za prepoznavanje linija svih orijentacija. Procedura se nastavlja u višim centrima mozga uključujući i frontalni režanj, kao i dijelove odgovorne za učenje i pamćenje. Efekt se ne prenosi s jednog oka na drugo iz čega se može zaključiti da se efekt pojavljuje u područjima vizualnog sustava prije „V1-4B“ gdje se binokularne stanice najprije pojavljuju [13].

Jedna od studija upućuje na uključenost faktora koji se mogu vezati isključivo uz mehanizme na kojima se temelje viši nivoi percepcije, odnosno koji su na kortikalnoj razini, kao što su mehanizmi vezani uz percepciju transparentije. Određene studije ovaj efekt povezuju s mehanizmima koji su vezani uz jezične karakteristike. Također je ustanovljena povezanost efekta s psihološkim nasljedem i trenutnim psihološkim stanjem, prema kojem je intenzitet naknadnog posljedičnog efekata percepcije desaturiranih tonova prethodnih pozadina veći, a vrijeme trajanja McCollugh efekta duže kod introverata nego ekstroverata [1,6,7].

2.3. Boja i osjet vida

Boje u naš život unose ljepotu, ali imaju važnu ulogu u signaliziranju, bez obzira radi li se o prirodnom okruženju ili onom stvorenom ljudskom rukom. Pomoću boje identificiramo i klasificiramo stvari, one poboljšavaju perceptivnu organizaciju. Boja ima mnogo različitih značenja od kojih razlikujemo tri osnovna. Prvo značenje jest da boja pojam materijalne naravi i vezana je za tvar kao nosioca obojenja, a naziva se imenom pojedinih pigmenta. Drugi pojam odnosi se na fizikalno mjerljiv podražaj koji uzrokuje percepciju boje. Ovo je potpun opis boje koja napušta površinu, čija se energija može izmjeriti na svakoj valnoj dužini. Treći pojam izražava osjet u čovjeku koji je izazvan percepcijom svjetlosti emitirane od nekog izvora. Boja je optički fenomen zato što je možemo doživjeti samo našim organom vida [11,14].

Oko je organ ljudskog vizualnog sustava, te zahvaljujući njegovoj anatomske građi možemo percipirati elektromagnetsko zračenje valnih dužina od 380nm do 780nm, ali i razlikovati pojedine karakteristike tog elektromagnetskog zračenja. S prednje strane oka nalazi se šarenica, a unutar nje zjenica koja regulira ulaznu energiju svjetlosti mijenjajući svoju veličinu. Leća ulaznu svjetlost fokusira na stražnji dio oka, dajući umanjenu i obrnutu sliku. Osjet vida i boja nastaje u mrežnici, koja je jedna od ovojnica oka i prekriva najveći

dio unutrašnjosti očne jabučice, s time oku omogućuje široko vidno polje. Mrežnica je direktno povezana sa mozgom. U njoj pozadini nalazi se optički sloj koji se zove koroidna membrana i taj sloj apsorbira svjetlost koja prolazi kroz retinu. Štapići su fotoreceptorske stanice i osjetljivi su na vrlo male intenzitete osvjetljavanja i omogućuju osjet akromatskih boja. Čunjići su također fotoreceptorske stanice i smješteni su u središtu fovee. Ima ih mnogo manje nego štapića i osjetljivi su na veće intenzitete osvjetljavanja. Oni omogućuju jasnu percepciju detalja i šarenih boja, omogućuju vidni osjećaj boje. U oku postoje tri vrste čunjića koji u sebi imaju fotopigmente, dijele se prema ostvarivanju reakcija ovisno o valnoj dužini te zahvaljujući njima sposobni smo razlikovati boje [11].

Percepcija boje određena je sposobnošću oka da ulaznu svjetlost ovisno o njoj snazi propušta kroz rožnicu. Doživljaj boje ovisi o tome kako mozak reagira na stimulaciju, zato što se ulazna elektromagnetska energija iz svjetlosti pretvara u živčane impulse koji se preko milijun živčanih vlakana do zatiljnog dijela kore velikog mozga i interpretiraju se kao slika. Percepcija boje odvija se u cijelom vizualnom sustavu, ne samo u oku već i u mozgu. Boja zapravo ne postoji, ona je samo osjećaj [8]. Percipirana boja ovisi o spektralnoj raspodjeli stimulusa, njegovoj veličini, obliku, strukturi, površinskim karakteristikama objekta od kojeg podražaj dolazi, ali i o pozadini i okruženju u kojem se promatra. Isti fizikalni doživljaj kod različitih ljudi izaziva različite osjete, zato što percepcija također ovisi o adaptacijskom stanju promatrača, njegovom vizualnom sustavu, iskustvu i još mnogo drugih faktora.

Ljudski organizam je jedinstven i ne postoje dva ista organizma po svojim osjetilnim karakteristikama. Osjetljivost štapića i čunjića vezana je na različite vanjske podražaje koji ovisi o mnogim faktorima. Osjetljivost čunjića se u srednjim i dugim valnim dužinama razlikuje i do 20 nm. Razlike u spektralnoj apsorpciji pojedinih vrsta čunjića najčešće se događaju uslijed kemijskih reakcija u mrežnici oka. Protok svjetlosti kroz oko do mrežnice uvjetovan je i različitom propusnosti svjetlosti u ovisnosti o različitim valnim dužinama ulazne spektralne energije vidljivog djela spektra. Pigmenti u oku koji se nalaze neposredni ispred fotoreceptora također su odgovorni na osjetljivost oka [1,8].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Cilj istraživanja bio je odrediti intenzitet manifestacije McCollughov efekta na različitim medijima u „cross-media“ reprodukcijim sustavu.

Uz navedeni primarni cilj istraživanja, kroz postavljene eksperimente i posebno kreirane testne uzorke, želi se utvrditi da li se McCollugh efekta može manifestirati i na strukturama koje se razlikuju od vertikalno i horizontalnih postavljenih linija, koje se u pravilu koriste kod ovog efekta [5]. Istraživanje je bilo provedeno pod standardiziranim uvjetima sukladno smjernicama norme ISO 3664:2009. Udaljenost ispitnika od testnih uzoraka 50 cm, kut promatranja 10°

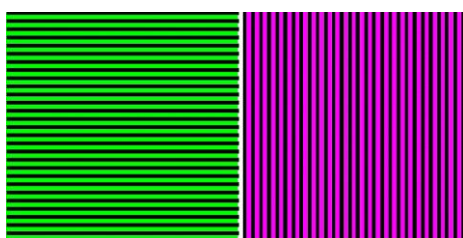
te neutralna mat siva pozadina. Istraživanje je provedeno na uzorku od 30 ispitanika, približno podjednaki broj pripadnika oba spola u rasponu od 18 do 25 godina. Prije provedbe testiranja ispitanici su podvrgnuti „Ishihara“ testu – 24 uzorka, za potencijalnu detekciju defekta vida.

Za kreiranje testnih uzoraka korišteni su komplementarni parovi boja: zelena i purpurna, žuta i plava, te crvena i zeleno-plava. Također je korišten i jedan ne-komplementaran par crvena-zelena boja. Komplementarne boje nastaju miješanjem dviju osnovnih boja aditivne sinteze gdje nastaje jedna od boja suptraktivne sinteze. Ta novonastala boja suptraktivne sinteze komplementarna je sa trećom bojom aditivne sinteze koja nije sudjelovala u miješanju [11]. Komplementarne boje su parovi čistih boja, u kojima se boje međusobno nadopunjavaju. Svaki komplementarni par sadrži jednu toplu i jednu hladnu boju, od kojih je jedna primarna a druga sekundarna boja i nalaze se točno jedna nasuprot drugoj u krugu boja [1,9]. Testni uzorci obojenih (Slike 3.1. - 3.4.) i neobojenih pozadina (Slike 3.5.) McCollugh rešetke kreirani su u jednakoj veličini.

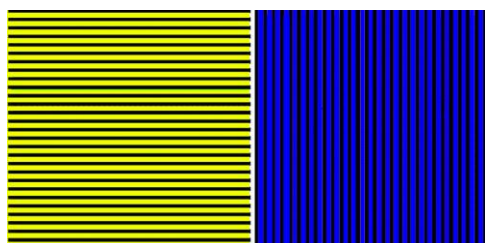
Za formiranje „cross-media“ reprodukcijskog sustava korišteni su po jedan medij aditivne sinteze i jedan medij suptraktivne sinteze, odnosno kalibrirani zaslon računala visoke rezolucije te tiskovna papirna mat podloga otisnuta na „Ink-jet“ pisaču visoke rezolucije, a na kojima su bili reproducirani istovjetni testni uzorci.

Zadatak svakog ispitanika bio je odrediti nijansu boje koju vidi na zaslonu računala i na otisnutoj papirnoj podlozi kao naknadno posljedični efekt na rešetci (Slike 3.5.) koja je izvedena bez obojene pozadine.

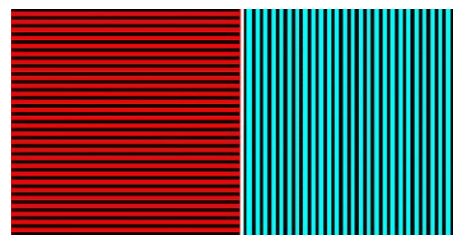
Prije samog ocjenjivanja, vizualni sustav ispitanika adaptiran naizmjeničnim promatranjem lijeve i desne strane teste podloge – obojene rešetke, po pojedinom mediju u vremenskom periodu od 5 min (Slike 3.1., 3.2., 3.3. i 3.4.).



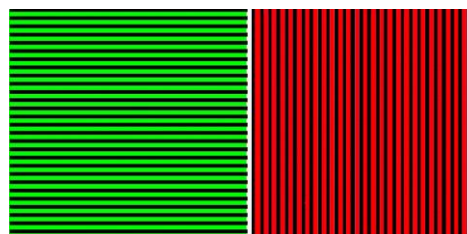
Slika 3.1. Geometrijska struktura obojenja komplementarnim parovima boja, zelenom i purpurnom bojom



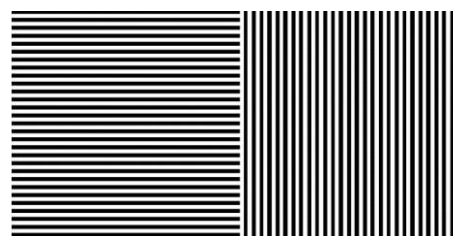
Slika 3.2. Geometrijska struktura obojenja komplementarnim parovima boja, žutom i plavom bojom



Slika 3.3. Geometrijska struktura obojenja komplementarnim parovima boja, crvenom i zeleno-plavom bojom

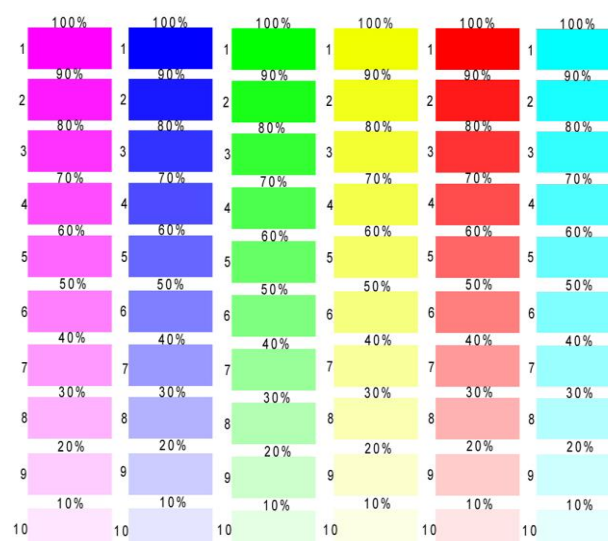


Slika 3.4. Geometrijska struktura obojenja zelenom i crvenom bojom



Slika 3.5. Prikaz sustava vertikalnih i horizontalnih linija McCollughovog efekta bez obojenja

Intenzitet manifestacije McCollugh efekta na ispitivanim medijima i uzorcima, utvrđen je na principu usporedbe sa referentnim vrijednostima u atlasu boja koji je kreiran za potrebe istraživanja. Atlas (Slika 3.6) se sastoji od 6 uzoraka boja, istovjetnih onima koje su korištene za kreiranje McCollugh uzoraka. Svaka od ispitivanih boja zastupljena je sa 10 polja – koja su označena istovjetnim brojevima. Vrijednosti polja definirane su kao postotne vrijednosti zasićenosti tonova boja HSB modela u koracima od po 10%.



Slika 3.6. Atlas boja sa desaturiranim tonovima

Zadatak ispitanika bio je pridružiti pojedino polje (1-10) tonu boje kojega je percipirao na akromatskoj rešetki nakon provedenog procesa adaptacije. Na taj način određen je intenzitet manifestacije McCollugh efekta izražen kroz pomak u zasićenosti pojedinoga tona boje.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja procjene manifestacije McCollugh efekta za različite kombinacije pozadina McCollugh rešetke prezentirani su odvojene za papirnu podlogu i za zaslon računala kroz Tablice 4.1. do 4.4.

Tabela 4.1. Prikaz rezultata manifestacije efekta za zeleno-purpurnu pozadinu rešetke

Tonska vrijednost polja atlasa	Boja pozadine rešetke			
	Zelena		Purpurna	
	Papirna podloga	Zaslon računala	Papirna podloga	Zaslon računala
10	6	7	7	7
20	12	14	11	12
30	10	7	10	10
40	2	2	2	1
50	0	0	0	0
60	0	0	0	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0

Tabela 4.2. Prikaz rezultata manifestacije efekta za žuto-plavu pozadinu rešetke

Tonska vrijednost polja atlasa	Boja pozadine rešetke			
	Žuta		Plava	
	Papirna podloga	Zaslon računala	Papirna podloga	Zaslon računala
10	12	14	9	12
20	10	11	11	10
30	7	4	9	6
40	1	1	1	2
50	0	0	0	0
60	0	0	0	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0

Tabela 4.3. Prikaz rezultata manifestacije efekta za crveno-cyan pozadinu rešetke

Tonska vrijednost polja atlasa	Boja pozadine rešetke			
	Crvena		Zeleno-plava	
	Papirna podloga	Zaslon računala	Papirna podloga	Zaslon računala
10	9	7	6	7
20	9	10	11	10
30	10	10	10	9
40	2	3	2	3
50	0	0	1	1
60	0	0	0	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0

Tabela 4.4. Prikaz rezultata manifestacije efekta za crveno-zelenu pozadinu rešetke

Tonska vrijednost polja atlasa	Boja pozadine rešetke			
	Crvena		Zelena	
	Papirna podloga	Zaslon računala	Papirna podloga	Zaslon računala
10	9	7	8	9
20	10	10	10	10
30	9	9	10	9
40	2	2	2	1
50	0	0	0	1
60	0	0	0	0
70	0	0	0	0
80	0	0	0	0
90	0	0	0	0
100	0	0	0	0

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

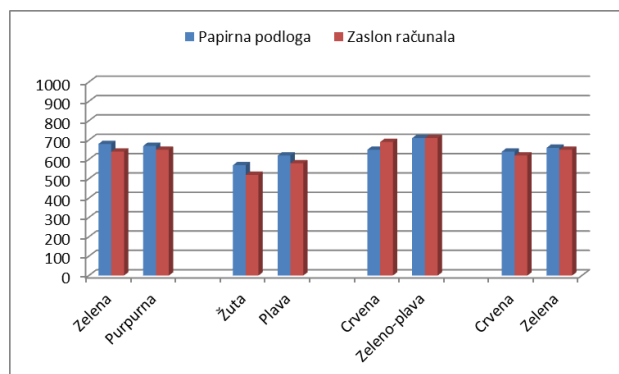
Promatranjem rezultata istraživanja prezentiranih u tablicama 4.1. do 4.4. jasno je uočljivo da različite kombinacije pozadinskih tonova McCollugh rešetke uzrokuju različite intenzitete manifestacije predmetnog efekta. Rezultati istraživanja također ukazuju da na činjenicu da u „cross-media“ reprodukcijским sustavima bojeno istovjetne McCollugh rešetke ostvaruju različite intenzitete efekta u ovisnosti o mediju na kojemu su prezentirani.

Ukupnu vrijednost intenziteta efekta za pojedinu boju moguće je iskazati kroz umnožak tonske vrijednosti atlasa i broja ispitanika koji su tu vrijednost kao maksimalnu percipirali.

Tablica 5.1. Intenzitet McCollugh efekta izražen kroz umnožak tonske vrijednost polja i broja ispitanika

Boja pozadine McCollugh rešetke	Medij	
	Papirna podloga	Zaslon računala
Zelena	680	640
Purpurna	670	650
Žuta	570	520
Plava	620	580
Crvena	650	690
Zeleno-plava	710	710
Crvena	640	620
Zelena	660	650

U pravilu intenzitet efekta za sve kombinacije boja rešetke te za oba analizirana medija ne prelazi vrijednost tona u iznosu većem od 50% (Tablice 4.1. do 4.4.). Najčešći intenzitet efekt izražen kroz postotne vrijednosti tona boje zabilježen je kod vrijednosti od 20% i to kod svih kombinacija boja pozadine rešetke i kod oba ispitivan medija. Sam intenzitet efekta koji je zabilježen u 50% iznosu zamijećen je zeleno plave boje, za kombinaciju rešetke crvena-cyan i to samo kod jednog ispitanika. Ukoliko navedeno iskažemo kroz bodove, intenzitet McCollugh efekta na analiziranim medijima i parovima kombinacija boja je prilično uniforman i predvidljiv i kreće se u rasponu od 520 do 710, od mogućeg raspona od 0 do 3000.



Slika 5.1. Usporedni prikaz intenziteta efekta po parovima boja i medijima

Ukupno gledajući najveći intenzitet manifestiranog efekta ostvaruju rešetka čije boje pozadine tvori komplementarni par crvena i zeleno-plava (cyan) boja. Slijedi kombinacija zelene i purpurne boje, a najmanji intenzitet manifestiranog efekta ostvaruje komplementarni par žute i plave boje.

Ukoliko analiziramo utjecaj medija na intenzitet efekta (Slika 5.1.), vidljivo je da gotovo kod svih kombinacija boja pozadina McCollough rešetki, osim kod para crvena-cyan, veći intenzitet efekta je zabilježen na suptraktivnom mediju (papirnoj podlozi) u odnosu na aditivni medij (zaslon računala). Navedeni podatak upućuje na potrebu uvažavanja činjenice da će slikovni zapis koji ostvaruje McCollough efekt kreiran na zaslonu računala u slučaju ispisa istog a papirnu podlogu jačati u intenzitetu.

7. LITERATURA

- [1] Milković, M., Mrvac N., Vusić D.,: Vizualna psihofizika i dizajn, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin 2009.
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/Psychophysics>
- [3] doi: 10.1167/5.8.1026 Journal of Vision September 23, 2005 vol. 5 no. 8 article 1026
- [4] Fairchild MD. Color Appearance Models. 1st ed. Reading, , MS: Addison Wesley; 1998.
- [5] Visual Adaptation: Physiology, Mechanisms, and Functional Benefits.
<http://jn.physiology.org/content/97/5/3155.full>
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/McCollough_effect
- [7] http://www.inf.ed.ac.uk/publications/thesis/online/I_M050308.pdf
- [8] Zjakić I., Milković M., Psihologija boja, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2010
- [9] http://hr.wikipedia.org/wiki/Komplementarne_boje
- [10] <http://www.fot-o-grafiti.hr/nauci/upravljanje-bojom/psiholo%C5%A1ki-u-%C4%8Dinak-boje>
- [11] M. Milković, I. Zjakić, D. Vusić: Kolorimetrija u multimedijским komunikacijama, Varaždin 2010.
- [12] Milković M., Mrvac N., Kozina G. Informacijski sustavi za upravljanje bojama, Varaždin 2011.
- [13] E. B. Goldstein: Osjeti i percepcija, Naklada Slap 2011.

- [14] N. Tanhofer: O boji, Zagreb 2000.
- [15] Hofstter H.W., Griffin J.R., Berman M.S., Everson E.W., Dictionary of Visual Science, Butterworth-Heinemann Press, Boston, 2000.
- [16] Gescheider G.A., Psychophysics, Method, Theory and Application, Erlbaum Associates, Hillsdale, 1985.
- [17] Jones P.D., Holding D.H., Extremely long-term persistence of the McCollough effect, 1975., PMID: 1185119 [PubMed - indexed for MEDLINE]
- [18] Savoy, R.L., Extinction of the McCollough effect does not transfer interocularly, Perception and Psychophysic, Vol. 36, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [19] MacKay D.M., MacKay V., What causes decay of pattern-contingent chromatic aftereffects?, Vision Research, Vol. 15, Pergamon Press, 1975.
- [20] Stromeyer C.F., Form-color aftereffects in human vision, Vol. 8, Springer, New York, 1978.

Kontakt autora:

prof.dr.sc. Marin Milković
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, Varaždin
dekan@velv.hr

RAZVOJ JEDNOSTAVNOG ALATA ZA ANALIZU ZVUKA NA MOBILNOJ ANDROID PLATFORMI

DEVELOPMENT OF A SIMPLE TOOL FOR AUDIO ANALYSIS ON MOBILE ANDROID PLATFORM

Dražen Hižak, Matija Mikac

Stručni članak

Sažetak: Svakim danom razvija se sve više aplikacija za „pametne“ mobilne uređaje bazirane na najpopularnijim mobilnim platformama – Android, iOS, Windows Phone i ostalima. Mobilni uređaji se sve učestalije primjenjuju i koriste za lakše obavljanje određenih zadataka. Kao takav priručni uređaj pokazuju sve veći tržišni potencijal. U ovom članku opisuje se tijekom razvoja aplikacije za obradu zvuka na mobilnoj platformi zasnovanoj na operacijskom sustavu Android, namijenjene jednostavnoj analizi amplitudno-vremenske domene audiosignala. Programsko rješenje implementira tri jednostavne funkcije za obradu signala i vizualizaciju snimljenog uzorka. U članku se iznosi i kratak pregled izvedbe grafičko korisničkog sučelja bez kojeg ne bi bilo moguće upravljati ovom aplikacijom, te neke osnove digitalne obrade signala.

Ključne riječi: Android, pametni telefon, amplituda, audiosignal, digitalna obrada signala, zvuk

Professional paper

Abstract: Every day more applications for smartphone devices are being developed – on Android, iOS, Windows Phone, as well as other platforms. Mobile devices are being used for a rising number of everyday tasks, and as such convenient gadgets they are showing great market potential. This article is following the development of an application for sound editing on an Android mobile platform and deals with a simple analysis of an audio signal's amplitude-time domain. It implements three simple functions for signal processing and recorded sample visualisation. The graphic interface, without which the control of this application would not be possible, is also being discussed, along with some basics of digital sound analysis.

Key words: Android, smartphone, amplitude, audio signal, digital signal processing, sound

1. UVOD

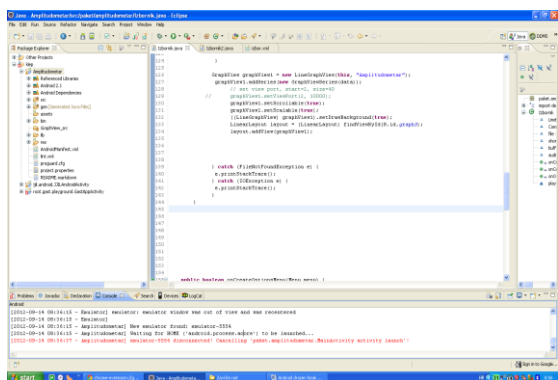
Mobilni uređaji se sve učestalije primjenjuju u svakodnevnom životu i koriste za lakše obavljanje određenih zadataka. Kao takav priručni uređaj pokazuju sve veći tržišni potencijal. Jedna od mogućih primjena je i obrada zvučnih zapisa.

Ovaj članak daje pregled tijeka razvoja aplikacije za jednostavnu obradu zvuka na mobilnoj platformi baziranoj na operacijskom sustavu *Android*. Opisuje se osnove digitalne obrade signala te konkretni koraci razvoja grafičkog korisničkog sučelja, modula za vizualizaciju signala i implementirane funkcije za obradu zvuka. Implementirane funkcionalnosti odnose se na obradu zvuka u vremenskoj domeni. Razvijena aplikacija za jednostavnu obradu zvuka koristi se prije svega u edukativne svrhe i dio je završnog rada studenta [1]. Osim što omogućava dohvat zvuka preko standardnog mikrofona na uređaju, aplikacija nudi mogućnost vizualizacije signala, obradu i modifikaciju signala ovisno o korisnički definiranim parametrima, te mogućnost preslušavanja signala prije ili nakon modifikacija.

2. ODABIR MOBILNE PLATFORME

Unatoč tome što postoji više mobilnih operacijskih sustava, *Android* mobilna platforma je odabrana, osim zbog zastupljenosti, prije svega zbog pristupačnosti alata za razvoj aplikacija kao i relativne jednostavnosti razvoja. Dok je za razvijanje aplikacija na mobilnoj platformi *iOS* potrebno imati računalo proizvođača *Apple* i plaćati godišnju pristojbu za pristup službenoj dokumentaciji, *Google* pruža besplatnu podršku i pristup dokumentaciji [2], a i programiranje samih aplikacija se može radi neovisno o operacijskom sustavu računala, pri čemu su razvojna okolina i dostupni alati besplatni.

Za razvoj aplikacije korištena je *Eclipse* razvojna okolina, (slika 1.) [3], za koju *Google* pruža direktnu podršku. Nakon preuzimanja razvojne okoline treba preuzeti paket alata ADT (eng. *Android Development Tools*) sa službenih stranica *Android* mobilne platforme. ADT paket sastoji se od emulatora mobilnih uređaja, programa za povezivanje razvojne okoline s mobilnim uređajem, program za praćenje izvođenja aplikacija i drugih, u razvoju korisnih, pomoćnih alata.

Slika 1. Razvojno okruženje *Eclipse*

Verzija *Android* sustava na kojem je razvijana aplikacija je 2.3 (API level 10). Pri odabiru razvojne verzije sustava bitno je da je aplikaciju moguće izvesti sa što nižom razinom API-ja kako bi ju bilo moguće pokrenuti na što više mobilnih uređaja. S obzirom na udio u zastupljenosti na *Android* mobilnim uređajima (nastanak softvera u rujnu 2012.), kao optimalni izbor odabrana je verzija 2.3.

Još jedan bitan faktor je i odabir mobilnog uređaja. Da bi se signal mogao kvalitetno obraditi u što kraćem vremenu (što brže), potreban je i mobilni uređaj veće procesorske snage. Gotovo svi danas dostupni modeli uređaja baziranih na *Android* operacijskom sustavu zadovoljavaju što se tiče izvedbe implementiranih funkcionalnosti, pri čemu bi većina od njih osigurala i mogućnost izvedbe složenijih funkcija.

3. OSNOVE DIGITALNE OBRADNE SIGNALA

3.1. Svojstva analognih signala

Zvuk je mehanički val uzrokovan vibracijama nekog objekta (gitara, zvučnik, okolina). Ono što je bitno kod tih vibracija za nas je čujno područje koje se proteže od približno 16 Hz do 20 kHz. Da bi mogli baratati zvukom potrebno ga je prvo pretvoriti u električni signal, a to se postiže mikrofonom. Svojstvo svakog električnog signala dohvaćenog mikrofonom je da ima određenu frekvenciju i određenu amplitudu (napon). Da bi se taj signal mogao obrađivati, postoje dvije opcije. Prva opcija je da taj signal bude prvo snimljen na neki medij za pohranu podataka, a onda obrađen, dok je druga opcija da ga se obrađuje u stvarnom vremenu uz određeni vremenski odmak koji se nastoji minimizirati.

Vezano uz obradu signala na računalu, prije same obrade nužno je provesti digitalizaciju signala. Postupak uključuje nekoliko koraka: uzimanje uzoraka (uzorkovanje), kvantizaciju i kodiranje.

3.2. Uzorkovanje

Da bi neki kontinuirani (analogni) signal mogli obrađivati (analizirati na računalu ili, u našem slučaju, "pametnom" mobilnom telefonu), potrebno je signal digitalizirati - dohvatiti određeni broj uzoraka signala (vrijednosti) u određenom vremenskom periodu. Broj

uzoraka koje uzimamo u sekundi određuje se tzv. frekvencijom uzorkovanja. Da bi se uzorkovani signal mogao pravilno rekonstruirati, frekvencija uzorkovanja mora biti barem dvostruko veća od maksimalne frekvencije signala. To opisuje Nyquistov teorem, pri čemu se frekvencija uzorkovanja naziva i Nyquistovom frekvencijom. *Android* sustav podržava frekvencije uzorkovanja 8000, 11025, 16000, 22050 i 44100 Hz. U razvijanoj aplikaciji korištena je frekvencija uzorkovanja od 11025 Hz. To teoretski znači da se pravilno može rekonstruirati ulazni signal frekvencijskog pojasa otprilike 0-5.5kHz, dok u praksi to ovisi o kvaliteti ulaza (mikrofon) i drugim parametrima.

3.3. Kvantizacija

Procesom uzorkovanja signal postaje diskretan u vremenu i kontinuiran po amplitudi (očitanje amplitudne vrijednosti u trenutku uzimanja uzorka). Da bi taj signal mogli obrađivati, potrebno je nakon uzorkovanja provesti proces kvantizacije kojim taj signal postaje diskretan po amplitudi. U principu, neograničen skup vrijednosti (kontinuiran) prilagođavamo i prikazujemo nekim od najbližih dostupnih (ograničen skup) vrijednosti pa kvantizaciju opisujemo kao proces aproksimacije kontinuiranog skupa vrijednosti. Jasna posljedica tog postupka je i gubitak određenih informacija ulaznog signala zbog zaokruživanja na najbliže dostupne vrijednosti.

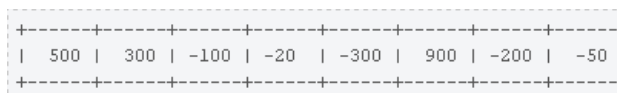
Kvaliteta kvantizacije ovisi, osim o samom signalu, o rezoluciji – broju mogućih diskretnih vrijednosti (veličini ograničenog skupa dostupnih vrijednosti). Standardno se rezolucija definira brojem bitova: npr. 8 ili 16 bita, što su ujedno i dostupne rezolucije na *Android* uređajima. Korištenje rezolucije 8 bita značilo bi da postoji 2^8 mogućih vrijednosti na koje se amplitude zaokružuju. Povećanje rezolucije na 16 bita omogućilo bi korištenje čak 2^{16} amplitudnih vrijednosti i imalo bi za posljedicu mnogo bolje kvantiziranje signala.

Dostupne amplitudne vrijednosti mogu se definirati linearno ili nelinearno. Kod linearne kvantizacije sve diskretne amplitude su definirane s jednakim razmacima (npr. 256 mogućih amplituda se linearno dijele na jednako široke razine od 0 do 255). S druge strane, nelinearna kvantizacija uzima u obzir i karakteristike signala pa je dostupne razine moguće formirati ovisno o statistici signala. Pri tome se područje češće prisutnih amplituda preciznije kvantizira i koristi veći broj razina, dok područje manje zastupljenih amplituda sadrži manji broj razina – gubitak informacija tako je statistički niži. Nelinearna kvantizacija se standardno koristi kod digitalizacije govora s obzirom na nisku učestalost nižih amplituda u standardnom govoru.

3.4. Pulsno-kodna modulacija

Pulsno-kodna modulacija - PCM (eng. *Pulse Code Modulation*) - je standardna metoda koja se koristi da bi digitalno prikazali uzorkovan analogni signal (standardna metoda digitalizacije signala implementirana praktički u svom sklopovlju i sustavima s podrškom za dohvat i obradu signala - u našem slučaju zvuka).

Da bi signal mogli obrađivati u vremenskoj domeni bez upotrebe kompliciranih algoritama, treba baratati što jednostavnijom snimkom. PCM primijenjen na zvučni signal snimljen mikrofonom daje čistu digitalnu reprezentaciju analognog zvuka bez ikakve kompresije te time ubrzava proces obrade zvuka i omogućuje rad sa čistim uzorcima. Ako takvim zapisima dodamo standardima definirano zaglavlje, dobivamo standardnu, nekomprimiranu WAV datoteku. U zaglavlju glazbene datoteke obično se pohranjuju osnovne informacije o zvučnom zapisu kao što su naziv (*tag*), frekvencija uzorkovanja, veličina uzoraka i još mnoge druge. U razvijanoj aplikaciji nije implementirano korištenje WAV datoteka već se u analizi, pohrani i reprodukciji zvuka koristi čisti (eng. *raw*) PCM zapis, uz dodatno definirane konfiguracijske parametre u samom izvornom kodu (frekvencija uzorkovanja i ostali parametri potrebni za korištenje kasnije opisanih sistemskih biblioteka). Radi lakšeg razumijevanja PCM zapisa, na slici 2. je numerički prikaz signala – polje cjelobrojnih vrijednosti koje odgovaraju kvantiziranim vrijednostima amplituda u određenim trenucima.



Slika 2. Polje s 8 uzoraka audiozapisa

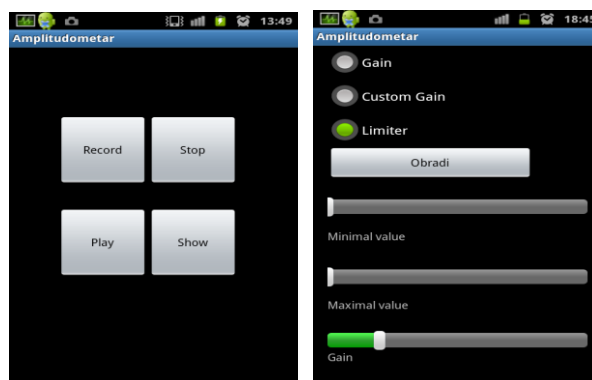
Mada u ovom polju vidimo samo 8 uzoraka, svake sekunde je uzeto onoliko uzoraka kolika je frekvencija uzorkovanja, što bi značilo ako je frekvencija uzorkovanja 8000 Hz, svake sekunde je uzeto 8000 vrijednosti. Svaka od tih vrijednosti se opisuje s 8 ili 16 bita gdje isto vrijedi pravilo „više je bolje“. Također, na slici 2. se vidi da postoje i negativne vrijednosti. To je zbog same prirode zvučnog signala te njegovog utjecaja na mikrofonsku membranu zbog kojeg se membrana mikrofona giba prema unutra i prema van. U razvijanoj aplikaciji podaci se spremaju u međuspremnik tipa *short*, što bi značilo da svaki uzorak može biti opisan sa 16 bita s obzirom na podršku za predznak broja, brojevima između -32767 i 32767.

Prema gore opisanim postavkama (uzorkovanje 8 kHz, kvantizacija 16 bita) količina podataka dobivenih u jednoj sekundi je 128000 bitova (128 kbit/s), što se dobije jednostavnim množenjem veličine svakog uzorka s frekvencijom uzorkovanja.

4. KORISNIČKO SUČELJE

S obzirom na primjenu, u razvoju aplikacije nastojalo se korištenje iste učiniti što jednostavnijim za krajnjeg korisnika. Sukladno tome definirano je jednostavno, ali funkcionalno korisničko sučelje. Na slici 3. prikazana su dva standardna sučelja razvijane aplikacije: Lijevo je početni ekran iz kojeg se pokreću sve glavne funkcije programa (gumbi za snimanje, preslušavanje, grafički prikaz i obradu zapisa). Na slici desno je sučelje za definiranje parametara i upravljanje ugrađenim funkcijama. Korišteni su standardni elementi grafičkog

korisničkog sučelja – gumbi, izbornici i klizači. U sučelju za vizualizaciju signala korištena je *GraphView* knjižnica za izradu grafikona [4], dok je pozivanje funkcija za manipulaciju zapisima izvedeno korištenjem korisničkog izbornika.



Slika 3. Korisničko sučelje aplikacije

Android platforma omogućuje da grafičko sučelje bude opisno definirano standardnim XML jezikom, dok se funkcionalnosti implementiraju u programskom jeziku Java. Osnovna ideja je jednostavna - svaki element korisničkog sučelja definiran u XML datoteci potrebno je instancirati u programskog kodu (korištenjem identifikatora – atribut „*id*“) i potom povezati sa željenim funkcionalnostima kao što prikazuje sljedeći primjer:

```
XML datoteka
<Button
    android:id="@+id/start"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:text="Record" />

Java programski kod
Button start;

start = (Button) findViewById(R.id.start);
start.setOnClickListener(startRecOnClickListener);
```

Zajednički argument svim elementima korisničkog sučelja je „*id*“. Pomoću njega dajemo svakome objektu jedinstveno ime (identifikator) te nakon toga pristupamo programski. Svaki objekt korisničkog sučelja sadrži i određeno sučelje koje prati promjene stanja tog objekta. Primjer za definiranje funkcije koja se pokreće klikom na gumb „*Record*“ dan je u nastavku:

```
Java programski kod
OnClickListener startRecOnClickListener
= new OnClickListener(){
    public void onClick(View arg0) {

        Thread recordThread = new Thread(new Runnable()
        {
            public void run() {
                recording = true;
                startRecord();
            }
        });
        recordThread.start();
    }
};
```

U danom primjeru implementirana je funkcija koja će kod pritiska na gumb „Record“ pokrenuti dretvu koja započinje snimanje te održava korisničko sučelje „budnim“.

5. SNIMANJE I REPRODUKCIJA ZVUKA

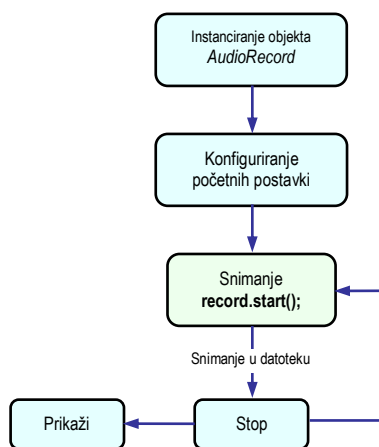
5.1. Snimanje zvuka

Zvuk se snima pomoću objekta *AudioRecord*. U primjeru programskog koda koji slijedi prikazan je konstruktor objekta *AudioRecord* te njegove početne postavke (frekvencija uzorkovanja 11025 Hz, 16 bit za kvantizaciju).

Java programski kod

```
AudioRecord audioRecord = new
AudioRecord(MediaRecorder.AudioSource.MIC, 11025,
AudioFormat.CHANNEL_CONFIGURATION_MONO,
AudioFormat.ENCODING_PCM_16BIT,
minBufferSize);
```

Da bi se objekt koristio, treba odrediti izvor zvuka, frekvenciju uzorkovanja, konfiguraciju kanala, veličinu svakog uzorka i međuspremnik u koji će se podaci privremeno spremati prije spremanja u datoteku. Dijagram koji prikazuje implementirani postupak snimanja prikazan je na slici 4.



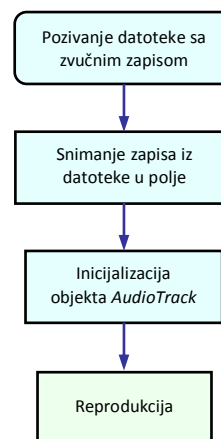
Slika 4. Dijagram toka - snimanje zvuka

Spremanje podataka se ne odvija direktno s mikrofona u datoteku, nego je potrebno instancirati međuspremnik (eng. *buffer*). Treba imati na umu da ako se želi nesmetano snimati s mikrofona na karticu moramo imati dovoljno veliki međuspremnik da ne bi došlo do preplavlivanja istog.

5.2. Reprodukcijski zapis

Za reprodukciju snimljenog zapisa koristi se objekt *AudioTrack*. Tom objektu je kao parametre potrebno navesti frekvenciju kojom je snimljeni zapis uzorkovan i veličinu svakog uzorka – to je nužno da bi zvučni zapis bio pravilno reproduciran. Također, u konstruktor objekta *AudioTrack* potrebno je odrediti i način rada.

Moguća su dva načina: *static* i *streaming*. Dok je *streaming* način rada za veće datoteke, *static* je za kratke uzorke zvuka. Postupak od pripreme zvučnog zapisa do njegove reprodukcije opisuje dijagram na slici 5.



Slika 5. Dijagram toka reprodukcije zvučnog zapisa

5.3. Prikaz snimljenog zapisa

Vizualizacija snimljenog zapisa u vremenskoj domeni pokazala se složenim problemom u realizaciji. Da bi snimljeni zapis prikazali u obliku grafa, potrebna je povećana količina programskog koda za rezultate koji nisu vizualno primamljivi. S obzirom na to da postoje knjižnice koje nisu dio službenih Android API poziva, a koje omogućavaju jednostavnu izvedbu vizualizacije, odlučeno je da se u izradi aplikacije koristi jedna od takvih knjižnica. Takve knjižnice nazivaju se „3-rd party library“, tj. knjižnice razvijene od treće strane.

Za potrebe razvijenog alata koristila se knjižnica zvana *GraphView* [4]. Poziva se uz pomoć nekoliko vrlo jednostavnih naredbi, a isto tako se jednostavno popunjava podacima o objektu koji želimo vizualizirati. Primjer programskog koda u nastavku prikazuje pozivanje objekta *GraphView* u aplikaciji, te neke njegove mogućnosti.

Java programski kod

```
GraphViewData[] data = new
GraphViewData[audioData.length];

data[i] = new GraphViewData(i, audioData[i]);

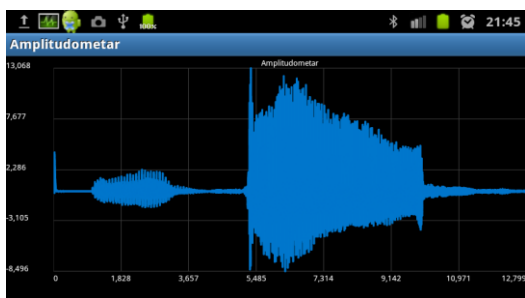
GraphView graphView = new LineGraphView(this,
"Amplitudometar");
graphView.addSeries(new GraphViewSeries(data));

graphView.setScrollable(true);
graphView.setScalable(true);
((LineGraphView) graphView).setDrawBackground(true);

LinearLayout layout = (LinearLayout)
findViewById(R.id.graph1);

layout.addView(graphView);
```

Primjer dobivenih rezultata vizualizacije (prikaz ekrana razvijane aplikacije u položenom (*landscape*) načinu rada) dan je na slici 6.



Slika 6. Vizualizacija zvučnog zapisa

6. IMPLEMENTIRANE FUNKCIJE ZA OBRADU ZVUKA

Implementirane funkcije za obradu zvuka dostupne su preko standardnih korisničkih izbornika. Operacije se provode nad aktualnim (vizualiziranim) zapisom, pri čemu po izvršenju operacije rezultat obrade postaje aktualan i grafički se prikazuje. Pomoćne funkcije za kontrolu uključuju mogućnost poništavanja provedenih obrada – povratak na originalni zapis kao i mogućnost preslušavanja aktualnog zapisa.

U studijskom primjeru – razvijenoj aplikaciji, implementirane su tri osnovne funkcije za manipulaciju zapisima u vremenskoj domeni. Svaka od funkcija je opisana u nastavku.

6.1. Limiter

Funkcija *Limiter* koristi se za ograničavanje amplitude snimljenog zapisa. Ako je amplituda uzorka veća od amplitude koju smo odredili kao maksimalnu, uzorak poprima vrijednost maksimalne određene amplitude. Sve funkcije nad signalom su izvršene jednokratnim prolaskom kroz analizirani zapis pomoću *while* petlje i *if* kontrole toka.

6.2. Custom Gain

Funkcija *Custom Gain* služi da bi se povećao samo određeni dio amplituda između minimalne i maksimalne vrijednosti određene u aplikaciju za vrijednost željenog pojačanja. Ako s tim pojačanjem vrijednost amplitude prelazi maksimalnu moguću vrijednost polja *short*, ona poprima maksimalnu vrijednost polja *short* da ne bi došlo do pojave zvane *clipping* koja pretvara koristan signal u šum. Da bi se moglo provjeriti je li nova vrijednost amplitude u granicama, potrebno je uvesti novu varijablu koja ima veći opseg od varijable tipa *short* kao npr. varijabla tipa *integer*.

6.3. Gain

Funkcija *Gain* je jednostavna funkcija pojačanja pomoću koje se cijeli snimljeni signal pojačava za određenu vrijednost. To se postiže tako da svaki dio polja u koje smo smjestili zvučni zapis pomnožimo s vrijednosti željenog pojačanja. Ponovno se koristi i varijabla pomoću koje kontroliramo eventualno

prekoračenje maksimalne vrijednosti te po potrebi ograničavamo tu vrijednost.

7. ZAKLJUČAK

Operacijski sustav *Android* izrastao je od svog nastanka do danas u vrlo složen mobilni operacijski sustav koji ima pregršt opcija, a mogućnosti koje nema lako posudi. S obzirom na tržišnu zastupljenost, jasno je da sustav posjeduje velik potencijal za razvoj multimedijalnih aplikacija, čemu svjedoči količina njegovih *nativnih* API poziva kao i sama prilagodljivost uvjetima.

Ovim radom opisan je postupak implementacije jednostavne aplikacije za obradu zvuka na *Android* platformi. Dobiveni rezultati potvrdili su pretpostavke o mogućnostima sustava i dali smjernice za daljnji razvoj ovog ili sličnih rješenja. Jedna od interesantnijih ideja za daljnje nadogradnje jest implementacija frekvencijske analize zapisa i obrade u frekvencijskoj domeni (filtriranje i sl.). Također, interesantno je pitanje stvarne vremenske vizualizacije i analize signala na ulazu mikrofona. Činjenica je da uređaji trenutno dostupni na tržištu svojim karakteristikama zadovoljavaju sve preduvjete potrebne za realizaciju i korištenje ciljane aplikacije. Očekivan napredak i povećanje performansi (procesorska snaga, radna memorija itd.) pametnih mobilnih uređaja stvara pretpostavke koje će nam u skoroj budućnosti omogućiti pokretanje sve složenijih aplikacija za digitalnu obradu zvuka.

8. LITERATURA

- [1] Hižak D.: Razvoj jednostavnog alata za analizu zvuka na mobilnoj Android platformi, Završni rad br. 265/EL/2012, VELV Varaždin, 2012.
- [2] <http://developer.android.com>
- [3] <http://www.eclipse.org> – Eclipse razvojni sustav
- [4] <http://www.jjoe64.com/p/graphview-library.html> - *GraphView* knjižnica

Kontakt autora:

mr.sc. Matija Mikac, dipl.ing.el.
 Veleučilište u Varaždinu
 J. Križanića 33, Varaždin
 e-mail: matija.mikac@velv.hr

Dražen Hižak, bacc.ing.el.
 e-mail: drazen.hizak@gmail.com

IMPLEMENTACIJA SIMULACIJSKE RAČUNALNE TEHNOLOGIJE KROZ PROCESSE TISKA

IMPLEMENTATION OF A SIMULATION INFORMATION TECHNOLOGY THROUGH PRINTING PROCESSES

Petar Miljković, Jelena Vlašić, Krunoslav Hajdek

Izvorni znanstveni članak

Sažetak: U radu je prikazano modeliranje i simuliranje tiskarskih proizvodnih procesa koje je računalno potpomognuto orijentiranim programskim jezikom. Prilagođeno je skupu definiranih konstantnih varijabli. Prikazan je i model Petri mreže, svojevrsni alat čija je primjena u izmjeni informacija prilagođena dinamičkim sustavima te podržava modeliranja i simuliranja. Realno su izvedeni primjeri iz grafičke produkcije, oblikujući tiskovne i doradne faze u jedinstvene rutinske cjeline. Rezultati istraživanja su radni procesi koji se primjenjuju u stvarnim proizvodnim sustavima i kao takvi rješavaju nerentabilnosti i proizvodne zastoje. Proučava se svaka individualna faza rada zasebno kao izvršni proizvodni čvor u standardiziranim uvjetima grafičke proizvodnje. Modeliranjem radnih tijekova grafičke reprodukcije stvaraju se novi relacijski odnosi unutar tehnološke pripreme rada i odjela tiska. Kombiniraju se radni procesi na instaliranim resursnim kapacitetima.

Ključne riječi: JDF, modeliranje, Petri mreža, radni tijek, simulacija, tiskarstvo

Original scientific paper

Abstract: The paper presents modelling and simulating of the printing processes, which are computer assisted by the oriented software language. They have been adjusted to the group of defined constant variables. The paper also presents the model of the Petri Network, which is a kind of a tool whose application in the exchange of information has been adjusted to the dynamic systems and it supports modelling and simulations. The examples have been obtained realistically from the graphic production, forming the printing and finalisation phases into the unique routine unities. The results of the research are the working processes which are applied in the real production systems and as such solve the problems of cost-ineffectiveness and production standstill. Each individual phase has been analysed separately as the executive production nodes under the standardized conditions of the graphic production. The modelling of the workflows of the graphic reproduction creates new relations within the technological preparation of the work and the printing department. The working processes are combined on the installed resource capacities.

Key words: JDF, modelling, Petri Network, workflow, simulation, printing

1. UVOD

Dinamika industrijske proizvodnje iziskuje učestala simulacijska ispitivanja na modelima grafičkih proizvoda.

Utjecaj na planiranje radnih tijekova (*workflow*) te izračuni iskoristivosti instaliranih proizvodnih resursa bilo bi otežano bez računalom potpomognutih simulacijskih procesa. Svako je eksperimentiranje na stvarnom sustavu nerentabilno, a takvim načinom ne stvara se baza tijekova, odnosno *mastera* izvedbenih procesa.

U članku je opisana metoda simuliranja i način primjene programskih usmjerenih aplikacija, čime se unaprjeđuju postupci automatiziranih radnih procesa. Provedena su mjerenja normativa tiska i grafičke dorade, a vrijednosti su unijete u bazu podataka radi daljnjih

analiza i validacija. Stvaraju se individualna rješenja za daljinsku proizvodnju grafičke industrije i relacijski odnosi utroška repromaterijala te vršna opterećenja proizvodnje. Simuliraju se optimalni uvjeti i proučavaju procesi eksperimentalnim metodama te se dobivaju saznanja o rentabilnijim modelima radnih hodograma. Izračunavaju se vrijednosti u graničnim područjima tiska koja u realnom tisku nisu moguća radi nerentabilnosti njih samih.

Na temelju dobivenih rezultata kroz simulacije radnih procesa, menadžment određuje daljnje tijekove tiska s obzirom na slobodne kapacitete i isplativost produkcije.

Eksperimentiranje i naknadna analiza dobivenih modela i rezultata unaprijedit će grafičku proizvodnju radi utvrđivanja ekonomičnosti radnih procesa. [1]

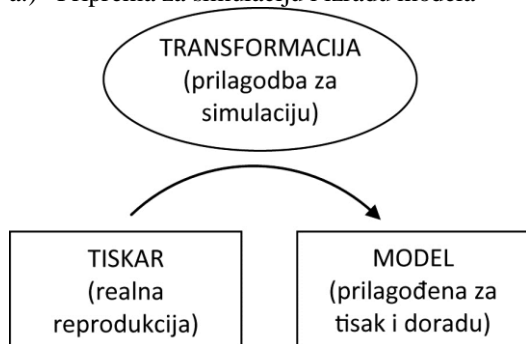
2. SIMULACIJSKI PROCESI I NJIHOVA PRIMJENA U TISKARSKOJ PRODUKCIJI

Specifičnost grafičke proizvodnje ogleda se u njejoj mogućnosti višestruke reprodukcije i različitosti izvedbe na istim strojevima tiska i dorade.

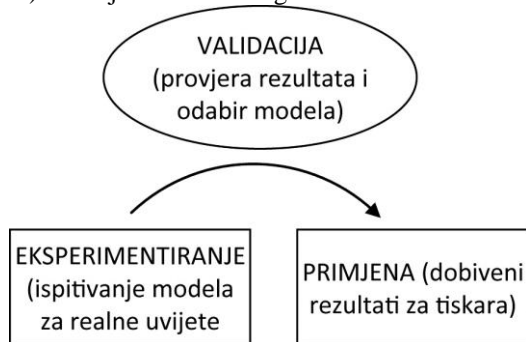
U baze podataka upisuju se poznate konstantne varijable tiskarskih strojeva (vrijeme pripreme stroja, opseg cilindra, broj boja za rotacijske strojeve, brzina otiskivanja, formati papira, širina papirne trake i dr.) kojima se pridružuju promjenjive (količina otisnutih araka radi promjenjivog opsega cilindra dviju rotacija, opseg tiskovnog arka, načini dorade tiskovine i dr.) te se matematičkim logaritima predlažu optimalna rješenja.

Razvoj simulacijskih programa i modela osigurava analizu i sintezu radnih protokola proizvodnje u procesu njezine realizacije. [2] Obuhvaćeni su različiti aspekti upravljanja s naglaskom na diferentnosti instaliranih proizvodnih resursa. Dobiveni algoritamski modeli integriraju radni tijek u konstrukcijske hodograme na računalnim programima više razine, čime je unaprijeđena iskoristivost tiskarskih i doradnih kapaciteta. Modularni programi koji simuliraju proizvodnju, definiraju nove protokole radi iskoristivosti vršnih opterećenja. Promjenjivost uvjeta realizacije te različitost aspekata njihove složenost iziskuje periodička simuliranja i pronalaženje mehanizama njihove isplativosti u uvjetima tržišne konkurencije. Algoritima računalnog programa dokazan je na kvantitativnim rezultatima grafičke simulacije novi model digitalnog upravljanja realnim procesima proizvodnje. Planiranje proizvodnje provodi se na razrađenim i dobivenim kalkulativnim predlošcima.

a.) Priprema za simulaciju i izradu modela



b.) Primjena simuliranog modela na realne sustave



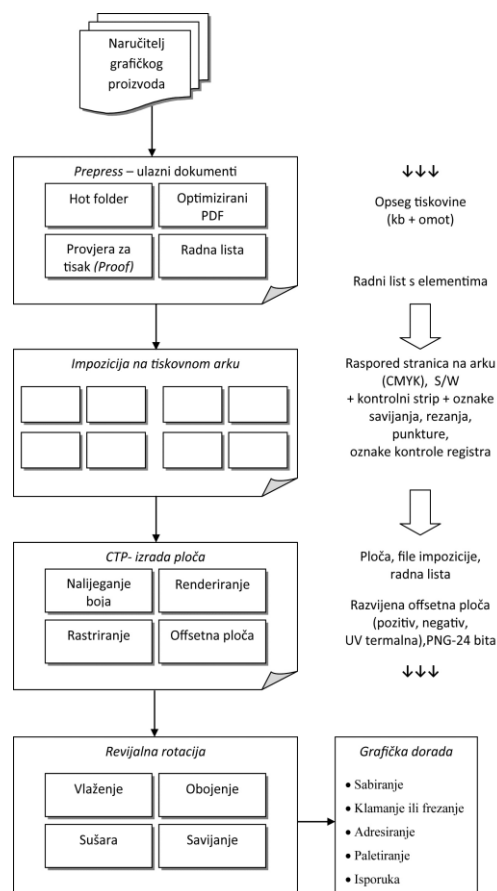
Slika 1. Proces izrade modela simulacijski orijentiranim programom

3. NORMIRANJE RADNIH PROCESA KROZ MODULE REALIZACIJE

Normativne vrijednosti tiskarske industrije osnova su svake simulacije te vrednovanje potencijala instaliranih proizvodnih resursa. Standardizacija radnih procesa iziskuje umjeravanje utroška repromaterijala koji se uvijek ne poklapa s proizvodno-tehničkim mogućnostima stroja, te ih je potrebno periodički redefinirati radi zamora materijala.

Procesni radni zglobovi integrirani kroz ulazne i izlazne jedinice grafičke pripreme organizirani su u *Gray box* sučeljima. [3] JDF radni čvorovi realizacije tvore minimalne faze koje realiziraju individualne izvršne procese. Njihovi su međusobni relacijski odnosi u nezavisnom odnosu, ali kao složena struktura istih projiciraju izvršnu varijablu grafičke pripreme. Specifičnost ulaznih informacija (PDF 1.3) implementira se kroz zasebne *Gray box* module kao nezavisni izvršni resursi prema sljedećim fazama reprodukcije:

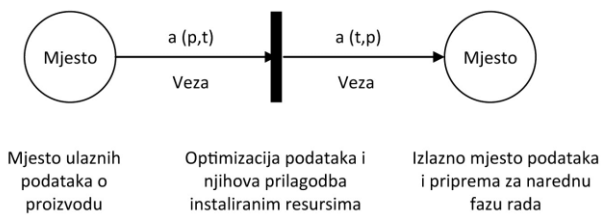
PrePress Preparation Gray box:
(FTP) Hot folder→PDF→Preflight→RunList→
Imposition Preparation Gray box:
Imposition→
Plate Making Gray box:
Trapping→Separation→Render→Screening→
Plate Setter (CTP)
Radni tijekovi prikazani su na slici 2.
(preuzeto iz doktorskog rada P. Miljkovića)



Slika 2. Radni tijek grafičke produkcije kroz *Gray box* individualne module

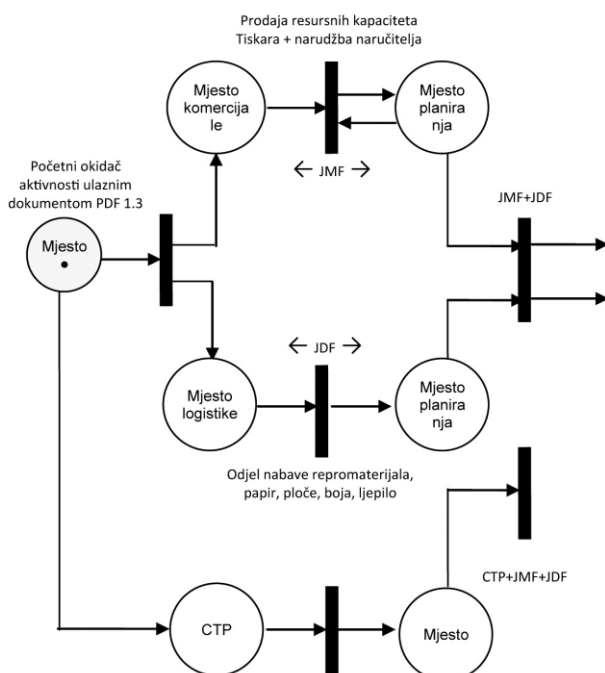
4. EKSPERIMENTALNO MODELIRANJE SUSTAVA ZA NOVE MODELE RADNIH TIJEKOVA

Automatsko upravljanje grafičkom proizvodnjom iziskuje vođenje radnih procesa prema unaprijed definiranim uvjetima dobivenim iz brojnih simulacija na traženom modelu. Ponuđena rješenja na računalnom programskom simulatoru alat su za izračun norma sati i utroška repromaterijala na odabranom stroju za njegova vršna opterećenja. Platformi za komunikaciju unutar radnih odjela (CIP3/4) dinamičkih sustava pridružena je Petri mreža radi svoje specifične funkcije i sposobnosti promptnog praćenja u izmjeni hodograma. [4]



Slika 3. Distribucija podataka kroz sustav Petri mreže

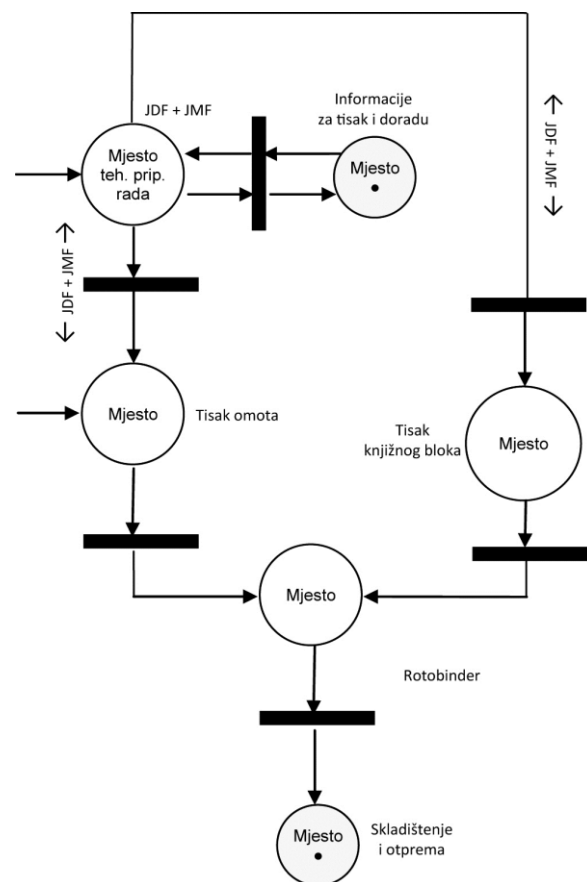
U relacijskim bazama podataka upisali smo parametre tiskarskih strojeva za koje se provodi eksperimentalno simuliranje radnog tijeka. Karakteristike tiska na traženom repromaterijalu generiraju se kroz poznate modele algoritama, čime se iskazuju novi izvedbeni modeli. Prethodno izvršena normiranja realne proizvodnje preduvjet su za iduća kalkulativna mjerenja na simulatoru tiskovnih procesa. Sustav ispravnosti odabira radnih tijekova tiska temelji se i na semantičkim mrežama radi odabira kategorija modela izvedbe kroz radne čvorove. JDF protokol specificira i određuje JMF i MIS modele izmjena informacija kroz HTTP mrežu na globalnom TCP/IP skupu protokola.



Slika 4. Prijedlog Petri mreže tehnološke pripreme rada

Postavljenom arhitekturom, prikazanom na slici 4., promijenili smo način upravljanja i vremena u izmjeni elemenata grafičkog proizvoda. Simuliranom prilagodbom instaliranih resursa i novim ustrojem hodograma postavljamo novu optimizaciju izvršnih odjela produkcije. Matematičkim modelima stvorili smo nove ulazno-izlazne čvorove, čime određujemo prioritete funkcije s prilagodbom za izdvojene procese. Konstruirali smo fleksibilniji ustroj upravljanja i odlučivanja. Često prisutnim vremenskim odmakom u ostvarenju grafičke pripreme koju radi naručitelj, novi modeli u planiranju proizvodnje optimiziraju pojedinačne pristupe tisku.

Simulacijskim eksperimentiranjem radnih tijekova na računalnom simulatoru, MIS/JDF protokoli implementirani su u kalkulativne mape i *Gray box* sustave. Ulazne su informacije distribuirane putem resursnih čvorova i optimizirane sustavu komunikacije.



Slika 5. Prijedlog Petri mreže odjela tiska i dorade

5. MODELIRANJE DINAMIČKIH SUSTAVA PETRI MREŽOM

Predloženi modeli upravljanja prikazuju se Petri mrežom gdje se modeliraju i analiziraju informacijski, upravljački i automatski procesi. Provođi se i nadzor cjelokupnog sustava upravljanja. Informacijskim alatima izvedeno je dizajniranje radnih hodograma prema konceptualnoj razini kao osnovnoj logičkoj strukturi. Umjerenjem stanja sustava došli smo do matematičkih vrijednosti izvršnih procesa koji izravno utječu na događaje u čvorovima komunikacije, odnosno imaju

utjecaj na individualne radne procese. Definirali smo uvjete grafičke produkcije (instalirani resursni kapaciteti, uvjetovani repromaterijal, radni potencijal itd.) i slijedom mogućih faza rada (*prepress-press-postpress*) planiramo (realiziramo) tijekom izvedbenih procesa.

Za grafički prikaz budućih radnih hodograma i novih pozicija komunikacija odabrali smo simbole (autor C. A. Petri) koji opisuju situacije tiskarske produkcije. [5]

Strukturu Petri mreže uredili smo tipičnom uređenom četvorkom $C = (P, T, I, O)$ prema funkcijama koje koristimo u sljedećim simulacijskim procesima:

- **Konačnom skupu mjesta (P)**

Pozicijom smo odredili početnu vrijednost ispitivanog modela koje se u proizvodnim fazama prikazuje kao početna (nulta) stanja resursnih kapaciteta. Osnovno stanje sustava određuje dizajn i smjer informacija (LAN) u JDF/MIS protokolu i konačnom skupu pozicija

$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ gdje je $n \geq 0$, odnosno konačni skup svih lokacija pozicija (*places*).

- **Skupu prijelaza (T)**

Tranzicijom (prijenosna integracija) odredili smo uvjete pod kojim se informacija o grafičkom proizvodu prenosi na sljedeću fazu rada prema tiskarskom stroju za predpodešavanje zona obojenja i vlaženja tiskovne forma. Iniciramo iduću poziciju distribucije podataka

$T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ gdje je $m \geq 0$, odnosno konačni skup svih prijenosnih integracija (*transmissions*).

- **Skupu funkcija ulaza informacija (I)**

Funkcijom ulaza preslikali smo informacije iz početnih prijelaznih pozicija u iduće skupine ulaznih mjesta kao multi-skup prijema podataka o grafičkom proizvodu (format, naklada, obojenje, vrsta uveza, isporuka...)

$I:T \rightarrow P$ gdje simuliramo ulazno mjesto informacija (PDF 1.3) i distribuirano prijelaznim mjestima kao umreženom podskupu pozicija.

- **Skupu funkcija izlaznih informacija (O)**

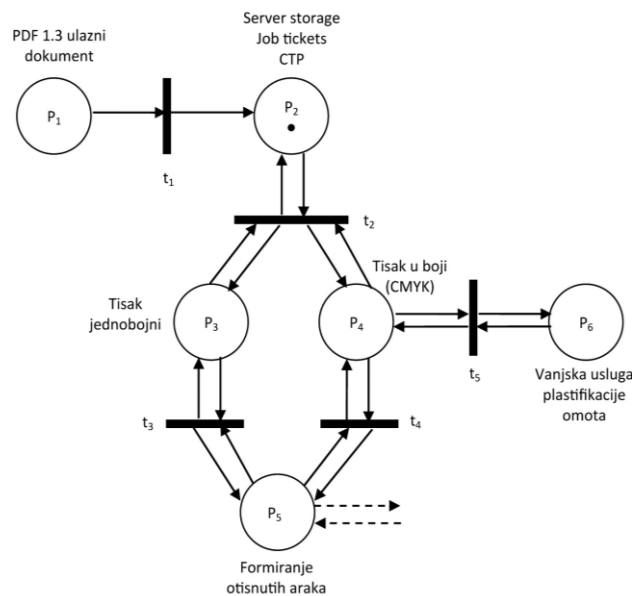
Funkcijom izlaza odredili smo preslikavanje iz prijelaznih mjesta u skupinu izlaznih informacija kojom opisujemo završne faze, a odnosi se na vrstu uveza, isporuku, personalizaciju i dr.

$O:T \rightarrow P$ - simuliramo informacije potrebne tisku ili grafičkoj doradi gdje se realizira grafički proizvod.[6]

Simulirali smo novi model grafičke komunikacije s mrežnim postavkama u čvorovima komunikacije. Predložen je hodogram tijekom JDF/JMF izmjena podataka podrškom odjela Tehnološke pripreme rada kao nositelja svih kalkulativnih i planskih upravljanja. Razlog odabira Petri mreže ogleda se u konstantnoj dinamici proizvodnje i u promjeni realizacije tiskovine (isti proizvod može se otiskivati i doradivati na različitim strojevima). Odredili smo smjer komunikacije kao i dualne komunikacijske povratne informacije koje se koriste za rekalkulaciju istih.

Odreden je smjer komunikacije kroz dualni komunikacijski protokol i u zavisnoj je relaciji naspram izvršnih proizvodnih procesa. Izvedbenim modelima određeni su čvorovi upravljivih resursa i skupa usmjerenih integriranih poveznica. Izvršne funkcije prikazane su kao četvorke skupa lokacija te su simuliranim metodama predložene izmjene podataka kroz poziciju u tisku i doradi.

Odredili smo mjesta prijelaza informacija na pozicijama veza između ulaznih mjesta podataka i pozicije informacija te njihove optimizacije prema izlaznim mjestima. Pridružili smo i funkcije okidanja koje u zadanom trenutku distribuiraju informacije ili preusmjeravaju prema slobodnim resursima radi zauzeća istih. Radni tijek informacija (PDF 1.3) u JDF protokolu simulirali smo kao bipartitni model komunikacije. Sublimacijom ulaznih elemenata grafičkog proizvoda pozicionirali smo ih u čvorove *mjesta ulaza* te su distribuirani mrežnim komunikacijom prema *prijelaznim skupovima*. [7] [8]



Slika 6. Shema Petri mreže s oznakama mjesta i tranzicija za tisak iz arka

Prikazom Petri mreže kao bipartitni graf (povezivanje čvorova istog tipa nije dopušteno) definiramo konačne skupove mjesta, tranzicija i prijelaza prema sljedećem:

Konačni skup svih lokacija:

$$P = (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6)$$

Konačni skup svih tranzicija:

$$T = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5)$$

Konačni skup svih funkcija prijelaza:

$$I(t_1) = (p_1)$$

$$I(t_2) = (p_2, p_3, p_4)$$

$$I(t_3) = (p_3, p_5)$$

$$I(t_4) = (p_4, p_5)$$

$$I(t_5) = (p_4, p_6)$$

Definirali smo bitne *prijelazne* faze produkcije tiska i grafičke dorade. Svako okidanje aktivira sljedeću fazu rada pod utjecajem tranzicije odnosnih linkova prijenosa informacija. Optimizacija i prilagodba sustava za PDF protokole pozicionirani su *hot-folder* na serveru, te se tako uređeni prosljeđuju izlaznim čvorovima za komunikaciju prema CTP uređaju.

6. JDF/XML TEHNOLOGIJA KROZ TISAK

JDF protokol svojim automatiziranim radom eliminira kontrolne točke u komuniciranju kada je programsko rješenje nekompatibilno s instaliranim tiskovnim resursom. Optimiziran je za XML standarde i specifikacije. Osnova je u identifikaciji distribuirane informacije. XML tagovima, koji nisu unaprijed definirani, opisujemo elemente koji su potrebni za realizaciju tiskovine. Unos određuje tehnološka priprema rada, čime je umanjena mogućnost dupliciranja unosa podataka kao i pristup bazi podataka putem lozinke administriranja. XML zapisima opisani su elementi koji su simulacijskim eksperimentiranjem pokazatelj budućeg tijeka proizvodnje, uz prethodno izmjerene normativne vrijednosti. Pridružuju se varijablama koje opisuju taj proizvod. MIS poveznicama elementi grafičkog proizvoda distribuiraju se vertikalnim i horizontalnim komunikacijskim mrežama. [9]

7. ZAKLJUČAK

U članku je prikazana simulacija na modelu tiskovine prema uzoru na sustav Petri mreže koja svojom integracijom povezuje proizvodne odjele tiskara. Takvim modelima stvaraju se optimalna rješenja koja u stvarnim sustavima nisu izvediva zbog svoje nerentabilnosti ili zauzeća tiskarskog resursa. Složenijim simuliranjem modela predlažu se načini iskorištenja učinjenih opterećenja i funkcioniranje sustava u cjelini. Objektno orijentiranim programskim jezikom ispituju se konstantne i promjenjive varijable koje svojim modeliranjem anuliraju zagušenja proizvodnih radnih tijekova te ih preusmjeravaju na slobodne resurse. Izradom baze podataka modela radnih tijekova na XML tehnologiji uvodi se racionalizacija u procesima tiskarstva.

8. LITERATURA

- [1] Afrić Vjekoslav, Simulacijski modeli, Izvorni znanstveni rad, *Polemos* 2 (1999.) 1-2, str. 1-17.
- [2] Buckwalter Claes., „*Integrating Systems in the Print Production Workflow*“ master work, <http://iu.divaportal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:22773> (svibanj 2013.)
- [3] http://www.cip4.org/documents/jdf_specifications/html/Building_a_System_Around_JDF.html (svibanj 2013.)
- [4] Ekkart Kindler, High-level Petri Nets – Transfer Format – *Working Draft of the International Standard ISO/IEC 15909 Part 2 –Version 0.5.0*, University of Paderborn, (2004.) 17-29
- [5] Gustavo A. Chaparro-Baquero, Nayda G. Santiago, Wilson Rivera, J. Fernando Vega-Riveros, *Measuring quantitative dependability attributes in Digital Publishing using Petri Net Workflow Modeling*, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus Department of Electrical and Computer Engineering, 1-8.

- [6] H.M.W. Verbeek, A. Hirschall, W.M.P. van der Aalst, *XRL/Flower: Supporting Inter-organizational Workflows Using XML/Petri-Net Technology*, Faculty of Technology Management Eindhoven University of Technology, Netherlands, 96-99.
- [7] Luo Ru-bai, Zhou Shi-sheng, Gao Xiao-jing, Zhao Jin-juan, *JDF-based Integration Solution for Pressroom*, Xi'an University of Technology XAUT, Xi'an, China, International Conference on Computer Science and Software Engineering, pp. 1-5, 2008.
- [8] Rozália Szentgyörgyvölgyi, *Effect of the Digital Technology to the Print Production Processes*, Assistant, Institute of Media Technology, Rejtő Sándor Faculty of Light Industry and Environmental Engineering, Budapest Tech Doberdó út 6, H-1034 Budapest, Hungary, Acta Polytechnica Hungarica, 2008.
- [9] Simović, Vladimir, *Software Project Management: New Analysis of Specific Engineering and Management Processes in Modern Graphical Printing Industry Production*, Faculty of Teacher Education University of Zagreb, WSEAS TRANSACTIONS on COMPUTERS, 2008.

Kontakt autora:

Petar Miljković, dr.sc.
Medijsko sveučilište
Trg bana Jelačića 6, 48000 Koprivnica
petar.miljkovic@medijsko-sveuciliste.hr

Jelena Vlašić, dipl.ing.
Veleučilište u Varaždinu
J.Križanića 33, 42000 Varaždin
jelena.vlastic@velv.hr

Krunoslav Hajdek, dipl.ing.
Veleučilište u Varaždinu
J.Križanića 33, 42000 Varaždin
khajdek@velv.hr

RAZVOJ NOVOG PROIZVODA POMOĆU TEHNOLOGIJE BRZE IZRADA PROTOTIPOVA

NEW PRODUCT DEVELOPMENT USING THE TECHNOLOGY FOR RAPID PROTOTYPING

Nikola Šimunić, Josip Groš, Srđan Medić

Stručni članak

Sažetak: *Suvremenu proizvodnju u današnje vrijeme nije moguće zamisliti bez korištenja suvremenih alata kao što su programski paketi za 3D konstruiranje i uređaji za brzu izradu prototipova. Nove tehnologije uvelike snižuju troškove i skraćuju vremenski tijek razvoja proizvoda, te omogućuju izradu funkcionalnih dijelova. Klasične metode obrade dosta su ograničene kada je posrijedi izrada proizvoda vrlo složene geometrije. Zato se kao odgovor na ove zahtjeve postavlja tehnologija brze izrade prototipova. U članku je opisan razvoj novog proizvoda, konkretno dijela jedaćeg pribora – žlice, pomoću RP tehnologije.*

Ključne riječi: *3D konstruiranje, brza izrada prototipova, razvoj novog proizvoda*

Professional paper

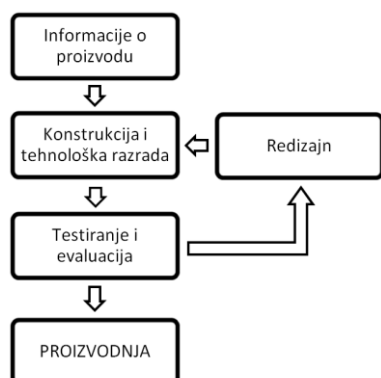
Abstract: *Modern production at the present time cannot be imagined without the use of modern tools, such as software for 3D design and equipment for rapid prototyping. New technologies significantly reduce costs, shorten product development and even allow the production of functional parts. Classical methods of production are quite limited when it comes to making products of complicated geometry, so the response to these requests is the technology for rapid prototyping. This article describes the development of a new product, a part of cutlery specifically – spoon – using the RP technology.*

Key words: *3D design, new product development, rapid prototyping*

1. UVOD

Pošto se svjetska tržišta stalno razvijaju, u stalnom je porastu složenost dijelova i proizvoda koji se serijski proizvode. Kod razvoja novog proizvoda važno je osigurati da novi proizvod što prije dođe na tržište (engl. „time to market“) kako bi se uloženi kapital što prije počeo vraćati [1].

Da bi se skratilo vrijeme razvoja bitno je u ranim fazama izraditi prototip (radni model proizvoda) koji će poslužiti za testiranje. Nakon utvrđivanja početnih nedostataka, prototip se redizajnira. Ovaj proces se ponavlja dok se ne ostvare zadovoljavajući rezultati na području estetike, funkcionalnosti, sigurnosti itd [2].

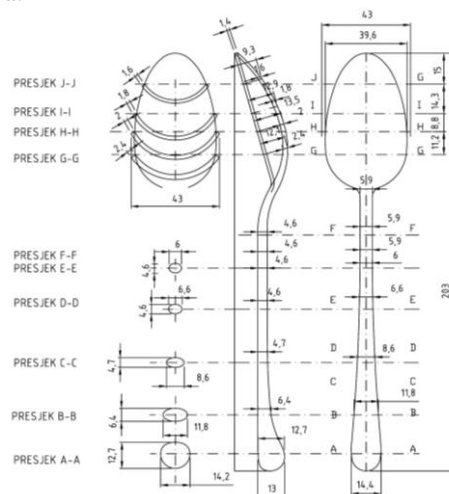


Slika 1. Shema procesa razvoja novog proizvoda

2. IZRADA CAD MODELA PROTOTIPA

2.1. Polazna dokumentacija

Kao polazište pri razvoju novog proizvoda često je dizajner osoba koja izrađuje idejno rješenje, tj. skicu proizvoda koju kasnije inženjeri oblikuju u stvarni proizvod. U ovom slučaju ulazna informacija je idejna skica u Autocadu, na kojoj su definirane sve bitne karakteristike proizvoda poput osnovnih dimenzija i presjeka.



Slika 2. Idejni crtež proizvoda

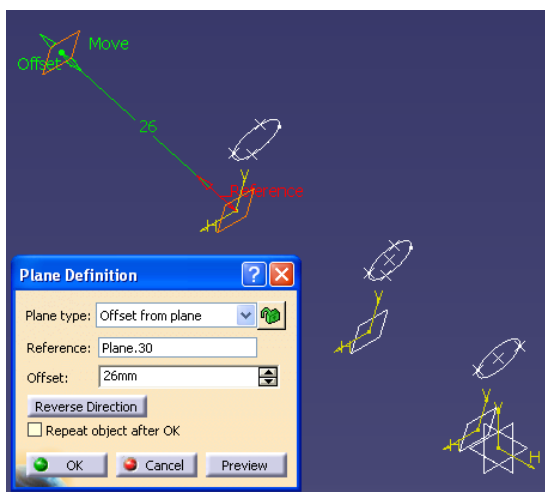
2.2. Modeliranje žlice

Na temelju ulaznih informacija, u programskom paketu *Catia V5R19* unutar modula *Surface and wireframe design* izrađen je CAD model proizvoda. Zbog zahtjevne geometrije izrađen je okvirni plan izrade modela koji je podijeljen u nekoliko faza:

- Definiranje ravnina i presjeka
- Modeliranje korita
- Modeliranje drške
- Spajanje drške i korita

2.2.1. Definiranje ravnina i presjeka

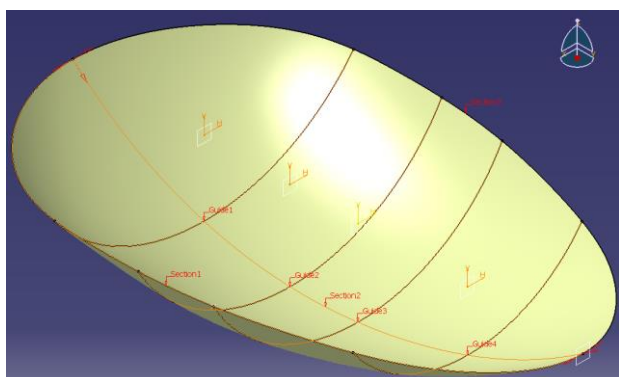
Sukladno definiranim presjecima prvo su kreirane ravnine (*Plane*) u kojima su izrađeni presjeci (*Sketch*). Kako je idejni crtež izrađen u Autocadu, spremanjem crteža u .dxf formatu omogućuje se kopiranje dijelova autocad crteža direktno u crtaću plohu Catie V5. Korištenjem ove mogućnosti upotrijebljen je izvorni izgled presjeka proizvoda.



Slika 3. Izrada ravnina i presjeka ručke

2.2.2. Modeliranje korita

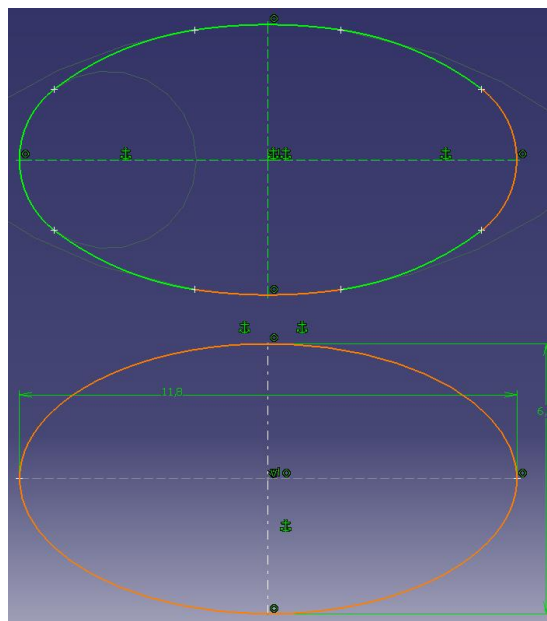
Postupak modeliranja korita žlice bio je nešto jednostavniji jer je korito sastavljeno od četiri presjeka koji su matematički definirani kao dijelovi kružnice. Krivulje i presjeci pomoću kojih je oblikovano korito prikazani su na slici 4.



Slika 4. Oblikovanje korita žlice

2.2.3. Modeliranje drške

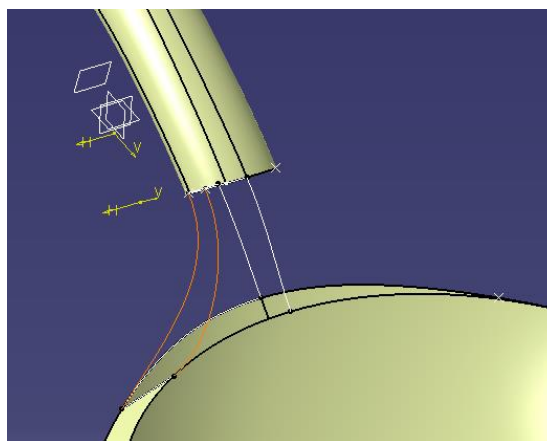
Kod definiranja geometrije drške pojavili su se problemi s povezivanjem presjeka krivuljama, jer su izrađeni kao dijelovi kružnica različitih promjera koje nisu međusobno tangentne. U dogovoru s dizajnerom presjeci ručke su pojednostavljeni i izrađeni kao elipse jer je najveće odstupanje između idejnog rješenja i presjeka modela žlice iznosilo manje od 0,1 mm (slika 5.). Ovime se geometrija presjeka pojednostavnila tako da je sada svaki presjek sadržavao samo dvije referentne točke za razliku od prijašnjih četiri, šest ili osam.



Slika 5. Stari (gore) i novi presjek (dolje)

2.2.4. Spajanje drške i korita

Spoj između drške i korita bio je nešto zahtjevniji za modeliranje jer je trebalo konstruirati krivulje vodilje koje su tangentne na dršku i na korito. U prvom koraku su izrađene krivulje, a zatim su se prema njima dijelovi *sketcha* drške pomoću funkcije *Multi-section surface* projicirali na korito žlice (slika 6.). Ovaj postupak ponovljen je nekoliko puta dok se spoj nije u potpunosti zatvorio.



Slika 6. Spajanje drške i korita

Nakon izrade geometrije sve površine su međusobno povezane funkcijom *Join* i zatim zatvorene u jednu cjelinu (*Close surface*). Zbog lakše izrade na 3D printeru, na oštre bridove stavljeni su varijabilni radijusi (*Fillet*) od 0,1 do 0,2 mm te je CAD model prototipa spremljen u obliku .stl datoteke. Slika 7. prikazuje konačni izgled modela žlice s uređenim bridovima. Model je spreman za 3D printanje.



Slika 7. CAD model žlice

3. IZRADA PROTOTIPA

3.1. Postupak 3D printanja

Tehnologija 3D printanja razvijena je početkom 1990-tih na Massachusetts Institute of Technology u SAD-u. Kao materijali se koriste plastomerni, metalni, keramički ili kompozitni prahovi. Osnovni materijal se nanosi na platformu pomoću valjka, a zatim glava printera nanosi vezivo čija je zadaća selektivno spajanje čestica. Podloga se zatim spušta za visinu sloja i cijeli postupak se ponavlja. Po završetku ispisa potrebno je učvrstiti model uranjanjem ili premazivanjem određenim ljepilima ili smolama [3][4].

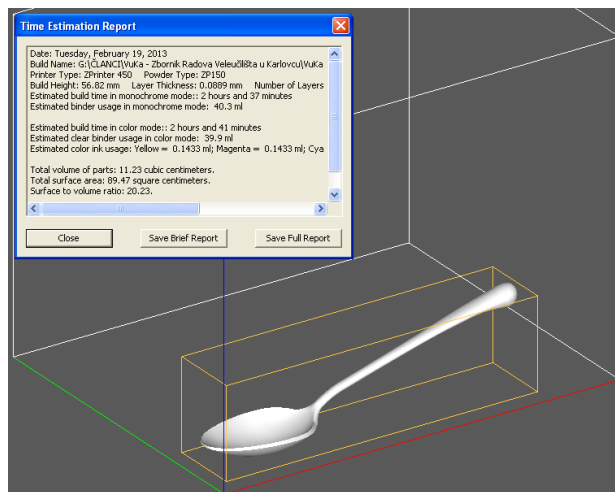
3.2. Izrada prototipa na 3D printeru

Bez obzira na to kojim se postupkom služimo za izradu 3D modela, procedura koja dovodi do gotovog prototipa uvijek je ista i sastoji se od sljedećih koraka:

- Konstrukcija ili dizajn proizvoda u CAD/CAM programskom paketu
- Pretvorba CAD modela u .stl format
- Priprema 3D printera za ispis
- Ispis modela u slojevima
- Dodatna obrada izrađenog modela
- Primjena dobivenog modela

Nakon završetka procesa konstrukcije .stl datoteka modela uređuje se u programskom paketu Zprint koji služi za definiranje postavki i opcija ispisa. Model je u radnom volumenu 3D printera pozicioniran tako da se omogući najbolja izvedba zahtjevnih površina te da vrijeme ispisa bude minimalno. Za debljinu sloja ispisa

odabrana je najmanja moguća vrijednost ($0,0875\text{ mm}$) da se izbjegne stepenasta struktura koja bi posebno mogla biti izražena na zakrivljenim površinama korita i drške žlice. ZPrint ujedno daje i izvještaj o količini potrošenog materijala pri izradi modela ($11,23\text{ cm}^3$). Po završetku izrade model se ostavlja u 3D printeru najmanje 45 minuta radi očuvanja geometrijske postojanosti. Nakon čišćenja od suvišnog praha i učvršćivanja Z-Bond ljepilom fizički model spreman je za upotrebu.



Slika 8. Model žlice smješten u radnom volumenu 3D printera

U tabeli 1. nabrojane su radnje kod procesa izrade prototipa s pridruženim vremenima iz čega je vidljivo da se do gotovog prototipa novog proizvoda dolazi u vrlo kratkom roku od 2-3 dana, što je u usporedbi s klasičnim načinom puno brže, točnije i kvalitetnije. Klasičnim načinom do modela se dolazilo izradom šablone i stalnim isprobavanjem, a to je trajalo i nekoliko dana. Pojavom i primjenom sustava za brzu izradu prototipova sredinom 1990-tih, vrijeme razvojnih projekata znatno se smanjilo i doseglo je okvire od nekoliko tjedana [5].

Tablica 1. Procjena vremena za izradu prototipa

Radnja	Trajanje, h
Izrada idejne skice	5 h
Izrada CAD modela	8 h
Ispis na 3D printeru	2h 37 min.
Sušenje	minimalno 45 min.
Dodatna obrada	1 h
UKUPNO	17 h i 22 min.

4. ZAKLJUČAK

Razvoj proizvoda danas ne označava nužno otkriće novih tehničkih rješenja i revolucionarnih otkrića, već se javlja kroz odmak od konvencionalnih pristupa i tradicionalnih materijala i dizajna.

Primjena RP postupaka i općenito RP tehnologija pri razvoju novog proizvoda u odnosu na konvencionalni pristup, ovisno o veličini proizvodnje mogu osigurati uštede od 50 do 90% utrošenog kapitala. U današnje vrijeme tehnologija brze izrade prototipa razvila se do razine da se koristi u širokom rasponu aplikacija za

izradu modela kao što su konceptualni modeli, funkcionalni prototipovi, gotovi proizvodi, proizvodnja alata itd.

U skoroj budućnosti nedostaci poput visokih cijena i ograničenosti u izboru materijala će se vjerojatno ukloniti, čime će tehnologije za brzu izradu prototipova dobiti mogućnost da ispune sve zahtjeve koje postavlja industrija u različitim granama proizvodnje.

5. LITERATURA

- [1] Šimunić, N., Benić, Z., Brozović, M., (2012.) Postupci brze izrade prototipova, Zbornik radova Veleučilišta u Karlovcu, Wasserbauer, B. (Ur.), Karlovac
- [2] Chua, C. K.; Leong, K. F.; Lim, C.S.: Rapid Prototyping - Second edition, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapur, 2003.
- [3] Filetin, T., Kramer, I.: „Brza izrada prototipova“, raspoloživo na: <http://www.gradimo.hr/clanak/brza-izrada-prototipova/15509> (Dostupno: 23.1.2013.)
- [4] Đulić, E.: „RAPID PROTOTYPING“ <http://www.scribd.com/doc/47498991/RAPID-PROTOTYPING> (Dostupno: 23.1.2013.)
- [5] Wohlers, T.: Wohlers Report 2010, ISBN 0-9754429-6-1

Kontakt autora:

Nikola Šimunić, mag. ing. mech.

Veleučilište u Karlovcu
I.Meštrovića 10, Karlovac
nsimunic@vuka.hr

Josip Groš, mag. ing. mech.

Veleučilište u Karlovcu
I.Meštrovića 10, Karlovac
jgros@vuka.hr

dr.sc. Srđan Medić, dipl. ing.

Veleučilište u Karlovcu
I.Meštrovića 10, Karlovac
smedic@vuka.hr

KOMPARACIJA KARAKTERISTIKA INK-JET OTISAKA DOBIVENIH VODENIM, SOLVENTNIM I UV BOJILIMA

COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF INK-JET PRINTS OBTAINED USING WATER BASED, SOLVENT AND UV INKS

Vjeran Petrović, Marin Milković, Dean Valdec

Stručni članak

Sažetak: Razvojem digitalnih sustava obrade i prijenosa podataka i u grafičkoj tehnologiji je došlo do radikalnih promjena u orijentaciji grafičke struke sa prethodnoga usmjerenja primarno orijentiranog prema strojarstvu i kemijskoj tehnologiji, prema informacijskim i digitalnim tehnologijama. Tako se ističu CtP tehnologije, a posebno, nakon najzastupljenije elektrofotografske tehnologije, ink-jet tehnologija tiska, koja se pokazala posebno pogodnom prilikom tiska, primjenom različitih vrsta bojila, na različite materijale bez obzira na strukturu ili debljinu tiskovne podloge.

Ink-jet tehnika je vrlo rasprostranjena. Susrećemo ih od malih pisača, pa sve do strojeva koji tiskaju i do 20 metara duge gigantografije (npr. plakati uz prometnice). Najčešće tehnologije inkjet tiska jesu: termički ink-jet (Bubble Jet), piezo ink-jet, a nerijetko se susreće elektrostatski ink-jet [1]. Ink-jet tehnika tiska je u stvari pravi beskontaktni tisak. Na signal iz računala, kapljica bojila iz mlaznice dolazi na tiskovnu podlogu te ispisuje red po red otiska. Danas su tehnika i tehnologija toliko unapredovale da se mogu ostvariti otisci vrlo visoke kvalitete, pri čemu tisak kolor ne predstavlja nikakav problem ni na različitim vrstama tiskovnih podloga.

Cljučne riječi: bezkontaktni tisak, Ink-jet, solventna bojila, tiskovne podloge, vodena bojila, UV bojila

Professional paper

Abstract: With the development of the digital data processing and transfer systems, graphic technology experienced radical changes in the graphic profession's orientation. Its direction changed from being primarily oriented towards civil engineering and chemical technology to being oriented towards the information and digital technologies. Thus the CtP technologies are pointed out – after the predominant electro photographic technology, the ink-jet printing technology in particular. It proved as particularly suitable in printing with various types of dyestuff on various materials regardless the structure or the thickness of the printing base.

The ink-jet technique is very widespread. It can be found in the whole range of printers – from the small ones up to the machines that can print up to 20 meters long giantographs (exp. billboards beside the roads). The most often technologies of the ink-jet printing are: the thermal ink-jet (Bubble Jet), piezo ink-jet, and, not rarely, one can find the electrostatic ink-jet [1]. The ink-jet printing technique is actually the real contactless print. At the signal from the computer a drop of ink from the nozzle comes to the printing base and prints one printing line after another. Today the technique and technology are so advanced that one can make prints of very high quality, whereby printing in colour does not represent any problem even on the various types of printing materials.

Key words: contactless print, Ink-jet, printing bases, solvent ink, water ink, UV ink

1. UVOD

Uz elektrofotografiju, najčešći sustav bezkontaktnog tiska (eng. NIP – Non Impact Printing) je upravo ink-jet. Ink-jet tehnologija je CtP tehnologija (eng. Computer to Print) kod koje otisak nastaje mlazom bojila na tiskovnu podlogu te stoga tiskovna forma nije potrebna. Značenje naziva same tehnologije tiska govori o kojem načinu ispisa je riječ (ink = bojilo, jet = mlaz).

Kod procesa tiska ink-jetom računalni podaci za tisak se prenose direktno na samu tiskovnu jedinicu, tj. u sam ink-jet sustav mlaznica.

Kod ink-jet tiska razlikuju se nekoliko vrsta tehnologija s obzirom na način na koji se dobije otisak. Tako se ink-jet tehnologija dijeli na kontinuirani i diskontinuirani ink-jet.

U kontinuiranom ink-jetu otisak nastaje binarnom i multi deflekcijom, a kod diskontinuiranog ink-jeta otisak nastaje pomoću termalne, piezo ili elektrostatske tehnologije.

Kod ink-jet tiska se najčešće upotrebljavaju tekuća bojila, dok se kod elektrostatske tehnologije, zbog upotrebe temperature mogu koristiti i termotajljiva bojila.

Upravo zbog toliko tehnologija nastajanja otiska i vrsta bojila moguće je otiskivati na različite materijale. S obzirom da se kod uporabe ink-jet tiska ne upotrebljavaju visoke temperature kao kod elektrofotografije, mogu se koristiti tiskovne podloge koje su osjetljivije na temperaturu, te s toga ne moraju biti izrađene od specijalnih termootpornih materijala. Tu se ubrajaju različite PE i PVC folije.

S druge strane, postoje ekološki prihvatljiva bojila, poput novih kvalitetnih latex bojila koja se izrađuju na bazi vode, te se također mogu koristiti na različitim materijalima, bez bojazni da bi otapala u kojima se nalaze pigmenti bojila, mogla oštetiti tiskovnu podlogu.

Sve navedene karakteristike su ujedno i varijable koje se moraju uzeti u obzir za dosljednu i ujednačenu kvalitetu otiska, te dovode do vrlo velikih razlika s obzirom na korištena bojila i tiskovnu podlogu.

Materijal na kojem će se uspoređivati kvaliteta otisaka je samoljepljiva vinil folija koja se vrlo često koristi u tisku. To je ujedno jedini materijal koji se mogao otisnuti na svim uređajima koji će se koristiti prilikom ispisa testnih formi.

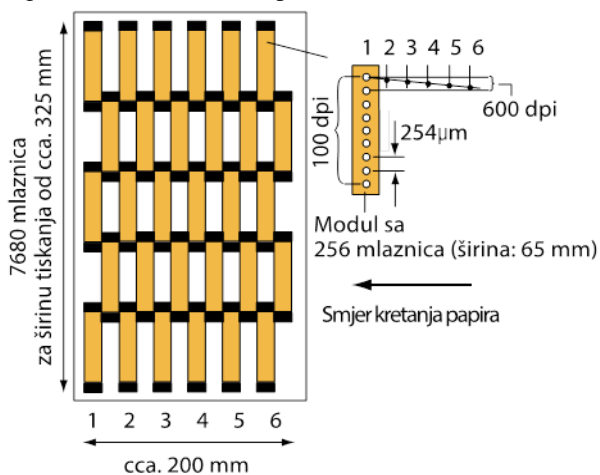
2. PRIMJENA INK JET TEHNOLOGIJE

U načelu, postoje osnovne razlike između ink jet sustava velike brzine tiska, koji najčešće rade s jednom bojom ili određenom posebnom bojom i sustava koji omogućuje otisak visoke kvalitete koji se najčešće koristi kao kontrolni probni otisak.

Za urede, kućnu uporabu ili stolno izdavaštvo se najčešće koriste višebojni ink jet pisači manjih formata (A4, A3), a zahvaljujući digitalnoj fotografiji, vrlo ih često susrećemo za tisak visokokvalitetnih fotografija, uglavnom manjeg formata.

Ipak, iako se čini da gotovo svaki ured ili dom ima barem jedan pisac s ink jet sustavom, najčešće se koriste za tisak velikih formata poput plakata, postera i oglasnih panoa (eng. Billboard).

Najčešće korištena širina otiska je 135cm, a postoje sustavi koji mogu tiskati i 5m pa sve do 8m širine. Također, takvi sustavi omogućuju tisak na različitim materijalima poput tekstila, različitim vrstama papira, a pomoću odgovarajućih bojila tiska se i na plastične folije za plakate, cerade i slične proizvode.



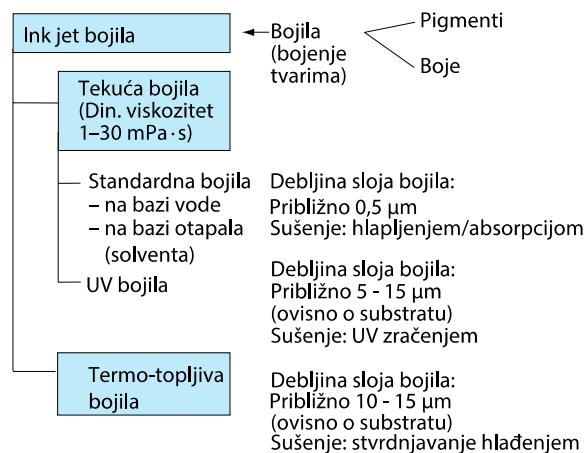
Slika 1. Prikaz modularnog smještaja glava

Takvi sustavi rade sa tiskarskim glavama postavljenim okomito na smjer prolaza papira, jer za postavljanje glave širine cijelog formata nema potrebe, tj. nerentabilno je. Pošto glava prelazi cijelom širinom medija, glave za svaku boju su postavljene jedna iza druge kao što prikazuje Slika 1.

2.1. Vrste bojila

U navedenim ink-jet procesima se koriste i različita bojila (vodena, solventna i UV). Koja vrsta bojila će se upotrijebiti ovisi o karakteristikama podloge na koju se tiska (upojnost, površinska obradenost). Zatim ovisi o uvjetima okoline u kojoj će se otisak postaviti ili upotrebljavati (otpornost na svjetlost i UV zračenja, vremenske utjecaje, habanje). Nadalje ovisi o načinu sušenja koje se koristi prilikom tiska (brzina, višebojni tisak, daljnji procesi obrade). Ukoliko se za tisak upotrebljavaju tekuća bojila koja imaju tendenciju hlapljenja i apsorpcije u podlogu, trebaju se osušiti. Taj postupak se može ubrzati primjenom topline. Kod UV bojila, u procesu sušenja se upotrebljava UV svjetlo koje dodatno stvrdnjava bojilo (omogućuje povezivanje organskih molekula).

Podjela ink-jet bojila koja se upotrebljavaju kod ispisa različitim tehnologijama, kao i osnovne komponente od kojih se bojila sastoje, te procesi sušenja koji se upotrebljavaju ovisno o vrsti bojila prikazani su na slici 2. Slika također prikazuje koliki je nanos bojila kod jednoslojnog otiska. Posebno treba obratiti pažnju na činjenicu da je nanos bojila kod upotrebe tekućih bojila vrlo malen (vrlo sitne kapljice), što je osnova za visokokvalitetne otiske, posebno kod višebojnih otisaka. [1]



Slika 2. Podjela bojila

2.2. Mjerenje i mjerni uređaji

Mjerni uređaji za kontrolu kvalitete reprodukcije koji se koriste u postupcima mjerenja u radu su spektrometar i denzitometar.

Spektrometar

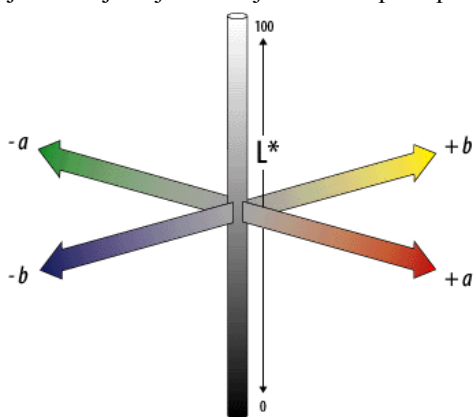
Spektrometar je uređaj pomoću kojeg se mjeri spektralni sastav boja i na osnovu mjerenja se boje prikazuju u nekim drugim modelima boja ili se određuju

ostale karakteristike boja (ton, zasićenje i svjetlina). Na osnovu mjerenja može se prikazati raspon boja (gamut) koji određeni uređaj može postignuti određenim bojilom.

Najčešće se vrijednosti prikazuju u CIE $L^*a^*b^*$ modelu boja te se na osnovu pozicija CMYRGB boja prikazuje raspon boja na otisku.

CIE $L^*a^*b^*$ prostorni model boja je trodimenzionalni sustav boja koji se temelji na percepciji standardnog promatrača kojeg predstavlja statistički podatak dobiven nizom mjerenja u kojima su sudjelovali ljudi dobrog vida bez deformacija viđenja boja.

Koordinate CIELAB sustava boja se temelje na Heringovoj teoriji suprotnih parova boja, koje ujedno predstavljaju i osi sustava. Raspon boja crveno-zelena za os a , raspon boja žuto-plavo za os b , te kao treća akromatska os L sa vrijednosti u rasponu od 0% do 100%, pri čemu je 0% crna, a 100% bijela (Slika 3). Brojčane vrijednosti u CIE $L^*a^*b^*$ kolornom sustavu prikazuju sve boje koje može ljudsko oko percepirati.



Slika 3. CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja

Koordinate boja je moguće uspoređivati s bilo kojim mjerenim uzorkom (original, probni otisak, otisak iz naklade) neovisno o tiskovnoj podlozi, tipu grafičkog bojila ili tiskarskog procesa.

Mjerenje je obavljeno pomoću spektrometra X-Rite Eye-One Pro čije specifikacije su prikazane u Tabeli 1.

Tabela 1. Osnovne specifikacije spektrometra

Mjerni raspon spektra	380nm do 730nm u koracima od po 10nm
Promjer mjernog otvora	4.5mm
Geometrija mjerenja	45°/0° prstenasti izvor svjetla, DIN 5033
Izvor svjetla	Sijalica punjena plinom (type A)
Inter-instrument odnos	Average DE*94 0.4, maximum DE*94 1.0
Kratkoročno ponavljanje	DE*94 <= 0.1 (D50, 2°)

Denzitometar

Denzitometrom mjerimo gustoću obojenja unutar tiska jedne naklade koja se tiska pod određenim definiranim uvjetima (određeni tiskarski stroj, određena tiskarska podloga i određeno bojilo). To mjerenje se obavlja zbog neujednačenosti proizvodnih procesa prilikom proizvodnje bojila i tiskovne podloge, a sve u cilju postizanja ujednačene kvalitete otiska.

Denzitometrijsko mjerenje se izvršilo pomoću X-Rite 518 prijenosnog refleksijskog spektrodenzitometra čije specifikacije su navedene u Tabeli 2.

Tabela 2. Specifikacija uređaja X-Rite 518

Promjer mjerene točke uzorka	3,4mm standardno
Geometrija mjerenja	45°/0° za ANSI, DIN & ISO Standard
Izvor svjetla	Sijalica punjena plinom @ 2856°
Inter-instrument odnos	0.01D ili 1% za tipični tiskarski proces

2.3. Tiskarski strojevi

Prilikom izrade testnih uzoraka korišteni su slijedeći tiskarski strojevi:

1. HP Designjet L65500 Printer – vodeno bojilo
2. VUTEK UltraVu 5330 – solventno bojilo
3. Jeti 2030 X-2 Continental' true flatbed – UV bojilo
4. VUTEK QS 3200r 8C – UV bojilo

3. REZULTATI MJERENJA

Mjerenje je izvršeno pomoću X-Rite Eye-One Pro spektrometra (prije Gretag Macbeth) u CIE $L^*a^*b^*$ kolornom sustavu. Izvršena su mjerenja na punim mjernim poljima CMYK, RGB, bijele i 50% crne boje.

Tabela 3. CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti za HP latex otisak

HP latex	L*	a*	b*
R	45,2	62,2	42,2
G	47,5	-70,7	23
B	22,2	7,2	-50
C	54,1	-34,6	-48,1
M	43,9	69,5	-7,4
Y	86,1	-8,8	86,2
K	7,1	0,8	-4,5
W	93,3	-0,8	-3,7
GR	61,7	0,5	-3,6

Tabela 4. CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti za Vutek solvent otisak

Vutek solvent	L*	a*	b*
R	43,7	63,2	41,4
G	48,8	-68,4	36,4
B	25,2	8,9	-40,3
C	55,4	-36,1	-44,3
M	46,5	59,4	-1,3
Y	87,8	-8,4	98,8
K	14,8	0,2	-1,3
W	91,6	-0,2	-1,2
GR	63,4	-2,4	-4,1

Tabela 5. CIE $L^*a^*b^*$ vrijednosti za Jeti UV otisak

Jeti UV	L*	a*	b*
R	45,1	53,5	27,6
G	49,5	-53,1	15,8
B	29,2	14,5	-36
C	57	-28,7	-38,8
M	45,5	61,6	-4
Y	82,9	-6,2	74,6
K	25,8	2	-1,9
W	88,3	0,8	-8
GR	69,2	-6,6	-1,9

Tabela 6. CIE L*a*b* vrijednosti za Vutek UV otisak

Vutek UV	L*	a*	b*
R	48,6	55	37,6
G	52,2	-52,8	19,5
B	29,6	10,3	-37,7
C	55,6	-31,1	-40
M	49,9	54,5	-4,9
Y	87,1	-9	70,1
K	27,4	1,1	-0,7
W	91,7	-0,3	-0,8
GR	62,7	-3,5	-0,4

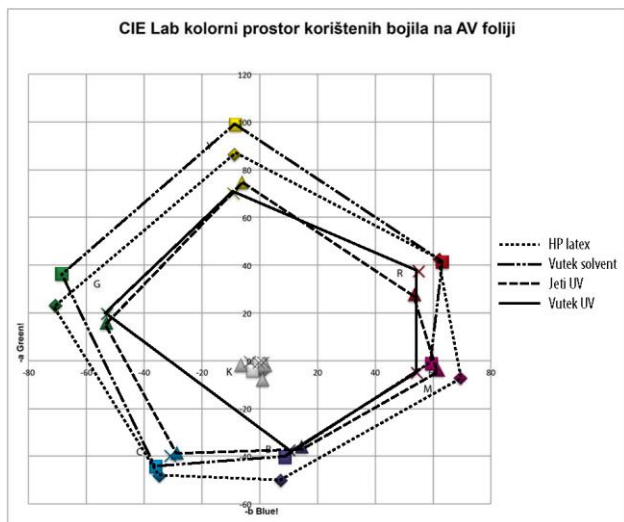
$$x = \frac{X}{(X+Y+Z)} \tag{1}$$

$$y = \frac{Y}{(X+Y+Z)} \tag{2}$$

$$z = \frac{Z}{(X+Y+Z)} \tag{3}$$

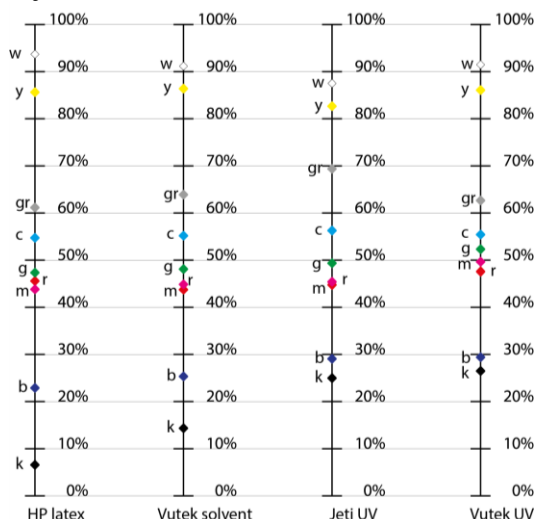
Dobivene vrijednosti koordinata uzoraka se koriste za prikazivanje položaja boja u CIE 1931 x, y dijagramu kromatičnosti, a njihovim spajanjem u heksagon za pojedine sustave tiska dobijemo raspon kao što je prikazano na Slici 6.

3.1. Raspon boja u CIELAB modelu boja



Slika 4. Raspon boja prikazan u ab dijagramu CIE L*a*b* prostora boja

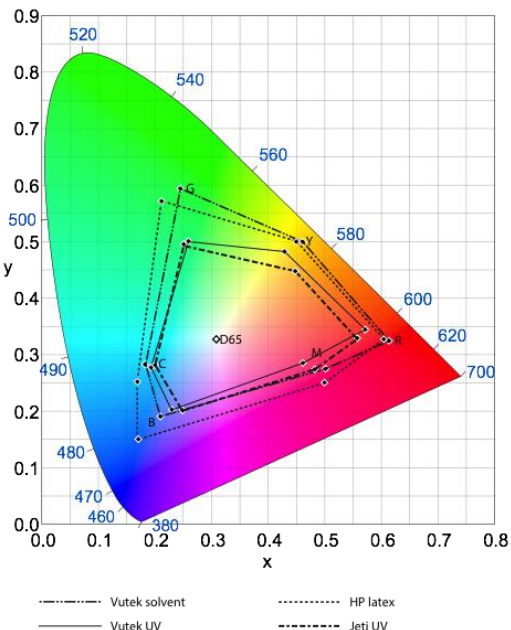
Na osnovu podataka iz Tabela 3-6 na slici 4 prikazan je raspon boja koji može biti reproduciran na definiranim tiskarskim strojevima primjenom vodenog, solventnog i UV bojila.



Slika 5. Svjetlina mjenjenih uzoraka boja za četiri vrste tiskarskih procesa

3.2. Raspon boja u x,y dijagramu kromatičnosti

Izmjerene tristimulusne vrijednosti uzoraka X, Y, Z se preračunavaju u x, y, z koordinate x,y dijagrama kromatičnosti pomoću slijedećih jednažbi:



Slika 6. Raspon boja prikazan u xy dijagramu kromatičnosti

Na prikazanom CIExyY dijagramu kromatičnosti (Slika 6) vidi se da najveći raspon boja (gamut) možemo otisnuti pomoću latex i solventnih bojila, dok UV bojila uvelike zaostaju. Ujedno primjećuje se da je kod latex bojila gamut puno veći u ljubičastoplavom području i u području mađente, dok se u crvenom i žutom području gotovo podudara sa solventnim bojilom. U zelenom području gamut latex i solventnih bojila je veći u odnosu na UV bojila, no latex malo više ulazi u plavo područje.

3.3. Kolorimetrijska razlika

Ukoliko se želi detaljnije proučiti koliko pojedina boja odstupa s obzirom na različite tiskarske sustave, tada se može izračunati kolometrijska razlika (ΔE^*) i to pomoću izmjerenih vrijednosti u CIE L*a*b* kolornom prostoru pomoću CIE 1976 jednažbe [2]:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \tag{4}$$

pri čemu je:

$$\Delta L = L_0 - L_1 \tag{5}$$

$$\Delta a = a_0 - a_1 \tag{6}$$

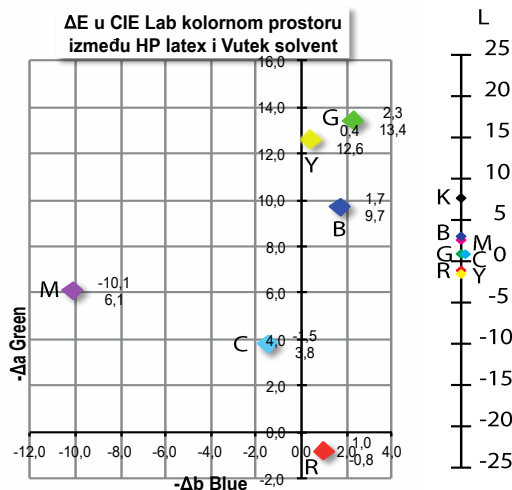
$$\Delta b = b_0 - b_1 \tag{7}$$

gdje su:

L_0, a_0, b_0 – vrijednosti referentne boje prema kojoj se mjeri odstupanje

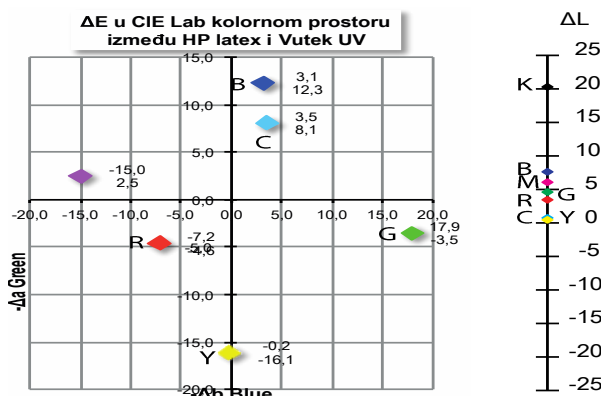
L_1, a_1, b_1 – vrijednosti ispitivanog uzorka boje.

Kada se uspoređi HP latex boje i Vutek solventne boje, primjećuje se da u ovom slučaju solventne boje u svjetlini imaju vrlo mala odstupanja u odnosu na referentne vodene boje osim kod crne boje. Kod mađente se primjećuje vrlo veliko odstupanje u zeleno područje, dok plava, žuta i zelena teže prema žutom području (Slika 7.).



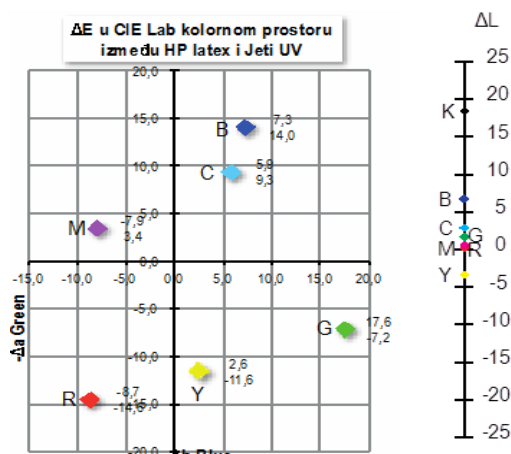
Slika 7. Odstupanje boja HP latex sustava prema Vutek solventnom sustavu

Kod slijedeće usporedbe HP latex boje i Vutek UV boje može se primijetiti da crna zamjetno odskače od referentne boje, odnosno da je svjetlija, kao i sve ostale boje. Plava i cijan teže k žutom području, a crvena i mađenta k zelenom području (Slika 8.).



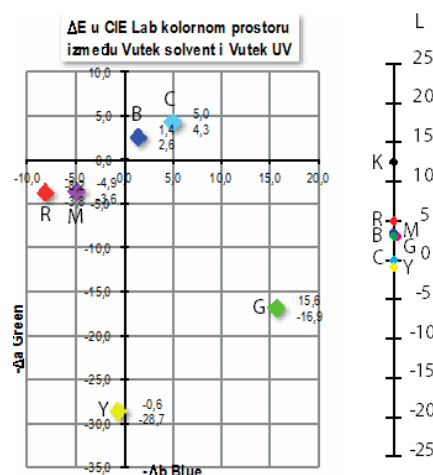
Slika 8. Odstupanje boja HP latex sustava prema Vutek UV sustavu

Kod usporedbe HP latex boja prema Jeti UV bojama vidi se vrlo slična odstupanja kao i u prethodnom primjeru, s time da su vrijednosti svjetline svih boja pomaknute prema pozitivnim vrijednostima, što znači da su boje svjetlije. Značajnije je odstupanje žute prema plavom području te zelene prema crvenom području (Slika 9.).



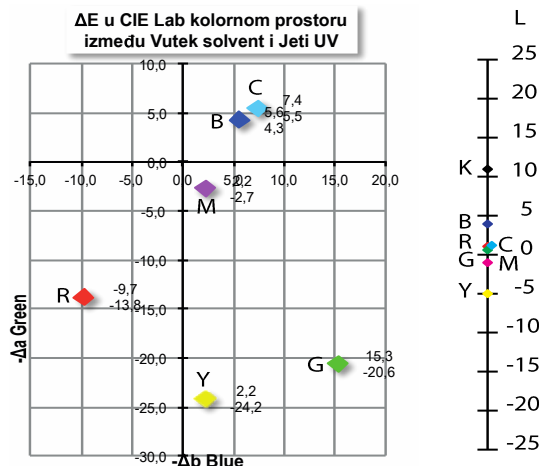
Slika 9. Odstupanje boja HP latex sustava prema Jeti UV

U slijedećoj usporedbi Vutek solventnih boja i Vutek UV boja primjećuje se da su razlike u svjetlini male osim za crnu boju, a cijeli raspon boja je pomaknut prema plavom području (Slika 10.).



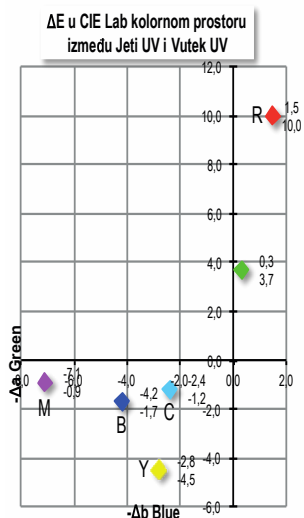
Slika 10. Odstupanje boja Vutek solventnog sustava prema Vutek UV sustavu

Kod usporedbe Vutek solventnih boja i Jeti UV boja primjećuje se da su odstupanja svjetline nešto veće nego u odnosu prema Vutek UV bojama. Najmanje odstupanje ima mađenta, a crvena ima značajno odstupanje prema cijan području (Slika 11.).



Slika 11. Odstupanje boja Vutek solventnog sustava prema Jeti UV sustavu

U usporedbi dviju UV boja, odnosno odstupanje Jeti UV boja prema Vutek UV bojama razlike u svjetlini su vrlo male, kao i rasipanje prema plavom i zelenom području, prema kojima teže sve boje osim zelene i crvene koje teže prema žutom području (Slika 12.).



Slika 12. Odstupanje boja Jeti UV sustava prema Vutek UV sustavu

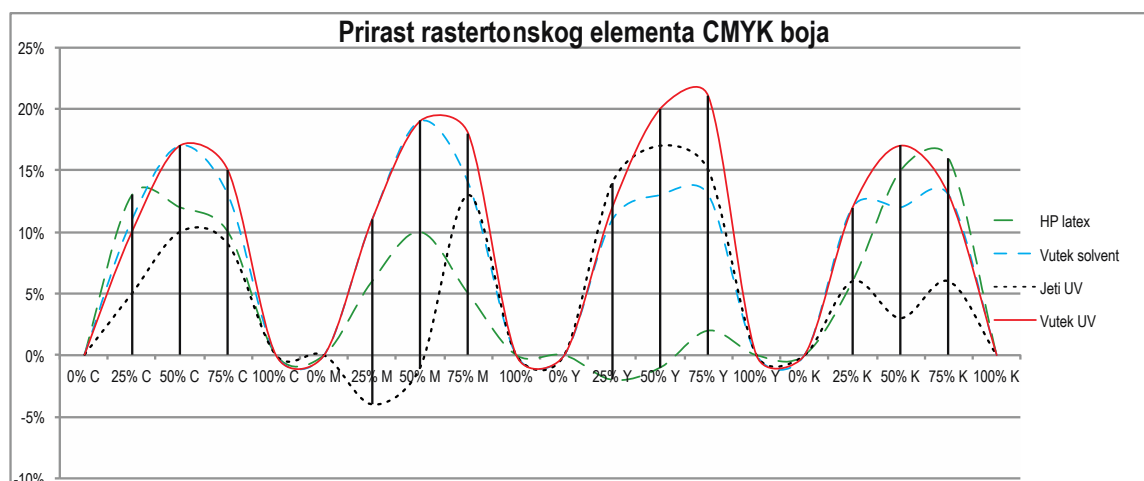
3.4. Prirast rastertonske vrijednosti

Za vrijeme proizvodnog procesa dolazi do promjene u veličini rasterskog elementa koja može rezultirati pomacima u tonu i obojenju.

Prirast RTV, kod NIP tiskarskih tehnika, je odnos između definiranih tonskih vrijednosti prikazanih na kontrolnim stripovima i stvarnih izmjerenih vrijednosti pomoću denzitometra, a prikazuju se u postocima.

Kao što se vidi na Slici 13. najveći prirast je kod svih boja kod UV bojila otisnutih na Vutek tiskarskom stroju i iznosi između 17% i 21%, dok je kod latex bojila u prosjeku najmanji osim kod crne boje. Neočekivani rezultati su dobiveni na Jeti UV otiscima sa značajnim odstupanjem mađente i crne boje. Rezultati mjerenja prirasta RTV kod Vutek solventnog sistema pokazuju ujednačenost prirasta kod svih boja, a vrijednosti se kreću između 13% i 19%.

Najveći prirast RTV pojedinih boja ima očekivane vrijednosti slične Gausovoj krivulji s najvećim vrijednostima između 50% i 65% RTV. Značajno odstupanje ima mađenta kod Jeti UV bojila i žuta kod vodenog bojila, kod kojih se primjećuje da je do 50% RTV prirast negativan.



Slika 13. Grafički prikaz prirasta rastertonskih vrijednosti

4. ZAKLJUČAK

U općem trendu digitalizacije i digitalni tisak je sve prisutnije rješenje u grafičkoj industriji. Osnovna je karakteristika digitalnog tiska nizak fiksni trošak te stoga predstavlja idealan izbor za tisak manjih naklada ili većeg broja različitih predložaka.

Ukoliko je potrebno otisnuti samo jedan primjerak ili nekoliko različitih varijacija, pa čak i veća serija, zbog brzine, kvalitete i povoljne cijene upravo digitalni tisak je pravi izbor, a jedna varijanta je i ink-jet.

Naime, kao što se vidi iz podataka dobivenih za vodena bojila, u ovom slučaju latex bojila, najbolje ih je upotrijebiti kada postoji potreba za ispisom vrlo visoke kvalitete i rezolucije, te što većeg gamuta boja.

Nadalje, ispis solventnim bojilima je odličan za tisak jumbo plakata i postera kod kojih nije potrebna velika rezolucija, prvenstveno zbog cijene i brzine otiskivanja,

te ujedno nema potrebe da budu dugotrajno izloženi atmosferskim utjecajima. Presvlačenje laminatom im uvelike produžuje trajanje i otpornost. Karakteristika im je da prodiru u tiskovnu podlogu.

UV bojila su vrlo postojana zbog debljine nanosa, a primjećuju se i pod prstima. Karakteristika im je da ne prodiru u podlogu, već se suše na njoj pomoću živinih UV lampi, a u novije vrijeme LED UV lampi. To im omogućuje tisak na različite materijale bez obzira na karakteristike tog materijala. Također se mogu i laminirati. Zbog samog sastava pigmenta i otapala, imaju najmanji gamut boja.

Uzevši u obzir napredak u razvoju materijala i bojila, kao i u izradi tiskarskih ink jet strojeva, u budućnosti možemo očekivati još veće kvalitete otiska na suvremenim materijalima, kao i veće brzine, što će se vremenom u konačnici omogućavati još jeftiniji i kvalitetniji otisak.

4. LITERATURA

- [1] Kipphan, H.: Handbook of Print Media, Springer-Verlag, Heidelberg, 2001.
- [2] Zjakić, I.; Bates, I.; Milković, M.: A study of dot gain and gamut for prints made with highly pigmented inks, Technical Gazette 18, 2(2011), 227-235
- [3] Majnarić, I.; Leskovec, T.: Ink-jet tisak (jučer, danas, sutra), CROPRINT, Grafički fakultet sveučilišta u Zagrebu, rujan 3/2009, str. 48
- [4] Valdec, D.: Sustavi vrednovanja boje, Priručnik sa zadacima, Veleučilište u Varaždinu, 2010.

Kontakt autora:

Vjeran Petrović, bacc. ing. techn. graph.

Ivana Meštrovića 20

40000 Čakovec

Tel.: 098 241 066

e-mail: vjeran.petrovic@ck.t-com.hr

Dr. sc. Marin Milković, dipl. ing.

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33, 42000 Varaždin

e-mail: dekan@velv.hr

Dean Valdec, dipl. ing.

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33, 42000 Varaždin

tel.: 042 493 357

e-mail: dean.valdec@velv.hr

ZAKONODAVNI I PRAVNI ASPEKTI VEZANI UZ PLAN IZVOĐENJA RADOVA I ZNAČAJ PRIMJENE PLANA

LEGISLATIVE AND LEGAL ASPECTS RELATED TO THE PLAN OF UNDERTAKING CONSTRUCTION WORKS AND THE IMPORTANCE OF ITS APPLICATION

Željko Kos

Pregledni rad

Sažetak: Investitor je dužan prije uspostave gradilišta osigurati izradu plana izvođenja radova, odnosno u fazi izrade projekta obavezno mora imenovati koordinatora I za zaštitu na radu koji je dužan izraditi ili dati izraditi plan izvođenja radova. U protekle tri godine promatran je način izrade i primjena plana u praksi, osobito s aspekta vremena implementacije plana u životni ciklus projekta, te kvalitete sadržanog vremenskog plana kao bitnog preduvjeta i to kako za provedbu mjera zaštite na radu, tako i za što uravnoteženije ugovaranje i relevantnu organizaciju građenja. U nekoliko slučajeva plan izvođenja radova dostavljen je na gradilište istodobno s uvođenjem izvođača u posao ili kasnije, a vremenski plan bio je sadržan samo u obliku iskustvene okvirne procjene. Ovim člankom želi se doprinijeti stručnoj izradi plana izvođenja radova i svrsishodnom tumačenju propisa u smislu stvarne potrebe izrade plana u fazi projektiranja, te time omogućiti adekvatan utjecaj plana na sve procese gradnje.

Ključne riječi: koordinador I, mjere zaštite na radu, organizacija građenja, plan izvođenja radova, vremenski plan

Review article

Abstract: Prior to the construction site establishment, the investor has an obligation to ensure the development of a construction work plan. Thus, in the preliminary design phase, he has an obligation to appoint a Coordinator I for safety at work, who is obliged to develop a construction work plan or to have it developed. The way of developing and applying the work plan in practice has been observed for the past three years. This has been done from the aspect of time required to implement a work plan into the project life cycle and of a plan quality as a necessary precondition for both the implementation of safety measures and for the better balanced contracting and organizing of construction works. In several cases the construction plan was submitted to the site simultaneously with the introduction of contractors to the work, or later, and the schedule was contained only in the form of experiential approximate evaluation. The purpose of this article is to make contribution to the professional development of construction plans and to the meaningful interpretation of regulations in terms of the actual need of the plan development at the design stage, allowing and assuring an adequate plan impact on the whole construction process.

Key words: Coordinator I, safety work measures, construction management, construction work plan, time plan

1. UVOD

U praksi je uočeno da se planu izvođenja radova, u segmentu vezanom neposredno uz zaštitu na radu, pridaje odgovarajuća važnost. Međutim, vremenska i troškovna komponenta njegova sadržaja nekada se zanemaruju te se većinom unose samo kao iskustvene okvirne procjene koje su nestručno subjektivizirane. Prvo spomenuto može se prihvatiti zato što se plan izvođenja radova zapravo izrađuje s ciljem ispunjenja zakonskog imperativa organizacije rada na siguran način, implementirajući u isti minimum ostalog sadržaja, odnosno samo iskustvene okvirne procjene vremenskog plana radova i troškova za uređenje gradilišta i za provedbu mjera zaštite na radu.

Međutim, detaljnijom analizom dolazi se do zaključka da su vremenska i troškovna komponenta plana

itekako bitne za relevantnost uloge plana u životnom ciklusu projekta.

Zakonska pravila o obaveznom donošenju plana izvođenja radova u fazi projektiranja između ostalog pridonose ispunjenju propisanih obaveza poslodavaca, koji obavljaju građevinske ili montažne radove, da prije početka radova na privremenom gradilištu uredi gradilište i osiguraju preduvjete da se radovi mogu obavljati u skladu s pravilima zaštite na radu.

Radi određivanja mjera za provedbu zaštite na radu ova pravila zahtijevaju procjenu rizika od opasnosti i štetnosti po zdravlje radnika kod građenja. Treba procijeniti rizik za svaku građevinsku aktivnost posebno, kao i u slučaju istodobnog odvijanja više aktivnosti kada zbog međusobnih interakcija obično dolazi do povećanja promatranog rizika. Iz spomenutog razloga dovodi se u pitanje relevantnost mjera provedbe zaštite na radu

određenih na temelju procijenjenog rizika samo za svaku građevinsku aktivnost posebno ili za rizik kod interakcija aktivnosti koje će se dogoditi uz istovremeno odvijanje još neke ili nekih drugih aktivnosti.

U tom smislu zakonski propisi anticipiraju mogućnost takvih događaja i određuju da je koordinator II u fazi izvođenja radova dužan izraditi ili potaknuti izradu potrebnih usklađenja plana izvođenja radova i dokumentacije sa svim promjenama na gradilištu.

Svakako da bi bilo bolje da se u fazi izvođenja radova takve situacije i potrebna usklađenja što manje događaju, pa se stoga za izradu vremenskog plana radova predlaže detaljna deterministička metoda. Također se predlaže da se izrada plana izvođenja radova izvrši najkasnije do vremena dovršenja projektne dokumentacije za ishođenje akta o dozvoli građenja, te da se u tom slučaju planom pozitivno utječe na sve naredne poslove sudionika u gradnji.

Kada bi pravna regulativa decidirano determinirala obavezu izrade plana izvođenja radova već u najranijoj mogućoj fazi izrade projekta, tada bi takva projektno-tehnička dokumentacija, kompletirana s nacrtima i troškovnikom uređenja gradilišta i provođenja mjera zaštite na radu, omogućila osim provedbe mjera zaštite na radu i određene druge uloge samog plana, kao npr. kod provođenja postupka javne nabave jednake uvjete vrednovanja predmeta nuđenja za sve ponuditelje i uravnoteženije ugovaranje radova.

2. PLANIRANJE IZVOĐENJA RADOVA I PRAVO RADA NA SIGURAN NAČIN

Prilikom angažmana vlastitog rada, u skladu s normalnim psihosocijalnim dimenzijama čovjeka i prirodnim načelom održivog razvoja, svatko nastoji planirati organizaciju rada na siguran način.

Svakako da odabir mjera zaštite na radu i način njihove provedbe u navedenom slučaju ovisi o pojedinačnom znanju i iskustvu iz određenog područja i vještini pojedinca za konkretnu primjenu mjera u specifičnoj situaciji. U tom slučaju rizici od pojave opasnosti i štetnosti za zdravlje radnika pri izvođenju radova procjenjuju se vrlo subjektivno, te rezultiraju različitim mjerama zaštite na radu. Međutim, prvotno navedena tvrdnja o prirodnom skladu planiranja organizacije rada na siguran način promatrana s aspekta angažmana vlastitog rada, za slučaj korištenja rada drugih osoba i sadašnjeg stupnja razvoja psihosocijalnih dimenzija čovjeka, ne može se smatrati točnom.

Analizira li se planiranje općenito, npr. kao funkcija optimalne organizacije i realno procijenjenog vremena potrebnog za izvođenje određenih radova uz korištenje proizvodnih resursa u skladu s organizacijskim postavkama, zaključuje se da pitanje kvalitete, a time i sadržaja planiranja, osim o realnoj procjeni vremena, ovisi naročito o značenju pojma optimalnosti kod organizacije izvođenja radova.

Može se smatrati da pitanje optimalnosti u većini slučajeva prije svega sadržava realnu procjenu optimalnog odnosa vremena i troškova izvođenja radova.

Da bi odnos vremena i troškova mogao rezultirati optimalnom vrijednošću, potrebno je optimalizirati brojčanu vrijednost učešća proizvodnih resursa te kvalifikacijsku strukturu ljudskih resursa. Kod određivanja vrste i kapaciteta sredstava rada potrebno je imati u vidu da se s aspekta zaštite na radu sredstvima rada smatraju sve površine po kojima se radnik kreće i sva sredstva kojima se služi, koja se koriste u njegovoj blizini i kojima se prevozi, svi prostori s instalacijama i uređajima u kojima se u bilo kojem trenutku nalazi i sve to kako pri radu, tako i pri dolaženju i odlasku s posla.

Međutim, postigne li se planirani optimalni odnos vremena i troškova izvođenja radova, odnosno izgradi li se građevina u planiranom roku bez prekoračenja predviđenih troškova, a istom dođe do negativnih učinaka po zdravlje radnika, svakako da se u većini takvih slučajeva ne može govoriti o optimalnoj organizaciji građenja. Planirati bi se trebalo na način da ne smije doći do djelovanja opasnosti i štetnosti po zdravlje radnika, koje je uz bolje upravljanje rizikom od pojave navedenih opasnosti i štetnosti, te uz provedbu dodatnih mjera zaštite na radu, bilo moguće spriječiti.

Slijedom svega spomenutog zaključuje se da se kod planiranja ljudskih resursa za izvođenje radova mora istodobno pobrinuti i o zaštiti na radu u smislu nužnosti integriranog planiranja izvođenja pojedinih građevinskih aktivnosti i odgovarajućih mjera zaštite na radu.

Pravo osiguranja uvjeta za rad na siguran način u skladu s prirodnim načelom da svatko ima pravo na zdrav život, te da je svatko dužan u sklopu svojih ovlasti i djelatnosti osobitu skrb posvećivati zaštiti zdravlja ljudi, prirode i ljudskog okoliša. Da naša država osigurava uvjete za zdrav okoliš, sadržano je u [1]. S obzirom na spomenuto, svatko je dužan pridržavati se javno-pravnih propisa koji uređuju uvjete potrebne za rad na siguran način, odnosno koji propisuju mjere i uređuju upravno-pravna pitanja vezana uz zaštitu na radu općenito.

3. ZAKONSKA REGULATIVA VEZANA UZ PLAN IZVOĐENJA RADOVA

Pitanja vezana uz plan izvođenja radova uređuje zakonska regulativa iz područja zaštite na radu.

Propisima se određuje da je investitor, odnosno projektant dužan prije uspostave radilišta osigurati izradu plana izvođenja radova prema posebnom propisu, te da imenovanje koordinatora za zaštitu na radu ne oslobađa investitora ni glavnog projektanta od odgovornosti za provedbu zaštite na radu na radilištu [2].

Analiza odredbe po kojoj se plan izvođenja radova mora izraditi prije uspostave radilišta prije svega zahtijeva određenje pojma uspostave radilišta. Sukladno relevantnom zakonskom uređenju zaključuje se da uspostava radilišta koincidira s danom mogućeg početka izvođenja radova, odnosno danom uvođenja izvođača u posao, iako je tumačenje trenutka uspostave radilišta na navedeni način djelom u temporalnoj koliziji s nužnošću prijave radilišta inspekcijским službama osam dana prije početka izvođenja radova, budući da prijava tijelu

nadležnom za poslove inspekcije rada, odnosno drugom nadležnom tijelu mora sadržavati plan izvođenja radova.

Točan rok izrade plana izvođenja radova ne proizlazi ni iz zakonskog određenja da je plan sastavni dio projektne dokumentacije određene posebnim propisima jer se dio projektne dokumentacije, u ovisnosti o veličini objekta izvođenja radova, može izraditi i biti na gradilištu sve do uvođenja izvođača u posao.

Razmatranje roka izrade plana svodi se na prijedlog svrsishodnog tumačenja propisa u smislu stvarne potrebe izrade plana u fazi projektiranja. Na taj način omogućila bi se ranija implementacija plana u životni ciklus projekta, odnosno ranije cjelokupno sagledavanje projekta i relevantan utjecaj plana na sve procese gradnje objekta, od interakcija s projektiranjem te upotrebe plana kod ugovaranja radova, do postupanja u skladu s planom kod organizacije izvođenja radova.

S druge pak strane, zakonsko uređenje u smislu subjekta koji mora izraditi plan izvođenja radova znatno je jasnije, iako nije decidirano određeno koje fizičke osobe, osim koordinatora I, imaju pravo na izradu plana, ako uopće postoji takva mogućnost. Naime, uređenjem da je investitor dužan prije uspostave gradilišta osigurati izradu plana izvođenja radova, odnosno da je obavezan u fazi izrade projekta imenovati koordinatora I za zaštitu na radu, koji je dužan izraditi ili dati izraditi plan izvođenja radova, nisu određeno specificirani uvjeti koje mora zadovoljavati osoba kojoj koordinator I može povjeriti odgovornu izradu plana. Iz toga se razloga može zaključiti da na koordinatoru I postoji i ostaje odgovornost za izradu i kvalitetu izrade plana, bez razlike na to koju stručnu osobu koristi kao suradnika.

Isto tako investitor imenovanjem koordinatora I u fazi izrade projekta ujedno određuje i obavezu izrade plana izvođenja radova, ali i nadalje ostaje uz glavnog projektanta odgovoran za izradu plana. Koordinator I i dalje je dužan koordinirati primjenu načela zaštite na radu, posebice u smislu donošenja odluka o oblikovnim, tehničkim i/ili organizacijskim aspektima. Dužan je u skladu sa specifičnostima projekta procijeniti vrijeme za dovršenje građevinskih aktivnosti ili faza rada koje se trebaju izvoditi istodobno ili u slijedu. Također je dužan izraditi dokumentaciju sadržanu u elaboratu zaštite na radu, koja sadrži specifičnosti projekta i koja sadrži bitne sigurnosne i zdravstvene podatke koje je potrebno primjenjivati nakon gradnje u fazi uporabe.

Izrada plana izvođenja radova propisana je u [3], kao i detaljno uređenje obaveznog sadržaja plana.

Važno je istaknuti kako postoje rigorozne zakonske sankcije za slučaj nepridržavanja propisa vezanih uz izradu plana izvođenja radova, paušalnu izradu plana uslijed neuzimanja u obzir pravila primjenjiva za dotično gradilište i aktivnosti koje se obavljaju na istom gradilištu, te za slučaj nepoduzimanja posebnih mjera ako poslovi na gradilištu pripadaju opasnim radovima prema posebnom propisu. Predmetne sankcije propisane su u vidu prilično visokih novčanih kazni i to za pravnu i odgovornu osobu investitora te za fizičku osobu imenovanu za koordinatora I.

4. ZNAČAJ PLANA IZVOĐENJA RADOVA ZA UGOVARANJE I ORGANIZACIJU GRAĐENJA

Značaj operativne primjene plana izvođenja radova u praksi ovisi o vremenu izrade i kvaliteti plana, odnosno o stupnju relevantnosti i upotrebljivosti za donošenje određenih odluka i mogućnosti racionalnog postupanja u skladu s planom kod pojedinih faza gradnje objekta.

Budući da je o vremenu izrade plana izvođenja radova bilo već dosta rečeno, te pretpostavi li se da je plan izvođenja radova izrađen zajedno s projektnom dokumentacijom potrebnom za ishodenje akta o dozvoli građenja ili ranije, što nažalost nije čest slučaj u praksi, značaj plana može biti od vrlo velike važnosti već kod prikupljanja ponuda i ugovaranja radova. Svakako da za takve slučajeve veličina značaja ovisi prije svega o relevantnosti troškovnih i vremenskih dimenzija sadržanih u planu, odnosno jesu li spomenute dimenzije u plan implementirane i optimalizirane stručnim determinističkim ili probabilističkim pristupom, ili su pak samo iskustveno okvirno procjenjene. Također je u praksi uočeno da su dimenzije sporadično rezultat nekog drugog indikatora, npr. zahtjeva investitora za nerealno kratkim rokom izvođenja radova ili za smanjenjem troškova vezanih uz organizaciju uređenja gradilišta i osiguranje uvjeta za provođenje mjera zaštite na radu predviđenih planom.

Relevantnost vremenskih dimenzija usklađenih s planiranim organizacijskim postavkama je preduvjet za analizu rizika s aspekta opasnosti i štetnosti po zdravlje radnika pri aktivnostima građenja i za određivanje mjera zaštite na radu.

Za organizaciju građenja od važnosti je cjelokupan sadržaj plana izvođenja radova, odnosno opis izvođenja radova, postojeće instalacije i uređaji, granice gradilišta i utjecaj okoliša, privremeni objekti, prometne komunikacije i evakuacijski putovi, otvorena i zatvorena skladišta, smještaj i čuvanje opasnog materijala, transport dizalicom, opasna mjesta, energetski razvod, strojevi s povećanim opasnostima, zaštita i smještaj te prehrana radnika, radne skele, postupci hitnog isključenja komunalnih vodova, mjere prije početka radova, vremenski plan i postupak usklađivanja s odvijanjem radova, međusobna izvješćivanja izvođača, zabrana pristupa nezaposlenima, pravila ponašanja i popis isprava, evidencija i uputa iz zaštite na radu koja se moraju čuvati na gradilištu. Prilog planu mora naročito sadržavati prijavu gradilišta, dinamičke planove, plan organizacije gradilišta, popis radnika s podacima o osposobljavanju i popis strojeva i uređaja s podacima o ispitivanjima za rad na siguran način.

Ako je cjelokupan sadržaj plana izvođenja radova izrađen detaljno i stručno, uzimajući u obzir specifičnosti projekta i ako je uz planirane organizacijske postavke i troškove provediv u planiranom vremenu, a da istodobno budu zastupljena sva pravila i provedive planirane mjere zaštite na radu, može se sa sigurnošću tvrditi da se radi o relevantnom projektu organizacije građenja u skladu s kojim se mogu optimalizirati izvoditi radovi na siguran način.

5. ZAKLJUČAK

Cilj zakonskih propisa koji uređuju pitanje izrade plana izvođenja radova, usmjeren je provedbi planiranih radova na siguran način, bez štetnih događaja po zdravlje radnika. Da bi se predmetni cilj postigao, potrebno je planirati učinkovite mjere zaštite na radu koje nije moguće niti bi ih se smjelo planirati općenito za više gradilišta, kao ni izdvojeno za pojedinu građevinsku aktivnost, već tako da se uvažavaju relevantne vremenske, prostorne i organizacijske pretpostavke optimaliziranog izvođenja radova sa svim međusobnim interakcijama, uz poštivanje drugih poznatih i pretpostavljenih gradilišnih i vanjskih faktora koji će svakako biti ili bi mogli biti od utjecaja na izvođenje radova.

Naposljetku takav pristup integriranog planiranja organizacije izvođenja radova i mjera zaštite na radu, u realno određenim vremenskim i prostornim dimenzijama, rezultira efektivnim planom izvođenja radova primjenljivim za projekt organizacije dotičnog građenja. Takav plan, uz implementaciju istog u ranu fazu životnog ciklusa projekta, omogućio bi i kvalitetnije pregovore naručitelja i izvođača, te uravnoteženije ugovaranje radova.

6. LITERATURA

- [1] Ustav Republike Hrvatske, Narodne novine 56/1990, 135/1997, 113/2000, 28/2001, 76/2010
- [2] Zakon o zaštiti na radu, Narodne novine 59/1996, 94/1996, 114/2003, 100/2004, 86/2008, 116/2008, 75/2009, 143/2012
- [3] Pravilnik o zaštiti na radu na privremenim ili pokretnim gradilištima, Narodne novine 51/2008
- [4] Zakon o prostornom uređenju i gradnji, Narodne novine 76/2007, 38/2009, 55/2011, 90/2011, 50/2012
- [5] Pravilnik o uvjetima i stručnim znanjima za imenovanje koordinatora za zaštitu na radu te polaganju stručnog ispita, Narodne novine 101/2009, 40/2010

Kontakt autora:

Željko Kos, struč.spec.ing.grad.,
vanjski suradnik
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33
098/757-989
kos.vz@live.com

FAZNO PROMJENLJIVI MATERIJALI

PHASE-CHANGE MATERIALS

Željko Kos

Stručni članak

Sažetak: Današnja praksa održive gradnje zahtjeva brzo i racionalno građenje energetski učinkovitih građevina. Prilikom građenja teži se dematerijalizaciji građevinskih elemenata, što dovodi do umanjenja toplinske akumulacije građevine i posredno do povećanog utroška energenata za grijanje, hlađenje i klimatizaciju. Toplinski kapacitet građevine, naročito kod laganih konstrukcija s izražajnijim problemom, sve češće rješava se uporabom fazno promjenljivih materijala, takozvanih PCM (Phase Change Materials), koji imaju mogućnost pohrane znatno veće topline od konvencionalnih građevinskih materijala. To im omogućuje svojstvo da prelaze iz jednog u drugo agregatno stanje u temperaturom intervalu od 20 do 30 °C, te da pritom pohranjuju ili oslobađaju velike količine latentne topline iskoristive za sobnu regulaciju temperature. Na temperaturama nižim i višim od temperature tališta ponašaju se kao ostali građevinski materijali, ali im je specifični toplinski kapacitet obično znatno veći, te i senzibilnom toplinskom energijom doprinose boljim toplinskim karakteristikama građevine u uporabi.

Ključne riječi: fazno promjenljivi, latentna, senzibilna, talište, toplinski kapacitet

Professional paper

Abstract: Today's practice of sustainable construction requires quick and rational construction of energy efficient buildings. The tendency during construction is to dematerialise construction elements, which leads to the reduction of heat accumulation of building and indirectly to the increased consumption of energy for heating, cooling and air conditioning. The problem of heat capacity, especially notable in lightweight structures, is increasingly solved using phase-change materials (PCM), which have much greater ability to store heat than conventional building materials. This feature allows them to pass from one to another physical condition in the temperature interval of 20-30°C, and at the same time to store or release large amounts of latent heat usable for room temperature control. At temperatures lower and higher than the temperature of the melting point they behave like other construction materials; however, their specific heat capacity is usually much higher, and with sensible heat, they contribute to better thermal performance of buildings in use.

Key words: phase-change, latent, sensible, melting point, heat capacity

1. UVOD

Moderna gradnja velikim dijelom zahtjeva montažni i polumontažni način građenja, većinom skeletnih konstrukcija ispunjenih i obloženih laganim građevinskim materijalima s vrlo visokim toplinsko-izolacijskim svojstvima. Teži se višem stupnju prefabriciranja svih građevinskih elemenata što omogućava bržu izgradnju, te time visoku razinu učinkovitosti.

Međutim, u nastojanju dematerijalizacije građevinskih elemenata, pored raznih praktičnih i ekonomskih prednosti, dolazi do problema gubitka mase građevine potrebne za toplinsku akumulaciju, što rezultira negativnim utjecajima na unutarnju klimu i povećanom potrošnjom energenta za grijanje, hlađenje i klimatizaciju. Vrlo lako se zaključuje da bi bilo poželjno nadomjestiti mogućnost izotermne pohrane dnevnih vršnih toplinskih opterećenja ljeti, a zimi omogućiti toplinsku akumulaciju konstrukcije radi manjeg

kontinuiranog opterećenja sustava grijanja i klimatizacije, te radi održavanja topline grijanog prostora za vrijeme prekida grijanja.

Današnji propisi problem toplinskih karakteristika laganih konstrukcija u smislu energetske učinkovitosti rješavaju na način povećanja toplinskog otpora površina konstrukcije koje sudjeluju u transmisivnim gubicima topline za grijanje i hlađenje [1]. Potrebno povećanje toplinskog otpora u većini slučajeva rezultira jedino povećanjem debljine termo-izolacijskog sloja, što u naravi doprinosi dodatnom rasterećenju sustava grijanja, hlađenja i klimatizacije, naročito u slučaju upotrebe rekuperatora zraka u sustavu klimatizacije ili samo kod ventilacije zraka, ali problem nedostatka toplinske akumulacije laganih konstrukcija ostaje neriješen.

Problem se danas počinje rješavati primjenom specijalnih takozvanih PCM materijala (engl. Phase Change Materials) ugrađenih u građevinske elemente ili integriranih s drugim građevinskim materijalima. PCM imaju sposobnost promjene agregatnog stanja i pohrane,

te zatim kod povratka u prvobitno agregatno stanje oslobađaju velike količine energije u vidu latentne topline, uz istovremenu minimalnu promjenu vlastite temperature.

Svakako da je efektu primjene PCM-a s aspekta efikasnog doprinosa održivom razvoju potrebno dati nedvojbenu prednost u odnosu na manje izražajnu ekonomsku profitabilnost zbog još uvijek relativno visoke tržišne cijene.

Ovim člankom želi se doprinijeti popularizaciji i većoj primjeni PCM-a u građevinarstvu, čime bi se zasigurno ubrzao daljnji ionako neminovan tehnološki razvoj PCM-a, a što bi rezultiralo kvalitetnijim korištenjem prostora i ekonomski povoljnijim u energetske smislu. Također, člankom se želi skrenuti pozornost na nužnost primjene građevinskih materijala s kojima se može doprinijeti zaštiti okoliša, te iako se time prema sadašnjem odnosu cijena na tržištu povećavaju troškovi građenja, s aspekta održivog razvoja uz pravilnu primjenu materijala to je sigurno isplativa investicija.

2. FAZNO PROMJENLJIVI MATERIJALI

Fazno promjenljivi materijali, takozvani PCM su tvari ili smjese tvari koje isparavanjem, taljenjem ili kristalizacijom, odnosno kondenzacijom, skrutnjavanjem ili rekristalizacijom primaju, odnosno oslobađaju velike količine energije u vidu latentne topline, uz istovremenu minimalnu promjenu vlastite temperature, a temperatura promjene agregatnog stanja nalazi im se u iskoristivom području za regulaciju unutarnjih projektnih temperatura.

2.1. Latentna toplina i princip djelovanja PCM

Kod klasičnih građevinskih materijala mogućnost pohrane osjetne (senzibilne) toplinske energije ovisi o masi i specifičnom toplinskom kapacitetu materijala, te o razlici temperature u odnosu na okolinu. Specifični toplinski kapacitet čvrstih tijela, u koja se u uglavnom ubraja građevinski materijal, ispituje se pri konstantnom volumenu (samo uvjetno) i tlaku, izražava se po jedinici mase, a definiran je kao i specifična toplina, potrebnom količinom topline da se jediničnoj masi (1 kg) nekog materijala poveća stupanj temperature za temperaturnu jedinicu (1 K). Pri ispitivanju specifičnog toplinskog kapaciteta postoji ovisnost i o temperaturi ispitivanja, pa tako, primjerice različite temperature ispitivanja kod vode rezultiraju različitim vrijednostima specifičnog toplinskog kapaciteta:

- 100 °C (para) $C_p = 2,08 \text{ kJ/(kg K)}$
- 25 °C (tekućina) $C_p = 4,18 \text{ kJ/(kg K)}$
- -10 °C (led) $C_p = 2,05 \text{ kJ/(kg K)}$

Kod zgrada s masivnim građevnim dijelovima, zahvaljujući većem toplinskom kapacitetu u odnosu na lagane konstrukcije, prilikom prekida, odnosno smanjenja grijanja dolazi do vraćanja akumulirane temperature iz konstrukcije u grijani prostor, što osigurava stabilnu temperaturu.

Navedeni pozitivan učinak izostaje kod laganijih konstrukcija, a budući da su toplinski kapaciteti i kod

masivnih građevnih dijelova današnje gradnje relativno mali, te razlike temperature i mase materijala ograničene, također je poželjno da ukupni efekt pohrane topline bude znatno veći.

Primjerice, izračuna li se pohranjivanje osjetne toplinske energije čelika, betona, ekspaniranog polistirena i vode, za masu materijala od 10 kg pri zagrijavanju sa 15°C na 25°C, različitost rezultata pokazuje ovisnost o vrijednostima specifičnih toplinskih kapaciteta materijala koje iznose: 460 J/(kg K) za čelik gustoće 7800 kg/m³, 1000 J/(kg K) za beton gustoće 2500 kg/m³, 1450 J/(kg K) za ekspanirani polistiren gustoće 15-30 kg/m³ i 4180 J/(kg K) za vodu gustoće 998 kg/m³.

Pohranjena osjetna toplina (Q_s) računa se kao umnožak specifičnog toplinskog kapaciteta ($C_{p,v}$), mase (m) i razlike temperatura temperaturnog intervala zagrijavanja materijala (ΔT), te za navedeni primjer iznosi:

$$Q_s = C_{p,v} \cdot m \cdot \Delta T \text{ [kJ]}$$

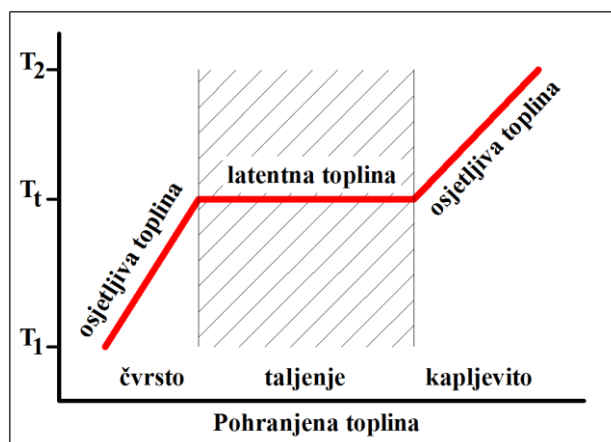
- čelik 46 kJ
- beton 100 kJ
- ekspanirani polistiren 145 kJ
- voda 418 kJ

Mogućnost znatno većeg efekta pohrane topline moguće je postići primjenom PCM-a, koji dodatno omogućuju pohranu latentne topline, a specifični toplinski kapacitet materijala im je znatno veći. Kod PCM-a čiste kristalne tvari zagrijavanjem prelaze pri svojevrsnoj, točno definiranoj temperaturi tališta u kapljevitost. Pri tome dolazi do značajne pohrane raspoložive količine energije iz okoliša, ali istovremeno ne dolazi do povišenja temperature PCM-a, već samo do promjene agregatnog stanja.

Tako akumulirana toplina naziva se latentnom toplinom (Q_l), a računa se kao umnožak specifične topline taljenja (q_s) i mase (m) pojedinog PCM-a:

$$Q_l = q_s \cdot m \text{ (kJ)}$$

Princip djelovanja PCM-a prikazan je općim oblikom radnog dijagrama (slika 1).



Slika 1. Ovisnost količine pohranjene toplinske energije PCM-a o temperaturi

Zaključuje se da je vrijednost ukupno pohranjene topline kod konvencionalnih materijala jednaka pohranjenoj osjetnoj toplini, a kod PCM-a jednaka je

zbroju pohranjene osjetne i latentne topline, uz uvjet da se temperatura tališta PCM-a nalazi u promatranom vremenskom intervalu.

Za usporedbu s navedenim primjerom pohrane osjetne topline kod konvencionalnih materijala, izračunata je ukupno pohranjena toplina kod PCM-a parafina također mase 10 kg u jednakom temperaturnom intervalu od 10 °C kao u ranijem primjeru, a u kojem se nalazi i talište parafina. Vrijednost specifične topline taljenja promatranog parafina iznosi 173,4 kJ/kg, a specifični toplinski kapacitet čvrste faze jednak je 2,89 kJ/(kg K). Specifični toplinski kapacitet kapljevito stanja parafina je veći u odnosu na čvrstu fazu, ali ga u ovom slučaju nije potrebno uzimati u obzir, jer se temperatura taljenja nalazi na gornjoj granici u promatranom temperaturnom intervalu zagrijavanja parafina. Ukupna pohranjena toplina iznosi:

$$Q_s + Q_l = 289 + 1734 = 2023 \text{ kJ}$$

Dobiveni rezultat za jednake temperaturne uvjete pokazuje dvadesetak puta veći toplinski kapacitet jednake mase PCM parafina u odnosu na beton gustoće 2500 kg/m³, koji se ubraja u vrlo dobre konvencionalne toplinske akumulatore.

Kako je u praksi vrlo teško PCM ugraditi kao samostalan građevinski materijal, za usporedbu se navodi primjer ploče debljine 15 mm u koju je po m² ugrađeno svega 3 kg PCM-a u obliku posebne mješavine voska, te takve dvije ploče u smislu toplinskog kapaciteta nadomješćuju betonski zid debljine 14 cm ili zid debljine 36,5 cm od visoko perforirane blok opeke [2].

Pri hlađenju PCM kristalizacijom pri istoj temperaturi prelaze iz kapljevito u čvrsto agregatno stanje otpuštajući latentnu toplinu u okoliš, a pri temperaturama nižim i višim od tališta, odnosno temperature skrutnjavanja PCM se ponašaju kao svaki drugi konvencionalni građevinski materijal.

2.2. Vrste i svojstva PCM

Poznate kemijske spojeve s mogućnošću pohranjivanja, odnosno oslobađanja znatne količine latentne topline bilo je potrebno integrirati kao dodatak konvencionalnim građevinskim materijalima da bi se proizveli PCM, koji mijenjaju fazu u kraćim vremenskim temperaturnim intervalima unutar realnih promjena temperatura vanjskog zraka.

Prikladnost proizvodnje u formi granula ili vodenih disperzija otkrivena je kod organskih i anorganskih spojeva [3]:

- hidrati anorganskih soli, posebno kalcij klorid heksahidrat i hidrat natrijevog sulfata tzv. glauberova sol
- organski PCM od kojih su najpoznatiji parafini i mješavine alkana (zasićeni ugljikovodici)
- alkoholi, prvenstveno polietar poliol, masne kiseline i esteri masnih kiselina
- eutektičke smjese različitih materijala

Mikro granule PCM-a promjera 5-20 μm, zbog promjene do 10 posto volumena prilikom fazne transformacije, moraju biti obavijene nekom rastezljivom ovojnicom da

ne dođe do sušenja ili curenja materijala. Za ovojnici mikro granula se najčešće koristi polietilen, polipropilen i poliakrilat.

Granule PCM-a mogu se dodavati, odnosno umiješavati u mineralne žbuke, gipsanu masu za izradu ploča, porobetone i druge građevinske materijale, a PCM se koriste i na specijalnim umreženim nosačima.

Najbitnija svojstva PCM-a su da imaju što veći ukupni toplinski kapacitet i da se promjena faze, odnosno talište nalazi u temperaturnom intervalu iskoristivom za regulaciju sobnih temperatura od 20 do 30 °C. Da bi bili učinkovitiji važno je da im je toplinska vodljivost što veća, odnosno da su loši toplinski izolatori, te da učinkovitim zračenjem otpuštaju toplinu u okoliš. Svakako da je kod većine PCM-a vrlo bitno da uopće postoji mogućnost miješanja s ostalim građevinskim materijalima, kao i kompatibilnost kontakta s integriranim konvencionalnim komponentama, naročito u smislu sprječavanja korozije. Pored potrebne mehaničke čvrstoće s obzirom na uporabu, potrebna je kemijska stabilnost i stabilitet faza PCM-a, te negorivost i otpornost na povišene temperature.

Od PCM-a se, kao i od svih ostalih građevinskih materijala, zahtjeva neškodljivost za zdravlje ljudi i okoliš.

2.3. Primjena PCM i primjeri iz prakse

Početak primjene PCM-a u građevinarstvu datira od pedesetih godina prošlog stoljeća, kada su u SAD-u na pročelja zgrada montirani paneli ispunjeni PCM-om. Da bi se spriječilo odavanje topline u okoliš paneli su prekrivani staklom, te su tijekom dana upijali sunčevu toplinu, a noću su latentnom toplinom zagrijavali zid. NASA-ina istraživački centri su prilikom izrade svemirskih odijela značajno doprinijeli razvoju PCM-a, a transferom tehnologije došlo je do primjene PCM-a u proizvodnji odjeće i sportske opreme, i to materijala s temperaturom taljenja u temperaturnom području ugodnom za ljudski organizam od 18 do 27 °C. PCM s nižim talištem koriste se pri transportu dobara osjetljivih na povišenu temperaturu, a za građevinarstvo su značajni i oni s višim talištem. Koriste se kao izmjenjivački fluidi u solarnim kolektorima, u sustavima podnog centralnog grijanja te za zaštitu elektroničke opreme i telekomunikacijskih postrojenja.

Kod primjera primjene PCM-a kao ispune transparentnih panela na pročeljima Građevinske akademije u Berlinu, a radilo se o hidratima soli, ispitivani su transmisijski gubici topline i uspoređivani s gubicima kroz betonske panele s istim koeficijentom prolaska topline. Ispitivanje je rezultiralo 23 posto manjim transmisijskim gubicima topline kod panela ispunjenih hidratima soli. Istodobno su razlike plošnih temperatura zida na unutarnjoj strani kod PCM-a bile znatno manje, što je uvjetovalo ujednačeniju, odnosno višu temperaturu zraka u prostoriji [4].

Učinkovita primjena PCM-a, primjerice transparentnih panela PCM-a i sličnih tehničkih rješenja na osunčanim dijelovima zgrade može se svrstati u dobivanje energije iz obnovljivih izvora, ali isto tako može doći do nepotrebne i neadekvatne primjene PCM-a.

Za primjer nepotrebne primjene PCM-a navodi se pokušaj kod stare masivne zgrade da se samo uporabom mase za gletanje s dodacima mikro granula parafina utječe na poboljšanje toplinskih karakteristika.

Zbog velike pohrane osjetne topline postojećih masivnih zidova učinak PCM-a, s aspekta unutarnje plošne temperature zidova i temperature prostorija, bio je zanemariv.

Primjer neadekvatne primjene PCM-a prepoznaje se kod ispitivanja primjene PCM a u Fraunhofer institutu za solarne energetske sisteme (ISE) u Freiburgu, SRNJ. Za ispitivanje odabrane su tri uredske prostorije jednakih položajnih pogodnosti u energetske smislu, odnosno iste osunčanosti i južne orijentacije. U prvoj su zidovi ožbukani gipsanom žbukom debljine 15 mm s direktno umiješanih 10 masenih postotaka granula na bazi parafina. U drugoj su zidovi oslojeni s masom za gletanje debljine 6 mm s 25 masenih postotaka mikro kapsuliranog parafina, a u trećoj prostoriji nije bilo ugrađenog PCM-a, te je služila kao referentna. Kod vanjskih temperatura od 24 do 26 °C usporedbom s referentnom prostorijom ustanovljeno je samo neznatno sporije zagrijavanje zidova. Razlog je bio u masivnoj, stropnoj AB ploči, koja nije bila obrađena PCM-om, te je njezin veliki osjetni toplinski kapacitet ujednačavao učinak latentnog kapaciteta zidova [4].

3. ZAKLJUČAK

Odgovarajući toplinski kapacitet građevine je od velike važnosti, kako za masivne građevine, tako i naročito za današnju praksu održive gradnje, velikim dijelom brzog i učinkovitog građenja laganih konstrukcija.

Znatno povećanje toplinskog kapaciteta omogućuje primjena fazno promjenljivih materijala, takozvanih PCM, koji imaju dodatnu sposobnost da kod promjene faze do koje dolazi u temperaturnom intervalu od 20 do 30 °C pohrane veliku količinu latentne topline iskoristive za regulaciju sobnih temperatura.

Iz ranije navedenih primjera proizlazi da kod masivnih konstrukcija može vrlo lako doći do neadekvatne ili nepotrebne primjene PCM-a. Zaključuje se da je potrebno voditi računa o usklađenosti svih unutarnjih obloga i konstruktivnih elemenata, odnosno njihovih ukupnih toplinskih kapaciteta, a dobro toplinski izolirane građevine s velikim osjetnim toplinskim kapacitetom vanjske ovojnice, te posljedično ujednačenom unutarnjom temperaturom, nije potrebno obrađivati PCM-om.

Kod laganih konstrukcija uporaba PCM-a za energetske rješenje povećanja ukupnog toplinskog kapaciteta građevine, s velikom sigurnošću može se bezrezervno preporučiti. Također je potrebno imati u vidu pozitivan efekt primjene PCM-a s aspekta efikasnog doprinosa održivom razvoju. Međutim, s prijedlogom obvezne primjene PCM-a kod laganih konstrukcija potrebno je biti vrlo oprezan, jer još uvijek relativno visoka cijena PCM-a mogla bi rezultirati većom primjenom konvencionalnih masivnih građevinskih materijala.

4. LITERATURA

- [1] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine 110/2008, 89/2009
- [2] http://www.micronal.de/portal/load/ffd443845/BASF_Micronal_PCM_Broschuere%202009_deutsch.pdf (Dostupno:10.03.2013.)
- [3] http://www.fkit.unizg.hr/_news/31881/Stanislav_Kurajica.pdf (Dostupno:10.03.2013.)
- [4] <http://www.pdfio.com/k-3051634.html> (Dostupno:10.03.2013.)
- [5] <http://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder-und-marktbereiche/energieeffiziente-gebaeude-und-gebaeudetechnik/waerme-und-kaeltespeicher10pt> (Dostupno:10.03.2013.)
- [6] http://www.pcmproducts.net/files/pcm_products_catalogue.pdf (Dostupno:10.03.2013.)

Kontakt autora:

**Željko Kos, struč.spec.ing.grad.,
vanjski suradnik**
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42000 Varaždin
mob: 098/757-989
e-mail: kos.vz@live.com

EKONOMSKA ANALIZA I OCJENA ZAKONITOSTI PONUDE I POTRAŽNJE

ECONOMIC ANALYSIS AND EVALUATION OF SUPPLY AND DEMAND LEGALITY

Nkolina Lipovec, Goran Kozina

Stručni članak

Sažetak: U članku se objašnjavaju temeljne mikroekonomske zakonitosti ponude i potražnje određenog proizvoda, s obzirom na utjecajne čimbenike, povezanost s makroekonomskom utjecajima te njihovo međudjelovanje u službi stvaranja tržišne ravnoteže. Članak je koncipiran na temelju završnog rada Nikoline Lipovec i literature kojom se služila.

Ključne riječi: mikroekonomija, ponuda, potražnja, tržište, ravnoteža

Professional paper

Abstract: This paper presents the basic microeconomic principles of a product's supply and demand, with regard to the influence factors, correlation with macroeconomic impacts and their interaction in creating the market equilibrium. This paper is based on the thesis written by Nikolina Lipovec and the literature she used.

Key words: micro economy, supply, demand, market, equilibrium

1. UVOD

Proizvodni resursi i konačni proizvodi brojčano su ograničeni, odnosno nisu raspoloživi u neograničenim količinama. Kvalitetu i kvantitetu resursa koji se koriste u proizvodnji određuje proizvođač, dok vrsta i količina plasiranih i prodanih proizvoda na tržištu ovise o volji i kupovnim mogućnostima potrošača.

Kriteriji kojima se proizvođači vode pri nabavi proizvodnih inputa, kao i kriteriji pri kupnji proizvoda, ovise o mnogobrojnim čimbenicima. U članku se raspravlja o čimbenicima koji utječu na odluke proizvođača i potrošača kod nabave proizvodnih inputa i proizvoda, kao i o konačnim rezultatima tog procesa koji vode tržišnoj ravnoteži.

2. POJMOVNO ODREĐENJE PONUDE I POTRAŽNJE

2.1. Pojam i zakonitosti ponude

Ponuda proizvoda je količina proizvoda koju proizvođač planira prodati u određenom vremenskom razdoblju. Količina ponude određenog proizvoda ovisi o brojnim čimbenicima, od kojih su najznačajniji cijena proizvoda, cijene drugih proizvoda, troškovi proizvodnje te organizacija tržišta.

Prema zakonu ponude, pri višoj cijeni proizvoda količina ponude je viša, uz pretpostavku da ostali čimbenici koji utječu na ponudu ostanu nepromijenjeni. Ako se troškovi proizvodnje ne mijenjaju, veća cijena

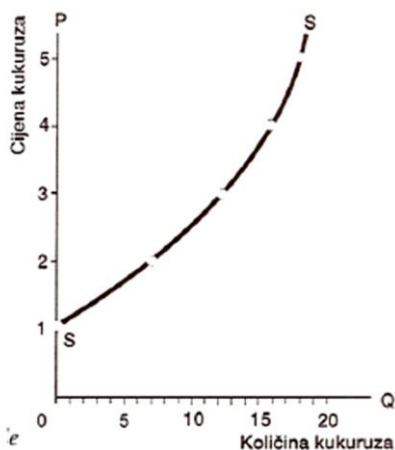
proizvoda vodi većoj dobiti za proizvođača, a samim time ona je i poticaj za povećanje obujma proizvodnje.

Krivulja ponude pokazuje količinu ponude uz različite cijene proizvoda kada su konstantni ostali činitelji koji utječu na ponudu. Kako bi se konstruirala krivulja ponude, treba ispitati kako se mijenja količina ponude u uvjetima promjene cijene proizvoda, uz konstantne cijene drugih proizvoda, troškove proizvodnje i ostale čimbenike koji utječu na ponudu.

Tabela 1. Raspored ponude za kukuruz [1]

	Cijena (kn po kg)	Količina potražnje (kg/god)
	P	Q
A	5	18
B	4	16
C	3	12
D	2	7
E	1	0

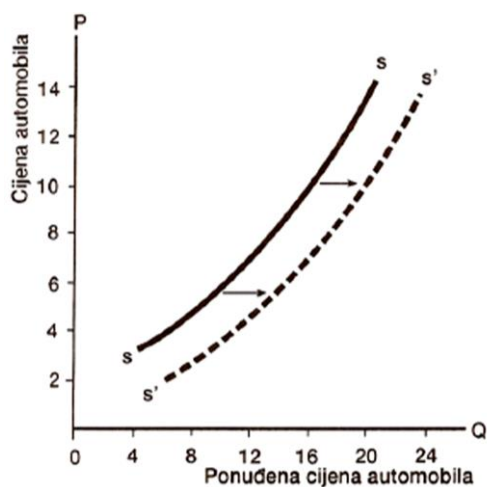
Uz niske cijene kukuruza poljoprivredni proizvođači neće biti voljni proizvoditi kukuruz, već će se okrenuti proizvodnji supstituta kao što su brašno i soja. Prema prikazanoj tablici, uz cijenu od 1kn/kg kukuruz se neće proizvoditi. Kako cijena kukuruza raste (uz nepromijenjene ostale čimbenike), proizvodit će se sve više kukuruza. Kako je već spomenuto, krivulja ponude grafički pokazuje vezu između količine ponude i cijene proizvoda, uz nepromijenjene ostale činitelje. Pomoću podataka iz tabele 1. moguće je ilustrirati krivulju ponude (slika 1.)



Slika 1. Krivulja ponude [2]

Promjena prethodno spomenutih čimbenika na samu ponudu može izazvati promjenu količine ponude i promjenu same ponude. Stoga, ako se cijena proizvoda mijenja, a ostali uvjeti ostanu konstantni, neizbježna je promjena količine ponude proizvoda. Ovaj slučaj ilustrira se kretanjem po krivulji ponude. Npr., ako se cijena proizvoda poveća s 3 na 5 kn, rezultat je kretanje po krivulji ponude iz točke C u točku A. Nadalje, ako cijena proizvoda ostane ista, a promijene se ostali čimbenici, dolazi do promjene ponude proizvoda. Promjena ponude znači pomak krivulje ponude ulijevo ili udesno.

Npr., pad troškova proizvodnje zbog uvođenja nove tehnologije povećat će ponudu automobila, što uzrokuje pomak krivulje ponude udesno.



Slika 2. Pomak krivulje ponude [3]

2.2. Elastičnost ponude

Elastičnost ponude je odnos postotnih promjena ponuđenih količina koja je rezultat promjene cijene u iznosu od 1%. Naime, ako nakon povećanja cijene od 1% proizvođači povećaju ponudu za 5%, elastičnost ponude iznosi 5. Nadalje, kako se u vrlo kratkom roku može prodati samo ona količina koja je već ranije proizvedena, zaključuje se da je funkcija ponude u vrlo kratkom roku potpuno neelastična, odnosno koliko god se povećala cijena, proizvođači ne mogu povećati ponudu. Uvođenjem dodatnog rada u kratkom roku, s ciljem povećanja proizvodnje, elastičnost je veća nego u vrlo kratkom roku, no još je uvijek manja od elastičnosti u

dugom roku kad proizvođači mogu investiranjem povećati fiksni kapital i time ostvarivu razinu proizvodnje.

2.3. Pojam i zakonitosti potražnje

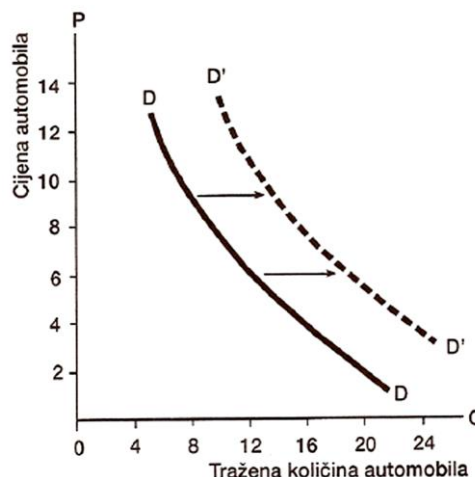
Količina potražnje proizvoda ili usluga je iznos koji potrošači planiraju potrošiti u određenom razdoblju. Potražnja za nekim proizvodom ili uslugom ovisi o mnogo čimbenika, od kojih su najvažniji cijena proizvoda, cijene drugih proizvoda, dohodak, populacija i ukusi potrošača.

Prema zakonu potražnje, što je cijena proizvoda viša, manja je količina potražnje za promatranim proizvodom, uz pretpostavku da se ostali parametri ne mijenjaju. Viša cijena smanjuje količinu potražnje jer se svaki proizvod može zamijeniti nekim drugim proizvodom koji ima manju cijenu, a jednake je kvalitete, što znači da porast cijene određenog proizvoda utječe na pad kupnje istog. Zakonom potražnje zaključujemo da ako se cijena nekog dobra smanjuje, njegova količina bit će veća, ali i obrnuto, uz nepromijenjene ostale parametre. Zakon potražnje vrijedi za individualnu i tržišnu potražnju.

2.4. Elastičnost potražnje

Na potražnju osim cijene proizvoda utječe više čimbenika, od kojih su najvažniji cijene drugih proizvoda, kupovna moć potrošača, populacija, te ukusi ili preferencije. Porast dohotka pomiče budžetski pravac udesno, povećavajući potrošnju uzduž krivulje odnosa dohotka i potrošnje. Promjene tih čimbenika mogu imati dvije posljedice, a to su promjena količine potražnje i promjena potražnje. Ako se cijena proizvoda mijenja, a sve ostalo ostane isto, mijenja se količina potražnje za proizvodom. Taj se slučaj ilustrira kretanjem po krivulji potražnje proizvoda. Npr., ako se cijena mijenja s 3 na 5 kn, rezultat je kretanje po krivulji potražnje iz točke C u točku A. Ako cijena proizvoda ostane ista, a promijene se ostali čimbenici, promijenila se potražnja za proizvodom.

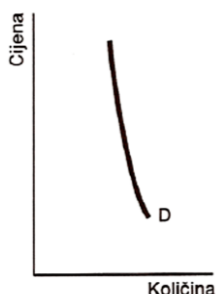
Promjena potražnje znači pomak krivulje potražnje ulijevo ili udesno. Npr., veliki pad cijena benzina povećat će potražnju za automobilima, što uzrokuje pomak krivulje potražnje udesno.



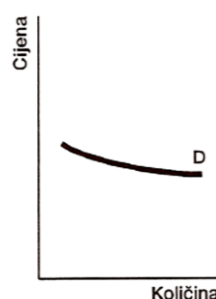
Slika 3. Pomak krivulje potražnje [2]

Koeficijentom cjenovne elastičnosti mjeri se intenzitet reakcije promjene potražnje na promjenu cijene. Elastičnost se definira kao postotna promjena tražene količine koja je rezultat promjene cijene od 1%.

Na slici 3. i 4. prikazane su krivulje potražnje u svrhu vizualne usporedbe njihove elastičnosti. Iz priloženog je vidljivo da je krivulja elastičnija što je više položena vodoravno. Stoga možemo zaključiti da već i mala promjena cijene izaziva znatnu promjenu potražnje.



Slika 4. Neelastična potražnja [4]



Slika 5. Elastična potražnja [4]

3. TRŽIŠNA RAVNOTEŽA

Tržišna ravnoteža je u osnovi ravnoteža između različitih potrošača i proizvođača, odnosno prodavača. Potrošači ili proizvođači žele kupiti, odnosno prodati određeni proizvod ovisno o cijeni, a samo tržište pronalazi ravnotežu koja odgovara željama potrošača kao i proizvođača, a sve u svrhu izbjegavanja nagomilavanja zaliha kao posljedice previsokih cijena, odnosno sprječavanja prevelike potražnje i nestašice proizvoda izazvane pre niskim cijenama. Tržišna ravnoteža kao pojam usko je vezana uz slobodna i konkurentna tržišta koja su često uspoređivana s kapitalizmom, odnosno kapitalističkim gospodarstvom. Normalno funkcioniranje tržišta ne bi bilo moguće bez postizanja tržišne ravnoteže kao količinskog odnosa između spomenutih potrošača i proizvođača, a nastale su kao posljedica omogućavanja širokog pristupa ekonomskim resursima na tržištu u svrhu pokretanja poslovanja. [1]

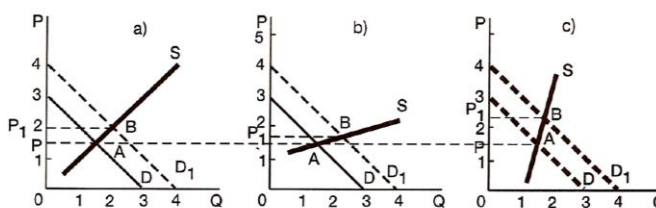
3.1. Ravnoteža ponude i potražnje

Tržišna ravnoteža ostvaruje se uz onu cijenu i onu količinu pri kojima su ponuda i potražnja u ravnoteži, što znači da je iznos koji su proizvođači voljni prodati jednak iznosu koji su potrošači voljni kupiti. U takvoj situaciji na tržištu, cijena i količina proizvoda miruju sve dok se ostali čimbenici ne mijenjaju, a za to vrijeme

tržište pronalazi ravnotežnu cijenu koja istodobno zadovoljava želje kupaca i prodavača.

Što se pak tiče analize ponude i potražnje, ona funkcionira samo na tržištu savršene konkurencije gdje ni jedan kupac ili prodavač nije dovoljno velik da bi mogao utjecati na tržišnu cijenu. U stvarnosti takva su tržišta rijetka i najčešće su to organizirana tržišta vrijednosnih papira ili organizirane robne burze. Većina ostalih tržišta pokazuje elemente nesavršene konkurencije gdje obično nekoliko sudionika ima barem malen utjecaj na tržišnu cijenu. Nepotpuna konkurencija je takvo stanje na tržištu u kojem postoji jedan ili više subjekata koji mogu utjecati na formiranje cijena i količina koje se nude ili traže. Takva situacija dovodi do mnogih posljedica kao što su previsoke cijene, manja potrošnja, visoki troškovi i manja efikasnost.

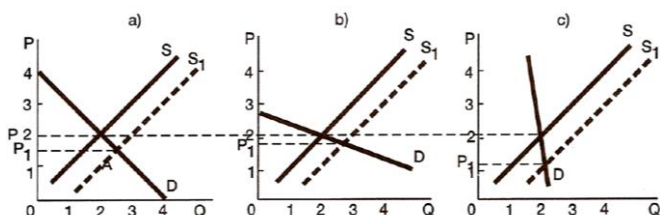
Preduvjet primjene analize je tržište na kojem postoji velik broj informiranih kupaca i prodavača čiji postupci ne utječu na cijene proizvoda koji se nude. Dokle god se poštuju spomenute pretpostavke, cijene i količine će se ponašati u skladu s analizom. Dođe li do promjene ostalih činitelja, dolazi i do promjene krivulja ponude i potražnje, što znači da se i ravnotežne cijene mijenjaju. Poveća li se potražnja i jednaka ponuda ravnotežna cijena će imati tendenciju rasta, a povećavat će se i ravnotežna količina jer će proizvođači imati motiv da proizvedu više. Uz smanjenje potražnje i istu ponudu cijena i količina će imati tendenciju pada. Efekti promjene potražnje ovisit će velikim dijelom o elastičnosti krivulje ponude. [1] Što je krivulja ponude elastičnija, to će se više promijeniti količina, a manje cijena proizvoda (slika 6.). U kratkom roku krivulja ponude postaje gotovo potpuno neelastična. Npr., na zalihi postoji točno određen broj proizvoda i nije moguće isporučiti više od te količine, a pošto proizvodnja novih proizvoda u promatranom slučaju traje nekoliko dana, promjena potražnje uzrokuje promjenu cijena. Isti će učinak imati promjena ukusa potrošača u korist analiziranog proizvoda. Ako se dohodak potrošača povećava, krivulja potražnje pomiče se udesno.



Slika 6. Utjecaj promjene potražnje pri različitim elastičnostima krivulje ponude [1]

Dok je kod promjene dohotka i ukusa potrošača odgovor o smjeru promjene funkcije potražnje nedvosmislen, neizvjestan je učinak promjene potražnje zbog promjene cijena ostalih proizvoda. Ako su dva proizvoda supstituti, tada će porast cijene jednog proizvoda utjecati na povećanje tražene količine drugog faktora i obrnuto, odnosno smanjenje cijene jednog utječe na pad potražnje za drugim proizvodom.

Na slici 7. vidi se kakve će efekte na ravnotežnu cijenu i količinu imati promjena ponude. Općenito govoreći, pomicanjem krivulje ponude udesno, odnosno povećanjem ponude uz istu funkciju potražnje povećat će se ravnotežna količina, a smanjit će se ravnotežna cijena.



Slika 7. Utjecaj promjene funkcije ponude pri različitim elastičnostima krivulje potražnje [1]

Osnovne varijable koje djeluju na funkciju ponude su promjena proizvodne funkcije, odnosno tehnologije, i promjena cijena proizvodnih faktora. Pošto se funkcija ponude izvodi iz graničnih troškova koji proizlaze iz graničnih prinosa i cijena proizvodnih faktora, njihova će promjena mijenjati funkciju ponude. Granični prinosi mogu se promijeniti uslijed promjene količine ulaganja fiksnih faktora ili tehnološkog napretka.

3.2. Sustav cijena u tržišnom gospodarstvu

Tržište je ekonomski prostor na kojem se nude ili prodaju i traže ili potražuju, uz ugovorenu jedinstvenu cijenu, određena ekonomska dobra [5]. Osnovne odrednice tržišta su dobro, proizvodnja, nabava, potrebe, prodaja, propaganda i konkurencija.

Tržište ima nekoliko funkcija od kojih su najvažnije: [6]

1. Alokacijska – raspodjela resursa na pojedine grane proizvodnje razmjennom potreba

Alokacijska funkcija proizlazi iz ideje da tržište omogućava razmještanje gospodarskih resursa na pojedine gospodarske aktivnosti u kojima se stvaraju neophodni proizvodi i usluge. Na temelju kretanja cijena proizvoda u pojedinim djelatnostima, vlasnici privrednih resursa povlače svoje resurse iz djelatnosti s lošom perspektivom poslovanja i ulažu ih u druge djelatnosti gdje su veće mogućnosti zarade. Ovisno o tome, rastu ili padaju tržišne cijene, ponuda i potražnja se mijenjaju s težnjom uravnoteženja.

2. Selektivna – tržište selekcionira potrebne proizvode prema zahtjevima i potrebama potrošača

Selektivna funkcija proizlazi iz ideje da tržište selektira gospodarske subjekte kroz proces konkurencije. Na tržištu se za istu vrstu proizvoda formira jedinstvena cijena po kojoj svi prodavači prodaju svoje proizvode. Oni koji imaju niže troškove proizvodnje ostvaruju veću zaradu, dok neefikasni proizvođači ne mogu svoje troškove podmiriti na temelju tržišne cijene, i posluju s gubicima tako da prije ili kasnije moraju napustiti djelatnost. Zbog toga proizvođači, da bi ostvarili svoje ciljeve, tj. maksimizirali profit, svoju proizvodnju moraju prilagođavati zahtjevima i kriterijima tržišta kroz stalne promjene, usavršavanja i preorijentaciju u proizvodnji.

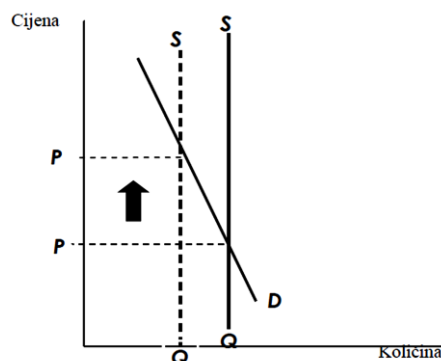
3. Distribucijska – tržište određuje položaj svih sudionika ekonomskih procesa u osnovnoj raspodjeli

Distributivna funkcija proizlazi iz ideje da se tržište ostvaruje određivanjem cijena faktora proizvodnje, čime utječe na formiranje primarne raspodjele društvenog proizvoda na temelju koje njihovi vlasnici stječu dohodak i sudjeluju u raspodjeli novoostvarene vrijednosti.

4. Informativna – tržište daje povratne informacije proizvođačima o njihovim proizvodima, tržišnoj politici i upozorava na promjene ili unapređenja

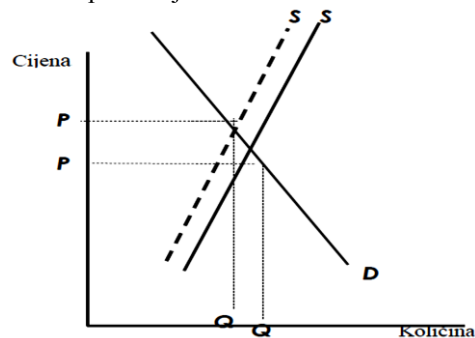
Informativna funkcija proizlazi iz ideje da tržište prima jednu opću informaciju o stanju ponude i potražnje za određenom robom ili uslugom. Ta informacija je zapravo tržišna cijena. Na temelju kretanja tržišne cijene gospodarski subjekt se može informirati o stanju ponude i potražnje na konkretnom tržištu i na temelju toga uočiti gdje je njegovo mjesto u odnosu na tu cijenu. Proizvođači su nužno povezani (kroz kupoprodajne transakcije na tržištu) i na razmjenu svojih proizvoda, kako bi nabavili potrebne inpute za proces proizvodnje ili kako bi realizirali svoju robu.

Npr., cijena kave vrlo je promjenjiva. Sljedeće slike ilustriraju promjene cijene na tržištu kave. Većina kave proizvodi se u Brazilu. Vremenske prilike utječu na urod kave pa tako i na njenu cijenu. Cijena nakon loših vremenskih uvjeta obično se ne održi dugo.



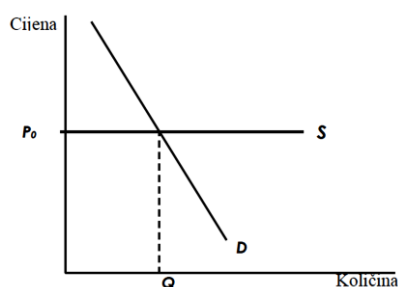
Slika 8. Tržište kave

Prikazana slika ilustrira utjecaj vanjskih čimbenika (tuča ili suša) na smanjenje ponude kave. Cijena značajno raste zbog neelastične ponude i potražnje. U trenutnom roku ponuda je savršeno neelastična.



Slika 9. Tržište kave u kratkom roku

U kratkom roku ponuda i potražnja postaju elastičnije i cijena pada.



Slika 10. Tržište kave u dugom roku

U dugom roku količina i cijena vraćaju se na početnu razinu – Q_0 i P_0 te ponuda postaje savršeno elastična.

4. PONAŠANJE POTROŠAČA I FUNKCIJA POTRAŽNJE

Unatoč tome što je Republika Hrvatska mala država, u njoj postoje milijuni nezavisnih potrošača koji svakodnevno donose odluke o vlastitoj potrošnji i potrošnji njihovih obitelji na hranu, stanovanje, automobile, nogometne utakmice i sva ostala dobra i usluge čija potrošnja pridonosi povećanju osobnog blagostanja. Od ukupnog BDP-a, više od polovice otpada na osobnu potrošnju. Unatoč činjenici kako svaki pojedinac svojom potrošnjom vrlo malo utječe na ukupno gospodarstvo, njihov zajednički utjecaj je golem. Analizom ponašanja potrošača identificiraju se čimbenici koji su od presudne važnosti pri donošenju odluka o potrošnji svakog pojedinca.

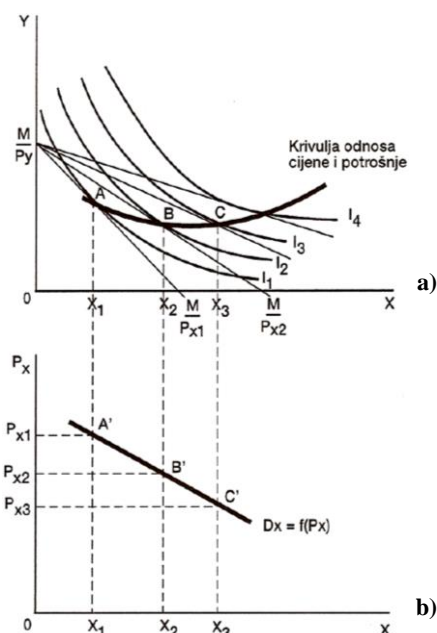
4.1. Načelo ponašanja potrošača

Ključni termin za razumijevanje ponašanja potrošača je korisnost dobra, što proizlazi iz činjenice da se svaki racionalni potrošač ponaša tako da uz postojeći dohodak i cijene proizvoda maksimizira svoje blagostanje ili svoju korisnost. Korisnost je teško izraziti nekom mjerom, koja izražava zadovoljstvo nastalo kao rezultat upotrebe pojedinog proizvoda. Kako je zadovoljstvo subjektivno stanje koje se ne može numerički izraziti, i korisnost ostaje nemjerljiva. Lakše je uspoređivati korisnost između dvaju dobara. Skupovi proizvoda i usluga nazivaju se košarice dobara. Indiferentnost prema ponuđenim alternativama košarica dobara označava situaciju u kojoj je potrošaču svejedno za koju se košaricu dobara ili proizvod odluči. [7]

4.2. Funkcija potražnje

Glavni utjecajni čimbenici na količinu potražnje za određenim proizvodom su ukus potrošača koji utječe na nagib i oblik krivulja indiferencije, te dohodak i cijene proizvoda kojima se određuje maksimalna količina proizvoda koju potrošač može nabaviti. Spomenuta količina definirana je cijenama i raspoloživim dohotkom, što znači da postoji mnoštvo dostupnih kombinacija, ali samo jedno rješenje koje predstavlja ravnotežu potrošača s obzirom na dane cijene i dohodak.

Pod pretpostavkom da se potrošačev dohodak, ukusi i cijene ostalih dobara ne mijenjaju, može se odrediti odnos između cijene pojedinog dobra i tražene količine od strane pojedinog potrošača koji se naziva funkcijom potražnje. [8]



Slika 11. Izvođenje krivulje potražnje [9]

Funkcija potražnje D_x povezuje odgovarajuću količinu potražnje za proizvodima X pri određenim razinama cijene P , a uz ograničenje dohotka M i postojanja supstituta Y . Iz Slike 11. b) vidljivo je da je krivulja potražnje negativno nagnuta, što implicira da će povećanje cijene proizvoda uz konstantne ostale faktore rezultirati smanjenjem potrošnje. To je posljedica nekoliko efekata od kojih su najvažniji efekt dohotka i efekt supstitucije. Uz pretpostavku konstantnog dohotka potrošača, povećanjem cijene proizvoda smanjuje se ukupna količina dobara koju potrošač može nabaviti pa će se smanjiti i potražnja za proizvodom koji je poskupio. Taj se efekt naziva efektom dohotka. Efekt supstitucije ogleda se u tome da s porastom cijene određenog proizvoda, proizvodi čija se cijena ne mijenja, postaju jeftiniji pa se zato smanjuje potrošnja proizvoda koji je poskupio, a povećava se potrošnja sada relativno jeftinijih proizvoda.

5. PROIZVODNJA, TROŠKOVI I FUNKCIJA PONUDE I POTRAŽNJE

Količina dobara koju će proizvođač isporučiti na tržište ovisi o nizu čimbenika. Iako se na prvi pogled čini da su proizvodnja i potrošnja dva potpuno suprotna pojma, u oba slučaja pokušava se dati odgovor na osnovno ekonomsko pitanje kako koristiti oskudne resurse za što potpunije zadovoljenje ljudskih potreba. Iako su ciljevi potrošača i proizvođača potpuno suprotni - potrošači žele što niže, a proizvođači što više cijene. Model ponašanja je isti: svi pokušavaju maksimizirati svoje blagostanje uz dane resurse. Za razliku od potrošača koji nastoje maksimizirati svoje zadovoljstvo,

proizvođačima je cilj maksimizacija profita. Pritom obje skupine imaju ograničenja koja se ogledaju u raspoloživim sredstvima, odnosno u danoj tehnologiji.

5.1. Proizvodna funkcija

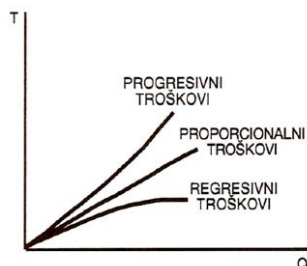
Proizvodna funkcija opisuje vezu između količina svih potrebnih inputa (proizvodnih čimbenika) korištenih u nekoj jedinici vremena i maksimalnoj količini dobara koja se tim inputima može proizvesti. [1, 8] Jednako tako iskazuje najveću količinu proizvoda koja se može proizvesti upotrebom određene količine proizvodnih faktora, a određena je postojećom tehnologijom. U analizi procesa proizvodnje obično se svi proizvodni čimbenici dijele u dvije kategorije: fiksne i varijabilne. Fiksni čimbenici su oni koji se ne mogu mijenjati ili se dugoročno mijenjaju (npr. slike krajolika, znamenitosti, atraktivnosti i sl.). Varijabilni čimbenici su robe kao i ulaganja rada potrebnog za odgovarajuće povezivanje tih roba i njihovo plasiranje na tržište. Naime, u ekonomiji se razlikuje kratki i dugi rok. U kratkom roku oprema poduzeća je nepromijenjena, a poduzeće može mijenjati samo količinu uloženog rada i materijala, dakle varijabilnih čimbenika. U dugom roku svi su proizvodni čimbenici varijabilni, a ocijeni li se da postoji dovoljno velika potražnja za njegovim proizvodima, poduzeće može nabaviti novu opremu ili povećati kapacitete. Jedan od temeljnih proizvodnih zakona s kojima se suočava proizvođač je zakon opadajućih graničnih prinosa.

Granični prinos nekog proizvodnog čimbenika je dodatna količina proizvodnje koja je rezultat ulaganja dodatne jedinice tog proizvodnog faktora.

Tipičan primjer djelovanja spomenutog zakona je poljoprivreda. Obradive površine su ograničene te se dodatnim radnikom smanjuje granični prinos. Uzmimo za primjer jedan hektar obradive zemlje (to je fiksni kapital koji se u kratkom roku ne može povećati) na kojemu se uzgajaju jagode. Ako radi samo jedan radnik, proizvodnja će sigurno biti manja nego u slučaju da ih se angažira nekoliko, a pritom je bitno koliko će se proizvodnja povećavati ulaganjem dodatnog rada. [8]

5.2. Analiza troškova

Pod troškovima proizvodnje smatraju se novčani izdaci za nabavu proizvodnih čimbenika potrebnih za proizvodnju određene količine proizvoda. Funkcijom troškova prikazuje se odnos između razine proizvodnje (Q) i troškova (T) koji su posljedica te proizvodnje. Očito je da ukupni troškovi, odnosno izdaci za proizvodne čimbenike rastu s rastom proizvodnje poduzeća.



Slika 12. Troškovi prema dinamici rasta [2]

Proizvodni troškovi se s obzirom na svoju dinamiku dijele na progresivne, proporcionalne i regresivne. Progresivni su oni koji rastu brže od proizvodnje, proporcionalni troškovi rastu jednako brzo kao i *output*, a regresivni troškovi rastu sporije od proizvodnje.

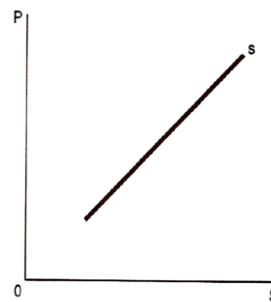
Troškovi se dijele na fiksne i varijabilne. Fiksni su troškovi oni koji se ne mijenjaju s veličinom proizvodnje, a uglavnom se odnose na troškove opreme, zgrada, zemlje. Varijabilni troškovi su troškovi koji rastu s razinom proizvodnje, a tome pripadaju troškovi rada.

Proizvodni troškovi su vrlo važni jer na temelju njih proizvođači formiraju cijenu i određuju razinu ponude. Oni su s jedne strane određeni proizvodnom funkcijom, dakle tehnologijom, a s druge strane cijenama proizvodnih čimbenika.

Prosječni trošak je suma prosječnog fiksnog i prosječnog varijabilnog troška. Ukupni fiksni trošak je stalna veličina, a prosječni fiksni trošak stalno opada.

5.3. Funkcija ponude

Funkcija ponude pojedinog proizvođača prikazuje količinu proizvoda koju je proizvođač spreman ponuditi na tržištu pri određenoj razini cijena. Već je ranije naglašeno da je cilj svakog proizvođača maksimiranje profita. Profit ili dobit je razlika između prihoda koje proizvođač ostvari prodajom proizvoda i proizvodnih troškova. Pošto su prihodi potrošača jednaki umnošku prodanih proizvoda i njihove cijene, pravilo je da će uz višu cijenu proizvođači nuditi i više proizvoda, pa je stoga i funkcija ponude pozitivno nagnuta. Proizvođač može autonomno utjecati samo na količinu proizvoda koje će ponuditi na tržištu, dok je na sve ostale parametre, kao što su cijena proizvoda, cijena proizvodnih čimbenika, potrebna količina inputa za danu razinu proizvodnje i sl., njegov utjecaj ograničen. [7]



Slika 13. Funkcija ponude [2]

6. ZAKLJUČAK

Tržište pronalazi ravnotežnu cijenu koja istodobno zadovoljava želje kupaca i prodavača. Previsoka cijena proizvoda uzrokuje nagomilavanje zaliha, dok preniske cijene izazivaju visoku potražnju i nestašicu roba. Ravnotežna cijena i količina ostvaruju se na razini u kojoj je iznos koji su potrošači voljni kupiti jednak iznosu za koji su prodavači spremni prodati određeni proizvod ili uslugu.

Među najvažnijim čimbenicima potražnje su cijena proizvoda, cijene konkurentskih proizvoda, dohodak, populacija i ukusi potrošača. Količina ponude određenog proizvoda ovisi o brojnim činiteljima, a najvažniji su cijena proizvoda, cijene konkurentskih proizvoda, troškovi proizvodnje i organizacija tržišta.

Iz perspektive proizvođača ključno je saznanje o cjenovnoj elastičnosti potražnje robe koju proizvodi. Naime, u situaciji visoke cjenovne elastičnosti proizvođaču će se isplatiti sniziti jediničnu cijenu jer će se potez kompenzirati povećanjem potrošnje robe, što će konačno rezultirati rastom ukupnog prihoda. U slučaju niske cjenovne elastičnosti potražnje, spuštanje cijena će za proizvođača značiti niži ukupni prihod. Dohodovna elastičnost izražava odnos između postotne promjene tražene količine određenog proizvoda i postotne promjene dohotka.

Ponuda i potražnja temeljne su pojave moderne ekonomije koje izravno određuju uspjeh ili propast određenog poduzeća te uspostavljaju tok novca u modernom kapitalističkom društvu. Da bi opstali u takvom okruženju, poduzetnici moraju konstantno pratiti relevantna kretanja ponude i potražnje njihovih proizvoda kako bi spremno odgovorili na potrebe potrošača te se tako dugotrajno afirmirali na ciljanom tržištu.

7. LITERATURA

- [1] Njavro, Đ. et al., *Gospodarstvo, Birotehnika*, Zagreb, 1997.
- [2] <http://www.h3s.org/pocela/grafovi> (dostupno: 22.7.2012.)
- [3] <http://www.efzg.hr> (dostupno: 20.7.2012.)
- [4] <http://www.scribd.com/doc/38583058/Ponuda-i-Elasticnost-Ponude> (dostupno: 20.7.2012.)
- [5] Benić, Đ., *Osnove ekonomije, Školska knjiga*, Zagreb, 2004.
- [6] Polovina, S., Medić, Đ., *Osnove ekonomije, Medinec*, Zagreb, 2002.
- [7] Radočaj, A., *Ekonomija profita, Viša poslovna škola, Prijedor*, 2003.
- [8] Pavić, I., Benić, Đ., Hashi, I., *Mikroekonomija, Ekonomski fakultet, Split*, 2009.
- [9] <http://users.efpu.hr/~mskare/predavanja/poglavlje3/glavni3.htm> (dostupno: 1.8.2012.)

Kontakt autora:

dr. sc. Goran Kozina, dipl.ing.
Veleučilište u Varaždinu
J. Križanića 33, 42000 Varaždin
mob: 098/267-047
e-mail: goran.kozina@velv.hr

NEMATERIJALNA MOTIVACIJA U FUNKCIJI UPRAVLJANJA LJUDSKIM POTENCIJALIMA

NONMATERIAL MOTIVATION IN THE FUNCTION OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT

Krešimir Buntak, Ivana Droždek, Robert Kovačić

Pregledni rad

Sažetak: *Cjelovit motivacijski sustav, uz materijalne strategije koje čine njegov temelj, mora uključivati i razgranatu nadgradnju ili infrastrukturu različitih nematerijalnih poticaja za rad koji zadovoljavaju raznolike potrebe ljudi u organizacijama. Temeljno polazište prakse motiviranja u današnjim organizacijama jest spoznaja da će motivacija za rad biti veća ako čovjek može zadovoljiti više svojih raznolikih potreba, a ne samo egzistencijalne. Za motivaciju su važne i svakim danom sve važnije potrebe višeg reda, odnosno razvoj i potvrđivanje vlastitih sposobnosti i mogućnosti autonomije, uvažavanja određenog statusa i dr.*

Ključne riječi: *menadžment i upravljanje, motivacija, nematerijalna motivacija, organizacija, upravljanje ljudskim potencijalom, visoki standardi poslovanja, vrednovanje rada*

Review article

Abstract: *A complete motivational system, with material strategies as its foundation, must include extensive infrastructure upgrades or infrastructure of different nonmaterial work incentives that satisfy various needs of people in organizations. The fundamental starting point in practice of motivating in today's organizations is the realization that the motivation for work will be greater if a person can fulfil several of his or her diversified needs, not just the existential ones. For motivation, the needs of higher order, namely the development and validation of one's own skills and opportunities for autonomy, respecting certain status, etc., are becoming more important.*

Key words: *management and managing, motivation, nonmaterial motivation, organization, human resources management, high standards of business, work evaluation*

1. UVOD

Temeljni zadatak upravljanja ljudskim potencijalima postaje, nakon pronalazjenja "pravih ljudi", učiniti ih sposobnima za zajednički i uspješan rad, odnosno da se uspješno nose s problemima koji im se postavljaju, te da njihova snaga bude djelotvorna, a slabosti nebitne. Motivacija zaposlenih nije samo područje psiholoških i socioloških problema rada i radnog ponašanja, već je ponašanje usmjereno prema nekom cilju koji pobuđuje potrebe izazvane u čovjeku, a cilj je zadovoljenje potreba. Uzrok određenog ponašanja čovjeka su unutarnji psihološki pokretači koji ga tjeraju na neku aktivnost, pa učinak pojedinca ne ovisi samo o njegovoj sposobnosti već i o samoj motivaciji. Iz tog razloga razvijene su brojne nematerijalne strategije poput dizajniranja posla, stil menadžmenta, participacija, upravljanje pomoću ciljeva, fleksibilno radno vrijeme, priznanje i feedback, organizacijska kultura, usavršavanje i razvoj karijere i dr., koje zajedno s materijalnim strategijama čine cjelovit motivacijski sustav.

Cilj rada je pregledno analizirati i utvrditi područja nematerijalne motivacije i motivacijskih tehnika koje se mogu razraditi i primijeniti u upravljanju ljudskim

potencijalima, kako bi ono bilo što efikasnije i zadovoljilo bi raznolike ljudske potrebe.

2. NEMATERIJALNA MOTIVACIJA

Za razliku od prošlih vremena kada se povećanje motivacije svodilo isključivo na novac, danas se koristi mnogo vrsta nagrađivanja. U današnjim uvjetima poslovanja može se reći da plaća prije svega služi kao motivator što većeg korištenja fizičkih napora, dok možemo reći da su različiti bonusi na plaće usmjereni na stimuliranje mentalnih napora. Zapravo bonusi potiču zaposlenike pa tako i menadžere na angažiranje cjelokupnog znanja i iskustva, ali i za neprestano usavršavanje. Novac je bitan kod nagrađivanja, a kada se riješe egzistencijalni problemi kod ljudi se javljaju kvalitativno drukčije potrebe kao što su npr. poštovanje ili samopotvrđivanje.

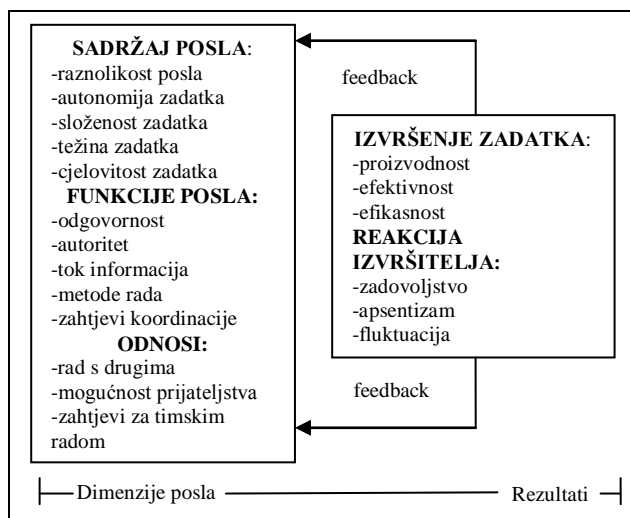
Upravo zato je važno nenovčano nagrađivanje koje obuhvaća široki spektar motivacijskih mehanizama kao što su npr. rezervirana parkirališna mjesta, boravak u službenim vilama, korištenje službenih vozila i dr.

2.1. Posao i oblikovanje posla

Posao koji pojedinac obavlja ključna je odrednica individualne motivacije. On je središnja karakterizacija moderne civilizacije jer većina odraslih osoba provodi pola svojih budnih sati na poslu, a za mnoge je posao središnja i najvažnija aktivnost. Prema tome, stavovi prema poslu i zadovoljstvo njime bitno utječu ne samo na radnu motivaciju već i na cjelokupan život.

Oblikovanje posla čini vrlo značajan segment nematerijalnih strategija motiviranja budući da stavovi prema poslu i zadovoljstvo njime bitno utječu na radnu motivaciju i život pojedinca. Programi preoblikovanja posla najvećim dijelom nastoje posao učiniti zanimljivijim, raznolikijim i izazovnijim. Važan individualni pristup oblikovanja radnog mjesta je rotacija posla kod koje se periodično pomiču ljudi s jednoga specijaliziranog posla na drugi, a čime se sprječava monotonija i dosada ljudi. Drugi važan pristup je proširivanje posla kao proces povećanja raspona posla, tj. broja različitih zadataka i učestalosti ponavljanja ciklusa posla.

Zanimljiv i izazovan posao čini motivaciju za njegovo obavljanje višom, a život ispunjenijim. S druge strane, dosadan i besmislen posao su jedni od najznačajnijih prepreka većoj motivaciji za rad, a često se njihove psihološke prepreke prenose i izvan posla. Tim konstatacijama trebao je dug put da postanu sastavni dio menadžerske spoznaje i pristupa motivaciji (slika 1.).



Slika 1. Opći okvir za oblikovanje posla [1]

2.2. Pristupi oblikovanju posla

Oblikovanje posla je proces kojim se utvrđuje sadržaj posla, njegove funkcije i socijalni odnosi na poslu kako bi se postigli organizacijski ciljevi i zadovoljile individualne potrebe njegovih izvršitelja. S takvim pristupima se određuje koliko se kojih zadataka obavlja na nekom radnom mjestu, koje vještine su za to potrebne, koje odgovornosti i autoritet imaju izvršitelji i kako se taj posao povezuje s drugim poslovima.

Mogu se diferencirati dva pristupa oblikovanju posla: specijalistički i motivacijski pristup. Imaju različita polazišta i konzekvencije vezane uz motivaciju i ponašanje onih koji takve poslove obavljaju. Zahtijevaju

različiti pristup ljudskim potencijalima i njihovoj upotrebi (tabela 1.).

Tabela 1. Prednosti različitih pristupa oblikovanju posla[1]

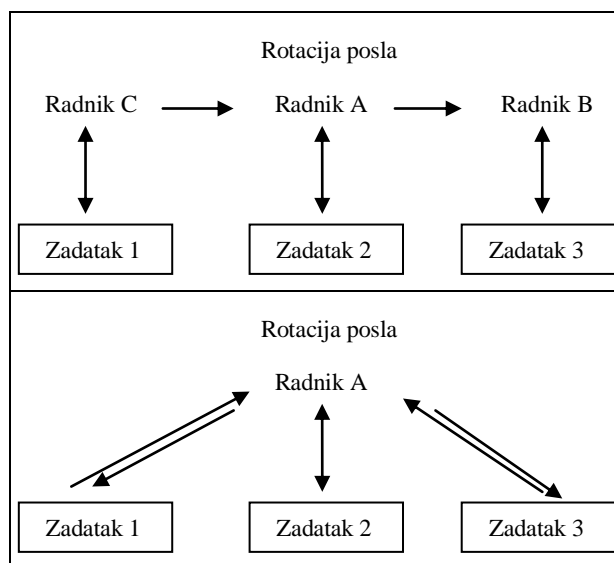
SPECIJALIZACIJSKI PRISTUP	MOTIVACIJSKI PRISTUP
Visoka proizvodnost nekvalificiranih	Visoka proizvodnost stručnih radnika
Potrebna manja obučavanja	Manje apsentizma
Lakše je zamijeniti radnika	Manje fluktuacija
Manja ovisnost o ljudima	Viša kvaliteta proizvoda i usluga
Manje pogrešaka	Više ideja i sugestija
Snizjenje troškova rada po jedinici	Veća fleksibilnost
Veća menadžerska kontrola operacija	Veće zadovoljstvo poslom

Polazište *motivacijskog pristupa* je intenzitet motivacije koji je zapravo oprečan intenzivnoj specijalizaciji, što znači da je usmjeren na povećanje raznolikosti, složenosti i autonomiji zadatka, većoj odgovornosti i autoritetu zaposlenih.

Specijalizacijski pristup je tradicionalni pristup koji radnu aktivnost svodi na najmanji mogući broj operacija i pokazuje da je njegova povezanost s većom efikasnošću ograničena upravo negativnim posljedicama koje ima na individualnom, psihičkom planu, proizvodeći dekvifikaciju, nezainteresiranost, apatiju, dosadu, demotivaciju, otuđenje i druge negativne efekte.

Dva osnovna pristupa, odnosno strategije motiviranja kroz oblikovanje i općenito intervencije u poslu koji obavlja pojedinac, usmjerena su na:

- smanjenje negativnih motivacijskih konzekvencija tehnološki uvjetovanih, vrlo specijaliziranih i jednostavnih poslova. Toj skupini pripadaju rotacija i proširenje posla.
- podizanje motivacijskog potencijala posla putem prikladnog oblikovanja i obogaćivanja posla



Slika 2. Rotacija i proširenje posla [2]

Rotacija posla je periodično pomicanje ljudi s jednog specijaliziranog posla na drugi. Time se sprječava monotonija i dosada. Rotacija se može obavljati tako da

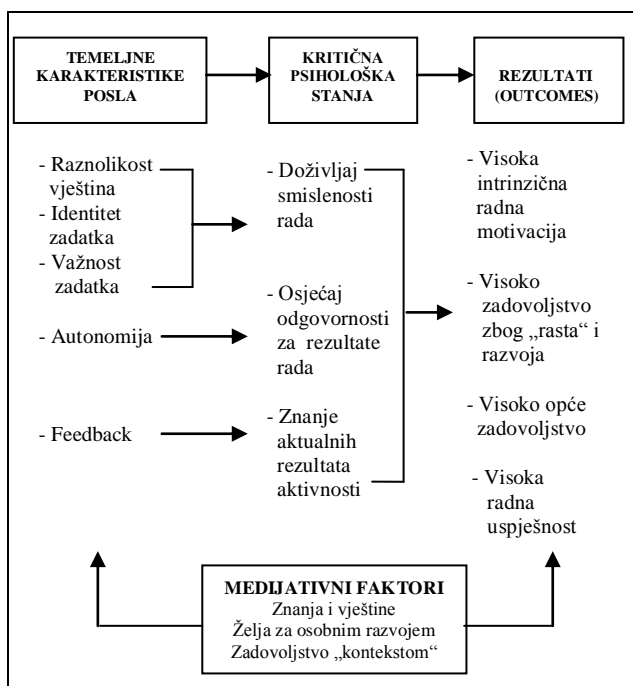
tijekom radnog dana pojedinac radi nekoliko sati na jednom poslu, zatim prelazi na drugi pa na treći. Tako se rotacija također može obavljati na duže vremensko razdoblje. Kod rotacije je bitna fleksibilnost radnika koji mogu obavljati sve poslove u jednoj grupi poslova.

Proširenje posla je proces kombiniranja i slaganja više sličnih specijaliziranih zadataka u jedan posao koji se dodjeljuje jednom izvršitelju. Npr., radnik na stroju dobiva poslove održavanja strojeva i kontrole kvalitete proizvoda (slika 2.).

2.3. Obogaćivanje posla

Riječ je o procesu koji vertikalno širi posao, uključujući u njega više različitih zadataka i vještina, odgovornosti i autonomije djelovanja tak da povećava mogućnost primjene i realizacije različitih osobnih sposobnosti i znanja, te omogućava individualni rast i razvoj.

To je stvarni motivacijski pristup poslu usmjeren na potpuni razvoj i korištenje individualnih mogućnosti i potencijala. Teorijske temelje i logiku strategije obogaćivanja posla najbolje objašnjava Hackman-Oldmanov model motivacijskog potencijala posla koji ističe temeljne ljudske potrebe i dimenzije posla kroz koje se one mogu zadovoljavati (slika 3.).



Slika 3. Obogaćivanje posla [3]

Ključne dimenzije posla povezane s njegovim motivacijskim potencijalom:

- *Raznolikost vještina* - stupanj u kojem posao iziskuje upotrebu različitih vještina u obavljanju raznih aktivnosti i zadataka koje obuhvaća
- *Identitet i cjelovitost zadataka* - stupanj u kojem posao zahtijeva izvršenje cjelovitog zadatka čiji se rezultati mogu pratiti
- *Važnost zadatka* - stupanj u kojem zadatak utječe na druge ljude unutar organizacije ili

izvan nje te na grupnu i organizacijsku uspješnost

- *Autonomija* - stupanj u kojem posao pruža slobodu, nezavisnost i diskrecijsko odlučivanje u planiranju i načinu obavljanja posla
- *Feedback* - stupanj u kojem izvršavanje radnih aktivnosti koje zahtijeva posao pruža pojedincima izravne i jasne informacije o njihovim rezultatima i uspješnosti

Obogaćivanje posla je vertikalno usmjeren, uz povećanje zahtjeva za raznim vještinama i znanjima (planiranje, odlučivanje, kontrola), koje su u ime efikasnosti izdvojene iz izvršavanja posla i dane menadžerima (tabela 2.)

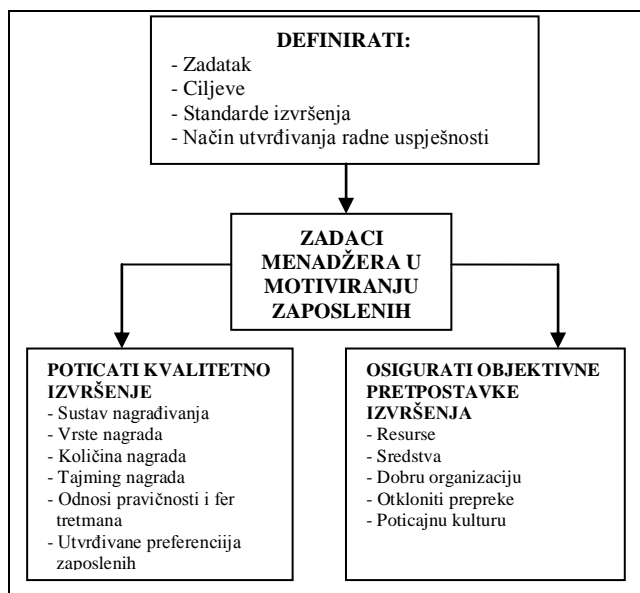
Tabela 2. Primjeri načela i pravila obogaćivanja posla[4]

NAČELA OBOGAĆIVANJA POSLA	MOTIVATORI
Odstranjivanje tradicionalnih oblika kontrole i osiguranje objektivnih standarda koji omogućavaju samokontrolu	Odgovornost i osobno postignuće
Povećanje odgovornosti pojedinca za vlastiti rad, planiranje i način izvršavanja	Odgovornost, autonomija, priznanje
Cjelovit radni zadatak	Smislenost, postignuće, priznanje, feedback
Osiguranje slobode i autonomije u radu	Priznanje, postignuće, odgovornost
Postavljanje izazovnih ciljeva, novih i težih zadataka	Razvoj i usavršavanje
Davanje periodičnih izvještaja zaposlenima i rasprava o problemima	Priznanje i poštovanje
Davanje specifičnih zadataka koji zaposlenima omogućavaju da postanu eksperti	Odgovornost, razvoj i napredovanje
Poticanje ideja i kreativnosti, uvođenje novog, rješavanje problema	Samoaktualizacija i razvoj, raznolikost
Timski rad i suradnja	Identifikacija, socijalna povezanost i pripadanje
Sudjelovanje u odlučivanju	Priznanje, status, poštovanje, Samoaktualizacija i razvoj

3. ZADACI MENADŽERA U MOTIVIRANJU LJUDI

Menadžeri su zbog svog stalnog i neposrednog komuniciranja, usmjeravanja i djelovanja na ponašanje zaposlenih presudni činitelji u njihovu motiviranju. Utjecanje na ponašanje bit je menadžmenta. Kako su menadžment i motivacija povezani i isprepleteni, menadžeri mogu na radnu motivaciju zaposlenih djelovati na različite načine i u različitim smjerovima, povećavajući ili smanjujući ju.

Oblikovanje radnih zadataka i posla vrlo je važan zadatak menadžmenta. Motivacija za obavljanje cjelovitih, smislenih i izazovnih zadataka koji pružaju autonomiju, osobni doprinos i stalne informacije o kvaliteti obavljanja, kako je već istaknuto, bit će veća nego kod uskih repetitivnih aktivnosti zadataka koji ne ostavljaju mnogo prostora svojim izvršiteljima (slika 4.).



Slika 4. Zadaci menadžera kod motiviranja [5]

Na radnu uspješnost djeluju i objektivni uvjeti kao što su organizacija rada, sredstva koja se upotrebljavaju, potrebni resursi koji uključuju znanja i informacije, a ne samo materijalni i objektivni resurse poput sirovina. Sve je više radnih mjesta na kojima su ključni resurs znanje i informacije. Vrlo važan zadatak menadžera u motiviranju zaposlenih je utvrđivanje i praćenje njihovih potreba i preferencija što se tiče nagrade za rad.

Tu je često nesporazum oko onoga što menadžeri misle da njihovi suradnici žele i ono što oni stvarno žele.

Tabela 3. Razlike u menadžerskoj percepciji o tome što zaposleni žele i stvarnih preferencija zaposlenih [6]

ŠTO LJUDI ŽELE U SVOM RADU	RANG PREFERENCIJA ZAPOSLENIH	RANG PO MIŠLJENJU
Zanimljiv posao	1	5
Puno poštovanje za obavljeni posao	2	8
Osjećaj da su u tijeku sa zbivanjima	3	10
Sigurnost posla	4	2
Dobra plaća	5	1
Promocija i razvoj u organizaciji	6	3
Dobre radne uvijete	7	4
Osobnu lojalnost menadžera	8	6
Disciplinu s puno takta	9	7
Suosjećajnu pomoć u osobnim problemima	10	9

Mišljenja menadžera o tome što motivira zaposlene često su rezultat njihovih stereotipa o zaposlenima, a ne stvarnog poznavanja i praćenja njihovih želja i preferencija (tabela 3.) O tome kako će menadžeri dobro obavljati svoje zadatke vezane uz motivaciju ovisit će velikim dijelom i o motivaciji zaposlenih. Menadžeri trebaju uz svoje mnoge zadaće paziti na svakodnevno ponašanje i odnose prema suradnicima. Participacija označava stupanj sudjelovanja zaposlenih u procesima odlučivanja o bitnim aspektima rada i poslovanja u organizaciji. To je proces kojim se u organizacijama zaposleni uključuju u proces odlučivanja i rješavanja različitih problema sa svrhom boljeg iskorištenja njihovih potencijala i boljeg ostvarenja organizacijskih ciljeva.

U suvremenom menadžmentu participacija se smatra:

- dobrim poslovnim potezom
- ekonomski najjeftinijim i najefikasnijim načinom motiviranja zaposlenih
- djelotvornim instrumentom upotrebe kreativnih potencijala zaposlenih

Ciljevi participacije:

- podizanje motivacije i zainteresiranost zaposlenih
- poticanje i upotreba kreativnih i ukupnih potencijala ljudi
- poboljšanje kvalitete odluka
- povećanje identifikacije s organizacijom
- podizanje kvalitete radnog života
- povećanje ukupne organizacijske uspješnosti

Participacija u odlučivanju, uz podizanje motivacije, podiže i kvalitetu odluka. Sve se više znanja potrebnog za donošenje kvalitetnih odluka nalazi na nižim organizacijskim razinama kod stručnjaka i izvršitelja poslova. Participacija u oblikovanju i uvođenju promjena također ima ne samo motivacijske nego i praktične efekte. Poznato je da najbolji način svladavanja otpora promjenama jest uključivanje onih na koje se promjene odnose u cijeli proces, te od identificiranja potrebe za promjenom, preko njenog koncipiranja do primjene.

3.1. Participacija zaposlenih: oblici i učinci

Participacija označava stupanj sudjelovanja zaposlenih u procesima odlučivanja o bitnim aspektima rada i poslovanja u organizaciji. To je proces kojim se u organizacijama zaposleni uključuju u proces odlučivanja i rješavanja različitih problema sa svrhom bolje upotrebe njihovih potencijala i boljeg ostvarivanja organizacijskih ciljeva.

Participacija ima više ciljeva:

- podizanje motivacije i zainteresiranosti zaposlenih
- poticanje i upotreba kreativnih i ukupnih potencijala ljudi
- poboljšanje kvalitete odluka
- povećanje identifikacije s organizacijom
- podizanje kvalitete radnog života
- povećanje ukupne organizacijske uspješnosti

Participacija u odlučivanju, uz podizanje motivacije, značajno podiže i kvalitetu odluka. Spuštanjem odlučivanja na razine na kojima je koncentrirano najviše znanja o problemu o kojem se odlučuje, i općenito uključivanje zaposlenika u proces odlučivanja, postižu se dva cilja: *podiže se kvaliteta odluke te se povećava neposrednost i brzina odlučivanja.*

Participacija u oblikovanju i uvođenju promjena kaže da je najbolji način svladavanja otpora promjenama uključivanje onih na koje se promjene odnose u cijeli proces, te od identificiranja potrebe za promjenom, preko njena koncipiranja do primjene.

Najpoznatiji oblik *participacije u rješavanju* problema su grupe označene općim nazivom "krugovi

kvalitete“, odnosno grupe kvalitete. To su male grupe zaposlenih (6-12) koje se redovito sastaju u svrhu utvrđivanja, analize i rješavanja različitih problema rada, proizvodnosti, kvalitete, unapređenja i dr. Participacija je vrlo djelotvorna strategija maksimalnog angažiranja kreativnih potencijala svih zaposlenih, usavršavanja i prenošenja znanja, te općenito razvoja zaposlenih.

Ključna su dva cilja „krugova kvalitete“:

- razviti i dizajnirati, te nuditi proizvode koji su najekonomičniji, najfunkcionalniji i najbolje zadovoljavaju potrebe i zahtjeve potrošača
- povećati kreativnost u radu svih zaposlenih jer se kvaliteta može povećati samo onda kad svi zaposleni žele biti kreativni

Među širim krugovima kvalitete obično se ističu:

- poboljšanje međuljudskih odnosa i promoviranje timskog rada
- razvijanje menadžerske strategije koja omogućava lakše svladavanje recesije i koja povećava profit
- poticanje zaposlenih na poboljšanje metoda rada i tehnologije
- povećanje motivacije i svestranosti zaposlenih stalnim usavršavanjem i razvojem
- podizanje kvalitete radnog života

3. FLEKSIBILNI OBLICI RADNOG VREMENA

3.1. Fleksibilno radno vrijeme

Najpoznatija i najduže primjenjivana strategija vezana uz radno vrijeme je fleksibilno radno vrijeme koje se u mnogim organizacijama primjenjuje već desetljećima. Radi se o mogućnostima da zaposleni sami unutar nekih okvira određuju najpogodnije radno vrijeme za obavljanje posla.

Postoje različite varijante njegove primjene:

- zaposlenici mogu odrediti vrijeme dolaska i odlaska s posla, uz određeno vrijeme obavezne prisutnosti na poslu (core time)
- određuje se razdoblje u kojemu se može dolaziti na posao i razdoblje u kojemu se može odlaziti s posla; pretpostavka je obiju varijanti da se dnevno radi predviđeno radno vrijeme
- uz okvirno vrijeme dolaska i odlaska s posla pruža se mogućnost da se neke dane radi manje, a neke više, odnosno mora se odraditi obavezno tjedno radno vrijeme

Fleksibilno radno vrijeme je pogodno za službeničke, stručne i menadžerske poslove, dok je manje primjereno proizvodnim poslovima. Omogućuje da se bolje uskladi individualni radni i biološki ritam, stil života, kao i obiteljske obaveze sa zahtjevima rada i profesije.

Pokazuje se da fleksibilni programi radnog vremena povećavaju pozitivne stavove i zadovoljstvo zaposlenih, smanjuju apsentizam, otklanjaju probleme zakašnjavanja, povećava se fleksibilnost zaposlenih.

Fleksibilno radno vrijeme ima niz prednosti, ali i neke nedostatke (tabela 4.).

Tabela 4. Prednosti i nedostaci fleksibilnog radnog vremena[7]

RANG	PREDNOSTI	NEDOSTACI
1	Poboljšava stavove i moral zaposlenih	Nedostatak nadzora tijekom svih sati rada
2	Pomaže zaposlenim roditeljima	Ključni ljudi mogu biti nedostupni u određeno vrijeme
3	Smanjuje prometne gužve	Može uzrokovati da u određeno vrijeme bude prisutno premalo ljudi
4	Povećava proizvodnost	Problem je usklađivanje zaposlenih čiji output je input za druge
5	Rješava zakašnjavanje	Problem dogovaranja vremena sastanka
6	Pomaže onima koji žele raditi bez ometanja	Zaposleni mogu zlorabiti program fleksibilnog radnog vremena
7	Olakšava zaposlenima dogovaranje obaveza izvan rada	Problem je evidentiranje odrađenih sati
8	Smanjuje apsentizam	Teško je planirati radno vrijeme
9	Olakšava slobodne aktivnosti zaposlenih	Nemogućnost koordiniranja projekta
10	Smanjuje fluktuaciju	

3.2. Drugi alternativni oblici radnog vremena

Nova mogućnost koju poduzeća pružaju svojim zaposlenicima u svrhu povećanja motivacije jest skraćeni, odnosno sažeti radni tjedan u kojem se predviđeni radni sati mogu odraditi u četiri dana po 10 sati, ili u čak tri radna dana. Prednost ovakvog načina radnog vremena je smanjivanje troškova prijevoza na posao i dodatni slobodni dani, dok je nedostatak moguća premorenost i općenito problem umora tijekom dugosatnog radnog dana.

Posebni oblik alternativnih oblika rada koji se intenziviraju u novije vrijeme, sa svrhom povećanja motivacije i fleksibilnosti zaposlenih i organizacije, je *fleksibilno radno mjesto* koje omogućava zaposlenima rad kod kuće. Suvremena tehnologija taj trend intenzivira kroz „telerad“ koji omogućava rad kod kuće upotrebom računala i elektroničke pošte. Trend koji se javlja u Europi je pojam *fleksibilne radne godine* gdje zaposlenici mogu birati (u intervalima od 6 mjeseci) broj sati u mjesecu koji žele raditi svaki mjesec sljedeće godine. *Uvjetovano slobodno vrijeme* je program koji se također provodi u mnoštvu organizacija stvarajući mogućnost, ponajprije onima koji rade proizvodne, često jednostavne, repetitivne i rutinske poslove da ih obave u kraćem vremenu. Ono je moguće tamo gdje su precizno utvrđeni dnevni standardi ili norme rada. Poduzeća koja primjenjuju takve programe redovito postavljaju visoke standarde koji uključuju i standarde kvalitete, a ne samo kvantitete. Poduzeća koja se služe takvim programima kažu da su oni vrlo djelotvorni za povećanje motivacije i proizvodnosti.

4. DRUGE NEMATERIJALNE STRATEGIJE MOTIVIRANJA

4.1. Priznavanje uspjeha

Osobno i profesionalno priznavanje je glavni činitelj motivacije. Priznavanje može često imati i materijalni i financijski oblik.

Naputci za ponašanje menadžera u tom području:

- priznati uspjeh i dobro obavljen posao
- sići u pogon i razgovarati s ljudima, pohvaliti one koji rade
- slaviti na neformalan način važnije događaje i sitne poslovne i radne uspjehe
- napraviti ponekad posebne obroke u tvorničkom restoranu kako bi se obilježili važni datumi
- razviti ritual slanja određenog broja poruka zahvala
- poklanjati sitnice koje označavaju zahvalu za dobro obavljen posao

4.2. Povratna informacija

Znanje ljudi o tome kako dobro rade, koliko je njihov rad važan i rezultira dobrim (i lošim) rezultatima, vrlo je važan faktor motivacije, jer je poznavanje rezultata vlastitog rada jedan od najmoćnijih i najdjelotvornijih motivacijskih pristupa.

Povratna informacija o radu i radnoj uspješnosti ima više funkcija:

- povećava motivaciju
- potiče samopouzdanje
- omogućava profesionalni razvoj
- pojašnjava organizacijska očekivanja i standarde uspješnosti
- ima funkciju potkrepljenja poželjnih oblika ponašanja
- vodi uspostavljanju otvorenih odnosa i međusobnog povjerenja
- pruža podršku i pomoć suradnicima
- poučava o tome kako treba raditi
- govori o tome da se rad prati i cijeni

Da bi povratna informacija imala pozitivno motivacijsko djelovanje, treba zadovoljiti neke temeljne pretpostavke. Ona mora biti:

- točna i objektivna
- pravodobna, konkretna i usmjerena na ponašanje, a ne kao osoba
- iskrena, vjerodostojna i dosljedna
- pozitivna povratna informacija treba biti javna, a negativna „u četiri oka“
- poticati na veće rezultate i usmjeravanje

Na motivaciju za rad ne djeluje samo povratna informacija o radu i postignutim rezultatima već općenito odgovarajuće informiranje ljudi o bitnim stvarima rada i poslovanja.

4.3. Organizacijska kultura

Važan činitelj motivacije su socijalna klima i kultura koje vladaju u organizaciji. Organizacijska kultura je onaj segment organizacije koji zaposlenima šalje „signale“ o tome što je poželjno, a što nepoželjno ponašanje i što se u konkretnoj organizaciji cijeni i vrednuje.

Kultura koja potiče visoku motivaciju ima sljedeća obilježja:

- veže svoje temeljne vrijednosti uz ljude, kvalitetan rad i usluge potrošačima i klijentima
- osigurava velik prostor i prilagođava se potrebama i zahtjevima sposobnih i kreativnih ljudi
- razvija klimu koja potiče nagrađivanje kreativnosti i inovatorima daje velike nagrade; ne kažnjava pogreške; potiče preuzimanje rizika; traži stalno unapređenje, eksperimentiranje i uvođenje promjena
- stvara neformalnu prijateljsku atmosferu koja naporan rad čini ugodnijim i zabavnijim
- stvara i širi osjećaj uspjeha, zadovoljstva i ponosa zbog dobrog rada i visoke individualne i organizacijske kvalitete i uspješnosti
- širi duh zajedništva i brige poduzeća o ljudima

Sve to vodi većoj motivaciji i stvara temeljne pretpostavke za bolji rad svih zaposlenih.

4.4. Motiviranje i samomotiviranje

Motivacija za rad je vrlo složena i dinamična značajka uspješnog poslovanja, dok su mogućnosti menadžera i pravci djelovanja na nju vrlo široki i raznoliki. Kako je motivacija važna za rad i osobno zadovoljstvo, zaposleni trebaju imati aktivnu ulogu u podizanju vlastite motivacije. Dok su menadžeri odgovorni stvoriti motivirajuću okolinu u organizaciji, pojedinci su odgovorni za samomotiviranje. Motiviranje i samomotiviranje snažan su činitelj motivacije mogućnosti stalnog usavršavanja i razvoja.

Važni aspekt motiviranja i samomotiviranja su ti da zaposleni daju na znanje menadžerima što bi željeli raditi, a što ne, koji su njihovi profesionalni interesi, kakve nagrade žele za uspješan rad i radni doprinos. Ukratko, bitna pretpostavka je otvorena i dvosmjerna komunikacija. Osim toga, potrebno je u motiviranju zaposlenih razviti individualizirani pristup i odmjeriti strategije motiviranja prema potrebama, interesima i preferencijama onih na čiju se motivaciju želi djelovati.

5. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Nakon provedene analize može se zaključiti da se sustav, odnosno mehanizmi nematerijalne motivacije koncentriraju na oblikovanje, provedbu i održavanje različitih oblika motivacije zaposlenika.

Kako su menadžment i motivacija povezani i isprepleteni, menadžeri mogu na motivaciju zaposlenih

utjecati na različite načine i u različitim smjerovima, povećavajući ju ili ju pak smanjujući. Stoga se pristup menadžera ponajprije temelji na koncepciji čovjeka, njegove naravi i motivacije koji su osnova za razradu i primjenu konkretnih organizacijskih i menadžerskih rješenja. Time se ukazuje na karakter ljudi i njihove želje i potrebe vezane uz posao, a o tome bitno ovisi što menadžeri poduzimaju i pružaju u svrhu motiviranja svojih zaposlenih.

Čovjek je biće koje teži zadovoljenju različitih potreba, a one su postavljene hijerarhijski, od fizioloških do potreba za samoostvarivanjem. Ta potreba se naziva motiv. Motiva ima ograničen broj, ali su zato načini zadovoljenja veoma različiti jer postoje velike individualne razlike među ljudima. Postoje različita shvaćanja motivacije. Ključna razlika u shvaćanju motivacije vezana je uz sagledavanje čovjeka kao ekonomsko, odnosno socijalno biće. Oba pristupa nose sa sobom problem produktivnosti, odnosno neproduktivnost. Produktivno shvaćanje motivacije uvažava raznolike čovjekove potrebe koje uključuju i ekonomske i socijalne potrebe. Ovo shvaćanje čovjeka kao složeno biće, primijenjeno na radu, omogućava veću produktivnost.

Funkcionalna autonomija motiva objašnjava da jedan cilj s vremenom može postati sam sebi svrha. Ako poznamo motivacijski model pojedinca, odnosno znamo koje su njegove najvažnije potrebe, možemo postaviti takve optimalne ciljeve koji će kao rezultat imati veću produktivnost uz osiguranje motiviranosti. Optimalan cilj je konkretan, s jasnim vremenskim rokom i jasnom odgovornošću.

Motivacija je ključna za visoke standarde poslovanja, za poticanje kreativnosti, stvaralaštva i inovativnosti, za profesionalni razvoj zaposlenih i njihovo zadržavanje u tvrtki. U tvrtkama koje nemaju razrađenu strategiju motivacije i nagrađivanja vlada loša radna atmosfera, nedostaje odgovornosti i povjerenja, pa se zaposlenici loše osjećaju te neminovno dolazi do stagnacije i nazadovanja. Nasuprot tome, u tvrtkama u kojima su zaposlenici motivirani, na posao se dolazi u pozitivnom razmišljanju, a zaposlenici se identificiraju s tvrtkom i nastoje doprinijeti njenom razvoju i rastu.

6. LITERATURA

- [1] Carrell, M. R., Elbert, N. F., Hatfield, R. D., Human Resource Management: Global Strategies for Managing a Diverse Work Force, 5th ed., Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1995.
- [2] Daft, L. R., Management, Forth Worth TX, The Dryden Press, 1997.
- [3] Hackman J. R., Oldham, G. R., Work Redesign, Reading, MA, Addison-Wesley, 1980.
- [4] Herzberg, F., One More Time: How Do You Motivate Employees, Harvard Business Review, 46(1), 1968., 53-62
- [5] Bahtijarević-Šiber, F.: Management ljudskih potencijala, Golden Marketing, Zagreb, 1999.
- [6] Kreitner, R. : Management, 4th ed., Boston, MA, Houghton Mifflin, 1989.

- [7] Dessler, G.: Personnel / Human Resources Management, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1991.

Kontakt autora:

dr.sc. Krešimir Buntak, prof. visoke škole
 Veleučilište u Varaždinu
 J.Križanića 33, 42000 Varaždin
 098/357-494
kresimir.buntak@inet.hr

Ivana Droždek, univ.spec.oec., asistent
 Veleučilište u Varaždinu
 J.Križanića 33, 42000 Varaždin
 042/493-320
ivana.drozdek@velv.hr

Robert Kovačić
 Novi Feromont d.d.
 Kolodvorska bb, 40320 Donji Kraljevec
kovacic.ro@gmail.com

INTEGRACIJA VELV-a I MEDIJSKOG SVEUČILIŠTA PRI KRAJU

Proces integracije VELV-a i Medijskog sveučilišta je pri kraju. Potpisani su svi potrebni ugovori između osnivača i ustanova te je ostalo donijeti još nekoliko odluka na razini ustanove. Nova integrirana ustanova, odnosno sveučilište, s radom će započeti s početkom sljedeće akademske godine tj. 1. listopada 2013. Novo sveučilište je utemeljeno na principima dva ravnopravna Sveučilišna centra, koji će imati svoja sjedišta u gradovima u kojima su osnovani. Tako će se sjedište Sveučilišnog centra Koprivnica nalaziti u Koprivnici, na adresi Trg Žarka Dolinara 1, a sjedište Sveučilišnog centra Varaždin u Varaždinu, na adresi J. Križanića 33/6.

MINISTAR JOVANOVIĆ DAO PUNU PODRŠKU BUDUĆEM SVEUČILIŠTU

Ministar znanosti, obrazovanja i sporta dr.sc. Željko Jovanović istaknuo je tijekom posjeta Veleučilištu u Varaždinu u svibnju kako se smjer u kojem se razvija Veleučilište u Varaždinu odnosno skori dovršetak integracije VELV-a i Medijskog sveučilišta u jako regionalno



sveučilište, u regiji koja ima 500.000 stanovnika, u potpunosti uklapa u viziju razvoja Hrvatske u idućim godinama te će ga ministarstvo nastaviti podržati i financirati na isti način kao i do sada. Ministar Jovanović istaknuo je nadu će se buduće integrirano sveučilište nastaviti razvijati u smjeru tehničkih i biomedicinskih znanosti koje su deficitarne u Hrvatskoj, kako u nastavi, tako i u istraživačkom dijelu svojih aktivnosti jer su Hrvatskoj potrebna i istraživačka sveučilišta. 'Kad sagledamo taj i sve druge aspekte', kazao je, 'ovo sveučilište ima moju punu podršku'.

VELV I MZOS POTPISALI PROGRAMSKI UGOVOR O SUBVENCIJI TROŠKOVA REDOVNIH STUDENATA U IDUĆE TRI GODINE

Veleučilište u Varaždinu i Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta potpisali su Ugovor o punoj subvenciji participacije redovitih studenata u troškovima studija u akademskim godinama 2012./2013., 2013./2014. i 2014./2015. Njime se Ministarstvo znanosti obvezuje u potpunosti subvencionirati troškove studija redovitih studenata, onih koji prvi puta upisuju studij u spomenutim akademskim godinama te svim onim redovitim studentima koji zadovoljavaju propisane kriterije MZOS-a za redovni upis u više godine studija. Potpisivanje Ugovora je rezultat rada Veleučilišta u Varaždinu i kontinuiranih nastojanja svih zaposlenih, ali i studenata Veleučilišta, za poboljšanjem kvalitete i dostizanjem najviših standarda među ustanovama ovog tipa u Republici Hrvatskoj, ali i šire.

ODRŽAN 2. IMPUT MOP FESTIVAL



Od 24. do 31. svibnja u Varaždinu se održao drugi festival multimedije pod nazivom Imput Mop 2.0. Tijekom tjedan dana festivala posjetitelji su doživjeli mnoštvo zanimljivih sadržaja, od radionica i predavanja do izložbi i partyja. Festival organiziraju Studentski zbor Veleučilišta u Varaždinu, uz potporu VELV-a i Udruga Imput.

12pt

12pt

12pt

NASLOV NA HRVATSKOM JEZIKU (Stil: Arial Narrow, 14pt, Bold, Verzal, Center)

12pt

NASLOV NA ENGLLESKOM JEZIKU (Stil: Arial Narrow, 14pt, Verzal, Center)

12pt

Ivan Horvat, Thomas Johnson (Stil: Times, 12pt, Bold, Italic, Center)

12pt

Kategorizacija članka

Sažetak: Sažetak članka na hrvatskom jeziku sa najviše 150 riječ pisan jezikom članka (obično hrvatski). Sažetak mora što vjernije odražavati sadržaj članka. U njemu se navode upotrijebljene metode i ističu ostvareni rezultati kao i doprinos članka. Časopis *TEHNIČKI GLASNIK / TECHNICAL JOURNAL* objavljuje znanstvene i stručne radove iz područja strojarstva, elektrotehnike, graditeljstva, multimedije, logistike a također i iz njihovih graničnih područja. Ovaj dokument se koristiti kao predložak za pisanje članka kako bi svi članci imali isti način prijeloma (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

Ključne riječi: Abecedni popis ključnih riječi na hrvatskom jeziku (5-6 ključnih riječi). Ključne riječi u pravilu su iz naslova članka, a samo eventualno iz sažetka člank., (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

Categorization article

Abstract: Sažetak članka na engleskom jeziku (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

Key words: ključne riječi na engleskom jeziku (Stil: Times New Roman, 10 pt, Italic)

10pt

10pt

1. OBLIKOVANJE ČLANKA (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Verzal, Align Center)

10pt

Članak se piše latiničnim pismom, a za oznake se može koristiti i grčko pismo. Opseg članka u pravilu se ograničava na osam stranica A4 formata (sukladno predlošku s uključenim svim slikovnim priložima).

10pt

1.1. Osnovna uputstva (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Align Left)

10pt

(Uvlaka prvog reda 5mm) Dokument je formata A4 sa marginama 20 mm sa svake strane. Koristi se prijelom u dvije kolone međusobno udaljene 7 mm. Za tekući tekst se koristi vrsta pisma Times New Roman sa jednostrukim proredom, veličina pisma 10 pt, obostrano poravnanje.

Naslov članka mora jasno odražavati problematiku članka (sadrži ne više od 15 riječi).

Tekst članka dijeli se na poglavlja, a po potrebi poglavlja se dijele na potpoglavlja. Poglavlja se označavaju rednim arapskim brojevima. Potpoglavlja, kao dijelovi poglavlja, označavaju se s dva redna arapska broja kao npr. 1.1, 1.2, 1.3, ... Potpoglavlje se može podijeliti na još manje cjeline koje se označavaju sa tri redna arapska broja, npr. 1.1.1, 1.1.2, ... Daljnja podjela nije poželjna.

Nazivi glavnih poglavlja se pišu velikim slovima (verzalom) i poravnavaju se u centar, a nazivi potpoglavlja (kao i manjih cjelina) pišu se malim slovima (kurentom) te se poravnavaju u lijevo. Ako tekst naziva potpoglavlja i manjih cjelina prelazi u više

redaka tada se definira viseća uvlaka (hanging intent) 0,5 mm.

10pt

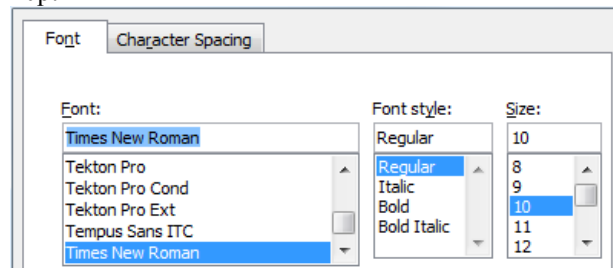
1.2. Oblikovanje slika, tabela i jednadžbi (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Align Left)

10pt

Slike (crteži, dijagrami, fotografije) koje čine sadržaj ugrađuju se u članak te poravnavaju se u centar. Kako bi slika uvijek zauzimala isto mjesto u odnosu na tekst prilikom uvoza moraju se definirati postavke Text wrapping / Inline with text.

Slike moraju biti pripremljene za grafičku reprodukciju sa minimalnom rezolucijom od 300dpi. Slike skinute s interneta sa 72dpi u veličini 1:1 nisu primjerene za reproduciranje u tisku zbog loše kvalitete.

10pt

**Slika 1.** Tekst ispod slike [1]

(Stil: Times New Roman, 10pt, Align Center)

10pt

Tisak knjižnog bloka je u crnoj boji stoga treba prilagoditi slike takvom načinu reproduciranja kako se svijetli tonovi (svijetle boje) ne bi izgubili u tisku ili tekst u slikama bio nečitljiv. Slike moraju ostati u koloru zbog

objavljivanja u elektronskom obliku. Slike se kroz čitavi članak numeriraju u slijedu arpskim brojkama.

10pt

Tabela 1. Naslov tabele poravnat u centar
(Stil: Times New Roman, 10pt, Align Center)

	1	2	3	4	5	6
ABC	ab	ab	ab	ab	ab	ab
DEF	cd	cd	cd	cd	cd	cd
GHI	ef	ef	ef	ef	ef	ef

10 pt

Tekst i ostali podaci u tabelama oblikuju se kao Times New Roman, 8pt, Normal, Align Center.

Prilikom opisivanja slika i tabela fizikalne veličine i njihovi faktori ispisuju se kosim slovima latinične abecede ili grčkog alfabeta, dok se za mjerne jedinice i brojke upotrebljavaju uspravni znakovi.

Jednadžbe u tekstu numeriraju se arapskim brojevima u okruglim zagradama uz desni rub teksta, a na njih se u tekstu poziva pomoću broja jednadžbe u okruglim zagradama, npr. ".... iz (5) slijedi"

10pt

Jednadžba 1 (1)

10pt

Jednadžba 2 (2)

10pt

10pt

2. UVODNE NAPOMENE

10pt

Ponudeni članak ne smije biti ranije objavljen, bilo u jednakom ili sličnom obliku, niti smije biti istodobno ponuđen drugom časopisu. Za sadržaj članka, autentičnost podataka i tvrdnji u njemu isključivo i u cijelosti odgovara autor ili autori.

Članci prihvaćeni za objavljivanje svrstavaju se u četiri kategorije: izvorni znanstveni članci (original scientific papers), prethodna priopćenja (preliminary communications), pregledni članci (subject reviews) i stručni članci (professional papers).

U **izvorne znanstvene članke** svrstavaju se radovi, koji po ocjeni recenzentata i Uredničkog odbora, sadrže originalne teorijske ili praktične rezultate istraživanja. Ovi članci trebaju biti napisani tako da se na osnovi danih informacija može ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate, odnosno autorova opažanja, teorijske izvode ili mjerenja.

Prethodno priopćenje sadrži jedan novi znanstveni podatak ili više njih, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućavale provjeru kao kod izvornih znanstvenih članaka. U prethodnom se priopćenju mogu dati rezultati eksperimentalnih istraživanja, rezultati kraćih istraživanja ili istraživanja u tijeku, kojih se objavljivanje procijeni korisnim.

Pregledni članak sadrži cjelovit prikaz stanja i tendencija određenog područja teorije, tehnologije ili primjene. Članci ove kategorije su preglednog karaktera s kritičkim osvrtom i ocjenom. Citirana literatura mora biti dovoljno cjelovita tako da omogući dobar uvid i uključivanje u prikazano područje.

Stručni članak može sadržavati prikaz originalnog rješenja nekog uređaja, sklopa ili instrumenta, prikaz važnijih praktičnih izvedbi i slično. Rad ne mora biti vezan uz originalna istraživanja, nego sadrži doprinos

primjeni poznatih znanstvenih rezultata i njihovoj prilagodbi potrebama prakse, pa je doprinos širenju znanja, itd.

Izvan navedene kategorizacije Urednički odbor časopisa pozdravit će i članke zanimljivog sadržaja za rubriku "Zanimljivosti". U ovim člancima daju se opisi praktičnih izvedbi i rješenja iz proizvodnje, iskustva iz primjene uređaja i slično.

10pt

10pt

3. PISANJE ČLANKA

10pt

Članak se piše hrvatskim jezikom te se metrološki i terminološki valja uskladiti sa zakonskim propisima, normama (ISO 80000 serija) i međunarodnim sustavom jedinica (SI). Materija u članku izlaže se u trećem licu jednine.

Uvod sadrži opis problema i prikaz važnijih rezultata radova opisanih u citiranoj literaturi. Navodi se način rješavanja problema, koji se opisuje u članku, kao i prednosti predloženog postupka.

Središnji dio članka može se sastojati od nekoliko dijelova. Treba izbjegavati matematičke izvode koji opterećuju praćenje izlaganja. Neizbježni matematički izvodi mogu se po potrebi, dati kao cjeline u obliku jednog priloga ili više njih. Preporuča se navođenje primjera kad je potrebno ilustrirati proceduru eksperimenta, postupak primjene rezultata rada u konkretnom slučaju ili algoritam predložene metode. Razmatranje treba u pravilu eksperimentalno potvrditi.

Zaključak u kojem se navode ostvareni rezultati i naglašava efikasnost korištenog postupka. Istaknuti treba eventualna ograničenja postupka kao i područja moguće primjene dobivenih rezultata.

10pt

10pt

4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

10pt

Gotovi članci pripremljeni u MS Word za Windows i prelomljeni prema ovom predlošku šalju se Uredništvu časopisa Tehnički Glasnik na slijedeću e-mail adresu: zivko.kondic@velv.hr

Urednički odbor zadržava pravo manjeg redakcijskog ispravka članka u okviru priprema za tisak. Članke, koji u bilo kojem pogledu ne zadovoljavaju naputak autorima, Urednički će odbor vratiti autoru. Radi eventualnih nejasnoća u svezi predloženog članka, Urednički se odbor obraća samo prvom autoru, ako ima nekoliko autora, i uvažava samo stavove koje iznese prvi autor.

10pt

10pt

5. LITERATURA

10pt

Literatura se navodi redosljedom kojim se citira u članku. Pojedine literarne reference iz popisa literature u tekstu pozivaju se odgovarajućim brojem u uglatim zagradama, npr. ".... u [7] je pokazano ...". U popisu literature svaka se jedinica označava brojem, a navodi se prema sljedećim primjerima (podnaslove iznad referenci izostaviti – dani su kao primjer izvora):

10pt

knjige:

- [1] Franklin, G. F.; Powel, J. D.; Workman, M. L.: Digital Control of Dynamic System, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1990
- [2] Kostrenčić, Z.: Teorija elastičnosti, Školska knjiga, Zagreb, 1982.

članci u časopisima:

- [3] Michel, A. N.; Farrell, J. A.: Associative Memories via Artificial Neural Networks, IEEE Control System Magazine, Vol. 10, No. 3 (1990) 6-17
- [4] Dong, P.; Pan, J.: Elastic-Plastic Analysis of Cracks in Pressure-Sensitive Materials, International Journal of Solids and Structures, Vol. 28, No. 5 (1991) 1113-1127
- [5] Kljajin, M.: Prijedlog poboljšanja proračuna parametara dodira na primjeru evolventnih bokova zubi, Tehnički vjesnik/Technical Gazette, Vol. 1, No. 1,2 (1994) 49-58

članci u zbornicima znanstveno-stručnih skupova:

- [6] Albertsen, N. C.; Balling, P.; Laursen, F.: New Low Gain S-Band Satellite Antenna with Suppressed Back Radiation, Proc. 6th European Microwave Conference, Rome, September 1976, 14-17
- [7] Kljajin, M.; Ergić, T.; Ivandić, Ž.: Izbor robota za zavarivanje uvjetovan konstrukcijom proizvoda, Zbornik radova - 3. međunarodno savjetovanje proizvodnoga strojarstva/3rd International Conference on Production Engineering CIM '95, Zagreb, November 1995, C-35 - C-41

poveznice (linkovi):

- [8] http://www.sciencedaily.com/articles/w/wind_power.htm (Dostupno:19.06.2012.)

10pt

10pt

Kontakt autora:

10pt

Ime Prezime, titula

Institucija, tvrtka

Adresa

Tel./Fax,e-mail