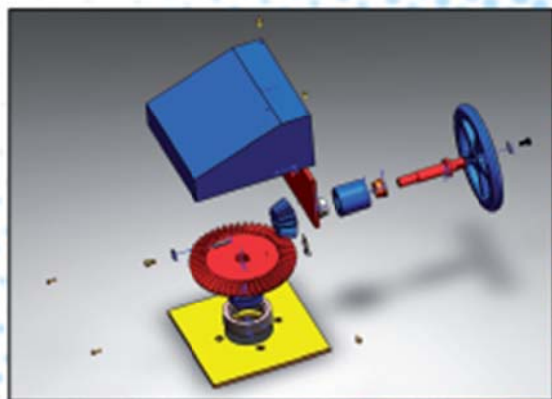
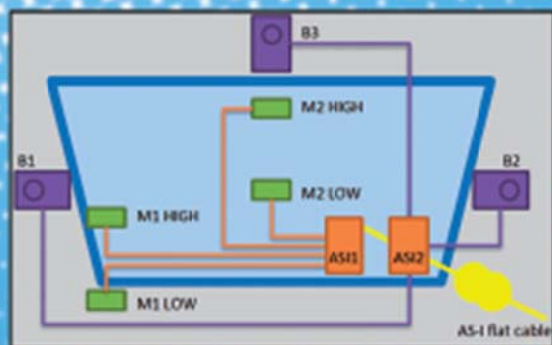


Tehnički Glasnik

Technical Journal



Prostorni i oblikovnije složenost reduktora s ručnim vođenjem



Korištenje i prednosti AS-i komunikacijskog protokola u industriji

ISSN 1846-6168
Godište (Volume) 7
Broj (Number) 4
Stranica (Pages) 329-442
Varaždin, prosinac (December) 2013.

TEHNIČKI GLASNIK TECHNICAL JOURNAL

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

Godište (Volume) 7
Varaždin, rujan (September) 2013.

Broj (Number) 3
Stranica (Pages) 221-328

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/knjiznica/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 i Roberto LUJIĆ (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 FER 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, Klimentko 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):

Rujan (September) 2013.

SADRŽAJ
 CONTENT

<i>Stojić M.</i> METODE RAČUNANJA VIŠEFOTONSKIH PROCESA METHODS OF CALCULATING MULTIPHOTON PROCESSES	329
<i>Modrić D., Petric Maretić K., Itrić K.</i> MODELIRANJE PODPOVRŠINSKOG RASPRŠENJA FOTONA U PAPIRU MONTE CARLO SIMULACIJOM MODELLING OF SUBSURFACE PHOTON SCATTERING IN PAPER BY MONTE CARLO SIMULATION	337
<i>Klimenko Y., Chernieva O., Arez Mohammed Ismael</i> REZULTATI ISPITIVANJA OŠTEĆENIH GREDA T-PRESJEKA TEST RESULTS OF THE DAMAGED T-SECTION BEAMS	344
<i>Zlatić S.</i> KAOTIČNO PONAŠANJE ITERACIJSKOG PROCESA U NEWTONOVOJ METODI – NEWTONOV FRAKTAL CHAOTIC BEHAVIOUR IN NEWTON ITERATIVE PROCESS APPROACH – NEWTON'S FRACTAL	347
<i>Petrović I., Vinković M.</i> KORIŠTENJE I PREDNOSTI AS-I KOMUNIKACIJSKOG PROTOKOLA U INDUSTRIJI USAGE AND ADVANTAGES OF AS-I COMMUNICATION PROTOCOL FOR INDUSTRY	355
<i>Srpak J.</i> PRIMJENA VIZUALIZACIJE PROCESA U DIJAGNOSTICI KVAROVA APPLICATION OF PROCESS VISUALIZATION TO FAILURE DIAGNOSTICS	359
<i>Čehajić N.</i> PASIVNO KORIŠTENJE SUNČEVE ENERGIJE U ZGRADARSTVU - TROMBOV ZID PASSIVE USE OF SOLAR ENERGY IN BUILDING CONSTRUCTION - TROMB WALL	363
<i>Hršak B., Badrov T., Lovrić V.</i> PRORAČUN I OBLIKOVANJE STOŽASTOG REDUKTORA S RUČNIM KOLOM CALCULATION AND DESIGN OF A CONICAL GEARBOX WITH MANUAL WHEEL	371
<i>Srpak J.</i> REGULACIJA RAZINE POMOĆU MIKROKONTROLERA LEVEL REGULATION USING MICROCONTROLLER	376
<i>Hozdić E., Hozdić E.</i> PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADE ZA FLEKSIBILNE PROIZVODNE SISTEME PLANNING OF TECHNOLOGICAL PROCESS PROCESSING FOR FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS	381
<i>Ludošan Ž., Bernik A., Vusić D.</i> 3DS STUDIO MAX – ANIMACIJA ČESTICA S pFLOW I KRAKATOA SUSTAVOM 3DS STUDIO MAX - PARTICLE ANIMATION WITH pFLOW AND KRAKATOA SYSTEM	391
<i>Vinko Štajdohar S., Tomiša M., Valdec D.</i> OBLIKOVANJE WEB STRANICA PRIMJENOM CSS-a 3 CREATING A WEBSITE USING CSS 3	399
<i>Gotal M.</i> PREGLED ODABRANIH PRISTUPA VODSTVU I NJIHOVA PRIMJENA U SUVREMENIM ORGANIZACIJAMA OVERVIEW OF THE SELECTED LEADERSHIP APPROACHES AND THEIR APPLICATION IN MODERN ORGANIZATIONS	405
<i>Badrov T., Pavlic T., Hršak B.</i> STUDENTSKI PODUZETNIČKO-TEHNOLOŠKI INKUBATOR U BJELOVARU STUDENT ENTREPRENEURIAL-TECHNOLOGICAL INCUBATOR IN BJELOVAR	414
<i>Buntak K., Droždek I., Lepen G.</i> SUKLADNOST TEHNIČKIH PROIZVODA I CE ZNAK CONFORMITY OF TECHNICAL PRODUCTS AND THE CE SIGN	419
<i>Božić D., Stanković R., Kolarić G.</i> ANALIZA UTJECAJA AGREGACIJE UZORAKA NA PROGNOZU POTRAŽNJE ANALYSIS OF THE PATTERN AGGREGATION IMPACT ON THE DEMAND FORECASTING	426
<i>Božić D., Vrček K., Bajor I.</i> DEKOMPIZICIJA PROCESA KAO OSNOVA ZA MJERENJE LOGISTIČKIH PERFORMANCI PROCESS DECOMPOSITION AS A BASIS FOR LOGISTICS PERFORMANCE MEASURING	431
<i>Vrhovski, Z., Kurtanjek, T., Miletić, M.</i> RAZVOJ SUSTAVA ZA MJERENJE POVRŠINE POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA KORIŠTENJEM OPERACIJSKOG SUSTAVA ANDROID DEVELOPMENT OF THE SYSTEM FOR AGRICULTURAL LAND MEASURING USING THE ANDROID OPERATING SYSTEM	435

Naputak autorima
Instructions for authors

III

METODE RAČUNANJA VIŠEFOTONSKIH PROCESA

METHODS OF CALCULATING MULTIPHOTON PROCESSES

Marko Stojić

Pregledni rad

Sažetak: Računanje višefotonskih procesa polazi od vremenskog računa smetnje u kojem je glavni problem, pri određivanju vjerojatnosti procesa, provođenje beskonačne sumacije po međustanjima atoma. Za rješavanje ovog problema razvijeno je više matematičkih metoda. Osnovni cilj ovog rada je usporedba različitih metoda koje se koriste u teoriji višefotonskih procesa. U tu svrhu izložen je pregled metoda i provedena komparacija dobivenih rezultata na dvofotonskim procesima. Račun je proveden na vodiku sličnim atomima, jer su ovi jednostavni sustavi prikladni za računanje svim izloženim metodama.

Ključne riječi: metoda implicitnog sumiranja, metoda Greenovih funkcija, Kelsey-Macekova metoda, metoda izravnog sumiranja, višefotonski procesi, vodiku slični atomi

Review article

Abstract: Calculating multiphoton processes starts from the time-dependent perturbation theory. The main difficulty in determining the probability of the process is computing the infinite summation over intermediate states of atom. There are several mathematical methods that can be used to solve this problem. The aim of the paper is to compare the different methods used in the theory of multiphoton processes. For this purpose, we restricted ourselves to two-photon transitions in hydrogen-like atoms, because these simple systems are suitable for numerical calculations in all the approaches considered.

Key words: Method of implicit summation, Method of Green functions, Method of Kelsey and Macek, Method of direct summation, multiphoton processes, hydrogen-like atoms

1. UVOD

Kvantnomehanički procesi s istodobnim sudjelovanjem više fotona u pobuđivanju, raspadu, raspršenju i ionizaciji atoma sličnih vodiku ili heliju i nakon više od pola stoljeća ostaju predmet interesa fizičara. Prvi račun vremena života metastabilnog stanja atoma vodika, uz pretpostavku da se deekscitacija obavlja simultanom emisijom dvaju fotona, proveli su Breit Teller [2] 1940. godine. Međutim, sama ideja dvofotonskih prijelaza između stacionarnih, diskretnih stanja u atomu potiče od Maie Göppert-Mayer [1]. Ona promatra raspršenja fotona na elektronima u atomu, te uspijeva reproducirati eksperimentalno mjerene širine spektralnih linija [3] kada se prijelazi između diskretnih stanja odvijaju istodobno emisijom ili apsorpcijom dvaju fotona. Od tog vremena pa do današnjih dana ne prestaje interes fizičara za ove zanimljive i složene procese. Glavni razlozi interesa su ispitivanje valjanosti određenih hipoteza i provjera efikasnosti različitih algoritama te učinjenih aproksimacija.

U ovom radu izložen je pregled i usporedba osnovnih metoda koje se koriste pri računanju višefotonskih procesa. Usporedba metoda provedena je na jednostavnim sustavima jer oni mogu jamčiti pouzdanost i točnost svake od metoda. Osim toga,

jednostavni sustavi su značajni i po tome što se koriste i za testiranje osnovnih postavki bilo koje teorije.

Određivanje amplitude vjerojatnosti višefotonskih procesa bazira se na provođenju sumacija po međustanjima atoma, koja obuhvaća diskretni i kontinuirani dio spektra. U prikazu su opisane metode kojima je ovaj problem na zadovoljavajući način riješen, a to su: metoda implicitnog sumiranja, metoda Greenovih funkcija i Kelsey-Macekova metoda. Rezultati dobiveni spomenutim metodama uspoređeni su s rezultatima koji su u ovom radu dobiveni metodom izravnog sumiranja. Račun je proveden za procese dvofotonske emisije u vodiku i njemu sličnim atomima.

2. SPONTANA DVOFOTONSKA EMISIJA

Pri određivanju vjerojatnosti višefotonskih procesa osnovni problem predstavlja sumacija po međustanjima. Računanje uključuje sumaciju po svim diskretnim stanjima i integracija po kontinuiranom dijelu spektra. Za ilustraciju ovog postupka uzet ćemo određivanje vjerojatnosti spontane dvofotonske emisije koja je dana izrazom [4]

$$W_{fg}^{(2)} = \frac{1}{2} \frac{2^{10} \pi^6 e^4}{c^6} \int_0^\infty |P^{(2)}|^2 v_1^3 v_2^3 dv_1, \quad (2.1)$$

pri čemu je

$$|P^{(2)}|^2 = \left| \sum_c \frac{\langle g | \vec{r} \varepsilon_2 | c \rangle \langle c | \vec{r} \varepsilon_1 | f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_1}} + \frac{\langle g | \vec{r} \varepsilon_1 | c \rangle \langle c | \vec{r} \varepsilon_2 | f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_2}} \right|^2. \quad (2.2)$$

Uvođenjem novih oznaka

$$P_{fg}^{(2)}(v_1) = \sum_c \frac{\langle g | \vec{r} \varepsilon_2 | c \rangle \langle c | \vec{r} \varepsilon_1 | f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_1}},$$

$$P_{fg}^{(2)}(v_2) = \sum_c \frac{\langle g | \vec{r} \varepsilon_1 | c \rangle \langle c | \vec{r} \varepsilon_2 | f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_2}}, \quad (2.3)$$

izraz (2.2) pišemo u obliku

$$|P^{(2)}|^2 = |P_{fg}^{(2)}(v_1) + P_{fg}^{(2)}(v_2)|^2. \quad (2.4)$$

Vjerojatnost spontane dvofotonske emisije prema izrazu (2.1) iskazat ćemo preko funkcije spektralne raspodjele pa će biti

$$W_{fg} = \frac{1}{2} \int_0^\infty A(v_1) dv_1, \quad (2.5)$$

gdje je

$$A(v_1) = \frac{2^{10} \pi^6 e^4}{c^6} v_1^3 v_2^3 |P^{(2)}|^2 \quad (2.6)$$

i predstavlja spektralnu raspodjelu vjerojatnosti dvofotonske emisije.

Pošto su frekvencije emitiranih fotona međusobno ovisne jer je

$$hv_1 + hv_2 = E_f - E_g, \quad (2.7)$$

za računanje spektralne raspodjele (2.6) bit će glavni problem određivanje izraza (2.2). Da bismo odredili sumaciju matrice elemenata u izrazu (2.2), uzet ćemo valnu funkciju elektronskih stanja u atomu

$$|i\rangle = R_{n_i l_i}(r) Y_{l_i m_i}(\Omega), \quad (2.8)$$

gdje je $R_{n_i l_i}(r)$ radijalni dio, dok je $Y_{l_i m_i}(\Omega)$ kutni dio funkcije stanja. Uvrštavanjem valne funkcije u izraze (2.3), te pisanjem operatora \vec{r} u obliku $\vec{r} = \hat{r}r$, dobivamo

$$P_{fg}^{(2)}(v_1) = \sum_{n_c l_c} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_1}} A_{l_f l_g}(v_1),$$

$$P_{fg}^{(2)}(v_2) = \sum_{n_c l_c} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_2}} A_{l_f l_g}(v_2), \quad (2.9)$$

pri čemu su kutni dijelovi matrice elemenata dani izrazima

$$A_{l_f l_g}(v_1) = \langle Y_{l_g m_g}(\Omega) | \hat{r} \varepsilon_2 | Y_{l_c m_c}(\Omega) \rangle \langle Y_{l_c m_c}(\Omega) | \hat{r} \varepsilon_1 | Y_{l_f m_f}(\Omega) \rangle,$$

$$A_{l_f l_g}(v_2) = \langle Y_{l_g m_g}(\Omega) | \hat{r} \varepsilon_1 | Y_{l_c m_c}(\Omega) \rangle \langle Y_{l_c m_c}(\Omega) | \hat{r} \varepsilon_2 | Y_{l_f m_f}(\Omega) \rangle. \quad (2.10)$$

Za određivanje izraza (2.9) treba provesti sumaciju preko svih međustanja, što predstavlja stanovitu poteškoću jer sumacija ide u beskonačnost. Da bi se ova poteškoća na neki način prevladala, bit će razrađeno nekoliko matematičkih metoda.

3. METODA IMPLICITNOG SUMIRANJA

Problem beskonačne sumacije po međustanjima koji se javlja u izrazima (2.9) može se svesti na problem rješavanja diferencijalnih jednačini. Ovaj „trik“ koristio je Lennard-Jones 1930. godine [5] kod izvođenja pravila suma. U literaturi se ovakav postupak pojavljuje pod imenom Schwartz-Tiemonnova metoda [6], premda su ga već prije koristili Dalgarno i Lewis [7] pri računanju djelovanja protona na vodikov atom. Godinu dana prije Brown, Peierls i Woodward [8] kod računanja raspršenja fotona na K elektronima u teškim atomima koriste istu ideju, ali ovaj put za Diracov elektron.

Postupak razrađen ovom metodom ilustrirat ćemo na jednom od izraza iz relacija (2.9), pri čemu razmatrati samo radijalne doprinose, tj.

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) = \sum_{n_c l_c} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_i}}, \quad (3.1)$$

gdje je $i = 1, 2$.

Uvođenjem nove oznake za dio izraza koji obuhvaća sumaciju po međustanjima

$$F = \sum_{n_c l_c} \frac{|n_c l_c\rangle \langle n_c l_c | r}{E_c - E_{n_f} + E_{v_i}}, \quad (3.2)$$

izraz (3.1) poprima oblik

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) = \langle n_g l_g | r F | n_f l_f \rangle. \quad (3.3)$$

Izraz (3.3) može se izračunati nakon određivanja izraza (3.2). Koristeći relaciju potpunosti

$$\sum_{n_c l_c} |n_c l_c\rangle \langle n_c l_c| = 1, \quad (3.4)$$

možemo pisati

$$\sum_{n_c l_c} |n_c l_c\rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle = r |n_f l_f\rangle. \quad (3.5)$$

Ako izraz (3.5) pomnožimo i podijelimo s nazivnikom u jednadžbi (3.2) imamo

$$\sum_{n_c l_c} (E_{n_c} - E_{n_f} + E_{v_i}) |n_c l_c\rangle \frac{\langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_{n_c} - E_{n_f} + E_{v_i}} = r |n_f l_f\rangle. \quad (3.6)$$

Budući da je

$$H_0 |n_c l_c\rangle = E_{n_c} |n_c l_c\rangle, \quad (3.7)$$

zamjenom u prethodnu jednadžbu dobivamo

$$(H_0 - E_{n_f} + E_{v_i}) \sum_{n_c l_c} |n_c l_c\rangle \frac{\langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_{n_c} - E_{n_f} + E_{v_i}} = r |n_f l_f\rangle, \quad (3.8)$$

odnosno

$$(H_0 - E_{n_f} + E_{v_i}) F |n_f l_f\rangle = r |n_f l_f\rangle. \quad (3.9)$$

Iznaženjem rješenja Schrödingerove jednadžbe (3.9) bit će riješen i problem sumiranja u izrazu (3.1).

Uzimajući hamiltonijan H_0 u obliku

$$H_0 = -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} r - \frac{\mathbb{L}^2}{r^2} \right) - \frac{Ze^2}{r} \quad (3.10)$$

te uvrštavanjem u jednadžbu (3.9) i množenjem s r , nakon kraćeg sređivanja dobivamo jednadžbu oblika

$$\left[E_{v_i} - E_{n_f} - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dr^2} - \left(\frac{Ze^2}{r} - \frac{\hbar^2}{2m} \frac{l_c(l_c+1)}{r^2} \right) \right] U(r, v_i) = r^2 |n_f l_f\rangle, \quad (3.11)$$

gdje je

$$U(r, v_i) = \sum_{n_c l_c} r |n_c l_c\rangle \frac{\langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_{n_c} - E_{n_f} + E_{v_i}}.$$

Dobivenu diferencijalnu jednadžbu možemo riješiti korištenjem Laplaceovih transformacija.

Množenjem jednadžbe (3.11) s r^2 i uvođenjem funkcije

$$S(r, v_i) = \int_0^\infty U(r, v_i) e^{-pr} dr, \quad (3.12)$$

nakon kraćeg sređivanja imamo

$$\left(E_{v_i} - E_{n_f} - \frac{\hbar^2}{2m} p^2 \right) \frac{d^2 S(p, v_i)}{dp^2} - \left(\frac{2\hbar^2}{m} p - Ze^2 \right) \frac{dS(p, v_i)}{dp} + \frac{\hbar^2}{2m} [l_c(l_c+1) - 2] S(p, v_i) = \int_0^\infty r^4 R_{n_f l_f}(r) e^{-pr} dr. \quad (3.13)$$

Na ovaj način dobili smo nehomogenu diferencijalnu jednadžbu koja se rješava standardnim matematičkim metodama.

Ako znamo $S(r, v_i)$ možemo odrediti $U(r, v_i)$, a nakon toga prema izrazu (3.3) bit će

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) = \int_0^\infty R_{n_g l_g}(r) U(r, v_i) r^2 dr. \quad (3.14)$$

Metoda implicitnog sumiranja korištena je za računanje udarnih presjeka kod ionizacije vodika. Dobiveni rezultati pokazuju da višefotonska ionizacija ima rezonantnu strukturu [9,10].

4. METODA GREENOVIH FUNKCIJA

Metoda Greenovih funkcija je poznata matematička metoda za rješavanje nehomogenih diferencijalnih jednadžbi. Kao i u drugim područjima fizike, i ovdje se pokazala vrlo efikasnom.

Ideja se sastoji u tome da se sumacija po međustanjima zamijeni funkcijom

$$G_E(\vec{r}, \vec{r}') = \sum_n \frac{\psi_n(\vec{r}) \psi_n^*(\vec{r}')}{E_n - E}, \quad (4.1)$$

koju razvijamo po kuglinim funkcijama

$$G_E(\vec{r}, \vec{r}') = \sum_{lm} g_l(E, r, r') Y_l^m(\Omega) Y_l^{m*}(\Omega'). \quad (4.2)$$

U nerelativističkoj aproksimaciji $g_l(E, r, r')$ je rješenje pripadne Schrödingerove jednadžbe.

Metodu Greenovih funkcija ilustrirat ćemo na prethodnom primjeru dvofotonskih prijelaza [11]. Prvo ćemo jednadžbu (3.9) prikazati u nešto prikladnijem obliku, tj.

$$(H_0 - E) F |n_f l_f\rangle = r |n_f l_f\rangle, \quad (4.3)$$

gdje je $E = E_{n_f} - E_{v_i}$, ($i = 1, 2$).

Iznaženje rješenja jednadžbe (4.3), tj. određivanje $F |n_f l_f\rangle$ možemo lako odrediti $P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i)$ iz jednadžbe (3.1).

Da bismo našli rješenje jednadžbe (4.3) metodom Greenovih funkcija, potrebno je odrediti rješenje diferencijalne jednadžbe oblika

$$(H_0 - E)g_l(E, r, r') = -\frac{1}{r^2}\delta(r - r'). \quad (4.4)$$

Nakon određivanja $g_l(E, r, r')$ iz gornje jednačbe, rješenje Schrödingerove jednačbe (4.3) bit će

$$FR_{n_f l_f}(r) = -\int_0^\infty g_l(E, r, r') r' R_{n_f l_f}(r') r'^2 dr'. \quad (4.5)$$

Rješenje jednačbe (4.4) ćemo potražiti uzimajući hamiltonijan s Coulombovim potencijalom.

Tako dobivamo diferencijalnu jednačbu oblika

$$\left\{ -\frac{\hbar^2}{2m} \left[\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{d}{dr} \right) - \frac{l(l+1)}{r^2} \right] - \frac{Ze^2}{r} - E \right\} g_l(E, r, r') = -\frac{1}{r^2} \delta(r - r'). \quad (4.6)$$

Rješenje gornje jednačbe dato je preko poznatih Whittakerovih funkcija

$$g_l(E, r, r') = -\frac{ma_0}{\hbar^2} \frac{\Gamma(l+1-n)}{\Gamma(2l+2)} \frac{v}{Zrr'} M_{n, l+\frac{1}{2}} \left(\frac{2Zr'}{na_0} \right) W_{n, l+\frac{1}{2}} \left(\frac{2Zr}{na_0} \right), \quad (4.7)$$

pri čemu je a_0 Bohrov radijus.

Poznajući rješenje jednačbe (4.6) možemo naći rješenje jednačbe (4.5), a zatim odrediti (3.3), tj.

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) = \langle n_g l_g | rF | n_f l_f \rangle.$$

Metoda Greenovih funkcija pokazala se vrlo uspješnom u računanju jednostavnih prijelaza, kao i složenijih procesa višega reda [11-17].

5. KELSEY-MACEKOVA METODA

Mogućnost određivanja vjerojatnosti prijelaza preformuliranom metodom implicitnog sumiranja pokazali su Edvard Kelsey i Joseph Macek u svom radu 1975. godine [18]. Postupak je analogan, kao u već spomenutoj metodi implicitnog sumiranja, samo što se Schrödingerova jednačba rješava na nešto drukčiji način. Uvođenjem valne funkcije preko diferencijalnih operatora i korištenjem funkcije izvodnice za Laguerrove polinome Schrödingerova jednačba se svodi na Laguerrovu diferencijalnu jednačbu čija su rješenja poznata.

Radi ilustracije elegantnosti ovog računa krenut ćemo od izraza $P_{fg}^{(2)}(v_2)$ u (2.3), tako da uz zamjenu $v = v_2$, imamo

$$P_{fg}^{(2)}(v) = \sum_c \frac{\langle g | \bar{r} \bar{\epsilon}_1 | c \rangle \langle c | \bar{r} \bar{\epsilon}_2 | f \rangle}{E_c - E}, \quad (5.1)$$

gdje je $E = E_f - E_v$.

Uvođenjem diferencijalnih operatora izraz (5.1) možemo prikazati i na sljedeći način:

$$P_{fg}^{(2)}(v) = \left[\left(\bar{\epsilon}_1 \frac{\partial}{\partial \bar{k}_g} \right) \left(\bar{\epsilon}_2 \frac{\partial}{\partial \bar{k}_f} \right) \sum_c \frac{\langle g | e^{i\bar{k}_g \bar{r}} | c \rangle \langle c | e^{i\bar{k}_f \bar{r}} | f \rangle}{E_c - E} \right]_{\substack{\bar{k}_g=0, \bar{k}_f=0}} \quad (5.2)$$

Valne funkcije početnog i konačnog stanja atoma također ćemo iskazati preko diferencijalnih operatora:

$$\begin{aligned} |f\rangle &= D_f(\mu_f, a_f) e^{-\mu_f r + i\bar{a}_f \bar{r}} \Big|_{\mu_f = \frac{1}{n_f}, \bar{a}_f = 0}, \\ |g\rangle &= D_g(\mu_g, a_g) e^{-\mu_g r + i\bar{a}_g \bar{r}} \Big|_{\mu_g = \frac{1}{n_g}, \bar{a}_g = 0}. \end{aligned} \quad (5.3)$$

Uvrštavanjem spomenutih funkcija u izraz (5.2) dobivamo

$$P_{fg}^{(2)}(v) = \left[\left(\bar{\epsilon}_1 \frac{\partial}{\partial \bar{k}_g} \right) \left(\bar{\epsilon}_2 \frac{\partial}{\partial \bar{k}_f} \right) D_f(\mu_f, a_f) D_g(\mu_g, a_g) M_{fg} \right]_{\substack{\mu_f = \frac{1}{n_f}, \bar{a}_f = \bar{a}_g = 0 \\ \mu_g = \frac{1}{n_g}, \bar{a}_g = 0}}, \quad (5.4)$$

gdje je

$$M_{fg} = \sum_c \frac{\langle e^{-\mu_g r} | e^{i\bar{p}_g \bar{r}} | c \rangle \langle c | e^{i\bar{p}_f \bar{r}} | e^{-\mu_f r} \rangle}{E - E_c}, \quad (5.5)$$

pri čemu je

$$\begin{aligned} \bar{p}_f &= \bar{k}_f + \bar{a}_f, \\ \bar{p}_g &= \bar{k}_g - \bar{a}_g. \end{aligned} \quad (5.6)$$

Uvođenjem nove funkcije

$$\left| \psi(\bar{p}_f, \bar{r}) \right\rangle = \sum_c \frac{|c\rangle \langle c | e^{i\bar{p}_f \bar{r}} | e^{-\mu_f r} \rangle}{E - E_c}, \quad (5.7)$$

izraz (5.5) pišemo

$$M_{fg} = \langle e^{-\mu_g r} | e^{i\bar{p}_g \bar{r}} | \psi(\bar{p}_f, \bar{r}) \rangle. \quad (5.8)$$

Problem određivanja M_{fg} , prema izrazu (5.8), svodi se na iznalaženje funkcije $\left| \psi(\bar{p}_f, \bar{r}) \right\rangle$ koja zadovoljava nehomogenu diferencijalnu jednačbu

$$(H_0 - E) \left| \psi \left(\vec{p}_f, \vec{r} \right) \right\rangle = -e^{i\vec{p}_f \vec{r}} \left| e^{-\mu_f r} \right\rangle, \quad (5.9)$$

Za rješavanje Schrödingerove jednačbe (5.9) koja sadrži Coulombov potencijal prikladno je, zbog mogućnosti razdvajanja varijabli, koristiti parabolične koordinate. Adekvatnim zamjenama jednačba se svodi na Laguerrovu diferencijalnu jednačbu čija su rješenja također poznata.

6. METODA IZRAVNOG SUMIRANJA

Računanje radijalnog dijela matričnog elementa svoju osnovu ima u radovima Gordona [19] i Stobbea [20]. Njihove tabele i pravila suma koriste H.A. Bethe i E.E. Salpeter u važnom radu pod nazivom "Quantum Mechanics of One-and Two Electron Systems" [21]. Kad god se računaju efekti drugog reda u računu smetnje, u sumaciji i integraciji preko svih međustanja, uzima se samo jedno ili dva međustanja, ocjenjujući da ostala međustanja bitno ne doprinose procesu koji se istražuje ili se razlika energija između osnovnog i nekog drugog stanja zamjenjuje srednjom vrijednošću.

Objekti aproksimacije svode problem na izvođenje integrala

$$R_{nl}^{n'l'} = \int_0^\infty R_{nl}(r) R_{n'l'}(r) r^3 dr, \quad (6.1)$$

gdje su radijalne funkcije iskazane preko pridruženih Laguerrovih polinoma [22]. Ovakva metoda rezanja baze i uvođenje srednje frekvencije prijelaza koristila se i kod prvih ocjena vjerojatnosti višefotonskih procesa, a poznata je pod imenom Bebb-Goldova metoda. Ovaj postupak primjenjuje se za određivanje vjerojatnosti ionizacije atoma apsorpcijom većeg broja fotona [23,24]. Iako se ova metoda zbog velikih aproksimacija smatra manje točnom, proveli smo njenu modifikaciju i pokazali da se uz adekvatnu računsku tehniku i njome može postići točnost koja se postiže ostalim metodama.

U ovom radu izložit ćemo modificiranu metodu izravnog sumiranja i pokazati njenu primjenu na dvofotonskim procesima između vezanih stanja elektrona.

Krenut ćemo od izraza za sumaciju preko svih međustanja, dakle

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) = \sum_{n_c l_c} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_i}}. \quad (6.2)$$

Pošto sumacija ide preko svih međustanja, uključujući i stanje kontinuuma, izvršit ćemo razdvajanje na sumaciju po diskretnim stanjima do $n_c(\max)$ i integraciju preko stanja kontinuuma, tako da će prvi dio sumacije biti

$${}^1 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) = \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\max)} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_c - E_f + E_{v_i}}, \quad (6.3)$$

dok će doprinos kontinuuma biti

$${}^2 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) = \sum_{l_c} \int_0^\infty \frac{\langle n_g l_g | r | k l_c \rangle \langle k l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_c + \frac{1}{2} k^2 + E_{v_i}} k^2 dk, \quad (6.4)$$

gdje je

$$E_c = E_\infty - E_{n_f}. \quad (6.5)$$

Kako vidimo, još je ostao jedan dio sumacije i to od $n_c(\max)$ do beskonačnosti, koji ćemo odrediti aproksimativno polazeći od relacije:

$$\begin{aligned} \langle n_g l_g | r^2 | n_f l_f \rangle &= \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\max)} \langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle \\ &+ \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\infty)} \langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle \\ &+ \sum_{l_c} \int_0^\infty \frac{\langle n_g l_g | r | k l_c \rangle \langle k l_c | r | n_f l_f \rangle}{\pi_0} k^2 dk. \end{aligned} \quad (6.6)$$

Pošto se energija vezanih stanja elektrona u atomu za velike kvantne brojeve sporo mijenja, moguće je izvršiti usrednjavanje, tj.

$$\bar{E} = \frac{1}{2} \left[E_{n_c(\max)} + E_{n_c(\infty)} \right]. \quad (6.7)$$

Usrednjavanjem energije možemo iskazati preostali dio sumacije koristeći relaciju (6.6), pa će biti:

$$\begin{aligned} {}^3 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) &= \left[\langle n_g l_g | r^2 | n_f l_f \rangle - \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\max)} \langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle \right. \\ &\left. - \sum_{l_c} \int_0^\infty \frac{\langle n_g l_g | r | k l_c \rangle \langle k l_c | r | n_f l_f \rangle}{\pi_0} k^2 dk \right] (\bar{E} - E_{n_f} + E_{v_i})^{-1}. \end{aligned} \quad (6.8)$$

Znajući izraze (6.3), (6.4) i (6.8) možemo napisati konačni izraz za sumaciju preko međustanja za dvofotonske procese:

$$\begin{aligned} P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) &= {}^1 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) + {}^2 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i) \\ &+ {}^3 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(v_i). \end{aligned} \quad (6.9)$$

Na ovaj način, provođenjem sumacije do neke maksimalne vrijednosti kvantnog broja $n_c(\max)$, a zatim usrednjavanjem energije, dobiva se pouzdana metoda kojom se mogu procjenjivati doprinosi stanja u konačnoj sumaciji. Primjenu i usporedbu ove metode sa spomenutim metodama provest ćemo na vodik i njemu sličnim atomima.

7. VJEROJATNOST DVOFOTONSKIH PROCESA U VODIKU I NJEMU SLIČNIM ATOMIMA

Radi usporedbe metoda odabire se izračun dvofotonskih prijelaza u vodik i njemu sličnim atomima jer je to račun koji se može provesti sa svim do sada spomenutim metodama.

Spektralna raspodjela vjerojatnosti dvofotonske emisije dana je izrazom (2.6) koji glasi:

$$A(\nu_1) = \frac{2^{10} \pi^6 e^4}{c^6} \nu_1^3 \nu_2^3 |P^{(2)}|^2,$$

gdje je

$$|P^{(2)}|^2 = \frac{1}{(2l_g+1)(2l_f+1)} \sum_{m_g, m_f} \left[P_{fg}^{(2)}(\nu_1) + P_{fg}^{(2)}(\nu_2) \right] A_{l_f l_g} \Big|_{av} \Big|^2, \quad (7.1)$$

pri čemu je kutni dio amplitude prijelaza dan izrazom

$$A_{l_f l_g} = \sum_{m_c} \langle Y_{l_g m_g}(\Omega) | \hat{r} \hat{\varepsilon}_1 | Y_{l_c m_c}(\Omega) \rangle \langle Y_{l_c m_c}(\Omega) | \hat{r} \hat{\varepsilon}_2 | Y_{l_f m_f}(\Omega) \rangle. \quad (7.2)$$

Kratice „av“ označava usrednjavanje po relativnon kutu između vektora polarizacije $\hat{\varepsilon}_1$ i $\hat{\varepsilon}_2$.

Energija emitiranih fotona iz atoma mora odgovarati razlici energijskih stanja u atomu

$$E_{\nu_1} + E_{\nu_2} = E_{n_f} - E_{n_g}, \quad (7.3)$$

odnosno zbroj frekvencija oba fotona je

$$\nu_1 + \nu_2 = \frac{E_{n_f} - E_{n_g}}{2\pi\hbar}. \quad (7.4)$$

Razliku energija atoma vodika izrazit ćemo u jedinicama

$$\left(\frac{me^4}{\hbar^2} \right), \text{ pa će biti}$$

$$E_{n_f} - E_{n_g} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{n_g^2} - \frac{1}{n_f^2} \right). \quad (7.5)$$

Uvrštavanjem dobivenog izraza u (7.4) dobivamo

$$\nu_1 + \nu_2 = \frac{1}{4\pi\hbar} \left(\frac{1}{n_g^2} - \frac{1}{n_f^2} \right). \quad (7.6)$$

Uvođenjem nove varijable

$$x = \frac{\nu_1}{\nu_1 + \nu_2}, \quad (7.7)$$

frekvencije atoma pišemo

$$\nu_1 = x \frac{1}{4\pi\hbar} \left(\frac{1}{n_g^2} - \frac{1}{n_f^2} \right), \quad (7.8)$$

$$\nu_2 = (1-x) \frac{1}{4\pi\hbar} \left(\frac{1}{n_g^2} - \frac{1}{n_f^2} \right). \quad (7.9)$$

Koristeći dobivene izraze funkcija spektralne raspodjele vjerojatnosti poprima oblik

$$A(x) = \frac{1}{4} \left(\frac{\alpha}{a_0} \right)^6 \left(\frac{n_f^2 - n_g^2}{n_f^2 n_g^2} \right)^6 x^3 (1-x)^3 |P(x)^{(2)}|^2, \quad (7.10)$$

gdje je

$$|P(x)^{(2)}|^2 = \frac{1}{(2l_g+1)(2l_f+1)} \sum_{m_g, m_f} \left[P_{fg}^{(2)}(x) + P_{fg}^{(2)}(1-x) \right] A_{l_f l_g} \Big|_{av} \Big|^2, \quad (7.11)$$

pri čemu je α konstanta fine strukture.

Da bismo odredili funkciju spektralne raspodjele vjerojatnosti prijelaza prema izrazu (7.10), moramo odrediti doprinose:

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x) = \sum_{n_c l_c} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_{n_c} - E_{n_f} + x(E_{n_f} - E_{n_g})}, \quad (7.12)$$

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x) = \sum_{n_c l_c} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_{n_c} - E_{n_f} + (1-x)(E_{n_f} - E_{n_g})}. \quad (7.13)$$

Polazeći od postupka koji se koristi kod metode izravnog sumiranja, tj prema relacijama (6.3), (6.4) i (6.8) izraz (7.12) pišemo:

$${}^1 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x) = \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\max)} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_{n_c} - E_{n_f} + x(E_{n_f} - E_{n_g})}, \quad (7.14)$$

$${}^2 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x) = \sum_{l_c} \int_0^\infty \frac{\langle n_g l_g | r | k l_c \rangle \langle k l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_l + \frac{1}{2} k^2 + x(E_{n_f} - E_{n_g})} k^2 dk, \quad (7.15)$$

$${}^3 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x) = \left[\langle n_g l_g | r^2 | n_f l_f \rangle - \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\max)} \langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle - \sum_{l_c} \int_0^\infty \frac{\langle n_g l_g | r | k l_c \rangle \langle k l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_l + \frac{1}{2} k^2 + x(E_{n_f} - E_{n_g})} k^2 dk \right] \left[\bar{E} - E_{n_f} + x(E_{n_f} - E_{n_g}) \right]^{-1}. \quad (7.16)$$

Na ovaj način izraz (7.12) postaje

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x) = {}^1 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x) + {}^2 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x) + {}^3 P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x). \quad (7.17)$$

Analognim postupkom ispisujemo i izraz (7.13), tj.:

$${}^1P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x) = \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\max)} \frac{\langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_{n_c} - E_{n_f} + (1-x)(E_{n_f} - E_{n_g})}, \quad (7.18)$$

$${}^2P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x) = \sum_{l_c} \int_0^{\infty} \frac{\langle n_g l_g | r | k l_c \rangle \langle k l_c | r | n_f l_f \rangle}{E_l + \frac{1}{2}k^2 + (1-x)(E_{n_f} - E_{n_g})} k^2 dk, \quad (7.19)$$

$${}^3P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x) = \left[\langle n_g l_g | r^2 | n_f l_f \rangle - \sum_{l_c} \sum_{n_c}^{n_c(\max)} \langle n_g l_g | r | n_c l_c \rangle \langle n_c l_c | r | n_f l_f \rangle - \sum_{l_c} \int_0^{\infty} \langle n_g l_g | r | k l_c \rangle \langle k l_c | r | n_f l_f \rangle k^2 dk \right] \left[\bar{E} - E_{n_f} + (1-x)(E_{n_f} - E_{n_g}) \right]^{-1}, \quad (7.20)$$

pa će biti

$$P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x) = {}^1P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x) + {}^2P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x) + {}^3P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x). \quad (7.21)$$

Pošto smo odredili $P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(x)$ i $P_{n_f l_f n_g l_g}^{(2)}(1-x)$, lako možemo odrediti funkciju spektralne raspodjele vjerojatnosti prema izrazu (7.10).

8. USPOREDBA METODA

Da bismo pokazali i utvrdili pouzdanost metode izravnog sumiranja, treba usporediti dobivene rezultate. Pošto su funkcije spektralne raspodjele $A(x)$ izražene u ovisnosti o relativnoj energiji, usporedit ćemo rezultate za vrijednosti $0 \leq x \leq 0.5$. Rezultati dobiveni metodom izravnog sumiranja uspoređeni su s rezultatima drugih metoda u tablicama 1, 2, 3, i 4, pri čemu je sumacija po diskretnim stanjima provedena do $n_c(\max) = 35$.

Tablica 1. Usporedba metode implicitnog sumiranja MIMS [27] i metode izravnog sumiranja MIS

Prijelazi	ν (10^{15} Hz)	MIMS $A(\nu)$ (10^{-15})	MIS $A(\nu)$ (10^{-15})
2s — 1s	1.233	8.638	8.6338
3s — 1s	1.4614	1.779	1.7777
4s — 1s	1.5413	0.6410	0.64066
5s — 1s	1.5783	0.3026	0.30249
6s — 1s	1.5984	0.1672	0.16708
3d — 1s	1.4614	6.717	6.7133
4d — 1s	1.5413	3.685	3.6836
5d — 1s	1.5783	2.084	2.0830
6d — 1s	1.5984	1.268	1.2671

Tablica 2. Usporedba metode Greenovih funkcija MGF [26] i metode izravnog sumiranja MIS za 3s-1s prijelaze

x	MGF $A(x)$ (10^{-15})	MIS $A(x)$ (10^{-15})
0.01125	1.4662	1.46615
0.0225	2.6254	2.62535
0.03375	3.6308	3.63085
0.05625	5.5534	5.55349
0.1125	1.6208(1)	1.62083(1)
0.12375	2.4132(1)	2.41328(1)
0.135	4.4913(1)	4.49133(1)
0.14625	1.5516(2)	1.55166(2)
0.1575	7.2245(3)	7.22364(3)
0.16875	4.9055(1)	4.90546(1)
0.180	8.3333	8.33323
0.19125	1.9874	1.98741
0.2025	4.1926	4.19256
0.21375	3.2841(-2)	3.28448(-2)
0.2250	1.7903(-2)	1.79047(-2)
0.28125	7.4246(-1)	7.42465(-1)
0.3375	1.2789	1.27891
0.39375	1.5836	1.58357
0.450	1.7369	1.73689

Tablica 3. Usporedba metode Greenovih funkcija MGF [26] i metode izravnog sumiranja MIS za 3d-1s prijelaze

x	MGF $A(x)$ (10^{-15})	MIS $A(x)$ (10^{-15})
0.01125	0.4624	0.46624
0.0225	1.0512	1.05195
0.03375	1.8246	1.82454
0.05625	4.3849	4.38494
0.1125	4.4478(1)	4.44777(1)
0.12375	8.8797(1)	8.87977(1)
0.135	2.2736(2)	2.27355(2)
0.14625	1.1178(3)	1.11779(3)
0.1575	7.7546(4)	7.75368(4)
0.16875	8.3739(2)	8.37376(2)
0.180	2.4971(2)	2.49702(2)
0.19125	1.2344(2)	1.23436(2)
0.2025	7.5715(1)	7.57141(1)
0.21375	5.2362(1)	5.23622(1)
0.2250	3.9085(1)	3.90852(1)
0.28125	1.6060(1)	1.60603(1)
0.3375	1.0204(1)	1.02036(1)
0.39375	7.9156	7.91556
0.450	6.9518	6.95189

Tablica 4. Usporedba Kelsey-Macekove metode MKM [25] i metode izravnog sumiranja MIS za 2s-3s prijelaze

x	MKM $A(x)$	MIS $A(x)$
0.05	0.02683	0.026827
0.10	0.04685	0.046847
0.15	0.06209	0.062085
0.20	0.07379	0.073791
0.25	0.08278	0.082773
0.30	0.08958	0.089574
0.35	0.09456	0.094554
0.40	0.09796	0.097959
0.45	0.09995	0.099945
0.50	0.1006	0.100597

U tablici 1. prikazani su rezultati dobiveni metodom izravnog sumiranja s rezultatima J. H. Tunga i suradnika [27], koji su u svom radu koristili metodu implicitnog sumiranja. Njihov pristup svodi se na numeričko računanje sukcesivnih derivacija hipergeometrijskih funkcija. Sve ostale aproksimacije u oba računa su identične.

U tablicama 2. i 3. prikazani su rezultati dobiveni metodom izravnog sumiranja s rezultatima koje je dobio V. Florescu [26] za $3s-1s$ i $3d-1s$ prijelaze računajući metodom Greenovih funkcija.

U tablici 4. prikazani su rezultati za $2s-3s$ prijelaze dobiveni Kelsey-Macekovom metodom, s rezultatima dobivenim u ovom radu, korištenjem metode izravnog sumiranja (uspoređeni rezultati prikazani su na konstantu) [25].

Iz spomenutih tabela može se zaključiti da su razlike u dobivenim rezultatima reda veličine 10^{-4} i manje, što jamči pouzdanost svake od metoda [28].

9. ZAKLJUČAK

Unatoč velikim postignućima kvantne mehanike i matematike, od prvih algoritama za računanje radialnih matričnih elemenata, nalazimo se u situaciji da bez većih aproksimacija ne možemo rješavati procese višega reda u kojima istodobno sudjeluje nekoliko čestica. I u slučaju korištenja dipolne aproksimacije moguće je usporediti različite metode računanja samo na najjednostavnijim procesima, tj. kada je kutni dio što jednostavnijeg oblika.

Sve ovo ukazuje na činjenicu da računanje višefotonskih procesa nije trivijalan problem. Zbog toga je procjena pouzdanosti metode kod ovih računa vrlo važna.

Na temelju usporedbe rezultata dobivenih različitim metodama možemo reći da je uspješno riješen jedan od osnovnih problema u analizi višefotonskih procesa, tj. računanje sumacije po međustanjima. Za vodik i helij te njima slične atome računi se mogu provesti s točnošću koja odgovara točnosti pokusa. U tim primjerima nema bitnih odstupanja između jednih i drugih vrijednosti. Međutim, kod atoma s većim brojem elektrona procesi postaju znatno složeniji, a slaganje s eksperimentom lošije. Upotreba metode izravnog sumiranja u slučaju složenijih sustava omogućuje bržu procjenu dominantnih doprinosa i pouzdanu ocjenu vjerojatnosti procesa.

10. LITERATURA

- [1] Göppert-Mayer, M.: Ann.Phys. (Leipzig) **9** (1931.) 273.
- [2] Breit, G. i Teller: Astrophys. J. **91**, 215 (1940.).
- [3] Frank, J.: Ztschr. F. Phys. **47** (1928) 509.
- [4] Stojić, M.: Technical Journal, Volume **7**, Number **2** (2013) 97.
- [5] Lennard - Jones, J. E.: Proc. Roy. Soc. A **129** (1930) 598.
- [6] Schwartz, C.: Annals of Physics **6** (1959) 156; Schwartz, C.; and Tiemann, J.J.: Annals of Physics **6** (1959) 178.
- [7] Dalgarno and Lewis, J. T.: Proc. Roy. Soc. A **233** (1956) 70.
- [8] Brown, G. E.; Peierls, R. E.; Woodward, F. R. S. and J. B.: Proc. Roy. Soc. Ser. A **227** (1954) 51.
- [9] Gontier, Y. and Trahin, M.: Phys. Rev. **172** (1968) 83.
- [10] Petite, G.; Agostini, P.; Muller, H. G.; Phys B, J.: At. Mol. Opt. Phys **21**(1988) 4097.
- [11] Zon, B.A.; Rapaport, L.P.: Zh. Eksp. Teor. Fiz. (pismo) **7** (1968) 70.
- [12] Klarsfeld, S.: Phys. Lett. A **30** (1969) 382.
- [13] Zon, B.A. and Manakov, N.L.: Zh. Eksp. Teor. Fiz. **60** (1971) 1264.
- [14] Rapaport, L.R.; Zon B.A.; Manakov, N.L.: Zh. Eksp. Teor. Fiz. **56** (1969) 39.
- [15] Klarsfeld, S.: Nuovo Cimento Lett. **3** (1979) 395.
- [16] Zon, B.A. ; Manakov, N.L.: Zh. Eksp. Teor. Fiz. **61** (1971) 968.
- [17] Davidkov, V.A.; Zon, B.A.; Manakov, N.L.; Rapaport, L.R.: Zh. Eksp. Teor. Fiz. **60** (1971) 124.
- [18] Kelsey, E.J.; Macek J.: J. Math. Phys. **17** (1976) 1182.
- [19] Gordon, W.: Ann. Physik (5), **2** (1929) 1031.
- [20] Stobbe: Ann. d. Phys. **7** (1930) 661.
- [21] Bethe, H.A.; Salpeter, E.E.: Handbuch der Physik, Band XXXV, Springer-Verlag (1957) 88.
- [22] Janković, Z.: Rad. T. 319, JAZU, Zagreb (1960) 59; Janković, Z.: Glasnik mat. fiz. i str. 15 (1960) 279.
- [23] Bebb, H.B.; Gold A.: Phys. Rev. **1** (1966) 143.
- [24] Bebb, H.B.: J. Math. **7** (1966) 955.
- [25] Au, C. K.: Phys Lett. **51A** (1975) 442; **58A** (1976) 493.
- [26] Florescu, V.: Phys. Rev. **A30** (1984) 2441.
- [27] Tung, J. H.; Ye, X. M.; Salamo, G. J.; Chan, F. T.: Phys. Rev. **A30** (1984) 1175.
- [28] Martinis, M.; Stojić, M.: Fizika **A9** (2000.) 3, 115.

Kontakt autora:

dr.sc. Marko Stojić

M. Rešetara 7

10000 Zagreb

E-mail: mstojic@velv.hr

MODELIRANJE PODPOVRŠINSKOG RASPRŠENJA FOTONA U PAPIRU MONTE CARLO SIMULACIJOM

MODELLING OF SUBSURFACE PHOTON SCATTERING IN PAPER BY MONTE CARLO SIMULATION

Damir Modrić, Katja Petric Maretić, Katarina Itrić

Pregledni rad

Sažetak: Modeliranje podpovršinskog raspršenja fotona pomoću Monte Carlo metode temelji se na nasumičnom generiranju uzoraka iz raspodjele vjerojatnosti koja opisuje udaljenosti koje foton prijeđe između dva događaja i kutova raspršenja. Pritom se gibanje fotona prikazuje propagacijom fotonskog paketa gdje se više ekvivalentnih fotona simultano propagira duž nekog puta. Put koji fotonski paket prijeđe između dvije interakcije je neuniformno raspodijeljena varijabla koja se iz uniformno raspodijeljene nasumične varijable dobiva s pomoću tehnike mapiranja. Fotonski paket lansira se kroz graničnu površinu u medij, pri čemu se putanja fotona određuje računanjem sukcesivnih raspršenja i apsorpcija unutar pojedinog sloja. Ovaj teorijski model računat je računalnim matematičkim programom u Mathcadu 11. Model omogućuje izračun lateralnog raspršenja svjetlosti u papiru, što omogućuje precizniji opis dot gaina.

Ključne riječi: fotonski paket, Monte Carlo metoda, podpovršinsko raspršenje fotona

Review article

Abstract: Modelling of subsurface scattering of photons using Monte Carlo method is based on random generation of samples from the probability distribution that describes the distance that the photon travels between two events (scattering and/or absorption) and scattering angles. The motion of photons is described by the propagation of photon packages where many equivalent photons simultaneously propagate along a path. The path that the photon package crosses between the two interactions is inconsistently distributed variable obtained from uniformly distributed random variable using mapping techniques. The photon package is orthogonally launched through the border surface of medium in which the path is determined by the successive photon scattering and absorption within each layer. This theoretical model was calculated by mathematical computer program in Mathcad 11. The model enables the calculation of lateral scattering of light in the paper, which allows a more precise description of the dot gain.

Key words: photon package, Monte Carlo method, subsurface scattering of photons

1. UVOD

Interakcija svjetlosti s papirom kao podlogom složen je i višeslojan proces. Dio svjetlosti koja upada na površinu papira zrcalno se reflektira s površine, no dio svjetlosti uđe u papir gdje dolazi do apsorpcije ili raspršenja fotona. Rezolucija i reprodukcija tona karakterističnih za sve grafičke proizvode na papiru uvjetovane su načinom na koji se svjetlost raspršuje u papiru. Za slike ostvarene tehnikom rasteriranja, raspršenje svjetlosti odgovorno je za optički prirast rastertonske vrijednosti (optički dot gain). Podpovršinsko raspršenje fotona ovdje se razmatra u sklopu Monte Carlo metode. Ona se temelji na nasumičnom generiranju uzoraka iz raspodjele vjerojatnosti varijabli, i na tehnici mapiranja, da bi se pomoću uniformno raspodijeljenih nasumičnih brojeva reprezentirale varijable kao što je veličina koraka ili veličina kuta zakretanja.

2. UZIMANJE NASUMIČNIH UZORAKA

Neka je x nasumična varijabla potrebna za Monte Carlo simulaciju prostiranja svjetlosti u papiru, te predstavlja promjenjivu veličinu koraka fotona između dva događaja (raspršenja ili apsorpcije), ili pak kut raspršenja. Postoji funkcija gustoće $p(x)$, definirana za $x \in [a, b]$ takva da je:

$$\int_a^b p(x) dx \equiv 1 \quad (1)$$

Iz izraza je vidljivo da je funkcija $p(x)$ normirana. Da bi se simulirala propagacija fotona u supstratu, trebalo bi odabrati vrijednost varijable x nasumično više puta pomoću pseudo nasumičnog generatora brojeva.

Upotrebom generatora slučajnih brojeva može se dobiti broj ζ u intervalu $[0,1]$. Kumulativna funkcija raspodjele ove uniformno distribuirane varijable je:

$$F_{\zeta}(\zeta) = \begin{cases} 0 & \text{ako } \zeta \leq 0 \\ \zeta & \text{ako } 0 < \zeta < 1 \\ 1 & \text{ako } \zeta > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Da bi se odredile vrijednosti općenito neuniformno distribuirane funkcije gustoće $p(\zeta)$, pretpostavlja se [1] postojanje nepadajuće funkcije $x = F_{\zeta}(\zeta)$ koja mapira $\zeta \in [0,1]$ u $x \in [a,b]$.

Ideja Monte Carlo odabira x pomoću ζ leži u mogućnosti izjednačavanja vjerojatnosti da je ζ u intervalu $[0, \zeta_1]$ s vjerojatnošću da se x nalazi u intervalu $[a, x_1]$.

To vodi prema sljedećim vjerojatnostima P :

$$P\{f(0) < \zeta \leq f(x_1)\} = P\{0 < \zeta \leq \zeta_1\} \quad (3)$$

$$P\{a < x \leq x_1\} = P\{0 < \zeta \leq \zeta_1\} \quad (4)$$

Prema definiciji funkcije kumulativne raspodjele gornja jednadžba (4) može se zamijeniti jednadžbom funkcije kumulativne raspodjele:

$$F_x(x_1) = F_{\zeta}(\zeta_1) \quad (5)$$

Kako je

$$F_x(x_1) = \int_a^{x_1} p(x) dx \quad (6)$$

to je i odgovarajuća funkcija raspodjele:

$$F_{\zeta}(\zeta_1) = \int_a^{\zeta_1} p(\zeta) d\zeta = \zeta_1 \quad \text{za } 0 \leq \zeta_1 \leq 1 \quad (7)$$

Na sličan način dobiva se komplementarna jednadžba jednadžbi 7:

$$F_{\zeta}(\zeta_1) = \int_a^{\zeta_1} p(\zeta) d\zeta = 1 - \zeta_1 \quad \text{za } 0 \leq \zeta_1 \leq 1 \quad (8)$$

Pošto $(1 - \zeta_1)$ i ζ_1 imaju istu raspodjelu, mogu zamijeniti mjesta, što znači da su jednadžbe (7) i (8) ekvivalentne.

2.1. Transport svjetlosti kroz supstrat

Ovo poglavlje opisuje pravila koja vrijede prilikom propagacije fotona u sklopu Monte Carlo metode primijenjene na papir. Pristup problemu baziran je na radu Phral i dr.[2], samo što se u ovom radu uzimaju premaz i osnova kao dva različita dobro definirana sloja. Pritom se iz računa isključuje refleksija ili lom svjetlosti na granici slojeva te se uzima da se mijenjaju samo lokalni uvjeti apsorpcije i raspršenja. Nadalje, faza i polarizacija paketa su zanemarive zbog efekta višestrukog raspršenja energije paketa u mediju, uz pretpostavku da su optička svojstva uniformna u jedinici volumena promatranog medija.

Tehnika je razvijena na temelju raspodjele vjerojatnosti koja opisuje udaljenosti koje foton prijeđe između dva događaja (raspršenje i/ili apsorpcija) i kutove raspršenja.

Za poboljšanje efikasnosti Monte Carlo simulacije koristi se jednostavna tehnika redukcije varijance. Ta tehnika omogućuje da se mnogo ekvivalentnih fotona propagira kao paket simultano duž nekog puta. Svakom fotonskom paketu pridružena je neka statistička težina W jednaka jedinici.

2.2. Određivanje veličine koraka fotona

Veličina koraka fotonskog paketa s je onaj put koji prolazi paket između dvije interakcije (događaja) sa supstratom i ovdje se tretira kao varijabla, pri čemu korak poprima vrijednosti iz intervala $s \in [0, \infty)$. Veličina koraka je obrnuto proporcionalna ukupnoj atenuaciji [2], σ_t :

$$s > \frac{1}{\sigma_a + \sigma_s} \quad (9)$$

Prema definiciji koeficijenta interakcije σ_t , vjerojatnost za interakciju u intervalu $(s_1, s_1 + ds_1)$ je $\mu_t ds_1$. To znači da intenzitet svjetlosti I koja nije interagirala s medijem pada u intervalu ds_1 :

$$\frac{dI(s_1)}{ds_1} = -\sigma_t I(s_1) \quad (10)$$

Funkcija gustoće vjerojatnosti veličine koraka[3] je:

$$\begin{aligned} P(s) ds &= \frac{\text{gubitak intenziteta u } ds}{\text{ukupan gubitak intenziteta}} = \\ &= \frac{\sigma_t I(s=0) e^{-\sigma_t s} ds}{\int_0^{\infty} \sigma_t I(s=0) e^{-\sigma_t s} ds} \end{aligned} \quad (11)$$

Primjenom tehnike mapiranja dobiva se

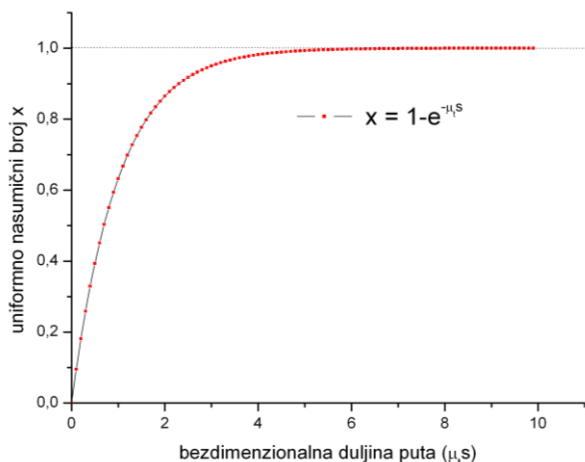
$$s = -\frac{\ln(1-\zeta)}{\sigma_t} \quad (12)$$

gdje je ζ nasumičan broj, uniformno raspodijeljen u intervalu $[0,1]$. Kako je ζ simetrično oko 0.5, veličina koraka izražena pomoću nasumično odabranog broja je:

$$s = -\frac{\ln \zeta}{\sigma_t} \quad (13)$$

Određivanje veličine koraka može se ilustrirati slikom 1. Raspodjela veličine koraka dobiva se tehnikom mapiranja. Ukupan put koji pojedinačan paket prijeđe jednak je sumi svih koraka prije no što paket napusti medij, a vrijeme potrebno za to obrnuto je proporcionalno indeksu loma sredstva n .

Ovakvim pristupom osigurava se da fotonska putanja bude proporcionalna vjerojatnosti refleksije. Na taj će način površine koje reflektiraju malo svjetla reflektirati nekoliko fotona, a one s visokom refleksijom će reflektirati mnogo više.



Slika 1. Određivanje duljine puta (preuzeto iz [4])

Vjerojatnost da dođe do interakcije u intervalu $[0, s_1]$ dobiva se kao kumulativna funkcija vjerojatnosti interakcije po jediničnom putu, što vodi eksponencijalnoj raspodjeli (uz $P\{s \geq 0\} = 1$):

$$P\{s \geq s_1\} = \exp(-\sigma_t s_1) \quad (14)$$

Analogno prijašnjim razmatranjima dobiva se sljedeći izraz:

$$P\{s \geq s_1\} = 1 - \exp(-\sigma_t s_1) \quad (15)$$

U višeslojnim medijima foton može doživjeti prelasku iz jednog sloja u drugi, a da pritom ne dođe do interakcije. U tom slučaju radi se sumiranje preko svih slojeva u kojima foton putuje, što znači da foton na svom putu može biti u potpunosti apsorbiran (uništen) i ne mora proći kroz sve slojeve.

Refleksija i transmisija fotona na granicama uračunavaju se posebno i individualno kako će biti pokazano u sljedećim poglavljima. Prema tome, veličina prijeđenog puta dobivena je sukladnim razmatranjima koja su spomenuta kod generiranja koraka fotona u jednom sloju i glasi:

$$\sum_i \sigma_{ti} s_i = -\ln(\zeta) \quad (16)$$

2.3. Apsorpcija fotona

Monte Carlo algoritam počinje lansiranjem fotonskog (energetskog) paketa kroz graničnu površinu u medij. Paket može biti ili apsorbiran ili raspršen tijekom interakcije unutar medija. Svakom se paketu inicijalno pridružuje neka statistička težina i prati se duž cijele njegove putanje. Određivanju apsorpcije fotona može se pristupiti na način da je foton potpuno ili parcijalno apsorbiran. Prvi pristup pretpostavlja da je statistička težina fotona (u daljem tekstu – težina) konstantna sve dok se foton ne apsorbira, te će se proces nastaviti sve dok početna težina ne dosegne neku graničnu vrijednost. Parcijalni koncept pretpostavlja da se fotonska težina razdvoji na apsorbirani i raspršeni dio. U nekom trenutku mora se pretpostaviti da će doći do nestanka fotona. Jednom kad foton učini korak, dolazi do izvjesnog gubitka (atenuacije) fotonske težine uslijed apsorpcije i taj gubitak se mora uračunati. Dio trenutne fotonske težine W (energije) bit će predan okolini. Dio deponirane fotonske težine ΔW može se izračunati:

$$\Delta W = W \frac{\sigma_a}{\sigma_t} \quad (17)$$

Ukupna akumulirana fotonska težina $A(r,z)$ deponirana u okolinu dobiva se sukcesivnim dodavanjem ΔW :

$$A(r, z) \leftarrow A(r, z) + \Delta W \quad (18)$$

Fotonska težina određuje se primjereno na sljedeći način:

$$W \leftarrow W - \Delta W \quad (19)$$

Tijekom prostiranja paketa kroz medij njegova težina postupno opada, ali nikad ne dosegne vrijednost nula. Taj ostatak statističke težine ne može se zanemariti jer to narušava zakon očuvanja energije. Takvi paketi izbacuju se iz daljnjeg računa tehnikom *ruleta*, koja takve pakete uništava kad vrijednost njihove težine padne ispod neke unaprijed određene minimalne granične vrijednosti težine kod koje dolazi do terminacije paketa. Ova tehnika ruleta [5] omogućuje da se paket uništi, a da se pritom ne naruši zakon očuvanja energije. Ako je težina paketa veća od neke unaprijed odabrane granične vrijednosti, ili paket preživi rulet, tada se računa novi smjer i korak ne bi li se paket dalje pomicao.

2.4. Određivanje smjera prostiranja fotona

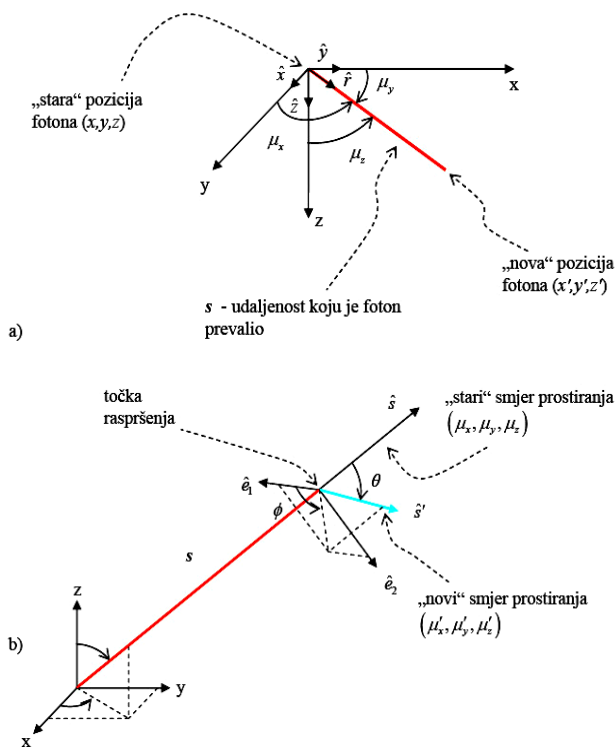
Raspršenje znači da se foton apsorbira i reemitira s istom (elastično raspršenje) ili drukčijom (neelastično raspršenje) energijom u smjeru koji se razlikuje od početnog smjera. U ovom radu razmatra se samo elastično raspršenje.

Trenutačna pozicija fotona određena je Kartezijevim koordinatama (x, y, z) , a smjer je određen jediničnim vektorom \hat{r} koji se može izraziti preko kosinusa smjerova [6] (μ_x, μ_y, μ_z) definiranih na sljedeći način:

$$\begin{aligned}\mu_x &= \hat{x} \cdot \hat{r} \\ \mu_y &= \hat{y} \cdot \hat{r} \\ \mu_z &= \hat{z} \cdot \hat{r}\end{aligned}\quad (20)$$

Tu su \hat{x} , \hat{y} and \hat{z} jedinični vektori duž svake osi.

Početna pozicija fotona je u točki $(0,0,0)$, a kosinusi smjerova su postavljeni tako da foton upada okomito na supstrat, tj. smjer je $(0,0,1)$. Opis položaja i smjer fotona u Kartezijevom sustavu [7] pokazao se boljim od odgovarajućeg opisa u cilindričnom koordinatnom sustavu [8].



Slika 2. Ilustracija definicije potrebnih geometrijskih veličina i koordinatnog sustava u Monte Carlo opisu.

a) Kartezijev sustav i kako se definiraju kosinusi smjera fotona, b) kako su definirani θ i ϕ nakon što je foton raspršen

Za foton početno lociran u (x, y, z) koji prijeđe udaljenost Δs u smjeru (μ_x, μ_y, μ_z) nove koordinate (x', y', z') dane su izrazom:

$$\begin{aligned}x' &= x + \mu_x s \\ y' &= y + \mu_y s \\ z' &= z + \mu_z s\end{aligned}\quad (21)$$

Ako je foton raspršen u kut definiran s θ i ϕ iz smjera (μ_x, μ_y, μ_z) u novi smjer (μ'_x, μ'_y, μ'_z) (slika 2.b), tada su nove veličine dane izrazima:

$$\begin{aligned}\mu'_x &= \frac{\sin \theta}{\sqrt{1 - \mu_z^2}} (\mu_x \mu_z \cos \phi - \mu_y \sin \phi) + \mu_x \cos \theta \\ \mu'_y &= \frac{\sin \theta}{\sqrt{1 - \mu_z^2}} (\mu_y \mu_z \cos \phi - \mu_x \sin \phi) + \mu_y \cos \theta \\ \mu'_z &= -\sin \theta \cos \phi \sqrt{1 - \mu_z^2} + \mu_z \cos \theta\end{aligned}\quad (22)$$

U ovom poglavlju prikazan je izvod opće jednadžbe za određivanje smjera pomoću uniformno raspodijeljenih nasumičnih brojeva. Kut azimuta ϕ je uniformno raspodijeljen unutar intervala $[0, 2\pi]$ te se može napisati preko nasumičnih brojeva kao:

$$\phi = 2\pi\zeta \quad (23)$$

Nakon što se foton rasprši njegova putanja je zakrenuta od prethodnog smjera za polarni kut θ . S obzirom na to da polarni kut zakreta varira između 0 i π , vrijednost kosinusa prema tome varira između -1 i 1 . Primjenjujući tehniku mapiranja na isti način, kao i u prethodnim slučajevima, dobiva se:

$$\zeta = \int_{-1}^{\mu} \frac{1}{2} d\mu = \{uz \mu = \cos \theta\} = \frac{1}{2}(\mu + 1) \quad (24)$$

$$\mu = 2\zeta - 1 \quad (25)$$

Fazna funkcija ili Henyey-Greenstein funkcija koja aproksimira Mieovo raspršenje na česticama koje imaju dimenzije usporedive s valnom duljinom svjetlosti kojom obasjavamo dana je izrazom:

$$p(\alpha, g) = \frac{1}{4\pi} \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g \cos \alpha)^{3/2}} \quad (26)$$

Koeficijent anizotropije ili jednostavno anizotropija, g , karakterizira kutnu raspodjelu zračenja. Izotropno zračenje ima vrijednost $g = 0$, a raspršenje izrazito prema naprijed ima vrijednost od g blisku 1. Jacques i ostali (1987.) [5] eksperimentalno su pokazali da Henyey-Greensteinova fazna funkcija adekvatno opisuje funkciju gustoće vjerojatnosti raspršenja svjetlosti u raznim tkivima. Iako papir nije toliko slojevno i strukturno definiran kao razna tkiva, pokazuje se da je opis pomoću spomenute fazne funkcije primjenjiv na ovaj problem. Čak i za najsjajniji papir ne može se uzeti izotropno raspršenje već se uzima anizotropija bliska nuli.

Sada anizotropni kut zakretanja svjetlosti dobiven tehnikom mapiranja izgleda:

$$\zeta = \int_{-1}^{\mu_1} p(\mu) d\mu \quad \{ \mu = \cos \theta \} \quad (27)$$

$$\zeta = \int_{-1}^{\mu_1} \frac{1-g^2}{2(1+g^2-2g\mu)^{3/2}} d\mu \quad (28)$$

Uvodeći funkciju f :

$$f(\mu) = 1 + g^2 - 2g\mu \quad (29)$$

$$df = -2gd\mu$$

gdje su granice integracije:

$$f_1 = f(-1) = (1+g)^2$$

$$f_2 = f(\mu_1) = g^2 - 2g\mu_1 + 1$$

dobiva se za kut zakreta:

$$\mu = \begin{cases} \frac{1}{2g} \left[1+g^2 - \left(\frac{1-g^2}{1-g+2g\zeta} \right)^2 \right] & \text{za } g \neq 0 \\ 2\zeta - 1 & \text{za } g = 0 \end{cases} \quad (30)$$

U slučaju da su indeksi loma vanjskog medija i supstrata n_1 i n_2 , tada će se morati uračunati dodatna zrcalna refleksija R_{sp} dana izrazom [9]:

$$R_{sp} = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (31)$$

3. REFLEKSIJA ILI TRANSMISIJA NA GRANICI

3.1. Refleksija ili transmisija fotona na vanjskoj granici zrak/sredstvo

Kada u nekom koraku foton dođe do granice dvaju sredstava, može izaći izvan sredstva kojim se prostire. U tom slučaju takav korak dovodi do refleksije (na ulaznoj granici), odnosno transmitancije (na suprotnoj granici od granice ulaza fotona) ili do interne refleksije na granici, ovisno o kutu pod kojim foton upada na granicu (granična refleksija).

Razmatranje počinje određivanjem skraćenog koraka prema kriteriju:

$$s_1 = \begin{cases} (z - z_0) / \mu_z & \text{if } \mu_z < 0 \\ (z - z_1) / \mu_z & \text{if } \mu_z > 0 \end{cases} \quad (32)$$

gdje su z_0 i z_1 koordinate gornje i donje granice konkretnog sloja. Skraćeni korak s_1 je udaljenost između zadnje pozicije fotona i granice u smjeru prostiranja. Ako ne dođe do interne refleksije, sljedeći korak mora se računati s novom vrijednosti $s \leftarrow s - s_1$, a ako dođe do interne refleksije foton će ostatak veličine koraka prijeći u početnom mediju.

U drugom koraku računa se vjerojatnost da se foton reflektira od granice pa natrag u sredstvo, što ovisi o upadnom kutu na granicu α_u . Vrijednost od α_u dobiva se pomoću izraza:

$$\alpha_u = \cos^{-1}(|\mu_z|) \quad (33)$$

Odnos upadnog kuta α_u i kuta loma (transmisije) α_l definiran je Snellovim zakonom:

$$n_u \sin \alpha_u = n_l \sin \alpha_l$$

Tu su n_u i n_l pripadni indeksi loma za dana sredstva.

Iznos interne refleksije $R(\alpha_u)$ računa se pomoću Fresnelovih formula:

$$R(\alpha_u) = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\alpha_u - \alpha_l)}{\sin^2(\alpha_u + \alpha_l)} + \frac{\text{tg}^2(\alpha_u - \alpha_l)}{\text{tg}^2(\alpha_u + \alpha_l)} \right] \quad (34)$$

što je srednja vrijednost refleksija za dva ortogonalna smjera polarizacije.

U trećem koraku određuje se je li foton interno reflektiran ili nije, generirajući nasumični broj $\zeta \in [0, 1]$ koji se uspoređuje s vrijednošću interne refleksije, tj.:

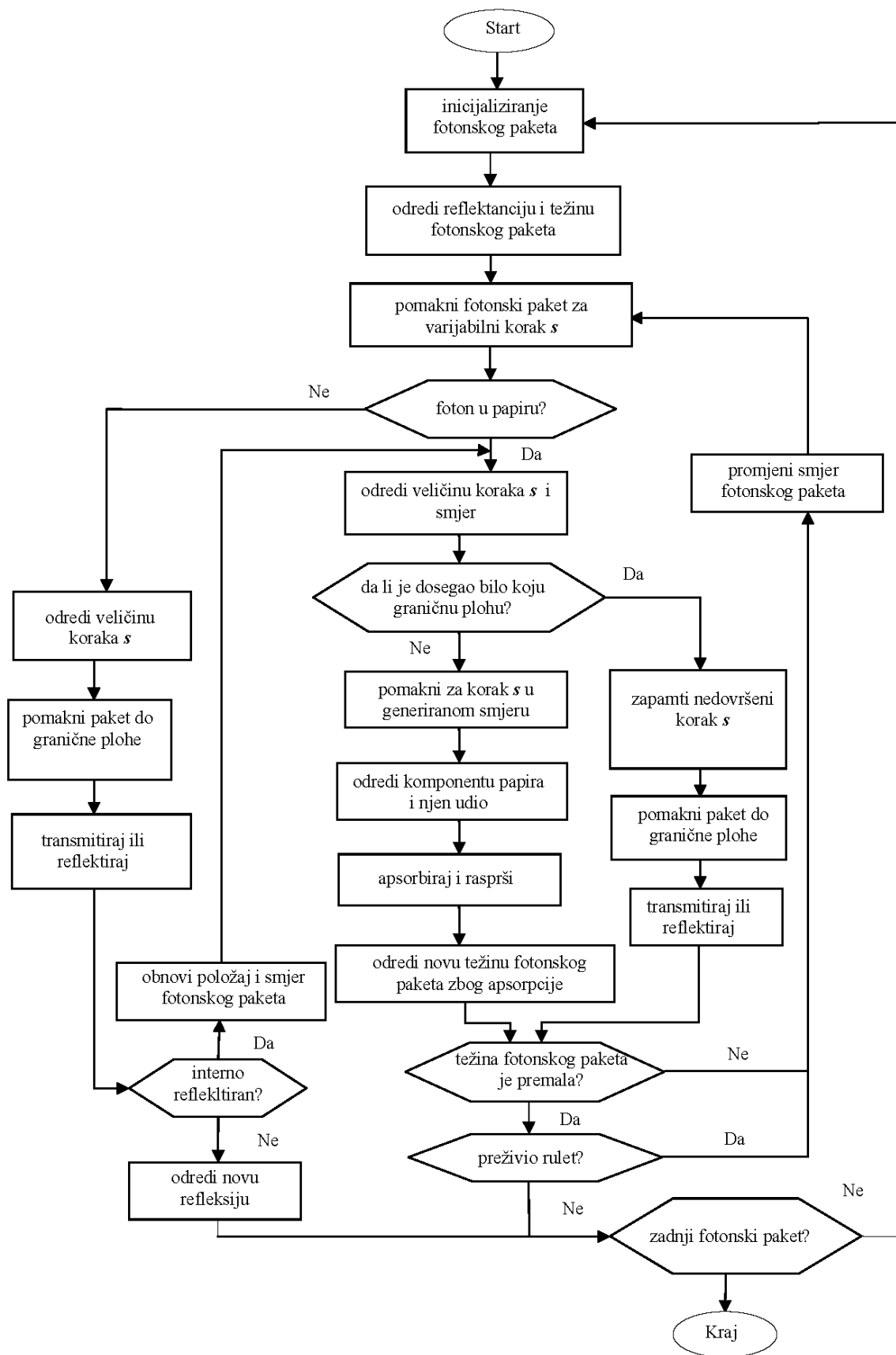
$$\zeta \leq R(\alpha_u) \text{ - foton je interno reflektiran}$$

$$\zeta \geq R(\alpha_u) \text{ - foton napušta medij}$$

Ako je foton interno reflektiran tada ostaje na površini, ali njegovi kosinusi smjerova moraju biti promijenjeni tako da z-komponenta promijeni predznak:

$$(\mu_x, \mu_y, \mu_z) \leftarrow (\mu_x, \mu_y, -\mu_z) \quad (35)$$

U ovoj točki ostatak koraka mora se još jedanput provjeriti. Naime, ako je ostatak koraka dovoljno velik da dosegne drugu granicu, mora se cijeli postupak ponoviti. U slučaju da foton ne dođe do granice, npr. premaz i ostatak papira, nastavit će se gibati tako da će sukcesivnim raspršenjima i apsorpcijama biti određena njegova putanja sve dok se nalazi u konkretnom sloju. Takav pristup zahtijeva provjeru položaja i smjera fotona prilikom svakog koraka.



Slika 3. Pojednostavljeni dijagram toka za računatu Monte Carlo simulaciju raspršenja svjetlosti u papiru rađenu pomoću Mathcad 11 programa (preuzeto iz [10])

3.2. Refleksija i transmisija fotona na granici premaz/papir

Tijekom jednog od koraka foton može doći do granice dvaju sredstava, kao što je u predviđenom slučaju granica između premaza i ostatka papira koja je dobro određena. Te se slojeve može smatrati odvojenim područjima u kojima se znatno razlikuju optička svojstva. Korak fotona mora biti dovoljno velik da dosegne granicu premaz/papir ($sredstvo1/sredstvo2$). Foton „namjerava“ napraviti korak unutar *sredstva 1* koje ima koeficijente apsorpcije σ_{a1} , raspršenja σ_{sc1} i indeks loma n_1 , ali pritom udari o granicu sa *sredstvom 2* s odgovarajućim veličinama σ_{a2} , σ_{sc2} i n_2 nakon skraćenog koraka s_1 . Istim pristupom kao što je onaj opisan u prethodnom poglavlju, foton se prvo pomakne do granice sredstava bez interakcije, a ostatak koraka se koristi u sljedećem koraku $s \leftarrow s - s_1$. Tada se mora statistički odrediti je li foton reflektiran ili transmitiran kroz granicu pomoću Fresnelovih formula. Ako je foton reflektiran procesira se kao i u prethodnom poglavlju. Ako dođe do transmisije fotona u sljedeći sloj foton nastavlja s prostiranjem umjesto da pri tome bude uništen. Stoga se ostatak koraka mora preurediti za novi sloj prema njegovim optičkim svojstvima:

$$s \leftarrow \frac{s\sigma_{t1}}{\sigma_{t2}}, \quad (36)$$

gdje su σ_{t1} i σ_{t2} odgovarajući koeficijenti interakcije za slojeve 1 i 2. Tako dobiveni korak s opet se provjerava u smislu dosiže li neku od granica (bilo među slojevima, bilo izlazne granice).

4. ZAKLJUČAK

Ovaj teorijski model ostvaren je pomoću Mathcad 11 matematičkog programa, a dijagram toka dan je na slici 3. Simulacija je napravljena za papir koji je poslužio kao realan primjer.

Program ne računa automatski zrcalnu refleksiju od površine papira, već se ona određuje pomoću Fresnelovih jednačbi koje nam daju vjerojatnost koliko će od ulaznog snopa ući u papir i započeti svoje putovanje kroz medij. Slika je prilično pojednostavljena jer pretpostavlja da je granična ploha ravna i da se njena optička svojstva ne mijenjaju, odnosno refleksivnost same površine nije uzeta u obzir. Premazi se tretiraju kao homogeni i debljina im je jednaka nekoj srednjoj debljini premaza. Fotoni mogu doživjeti mnogostruka raspršenja prije nego što dođe do transmisije, apsorpcije ili refleksije, odnosno njihovog povratka na ulaznu plohu. Višestruka raspršenja, shodno simulaciji, uzrokuju atenuaciju fotonskog paketa i vrijednosti apsorpcije su i do 30%. Osim toga, iz simulacije slijedi da je broj višestrukih refleksija između graničnih ploha koje omeđuju papir zanemariv i ne treba ih uzeti u obzir pri modeliranju lateralnog raspršenja svjetlosti u podlozi.

Prezentirana simulacija ne uzima u obzir ovisnost dobivenih rezultata o valnoj duljini. U daljnjim istraživanjima trebalo bi uvesti koeficijente apsorpcije i raspršenja kao funkcije valne duljine svjetlosti.

5. LITERATURA

- [1] Kalos, M. H.; Whitlock, P. A.: Monte Carlo Methods, I: Basics, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 1986.
- [2] Prahl, S. A.; Keijzer, M.; Jacques, S. L.; Welch, A. J.: A Monte Carlo Model of Light Propagation in Tissue, Dosimetry of Laser Radiation in Medicine and Biology, SPIE Institute Series, IS 5 (1989) 102-111
- [3] Wang, L.; Jacques, S. L.; Zheng, L.: MCML— Monte Carlo Modeling of Light Transport in Multi-layered tissues, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol. 47 (1995) 131-146
- [4] Yang, W. J.; Taniguchi, H.; Kudo, K.: Advances in Heat Transfer: Radiative Heat Transfer by the Monte Carlo Method. Academic Press, Inc., San Diego, California, 1995.
- [5] Jacques, S. L.; Wong, L.; Hielscher, A. H.: Time-Resolved Photon Propagation in Tissues, Optical-Thermal Response of Laser Irradiated Tissue, Plenum Press, New York, 1995.
- [6] Carter, L. L.; Cashwell, E. D.: Particle-Transport Simulation with the Monte Carlo Method, USERDA Technical Information Center, Oak Ridge, 1975.
- [7] Witt, A.N.: Multiple Scattering in Reflection Nebulae I. a Monte Carlo approach, The Astrophysical J. Supp. Series, Vol. 35 (1977) 1-6
- [8] Keijzer, M.; Jacques, S. L.; Prahl, S. A.; Welch, A. J.: Light Distributions in Artery Tissue: Monte Carlo simulations for Finite-Diameter Laser Beams, Lasers in Surg. & Med., Vol. 9 (1989) 148-154
- [9] Born, M.; Wolf, E.: Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, Pergamon Press, New York, 1986.
- [10] Modrić, D.: Raspršenje i transport svjetlosti u tiskovnim podlogama, PhD thesis, University of Zagreb, 2007.

Kontakt autora:

Dr. sc. Damir Modrić
Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet
Getaldićeva 2, Zagreb
e-mail: damir.modric@grf.hr

REZULTATI ISPITIVANJA OŠTEĆENIH GREDA T-PRESJEKA

TEST RESULTS OF THE DAMAGED T-SECTION BEAMS

Yevgeniy Klimenko, Olena Chernieva, Arez Mohammed Ismael

Pregledni rad

Sažetak: Cilj ovog rada je eksperimentalno određivanje zaostale (rezidualne) nosivosti greda sa oštećenom pločom. Ispitivanja su provedena kako bi se odredio utjecaj oštećenja grede na njezinu preostalu nosivost.

Cljučne riječi: betonske grede, oštećenja, uništenje, nosivost.

Review article

Abstract: The aim of the paper is the experimental determination of residual bearing capacity of beams with damaged flange. Tests were conducted to study the effect of beam damage on its residual load bearing capacity.

Key words: concrete beams, damage, destruction, bearing capacity

1. INTRODUCTION

Reinforced concrete T-structures are used in the construction of individual structures - typical beams and flange in stock - monolithic and prefabricated ribbed panel. Due to the location of the slabs in the upper zone, the height of the beams under the ceiling is reduced, making them more comfortable when used in the construction of public buildings, shopping and entertainment centers. T-section beams are proven to be more economical and of higher efficiency compared to rectangular beams.

There are two schemes of bending elements destruction:

- 1) – the achievement of stretched armature calculated resistance at yield point;
- 2) – the destruction of compression zone before the tension zone when there is a colossal damage in the top zone or when there is a design flaw.

2. ANALYSIS OF THE PREVIOUS STUDIES

Concrete T-beams are damaged in the ribs and in the flange when they are in service (i.e. during operation when it is under load).

The most common damage in ribs of the beams are normal and slanted cracks, spilling of the protective layer of concrete stretched zone.

The most common damage in flange of the beams is the destruction of compressed concrete layer in the zone of pure bending and at the point of the concentrated load application.

A major contribution to the study of defects and damages of bending elements was given by Adhikary B. [1], Al-Bayati N. [2], Constantin E. Chalioris and

Constantin N. Pourzitidis [3], Hassan A. [4], J.Jayaprakash [5], Smith Roger W.[6], Wu Hao [7] and others.

3. THE RELEVANCE OF THE WORK

Unfortunately, the possibility of determining the residual bearing capacity of damaged reinforced concrete T-beams is not considered by the current regulations of Ukraine [8], although it could significantly reduce the costs of strengthening. Study of the stress-strain state of such structures would analyze their future work in conjunction with the construction of strengthening. Therefore, the determination of the residual bearing capacity is a very important task.

4. EXPERIMENTAL SET-UP OF DAMAGED T-BEAMS STUDY

To solve this problem at the Department of Building Structures The Odessa State Academy of Building and Architecture has performed a series of experiments (15 samples of T-beams with damaged flange and an equal number of prisms and cubes) using the mathematical theory of experiment planning.

The variation factors are the following:

- damaged part of the flange, as expressed by the ratio (b_{eff1}/b_{eff2}), where b_{eff1} - the width of the damage; b_{eff2} - value overhangs the flange;
- depth of damage a_1 in terms of the ratio of the depth of damage to the rack flange thickness (a_1/h_f');
- angle of the damage β , expressed in terms of the ratio of the angle of damage to the flange angle equal to 90° .

Level and range of variation of these factors are given in Table 1.

Table 1. Factors of variation for the model experiment planning

The investigated Factors of Y Series		Levels of variation			The variation interval
Subsistence value	Cod	«-1»	«0»	«+1»	
Angle of the damage $\beta/90^0$	X ₁	0 ⁰ /90 ⁰ =0	22.5 ⁰ /90 ⁰ =0.25	45 ⁰ /90 ⁰ =0.5	0.25
Depth of the damage a_1/h_f , mm	X ₂	0/60=0	30/60=0.5	60/60=1	0.5
The damaged part of the flange b_{eff1}/b_{eff2} , mm	X ₃	0/165=0	82.5/165=0.5	165/165=1	0.5

To produce prototype beams, cubes and prisms, ordinary heavy concrete class was used for the project C30/35 prefabrication.

Reinforcement of prototype beams was made by single Ø16A500C (operating armature) and Ø6A240C (transverse and mounting armature). For pure bending moment test the reinforcement in the upper zone was removed to test the resistance of the concrete to compression. Tests were carried out on a hydraulic press P-125. The load is transferred to the beam by two traverse parts to distribute the load through the socket joints.

During the test, values of deflections were recorded using indicators such as the clock with a scale division of 0.05 mm, located on both sides of the beams at the bottom, and the transverse and longitudinal deformation of concrete and armature through strain gauges with a 5cm base for concrete and 2cm for armature with resistance 200 Ohm.

The first cracks appeared in the zone of pure bending at the level of loading (0.25 ... 0.3). By increasing the load in the span, shear oblique cracks began to appear (evolved to the level of the flange and often crossed it). Moreover, in samples with wide flange (400mm) shortly before the destruction, vertical longitudinal cracks at the site abutting ribs overhung to the flange were formed. Normal cracks were also formed along the entire height of the ribs to the flange when applied load was increased (Fig.1).

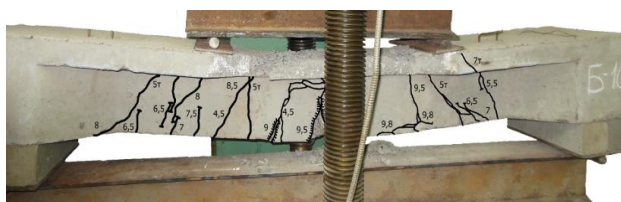


Figure1. The destruction of the beam B10

Fracture of beams corresponds to the case 2 when stretched armature voltage has not reached its yield strength and fracture was due to the fragmentation of concrete compressed zone of the prevailing bending moment.

In conducting the experimental studies fixed values of the external load were obtained corresponding to the appearance of the first normal cracks in the zone of pure bending specimens, and the inclined cracks in the shear span of beams and the destruction of beams (Table 2).

Table 2. The values of the external load corresponding to the first appearance of normal, oblique fractures and fracture of beams

Marks of beams	$F_{w,ult,1}$, kN	$F_{w,ult,2}$, kN	F_{ULS} , kN	M, kNm .
B1	55	35	80	20
B2	40	35	40	10
B3	40	50	130	32.5
B4	20	40	105	26.25
B5	30	25	95	23.75
B6	30	50	130	32.5
B7	30	35	110	27.5
B8	30	25	75	18.75
B9	30	20	95	23.75
B10	25	50	98	24.5
B11	20	30	90	22.5
B12	30	50	118	29.5
B13	25	30	90	22.5
B14	30	50	105	26.25
B15	20	40	110	27.5

From the pre-analysis of the experimentally obtained data it is concluded that the beams which collapsed due to greater loads had less damage prior to the test and the beams which failed due to smaller loads were with width of damaged slab of $b_{eff}=70mm$.

Before the formation of the first crack deflection of beams was observed. The appearance of the first normal and then oblique cracks was accompanied by a substantial increase in the deflection. The relationship between load and deflection was proportional until after the formation of these cracks when the deflection increased substantially and was not proportional to the increase of the external load. With the exhaustion of the bearing capacity of the beam deflection increased even with a small increment of the external load (Figure 2).

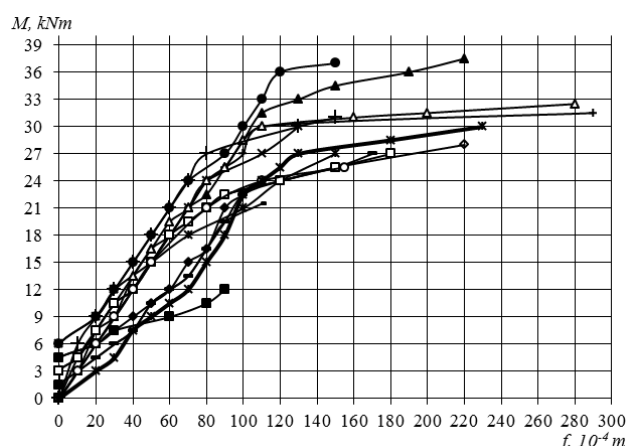


Figure 2. The growth of deflection before the destruction of beams under load level (0.95F_{ULS})

Table 3 shows the average value of deflections experienced by the beams at points of measurement on the operational (0.67F_{ULS}) level of loading, and before the destruction (0.95 F_{ULS}).

Pre-analysis of the obtained values of deflections is an evidence that the greatest deflection received beams are B7, B12, B14, a distinctive feature of which is the angle of damage $\beta = 22.5^{\circ}$. The smallest deflections were recorded in beams B1, B2, B8 with damaged flange $b_{eff} = 70\text{cm}$.

Table 3. The average values of deflection of beams on the operational ($0.67F_{ULS}$) level of loading and before the destruction ($0.95F_{ULS}$).

Marks of beams	f under $0.67F_{ULS}$, cm	f under $0.95F_{ULS}$, cm	Subsistence value of the factors		
			$\beta/90^{\circ}$, (β°)	a_1/h_f , (a_1 , mm)	b_{eff1}/b_{eff2} , (b_{eff} , mm)
B1	0.8	1.1	0.5 (45 ⁰)	1 (60)	1 (70)
B2	0.6	0.9	0 (0 ⁰)	1 (60)	1 (70)
B3	0.9	2.2	0.5 (45 ⁰)	1 (60)	0 (400)
B4	0.7	1.3	0.5 (45 ⁰)	1 (60)	0.5 (235)
B5	0.8	1.5	0 (0 ⁰)	0 (0)	1 (70)
B6	0.8	1.5	0 (0 ⁰)	0 (0)	0 (400)
B7	0.8	2.9	0.25 (22.5 ⁰)	0.5 (30)	0.5 (235)
B8	0.8	1.1	0.25 (22.5 ⁰)	1 (60)	1 (70)
B9	0.9	1.7	0.5 (45 ⁰)	0.5 (30)	1 (70)
B10	0.7	2.2	0.5 (45 ⁰)	0.5 (30)	0.5 (235)
B11	0.6	1.5	0 (0 ⁰)	0.5 (30)	0.5 (235)
B12	0.8	2.8	0.25 (22.5 ⁰)	0.5 (30)	0 (400)
B13	0.7	1.55	0 (0 ⁰)	0.5 (30)	0 (400)
B14	0.9	2.3	0.25 (22.5 ⁰)	1 (60)	0.5 (235)
B15	0.65	1.5	0 (0 ⁰)	0 (0)	0.5 (235)

5. CONCLUSION

The article raises the question of further operation of damaged reinforced concrete T-beams. An important task for the future is the mathematical definition of the residual load-bearing capacity of beams for the type of damage. It is proven that the type of damage affects the residual load-bearing capacity, the nature of the occurrence and the further development of cracks and the beam deflection.

6. REFERENCES

- [1] Adhikary, B.B.; Mutsuyoshi, H.: "Behaviour of concrete beams strengthened in shear with carbon fibre sheets", Journal of composites for construction. -2004 - 8(3). – P.258-264.
- [2] Al-Bayati, N.: "The Effect of Corrosion on Shear Behaviour of Self-consolidating Concrete Beams", MASc Thesis. – Toronto: Ryerson University, 2009 – P.20-25.
- [3] Constantin Chalioris, E.: „Rehabilitation of Shear-Damaged Reinforced Concrete Beams Using Self-Compacting Concrete Jacketing“, - ISRN Civil Engineering. – 2012 – P.12.
- [4] Hassan, A.: „Bond of Reinforcement in Concrete with Different Types of Corroded Bars“, MASc Thesis. – Toronto: Ryerson University, 2003 – P.14-19.
- [5] Jayaprakash, J. et.al: „An Experimental Investigation on Shear Enhancement of Partially Cracked RC Beams with Bi Directional Carbon Fabrics“, Sixth International Congress, Global Construction-Ultimate Concrete Opportunities, 5-7, July 2005 – UK, 2005 – P. 56-60.
- [6] Roger Smith, W.: „The effects of corrosion on the performance of reinforced concrete beams“, Theses and dissertations.- 2007 - 149pp.
- [7] Wu, H.: „Bond Degradation and Residual Flexural Capacity of Corroded RC Beams“, Theses and dissertations. -2012 - 708pp.
- [8] Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – [Чинні від 1997-11-27] – К.: Держ. комітет буд-ва, архіт. та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України, 1997 – 145 с.

Author's contact:

The Odessa State Academy of Building and Architecture
Ukraine, Odessa, Didrihsona 4 str., 65029

Yevgeniy Klimenko, doctor of technical sciences, professor
klimenkoev@mail.ru

Olena Chernieva, candidate of technical sciences, docent
spring_85@mail.ru

Arez Mohammed Ismael, postgraduate
arezsml@yahoo.com

KAOTIČNO PONAŠANJE ITERACIJSKOG PROCESA U NEWTONOVOJ METODI – NEWTONOV FRAKTAL

CHAOTIC BEHAVIOUR IN NEWTON ITERATIVE PROCESS APPROACH – NEWTON'S FRACTAL

Sanja Zlatić

Stručni članak

Sažetak: Ono što se danas naziva Newtonovom metodom Isaac Newton otkrio je oko 1670. godine. Iako je Newtonova metoda veoma stara, tek je nedavno otkriveno da poopćenje ove metode na kompleksnu ravninu dovodi do prekrasnih fraktalnih slika. Kod jednadžbi koje imaju više od jednog rješenja postavlja se pitanje kojem će rješenju voditi Newtonova metoda. Nultočke promatrane funkcije ponašaju se kao magneti za proces iteracije te stvaraju oko sebe tzv. „privlačne bazene“. Rješenje koje će metoda pronaći ovisi o početnoj aproksimaciji. Grafički, svakoj nultočki zadane funkcije pridružena je jedna boja, a točke kompleksne ravnine obojane su bojom nultočke prema kojoj konvergiraju. Granica između privlačnih bazena ekstremno je složen objekt. Iako bazeni sami po sebi nisu fraktalni jer sadrže velike skupove bez ikakve podstrukture, njihove granice imaju fraktalna svojstva. Krenuvši od bilo koje točke na granici bazena uvijek se dobiva prijelaz iteracijskog procesa u kaos.

Ključne riječi: aproksimacija, iteracija, Newtonov fraktal, Newtonova metoda

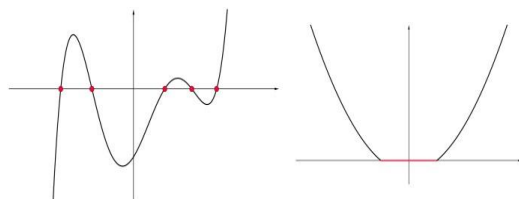
Professional paper

Abstract: Isaac Newton discovered what we now call Newton's method around 1670. Although Newton's method is an old application of calculus, it was discovered relatively recently that extending it to the complex plane leads to a very interesting fractal pattern. For equations that have more than one solution, the question is which solution will Newton's method lead to. Zeros of the observed function act as magnets for the iteration process and around themselves create the so called 'attractive pools.' The solution the method will find depends on the initial approximation. Graphically, each zero for given function is associated with a single colour, and the point of the complex plane are painted in the colour of the zero which they converge on. The boundary between the attractive pools is an extremely complicated subject. Although the pools themselves are not fractal because they contain large sets without any substructure, their boundaries have fractal properties. Starting from any point on the border of the pool, we always get the transition of iterative process into chaos.

Key words: approximation, iteration, Newton's fractal, Newton's method

1. UVOD

Računanje nultočaka nelinearnih funkcija jedan je od najčešćih zadataka primijenjene matematike. Neka je zadana funkcija $f: I \rightarrow \mathbb{R}$, $I \subset \mathbb{R}$. Traže se svi $x \in I$ za koje vrijedi $f(x) = 0$. Takve točke zovu se rješenja (korijeni) pripadne jednadžbe ili nultočke funkcije f . Pretpostavlja se da je funkcija f neprekidna na intervalu I te da su joj nultočke izolirane. U protivnom bi postojao problem konvergencije (slika 1.).

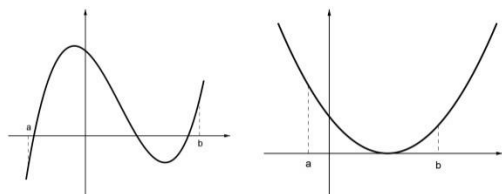


Slika 1. Graf neprekidne funkcije s izoliranim nultočkama (lijevo) i graf funkcije s prekidom (desno)

Traženje nultočaka na zadanu točnost sastoji se od dva koraka: izolacije nultočke, tj. nalaženje intervala unutar kojeg se nultočka nalazi, te iterativnog nalaženja nultočke na traženu točnost. Interval unutar kojeg se nalazi nultočka funkcije može se odrediti tako da se pronađu vrijednosti a i b za koje vrijedi:

$$f(a) \cdot f(b) < 0 \quad (1)$$

Relacija (1) osigurava postojanje barem jedne nultočke unutar intervala $[a, b]$ (slika 2. lijevo). S druge strane, ako je $f(a) \cdot f(b) > 0$ to ne mora značiti da f nema unutar $[a, b]$ nultočku (slika 2. desno). Može se dogoditi da su nultočke loše separirane ili da f ima unutar intervala $[a, b]$ paran broj (brojeći ih s višestrukostima) nultočaka ili nultočku parnog reda.



Slika 2. Graf funkcije s tri nultočke unutar intervala $I=[a, b]$ za koji vrijedi $f(a) \cdot f(b) < 0$ (lijevo), te graf funkcije s dvostrukom nultočkom unutar intervala $I=[a, b]$ za koji vrijedi $f(a) \cdot f(b) > 0$ (desno)

Metode za nalaženje nultočaka nelinearnih funkcija na zadanu točnost razlikuju po tome hoće li uvijek konvergirati ili neće konvergirati, te po brzini konvergencije. Uobičajen je slučaj da brze metode nemaju sigurnu konvergenciju, dok je sporije metode imaju. Brzina konvergencije definira se pomoću reda konvergencije metode.

Definicija 1. Niz iteracija $(x_n, n \in \mathbb{N}_0)$ konvergira prema točki α s redom konvergencije $p, p \geq 1$ ako vrijedi

$$|\alpha - x_n| \leq c|\alpha - x_{n-1}|^p, \quad n \in \mathbb{N} \quad (2)$$

za neki $c > 0$. Ako je $p = 1$, kaže se da niz konvergira linearno prema α . U tom slučaju je nužno da je $c < 1$ i c se obično naziva faktor linearne konvergencije. Relacija (2) katkad nije pogodna za linearne iterativne algoritme. Ako se za slučaj $p = 1$ i $c < 1$ u (2) upotrijebi indukcija po n , tada slijedi da je:

$$|\alpha - x_n| \leq c^n |\alpha - x_0|, \quad n \in \mathbb{N} \quad (3)$$

Ponekad je mnogo lakše dokazati da vrijedi (3) nego (2). U slučaju (3) kaže se da niz iteracija konvergira linearno s faktorom c . [1]

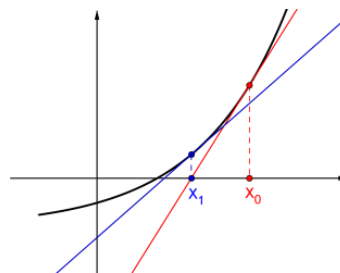
2. NEWTONOVA METODA ILI METODA TANGENTE

Newtonova metoda ili metoda tangente je klasična shema rješavanja jednadžbi sve boljim aproksimacijama. Metoda počinje procjenom. Primjenom uzastopnih ponavljanja, tj. iteracija procjena vodi sve boljoj i boljoj procjeni. Proces iteracije približava se odgovoru kao dinamički sustav koji traži svoje stabilno stanje. Newtonova metoda je djelotvorna za polinomne jednadžbe višeg stupnja koje nisu izravno rješive. Kako je iteracija glavna snaga računala, pogodna je i za mnoštvo računalnih algoritama. [2]

2.1. Geometrijska interpretacija Newtonove metode

Ideja Newtonove metode je graf funkcije f aproksimirati tangentom. Pretpostavlja se da je zadana početna točka x_0 . Ideja metode je povući tangentu na graf funkcije f u točki $T_0(x_0, f(x_0))$ te definirati novu aproksimaciju x_1 u točki presjeka tangente s osi x (slika

3.). Dakle, Newtonova, Newton-Raphsonova ili metoda tangente sastoji se u tome da se $n + 1$ -va aproksimacija x_{n+1} odredi kao sjecište x osi i tangente na graf funkcije f u točki s apscisom x_n .



Slika 3. Geometrijska interpretacija Newtonove metode

Iz interpretacije se vidi da se točka x_{n+1} u odnosu na x_n nalazi u smjeru pada funkcije f (pod uvjetom da je $f'(x_n) \neq 0$, što je nužno da bi se mogao napraviti korak Newtonove metode). Na osnovu ovog zapažanja može se konstruirati globalno konvergentna Newtonova metoda. Polazeći od aproksimacije x_n konstruira se x_{n+1} Newtonovim korakom. Nova aproksimacija se prihvaća ako vrijedi:

$$|f(x_{n+1})| < |f(x_n)| \quad (4)$$

U suprotnom se zaključuje da je Newtonova iteracija otišla predaleko te treba smanjiti korak. Ako se korak dovoljno smanji dolazi se do prihvatljive aproksimacije. Dakle, umjesto x_{n+1} uzima se $\frac{x_{n+1} + x_n}{2}$ kao nova aproksimacija te se ponavlja postupak polovljenja sve dok uvjet (4) ne bude zadovoljen. Jednadžba tangente u točki $T_n(x_n, f(x_n))$ glasi:

$$y - f(x_n) = f'(x_n)(x - x_n) \quad (5)$$

Pri tome je f' oznaka za derivaciju funkcije f . S obzirom na to da tangenta u točki $T_n(x_n, f(x_n))$ siječe os x u x_{n+1} , iz zahtjeva $y = 0$ za $x_{n+1} = x$ slijedi da je nova aproksimacija dana izrazom:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}, \quad n \geq 0, \quad (6)$$

uz pretpostavku da $f'(x_n)$ postoji te da je $f'(x_n) \neq 0, \forall x_n$ [1,3].

2.2. Analitički izvod Newtonove metode

Do Newtonove metode može se doći i analitički. Neka je α nultočka funkcije f . Pretpostavka je da je funkcija f dva puta neprekidno derivabilna na nekom intervalu oko α , tj. da je $f \in C^2(I)$, $\alpha \in I$. Neka je $x_n \in I$ aproksimacija nultočke α . Funkcija f može se razviti u Taylorov red oko x_n do uključivo prvog člana:

$$f(x) = f(x_n) + f'(x_n)(x - x_n) + \frac{f''(\xi_n)}{2} (x - x_n)^2 \quad (7)$$

pri čemu je ξ_n između x i x_n , tj. $\xi_n \in I$. Uvrštavanjem nultočke $x = \alpha$ u relaciju (7) slijedi:

$$0 = f(\alpha) = f(x_n) + f'(x_n)(\alpha - x_n) + \frac{f''(\xi_n)}{2} (\alpha - x_n)^2 \quad (8)$$

Uz pretpostavku da je $f'(x_n) \neq 0$, sređivanjem jednadžbe (8) dobiva se:

$$\alpha = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} - (\alpha - x_n)^2 \frac{f''(\xi_n)}{2f'(x_n)} \quad (9)$$

Ako se pretpostavi da je aproksimacija x_n dovoljno blizu α , tj. da je $|\alpha - x_n|$ mali, slijedi da je $(\alpha - x_n)^2$ puno manji što znači da se zadnji član u relaciji (9) može zanemariti. Dakle, uz pretpostavku da je $x_{n+1} \approx \alpha$, vrijedi [1, 4]:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (10)$$

2.3. Analiza konvergencije i ocjena greške Newtonove metode

Aproksimacijom grafa funkcije tangentom gubi se sigurna konvergencija metode. Ovisno o početnoj aproksimaciji, može se dogoditi da metoda ne konvergira prema nultočki funkcije. Uvrštavanjem relacije (10) u (9) dobiva se:

$$\alpha - x_{n+1} = -(\alpha - x_n)^2 \frac{f''(\xi_n)}{2f'(x_n)} \quad (11)$$

Iz jednadžbe (11) može se zaključiti da je Newtonova metoda, kad konvergira, kvadratno konvergentna. Takav zaključak vrijedi samo ako $f'(x_n)$ ne teži k nuli tijekom cijelog procesa, tj. ako je $f'(\alpha) \neq 0$, dakle ako je nultočka jednostruka.

Teorem 1. Neka su f , f' i f'' neprekidne za sve x u nekom intervalu koji sadrži jednostruku nultočku α . Ako je početna aproksimacija x_0 izabrana dovoljno blizu nultočke α , niz iteracija x_n konvergirat će prema α s redom konvergencije $p = 2$. Štoviše, vrijedi:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\alpha - x_{n+1}}{(\alpha - x_n)^2} = - \frac{f''(\alpha)}{2f'(\alpha)} \quad (12)$$

Ovaj teorem daje dovoljne uvjete za tzv. lokalnu konvergenciju Newtonove metode prema jednostrukoj nultočki α . Konvergencija je lokalna jer je postavljen uvjet da početna aproksimacija mora biti dovoljno blizu nultočke.

Neka je α jednostruka nultočka funkcije f i neka je $I_\varepsilon = \{x \in \mathbb{R}, |x - \alpha| \leq \varepsilon\}$ segment radijusa ε oko α . Uz pretpostavku da je f klase $C^2(I_\varepsilon)$ za sve dovoljno male ε , definira se:

$$m_1(\varepsilon) = \min_{x \in I_\varepsilon} |f'(x)| \quad (13)$$

$$M_2(\varepsilon) = \max_{x \in I_\varepsilon} |f''(x)| \quad (14)$$

$$M(\varepsilon) = \frac{M_2(\varepsilon)}{2m_1(\varepsilon)} \quad (15)$$

Ako je ε toliko mali da vrijedi $\varepsilon < \frac{1}{2M(\varepsilon)}$, tada je za bilo koju početnu točku $x_0 \in I_\varepsilon$ Newtonova metoda dobro definirana i konvergira barem kvadratno prema jedinjoj nultočki $\alpha \in I_\varepsilon$.

U nekim situacijama ovaj rezultat o lokalnoj konvergenciji može se iskoristiti kako bi se osigurala konvergencija Newtonove metode. Uz pretpostavku da je locirana nultočka α funkcije f u segmentu $[a, b]$ i da je $f \in C^2[a, b]$, definira se $m_1 = \min_{x \in [a, b]} |f'(x)|$ i $M_2 = \max_{x \in [a, b]} |f''(x)|$. Neka je f strogo monotona na $[a, b]$, što je ekvivalentno s $m_1 > 0$. Tada f ima jedinstvenu nultočku α na $[a, b]$.

Veličine m_1 i M_2 daju i lokalne ocjene greške iteracija u Newtonovoj metodi, uz uvjet da su sve iteracije u segmentu $[a, b]$. Ocjena greške za svaku iteraciju x_n u Newtonovoj metodi glasi:

$$|\alpha - x_n| \leq \frac{M_2}{2m_1} (x_n - x_{n-1})^2 \quad (16)$$

Ako je ε gornja ograda za apsolutnu grešku, tj. tražena točnost, tada zahtjev

$$\frac{M_2}{2m_1} (x_n - x_{n-1})^2 \leq \varepsilon \quad (17)$$

$$\text{tj. } |x_n - x_{n-1}| \leq \sqrt{\frac{2m_1\varepsilon}{M_2}} \quad (18)$$

garantira da vrijedi $|\alpha - x_0| \leq \varepsilon$ do na grešku zaokruživanja. Relaciju (18) zovemo kriterij zaustavljanja iteracije u Newtonovoj metodi.

U analizi konvergencije i ocjeni greške korištena je pretpostavka da je funkcija f strogo monotona na $[a, b]$, tj. da prva derivacija f' ima fiksni predznak na cijelom intervalu. Ako i druga derivacija ima fiksni predznak na tom intervalu, može se dobiti i globalna konvergencija Newtonove metode uz odgovarajući izbor početne aproksimacije.

Teorem 2. Neka je $f \in C^2[a, b]$, $f(a) \cdot f(b) < 0$ i neka prva i druga derivacija f' i f'' nemaju nultočku u $[a, b]$, tj. imaju konstantan predznak na $[a, b]$. Ako polazna iteracija x_0 iz intervala $[a, b]$ zadovoljava uvjet

$$f(x_0) \cdot f''(x_0) > 0, \quad (19)$$

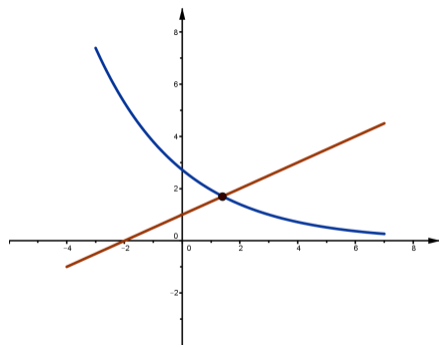
tada niz iteracija dobiven Newtonovom metodom konvergira prema jedinstvenoj jednostrukoj nultočki funkcije f . [1,4]

2.4. Rješavanje nelinearnih jednadžbi Newtonovom metodom

Primjer 1. Uz pomoć softvera Matlab R2012a, Newtonovom metodom s točnošću $\varepsilon = 10^{-6}$ određena je nultočka funkcije $f(x) = e^{-\frac{x}{3}+1} - \frac{x}{2} - 1$.

S obzirom na to da je traženje nultočke funkcije f ekvivalentno traženju rješenja jednadžbe $e^{-\frac{x}{3}+1} = \frac{x}{2} + 1$, u svrhu izolacije nultočaka zadane funkcije, nacrtani su

grafovi funkcija $f_1(x) = e^{-\frac{x}{3}+1}$ i $f_2(x) = \frac{x}{2} + 1$ te je određen interval u kojem se nalazi točka presjeka.



Slika 4. Graf funkcije $f_1(x) = e^{-\frac{x}{3}+1}$ i $f_2(x) = \frac{x}{2} + 1$

Iz slike se može zaključiti da zadana funkcija ima jedinstvenu nultočku u intervalu $I = [1,2]$. Prva i druga derivacija funkcije f glase:

$$f'(x) = -\frac{1}{3}e^{-\frac{x}{3}+1} - \frac{1}{2} \quad (20)$$

$$f''(x) = \frac{1}{9}e^{-\frac{x}{3}+1} \quad (21)$$

Dakle, $m_1 = \min_{x \in [1,2]} |f'(x)| = 0.965204141696$,

$M_2 = \max_{x \in [1,2]} |f''(x)| = 0.588276672276$.

Kriterij zaustavljanja:

$$|x_n - x_{n-1}| \leq \sqrt{\frac{2m_1 \varepsilon}{M_2}} = 0.001811481 \quad (22)$$

S obzirom na to da vrijede uvjeti teorema 2, u svrhu osiguravanja sigurne konvergencije prema nultočki funkcije za početnu aproksimaciju uzima se da je $x_0 = 2$. U Matlabu je napravljena funkcija newton [5]:

```
function newton(f, df, x0, e, m1, M2)
format long
if nargin ~= 6
    error('pogresan unos elemenata');
end

f = inline(f);
df = inline(df);
x(1) = x0 - (f(x0)/df(x0));
ex(1) = abs(x(1)-x0);
k = 2;
g=sqrt(2*m1*e/M2);

while (ex(k-1) > g)
    x(k) = x(k-1) - (f(x(k-1))/df(x(k-1)));
    ex(k) = abs(x(k)-x(k-1));
    k = k+1;
end
end
```

Prilikom poziva funkcije newton unosi se zadana funkcija, derivacija funkcije, početna aproksimacija, tražena točnost te m_1 i M_2 . Kao izlaz, funkcija vraća

aproksimaciju nultočke funkcije dobivene u svakom koraku iteracije.

Tabela 1. Newtonova metoda za traženje nultočke funkcije $f(x) = e^{-\frac{x}{3}+1} - \frac{x}{2} - 1$

broj iteracija	$ x_n - x_{n-1} $	x_n
1	0.626175902905177	1.373824097094823
2	0.030405944185757	1.404230041280580
3	0.626175902905177	1.373824097094823
4	0.030405944185757	1.404230041280580
5	0.000082463914584	1.404312505195164

Nultočka zadane funkcije, uz traženu točnost, dobivena je nakon provedenih 5 iteracija i iznosi:

$$x_5 = 1.404312505195164$$

Primjer 2. Neka je zadan polinom $f(x) = x^3 - 4x$. Zadana funkcija ima tri realne nultočke $x_1 = 0$, $x_2 = 2$, $x_3 = -2$. Postavlja se pitanje kojem će rješenju težiti Newtonova metoda prilikom nasumičnog odabira početne aproksimacije. Funkcija newton2 za unesenu proizvoljnu početnu aproksimaciju izvršava korak Newtonove metode sve dok nije zadovoljen uvjet $f(x) = 0$, ili je napravljen maksimalan broj iteracija zadan u pozivu funkcije [5].

```
function [x] = newton2(f, df, x0, iter)
format long
if nargin ~= 4
    error('pogresan unos elemenata');
end

f = inline(f);
df = inline(df);

x(1) = x0 - (f(x0)/df(x0));
k = 2;

while (k <= iter) && (f(x(k-1)) ~= 0)
    x(k) = x(k-1) - (f(x(k-1))/df(x(k-1)));
    k = k+1;
end
end
```

Domena funkcije podijeljena je na tri intervala: $< -\infty, -2 >$, $< -2, 2 >$, $< 2, \infty >$. Promatrano je kamo teži niz iteracija u ovisnosti o intervalu u kojem se nalazi početna aproksimacija.

Tabela 2. Konvergencija Newtonove metode prilikom traženja nultočke funkcije $f(x) = x^3 - 4x$ za nasumično odabranu početnu aproksimaciju iz intervala $< -\infty, -2 >$

broj iteracija	x_n			
0	-16	-8	-4	-2.5
1	-10.7225	-5.44681	-2.90909	-2.11864
2	-7.23221	-3.80208	-2.30209	-2.00928
3	-4.94760	-2.79226	-2.05065	-2.00006
4	-3.48841	-2.24552	-2.00182	-2.00000
5	-2.61177	-2.03516	-2.00000	
6	-2.16421	-2.00089		
7	-2.01698	-2.00000		
8	-2.00021			
9	-2.00000			

S obzirom na dobivene rezultate može se pretpostaviti da za početne aproksimacije iz intervala $< -\infty, -2 >$ niz iteracija x_n konvergira prema nultočki $x_n = -2$.

Tabela 3. Konvergencija Newtonove metode prilikom traženja nultočke funkcije $f(x) = x^3 - 4x$ za nasumično odabranu početnu aproksimaciju iz intervala $< 2, \infty >$

broj iteracija	x_n			
0	16	8	4	2.5
1	10.7225	5.44681	2.90909	2.11864
2	7.23221	3.80208	2.30209	2.00928
3	4.94760	2.79226	2.05065	2.00006
4	3.48841	2.24552	2.00182	2.00000
5	2.61177	2.03516	2.00000	
6	2.16421	2.00089		
7	2.01698	2.00000		
8	2.00021			
9	2.00000			

Analogno intervalu $< -\infty, -2 >$, za početnu aproksimaciju iz intervala $< 2, \infty >$ niz iteracija konvergira prema nultočki $x_n = 2$. Izvršavanje funkcije newton2 za različite početne aproksimacije dovodi do zaključka da što je početna aproksimacija bliže nultočki, konvergencija Newtonove metode je brža.

Tabela 4. Konvergencija Newtonove metode prilikom traženja nultočke funkcije $f(x) = x^3 - 4x$ za nasumično odabranu početnu aproksimaciju iz intervala $< -2, 2 >$

broj iteracija	x_n			
0	-1.2	-1.1	-0.9	-0.8
1	-10.8000	7.19459	0.92866	0.49231
2	-7.28326	4.92321	-1.13380	-0.07291
3	-4.98070	3.47320	20.31275	0.00019
4	-3.50907	2.60320	13.58574	0.00000
5	-2.62345	2.16057	9.12306	
6	-2.16920	2.01629	6.18106	
7	-2.01794	2.00020	4.26972	
8	-2.00024	2.00000	3.07109	
9	-2.00000		2.38449	
10			2.07663	
11			2.00404	
12			2.00001	
13			2.00000	

Za početne aproksimacije iz intervala $< -2, 2 >$ situacija je malo složenija. Iz dobivenih rezultata vidi se da za vrlo male razlike u početnim aproksimacijama niz iteracija teži različitim nultočkama, i to ne uvijek onoj najbližoj kao što je pretpostavljeno da će se dogoditi. Za početne aproksimacije $x_0 = -1.1$ i $x_0 = -0.9$ niz iteracija teži nultočki $x_n = 2$ usprkos tome što se nultočke -2 i 0 nalaze bliže.

3. NEWTONOV FRAKTAL

Ako se Newtonova metoda poopći na kompleksnu ravninu, gdje se ona sustavno provodi za svaku točku promatranog uzorka \mathbb{C} – ravnine za neki zadani polinom, dobiva se grafička interpretacija problema gdje se kao direktni nedostatak iteracijske metode javljaju fraktalni

uzorci. Sama priroda složenog (pa i realnog) iteratora izrazito je osjetljiva na početne uvjete te se on može promatrati u kontekstu dinamičkog sustava, gdje je njegovo buduće stanje definirano sadašnjim stanjem uz neke dodatne uvjete i parametre. Poopćenje problema na kompleksnu ravninu generira uistinu fascinante fraktalne skupove koji su ostvareni Matlabom R2012a. [6,7]

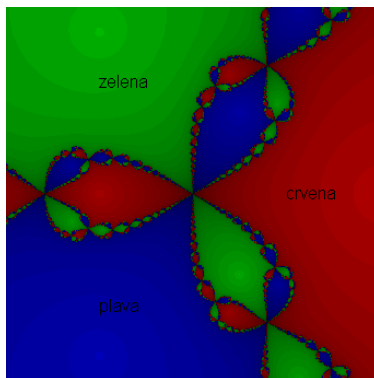
```
p=zeros(n,n);z=p;l=p;a=p;
solmap=zeros(n,n,3);
x=linspace(-1,1,n);
y=x;
[X,Y]=meshgrid(x,y);
for k=1:n
    for j=1:n
        z(k,j)=x(j)+li*y(n+1-k);
        m=(z(k,j));
        while abs(f(m))>1e-6
            m=m-(f(m)/g(m));
            a(k,j)=imag(m);
            if a(k,j)<1e-6 && a(k,j)>-1e-6
                a(k,j)=0;
            end
            p(k,j)=p(k,j)+1;
        end
    end
end
maxp=max(max(p));
for k=1:n
    for j=1:n
        if a(k,j)==0
            solmap(k,j,1)=1-(p(k,j)/maxp)^0.4;
        elseif a(k,j)>0
            solmap(k,j,2)=1-(p(k,j)/maxp)^0.4;
        else
            solmap(k,j,3)=1-(p(k,j)/maxp)^0.4;
        end
    end
end
pcolor(X,Y,p);
colormap pink;
shading interp;
axis equal tight;
figure
imagesc(solmap);
text(250,200,['zelena'],...
    'VerticalAlignment','middle',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'FontSize',12)
text(750,500,['crvena'],...
    'VerticalAlignment','middle',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'FontSize',12)
text(250,800,['plava'],...
    'VerticalAlignment','middle',...
    'HorizontalAlignment','left',...
    'FontSize',12)
shading interp; axis equal tight off;
```

Točki složene ravnine boju se može pridružiti na dva načina: prema kriteriju konvergencije i kriteriju iteracije. Kriterij konvergencije svakoj nultočki polinoma pridružuje jedinstvenu boju. Točka koja u iteracijskom procesu konvergira ima boju korijena prema kojem konvergira, a sve divergentne točke imaju svoju nezavisnu boju. Kriterij iteracije svakoj točki složene ravnine pridružuje boju s obzirom na broj iteracija potrebnih da točka dosegne svoje konačno stanje.

Polinom trećeg stupnja $f(z) = z^3 - 1$ ima tri rješenja. Jedno realno $z_1 = 1$ i dva složena $z_2 = -\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}$, $z_3 = -\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}$. Prikazani u kompleksnoj ravnini, ova tri korijena vrhovi su jednakostraničnog trokuta. Te su nultočke ekvidistantni složeni brojevi kojima se argumenti razlikuju za višekratnik od 120° .

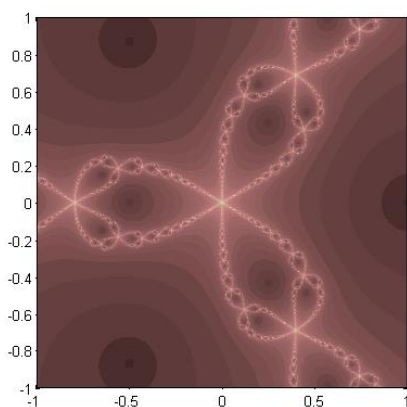
Zamislimo li složenu ravninu kao glatku površinu s tri duboke udoline u koju je s nekog položaja puštena

kuglica, postavlja se pitanje u koju će se dolinu kuglica otkotrljati. Uz pomoć računala može se nacrtati slika tako da su točke obojane s tri različite boje ovisno o tome kojem rješenju teže. Nijansa boje ovisi o brzini konvergencije kojom točka teži prema rješenju. Grubom procjenom može se zaključiti da dinamika Newtonove metode dijeli plohu na tri dijela. Općenito, točke blizu određenog rješenja brzo vode tom rješenju. Sustavno računalno istraživanje pokazuje složeniji ustroj. Dok se neke početne procjene brzo približavaju korijenu, druge nasumično poskakuju naokolo prije nego što se napokon upute prema rješenju. Ponekad se čini da će točka upasti u beskonačan ciklus koji će se zauvijek ponavljati, nikad ne dostižući jedno od tri rješenja. Ovim problemom bavio se američki matematičar John Hubbard. Istražujući prostor sve dalje i dalje u sve finijim pojedinostima, Hubbard i njegovi studenti bili su zapanjeni slikom koja se počela pojavljivati. Primijetili su da nijedna točka nije granica između samo dvije boje. Kad god se dvije boje pokušavaju spojiti, treća se uvijek umeće nizom novih, sebi sličnih upada (slika 5.). Izgleda nemoguće, ali svaka granična točka graniči s područjem svake od triju boja. [2,6]



Slika 5. Newtonov fraktal za polinom $f(z) = z^3 - 1$ nastao pridruživanjem boje prema kriteriju konvergencije

Točke koje su obojane crvenom bojom konvergiraju prema 0, obojane plavom bojom prema $-\frac{1}{2} + i\frac{\sqrt{3}}{2}$, a obojane zelenom bojom konvergiraju prema $-\frac{1}{2} - i\frac{\sqrt{3}}{2}$.



Slika 6. Newtonov fraktal za polinom $f(z) = z^3 - 1$ nastao pridruživanjem boje prema kriteriju iteracije

Na slici 6. najtamnijom bojom obojane su nultočke funkcije. Broj iteracija u tim točkama očito je jednak nuli. Svjetlijim točkama trebalo je više vremena da konvergiraju. Točke obojane potpuno bijelom bojom nisu uopće konvergirale, pri čemu je uvažena činjenica da je broj iteracija limitiran nekim konačnim iznosom u svrhu sprečavanja beskonačne petlje. Fraktalni skup realiziran na ovaj način daje globalni uvid u brzinu promjene složenog dinamičkog sustava na promatranom uzorku kompleksne ravnine.

Koristeći se Matlabom R2012a, Newtonova metoda primijenjena je na polinom $z^4 - 1$. Nultočke polinoma su 1, -1, i , $-i$. Kaos se očituje na simetralama I. i III. te II. i IV. kvadranta jer se ovdje nalaze točke koje su na jednakim udaljenostima od spomenutih nultočaka (slika 7.). Funkcijom newtonfraktal generirani su newtonovi fraktali za različite polinome [9].

```
function newtonfraktal(koef,br,raspon)
```

```
greska = 10^(-3);
maxiteracija = 1000;
```

```
if nargin ~= 3
    error('pogresan unos elemenata');
end
```

```
korijen = roots(koef);
st = length(koef)-1;
```

```
if st>6
    error(sprintf('broj koeficijenata mora biti manji
ili jednak 6'))
end
```

```
if (nargin < 3)
    margin = 0.5;
    xlow = min(real(korijen));
    xhigh = max(real(korijen));
    ylow = min(imag(korijen));
    yhigh = max(imag(korijen));
    xmin = xlow-margin*(max(xhigh-xlow,1));
    xmax = xhigh+margin*(max(xhigh-xlow,1));
    ymin = ylow-margin*(max(yhigh-ylow,1));
    ymax = yhigh+margin*(max(yhigh-ylow,1));
```

```
else
    xmin = raspon(1);
    xmax = raspon(2);
    ymin = raspon(3);
    ymax = raspon(4);
end
```

```
x = linspace(xmin,xmax,br);
y = linspace(ymin,ymax,br);
boje = 'mcbryg';
brojacboje = zeros(1,st);
bojanje = zeros(st,br^2);
p = [st:-1:1].*koef(1:st);
```

```
for u=x
    for v=y
        z = u+v*i;
        z0 = z;
        err = inf;
        iteracija = 0;
```

```
while ((err > greska) & (iteracija<maxiteracija))
    f = polyval(koef,z);
    fd = polyval(p,z);
    znew = z-polyval(koef,z)/polyval(p,z);
    err = abs(z-znew);
    iteracija = iteracija+1;
    z = znew;
end
```

```

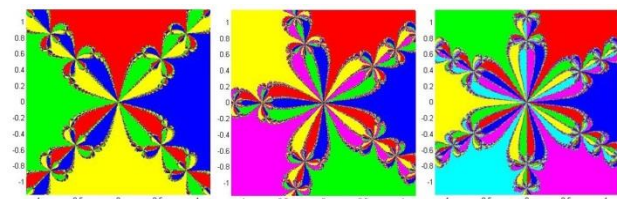
if err <= greska
    root = z;
else
    root = NaN;
end

[razlika, kojikorijen]=min(abs(root-korijen));
brojacboje(kojikorijen)=brojacboje(kojikorijen)+1;
bojanje(kojikorijen,brojacboje(kojikorijen))=z0;
    end
end

figure(1)
clf()
hold on

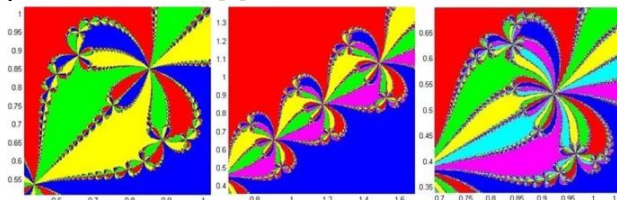
for k = 1:st
    plotarg = strcat(boje(k), '.');
    boja = bojanje(k,1:brojacboje(k));
    plot(boja,plotarg, 'MarkerSize',1)
end
axis('equal')
axis([xmin xmax ymin ymax])
hold off

```

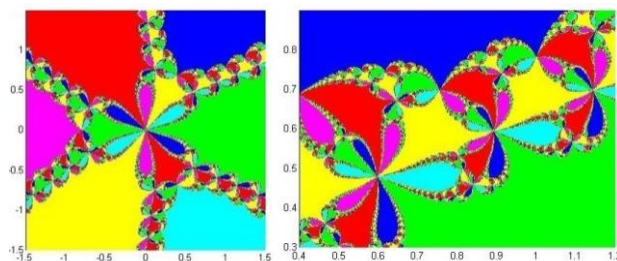


Slika 7. Newtonovi fraktali za polinome $f(z) = z^4 - 1$, $f(z) = z^5 - 1$ i $f(z) = z^6 - 1$ nastali pridruživanjem boje prema kriteriju konvergencije

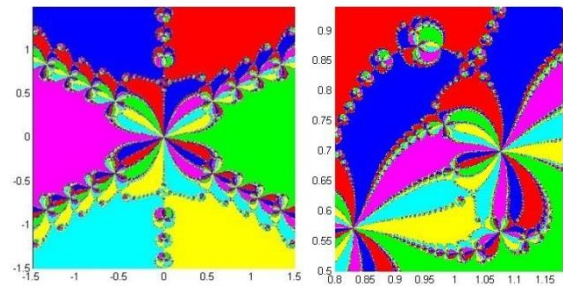
Oblik fraktalnog skupa definiran je mnogim parametrima: kompleksnim polinomom, maksimalnim brojem iteracija, zadanom tačnošću, veličinom uzorka složene ravnine i slično, no ono što ostaje kao univerzalno obilježje za bilo koji polinom jest kaos koji se uvijek javlja na granici bazena privlačnosti i u polovima iteratora. [6]



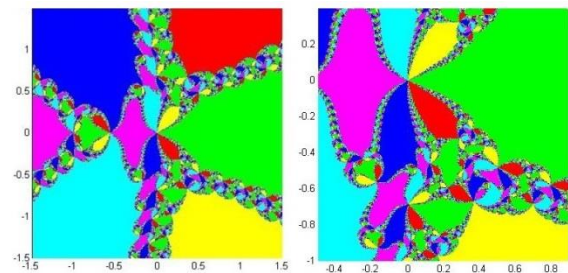
Slika 8. Fraktalna svojstva na granicama bazena privlačnosti za polinome $f(z) = z^4 - 1$, $f(z) = z^5 - 1$ i $f(z) = z^6 - 1$



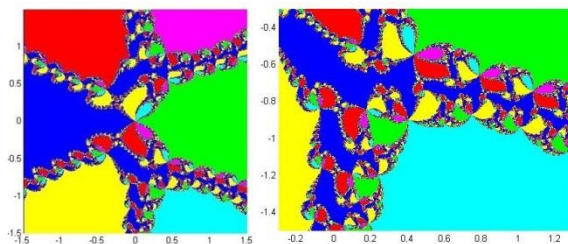
Slika 9. Fraktalna svojstva na granicama bazena privlačnosti za polinom $f(z) = z^6 + z^3 - 1$



Slika 10. Fraktalna svojstva na granicama bazena privlačnosti za polinom $f(z) = z^6 + z^4 - 1$



Slika 11. Fraktalna svojstva na granicama bazena privlačnosti za polinom $f(z) = z^6 + z^5 + z^3 + z^2 - 1$



Slika 12. Fraktalna svojstva na granicama bazena privlačnosti za polinom $f(z) = z^6 + z^4 + z^3 + z^2 - 1$

4. ZAKLJUČAK

Važna karakteristika Newtonove metode je osjetljivost na početne uvjete, što je jako važno svojstvo svakog kaotičnog dinamičkog sustava gdje se onda najčešće u vizualizaciji problema javljaju fraktalni uzorci. U nekoliko je slučajeva Newtonova metoda potpuno nekorisna. U slučaju kada je za početnu aproksimaciju uzeta točka koja se nalazi na granici između dva rješenja tangenta u točki $(x_0, f(x_0))$ paralelna je s osi x . S obzirom na to da nazivnik u iteracijskoj metodi postaje nula, dobivena je izrazito jaka divergencija. Općenito, ovaj se problem javlja u svim ekstremima funkcije f jer u nazivniku iteratora imamo derivaciju funkcije koja je za ekstreme te funkcije jednaka nuli. Dakle, svaka aproksimacija stacionarnom točkom daje kaotično ponašanje iteracijskog procesa. Usprkos tome, s obzirom na to da Newtonova metoda brzo konvergira za početne aproksimacije u okolini nultočke, smatra se jednom od najčešće korištenih metoda za pronalaženje korijena jednadžbe. [6]

5. LITERATURA

- [1] Drmač, Z.; Hari, V.; Maručić, M.; Rogina, M.; Singer, S.; Singer, S.: Elektronski udžbenik iz Numeričke analize, Sveučilište u Zagrebu, Pmf – matematički odsjek, Zagreb, 2003.
- [2] Gleick, J.: Kaos – rađanje nove znanosti, Izvori, Zagreb, 1996.
- [3] Jurak, M.: Rješavanje nelinearnih jednažbi, materijali za nastavu iz praktikuma primijenjene matematike 1, Sveučilište u Zagrebu, PMF – matematički odsjek, Zagreb, 2005.
- [4] Singer, S., Bosner, T.: Numerička analiza – 23. predavanje, Sveučilište u Zagrebu, PMF – matematički odsjek, Zagreb
- [5] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/28227-newtons-method/content/newton.m> (Dostupno: 10.10.2013.)
- [6] Matijević, M.: Fraktalni oblici u numeričkim aproksimacijama, Hrvatski matematički elektronički časopis, No. 5 (lipanj 2005.)
- [7] <http://www.oup.com/us/static/companion.websites/p-ratap/extrashtml/nfractal.html> (Dostupno: 10.10.2013.)
- [8] <http://facstaff.unca.edu/mcmclur/mathematicaGraphics/Newton/> (Dostupno: 10.10.2013.)
- [9] <http://www.massey.ac.nz/~ctuffley/fractals/newtonfrac.m> (Dostupno: 10.10.2013.)

Kontakt autora:

Sanja Zlatić, dipl.inž.mat.

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

KORIŠTENJE I PREDNOSTI AS-I KOMUNIKACIJSKOG PROTOKOLA U INDUSTRIJI

USAGE AND ADVANTAGES OF AS-I COMMUNICATION PROTOCOL FOR INDUSTRY

Igor Petrović, Mario Vinković

Stručni članak

Sažetak: Porast složenosti tehnoloških procesa u industriji zahtijeva usporedno razvoj tehničkih rješenja koja će zadovoljiti visoke standarde u proizvodnji vezano uz kvalitetu, brzinu, pouzdanost i sigurnost u radu. Uz napredniju hardversku opremu i sve razvijeniju programsku podršku izravno primjenjive za rješavanje standardnih problema i zadataka, razvijaju se aplikativna rješenja za industrijske komunikacijske protokole. Utjecaj elektromagnetskih smetnji, mehanička opterećenja, daljina prijenosa i sl. redom su rješavani povećanjem složenosti izvedbe novih komunikacijskih protokola i standarda. Jedan od takvih protokola je AS-I (eng. Actuator Sensor Interface), koji se ističe karakteristikom da se smanjenjem mehaničke složenosti povećava mogućnost upravljanja elementima za automatizaciju industrijskog pogona.

Ključne riječi: komunikacijski protokol, AS-I mreža, automatizacija, industrija

Professional paper

Abstract: The increase in complexity of technological processes for industry requires parallel development of technical solutions which will satisfy high standards in production regarding quality, speed, reliability and safety at work. The use of advanced hardware equipment and more sophisticated program solutions for application on standard problems and tasks provides better applicative solutions for the industrial communication technologies. The influence of electromagnetic disturbance, mechanical loads, distance of transfer, and similar problems are usually solved by an increase of complexity of new communication protocols and standards. One of these protocols is AS-I (Actuator Sensor Interface), which stands out by its unique characteristic where the possibility of automation element management in industry plants is increased by reducing mechanical complexity.

Key words: communication protocol, AS-Interface, automation, industry

1. INTRODUCTION

New technologies used in modern industry solutions very often are promoted through usage of new and complex communication protocols, such as Profibus, Profinet or GSM/GPRS. In the lowest process level of automation system (as in [1]) some other criteria are applied. Usage of low complexity solutions is very common, both for electrical signal processing and communication with actuators and sensors.

Main issue for the lowest process level in automation system is direct contact of electrical energy transfer and signal acquisition with mechanical equipment used for technology or manufacturing process. Therefore, requirements for simple and robust solutions are very frequent. Heavy and powerful mechanical drives and machines often do not allow standard wiring and data transfer solutions to be implemented to the whole or a part of an industrial plant. Also, quantity of actuators and sensors can often add significant problems to mounting and wiring of a machine. On the other hand, some communication solutions are sensitive on noises due to low voltage and high speed of data transfer. The most common communication solution is presented in this

paper with its application on two examples of machines in industry.

2. ROTARY MACHINES IN INDUSTRY

The most complex application for sensor and actuator mounting and wiring are rotary machines in industry. Rotary machines can be derived with continuous or limited rotating of mechanical parts of machine. In such case wires and cables can be exposed to winding, which can lead to destruction of these wires and cables.

Example of simple rotary machine with limited rotation of mechanical parts is a dual-axis tracking system with PV modules. Dual-axis tracking is managed by two actuators, each providing rotation of mechanical construction for mounting the PV modules. The axes used for this machine are azimuth and slope. The azimuth is limited to 180° of mechanical twist from east to west, passing through south. The automation solution used in Figure 1 ([2], [3], [4]) is derived by two linear actuators, three light sensors with analogue signals and four limit switches, all placed on mechanical construction of dual-axis tracking system.

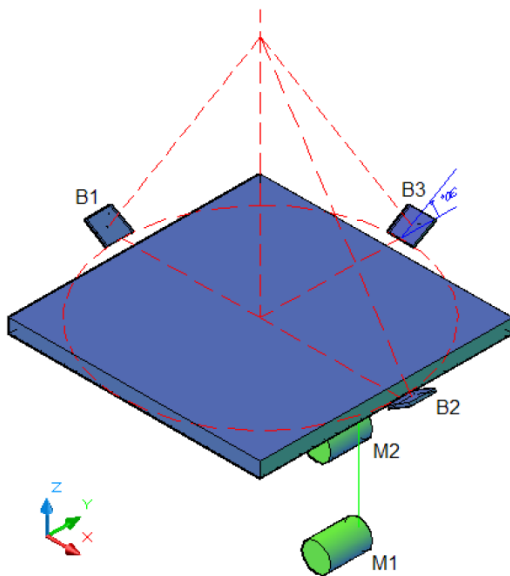


Figure 1. Dual-axis tracking system, solution 1, [2], [3], [4]

The example of complex mechanical construction for rotary machine is the system for packing bricks, as shown in Figure 2. The conveyor belts 1, 2 and 3 are fixed and only serve for transfer of brick blocks 6, as shown in Figure 2. Part 4 of the machine is used for application of plastic on brick blocks. In order to fulfill this task, continuous rotation must be applied to part 4 with all the equipment mounted on it, such as sensors (part 5) and plastic container actuators.

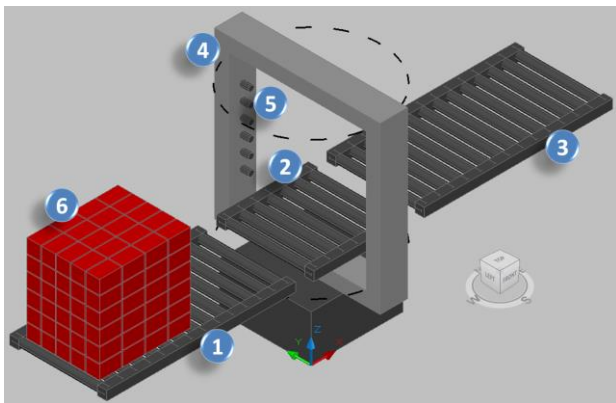


Figure 2. Brick packing machine

Since rather high number of actuators and sensors are mounted on rotating mechanical constructions, one must consider the simplest solution for automation of this machine. For example, there are four limit switches and three analog sensors on dual-axis tracking system. Limit switches must be provided with one wire for power supply and four wires for switch signals, and six wires for analogue sensors. Also, there are six sensors on brick packing system that are mounted on rotating part of the machine. Therefore, minimum of wiring will be provided by two wires of power supply and six wires for digital signals. The solution obtained should somewhat reduce the number of wires for implementation of these actuators and sensors in the automation system.

3. AS-I NETWORK FOR AUTOMATION SYSTEM

The Actuator/Sensor Interface (AS-Interface, AS-I) is only low process level standard with bit-oriented fieldbus. The development started in late 1980s and early 1990s by a group of companies. The original specification was published in 1994 as version 2.04. and its enhancements in 1998 as version 2.11. Later, additional capabilities were provided in 2005/2007 as version 3.0. The idea is to provide multiple simple field devices with power supply and data acquisition only by using two wires [5]. It is often an alternative for high level fieldbus networks (such as Profibus, Profinet, etc.) when low cost and robust solutions are required, as shown in Figure 3. AS-I is open technology accepted by most of automation equipment providers.

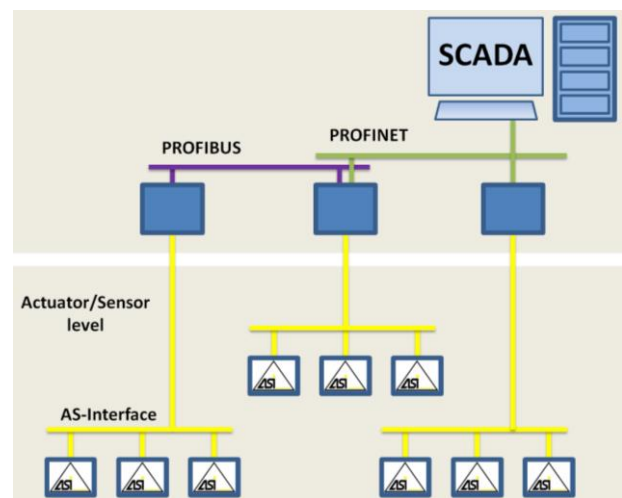


Figure 3. Example of automation system network [6]

AS-I network is easy to implement in automation system. The network is composed of only four components. Only one network master and multiple slave modules for input/output devices can be applied. A single power supply is used to supply whole network components with power and communication. The main characteristic of AS-I is wiring infrastructure, which is provided by only two-wire cable (*flat cable*) as presented in Figure 4.



Figure 4. AS-I flat cable

In AS-I network only one network master is placed to manage the network. Both, network master and all slave modules, are powered by the same supply in voltage range of 29.5 V to 31.6 V, and data is transferred by current modulation. Slave modules are each provided with unique network address, which cannot be used again in that network. Adding a new slave module to network has no effect on other members of network since it is done by “penetration” technique, where new module penetrates cable isolation which can be online. Reaction

time of AS-I network is maximum of 5 ms for data exchange with 31 modules, and 10 ms for 62 modules. Single bit time is 6 μs. Maximum cable length is 100 m for single line, and must be derived from single cable segment. After 100 m repetition module must be applied, and length can grow even to 300 m. Maximum length of network can grow up to 500 m if master module is placed in the middle of cable segment. End of single segment must be locked with terminator resistor to reduce reflectance. For star-shape network total length is practically not limited. When using standard AS-I modules only 124 actuators/sensors can be operated, but if extended master and extended addressing mode are used it can grow to 248 actuators and 248 sensors. If, for example, Siemens Simatic S-7.A.A profile with 8I/8Q is used, than number can grow up to 496 actuators and 496 sensors. Analogue signals are also supported in AS-I network. Modules are divided as only digital (2DI/2DQ, 4DI/4DQ or 8DI/8DQ), only analogue (2A), super-fast analogue, or combined (1A/1DQ). AS-I standard data exchange is provided by master call, and is 14-bit long message which contains data of device address in 5 bits, 4 bits for digital output information and framing bits. Slave module responds by 7-bit message which contains 4 bits of slave inputs. All of this information can be found in [7], [8] and [9]. Figure 5 presents AS-I slave modules.



Figure 5. AS-I slave modules

4. IMPLEMENTATION OF AS-I NETWORK TO ROTARY MACHINES

Simplicity of applying the AS-I communication to rotary machines lies in the possibility of using slip rings. If slip ring was used for standard wiring solutions, the number of slip rings would be too high. Therefore, application of AS-I in combination with slip rings will always introduce only two slip rings, regardless the complexity of mechanical solutions for machine functionality.

When observing possibility of implementation of AS-I in the example of dual-axis tracking system (solution 1), the simplest AS-I solution can be applied. Considering sensors readings acquisition solution, three analogue sensors (B1, B2 and B3) and four limit switches (M1 high and low, and M2 high and low) can

be collected by 3 AS-I modules (1 x 4DI/4DQ and 2 x 2AI), as presented in Figure 6. Actuators do not require special attention since they are in the proposed solution mounted on the fixed part of dual-axis tracking system.

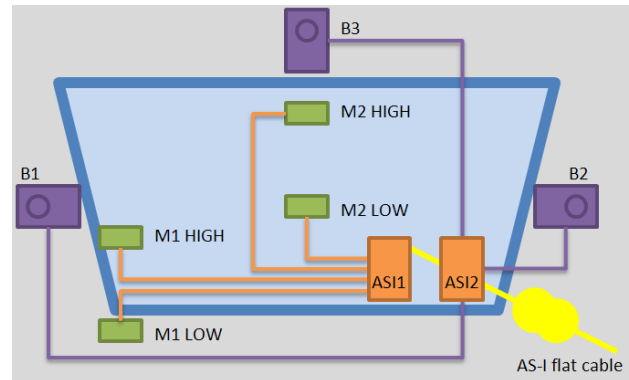


Figure 6. AS-I for dual-axis system, solution 1

Solution is more complex if applied on a real dual-axis tracking system presented in Figure 7. The rotating base (1) of dual-axis tracking system will cause the slope actuator (2) to rotate along with it. Since this solution is not equipped for regulation as described in [2], [3] and [4], there is no need for analog sensors on rotating base of dual-axis tracking system. Therefore, this problem can be solved by single AS-I module 4DI/4DQ. For solution presented in Figure 7 a stepper motor is used for slope regulation, since it is just a model for testing automation equipment.



Figure 7. Real dual-axis tracking system



Figure 8. Industrial plant for brick production and packing [10]

Solution for brick packing machine is more complex since six IC sensors and the subsystem for applying plastic on brick blocks are used. The subsystem consists of one actuator for adhesion of plastic role to brick blocks and one actuator for cutting the plastic when rotary movement of machine is finished. Therefore, the whole subsystem can be performed by one AS-I module 8DI/8DQ.

5. CONCLUSION

If complex mechanical solutions are applied in industry very often there are high limitations on mounting and wiring of automation equipment. Mechanical loads and rotary movements usually require simple and quality solutions of automation systems. The two-wire communication is the best solution in terms of functionality and simplicity. Even when used for rotary machines, AS-I can easily be applied through slip rings with very low interfering in mechanical construction of a machine. Although AS-I network is rather limited in terms of number of nodes (31), simplicity in usage makes this protocol highly desirable when planning and designing automation system for an industrial plant.

6. REFERENCES

- [1] Jurčević, D.; Petrović, I.: Automation of sewage pumping station shaft, *Tehnički glasnik, Vol. 7, Nr. 1, 2013*, pages 8-12
- [2] Gašparac, I.; Vražić, M.; Petrović, I.: Sensor distribution strategy for dual-axes photovoltaic positioning system, *EDPE 2009 - 15th international conference on electrical drives and power electronics, Zagreb, 2009*, pages 1-6
- [3] Petrović, I.; Gašparac, I.; Vražić, M.: Comparison of expected and measured values of luminance sensors in dual-axis photovoltaic positioning system, *The XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM 2010), Rome, 2010*, pages 7-10
- [4] Gašparac, I.; Vražić, M.; Petrović, I.: Expected and measured values of luminance sensors in dual-axis photovoltaic positioning system, *Proceedings of Joint IMEKO TC 11 – TC 19 – TC 20 International Symposium Metrological Infrastructure, Environmental and Energy Measurement, Zagreb, 2011*, pages 52-56
- [5] [http://www.ifm.com/download/files/ifm_Manual_AS-Interface_UK_Rel/\\$file/ifm_Manual_AS-Interface_UK_Rel.2.2_web.pdf](http://www.ifm.com/download/files/ifm_Manual_AS-Interface_UK_Rel/$file/ifm_Manual_AS-Interface_UK_Rel.2.2_web.pdf), retrieved on October 23, 2013
- [6] <http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-controls/en/industrial-communication/as-interface/as-interface/Pages/default.aspx>, retrieved on October 23, 2013
- [7] Siemens Simatic NET: AS-Interface – Introduction and Basics Manual, *Release 04/2006*
- [8] <http://en.wikipedia.org/wiki/AS-Interface>, retrieved on October 23, 2013
- [9] Siemens Simatic: S7-1200 Programmable controller system manual, Issue A5E02486680-06, 04/2012
- [10] <http://www.asideas.com/brick-and-block.html>, retrieved on October 23, 2013.

Author's contact:

Igor Petrović, PhD

Technical college in Bjelovar
Trg Eugena Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
043/241 – 201
ipetrovic@vtsbj.hr

Mario Vinković, student

Technical college in Bjelovar
Trg Eugena Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
043/241 – 201
mariovinkovic@gmail.hr

PRIMJENA VIZUALIZACIJE PROCESA U DIJAGNOSTICI KVAROVA

APPLICATION OF PROCESS VISUALIZATION TO FAILURE DIAGNOSTICS

Josip Srpak

Stručni članak

Sažetak: Ovaj rad prikazuje mogućnosti korištenja vizualizacije tehnoloških procesa kao pomoći u dijagnosticiranju kvarova, odnosno dotrajalosti pojedinih komponenti sustava. Također je na konkretnom ostvarenom primjeru iz prakse prikazana mogućnost korištenja prikaza podataka vizualizacijom na operatorskom panelu koje automatika prikuplja pomoću programabilnog logičkog kontrolera (PLC-a) u svrhu planiranja preventivnog održavanja.

Ključne riječi: dijagnostika kvarova, PLC, preventivno održavanje, vizualizacija procesa

Professional paper

Abstract: This paper gives an overview of usage possibilities of the visualization of technological process as an aid in failure diagnostics, or in deterioration of system components respectively. Moreover, the possibility to use data displayed on an operation panel collected by a programmable logical controller (PLC) for planning the preventive maintenance actions is presented by a specific example realized in practice.

Key words: Process visualization, PLC, preventive maintenance, failure diagnostics

1. UVOD – POJAM DIJAGNOSTIKE

Pojam dijagnostike ili analize kvarova se definira kao proučavanje sustava međusobno povezanih uređaja koji su projektirani da zajednički obavljaju određene funkcije, te kao zaključivanje o mogućim greškama na temelju mjerenja i promatranja. Detekcijom neispravnosti ili poremećaja u radu pojedine komponente sustava mogu se planirati potrebne mjere preventivnog održavanja ili predvidjeti vjerojatnost pojave kvara.

2. MOGUĆNOSTI DETEKCIJE ISPRAVNOSTI ELEMENATA POSTROJENJA SENZORIMA

Veća efikasnost rada nekog postrojenja, uz kraća vremena zastoja, može se postići ako se smetnje „predvide“ prije nego što su nastale. Postrojenje koje je opremljeno adekvatnim senzorima, spojenim na upravljačku automatiku, kontinuirano šalje podatke o stanju pojedinih dijelova opreme. Primljeni podaci se mogu koristiti za vođenje procesa, ali i u dijagnostičke svrhe.

2.1. Mjerenje temperature

U mnogim postrojenjima se susreće mjerenje temperature različitim vrstama senzora. Ovisno o potrebama radnog procesa i zahtjevima načina regulacije, ugrađuje se odgovarajući tip senzora koji može dati rezultat u obliku digitalnog ili analognog signala.

Digitalni signal kao rezultat mjerenja znači da je izmjerena temperatura veća ili manja od prethodno podešene vrijednosti, i koristi se za uključenje/isključenje izvršnog elementa koji utječe na promjenu temperature. To su najčešće različite vrste grijača, ventilatora, rashladnih uređaja itd. Ako je senzor temperature podešen na minimalnu (maksimalnu) vrijednost koja u normalnom pogonu ne bi trebala biti dosegnuta, onda je njegova uloga isključivo dojava, odnosno upozorenje osoblju zaduženom za praćenje rada pogona ili njegovo održavanje. Pri tome je uz dojavu moguće podesiti i automatsko aktiviranje sigurnosnih elemenata kao što su isključenje dovoda toplog medija, uključenje ventilacije na maksimalnu vrijednost, isključenje grijača, otvaranje vrata itd.

Ako je ugrađen senzor temperature koji kao rezultat mjerenja daje kontinuirani podatak u standardnom obliku (npr. 0 – 5(10) V, 4 – 20 mA), taj podatak se može samo prikazivati na odgovarajućem pokaznom instrumentu, ili se može spojiti npr. na analogni ulaz upravljačkog računala (PLC-a) i koristiti za regulaciju te za alarmiranje kod dostizanja odgovarajućih iznosa. Npr., kod temperature prostorije od 30°C treba uključiti ventilator za hlađenje u prvu brzinu. Ako temperatura raste do 35°C uključiti drugu brzinu, a ako dostigne i 40°C upozoriti alarmnim uređajima osoblje koje boravi u prostoriji da poduzme dodatne akcije kako bi se temperatura snizila (otvoriti vrata, isključiti izvor topline ili sl.).

Osoblje koje je zaduženo za održavanje postrojenja opisana situacija u postrojenju može signalizirati da dio pogona ne radi ispravno, odnosno da uređaj koji je i

inače izvor topline proizvodi više topline nego je projektirano, ili uređaj koji bi trebao hladiti prostoriju ne izvršava ispravno svoju zadaću.

2.2. Mjerenje tlaka

Mjerenje tlaka u nekoj posudi ili u cjevovodu također može služiti u regulacijske svrhe, a može biti postavljeno isključivo za detekciju nedopuštenih vrijednosti, odnosno kao sigurnosni element. Senzori tlaka također mogu dati rezultat u digitalnom ili analognom obliku (slika 1.), kako je opisano i za mjerače temperature. Ako se rezultat mjerenja poveže s upravljačkim računalom moguće je programom pratiti promjene tijekom određenog perioda, te se tako dolazi do zaključaka vezanih za istrošenost pojedinih elemenata postrojenja. Npr., ako kompresor radi istom brzinom (snagom), ali mu za postizanje odgovarajućeg tlaka u cjevovodu treba sve više vremena tijekom određenog perioda, može se zaključiti da je potrebno servisirati kompresor. Ako je došlo do naglog porasta vremena koje mu je potrebno za postizanje radnog tlaka u cjevovodu, treba pregledati brtvene elemente na cjevovodu i zamijeniti oštećeni.



Slika 1. Mjerač tlaka s izlaznim signalom 4-20mA

2.3. Mjerenja ostalih procesnih veličina

Kako je opisano na primjerima mjerenja najčešćih procesnih veličina (temperature, tlaka), mogu se koristiti i mjerenja ostalih procesnih veličina u dijagnostičke svrhe. To mogu biti:

- mjerenja razine u crpnim stanicama ili raznim spremnicima koja uključuju crpke ili ventile za dotok ili ispušt iz spremnika, ako je razina izvan projektiranih granica – dojaviti alarm, ukazuje na kvar nekog dijela opreme
- mjerenje vibracija se može koristiti za regulaciju brzine vrtnje centrifuge, ali i za detekciju oštećenja ležaja – potreban servis
- mjerenje gustoće medija koji se miješa, može služiti za doziranje tekućine za razrjeđenje, ali i procjenu opterećenosti motora i mehaničkih dijelova – planiranje održavanja (ako se tijekom nekog perioda češće radi s gušćim medijem, češća zamjena ulja u reduktoru)

- mjerenje koncentracije plinova (amonijak, sumporovodik, metan) u prostoriji – regulacija ventilacije, ili alarm (isključenje napajanja postrojenja) kod previsoke koncentracije
- mjerenje pH vrijednosti otpadne vode – doziranje kiseline ili lužine za neutralizaciju, ili isključenje postrojenja iz pogona, zatvaranje ispusta kod pH vrijednosti izvan dopuštenih granica, alarm kod neuspjele neutralizacije
- mjerenje vodljivosti otpadne vode može ukazivati na povećanu koncentraciju soli (morske vode) u otpadnoj vodi – oštećenje kanalizacijskog sustava, prodor morske vode u kanalizacijski sustav

3. PRIMJER CRPNE STANICE S VIZUALIZACIJOM PROCESA

U zadarskom naselju Arbanasi nalazi se crpna stanica za otpadne vode (prikazana na slici 2.) koja je dio sustava odvodnje i u koju dotječe otpadna voda iz tog dijela grada, kao i dio oborinske kanalizacije.



Slika 2. Crpna stanica Arbanasi - Zadar

U crpnoj stanici je na ulazu otpadne vode ugrađena automatska lančana rešetka s ocjeđivačem koja izdvaja krupniji otpad iz vode u kontejner. Njen rad je povezan s ultrazvučnim mjerenjem razine ispred i iza rešetke (slika 3.). Mjerač diferencijalne razine daje dva analogna signala 4-20 mA, spojenih na analogne ulaze PLC-a koji prikazuju razinu ispred i iza rešetke u postotcima (0 – 100% od prethodno kalibrirane vrijednosti koja odgovara dubini kanala u koji je ugrađen ultrazvučni senzor). Kod razlike u razinama veće od podešene uključuje se automatsko čišćenje rešetke jer razlika razine ukazuje na začepjenost rešetke. Istodobno se uključuje i ocjeđivač (transporter s kompaktorom) postavljen iza rešetke koji otpad izdvojen na rešetki cijedi i odvodi u kontejner (slika 4.).



Slika 3. Ultrazvučni mjerač diferencijalne razine



Slika 4. Automatska lančana rešetka i ocjeđivač

Mehanički djelomično pročišćena otpadna voda utječe u podzemni bazen (slika 5.) u koji su ugrađene četiri crpke, svaka snage 75 kW, koje odvođe vodu na središnji gradski uređaj za pročišćavanje otpadnih voda.



Slika 5. Vanjski podzemni bazen s crpkama

S obzirom na znatnu ekonomsku vrijednost svake crpke, kao i njihovu važnost za siguran rad crpne stanice osobito prilikom nevremena praćenog obilnom kišom kada zbog velikog dotoka mora raditi više crpki istodobno, svaka je crpka opremljena specijaliziranim zaštitnim sensorima. Crpke su potopne izvedbe sa zaštitom stupnja IP 68, odnosno potpuno prahotijesne i vodotijesne izvedbe, predviđene za vodeno hlađenje.

Stoga je u komori s uljem koja se nalazi unutar crpke ugrađen senzor koji, mjereći vodljivost, detektira prodor vode u ulje (popuštanje brtvi). Da se crpka ne bi u radu pregrijala, nužno je da je uvijek uronjena u vodu, što znači da smije raditi (prazniti bazen) samo do minimalne radne razine. Uključenjem i isključenjem crpki prema razini upravlja PLC prema podacima o razini u podzemnom bazenu koji se mjeri također ultrazvučnom sondom, spojenom na pretvaračku mjernu jedinicu (slika 6.), koja signal senzora pretvara u standardni signal 4-20 mA. Dodatno je izvedeno i mjerenje plovnim sklopkama, kao mjerna redundancija ultrazvučnom mjerenju.



Slika 6. Pretvarač za ultrazvučno mjerenje razine u bazenu s crpkama

Na slici 7. je početni ekran vizualizacije crpne stanice Arbanasi na operacijskom panelu, na kojoj su prikazani svi osnovni dijelovi opreme. Više podataka o pojedinom dijelu može se dobiti idućim prikazima vizualizacije na operacijskom panelu.



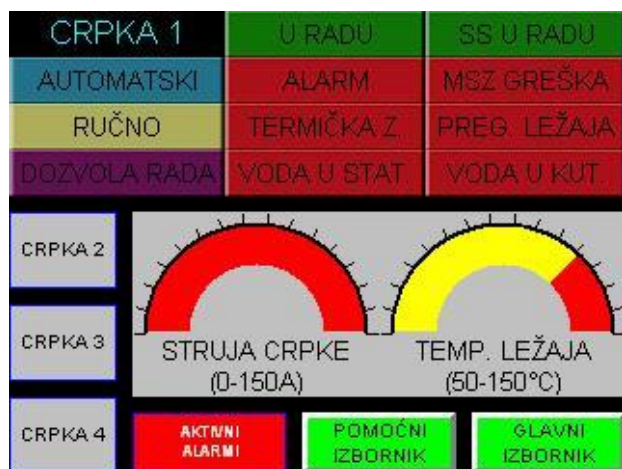
Slika 7. Prikaz crpne stanice vizualizacijom

Za zaštitu crpki tvornički je ugrađeno mjerenje temperature unutar namota na statoru motora, kao i mjerenje temperature ležaja crpke. Podaci od sonde ugrađenih unutar crpke spajaju se na posebni relej (zaštitni CAS relej) koji je proizvođač isporučio u kompletu s crpkom (slika 8.).



Slika 8. Zaštitni relej CAS za senzore u crpkama

Digitalni signali koji pokazuju nedopuštena stanja temperature u pojedinim dijelovima crpke ili prodor vode u ulje zaustavljaju rad pripadajuće crpke, ali su i proslijeđeni upravljačkoj jedinici (PLC-u) te prikazani vizualizacijom na operacijskom panelu. Dodatno je zbog posebnog značaja za planiranje servisa (redovite zamjene ulja u komori) u svaku crpku ugrađeno i mjerenje temperature ležaja koje kontinuirano daje podatak 4-20mA koji je proslijeđen kroz PLC na operacijski panel za vizualizaciju procesa, što se za svaku crpku vidi na detaljnijem prikazu njenih podataka (slika 9.). Prateći promjene temperature svake crpke posebno, te uzimajući u obzir i meteorološke prognoze za iduće razdoblje, osoblje zaduženo za održavanje crpne stanice Arbanasi može kvalitetno planirati potrebne preventivne servise.



Slika 9. Prikaz podataka crpke 1 na vizualizaciji

4. ZAKLJUČAK

Korištenjem podataka koje automatika prikupi iz tehnološkog procesa od različitih vrsta mjerenja, kao i podaci o redosljedu, učestalosti i trajanju uključivanja pojedinih elemenata postrojenja, mogu se učinkovito koristiti prilikom održavanja kao pomoć u predviđanju mogućnosti nastanka kvara, kao i kod planiranja preventivnog održavanja. Kada su tako prikupljeni podaci prikazani vizualno na operacijskom panelu ili na zaslonu računala (vizualizacija SCADA sustavima), onda je moguće direktnim porukama operatera uputiti na mjesto kvara opreme ili mu uputiti savjet za prikladnu

preventivnu ili korektivnu akciju. Prikaz mogućih pomoći koju vizualizacija rada crpne stanice Arbanasi daje osoblju na održavanju samo je jedan primjer. Što je proces složeniji, primjena podataka od vizualizacije tehnološkog procesa u dijagnostici kvarova je značajnija.

5. LITERATURA

- [1] Kondić, Ž.: Kvaliteta i pouzdanost tehničkih sistema, Varaždin, 2001.
- [2] OMRON, Cat. No. V073-E1-06, NS-Series Programming Manual
- [3] <http://www.endress.com/eh/home.nsf/#product/PMC131>, studeni, 2013.
- [4] <http://www.endress.com/eh/home.nsf/#products/~level-measurement-ultrasonic>, studeni, 2013.

Kontakt autora:

Josip Srpak, dipl. ing.
 Veleučilište u Varaždinu
 Križanićeva 33, 42000 Varaždin
 Tel: 091/8998868
 e-mail: jsrpak@gmail.com

PASIVNO KORIŠTENJE SUNČEVE ENERGIJE U ZGRADARSTVU - TROMBOV ZID

PASSIVE USE OF SOLAR ENERGY IN BUILDING CONSTRUCTION - TROMB WALL

Nuridin Čehajić

Stručni članak

Sažetak: U ovom radu je opisana mogućnost podizanja razine energetske efikasnosti zgrada korištenjem Sunčeve energije kod njihovog zagrijavanja. Osim prezentacije osnovnih pojmova o Sunčevoj energiji, o njegovoj jačini, o potrošnji energije stambenog objekta, u radu je prikazan i pasivni solarni sistem zagrijavanja zgrada. U sklopu pasivnog solarnog zagrijavanja zgrada posebno mjesto je dano toplotnom sistemu - Trombovom zidu. Prikazane su varijante Trombovog zida, njegova primjena u suvremenoj arhitekturi, te je predstavljen stupanj iskorištenja takvog zida na konkretnom primjeru. Dokazano je da ovaj sistem smanjuje potrošnju energije i da je razumna investicija. Osim toga može se ugraditi i na postojeće objekte, ako su ispunjeni ostali parametri kao što su orijentacija objekta, toplotna izolacija, sjenčanje i dovoljna količina toplotne mase.

Ključne riječi: energetska efikasnost u zgradarstvu, Sunčeva energija, zaštita okoline, pasivni solarni sistem, Trombov zid

Professional paper

Abstract: This paper describes the possibility of raising the energy efficiency of buildings by using solar energy for their heating. In addition to presenting the basic concepts of solar energy, the intensity of solar radiation, the energy consumption in buildings, the paper presents the passive solar system for heating buildings. Within the passive solar heating of buildings a special place is given to a thermal system - Tromb wall. The variants of the Tromb wall are shown together with its application in modern architecture. Moreover, the degree of utilization of the Tromb wall is presented using a specific example. It is proven that this system reduces energy consumption and that it represents a reasonable investment. In addition, it can be installed on existing facilities if the other parameters are met (object orientation, thermal insulation, shading and sufficient amount of thermal mass).

Keywords: energy efficiency in buildings, solar energy, environmental protection, passive solar system, Tromb wall

1. UVOD

Istraživanja i usavršavanje tehnologija za iskorištenje obnovljivih izvora energije provode se u mnogim područjima ljudskog djelovanja pa tako i u zgradarstvu. S obzirom na to da zgrade danas potroše oko polovicu ukupne proizvedene energije, dolazi vrijeme kada će se kuće sve više promatrati kao termodinamički, a ne samo kao građevinski objekti. Prema dostupnim podacima, postojeće zgrade i individualni stambeni objekti u BiH troše energije koliko objekti sličnih karakteristika u EU tokom 90-tih godina prošlog stoljeća [1]. Kako je period upotrebe zgrada od 50 do 100 godina, njihov je utjecaj na okoliš u kojem živimo dug i kontinuiran i ne možemo ga zanemarivati. Na temelju toga može se reći da je kratkoročni i srednjoročni energetska potencijal u postojećem fondu zgrada.

Zbog niske razine energetske efikasnosti koju trenutačno imamo, naša poduzeća troše puno više energije po jedinici proizvoda nego slična poduzeća iz drugih država, zbog čega su manje konkurentna. Standardi koje postavlja EU u posljednjih dvadeset godina, s ciljem smanjenja neracionalne potrošnje

energije i emisija CO₂ [2], podržava procjenu da se trenutačna i buduća izgradnja zgrada u BiH može unaprijediti kako bi se zadovoljile suvremene arhitektonsko-energetske i biološko-ekološke potrebe ljudi.

Zadovoljenje 3E forme, kao što su energija, ekonomija, ekologija, novi je zahtjevni zadatak koji se postavlja projektantima i graditeljima. Struka danas može odgovoriti spomenutim zahtjevima i može omogućiti da današnja arhitektura postane kulturnim nasljeđem budućnosti. Svi sudionici u gradnji moraju postati svjesni svoje odgovornosti za ono što rade i za ono što su mogli napraviti, a nisu [3].

Racionalnom potrošnjom energije i postizanjem zadovoljavajuće energetske efikasnosti zgrada, korištenjem Sunčeve energije značajno bi se doprinijelo privrednom i prostornom razvoju, a posebno ublažavanju energetske i ekološke krize. U području zgradarstva Sunčeva energija se može iskorištavati aktivno i pasivno [4].

Na temelju spomenutog te istraženih podataka o dovoljnom potencijalu Sunčeve energije u BiH [2,5] i potrošnji energije u zgradarstvu [1,6], u članku su

prikazane mogućnosti i primjeri pasivnog korištenja Sunčeve energije za zagrijavanje zgrada. Također, obrađen je Trombov zid koji je nastao usavršavanjem pasivnog solarnog sistema. Kroz primjere pasivne gradnje i proračuna stupnja iskorištenja dokazano je da se Trombov zid može jednostavno ugraditi kroz rekonstrukciju postojećih ili putem gradnje novih objekata.

2. SUNČEVA ENERGIJA

Više milijuna godina Sunce daje energiju koja je sastavni dio svih suvremenih oblika energije. Na Sunce se danas gleda kao na spasioca čovječanstva od posljedica povezanih s energetsom krizom i zagađenjem okoliša, a koje je čovjek sam sebi stvorio.

Od svih obnovljivih izvora energije, Sunčeva energija ima niz prednosti. Iako ima mnogo mjesta na kojima nema fosilnih goriva ili urana, ni jedna zemlja na svijetu nije bez Sunčeve energije. Sunčeva energija koju prima Zemlja i njena atmosfera toliko je ogromna da u samo 15 dana iznosi onoliko koliko su zajedničke rezerve energije ugljena i nafte u svijetu.

Suvremene tehnologije Sunčevu energiju koriste u raznim oblicima, od solarne vrtne rasvjete do automobila na solarni pogon. S podizanjem svijesti o važnosti upotrebe obnovljivih izvora energije, društvo je prepoznalo brojne prednosti upotrebe Sunčeve energije, a to su smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima, smanjenje emisije stakleničkih plinova i zaštita okoline.

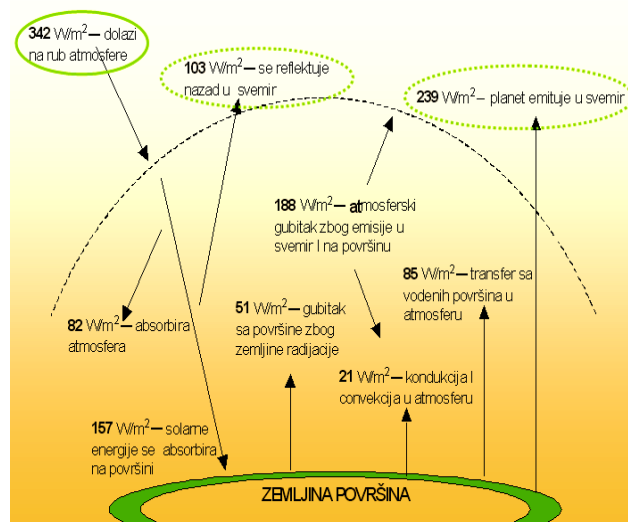
2.1. Sunčevo zračenje

Na površinu Zemlje dopijeva manja snaga Sunčevog zračenja zbog refleksije i apsorpcije Sunčevih zraka u Zemljinoj atmosferi. Ova snaga zavisi od dužine puta koju zrake prijeđu kroz atmosferu, te od kvalitete atmosfere (zagađenost atmosfere i atmosferske prilike). Utvrđeno je da 1 m^2 horizontalne površine na Zemlji primi maksimalno oko 1000 W Sunčeve snage ljeti u podne kada je najkraći put takvih zraka kroz atmosferu.

Godišnji prosjek albeda (odnos reflektiranog zračenja s nekog objekta u odnosu na zračenje koje na njega dolazi) planeta je 30%. Zbog toga je pri određivanju mikroklimе određene sredine potrebno uzeti u obzir i albedo Zemlje. Zbog drukčijeg reflektiranja Sunčevih zraka na različitim površinama Zemlje, albedo Zemlje ima promjenljive vrijednosti.

Uzimajući u obzir albedo, od ukupne energije koja dolazi do gornjih slojeva atmosfere (342 W/m^2), oko 30% (103 W/m^2) se vraća u svemir, dok oko 70% (239 W/m^2) apsorbira Zemljin sistem. Od toga Zemljina površina prima 157 W/m^2 , dok istodobno zrači u svemir 51 W/m^2 . Razlika između iznosa energije koji dolazi i koji odlazi s površine Zemlje je 106 W/m^2 . Iznos energije koja dolazi Sunčevim zračenjem i apsorbira se u atmosferi je 82 W/m^2 , a kada se ovom iznosu dodaju 21 W/m^2 kondukcijom i konvekcijom transfera s površine Zemlje i 85 W/m^2 transfera s vodenih površina, ukupna gustoća toplotnog toka u atmosferi iznosi 188 W/m^2 . Od ovog iznosa se 82 W/m^2 zrači u

svemir. Iz spomenutog je vidljivo da neto terestrijalni gubitak energije iznosi 239 W/m^2 , pa su prema tome dobiti i gubici energije zračenja izbalansirani na rubu atmosfere (slika 1.) [7].



Slika 1. Sunčeva energija koja dolazi i odlazi sa Zemlje [7]

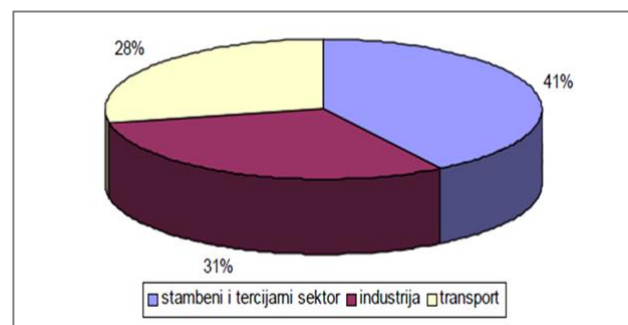
2.2. Potencijal Sunčeve energije u BiH

Bosna i Hercegovina raspolaže kapacitetima solarne radijacije od $1240\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ na sjeveru zemlje do 1650 kWh/m^2 na jugu zemlje na godišnjoj razini, što predstavlja odlične uvjete za njihovo intenzivnije iskorištenje, prije svega u svrhu proizvodnje toplinske i električne energije. Prosjek za našu regiju je $1300\text{ kWh/m}^2/\text{godini}$, a broj sunčanih dana u godini je 270 [5].

Uspoređujući naš solarni potencijal s drugim europskim zemljama (Njemačka, Poljska, Švedska i dr.) koje značajno koriste sunčevu energiju, BiH ima znatno veći kapacitet (10% – 30%) godišnje solarne radijacije, ali nedovoljno iskorišten. Prema istraživanjima potencijali solarne energije u BiH su $70,5$ milijuna GWh/godišnje – EVD, 2009.).

3. POTROŠNJA ENERGIJE U SEKTORU ZGRADARSTVA

Zgrade troše više od 40% ukupne energije (slika 2.), ali istodobno proizvode 40% štetnih plinova koji odlaze u atmosferu.

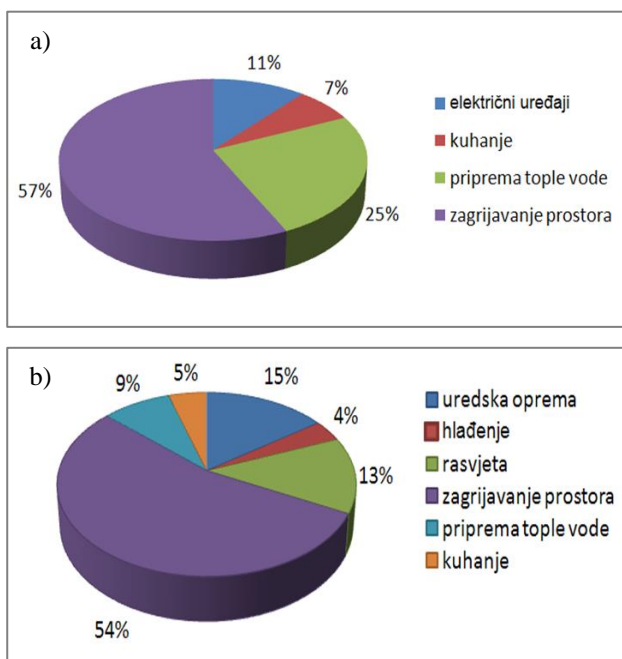


Slika 2. Potrošnja energije u EU [6]

Na slici 2. je prikazana potrošnja energije u EU po sektorima. Sa slike 2. se vidi da stambeni i tercijarni sektor prednjače u potrošnji ukupno proizvedene energije (41%), zatim slijedi industrija (31%) i transportni sektor (28%).

Odnos potrošnje energije prilikom gradnje, što obuhvaća energiju građevinskih materijala i energiju koja se potroši tehnologijom izgradnje, u odnosu na količinu energije koja se troši prilikom upotrebe i održavanja objekata je 1 : 3. Ovaj odnos ukazuje na potrebu inovacije i rekonstrukcije operativnih sistema objekata (sistemi grijanja - hlađenja - ventilacije, sistemi rasvjete) koji su i najveći potrošači energije [7].

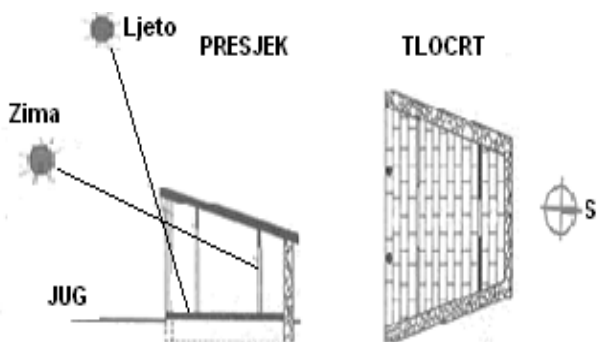
Na slici 3. je prikazana potrošnja energije po pojedinim potrošačima unutar stambenog i javnog sektora u EU.



Slika 3. Potrošnja energije u zgradama u EU [6]
a) stambeni sektor, b) javni sektor

4. PASIVNI SOLARNI SISTEM

Pasivni sistem korištenja Sunčeve energije osnovni je i najjeftiniji način korištenja energije iz okoline. Već Sokratov model kuće pokazuje da su ljudi tisućama godina razmišljali kako da se pasivnom arhitekturom zaštite od hladnoće i topline (slika 4.).



Slika 4. Sokratova solarna kuća okrenuta prema jugu [8]

Kuća je u tlocrtu bila trapeznog oblika s bazom okrenutom prema jugu, s masivnim vanjskim zidom od kamena, s minimalnim otvorima na prednjoj strani namijenjenih za provjetravanje. Trijem je bio otvoren prema jugu, što je omogućavalo da Sunčeve zrake ljeti gotovo uopće ne ulaze u prostor, a zimi, kada zrake Sunca padaju niže, griju cijeli prostor [8].

Pravila pasivnih solarnih sistema:

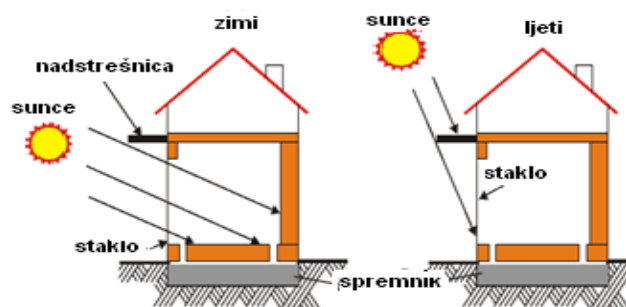
- pravilna orijentacija objekta prema stranama svijeta
- velike staklene plohe na osunčanoj strani
- nadstrešnica koja sprečava ljeti prodor svjetlosti u unutrašnjost objekta
- dovoljna količina toplotne mase
- toplotna izolacija

Na pasivne solarne sisteme utječu:

- arhitekt
- izvođač radova
- prostorno-planska dokumentacija
- raspored i međusobno rastojanje susjednih zgrada
- konfiguracija zemljišta
- klimatsko-meteorološki uvjeti

Dobar pasivni sistem za zagrijavanje pomoću Sunčeva zračenja može se najlakše ukomponirati u zgradu prilikom projektiranja, pa je pogodniji za nove, a lošiji za postojeće zgrade.

Kod projektiranja pasivne solarne gradnje potrebno je dobro prilagoditi dijelove površina južnih fasada objekata da dobro apsorbiraju Sunčevu energiju. Ovo se postiže tako da se spomenute površine oboje crnom bojom i na određenom rastojanju od zida zatvore staklenom ili plastičnom pločom. Sunčevo zračenje ulazi kroz velike staklene stijene i direktno zagrijava prostoriju. Dozračena toplota se uskladištava u elementima prostorije (zidovima, podu i stropu) ili u posebnim spremnicima (pijesak ili tekućina) koji se zagrijavaju danju, a daju toplinu noću (slika 5.).



Slika 5. Pasivno zagrijavanje prostora zimi i ljeti [9]

Zračenje topline sa svih strana u prostoriji ugodno djeluje na ljude. Temperatura u prostoriji zavisi od meteoroloških uvjeta, od veličine južne zastakljene površine, od mase, vrste materijala i boje zidova, te od predmeta koji apsorbiraju Sunčevo zračenje. Temperatura raste tijekom dana naročito u prostoriji s južne strane, gdje dostiže maksimum u podne, a zatim pada do jutro. Konstrukcija objekta u kojem se akumulira toplota mora biti izolirana izvana i bez direktne veze sa zemljom ili zrakom koji je na nižoj temperaturi. U suprotnom objekt ubrzano gubi toplinu.

Termički lagani materijali (lagani beton, porozna opeka, izolatori) se zagriju na višu temperaturu u odnosu na teške (armirani beton, kamen) jer imaju niži specifični toplinski kapacitet. To znači da će lagani materijali lakše i brže izgubiti akumuliranu toplinu nego teški materijali.

Pod ne bi trebalo prekrivati tepisima, a treba se pobrinuti i o razmještanju namještaja kako bi Sunce grijalo pod, a ne tepih i namještaj. Treba koristiti prozore s dvostrukim staklom, a dodatno se mogu koristiti zavjese, rolete i žaluzine za smanjenje gubitaka topline ili za smanjenje pregrijavanja prostorija.

Problemi pregrijavanja prostorija pojavljuju se ne samo u ljetnom periodu kada je neophodno hlađenje prostorija, već i u zimskom kada imamo razdoblje sunčanih dana s višom vanjskom temperaturom.

Pregrijavanje prostorija u ljetnom periodu se sprečava izgradnjom stalnih ili pokretnih nadstrešnica iznad zastakljenih površina te zasađivanjem listopadnog drveća na južnoj strani objekata.

Smanjenje pregrijavanja prostorija u zimskom periodu ostvaruje se izgradnjom zidova veće mase radi akumuliranja suvišne toplinske energije. Deblje zavjese kao termalni zastor važne su u zimskom periodu noću, jer mogu sačuvati i do 50% zahvaćene Sunčeve energije tijekom dana.

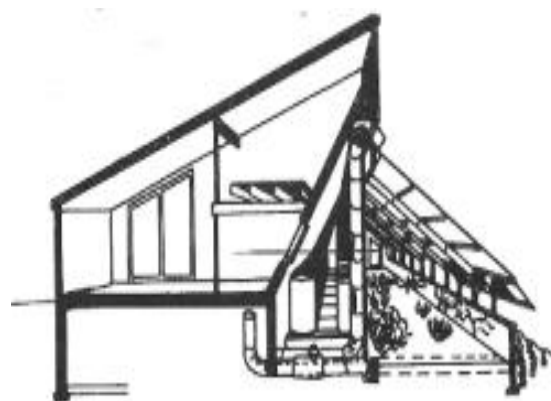
Primjena pasivnih solarnih sistema u zgradarstvu prikazani su na slikama 6., 7. i 8.



Slika 6. Obiteljska kuća - Sedona, Arizona (SAD) [8]



Slika 7. Obiteljska kuća u Njemačkoj [10]



a)



b)

Slika 8. Mogućnosti korištenja Sunčeve energije [11]
a) pasivni sistem; b) kombinacija pasivnog i aktivnog sistema

Prednosti pasivnih solarnih sistema ogledaju se u sljedećem:

- jednostavan sistem
- održavanje je minimalno
- duži vijek trajanja
- zastakljena površina ne osigurava samo skupljanje topline već je i izvor dnevne svjetlosti te je veza s vanjskim svijetom

Nedostaci pasivnih solarnih sistema:

- ultraljubičasto zračenje uzrokuje štete na tkaninama i umjetničkim djelima
- gubitak topline kroz pod, ako je u dodiru sa tlom
- narušava privatnost

5. TROMBOV ZID

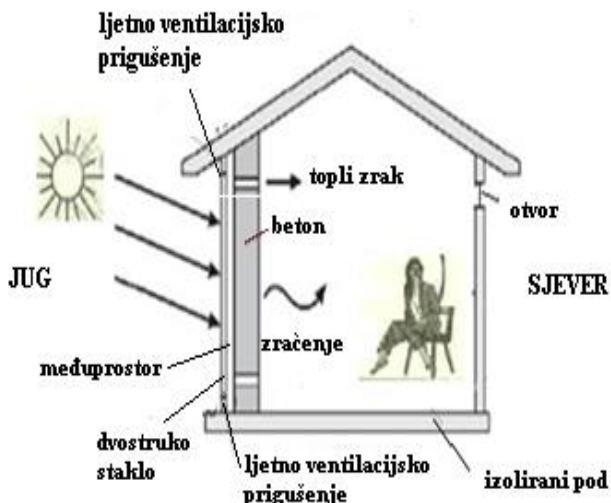
Usavršavanje pasivnog solarnog sistema za zagrijavanje prostorija zasnovanog na temelju direktnog apsorpiranja Sunčeve energije izveo je 1956. godine francuski znanstvenik i konstruktor Feliks Tromb. On je u Pirinejima sagradio solarnu kuću koja je na južnoj strani imala masivan zid obojen crnom bojom i koji je bio zastakljen, pa je istodobno bio solarni kolektor, akumulator topline i uređaj za grijanje. Matematičkom analizom je utvrdio da taj zid mora biti masivan kako bi sačuvao energiju koja dolazi do njega, pa je po njemu i dobio ime Trombov zid.

Trombov zid izrađuje se od opeke, betona ili kamena i obično je debljine od 20 do 40 cm, a sve debljine manje od 20 cm dovode do brzog zagrijavanja i pregrijavanja prostorija. S druge strane, ako je zid deblji od 40 cm neće tijekom noći zagrijavati unutrašnju stranu prostorije. Na udaljenosti od 2 do 10 cm ispred zida nalazi se staklo.

U praktičnoj primjeni su dvije varijante Trombovog zida: bez otvora i s otvorima pri dnu i vrhu zida.

Sunčeve zrake prolaze koso kroz zastakljenu površinu i padaju na Trombov zid koji se zagrijava. Oko 50% ove topline akumulira zid, a ostalih 50% zagrijava prostoriju. Brzina prenošenja topline s vanjske na unutarnju stranu zida zavisi od materijala od kojega je napravljen i od njegove debljine.

Usisani zrak kroz donji otvor zida dopijeva u prostor između zida i staklene površine. U međuprostoru zrak se zagrijava Sunčevom energijom, postaje lakši i počinje strujati prema gore. Zagrijani zrak prolazi kroz gornji otvor Trombovog zida i ulazi u prostoriju koja se grije. Zatim se zrak hladi, postaje teži, pada niže i ulazi ponovno kroz donji otvor Trombovog zida u prostor između zida i staklene površine. Tako se ponavlja opisani kružni ciklus (slika 9.).



Slika 9. Trombov zid [8]

Toplina koju je Trombov zid akumulirao prenosi se kroz zid i tijekom noći zračenjem zagrijava prostoriju. Da bi smanjili toplinske gubitke i povećali stupanj iskorištenja Trombovog zida, potrebno je u noći spustiti toplinske zastore (slika 10.).



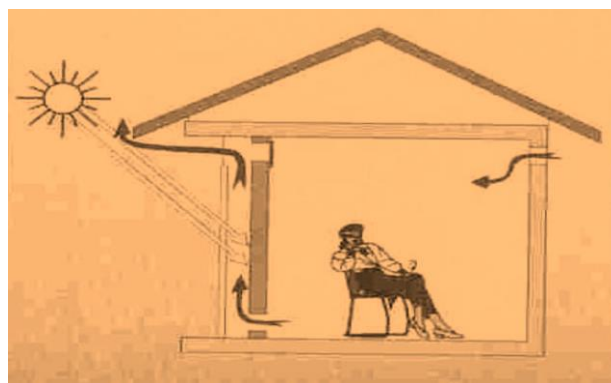
Slika 10. Zračenje Trombovog zida tijekom noći [12]

U ljetnom periodu po danu se zastori spuštaju kako bi se spriječilo pregrijavanje, a noću se podižu da bi se omogućilo hlađenje zida zračenjem (slika 11.).



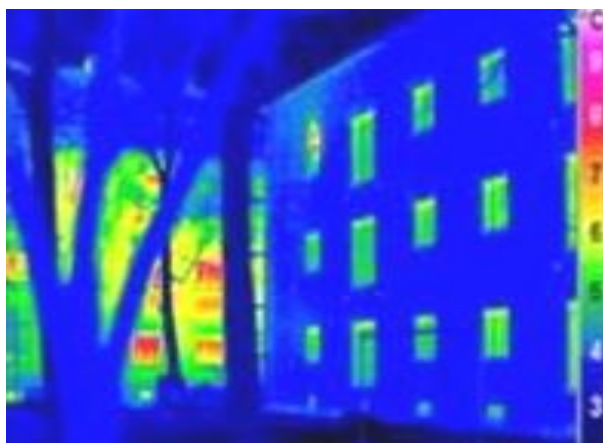
Slika 11. Hlađenje Trombovog zida zračenjem[12]

U slučaju pregrijavanja prostorija topli zrak se kroz gornji otvor u zastakljenoj površini izbacuje u atmosferu, a kroz gornji otvor u sjevernom zidu objekta se propušta svjež vanjski zrak (slika 12.). Na ovaj način je osigurano i kondicioniranje prostorija, pa nije potrebna električna klima koja osim buke što ju stvara troši i skupu električnu energiju koju treba štedjeti.



Slika 12. Kondicioniranje pasivnog solarnog sistema [12]

Sa slike 13. se vidi da je znatno manji gubitak topline kod pasivnog solarnog sistema (desno) u odnosu na tradicionalni sistem gradnje (lijevo).

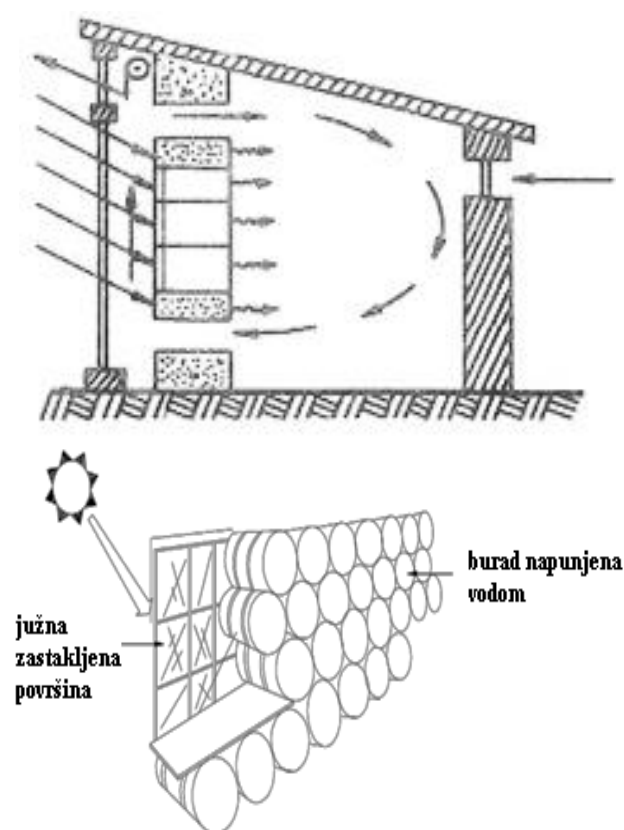


Slika 13. Termosnimka pasivnog (desno) i tradicionalnog (lijevo) sistema gradnje [10]

5.1. Varijante Trombovog zida

Od početka energetske krize 1973. godine pa do danas razvijali su se pasivni solarni sistemi za zagrijavanje prostorija na bazi Trombovog zida. Nastale su razne varijante ovog pasivnog solarnog sistema.

Kod varijante Trombovog zida umjesto masivnog čvrstog materijala postavljaju se metalni rezervoari napunjeni vodom. Rezervoari s vodom mogu se zamijeniti s više bačvi napunjenih vodom, a to je učinio Amerikanac Steve Berry [11] (slika 15.).



Slika 14. Trombov zid s vodom (vodeni zid) [11, 12]

Prednosti Trombovog zida s vodom u odnosu na čvrsti Trombov zid su [11]:

- zbog manjih nezavisnih toplinskih jedinica ovaj sistem daje bolje rezultate nego čvrsti Trombov zid
- pri istoj zapremini zida voda akumulira oko dva puta više džula (J) nego beton, a pri istoj masi oko pet puta više
- pravac prostiranja topline kroz zid nije jednosmjernan
- u vodi se toplina brže prenosi s jedne strane zida na drugu pa nema vremenskog kašnjenja u prijenosu topline s crne vanjske strane bačvi okrenutih Suncu prema unutrašnjosti prostorije koja se zagrijava

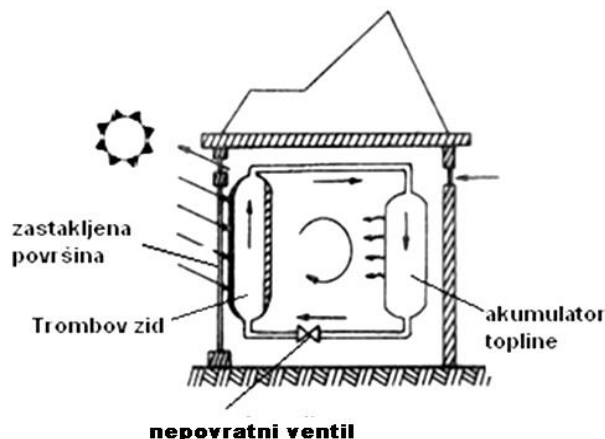
U zimskom periodu se noću spušta toplinski zastor smješten između zastakljene površine i crnih prednjih strana bačvi da bi se spriječilo zračenje topline iz njih u atmosferu, te da bi se sačuvala akumulirana toplina u prostoriji.

U ljetni se zastor noću podiže da bi se bačvama omogućilo zračenje topline u atmosferu, zbog čega se voda hladi, a time se hladi i unutrašnjost prostorije. Sprečavanje pregrijavanja prostorija danju, kada je

vanjska temperatura previsoka, također se ostvaruje spuštanjem zastora [11].

Istraživanja pokazuju da se efikasnost pasivne solarne energije zasnovane na principu Trombovog zida može povećati, ako se ostvari strujanje vode ili zraka kroz cijevi većih prečnika ili kroz kanale tako da se dobije zatvoreno kolo. Strujanje vode ili zraka kroz cijevi ili kanale može biti prirodne ili prinudne cirkulacije.

Zatvoreno kolo strujanja vode iz Trombovog zida prema akumulatoru topline prikazano je na slici 15.

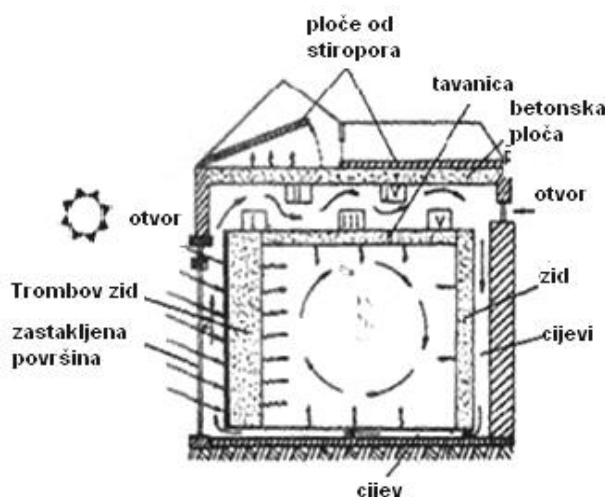


Slika 15. Trombov zid - zatvoreno kolo strujanja vode [11]

Sunčeve zrake, nakon što prođu kroz zastakljenu površinu, padaju na zacrnjenu prednju stranu Trombovog zida kojeg čini metalni cilindrični rezervoar napunjen vodom. Zadnja strana rezervoara je termički izolirana prema unutrašnjosti prostora koji se grije. Zagrijana voda kao lakša se diže i prirodnim putem dolazi u veći akumulator topline koji zagrijava prostoriju. Prirodni kružni tok vode se nastavlja kroz cijevi i vraća se u Trombov zid pa se cijeli proces ponavlja.

U slučaju da voda u Trombovom zidu nije dovoljno zagrijana za vrijeme oblačnih i maglovitih dana, strujanje u suprotnom smjeru sprečava nepovratni ventil.

Jednostavnija konstrukcija i bolji stupanj iskorištenja se postiže strujanjem zraka u zatvorenom kolu u koje je uključen Trombov zid (slika 16.).



Slika 16. Trombov zid - zatvoreno kolo strujanja zraka [11]

Sunčeve zrake prolaskom kroz zastakljenu površinu padaju na Trombov zid i zagrijavaju ga, a on dalje zračenjem zagrijava unutrašnjost prostorije. Topli zrak između zastakljene površine i Trombovog zida struji naviše i ulazi u prostor između dvije tavanice. U ovom međuprostoru su smještene posude s vodom (I-V) kao akumulatori topline. Prolaskom toplog zraka između posuda zagrijava se voda u njima, dok zrak dalje putem cijevi dolazi u međuprostor između Trombovog zida i zastakljene površine [11].

Strujanjem toplog zraka zagrijavaju se i tavanica i pod prostorije pa toplotna energija dopijeva u prostoriju sa svih strana. Preko gornje betonske ploče toplina dolazi i u potkrovlje, a ako se želi spriječiti ovaj prijelaz topline postavljaju se npr. ploče od stiropora. Dizanjem i spuštanjem ovih ploča regulira se temperatura u potkrovlju, ali i u prostoru s posudama s vodom. Temperatura ovog međuprostora može se regulirati i pomoću dva otvora, jednog na zastakljenoj površini i drugog na vanjskom sjevernom zidu.

5.3. Prednosti i nedostaci Trombovog zida

Primjeri izgrađenih objekata s Trombovim zidom su prikazani na slikama 17. i 18.



Slika 17. Obiteljska kuća - zapadni Wales, Velika Britanija [8]



Slika 18. Obiteljska kuća - Silverton, Colorado (USA) [8]

Prednosti Trombovog zida:

- nema pokretnih dijelova i održavanja
- ugodna toplina elemenata zgrade (zidova, stropova, podova)
- jeftiniji prirodni građevinski materijali

- jednostavno ugrađivanje u strukturu gradnje kao vanjski ili unutarnji zid

Nedostatak Trombovog zida:

- vanjski zidovi su izvor gubitaka topline tijekom dužeg oblačnog razdoblja

5.4. Stupanj iskorištenja Trombovog zida

Praksa je pokazala da betonski zid debljine od 40 do 50 cm pri optimalnom Sunčevom zračenju može akumulirati toplinsku energiju za idućih 24–28 sati.

Zadovoljavajuće rastojanje između zastakljene površine i Trombovog zida iznosi 10 do 15 cm. Dimenzije otvora u Trombovom zidu minimalno su $1\text{m} \times 0,1\text{m}$ [9]. Veličina kolektorske površine Trombovog zida zavisi od zapremnine stambene prostorije, od geografske širine mjesta i kvalitete toplinske izolacije objekta. Za dobro izoliranu kuću u našim krajevima na oko 45°C sjeverne geografske širine odnos između potrebne kolektorske površine A_k i zapremnine prostorije V iznosi $A_k/V = 0,1$. To znači da je za svakih 100 m^3 zapremnine prostorije potrebno oko 10 m^2 kolektorske površine. Pri odnosu $A_k/V = 0,1$, Sunčevom energijom se može pokriti 50 do 75% potrebne toplinske energije. Na osnovi odnosa $A_k/V = 0,1$ potrebno je izgraditi duževremenski akumulator topline, gdje je za svaki metar kubični zapremnine prostorije potrebno oko 10 l zapremnine akumulatora.

Na konkretnom primjeru je pokazan način proračuna kolektorske površine Trombovog zida i zapremnine akumulatora topline.

Prostorija toplinski izolirane kuće s Trombovim zidom ima zapremninu od 250 m^3 , a osnovnu površinu 100 m^2 . Trombov zid je od betona debljine 40 cm, a kuća se nalazi u našim krajevima i na 1 m^2 njenog vertikalnog zida u zimskim uvjetima dolazi oko 100 kWh/danu Sunčeve energije od koje zid apsorbira oko 50%, odnosno:

$$Q = 50 \frac{\text{kWh}}{\text{danu}} = 50 \cdot 3,6 \text{ MJ} = 180 \cdot 10^3 \text{ kJ}$$

Kolektorska površina se dobije iz uvjeta:

$$A_k/V = 0,1 \quad (1)$$

Iz jednadžbe (1) imamo:

$$A_k = V \cdot 0,1 = 250\text{ m}^3 \cdot 0,1 = 25\text{ m}^2$$

Masa Trombovog zida je

$$m = \rho V \quad (2)$$

a na temelju (2) je:

$$m = 2500 \text{ kgm}^{-3} \cdot 25\text{ m}^2 \cdot 0,4 \text{ m} = 25000 \text{ kg}$$

Iz poznate jednadžbe

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (3)$$

dobije se promjena temperature:

$$\Delta t = \frac{Q}{m \cdot c}$$

$$\Delta t = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ kJ}}{25 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 0,886 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}} = 8,13 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ako je početna temperatura Trombovog zida bila 22°C , onda nakon zagrijavanja Sunčevom energijom iznosi $30,13^\circ\text{C} \approx 30^\circ\text{C}$, što je povoljno za zimski period. Za svaki kubični metar zapremnine prostorije potreban je akumulator topline zapremnine 10 l.

Za ovaj primjer neophodna je zapremnina akumulatora topline:

$$250 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ l/m}^3 = 2500 \text{ l}$$

6. ZAKLJUČAK

Istraživanjem je utvrđeno da se na temelju dovoljnog solarnog potencijala treba poduzeti sve kako bi se povećala energetska učinkovitost zgrada, a jedna od njih je i pasivno korištenje Sunčeve energije. Zbog ravnomjernog zagrijavanja svih prostorija u pasivnoj zgradi stvara se ugođaj koji je neusporediv s neugodnim toplotnim zračenjem u klasičnim zgradama grijanim fosilnim gorivima.

Standard pasivne gradnje podrazumijeva pokušaj smanjenja potrošnje energije i udovoljavanje globalnim zahtjevima: očuvanje prirodnog bogatstva i zaštita okoliša. Iskustva primjene pokazuju da se pasivnim korištenjem Sunčeve energije doprinosi i do deset puta manjim ukupnim energetske potrebama zgrada.

Pasivno korištenje Sunčeve energije u zgradarstvu ne traži nabavu nove i složene tehnologije, već sistem funkcionira tako da su elementi zgrade (kamen, beton, staklo, drvo, metal) sakupljači topline koja se prenosi prijelazom, provođenjem ili zračenjem.

Dokazano je da se Trombov zid uz razumna financijska sredstva može ugraditi pri rekonstrukciji postojećih, ali i gradnji novih zgrada. Za osrednje izoliran objekt od 100 m^2 Trombov zid može uštedjeti i do 30% toplinske energije.

Trenutačno u svijetu ima vrlo malo energetske učinkovitih objekata. Sa svakim novosagrađenim stambenim objektom ostvarila bi se neophodna iskustva koja bi bila osnova za buduću gradnju još boljih objekata. U budućnosti se može očekivati da se zakonskom regulativom u graditeljstvu definira poštivanje načela energetske učinkovite zgrade.

Praktična primjena pasivne gradnje će povećati vrijednost novosagrađenih objekata na tržištu. Investitori koji to na vrijeme i prije drugih shvate, i u svojim poslovnim aktivnostima primjene, imat će konkurentsku prednost u odnosu na druge.

7. LITERATURA

- [1] Kulić, E.: Korištenje energije u zgradarstvu, Mašinstvo 1(6), 2002., 41 – 50.
- [2] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm> (Dostupno: 30.01.2013.)
- [3] <http://www.savezenergeticara.org.rs/wp-content/uploads/2011/11/Energija-Ekonomija-Ekologija-5-2009.pdf>(str.67,Dostupno: 08.02.2013.)
- [4] Zbašnik-Senegačnik, M.: Pasivna kuća, Zagreb, Sunčana arhitektura, 2009.
- [5] <http://www.ekologija.ba/userfiles/./Uradi%20sam%20solarni%20kolektor...> (Dostupno: 30.01.2013.)
- [6] <http://seminar.tvz.hr/materijali11/11A03.pdf> (Dostupno: 10.02.2013.)
- [7] Bijedić, Dž.: Holizam u arhitekturi, Univerzitet u Sarajevu, Arhitektonski fakultet, 2011.
- [8] Koški, Ž.; Zorić, G.: Akumulacija Sunčeve energije u obiteljskim pasivnim kućama, e-GFOS, Vol. 1 No. 1, 2010., 80-92.
- [9] <http://www.ekologija.ba/./Obnovljivi%20izvori%20energije%20%20Studija.pdf>..(Dostupno:10.02.2013.)
- [10] <http://www.slideshare.net/IldaKoca/solarna-arhitektura> (Dostupno:11.02.2013.)
- [11] Zrnić, S.; Čulum, Ž.: Grijanje i klimatizacija, „Naučna knjiga“ Beograd, 1999.
- [12] http://www.ecoarchitects.gr/research_docs/117123697.pdf(Dostupno:11.04.2013.)

Kontakt autora:

mr. sci. Nurdin Čehajić, dipl. ing. maš.

J.U. Mješovita srednja škola Živinice

Ul. Alije Izetbegovića 12a

75270 Živinice

+387 35 772 611

nurddin_cekajic@hotmail.com

PRORAČUN I OBLIKOVANJE STOŽASTOG REDUKTORA S RUČNIM KOLOM

CALCULATION AND DESIGN OF A CONICAL GEARBOX WITH MANUAL WHEEL

Božidar Hršak, Tatjana Badrov, Vedran Lovrić

Stručni članak

Sažetak: Prikazan je kontrolni proračun geometrije, opterećenja i kontaktnog naprezanja bokova i korijena zubi stožastog zupčanog para u programskom alatu MechSoft.com UniTools za izlazni moment $T_2 = 70 \text{ Nm}$, broj zubi pogonskog stožnika $z_1 = 16$, broj zubi gonjenog stožnika $z_2 = 48$, modul $m = 5$ i materijal pogonskog i gonjenog stožnika GGG 60 (nodularni lijev). Na temelju postojeće 2D dokumentacije u lijevanoj izvedbi, u programskom modulu Power Transmission programskog alata SolidWorks, izrađen je 3D model stožastog zupčanog para, a pomoću alata za napredno modeliranje i ostali dijelovi koji su nakon toga spojeni u rekonstruirani 3D sklop jednostupanjskog stožastog reduktora. U programskom alatu SimulationXpress Analysis Wizard provjereno je naprezanje vratila pogonskog stožnika.

Ključne riječi: armatura, gonjeni stožnik, nodularni lijev, pogonski stožnik, pogonsko vratilo, ručno kolo, stožasti reduktor

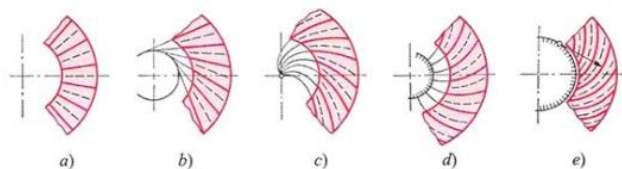
Professional paper

Abstract: The paper presents the control calculation of geometry, load and contact stress of conical gear pair teeth in the MechSoft.com UniTools software for the exit moment $T_2 = 70 \text{ Nm}$, number of drive bevel gear teeth $z_1 = 16$, number of driven bevel gear teeth $z_2 = 48$, module $m = 5$ and the material of the drive and driven bevel gear GGG 60 (nodular cast iron). Based on the existing 2D documentation in cast construction, a 3D model of the conical gear pair was designed in the Power Transmission module of the SolidWorks software. Furthermore, using the advanced design tools, other parts were made and assembled in a reconstructed 3D assembly of a single-stage conical gearbox. Thereafter, a control stress test of drive gear shaft was carried out in the SimulationXpress Analysis Wizard software.

Key words: reinforcement, driven bevel gear, nodular cast iron, drive bevel gear, driving shaft, manual wheel, conical gearbox

1. UVOD

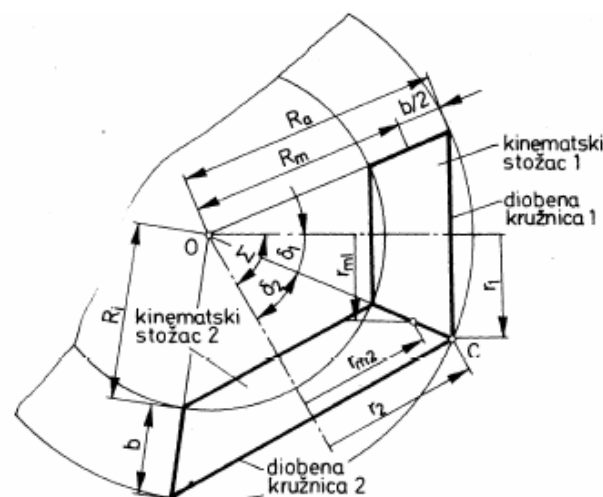
Jednostupanjski zupčasti reduktori sa stožnicima upotrebljavaju se za prijenos snage s ukrštenim vratilima pod kutom od 90° uz prijenosne omjere $u = 1 \div 5$, a bočna linija zuba stožnika može biti ravna, kosa, spiralna, evolventna ili lučna (slika 1.).



a) ravni zupci; b) kosi zupci; c) spiralni zupci;
d) evolventni zupci; e) lučni zupci

Slika 1. Oblici bokova zubi na stožnicima [1]

Kinematske površine zubi stožnika su stošci na kojima se odvija valjanje bez klizanja (slika 2.).

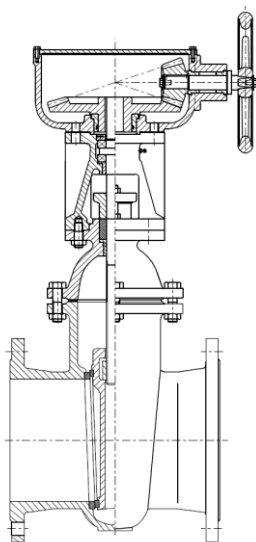


Slika 2. Diobeni i dopunski stošci, površina kugle [2]

Stožasti reduktor (slika 3.) namijenjen je za upravljanje armaturom (zasunom) kao zaporni i regulacijski element. Zasun je cijevni zatvarač u kojemu funkciju zatvaranja, odnosno otvaranja prolaza medija

ima pločasto tijelo (zaporno tijelo) okomito na os cijevi koje u zatvorenom položaju leži na sjedištu odgovarajućega oblika s kružnim otvorima. Prolaz medija ostvaruje se pravocrtnim udaljavanjem pločastog tijela od sjedišta, okomito na smjer protjecanja medija. Zasun se otvara i zatvara djelovanjem vanjske sile koju prenosi odgovarajući mehanizam [3].

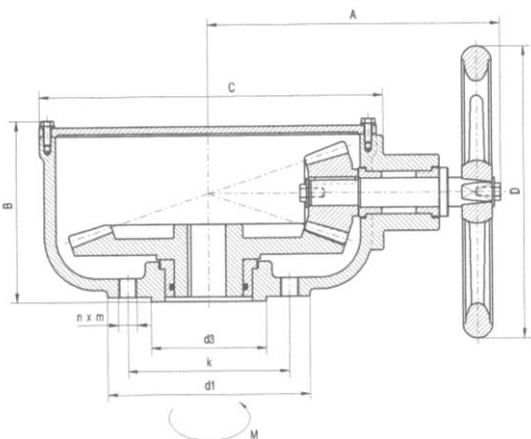
Sukladno tomu, prikazan je kontrolni proračun i rekonstrukcija postojećega sklopa jednostupanjskoga stožastog reduktora s ručnim kolom u zavarenoj izvedbi na temelju postojeće 2D dokumentacije u lijevanoj izvedbi.



Slika 3. Upravljanje armaturom (stožasti reduktor – zasun) [4]

3. PRORAČUN STOŽASTOGA REDUKTORA

Napravljen je proračun i dimenzioniranje geometrije, opterećenja na pogonskom vratilu i ležajevima te kontaktna naprezanja bokova i korijena zuba stožastog zupčanog para u jednostupanjskom stožastom reduktoru s ručnim kolom za izlazni moment $T_2 = 70$ Nm, broj zubi pogonskog stožnika $z_1 = 16$, broj zubi gonjenoga stožnika $z_2 = 48$, modul $m = 5$ te materijal pogonskog i gonjenog stožnika (nodularni lijev) GGG 60 (slika 4.).

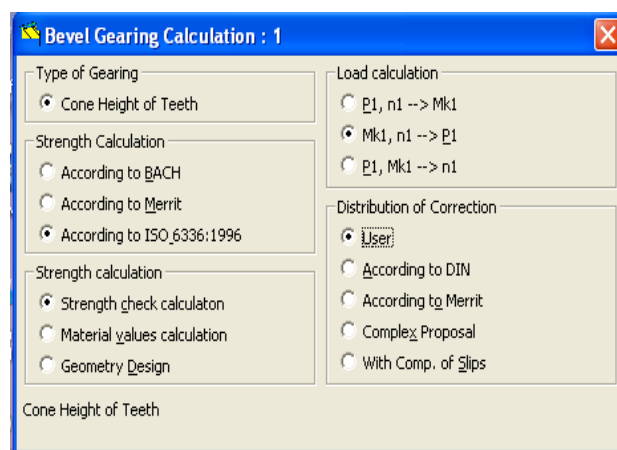


Slika 4. Stožasti reduktor s ručnim kolom [4]

Na temelju analitički provedenoga proračuna geometrije, opterećenja stožastoga zupčanog para, opterećenja na pogonskom vratilu i ležajevima te kontaktnih naprezanja bokova i korijena zuba stožastoga zupčanog para, napravljen je kontrolni proračun u programskome alatu *MechSoft.com UniTools*.

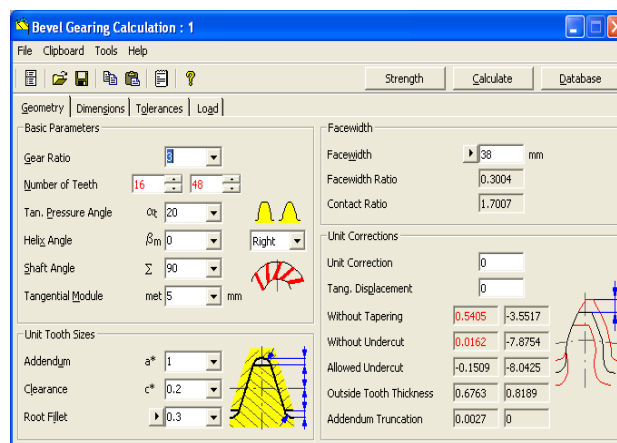
3.1. Kontrolni proračun geometrije, opterećenja te kontaktnih naprezanja bokova i korijena zuba stožastoga zupčanog para u programskom alatu *MechSoft.com UniTools*

- Izbor početnih ulaznih parametara za proračun stožastoga zupčanog para (slika 5.)

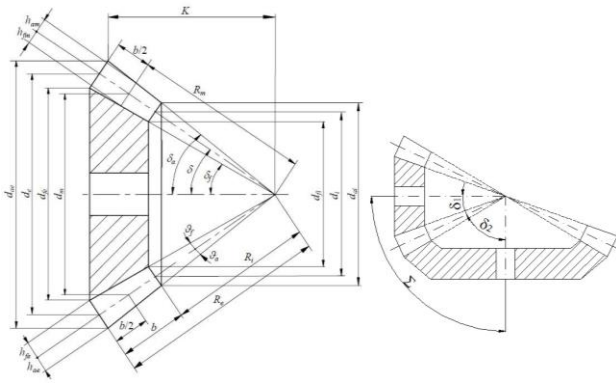


Slika 5. Početni ulazni parametri za proračun stožastoga zupčanog para

- Ulazni podaci za proračun geometrije stožastog zupčanog para za prijenosni omjer $u = 3$ (*Gear Ratio*), broj zubi pogonskoga stožnika $z_1 = 16$ i broj zubi gonjenoga stožnika $z_2 = 48$ (*Number of Teeth*), modul $m = 5$ (*Tangential Module*) i širinu stožnika = 38 mm (*Facewidth*) (slike 6. i 7.)

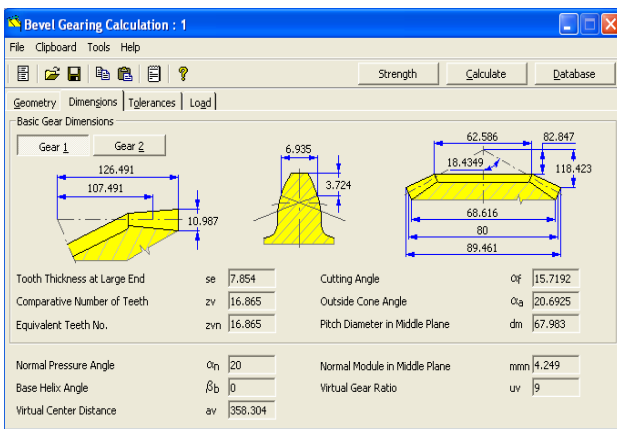


Slika 6. Ulazni podaci za proračun geometrije stožastoga zupčanog para



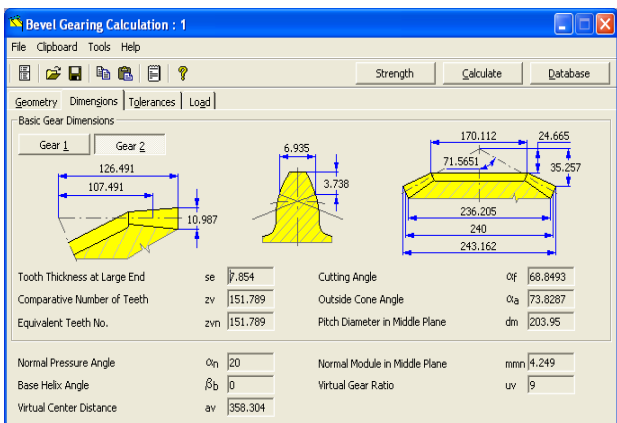
Slika 7. Geometrija stožastoga zupčanog para

- Rezultati kontrolnog proračuna geometrije pogonskog stožnika $z_1 = 16$ zubi (slika 8.)



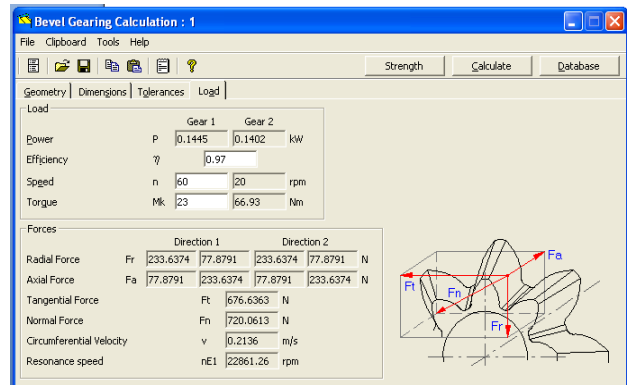
Slika 8. Dimenzije pogonskog stožnika $z_1 = 16$ zubi

- Rezultati kontrolnog proračuna geometrije gonjenoga stožnika $z_2 = 48$ zubi (slika 9.)



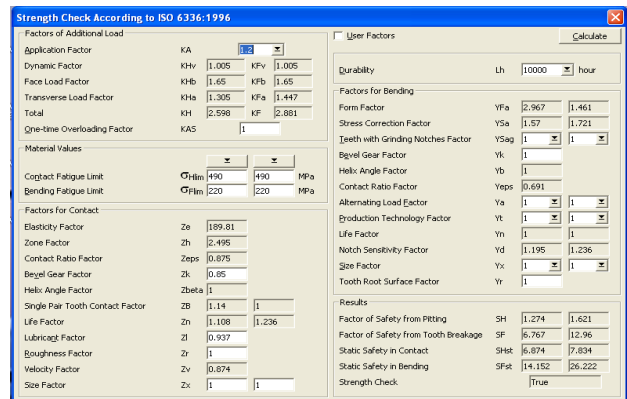
Slika 9. Dimenzije gonjenoga stožnika $z_2 = 48$ zubi

- Rezultati kontrolnog proračuna opterećenja pogonskoga stožnika $z_1 = 16$ zubi (slika 10.)



Slika 10. Rezultati kontrolnog proračuna opterećenja pogonskoga stožnika $z_1 = 16$ zubi

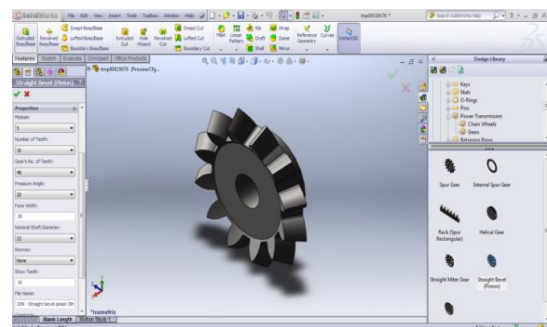
- Rezultati kontrolnog proračuna kontaktnog napreznja bokova i korijena zuba stožastoga zupčanog para (slika 11.)



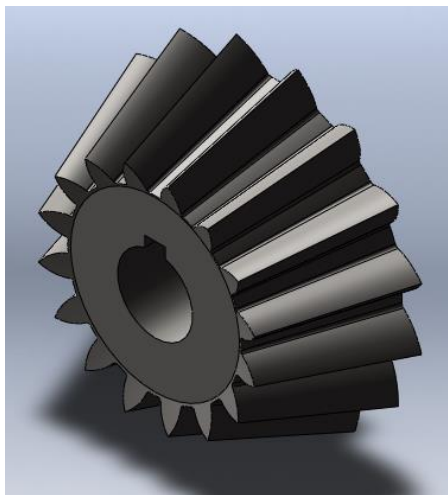
Slika 11. Rezultati kontrolnog proračuna kontaktnog napreznja bokova i korijena zubi stožastoga zupčanog para

4. IZRADA 3D MODELA STOŽASTOG REDUKTORA S RUČNIM KOLOM

Pomoću programskog alata *SolidWorks* izrađen je 3D model. Slijedom 2D dokumentacije postupak 3D oblikovanja počinje 3D modeliranjem pogonskog i gonjenog stožnika u programskom modulu *Power Transmission* i programskom alatu *Straight Bevel (Pinion)* (slike 12., 13., 14.).



Slika 12. 3D oblikovanje pogonskog stožnika $z_1 = 16$ zubi



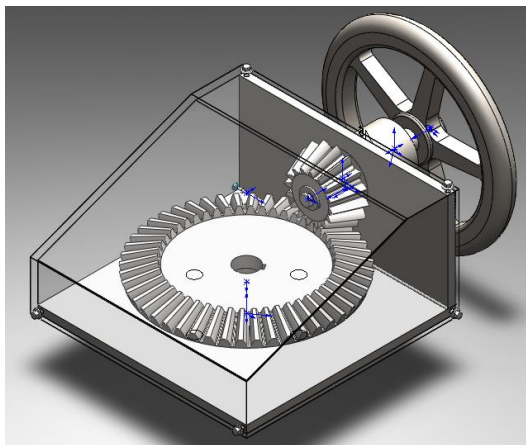
Slika 13. 3D model pogonskog stožnika $z_1 = 16$ zubi



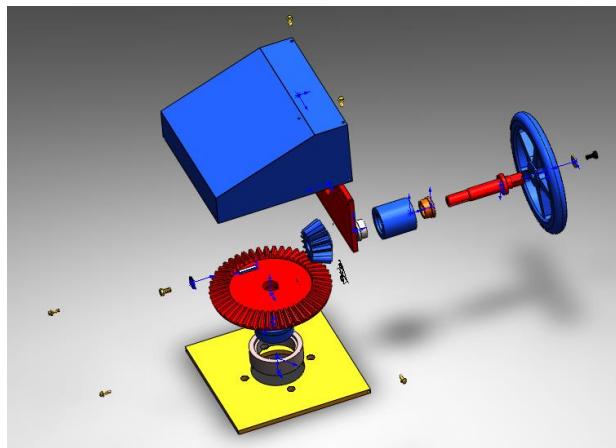
Slika 14. 3D model gonjenoga stožnika $z_2 = 48$ zubi

Pomoću raspoloživih alata za napredno oblikovanje izrađen je 3D model ostalih dijelova stožastog reduktora (pogonskog vratila, ležajnih čahura, kućišta, poklopca i ručnoga kola).

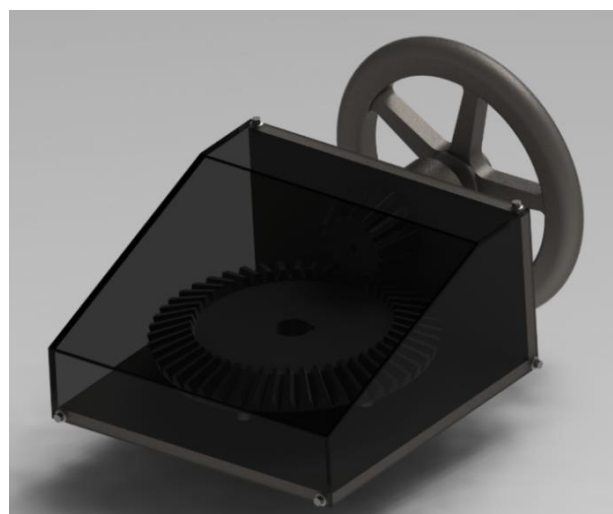
Izrađeni 3D modeli svih dijelova spojeni su u sklop te je provedeno renderiranje u programskome alatu *Photo View 360* (slike 15., 16., 17.).



Slika 15. 3D model stožastog reduktora s ručnim kolom



Slika 16. 3D model stožastog reduktora s ručnim kolom – rastavljeni prikaz



Slika 17. 3D model stožastog reduktora s ručnim kolom – renderirani prikaz

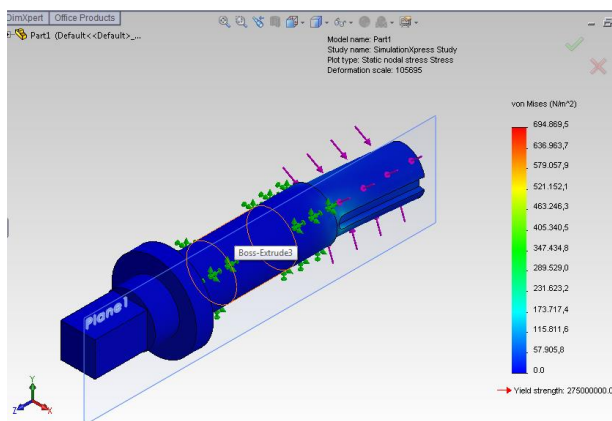
4.1. Analiza napreznja (Finite Element Analysis – FEA)

Nakon analitički provedenog proračuna i izrađenog 3D modela provjereno je napreznje vratila pogonskog stožnika u programskome alatu *SimulationXpress Analysis Wizard*.

Kao fiksni oslonci pogonskog vratila definirani su položaji ležajeva, a sila opterećenja djelovala je na poziciju gdje se vratilo priključuje na pogonski stožnik. Vratilo je opterećeno silom od 237 N.

Kao materijal za analizu izabran je čelik C45E (DIN) s karakteristikama definiranim u bazi programskog alata *SolidWorks*.

Nakon definiranja svih početnih uvjeta, pokrenuta je analiza napreznja (FEA). Rezultati analize napreznja također potvrđuju da su polazni analitički proračuni napreznja vratila točni, što je vizualno i analitički prikazano na slici 18.



Slika 18. Opterećenje na vratilu pogonskog stožnika i analiza naprezanja

5. ZAKLJUČAK

Virtualnim 3D oblikovanjem značajno se skraćuje vrijeme rekonstrukcije varijantnog proizvoda i smanjuju se troškovi projektiranja.

Prikazan je postupak izrade 3D modela stožastog reduktora s ručnim kolom u zavarenoj izvedbi, na temelju 2D dokumentacije postojećeg proizvoda u lijevanoj izvedbi namijenjen za upravljanje armaturom (zasunom) u cjevovodnim sustavima. 3D model može se koristiti za daljnju analizu, za poboljšanja te za izradu modificiranoga prototipnog rješenja (varijantnog proizvoda). Generirana je 2D radionička tehnička dokumentacija za izradu svih dijelova reduktora, optimalnih dimenzija i radnih karakteristika kako bi cijena izrade reduktora bila prihvatljiva budućem kupcu. Izrađeni su svi potrebni proračuni (analitički, kontrolni i FEA analiza) koji potvrđuju izdržljivost reduktora pri zadanim pogonskim opterećenjima.

6. LITERATURA

- [1] Golubić, S.: Predavanja "Elementi, Precizne mehanike", Bjelovar, 2010.
- [2] Oberšmit, E.: Ozubljenja i zupčanici, Sveučilišna tiskara d.o.o. Zagreb, Trg maršala Tita 14, Zagreb, 1993.
- [3] Grupa autora: Praktičar 3 – STROJARSTVO 2, Školska knjiga Zagreb, 1973.
- [4] Izbor načina upravljanja armaturom http://www.miv.rs/9_Upravljanje-armaturom.pdf (Dostupno: 03.07.2013.)

Kontakt autora:

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

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

Vedran Lovrić (bivši student)
Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4, Bjelovar
E-mail: lovrivedran460@gmail.com

REGULACIJA RAZINE POMOĆU MIKROKONTROLERA

LEVEL REGULATION USING MICROCONTROLLER

Josip Srpak

Stručni članak

Sažetak: Ovaj rad daje primjer praktične primjene mikrokontrolera upotrijebljenog kod izrade sklopa za regulaciju razine u rashladnom uređaju namijenjenom ugostiteljstvu. Tako će biti ukazano na prednosti samostalnog razvoja upravljačkih sklopova za komercijalne aplikacije pred gotovim industrijskim rješenjima.

Ključne riječi: mikrokontroler, regulacija razine, upravljački sklop

Professional paper

Abstract: This paper gives an example of practical appliance of microcontroller used to build the control circuit for level regulation in cooling device for catering industry. There is pointed on specific advantages of the independent development of control circuits for commercial applications over ready industrial solutions.

Key words: Microcontroller, level regulation, control circuit

1. UVOD – MIKROKONTROLER

Mikrokontroler je elektronička komponenta koja objedinjuje, u formi integriranog kruga, procesor i periferne sklopove poput memorije, digitalnih i analognih ulaza i izlaza, sklop za kontrolu napona i ispravnost rada, oscilator, brojače, mjerače vremena itd. Od pojave mikroprocesora daleke 1971. (4-bitni Intel 4004) počela je upotreba istih i u upravljačke svrhe. Kako je i najjednostavniji upravljački sustav zahtijevao veliku količinu dodatnih komponenti, prve izvedbe je karakterizirala povećana nepouzdanost u radu i viša ukupna cijena. Integracijom procesora, RAM-a i ROM-a u jednu komponentu, pojavio se 1977. godine Intel 8048 koji je našao svoju primjenu u više od milijun aplikacija (napr. u PC tipkovnicama). Od tada razvoj mikrokontrolera stalno raste, uz sve veću brzinu rada i sve veću integraciju perifernih komponenti.

2. NAMJENA UPRAVLJAČKOG SKLOPA

Komercijalni rashladni uređaj za pripremu gazirane vode i za hlađenje negazirane vode, sokova i piva zapravo se sastoji od rashladnog agregata kojim se hladi rashladna kupka (spremnik vode) na zadanu temperaturu. Protjecanjem napitka kroz cijevi postavljene u rashladnoj kupki isti se hladi na željenu temperaturu. Gaziranje se provodi raspršivanjem vode pri sniženoj temperaturi, a pod povišenim tlakom u atmosferi CO₂ u spremniku zvanom karbonator, koji je uronjen u rashladnu kupku te se na taj način hladi. Dodatna pumpa cirkulira vodu iz rashladne kupke cjevovodom do mjesta istakanja kako bi se očuvala

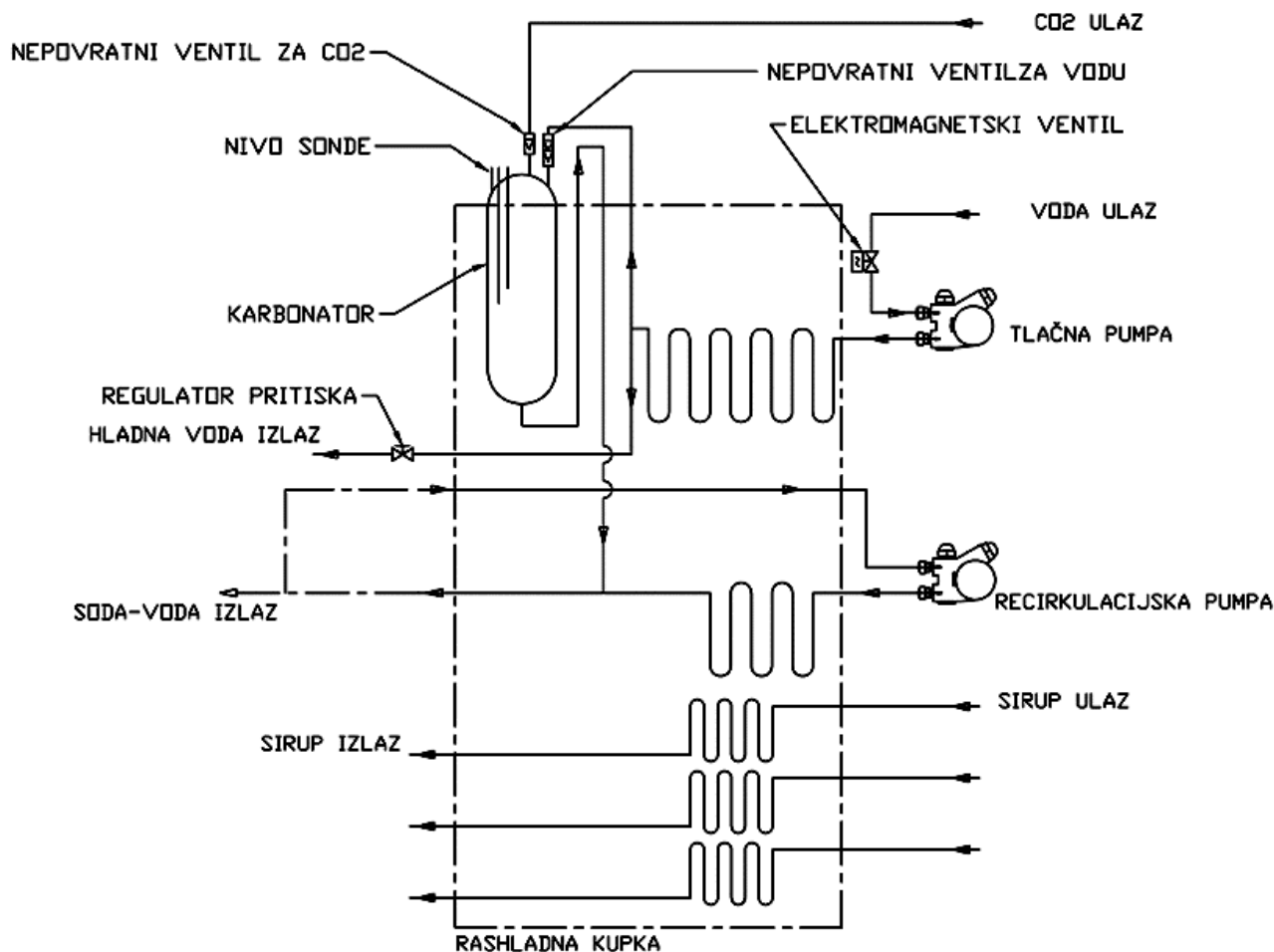
zadana niska temperatura, čime bi konzument dobio hladan i dobar napitak. Za ispravan rad karbonatora potrebno je u njemu osiguravati razinu tekućine unutar uskih zadanih granica, pa je upravo to osnovna namjena razmatranih sklopova. U osnovnoj varijanti i za primjenu na jednostavnim uređajima razvijena je varijanta sklopa za upravljanje jednom tlačnom pumpom. Elektromotor pumpe je u pravilu jednofazni s kondenzatorom za trajni rad u pomoćnoj fazi, snage u prosjeku 350W. U radu pumpa mora osigurati tlak na izlazu najmanje 10 bara, kako bi svladao tlak CO₂ u karbonatoru od približno 6 bara. Zadana razina vode definirana je završecima dviju metalnih sondi, izoliranih od tijela posude karbonatora. Upravljački sklop spaja se na te dvije sonde te na kućište karbonatora koje predstavlja zajedničku sondu. Ako je razina tekućine ispod sondi, uključuje se pumpa koja će ostati raditi dok razina vode ne dostigne razinu gornje sonde. Kako rad pumpe na suho znači njeno uništenje, kao zaštitni element spojen na ulazu vode koristi se mehanički presostat, čiji kontakti u slučaju pada tlaka prekidaju napajanje tlačne pumpe. Na slici 1. prikazana je shema protoka produkata kroz rashladni uređaj za pripremu soda-vode te hlađenje sirupa i mirne vode. Finalni napitak se priprema miješanjem na mjestu istakanja.

3. OPIS RADA SKLOPA

Osnovna verzija sklopa zasnovana je na mikrokontroleru PIC 12F509 proizvođača Microchip. Električna shema sklopa nalazi se na slici 4. Iako je PIC 12F509 skromnih mogućnosti, resursi su sasvim dovoljni da ga se iskoristi u ovoj primjeni. Pin Osc generira signal

frekvencije 2kHz koji se, ovisno o prisutnosti vode na sondama, pretvara u istosmjerni napon i vodi na ulaz mikrokontrolera. Ovisno o naponu na ulazima koji prezentiraju razinu vode na sondama uključuje se izlazni relej. LED dioda signalizira uključenost releja. Sklop je razvijen za pločicu dimenzija 50x80mm, a slika gotovog

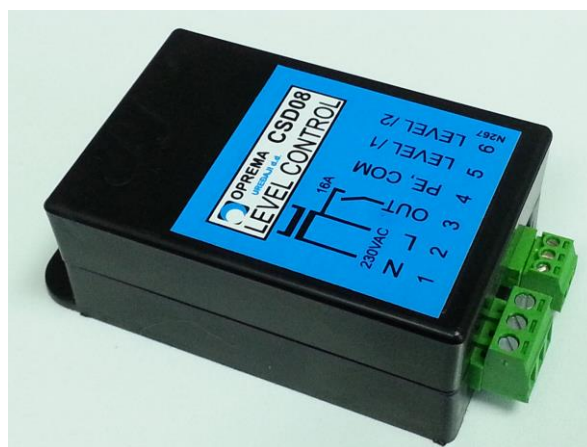
sklopa sa zalemljenim elementima prikazana je na slici 2. Gotov sklop u kutiji prikazan je na slici 3. Postoje ekvivalentna industrijska rješenja za opisani sklop poput Omronovog 61F-GP-N8 (slika 5.) ili Schrackovog UR3L1011 (slika 6.). No, zbog višestruko više cijene nisu konkurentni vlastitom rješenju.



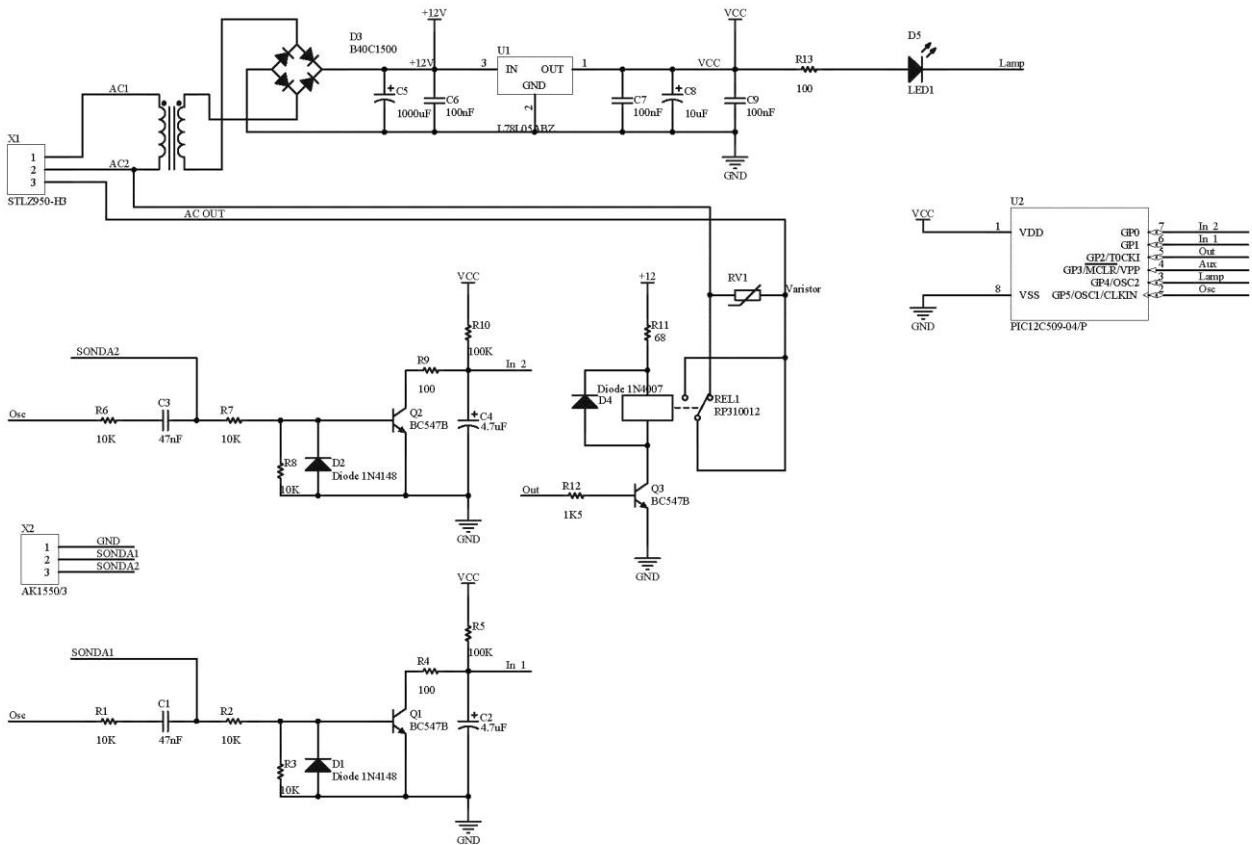
Slika 1. Shema protoka produkata kroz rashladni uređaj



Slika 2. Izgled elektroničkog sklopa CSD08



Slika 3. Izgled gotovog sklopa CSD08 u kutiji



Slika 4. Električna shema upravljačkog sklopa CSD08

Dok se za ovakvu primjenu još i može pronaći industrijsko rješenje, kod uređaja većeg kapaciteta zahtjevi postaju kompliciraniji. Da bi se ostvarila željena kvaliteta upravljanja trebalo bi koristiti dodatne pomoćne i vremenske releje, ili čak manji PLC, što bi bilo neprihvatljivo cijenom i dimenzijama. U uređajima većeg kapaciteta tako se ugrađuju i po dvije tlačne pumpe te recirkulacijska pumpa, a na ulazu vode za zaštitu od previsokog tlaka ugrađuje se elektromagnetski ventil koji se uključuje pri radu tlačnih pumpi. Zaštitni element je presostat koji prekida napajanje pumpi u slučaju pada ulaznog tlaka vode. Problem koji prati ovakva konstrukcija je sinkronizacija rada pumpi i elektromagnetskog ventila, jer ventil prilikom prestanka rada puno brže zaklopi nego se pumpa stigne zaustaviti. S druge strane, prilikom pokretanja pumpe nedovoljno brzo otvaranje ventila rezultiralo bi potrebom za dodatnom snagom nužnom za otvaranje, uz rizik nepovoljnog režima rada pumpe sa zatvorenim dovodom vode. Presostat reagira na pad tlaka do dopuštene granice, što ispravno radi samo kod stvarnog nestanka vode. U praksi je česta situacija da je dotok vode smanjen zbog kapaciteta mreže ili rada ostalih potrošača. U tom slučaju uređaj počinje raditi u iznimno nepovoljnom režimu kada isključenje presostata prekida rad pumpi, prestaje potrošnja, tlak raste i presostat ponovno uključuje. Pumpe se ponovo pokreću i tlak ponovo pada. Isto se ponavlja više puta u sekundi te djeluje destruktivno na sve električne komponente koje rade u tom režimu.



Slika 5. Nivo relej Omron 61F-GP-N8



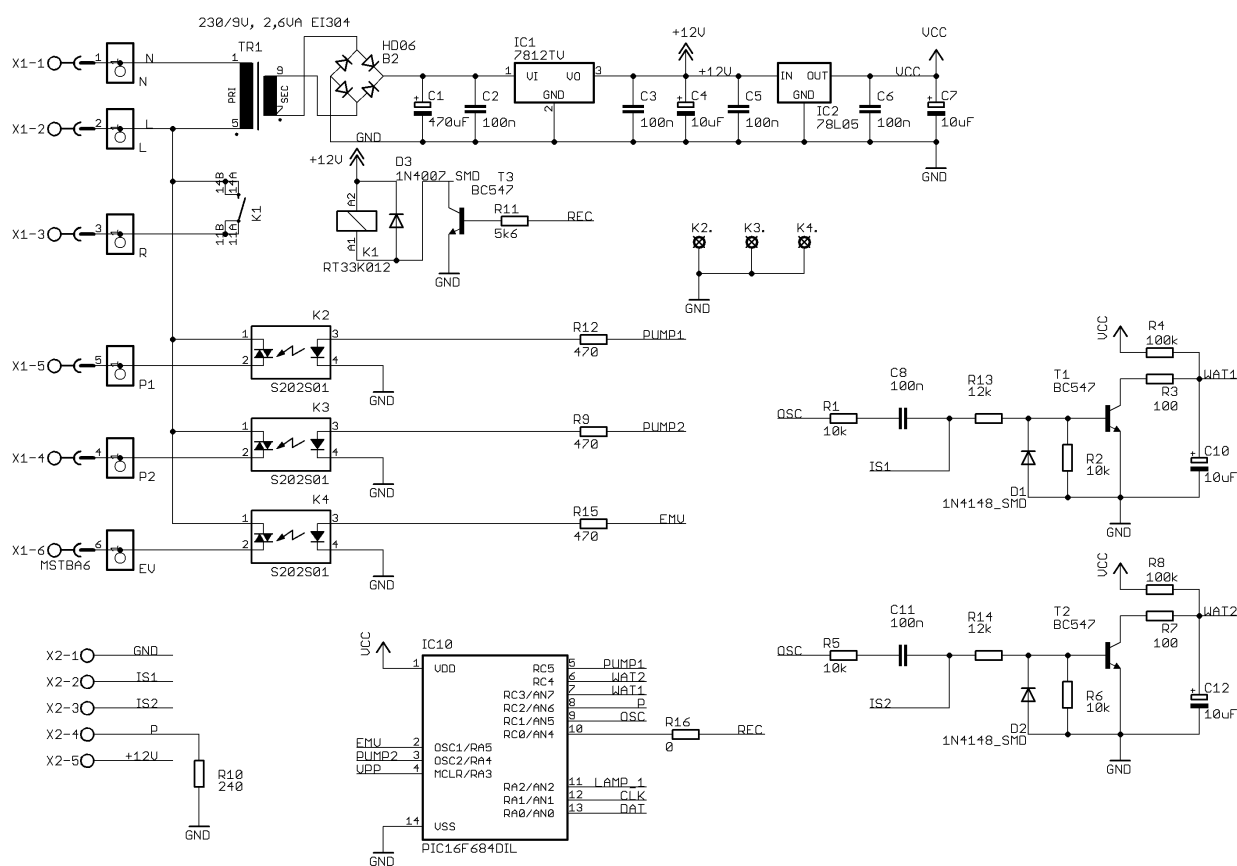
Slika 6. Nivo relej Schrack UR3L1011

Sva ova problematika riješena je projektiranjem upravljačkog sklopa koji potpuno kontrolira i sinkronizira rad svih komponenti u sistemu. Ovisno o konfiguraciji rashladnog uređaja koristi se primjerena verzija upravljačkog sklopa. Umjesto mehaničkog presostata, u sistem je spojen elektronički analogni mjerni pretvornik tlaka za područje 0,7-8 bara s izlazom 4-20mA prikazanog na slici 7.



Slika 7. Mjerni pretvornik tlaka EMERSON PT5

U ovom slučaju upravljački su sklopovi bazirani na mikrokontroleru PIC 16F684. Uz prije opisano mjerenje razine, korištenjem AD pretvornika mjeri se i iznos tlaka na ulazu. Ovisno o izmjenom tlaku i razini u karbonatoru, a prema zadanoj tehnologiji, uključuje se sekvencijalno jedna ili obje tlačne pumpe. Očekivani pad tlaka na ulazu u ovom slučaju je mjerljiv, iz čega se procjenjuje ulazni dotok. Ako je on premali i predstavlja opasnost za sigurni rad zaustavlja se rad jedne pumpe, dok druga nastavlja raditi. Ako nepovoljna situacija prestane i dotok se popravi, nakon određenog vremena zaustavljena pumpa se ponovo uključuje. Ako se pak nepovoljna situacija nastavi pumpa prestane raditi, a ponovni start limitiran je vremenom i dovoljno visokim tlakom u mreži.



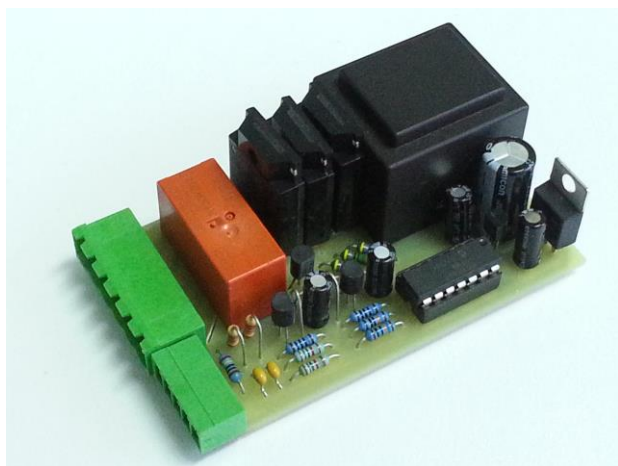
Slika 8. Električna shema upravljačkog sklopa PCPM3

Rad pumpi je povezan s radom ulaznog elektromagnetskog ventila tako da se ventil otvara sekundu prije pokretanja pumpe, a gasi nekoliko sekundi nakon gašenja pumpe. Redoslijed pokretanja pumpi se izmjenjuje sa svakim prestankom rada sa svrhom jednolikog trošenja. Rad recirkulacijske pumpe omogućen je kroz uvjete postojanja minimalnog ulaznog tlaka vode, te uz prisutnost dopuštene minimalne razine u karbonatoru. Ako razina u karbonatoru padne ispod minimuma (donje sonde) na duže od 15 sekundi recirkulacijska pumpa se isključuje. Podizanjem razine vode u karbonatoru do minimalnog recirkulacijska pumpa se ponovno pokreće. Na slici 9. prikazan je izgled štampane pločice sa zalemljenim komponentama elektroničkog sklopa PCPM3.

Uz nekoliko izmjena na softveru postoje varijante za:

- dvije tlačne pumpe i ventil (PCPM)
- tlačnu, recirkulacijsku i ventil (PCPM2)
- dvije tlačne, recirkulacijsku i ventil (PCPM3)

Usporedba natpisnih naljepnica prikazana je na slici 10. Dok je shema sklopa PCPM3 prikazana na slici 8., na slici 11. prikazan je detalj rashladnog uređaja za ilustraciju razmještaja komponenti spomenutih u prethodnom izlaganju. Ističu se elektromagnetski ventil i mjerac tlaka na ulazu (gore desno), vodena kupka s karbonatorom i rashladnim zavojnicama, te tlačna i recirkulacijska pumpa (dolje).



Slika 9. Izgled elektroničkog sklopa PCPMR3



Slika 10. Natpisne naljepnice PCPM sklopova



Slika 11. Razmještaj komponenti u rashladnom uređaju

Korištenjem programskog jezika PIC-C u MPLAB okruženju osigurana je fleksibilnost prilikom razvoja projekta te tijekom funkcionalnog ispitivanja sa svrhom optimiziranja rada rashladnog uređaja. Softverski je osigurano sekvencijalno uključivanje potrošača s ciljem smanjenja smetnji i strujnih udara. Gazirana voda iz karbonatora troši se prilikom svake konzumacije i ciklus dopunjavanja pokretanjem pumpi ponavlja se već nakon nekoliko decilitara istočenog napitka, dakle jako često. Posebna je pozornost pridana radu u vršnim režimima kada se može dogoditi da potrošnja premaši dobavu tako da pumpe nemaju dovoljni kapacitet ili je dotok premali.

Mjerenjem ulaznog tlaka i povremenom detekcijom razine na samo jednoj razinskoj sondi moguće je zaključiti da je sistem preopterećen, ali i dovoljno operativan da izdrži nastalo vršno opterećenje. Regulacija razine će raditi ispravno bez obzira na to kako će gornja i donja sonda biti spojene. Punjenje karbonatora počinje kada je razina vode ispod sonde, a završava kad su obje u vodi. Kako voda u prostor karbonatora ulazi pod velikim pritiskom, to je i voda u njemu uzburkana. Kroz ulazni sklop za sonde i kroz programski kod uvedena su kašnjenja da bi se smanjio utjecaj uzburkane površine na detekciju razine.

4. ZAKLJUČAK

Korištenjem mikrokontrolera pruža se mogućnost izrade dobrih regulacijskih sklopova s malim brojem vanjskih komponenti, ali s primijenjenim brojnim i kompleksnim zahtjevima za što kvalitetnije upravljanje procesom. Uz ovdje opisana svojstva konačnog proizvoda jasno je da ekvivalentno rješenje na tržištu ne postoji u tako kompaktnom obliku. Ako se izuzme sklop za kontrolu temperature vodene kupke, PCPM sklop predstavlja kompletno i kompaktno rješenje za upravljanjem rashladnim uređajem. Komponente korištene u PCPM projektu su uobičajene, povoljne i lako dobavljive, a sam sklop je jednostavan za proizvodnju.

5. LITERATURA

- [1] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41236E.pdf>, 31. 8. 2009.
- [2] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41202f-print.pdf>, 19. 3. 2007.
- [3] http://www.r744.com/web/assets/companybrochure/file/443_pt5%20tb_en_2013-07-19.pdf, 19.7.2013.
- [4] http://www.ia.omron.com/data_pdf/data_sheet/61f-gp-n_dsheets_csm6.pdf, 2007.

Kontakt autora:

Josip Srpak, dipl. ing.
 Veleučilište u Varaždinu
 Križanićeva 33, 42000 Varaždin
 Tel: 091/8998868
 e-mail: jsrpak@gmail.com

PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADE ZA FLEKSIBILNE PROIZVODNE SISTEME

PLANNING OF TECHNOLOGICAL PROCESS PROCESSING FOR FLEXIBLE PRODUCTION SYSTEMS

Elvis Hozdić, Emine Hozdić

Pregledni rad

Sažetak: *Fleksibilni proizvodni sistemi (FPS) sve su prisutniji modeli proizvodnih sistema. Širok spektar zahtjeva i raspoložive ponude komponenata vodi formiranju FPS-a različitih struktura i eksploatacijskih značajki. Fleksibilna tehnologija postala je nezaobilazni faktor u projektiranju modernih proizvodnih sistema. S obzirom na konstrukcijske i tehnološke karakteristike strojarskih proizvoda, javljaju se mnogi zahtjevi na fleksibilnost proizvodnih sistema. Visok stupanj fleksibilnosti proizvodnog sistema često rezultira porastom cijene sistema, padom ekonomičnosti, padom kvalitete, a redovito se porastom fleksibilnosti umanjuje produktivnost.*

U radu su dani elementi fleksibilnog proizvodnog sistema, projektiranje tehnološkog postupka od konvencionalnog do suvremenog, integrirajući sve elemente fleksibilne proizvodnje u proizvodnom ciklusu.

Ključne riječi: *fleksibilni sistemi, tehnološki procesi, komponente sistema, grupna tehnologija, upravljanje sistemima, modeliranje, simulacija*

Review article

Abstract: *Flexible production systems are becoming more used as models of production systems. Wide spectrum of demands and available component offers lead to formation of FPS of different structures and exploitation means. Flexible technology has become an important factor in forming the modern production systems. Considering the constructional and technological characteristics of machine products, many demands on flexibility of production systems are present. A high level of flexibility of productive systems often results in an increase in the systems price, decrease in efficiency, decrease in quality, and productivity often decreases with an increase in flexibility.*

The paper presents elements of the flexible production system, planning the technological procedure from the conventional to the modern one by integrating all the elements of flexible production in a production process.

Key words: *Flexible systems, technological processes, system components, group technology, system managing, modelling, stimulation*

1. UVOD

Stanje na tržištu, kao regulator odnosa u proizvodnji, karakterizira se između ostalog zahtjevima za sve raznovrsnijim proizvodima, višim kvalitetom proizvoda, kao i kraćim vremenom isporuke. Tržište više ne traži standardni proizvod već proizvod – varijantu, a to dovodi do brzog zastarijevanja proizvoda. Da bi se osigurala konkurentna sposobnost poduzeća, reagira se na sve oštrije zahtjeve smanjenjem vremena izrade proizvoda, povećanjem produktivnosti, fleksibilnosti kao i ekonomičnosti proizvodnje, poštovanjem ugovorenih termina isporuke, većim iskorištenjem kapaciteta, smanjenjem zaliha i sl. Na temelju tih zahtjeva koji se postavljaju pred suvremenu proizvodnju realno je očekivati da će u optjecaju biti sve više strojeva i alata.

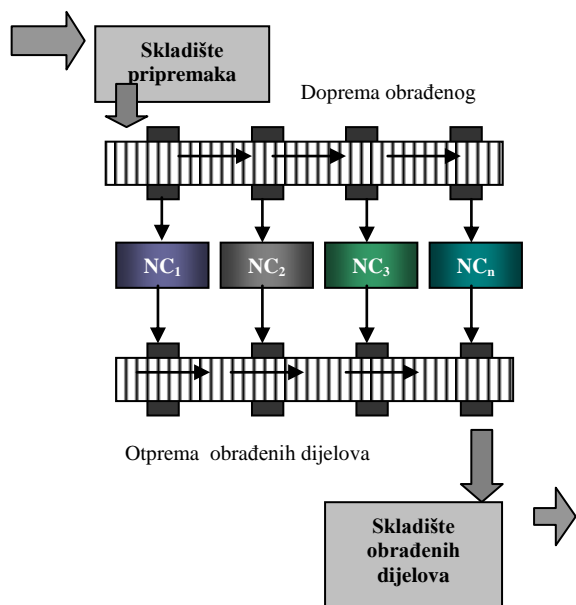
Uvođenje fleksibilne proizvodnje je uvjetovano odgovarajućim stupnjem razvoja komponenata automatizacije proizvodnih sistema kao što su numerički upravljani alatni strojevi, robotski sistemi, računalom

upravljani sistemi transporta, numerički upravljani mjerni strojevi, uključujući i razvoj odgovarajućih programskih alata za konstrukciju, proračun, analizu, upravljanje i nadzor. Fleksibilnost kao osnovna odlika fleksibilne proizvodnje ogleda se u sposobnosti izvršavanja različitih proizvodnih zadataka koji u okviru fleksibilne proizvodnje mogu biti limitirani različitom geometrijom i tehnologijom izrade proizvoda, kao i različitim vremenima trajanja proizvodnog procesa.

Da bi se osigurala fleksibilnost i visoka razina integracije u arhitekturi upravljačkog sistema FPS, koji predstavlja osnovni integrirajući element, potrebno je pri njegovom projektiranju izvršiti dekompoziciju upravljačkog sistema na podsisteme, a podsisteme na module. Svaki sistem treba posjedovati bazu podataka koja je tako strukturirana i projektirana da bude nezavisna od područja primjene. To znači da sistem treba imati bazu podataka o pojedinim elementima u sistemu, kao i algoritme i logiku za odlučivanje na temelju kojih će se izvoditi manipulacija podacima iz baze. Za

očekivati je da će se ovi sistemi u budućnosti proširiti na nove aplikacije kao što je projektiranje postupaka montaže, kontrola kvalitete, izrada dijelova od lima, kod industrijskih robota, zavarivanja i sl.

Pod fleksibilnim proizvodnim sistemom podrazumijeva se sistemska i interakcijska povezanost osnovnih dijelova proizvodnje počevši od opreme, tijekom materijala i upravljanja, pa do organizacijskih i tehničkih procedura i programa koji su također dio sistema [1,4,6,8,9]. U tom smislu na slici 1. prikazane su mogućnosti komponiranja sistema.



Slika 1. Princip funkcioniranja fleksibilnog proizvodnog sistema [6]

Potreba za razvojem proizvodnih sistema u svim varijantama proistekla je iz saznanja o mogućnostima povećanja tehnoeconomičkih efekata obradnih procesa, u zavisnosti od karakteristika procesa obrade i broja izradaka. Fleksibilni proizvodni sistemi su sistemi koji sadrže više automatiziranih radnih ćelija koje su tako povezane, preko automatiziranih sistema transporta, da je moguća istodobna obrada predmeta različitih oblika.

Da bi se definirala ukupna fleksibilnost proizvodnih sistema treba promatrati pojedinačne fleksibilnosti elemenata sistema, kao što su fleksibilnost strojeva, fleksibilnost procesa, fleksibilnost kapaciteta, fleksibilnost transporta, fleksibilnost redoslijeda obrade i sl. Prethodno spomenute fleksibilnosti elemenata sistema u velikoj mjeri uvjetovane su fleksibilnošću korištenih programa i baze podataka, koji trebaju biti tako projektirani da je moguće uz minimalne promjene u postojećim programima i bazi podataka uspostaviti novi informacijski sistem u promijenjenim uvjetima i novim zahtjevima. Takva postrojenja zaslužuju atribut „fleksibilna“ kada je svaki podsistem upravljačkog sistema projektiran tako da podržava zahtijevanu fleksibilnost, jer razina fleksibilnosti sistema fleksibilnog proizvodnog sistema određuje njegova najmanja fleksibilna komponenta.

Pri konceptiranju FPS i izgradnji jednog tako složenog sistema postavljaju se i veoma oštri zahtjevi u

pogledu izgradnje hardvera i softvera. Hardverski zahtjevi proizlaze iz koncepcije fleksibilnog proizvodnog sistema koja obuhvaća: tip sistema, veličinu sistema, razinu fleksibilnosti, obuhvaćene funkcije, strukturu sistema itd. Na osnovu koncepcije fleksibilnog proizvodnog sistema i modela upravljanja pristupa se i hardverskom komponiranju: izboru upravljačke opreme (računalski sistem), proizvodne opreme (CNC stroj), transportnog sistema, sistema uskladištenja i otpreme. Na temelju usvojene koncepcije i strategije upravljanja sistemom pristupa se softverskoj izgradnji sistema, točnije softverskim zahtjevima sistema.

Fleksibilni sistem mora biti prilagodljiv sljedećim zahtjevima:

- bilo koji aranžman i količina komada za obradu mora biti obrađen
- prilagođavanje opreme za obradu diktirano je komadom za obradu

Da bi mogli znati koji su to zahtjevi, fleksibilni sistem mora ispunjavati sljedeće uvjete:

1. Automatska, ali opet dovoljna adaptacija za proizvodnju komada koji su slični geometrijski i tehnološki. Tehnološka grupa može odlučujuće doprinijeti uspjehu iskorištenja fleksibilnog sistema. Ipak to mora biti zamišljeno malo različito od konvencionalne tehnologije;
2. Jednostavna adaptacija zahtjevima tržišta, kao što je kvaliteta proizvoda, dizajn proizvoda, upoznavanje s novim proizvodima itd.;
3. Automatska obrada do maksimalno moguće razine, s minimalnim uključivanjem radnika sa sistemom. Nemoguće je očekivati da će sistem raditi 24 sata bez prestanka kao što se je na početku tvrdilo;
4. Mogućnost proširenja sistema bez zaustavljanja proizvodnje kao važan dio fleksibilnog sistema (modularna konstrukcija, interfejsi itd.);
5. Prebacivanje proizvodnje na druge komponente sistema, ako jedna komponenta otkáže. To uključuje promjenu tijekom materijala i kontrolu informacija. Kontrola informacija mora biti spremna kad je trebamo;
6. Pojednostavljeno servisiranje i namještanje. Ovo je osigurano specijalnim dijagnostičkim sistemom individualnih jedinica, ponovno pokretanje, povremeno održavanje i pregled ispravnosti materijala i informacija.

2. PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA OBRADJE

Projektirani tehnološki proces je skup znanja i praktičnih iskustava usmjerenih na definiranje slijeda, postupaka i režima procesa obrade s ciljem pretvaranja nižih upotrebnih vrijednosti priprema u vrsnije gotove proizvode. Postaviti tehnološki proces obrade je iznimno složen i odgovoran zadatak, jer od ispravno postavljenog tehnološkog procesa ovisi krajnji ekonomski rezultat ostvarene proizvodnje. [3,7,8,11]

Za dobro postavljanje tehnoloških procesa obrade potrebna su teoretska znanja i praktična iskustva što se tiče metode obrade, izbora stroja, alata, pribora i mjernih instrumenata za dani tip proizvodnje i traženu kvalitetu obrade. Isto tako, da bi tehnološki proces zadovoljio tehnološko-ekonomske kriterije dane proizvodnje, treba odrediti optimalni režim obrade, kao i optimalni oblik polaznog sirovog komada.

Postavljanje tehnološkog procesa dolazi u obzir kod:

- usvajanja nove proizvodnje
- usvajanja novog proizvoda u već postojećoj proizvodnji
- unapređenja i racionalizacije postojeće proizvodnje

Da bi postavili tehnološki proces obrade potrebno je imati konstruktivnu dokumentaciju proizvoda (crteže dijelova i sklopova) koja mora imati sljedeće postavke:

1. Ukupno planiranu količinu proizvoda koja može biti iskazana mjesečno i godišnje
2. Datoteku strojeva koja treba sadržavati dokumentaciju za izbor alata
3. Dokumentaciju za izbor polaznog oblika materijala (odljevak, otkivak, otpresak i slično)
4. Uputu za programiranje procesa obrade s datotekom podataka obradnog sistema
5. Ranija slična rješenja, posebno dokumentaciju ostalih proizvoda iz proizvodnog programa kako bi se mogla primijeniti unifikacija, standardizacija ili normalizacija proizvoda i postupaka obrade
6. Tehnološku organizaciju proizvodnje
7. Raspoložive ljudske kapacitete po broju, strukturi i stupnju stručnosti
8. Obrasce, ispise i nosioce informacija

Kod projektiranja tehnološkog procesa obrade polazi se od strukture koja je obično standardna za svaki tip obrade. Najčešće su razlike što se tiče širine razrade tehnološkog procesa, tj. projektira li se proces obrade za individualne, tipske ili grupne tehnološke procese, odnosno radi li se o procesu obrade za konvencionalne ili nekonvencionalne obradne sisteme.

Razvojem i primjenom novih informatičkih tehnologija CAD/CAPP/ CAM uslijedila je odgovarajuća promjena strukture tehnološkog procesa. Podaci koje tehnolog upisuje u tehnološku dokumentaciju moraju biti detaljno obrađeni i prikazani u obliku programa prema kojem upravljačka jedinica upravlja obradnim sistemom.

Struktura tehnološkog procesa može biti dana u skraćenom obliku, npr. mogu biti definirani samo nazivi operacija, ili detaljno određena do najmanjih zahvata. Koja će se od ove dvije granične strukture primijeniti, zavisi od vrste proizvodne opreme, stupnja automatizacije, veličine serije, složenosti proizvoda i o zahtijevanoj točnosti.

Kod potpuno automatiziranog obradnog sistema, bez obzira na tehničku razinu upravljanja (mehanički, hidraulični, električni, numerički, kompjuterski), nužno je točno i detaljno definirati sve zahvate, faze i operacije, alate i režime obrade.

3. PROJEKTIRANJE TEHNOLOŠKIH PROCESA ZA FLEKSIBILNE PROIZVODNE SISTEME

Složenost tehnološkog procesa obrade raste s porastom složenosti obradnog sistema, jer složeni obradni sistemi imaju primjenu u proizvodnji tehnološki i geometrijski složenih struktura proizvoda. Sve to utječe na porast broja mogućih tehnoloških varijanti u izradi odgovarajućeg proizvoda i izbor optimalne varijante obrade. Zbog toga je kod projektiranja tehnoloških postupaka za fleksibilne proizvodne sisteme nužno poznavati sve ono što je prethodno izloženo. Fleksibilni proizvodni sistem je sastavljen iz numerički upravljanih alatnih strojeva, obradnih centara i fleksibilnih ćelija čiji je rad integriran računalom s automatskom izmjenom alata, pribora i obradaka.

Prema razini tehnološki procesi mogu biti konvencionalni (klasični) i nekonvencionalni (CNC, ACC, NC), a realiziraju se proizvodnim sistemima koji mogu biti kruti ili fleksibilni.

Osnovni sistemi projektiranja tehnoloških procesa obrade [1]:

1. Individualni tehnološki procesi (ITP) se projektiraju i primjenjuju za obradu jednog određenog proizvoda – izratka, uzimajući u obzir veličinu serije, raspoloživu proizvodnu opremu i zahtjeve određene crtežom.
2. Grupni tehnološki procesi (GTP) se projektiraju za formiranu grupu tehnološki sličnih izradaka. Da bi se po grupnom tehnološkom procesu mogli obrađivati svi dijelovi iz grupe, GTP mora obuhvatiti sve operacije i zahvate pomoću kojih će biti obrađene sve površine dijelova iz grupe.
3. Tipski tehnološki procesi (TTP) projektiraju se za tipove izradaka, bitno veće sličnosti nego GTP, jedinstvenih konstrukcijskih i tehnoloških obilježja. Dakle, osnovna osobina TTP je jedinstvo tehnološkog procesa pri obradi svakog dijela istog tipa. Do tipova dijelova se dolazi na osnovu kriterija da dijelovi istog tipa moraju imati iste obrade i njihov redoslijed, odnosno iste operacije i zahvate procesa obrade.

Prije projektiranja tehnološkog procesa obrade za FPS treba pripremiti pouzdane i detaljne podloge, kako bi visoko ulaganje u obradni sistem počivalo na sigurnim temeljima. Struktura i koncepcija FPS ovisi o vrsti, asortimanu, složenosti proizvoda te o projektiranim postupcima obrade.

Osnovne podloge za projektiranje procesa:

- asortiman proizvoda i količine po vrsti proizvoda
- veličina serije proizvoda
- radionički crtež – geometrijske informacije (oblik i dimenzije, točnost izrade, površinska obrada), gdje je CAD sistem ulazni format za projektiranje tehnologije
- funkcija proizvoda i specijalni zahtjevi
- vijek trajanja proizvoda koji će pokazati opravdanost uključivanja proizvoda u program fleksibilne proizvodnje

Fleksibilna proizvodnja se primjenjuje u obradi složenih obradaka gdje se tehnološki proces izvodi na više obradnih modula. Složenost proizvoda, široki asortiman izradaka i manje količine predodređuju primjenu FPS. Visoka nabavna cijena, znatni troškovi montaže i primjene FPS za proizvodnju traži adekvatne proizvode koji će plasmanom pokriti troškove ulaganja i proizvodnje uz stvaranje odgovarajuće dobiti. To pokazuje da ovi proizvodi moraju imati budućnost, jer u protivnom postoji veliki rizik ulaganja.

Kod planiranja fleksibilne proizvodnje traži se detaljna analiza izradaka što se tiče:

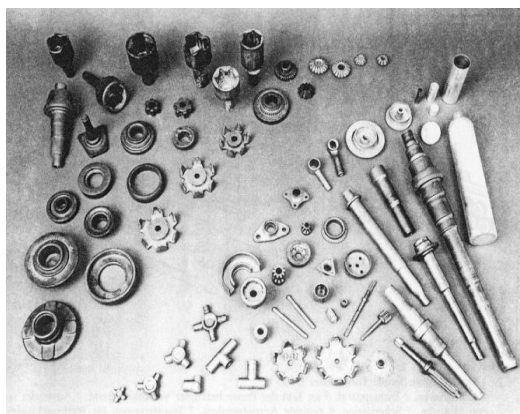
1. asortimana proizvoda
2. količine proizvoda
3. mogućnosti formiranja grupa sličnih izradaka
4. tržišnih zahtjeva po svim relevantnim karakteristikama bitnim za uspješan plasman proizvoda
5. vijeka trajanja proizvoda
6. tehnološke složenosti izradaka, geometrijske složenosti, vrsti obrade, dimenzija i mase izradaka
7. vrste, oblika i materijala priprema
8. primjene automatske proizvodnje i automatske izmjene obradaka i točnosti pozicioniranja
9. rentabilnosti proizvodnje

Za razliku od simulacijskog modela pomoću kojega se dobije više odgovora, optimizacijski model od mnoštva odgovora bira jedan koji je najbolji, i to najbolji prema postavljenom cilju i zadanom ograničenju. Optimizacijski model se može promatrati kao jedan simulacijski model kojem je dodan izraz koji predstavlja cilj odlučivanja i koji se naziva funkcija cilja. Optimizacija se može izvoditi na tri razine: na razini zahvata, izrade dijela i na razini izrade cijele serije dijelova.

Prema prikazanom modelu optimizacija procesa obrade na razini zahvata obuhvaća više povratnih tokova kojim se određuje optimalni izbor alata, optimalni izbor režima obrade i optimalnost alata.

Na temelju kriterija optimizacije i definiranih elemenata strukture FPS projektira se odgovarajuća optimalna struktura fleksibilnog proizvodnog sistema.

Grupna tehnologija [1,8,9,11,13,14] se temelji na spoznaji da mnogi tehnološki problemi sadrže određene sličnosti, te da se grupiranjem sličnih problema mogu naći zajednička rješenja. Jednoj tehnološkoj grupi pripadaju svi dijelovi koji se mogu obraditi na jednoj alatnoj mašini pomoću jednog istog tehnološkog podešavanja stroja, dakle s istim priborom i alatima. Iznijeta misao sadrži osnovno načelo grupne obrade o potrebi klasifikacije dijelova i formiranju grupa sličnih dijelova za koje će se unificirati tehnološki postupak obrade kao na slici 2. Na ovaj način formiraju se tehnološke grupe od dijelova iz proizvodnog programa koji imaju zajedničku problematiku tijekom procesa obrade određene operacije. To znači da se grupna tehnologija ograničava na konstruktivnu i tehnološku sličnost pojedinih postupaka obrade i alata, odnosno na pojedine operacije čija je posljedica kombinacija grupnih i individualnih tehnoloških operacija tijekom izrade.



Slika 2. Dijelovi po grupama [1]

Kao što se vidi primjenom grupne tehnologije, ostvaruje se određena standardizacija tehnoloških postupaka koja omogućuje brzu pripremu za proizvodnju novog predmeta rada. Pri tome se zadržava kvaliteta proizvodnje i ne stvaraju se nepotrebni gubici, a kapacitet opreme maksimalno se koristi. Potrebno je organizirati proizvodnju po grupama dijelova. To se izvodi projektiranjem sistema za proizvodnju složenog dijela, čime se omogućuje izrada svih pojedinačnih dijelova koji se pod njega podvode. Na taj način se postiže ekonomična proizvodnja više različitih dijelova, koja je bit fleksibilne proizvodnje. Iz ovih razloga koncept grupne tehnologije našao je veliku primjenu u organizaciji fleksibilne proizvodnje koja se projektira tako da se proizvodni proces za svaku grupu dijelova organizira kao fleksibilan sistem.

Kriterij za izbor i oblikovanje tokova materijala zasniva se na skupu karakterističnih veličina proizvodnog sistema određenih u prethodnim fazama projektiranja:

- količine proizvoda (q_i) koje definiraju opseg razmjene sistema s okolinom
- odnos strukture proizvodnog programa (p_j) – količine (q_j) koji određuju kvaliteta razmjene s okolinom i predstavlja osnovu za izbor tipa tokova materijala u proizvodnom sistemu
- stupanj tehnološke složenosti proizvoda koju određuje funkcija proizvoda, postupak oblikovanja, postupak izrade, kvaliteta veze između sredstava rada i ljudi te uvjeti za rad. Iskazuje se vremenom trajanja izvođenja operacija (t_{ii})
- kapacitet elemenata sistema koji definiraju radne mogućnosti, režim rada, uvjete korištenja, stanje u sistemu i kvalitetu procesa odlučivanja.

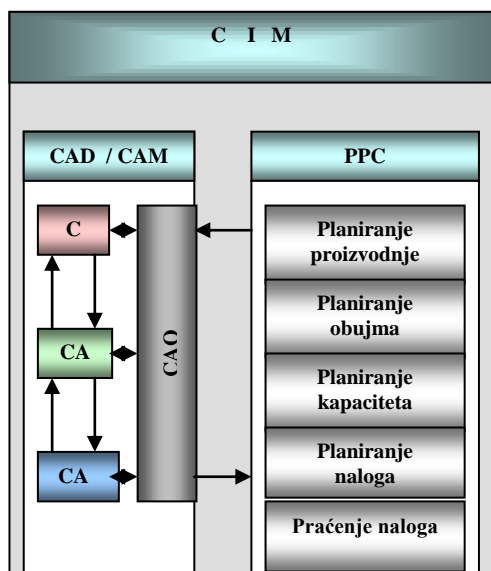
Složenost upravljačkog sistema je osnovni nedostatak FPS-a i razlog zbog kojeg ovi sistemi nisu više našli primjenu. Budućnost upravljanja ovim sistemima leži u umjetnoj inteligenciji.

Kompleksnost upravljačkih sistema kod fleksibilnih proizvodnih sistema pokušava se riješiti pomoću umjetne inteligencije koja se razvija u tri segmenta:

1. učenje - OPAŽANJE
2. logičko zaključivanje - MIŠLJENJE,
3. kooperativnost - KOMUNIKACIJA

Komunikacija na relaciji ČOVJEK-STROJ-ČOVJEK, prilikom izmjene informacija u cilju prezentiranja znanja i njegove obrade, otežano je zbog prepoznavanja govora i obrade prirode govora.

Kod automatiziranih projektiranja tehnoloških procesa CAPP računar se koristi za određivanje tijeka tehnoloških operacija, za pripremu operacijskih lista za pojedine dijelove, za automatsko određivanje odgovarajućih alata, automatsko određivanje tehnoloških režima obrade i za određivanje vremena izrade primjenom optimizacijskog algoritama. Pošto već postoji geometrijski model proizvoda u računalu, teži se tome da se i ostale aktivnosti vezane uz projektiranje tehnoloških procesa prenesu u računalu. Pravodobna raspoloživost točnih podataka za opis proizvoda i podataka za njegovu izradu u cijelom lancu nastanka proizvoda jedan je od najvažnijih faktora za poboljšanje konkurentne sposobnosti poduzeća. Takvim zahtjevima suprotstavlja se stanje kod obrade i manipulacije podacima za opis proizvoda. Projektiranje CAPP sistema je zapravo uspostavljanje veze između procesa konstruiranja i procesa proizvodnje (slika 3.).



Slika 3. Integracija CAPP sistema u CIM sistemu [8]

Iz slike se vidi da CAPP sistem treba razmjenjivati podatke s CAD i CAM, ali i sa sistemom za osiguranje kvalitete CAQ, kao i s drugim područjima CIM sistema. Projektiranjem CAPP sistema povećava se razina automatiziranosti ukupnog sistema, čime se stvaraju pretpostavke za transfer podataka o modelu proizvoda između sistema CAD i CAM, kao i između drugih podsistema CIM sistema.

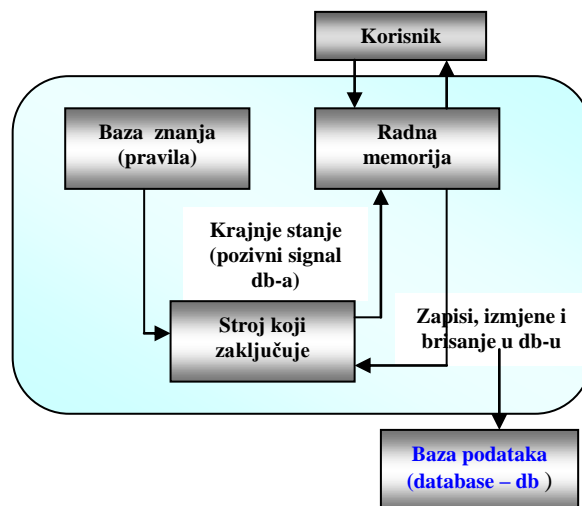
Ekspertni sistemi ili sistemi bazirani na znanju su oni koji obradu znanja izvode ne samo obradom podataka već se obrađuje sveukupna količina znanja. Takvo znanje nastaje iz prvobitnog raščlanjivanja, odnosno iz spajanja uzroka i posljedica uvjetovanih događajima kroz poimanje odnosa i relacija uzetih na temelju primjera uvjeta i događaja. Izgrađivanje poimanja i odnosa može se izvesti analizom skupa, klasifikacijom i zaključivanjem.

Sistemi bazirani na znanju su deskriptivno programirani sistemi. Ekspertni sistemi su sistemi

bazirani na znanju s posebnim FRONT/END komponentama kao što su komponente za omogućavanje dijaloga, objašnjenje i stjecanje znanja koje iznova mogu same realizirati mogućnosti sistema na bazi znanja. Na slici 4. je prikazana relacija između korisnika, baze podataka i ekspertnog sistema.

Ekspertni sistemi ne mogu biti egzaktno definirani. Izgradnja ekspertnog sistema iznimno je skup proces, zbog čega se dobar dio proizvođača odlučuje za proizvodnju ekspertnih alata koji su manje skupi, zadržavaju svojstvo ekspertnih sistema, ali nisu univerzalni, a to su ekspertne ljuške. Ekspertne ljuške su alati koji se koriste za jedno područje problema, pri čemu njihova konkretna primjena ovisi o znanju kojim se puni baza znanja. Razlog njihove velike primjene je svakako u cijeni koja je za ovakvu vrstu alata prihvatljivija od cijene složenih ekspertnih sistema. [1,8,18,19].

Danas ekspertni sistemi za planiranje, osim baze znanja i mehanizama odlučivanja, sadrže u sebi komunikatore s vanjskim svijetom koji dopuštaju vođenje dijaloga, kontrolu i vođenje procesa.



Slika 4. Veze između baze podataka, korisnika i ekspertnog sistema [1]

4. STRUKTURIRANJE, PROGRAMIRANJE I PLANIRANJE FLEKSIBILNIH PROIZVODNIH SISTEMA

Prvu fazu projektiranja bilo kojeg proizvodnog sistema predstavlja formiranje koncepta proizvodnog sistema koji se u idućim fazama detaljizira. Strukturiranje koncepta proizvodnog sistema podrazumijeva segmentiranje ukupnog asortimana proizvodnog programa na grupe izradaka s konstrukcijsko – tehnološkom i proizvodnom sličnošću namijenjenih obradi na odgovarajućem proizvodnom sistemu.

Zbog svoje složenosti koja sa sobom nosi veliku investicijsku angažiranost, fleksibilni proizvodni i obradni sistemi se uvode u proizvodne hale samo onda kada se dokaže njihova ekonomičnost. Ovo se radi pomoću računala i posebnih simulacijskih metoda. Jedan

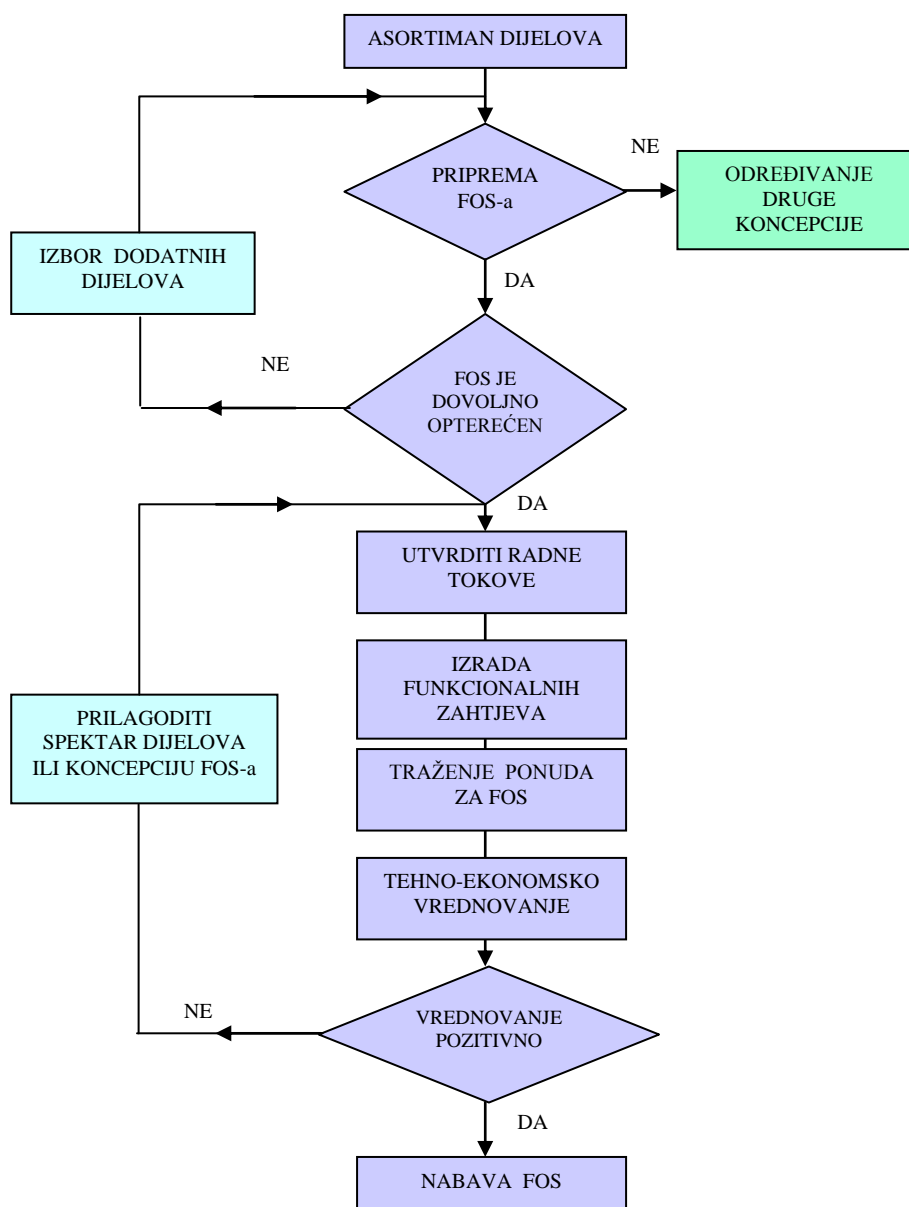
opći tijek definiranja strukture fleksibilnog obradnog sistema prikazan je na slici 5.

Planiranje FOS-a znači istodobno pronaći takvu strukturu u kojoj će sve komponente, kao i njihov međusobni odnos, biti optimalne tehnološkim potrebama, ali i ekonomične u eksploataciji.

Kako su troškovi realizacije FOS-a razmjerni potrebnoj fleksibilnosti, koju opet uvjetuje spektar dijelova koji želimo obrađivati na planiranom obradnom sistemu, potrebno je izabrati dijelove, odnosno formirati obitelj dijelova na osnovama kombinacije geometrijskih, tehnoloških i organizacijskih kriterija. Daljnjom tehnološkom razradom proizvodnog zadatka mora se utvrditi i tijek procesa izrade ovih dijelova [9,10].

Korisnik budućeg FOS-a najbolje poznaje vlastiti razvoj proizvoda, proizvodnu problematiku. Zbog toga odgovornost za pravilno strukturiranje i planiranje FOS-a i fleksibilnog proizvodnog sistema leži upravo kod korisnika [17].

Planiranje je jedna od osnovnih funkcija proizvodnje. S obzirom na složenost i obujam funkcije planiranja fleksibilne proizvodnje ona je u sistemu FPS u cjelini podržana računalom, pa je u upravljačkom sistemu FPS funkcija planiranja dobila naziv CAP (Computer Aided Planning).



Slika 5. Tijek planiranja FOS-a [8]

Iz projektiranih tokova materijala i alata, u odnosu na obradnu ćeliju, proizlaze funkcionalni zahtjevi za načinom i tokovima obrade, koji s dispozicijom svih modula fleksibilnog obradnog sistema i njegovim opisom predstavljaju polazne elemente za izradu projekta.

Funkcija planiranja fleksibilne proizvodnje je preko CIM-a informacijski povezana s funkcijama CAA, CAD i CAM, kao i s drugim funkcijama.

Proces planiranja fleksibilne proizvodnje obuhvaća više manjih elementarnih planiranja kao što su:

- planiranje proizvodnje
- planiranje kapaciteta
- planiranje materijala
- planiranje alata
- planiranje transporta

Opterećenje ili vrijeme zauzetosti fleksibilnog proizvodnog sistema ogleđa se kroz pravilan raspored obradnih jedinica, kroz transport alata i materijala, te mjernih uređaja i strojeva za pranje. Naime, fleksibilni proizvodni sistem je opravdan ako je njegov učinak maksimalan, odnosno ako nema praznih hodova i čekanja na stanicama. Za pravilno postavljanje fleksibilnog proizvodnog sistema neophodno je praćenje vremena izrade dijelova u funkciji količine i cijene fleksibilnog proizvodnog sistema.

Programiranje rada fleksibilnog proizvodnog sistema temelji se na programiranju svih komponenti proizvodnog sistema. Jezgru FOS-a čine numerički upravljani alatni strojevi, pa je i programiranje NC alatnih strojeva jedan od osnovnih elemenata programske podrške. Programiranje se može definirati kao proces zadavanja obradnih informacija prema pravilima programskog jezika. Sve unesene informacije u program sistematiziraju se, te se zapisuju na nositelje informacija (bušena traka, magnetna traka, disk...).

Metode programiranja mogu se podijeliti na:

- ručno programiranje
- automatsko programiranje

Ručno programiranje radi se u jeziku upravljačkog računala, dok se automatsko programiranje radi posredno u nekom višem programskom jeziku, pomoću računala.

5. MODELIRANJE I SIMULACIJA FPS-a

Tehnološko oblikovanje i projektiranje modernih procesa obrade zahtijeva analizu svih tehničko-tehnoloških parametara procesa i primjenu znanstvenih metoda u cilju modeliranja i definiranja optimalnih uvjeta obradnih procesa i sistema.

Osnovna je svrha modeliranja definiranje matematičkih modela i drugih prikaza koji su nužni za optimizaciju, simulaciju, revitalizaciju i upravljanje procesima i sistemima. Prema tome, osnovna je svrha modeliranja procesa i sistema izgradnja matematičkih modela koji će u odgovarajućem stupnju točnosti adekvatno opisati proces ili sistem u cilju:

- simulacije varijantnih rješenja, analize i prognoziranja stanja procesa još u fazi projektiranja,
- definiranja matematičkih modela koji su neophodni za optimizaciju procesa i pronalaska optimalnih rješenja,
- izgradnje modela upravljanja za dani sistem, odnosno objekt optimizacije,
- znanstvenih istraživanja i praktične primjene u stvarnim procesima.

Prema tome, krajnji cilj modeliranja i optimizacije obradnih procesa i sistema je jeftinija, kvalitetnija i profitabilna proizvodnja.

6. DIJAGNOSTIKA I MONITORING FPS-a

Ukupna problematika dijagnoza fleksibilnih proizvodnih sistema može se podijeliti na:

- dijagnozu obradnog procesa
- dijagnozu ukupnog hardvera i softvera ovih sistema

Danas su ta dva sistema integrirana i oni su jedna od vitalnih funkcija FPC i FPS koja im omogućava neprekidan rad. Motivi koji su potaknuli razvoj monitorskih sistema su:

- složena tehnologija na bazi računalske automatizacije
- zahtjevi za daljnjom racionalizacijom u tehnološkim sistemima
- zahtjevi za povećanjem produktivnosti
- zahtjevi za povećanjem kvalitete proizvoda
- zahtjevi za daljnjim poboljšanjem radnih uvjeta

Effekti koji se korištenjem monitorskog sistema mogu postići kod povećanja kvaliteta i produktivnosti za različite razine razvoja tehnoloških sistema zavise prije svega od toga prikupljaju li se monitorske informacije manualno (ručno) ili pomoću različitih razina računalske podrške.

Razina računalske podrške određuje i karakteristike monitorskog sistema s brojem funkcija, za stroj ili pogon.

Obradne stanice predstavljaju osnovne elemente za fleksibilnu automatizaciju u FPS. One integriraju veći broj automatiziranih ili automatskih funkcija, a jedna od najznačajnijih je monitoring alata. [6,8]

7. UPRAVLJANJE FPS-om

Upravljanje fleksibilnom proizvodnjom treba omogućiti optimalno funkcioniranje fleksibilnog proizvodnog sistema u smislu ostvarenja postavljenih ciljeva sistema. Upravljački sistem FPS je složen sistem upravljanja. Upoznavanje i prikaz ovog sistema u smislu opisa samog upravljačkog procesa treba početi od konstatacije da je razvoj FPS bio omogućen zahvaljujući programskoj automatizaciji strojeva za obradu, posebno kada su za upravljanje takvim strojevima uvedeni miniračunala i mikroračunala.

Kod NC obradnih strojeva proširuje se stupanj automatizacije na izmjenu alata i često na izmjenu radnih predmeta. Pri integraciji nekoliko ovih strojeva u DNC sistem s procesnim računalom moguća je distribucija upravljačkih zadataka i podataka. Isto tako, moguće je osigurati automatsko prikupljanje podataka iz procesa rada, kao i praćenje procesa. U FPS, osim ovih funkcija, automatizirane su i funkcije kao što su transport i skladištenje radnih komada, te transport alata.

Obrada informacija u upravljačkom sistemu FPS može se distribuirati između više računala. Zapravo obrada informacija može biti na jednom mjestu, a može

se i decentralizirati. Operacije na obradi informacije podijeljene su u tri grupe ili razine [1,7]:

1. na gornjoj, najvišoj razini su funkcije nužne za upravljanje proizvodnim sistemom i pripadaju organizacijskom području
2. obrada informacija na srednjoj razini izvodi se procesnim računalom
3. u donjoj, najnižoj razini su upravljačke funkcije koje su povezane s procesom obrade

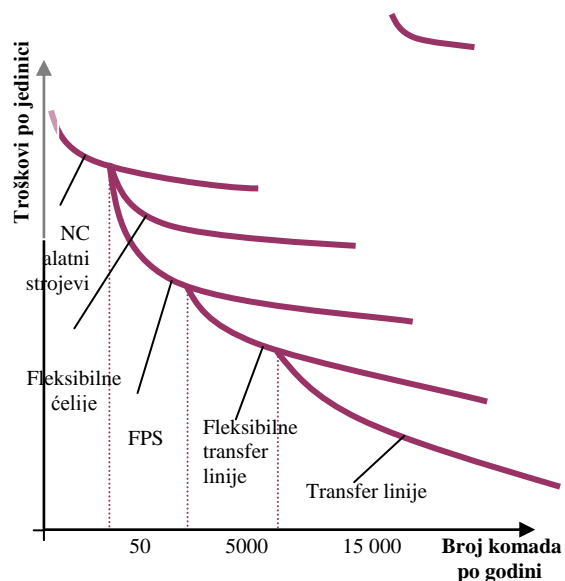
Efikasno upravljanje fleksibilnom proizvodnjom zahtijeva analizu podataka iz povratne veze u cilju donošenja upravljačkih odluka u realnom vremenu. Podrazumijeva se da se u sklopu efikasnog upravljanja FPS mora ostvariti komunikacija čovjeka sa strojem i obrnuto. Svi podaci koji se dobiju iz ovih analiza potrebni su za planiranje proizvoda, za upravljanje strojevima za obradu, robotima, transportnim sistemima itd., a služe i za analizu performansi sistema.

Upravljački sistem FPS je veoma složen sistem, a njegovo funkcioniranje omogućeno je primjenom računala. Imajući u vidu složenost FPS-a, kao i složenost upravljačkog sistema, upravljačke aktivnosti FPS-a mogu se sistematizirati u tri cjeline:

- upravljanje proizvodnjom FPS
- adaptivno upravljanje procesima obrade
- upravljanje održavanjem

8. EKONOMIČNOST I TROŠKOVI UVOĐENJA FPS-a U PROIZVODNJU

Fleksibilna tehnologija postala je nezaobilazni faktor u projektiranju modernih proizvodnih sustava. S obzirom na konstrukcijske i tehnološke karakteristike strojarskih proizvoda, javljaju se mnogi zahtjevi na fleksibilnost proizvodnih sustava. [5,8]



Slika 6. Ekonomično korištenje fleksibilnog sistema [4]

Visok stupanj fleksibilnosti proizvodnog sustava često rezultira porastom cijene sustava, padom ekonomičnosti, padom kvalitete, a redovito se porastom fleksibilnosti umanjuje produktivnost.

Uvjeti za ekonomično korištenje fleksibilnog sistema (slika 6.) su sljedeći:

- kompletno korištenje fleksibilnog sistema i njegova produktivnost
- velika efikasnost sistema tijekom namještanja/konačno vrijeme se potpuno reducira, što je važno naročito kod geometrijskih i tehnoloških zahtjevnih proizvoda
- automatsko mijenjanje komada, alata NC programa obrade, mjernih programa, steznih uređaja i mjernih uređaja

Uvođenje moderne tehnologije obradnim kapacitetima nosi sa sobom gospodarski i humani aspekt.

Gospodarski aspekt odnosi se na stvaranje racionalnije proizvodnje:

- skraćenjem vremena obrade
- smanjenjem zauzeća obradnog stroja
- skraćenjem vremena zadržavanja izradaka u proizvodnom prostoru
- smanjenjem proizvodnog prostora
- smanjenjem broja radnika u proizvodnji za strojem
- skraćenjem roka izrade proizvoda
- povećanjem iskorištenja obradne opreme

Humani aspekt zahtijeva da se radnici u neposrednoj proizvodnji oslobode:

- napornog fizičkog i intelektualnog rada
- odgovornosti za kvalitetu proizvoda i eventualni otpad
- odgovornosti za proizvodnost
- štetnog utjecaja procesa rada na zdravlje
- dosadnog i monotonog rada

Ima mnogo faktora koji mogu utjecati na način uvođenja moderne tehnologije, no na prvom mjestu su materijalne mogućnosti. Cilj kojemu treba težiti je računalom integrirana proizvodnja koja treba dobiti svoje mjesto kod određivanja:

- proizvodnog prostora
- proizvodne opreme
- osiguranja kvalitete
- organizacije

Prvi korak u uvođenju fleksibilnih obradnih sistema je grupiranje dijelova proizvoda prema principima grupne tehnologije na temelju tehnološke sličnosti. Smanjenje pomoćnih vremena automatizacijom izmjene alata i obradaka značajno se skratilo zauzeće strojeva. Fleksibilni proizvodni sistemi omogućuju gospodarsvenu obradu tehnološki sličnih dijelova malih serija, te rade u tri smjene s visokim stupnjem vremenskog iskorištenja.

Bojazni zbog uvođenja fleksibilnih obradnih sistema vezane su za:

- visoke troškove ulaganja
- visoke napore u prekvalifikaciji i obrazovanju kadrova
- smanjenje broja radnih mjesta
- velik napor uz ulaganje u reorganizaciju proizvodnje

Prevladavaju pozitivni efekti, uz ispravan pristup u izboru i projektiranju fleksibilnog obradnog sistema, te uz njegovo tromjensko korištenje. Prema iskustvima u eksploataciji FPS-a, 60%-80 % su troškovi alatnih strojeva, 10%-20% su troškovi mjernih uređaja, 6%-12% su troškovi uređaja za pridržavanje i transport i 10%-20% su troškovi kontrole sistema.

Ovi troškovi zavise od:

- broja komada po godini
- kapaciteta cijelog FPS-a
- broja alata korištenih u proizvodnji
- broju serija po godini
- geometrijskih i tehnoloških sličnosti dijelova
- vijeka trajanja FPS-a, itd.

Ako se promatra svaki od triju bitnih dijelova fleksibilnog proizvodnog sistema kao proizvodni sistem, a to su obradni stroj, transportni i upravljački uređaji, dolazi se do zaključka da je svaki dio za sebe tehničko dostignuće, i da je svaki taj dio kao samostalna jedinica vrlo racionalan.

Prednosti primjene FPS-a u odnosu na konvencionalne vidove proizvodnje ogledaju se u:

- proizvodnji dijelova na temelju grupne tehnologije (manje serije dijelova, ali sa više varijanti);
- mogućnosti proizvodnje prema potrebama tržišta u danom trenutku, tj. "po narudžbi" (to znači trenutnu promjenu proizvodnog asortimana iz familije dijelova na principu grupne tehnologije). Proizvodnja prema zahtjevima tržišta ujedno znači i proizvodnju "bez zalih";
- smanjenju vremena potrebnog za izradu dotičnog dijela, koja se ogleda u smanjenju vremena samog procesa obrade, u podešavanju alata, steznih naprava, tj. u smanjenju vremena podešavanja cijelog sistema proizvodnje;
- povećanju produktivnosti unutar FPS-a i to malih serija koje su do pojave fleksibilne proizvodnje bile u sjeni velikoserijske i masovne proizvodnje. Znatno skraćen ciklus proizvodnje, a iskoristivost strojeva je na visokoj razini;
- povećanju kvalitete proizvoda korištenjem adaptivnog upravljanja, kao i udaljavanja čovjeka iz samog procesa obrade jer je podložan promjenama, a time i smanjenju kvalitete proizvoda;
- usmjeravanju ljudske djelatnosti sa same proizvodnje na organizaciju iste, kao i u oslobađanju od teških, zamornih i štetnih po zdravlje poslova, koje sada preuzimaju roboti i automatski vođeni strojevi.

Unatoč velikom napretku fleksibilnih obradnih struktura ostaje još mnogo zadataka za budućnost. Fleksibilna tehnologija jedina može rješavati zahtjeve današnjeg tržišta, gdje se traži velik broj različitih proizvoda, male serije, kratko vrijeme isporuke, različite količine proizvoda, veliki zahtjevi kvalitete, te kvaliteta servisa u eksploataciji [14,15].

9. ZAKLJUČAK

S razvojem novih tehnologija i visokog stupnja automatizacije obradnih sistema (NC, CNC, ACC, FMS) porasla je važnost projektiranja tehnoloških procesa, jer svaki detalj (geometrijski, kinematski i tehnološki) mora biti točno programiran, budući da je utjecaj čovjeka u proizvodnji neznatan, a u pripremi proizvodnje iznimno velik.

Također, povećani zahtjevi za smanjenjem ciklusa izrade i procesa proizvodnje, te zahtjevi tržišta za povećanjem kvalitete proizvoda, uvjetovali su razvoj nove proizvodne filozofije gdje proces obrade neće zavisiti od čovjeka u proizvodnji, već od kvalitete tehnološkog procesa i obradnih sistema za tako projektirani proces.

Da bi se osigurala fleksibilnost i visoka razina integracije u arhitekturi upravljačkog sistema FPS, koji predstavlja osnovni integrirajući element, potrebno je pri njegovom projektiranju napraviti dekompoziciju upravljačkog sistema na podsisteme, a podsisteme dalje na module.

Svaki sistem treba imati bazu podataka koja je tako strukturirana i projektirana da bude nezavisna od područja primjene. To znači da sistem treba posjedovati bazu podataka o pojedinim elementima u sistemu, kao i algoritme i logiku za odlučivanje na temelju kojih će se manipulirati podacima iz baze. Takvi sistemi se sve više razvijaju na bazi primjene umjetne inteligencije. Realno je očekivati da će se ovi sistemi u budućnosti proširiti na nove aplikacije kao što je projektiranje postupaka montaže, kontrola kvalitete, izrada dijelova od lima, kod industrijskih robota, zavarivanja i sl.

U samom proizvodnom procesu dolazi do smanjenja broja radnika – teži se da proizvodni proces bude bez ljudi, zapravo postavlja se pitanje kamo s viškom radnika. Odgovor se može tražiti u pripremi proizvodnje koja zahtijeva veći broj radnika nego kod konvencionalne proizvodnje, jer se u pripremi proizvodnje obavljaju sve funkcije koje je dotad obavljao čovjek. Odgovor se svakako mora tražiti u stalnom učenju i praćenju novih tehnologija menadžmenta i samih radnika.

FPS ne treba shvatiti kao novu tehnologiju koju treba uvesti već će nam kao takva poboljšati poslovanje. Prije svega treba napraviti potrebna ispitivanja jer se radi o visoko produktivnim sistemima koji bi mogli prelaziti potrebe tržišta.

10. LITERATURA

- [1] Tufekčić, Dž.; Jurković, M.: Fleksibilni proizvodni sistemi, JU Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 1999.
- [2] Rabić, R. B.: Projektovanje tehnoloških procesa, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1999.
- [3] Jurković, M.; Tufekčić, Dž.: Tehnološki procesi projektiranje i modeliranje, Univerzitet u Tuzli, Tuzla, 2000.
- [4] Balič, J.: Inteligentni obdelovalni sistemi, Fakultet za strojništvo Maribor, Maribor, 2004.
- [5] Biščević, I.; Ekonomika u tržišno poduzetničkim uslovima poslovanja, Univerzitet u Bihaću Viša ekonomska škola Bihać, Bihać, 1998.
- [6] Kief, B.H.; CNC – Handbuch 2013/2014, München, 2013.
- [7] Balič, J. : Računalniško integrirana proizvodnja, Fakultet za strojništvo Maribor, Maribor, 1998.
- [8] Jurković, M.: Reinženjering proizvodnih poduzeća, Univerzitet u Bihaću, Bihać, 2011.
- [9] Hammer, M.; Champy, J: Reengineering the Organization, Harper Business, New York, 1995.
- [10] Todić, D.: Projektovanje tehnoloških procesa, Tehnički fakultet, Novi Sad, 2004.
- [11] Dvozda, T. J.: Flexible manufacturing Systems, Society of Manufacturing Engineers Publications Development Department, Michigan, (1988)
- [12] Jurković, M.: Fleksibilne tehnologije i proizvodni sistemi u procesima obrade deformisanjem, Univerzitetski časopis „Saznanja“, Banja Luka Vol. 1, (1991) 67-92
- [13] Buljan, S.; Jurković, M.: Stanje tehnologije i tehnoloških sustava, Znanstveni časopis za prirodne i tehničke znanosti, Sveučilište u Mostaru, Vol.16, (2005) 127-134
- [14] Žapčević, S.; Butala, P.: Novi koncepti proizvodnih sistema, Proc. 5th Internacional Scientific Conference, Bihać, September 2005., 275-281
- [15] Tufekčić, Dž.; Šelo, R.: Primjena vještačke inteligencije u fleksibilnoj proizvodnji, Proc. 2th Internacional Scientific Conference, Bihać, September 1999., 41-52
- [16] <http://www.lokacionforum.org/home.htm>
- [17] www.lxnavigation.si/fleetman/default.htm
- [18] Katalog FMS firme „Litostroj“ Slovenija
- [19] Katalog FMS firme HAAS AUTOMATION

Kontakt autora:

Elvis Hozdić, dipl.ing.maš.
Fakultet za strojništvo Ljubljana
Hasana Kikića 67
77230 Velika Kladuša
E-mail: ehodzic@yahoo.com

Emine Hozdić, absolvent tehničkog fakulteta
Tehnički fakultet Bihać
Ul. Irfana Ljubijankića bb
77000 Bihać
E-mail: emine_hozdic@yahoo.com

3ds Studio Max – Animacija čestica s pFlow i Krakatoa sustavom

3ds Studio Max - Particle Animation with pFlow and Krakatoa System

Željka Ludošan, Bernik Andrija, Vusić Damir

Stručni članak

Sažetak: Čestice su ključni element kod vizualnih efekata i animacije. Koriste se za simulaciju prirodnih pojava poput vatre, dima, vode, oblaka, lišća koje pada, ali i za apstraktne efekte poput magičnih pojava, traga svjetlećih točkica, neobičnih geometrijskih figura itd. Sustav čestica predstavlja upravljački kontejner koji sadrži funkcije koje obavljaju čestice i koje se obavljaju nad njima. Ti sustavi mogu doći u paketu s kompletnim 3d programom, mogu biti kao zaseban program ili kao plug-in. Načini na koji se s njima radi također su različiti, no zasad se najučinkovitijim pokazalo korištenje tzv. čvorova koji se koriste kao objekti spajanja u široj mreži. Novina su također posebni sustavi za renderiranje isključivo čestica. Pošto su čestice zahtjevnije po broju objekata koje koriste, a zahtijevaju veoma malo kod stvari poput svjetlosti, refleksije, broja poligona, mogu se bolje i brže renderirati drugim algoritmima.

Ključne riječi: 3ds Max, 3d čestice, Krakatoa, pFlow, renderiranje, simulacija

Professional paper

Abstract: Particles are a key element when it comes to visual effects and animation. They are used for simulating occurrences in nature such as fire, smoke, clouds, falling leaves, but are also used for abstract effects such as magical occurrences, a trail of glowing dots, unusual geometrical shapes, etc. Particle system represents a control container that holds functions that are performed by and carried on the particles. Those systems can come in a package alongside a complete 3d software, they can be a stand-alone program, or a plug-in. There are also different ways to work with particles but so far the most efficient way seems to be by using the so called nodes that are used as objects of connection in a broader network. Special systems for rendering particles exclusively are also a novelty. Since particles are more demanding on the draw count used but require a lot less with things like lighting, reflection, polygon count, they can be rendered in a better and faster way with other algorithms.

Key words: 3ds Max, 3d particles, Krakatoa, pFlow, rendering, simulation

1. UVOD

U fizici su čestice mali lokalizirani objekti kojima se mogu pridodati fizička svojstva poput volumena ili mase. [1][2] Može li se neki objekt smatrati česticom ovisi o veličini konteksta, odnosno ako je veličina objekta veoma malena ili toliko malena da nije bitna ili ako su geometrijska struktura i svojstva nebitna, onda se taj objekt može zvati česticom.[3]

Čestice su često prikazane kao točke u prostoru koje imaju smjer. U računalnoj grafici termin "sustav čestica" referira se na tehniku koja koristi velik broj malih spriteova ili drugih grafičkih objekata kako bi se simulirali razni fenomeni koje bi inače bilo teško reproducirati konvencionalnim render tehnikama.[3]

Spriteovi su dvodimenzionalne sličice ili animacije koje se poželjno nalaze u formatu malih dimenzija.

Obično se tom tehnikom, sustavom čestica, rade kaotični sustavi, prirodni fenomeni ili procesi nastali kemijskim reakcijama.

Da biste napravili dobru animaciju s česticama potreban vam je 3d program koji u sebi ima integriran

alat za izradu sustava čestica i njihovu manipulaciju, te engine za renderiranje. Nakon što se dobiju sirove slike one se mogu još dodatno obraditi u postprodukciji s programom za obradu videomaterijala.

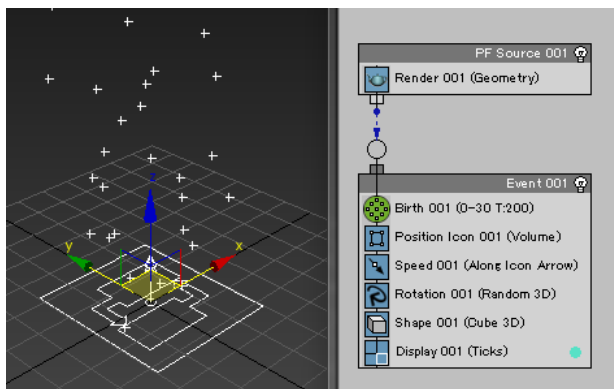
U ovom radu bit će korišten 3d program zvan Autodesk 3ds Max koji u sebi ima integriran pFlow za manipulaciju s česticama. Za renderiranje će se koristiti suvremeni engine Krakatoa koji je izrađen posebno za renderiranje čestica.

Budući da je glavna odlika ovog rada produkcijska kvaliteta koja je zaslužna uglavnom zbog Krakatoa sustava za renderiranje čestica, u radu će biti govora o renderiranju čestica preko Krakatoa. Ovaj način renderiranja koji se specijalizirao za renderiranje isključivo čestica još je nov u današnje vrijeme i zbog toga nema puno literature koja se time bavi.

Adobe Soundbooth će se koristiti kako bi se obradila glazba i promijenio format kojeg podržava 3ds Studio Max, a s Adobe After Effectom će se renderirane sličice spojiti u jedan komad i napraviti postproduksijski filter koji će zaokružiti cjelokupni projekt.

2. PFLOW

PF Source (slika 1.) je izvor izviranja čestica i dolazi sa svojim početnim postavkama.



Slika 1. Izvor čestica unutar preglednika s početnim postavkama

Postavke nekog sustava čestica su razvrstane u tzv. čvorove. Čvor (eng. Node) je vezna točka koja se ili nadovezuje na drugu točku ili je prekidna točka. Input je ulazna točka u koju se ubacuju podaci, a output je izlazna točka iz koje se modificirani podaci izbacuju i šalju u drugi čvor. Jedno izvorište može imati više setova događaja. Događaj je pokret unutar sustava koji radi promjene na podacima.

2.1. Funkcije pojedinih čvorova koji se češće koriste

Render je osnovni čvor koji je zaslužan za prikazivanje čestica. Postoje četiri tipa rendera: None, Bounding Boxes, Geometry i Phantom.

Visible % je opcija kojom se može u postocima smanjiti količina čestica koja će se prikazati tijekom renderiranja. Render result (ishod renderiranja) su opcije koje određuju kako će render program gledati na konačne rezultate.

Birth je osnovni čvor koji definira stvaranje čestica.

Position Icon je čvor koji kontrolira otkuda će se čestice početi stvarati. Lokacija je obavezno ovisna o pFlow ikoni ili o drugom objektu za čiju se površinu/vertex/ rub ili volumen lijepi.

Speed je osnovni čvor koji određuje brzinu i smjer kretanja čestica.

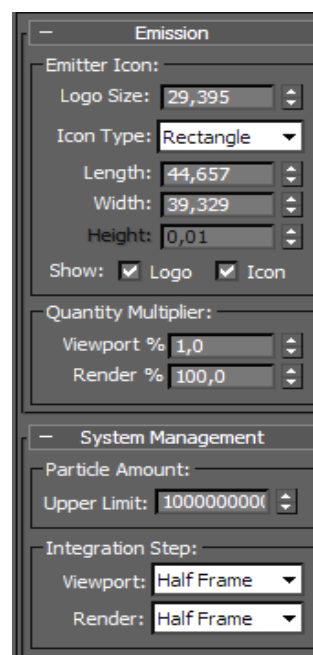
Rotation je osnovni čvor koji kontrolira okretanje čestica oko svoje osi.

Shape je osnovni čvor koji kontrolira oblik čestica unutar renderiranog ekrana. Čestice mogu poprimiti 2d ili 3d oblik po želji.

Display je čvor koji prikazuje čestice na ekranu. Pod Type se može podesiti kako će se čestice prikazivati u viewportu, Visible % opisuje koliko su čestice transparentne, a pod Selected se može odabrati oblik označenih čestica. Boju čestica možemo mijenjati uz pomoć kockice s desne strane.

2.2. Optimizacija prikazivanja čestica

Kako bi renderirane čestice imale što veću produkcijsku kvalitetu potrebno je imati što više čestica. Iako Krakatoa podržava renderiranje velikog broja čestica, 3ds Maxov viewport ne može toliko informacija podnijeti, pogotovo zato što mora kroz te informacije prolaziti "real-time". Iz tog razloga postoji opcija unutar pFlow izvora pod nazivom "Viewport %" (slika 2.), gdje možemo kontrolirati koliki postotak od ukupnog broj čestica u izvoru će se prikazivati i viewportu. Kada se radi s velikim brojem čestica, taj broj je pametno držati između 0,1 i 1,0.



Slika 2. PF Izvor modifikator

Isto tako je važno napomenuti da se Particle Amount: Upper Limit (gornja granica količine čestica) mora povećati za nekoliko nula, jer kada se radi s Krakatoa-om broj čestica koje koristimo zna biti veći od nekoliko milijuna.

2.3. Automatizirano upravljanje česticama

Da bi se čestice kretale prema glazbi, umjesto da se ih se namješta ručno može se iskoristiti i "Curve Editor". Jednostavno se odabere atribut čije se vrijednosti žele mijenjati kao npr. Birth Rate (brzina stvaranja), zatim se ide na Controller>Assign>AudioFloat i doda se željeni .wav dokumenat. U Controller Range upisuje se najmanja i najveća vrijednost atributa koja se podudara s minimalnom i maksimalnom vrijednošću decibela odabranog zvuka.

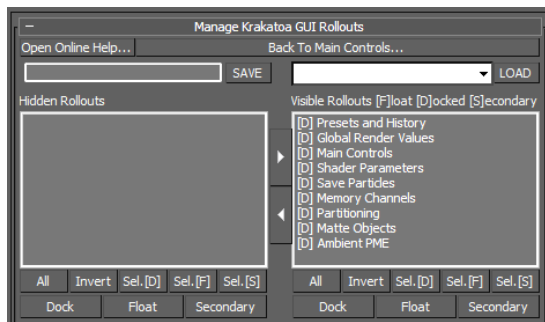
Tako će se vrijednost atributa mijenjati kako se mijenja i glasnoća zvuka.

Drugim riječima, u ovom slučaju čestice će se stvarati u skladu s glazbom. Pošto nema velike kontrole nad postavkama, najbolje je ipak raditi ručno.

3. KRAKATOA

Za početak već treba imati postavljenu kameru i svjetlo koje je naročito važno da bi se čestice vidjele prilikom renderiranja.

3.1. Važniji elementi sučelja

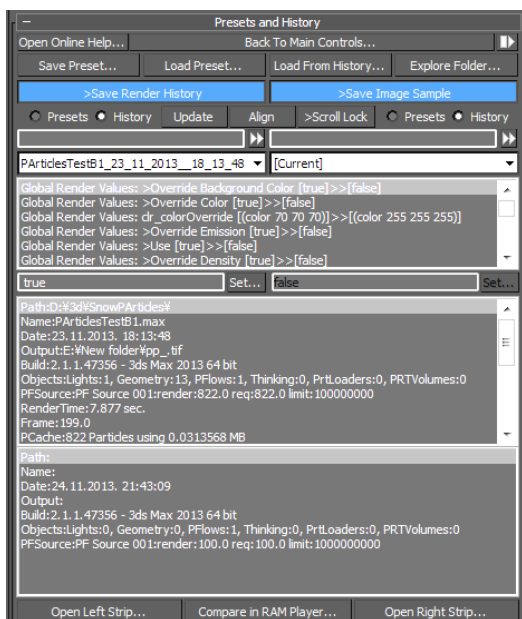


Slika 3. Postavljanje grafičkog sučelja za Krakatou

Kratice [D][F][S] označuju na koji način se otvara svaki od tabova. [D] je za "Docked", odnosno taj tab će se nadovezati kao dio ovog glavnog sučelja. [F] je za "Floated", što znači da će taj tab lebdjeti sa strane kao poseban prozor i [S] je za "Secondary" i to su tabovi nadovezani na [F] sučelje.

"Hidden Rollouts" su tabovi koji su vidljivi za razliku od "Visible Rollouts" koji su vidljivi i možemo ih nesmetano koristiti.

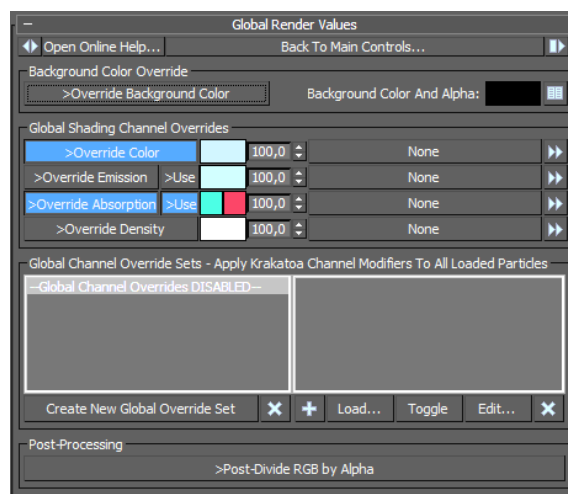
Presets and History tab je tab koji se bavi spremanjem postavki za renderiranje. Ako ste već radili nekakav projekt i želite si postavke spremi, ovo je mjesto za to. Uz to ima opciju da postavke sprema automatski svaki put kada izađete iz programa. Postavke su imenovane po danima i ne brišu se same od sebe. Zbog toga je potrebno paziti i postavke čistiti s vremena na vrijeme jer mogu zauzimati mnogo prostora na disku, ili ih možete jednostavno isključiti i sami birati kada želite da vam se postavke sprema (slika 4.).



Slika 4. Spremanje postavki unutar Krakatoa sučelja

Dva kvadrata u donjem dijelu prikazuju zadnje renderirane slike koje su napravljene s tim postavkama.

Global Render Values je tab u kojem možemo podešavati neke općenite postavke čestica vezane za boju, vidljivost i gustoću (slika 5.).



Slika 5. Glavne globalne postavke

Pozadina renderirane slike prema početnim postavkama je podešena unutar Environment (okolina) postavkama, što je jedan od tabova unutar 3ds Max nezvan za render sustav. Preko tih postavki možemo prijeći preko, ako imamo pritisnuto "Override Background Color" i tada s desne strane možemo odabrati boju pozadine.

"Override Color" koristimo kada želimo da se čestice renderiraju s određenom bojom ili teksturom bez obzira na to kako su postavljene unutar sustava čestica ili nekih drugih programa koji se miješaju u Krakatoa postavke. S desne strane u kućici promijenimo boju, broj od 0 do 100 određuje koliko se jako mapa koju miješamo s bojom vidi i samu mapu možemo dodati odmah pokraj toga. Mapa vuče link iz Material Editora.

"Override Emission" koristimo kada želimo da nam čestice odsijavaju svoju vlastitu svjetlost pa ih tako možemo vidjeti i bez pravog svjetla u sceni.

"Override Absorption" koristimo kada imamo svjetlo u sceni. Svako svjetlo ima boju: bijelu, žutu ili neku nijansu plave. Kada svjetlo prolazi kroz čestice, tada su čestice pod utjecajem svjetla i do određene mjere poprimaju njegovu boju. Ono što Override Absorption radi jest da uzme čestice odabrane boje i tu boju "apsorbira", odnosno čestice koje se bile te boje sada su obojene u boji koja je komplementarna originalnoj. Zato ovdje postoje dvije kućice s bojom. Kada mijenjate jednu automatski se mijenja i druga koja pokazuje koje će boje biti čestice. To je korisno kada želite da su vam čestice drukčije boje od svjetla koje na njih pada, i da to možete postići da ne mijenjate postavke svjetla koje vam možda treba da bude određene boje na drugom mjestu u sceni.

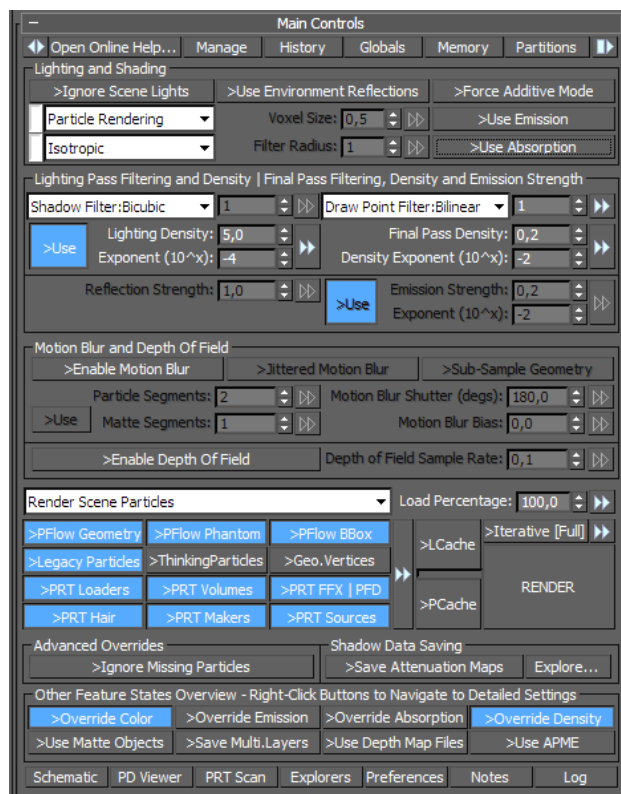
"Override Density" koristimo kada želimo postaviti globalnu gustoću česticama. Naime, što ima više čestica to se kontura čestičnog sustava bolje vidi, ali to nije jedini način kako se čestice mogu bolje vidjeti.

Gustoća čestica u Krakatoa-i nije nešto što se može opisati brojem već bojom.

To je ona boja koju nosi najjače osvijetljena čestica na sceni. Ako je npr. Override Density podešen na bijelo, to znači da će sve čestice izgledati bjelje i jasnije nego da je podešen na tamnosivo. Isto tako, ako bi Override Density podesili na crno, to znači da je najsvjetlija čestica crne boje, a sve ostale čestice mogu biti samo još tamnije tako da se na renderu ne bi vidjelo ništa.

“Global Channel Override Set” tab služi tome da postavke koje ste kreirali, vezane uz globalne vrijednosti postavki, možete spremirati za buduću referencu.

“Post-Divide RGB by Alpha” je opcija kod koje se, kad je uključena, renderira samo alpha kanal koji ne razlikuje gustoću tako da je za njega svaka čestica potpuno bijele boje.



Slika 6. Glavne postavke za renderiranje

“Main Controls” – ovdje se nalaze glavne kontrole za osvijetljenje i renderiranje čestica. Odmah ispod naslova nalaze se prečaci koji vode na druge tabove poput “Manage”, “History”, “Globals”, “Memory”, “Partitions” itd.

“Ignore Scene Light” je postavka koja ignorira svjetla koja su postavljena zasebno u sceni i koristi samo početno svjetlo koje se automatski isključuje u 3ds Maxu, ako u scenu ubacite posebna svjetla.

“Use Environment Reflections” je postavka koja uključuje globalnu sliku ili boju koja se koristi za refleksije i obično je postavljena u Maxovom Environment tabu. Takvim slikama pripada npr. vrlo poznati HDRI (High Dynamic Range Image) format. Ako je Environment Reflections uključen, to znači da će materijal na česticama koristiti refleksije.

“Force Additive Mode” je postavka koja forsira aditivno renderiranje tako da unutar programa kopira kanal boje u emisijski kanal i pritom boju i apsorpciju podesi na crno. Time ćemo dobiti potpuno osvijetljene

čestice koje svijetle više na mjestima na kojima se preklapaju iz određenog kuta.

Postoje dvije glavne vrste renderiranja: Particle Rendering i Voxel Rendering.

“Particle Rendering” je vrsta renderiranja gdje je svaka čestica renderirana kao jedna pixelna točka.

“Voxel Rendering” je vrsta renderiranja gdje je svaka čestica postavljena na voksalnu mrežu i na kraju se ta mreža osjenča.

Ako je uključeno Voxel Rendering tada možemo podesiti Voxel size i Filter Radius.

“Voxel size” kontrolira rezolucije mreže, a “Filter Radius” kontrolira koliko će se voksalnih točaka moći preklapati (filtrirati) kad će se mreža osjenčavati. Ako je postavka postavljena na 1, tada se ništa neće preklapati.

I za Particle Rendering i za Voxel Rendering mogu se postaviti fazne funkcije koje se koriste za izračunavanje disperzije svjetlosti kod čestica.

Razlikujemo šest različitih faznih funkcija: Isotropic ili izotropna funkcija kaže da će svjetlo biti uniformno raspršeno u sve smjerove; “Phong Surface” kaže da će se zrake svjetla raspršivati prema Phong modelu za sjenčanje koji koristi Normal kanal; Henyey-Greenstein kaže da će se zrake svjetla raspršivati prema kutu koji se nalazi između svjetla i kamere i uvažavat će postavke iz Eccentricity kanala koji služi kako bi se ubacilo malo neuravnoteženosti; Schlick je isto kao i Henyey-Greenstein, samo aproksimirana verzija.

$$p(\theta) = \frac{1}{4\pi} \frac{1-g^2}{(1+g^2 - 2g \cos \theta)^{3/2}}$$

$$\int_0^\pi p(\theta) 2\pi \sin \theta d\theta = 1 \quad (4)$$

$$\int_0^\pi p(\theta) \cos \theta 2\pi \sin \theta d\theta = g$$

$$R(\theta) = R_0 + (1 - R_0)(1 - \cos \theta)^5 \quad (5)$$

Kajiya-Kay i Marschner su bazirani na tangentama za dlake i kosu.

“Lightning Pass Filtering and Density|Final Pass Filtering, Density and Emission Strength”, odnosno gustoća i filtracija propusnosti svjetlosti. Konačno filtriranje svjetlosne propusnosti, gustoća i snaga emisije su dva seta postavki koji većinski odlučuju o izgledu čestica.

Postoje dvije vrste finijih kontrola za gustoću čestica, a to su “Lightning Pass Density” koji izračunava mape za prigušivanje što se koriste kod osjenčavanja čestica, i “Final Pass Density” koji iscertava čestice direktno na ekran.

Postoje dvije glavne vrste filtera, a to su “Shadow Filter” koji koristi informacije iz prigušnih mapa, i “Draw Point Filter” koji odlučuje kako se čestice renderiraju kada više njih padne u isti pixel.

Shadow Filter – “Nearest” (najbliži) je korištenje vrijednosti najbližeg pixela

“Bilinear” koristi linearnu jednadžbu kako bi rekonstruirao vrijednost iz četiri obližnja pixela.

“Bicubic” koristi kubičnu funkciju filtracije da bi se izračunao prosjek obližnjih pixela.

Draw Point Filter – “Nearest” (najbliži) je kada se puna vrijednost pixela stavi u obližnji pixel na izlaznoj slici

“Bilinear” koristi linearnu jednadžbu da bi prepolovio vrijednost čestice i ubacio u čestice koje su pod utjecajem na izlaznoj slici.

“Bicubic” koristi kubičnu funkciju filtracije kako bi se izračunao prosjek obližnjih pixela na izlaznoj slici.

“Final Pass Density” je jedna od postavki koje su potrebne da se odredi renderirana gustoća za svaku česticu. Ova vrijednost je zapravo koeficijent gustoće koji je izražen znanstvenom formulom. Ako su vrijednosti manje tada se čestice čine manje gustima, dok povećana vrijednost diže gustoću.

“Density Exponent (10^x)” je druga postavka za određivanje gustoće. Ovo je vrijednost eksponente na desetu.

Npr., da bi se dobila gustoća od vrijednosti 0.000005, to se može napisati kao 5.0×10^{-6} , odnosno u Krakatoa-i je to Density Per Particle: 5.0, Density Exponent: -6. Vrijednost 27500000 bi bila 2.75×10^7 , odnosno Density Per Particle: 2.75, Density Exponent: 7.

“Reflection Strength”, odnosno snaga refleksije kontrolira jakost refleksije koja nastaje iz refleksivnih mapi. Vrijednost 1 znači da je refleksija kao i original, vrijednost 0 znači da se refleksija ne vidi, sve vrijednosti između lagano otkrivaju refleksiju i ako je vrijednost veća od jedan tada će cijela refleksija biti bijela.

“Emission Strength”, odnosno snaga emisije ili isijavanja definira se koeficijentom i eksponentom. Tako mijenjanje postavki iz 1.0/-1 u 1.0/-3 je zapravo mijenjanje vrijednosti iz 0.1 u 0.001.[6]

4. IZRADA PROJEKTA

4.1. Find Target i put kretanja

Prvo se napravi Find Target objekt koji će čestice pratiti. Taj se Find Target treba kretati po putanji koja se kreira pomoću “Splines”. Koristeći postavke Initial Type: Smooth i Drag Type: Bezier nacrtate putanju na sceni, zatim uđete u vertex mod, nasumično odaberete nekoliko točaka i malo ih podignete ili snizite po želji tako da vam putanja bude raznolika po svim osima.

Find Target objekt se sada treba privezati na putanju. To ćemo napraviti tako da označimo Find Target i uključimo Path Constraint. Find Target će se automatski premjestiti na početak putanje, kretat će se konstantnom brzinom sve do kraja putanje i tamo će završiti na zadnjem frameu u sceni.

4.2. Ubacivanje zvuka u 3ds Max

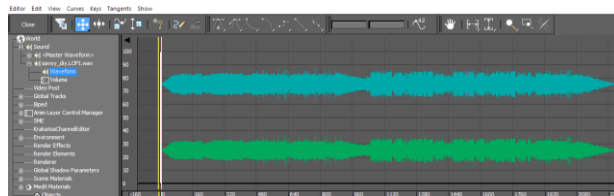
Kako bi mogli animirati kretanje čestica potrebno je ubaciti glazbu u 3ds max. Zvuk koji se ubacuje u 3ds Max mora biti .wav formata, a ubacuje ga se preko Mini Curve Editora.

Koristeći Auto Key opciju koja sprema promjene na svakom frameu na kojem ste promjene napravili, možete animirati kretanje Find Target objekta po putanji,

istodobno prateći glazbu koja se pokreće ovisno o tome kako se kreće po timelineu.

Sve dodatne promjene vezane uz kretanje Find Target objekta na putanji možete promijeniti u Motion postavkama. Bitno je da vam se putanja nalazi pod Target. Ovdje također možete dodati još više putanji.

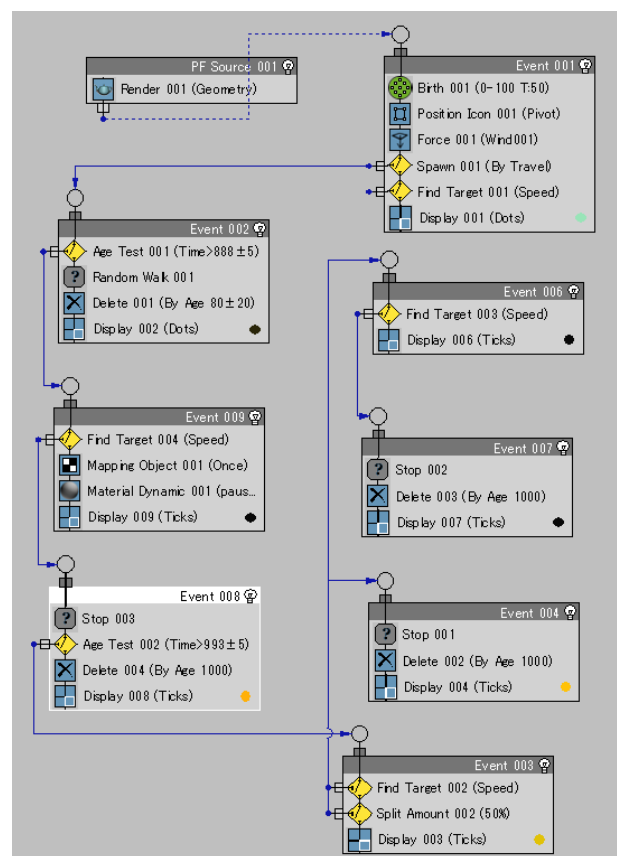
Ako se ne možete odlučiti koju ćete koristiti, ostavljate to za kasnije.



Slika 7. Editor krivulja s ubačenim zvukom

Da bi se Find Target kretao prema glazbi morate animirati % Along Path. “% Along Path” je postavka koja prikazuje na koliko posto od ukupne putanje se nalazi naš objekt. Crveni trokutići po rubovima označuju da je ta postavka animirana.

4.3. Postavke pFlow izvora



Slika 8. pFlow izvor unutar preglednika

Iz izvora se u periodu od 100 frameova stvori 50 čestica. Te čestice izviru iz jedne točke koja je u ovom slučaju pivot izvora.

Na te čestice djeluje sila vjetrova koja nema nikakvu vrijednost snage već samo turbulenciju, frekvenciju i veličinu koje tim česticama mijenjaju smjer gibanja po malo kaotičnom rasporedu. Iz svake od tih 50 početnih

čestica odmah na početku počinje se stvarati novi trag čestica gdje se 19 novih čestica stvara unutar 0,5 unita (3ds Maxova jedinica) iza one prethodne čestice s varijacijom od 5%.

Štoviše, 10-tak tih čestica poprima smjer i gibanje od čestica iz kojih su proizašle s varijacijom od 2% i odstupanjem od 5 unita, što znači da je dio čestica skladan i kreće se u istom smjeru, dok se jedan manji dio njih raspršuje sa strane. Čestice zatim, s tim postavkama, počinju slijediti Find Target objekt koji se kreće po sceni brzinom od 100 unita i varijacijom od 50%. To znači da čestice mogu poprimiti brzinu vrijednosti od 50 do 100 i kada se 100% približi objektu tada stanu sve dok se objekt ponovo ne udalji. Čestice koje se približe Find Target objektu na vrijednost manju od 1 šalju se u novi događaj i koriste Random Walk koji ih raspršuje u određenom obliku prema postavkama ovisnim o brzini, šumu i viskoznosti. U Eventu 002 čestice počinjemo dijeliti. Kada čestice dođu do framea 889 s varijacijom vrijednosti 5, što znači da se počinje dijeliti u periodu od 884-tog do 894-tog framea, čestice se šalju u sljedeći događaj koji se u ovom primjeru zove Event 009. Također, čestice ne traju vječno već imaju životni rok prema starosti, odnosno svaka čestica umire nakon 80 frameova, s varijacijom od 20, nakon što se rodila. Čestice se zatim nastavljaju kretati prema Find Target objektu i svaka čestica poprima neku vrijednost na koordinati, odnosno one se mapiraju i pridodaje im se dinamički materijal.

Dinamički materijal za razliku od statičkog može animirati svoje atribute. Na frameu 994 s varijacijom od 5 čestice se šalju u sljedeći događaj dok dosadašnje počinju umirati točno 1000 frameova nakon što su se rodile. U novom događaju Event 003 čestice nastavljaju slijediti Find Target objekt i količinski se podijele na dva dijela. 50% čestica kreću u novi događaj Event 006, dok se drugih 50% čestica počinje zaustavljati i umirati nakon 1000 frameova. Ovih prvih 50% čestica u događaju Event 006 počinje ponovo slijediti Find Target objekt, kada dođe do njega zaustavljati se i umirati nakon 1000 frameova.

4.4. Cacheiranje čestice preko Krakatoa sučelja

Ako i smanjimo broj čestice koje se prikazuju u viewportu, velika je vjerojatnost da će nam scena usporavati i zbog toga čestice moramo cacheirati. Drugi razlog tome je što ćemo boju čestica na prvom dijelu animacije mijenjati pomoću Krakatoinog Magma modifikatora koji radi samo na cacheiranim česticama.

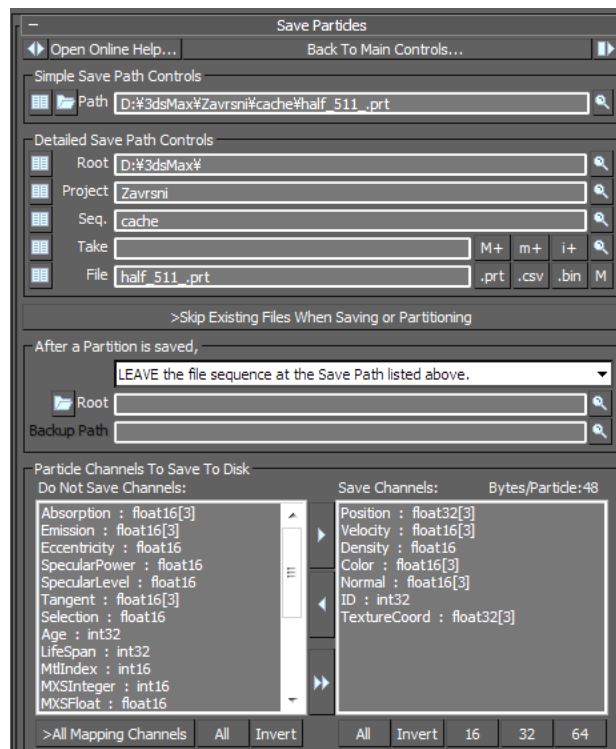
Kanali koji obavezno moraju biti cacheirani su: Position (pozicija), Velocity (vektor brzine), Color (boja), ID (identifikator) i TextureCoord (koordinate na teksturi).

Pod "Path", odnosno putanjom upisujemo gdje će nam se čestice spremati nakon cacheiranja i kako će se one zvati. Ispod toga program automatski ispunji kućice s informacijama kao što su ime projekta, gdje se projekt nalazi, ime sekvence i kako će se čestice automatski imenovati (slika 9.).

Ako su se čestice na nekim frameovima već prije cacheirale i ne želite da se te čestice cacheiraju ponovo,

možete uključiti "Skip Existing Files When Saving or Partitioning", što znači "Preskoči postojeće datoteke kada se sprema ili radi potpodjela". U sredini možete podesiti što će se dogoditi s datotekama nakon što se čestice cacheiraju. Postoje tri mogućnosti: da se datoteke ostave tamo gdje su spremljene, da se kopiraju u pričuvni direktorij ili da se premjeste u pričuvni direktorij.

Ovo može biti korisno ako želite da se datoteke automatski s vašeg računala kopiraju na server tako da njima mogu pristupiti i drugi.



Slika 9. Sustav za pohranjivanje čestica

Pri dnu se nalaze dvije sive kućice s raznim kanalima spremnim za uključivanje ili isključivanje iz cacheiranja. U lijevoj kućici nalaze se kanali koji se neće spremati u datoteke od čestica prilikom cacheiranja, a s desne strane su oni koji će se spremati. Svaki kanal zauzima određeni broj bajtova u svakoj .prt datoteci kojih ima onoliko koliko ima i frameova. Zbog toga se prati jesu li kanali zauzimati mjesta. Kako se ne bilo dogodilo da na računalu nema dovoljno prostora, uključuju se samo oni kanali koji su potrebni.

Iako 48 bajtova možda ne izgleda mnogo, ali kada se to pomnoži s brojem čestica kojih je oko 500 000, koje kad se umnože zbog potpodjele, to je 500 000 x 10 x 48 = 240 000 000 bajtova po jednom frameu. Ako animacija traje npr. 5 sekundi, to je 30 frameova po sekundi, a sve zajedno 150 frameova x 240 000 000 bajtova = 3.6x10¹⁰ bajtova, što je oko 28 gigabajta - to je 28 gigabajta za samo 5 sekundi animacije.

4.5. Korištenje potpodjele preko Krakatoe

Ponekad nam maksimalan broj čestica koji možemo koristiti unutar 3d programa u realnom vremenu nije dovoljan i želimo ga povećati da bi dobili što preciznije

rezultate. Jedan od načina je korištenje “Partitioning” ili potpodjela čestica. Potpodjela čestica funkcionira tako da cacheira čestice više puta, a svaki put kada cacheira čestice na istom frameu malo im pomakne poziciju.

Npr., ako u jedan frame uspijete ubaciti 50 000 čestica, ako optimizirate broj vidljivih čestica u viewportu možete imati 500 000 čestica. Ako to cacheirate s potpodjelom možete imati i do 500 000 x 10 = 5 000 000 čestica.

“Partition Count”, odnosno broj potpodjela označuje koliko će se puta svaki frame duplicirati.

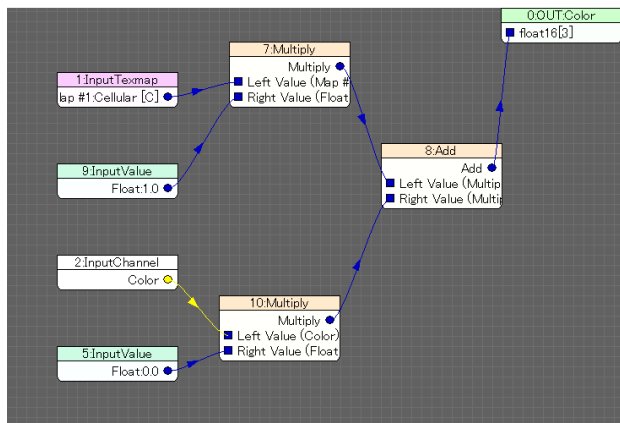
Maksimalni broj može biti 10, što znači da će se za jedan frame spremati 10 različitih datoteka. Odmah pokraj nalaze se opcije za postavljanje raspona potpodjele. Kako cacheiranje zna potrajati, može se odrediti koji dio potpodjele će se cacheirati.

Npr., ako nam je broj potpodjela 10 i ako u raspon upišemo 5 do 8 tada će se od 10 potpodjela spremati samo 4 i to peta, šesta, sedma i osma po redu. Ispod toga biramo što će se to mijenjati u svakoj potpodjeli. Sve što je plavo će se mijenjati i može se odabrati da se čestice mijenjaju samo kod označenih objekti. Potpodjela se može izvršiti lokalno na računalo ili na nekoliko računala, što onda koristi tzv. Deadline dio programa koji se mora posebno kupiti. Lokalno se može cacheirati sve potpodjele ili samo one koje su unutar raspona.

“Skip Existing Files When Saving”, ako je označeno, dopušta da se datoteke koje su već spremljene ne spremaju ponovo, nego ih se samo preskoči.

4.6. Mijenjanje boje i oblika čestica nakon pohrane podataka

Nakon što se čestice cacheiraju, izvor se može maknuti jer sada čestice izviru iz objekta zvanog “PRT Loader”. Na njega možemo nadovezati neke modifikatore poput “Noise” (šum) koji uzima oblik čestica i raspršuje ga do određenih granica, te “Twist” (savijanje) koji oblik čestica savija po određenoj osi do određenih granica. Šum i savijanje su ovdje oboje bili animirani. Kako bi se zraka čestica bližila kraju kretanja, odjednom bi se raspršila i zatim bi iskoristila savijanje da izgleda kao da se čestice vrte velikom brzinom oko svoje osi.



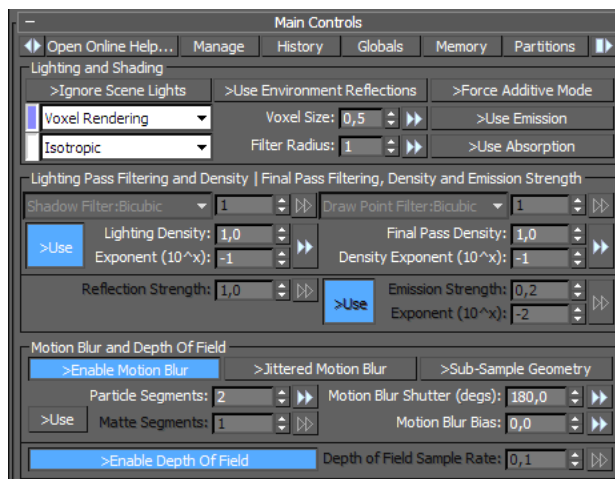
Slika 10. Sustav za mijenjanje boje unutar Magma Flow

Najvažniji modifikator koji je ovdje iskorišten je Magma modifikator koji dolazi kao dio Krakatoa.

Pomoću Magma modifikatora dodana je tekstura na čestice i animirao se lagani prijelaz između boje koje proizlazi iz Magme i one koja je originalno bila u samom pFlow izvoru čestica. Originalne boje čestica iz izvora uspjele su se zadržati zato što smo čestice pohranili s TextureCoord i Color kanalom.

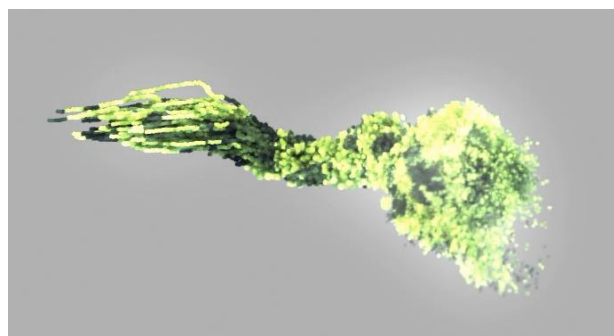
4.7. Postavke renderiranja

Koristi se voksalno renderiranje da bi čestice dobile na popunjenosti i malo čupav i pahuljast izgled. Motion Blur (zamućivanje prilikom kretanja) dodaje realističnost, jer kako se čestice kreću većom brzinom to za sobom ostavljaju veći trag zamućenosti. Uključen je Depth of Field (dubina polja) koji je vezan za kameru koja na sebi ima Krakatoa kameru modifikator. Kamera koristi sferične leće, f-stop od vrijednosti 2 i fokalnu dubinu vrijednosti 500. To su dovoljne postavke da bi se postigla zamućenost čestica, ovisna o udaljenosti od kamere (slika 11.).



Slika 11. Postavke za renderiranje korištene u projektu

Rezultat rada je vidljiv na sljedećoj slici:



Slika 12. Primjer konačnog rezultata simulacije

5. ZAKLJUČAK

Danas je u filmskoj i VFX industriji kvaliteta jako bitna i ta kvaliteta je veoma ovisna o tome koliko nešto izgleda realistično ili koliko nam se nešto čini kao nešto što bi moglo postojati. S takvim razmišljanjem treba raditi i s česticama. Jesu li to bila realistična simulacija nekog fizičkog događaja ili apstraktna animacija koja je

tu da dekorira i zabavlja, rad će se više doživjeti ako je sličan onome što doživljavamo u stvarnom životu. Zbog toga su stvari poput DoFa, Motion Blura i svjetlosti potrebne i moraju sudjelovati u izradi efekata.

Krakatoa sustav za renderiranje čestice je još vrlo nov sustav, iako već korišten u mnogo filmova i igara zbog trenutačne popularnosti. U kombinaciji s moćnim alatima poput pFlowa mogu se raditi animacije vrhunske produkcijske kvalitete na prosječnom PC-u uz malo strpljenja i puno znanja i prakse.

3ds Max nažalost nema mnogo mogućnosti što se tiče zvuka, ali uz Curve Editor ili Displacement mape možete postići zanimljive rezultate gdje će vam se čestice kretati u ritmu glazbe.

6. PRILOG

Primjer postavki od izvora čestica:

PF Source 001

Render 001 (Geometry)

Type: Geometry

Visible %: 100,0

Render Result: Single Mesh

Event 001

Birth 001 (0-100 T:50)

Emit Start: 0

Emit Stop: 100

Amount: 50

Subframe Sampling +

Position Icon 001 (Pivot)

Lock On Emitter –

Inherit Emitter Movement -Location:

Pivot

Force 001 (Wind001)

Force Space Wraps: Wind001

Influence%: 1000,0

Sync By: Absolute

Spawn 001 (By Travel)

Spawn Rate And Amount: By Travel

Distance: Step Size: 0.5

Spawnable %: 100,0

Offspring #: 19

Variation %: 5,0

Sync By: Absolute Time

Restart Particle Age +

Speed: Inherited: 10

Variation %: 2,0

Divergence: 5,0

Size: Scale Factor %: 100,0

Variation %: 0,0

Find Target 001 (Speed)

Control By Speed +

Test True If Distance To: Target Point Is Less

Than 1,0

Control By Speed : Use Cruise Speed +

Speed: 100,0

Variation: 50,0

Accel Limit: 8000,0

Ease In %: 100,0

Sync By: Absolute Time

Target: Icon

Sync By: Absolute Time

Follow Target Animation +

Point: Random

Docking Direction: Type: Icon Spherical

Distance: 10,0

Icon Size: 30,0

Color Coordinate +

Display 001 (Dots)

Type: Dots

Visible %: 100,0

Selected: Ticks

Kraj prvog eventa (Event 001)

7. LITERATURA

- [1] Particles AMS Glossary (American Meteorological Society), srpanj 2012.
- [2] http://www.bbc.co.uk/bitesize/ks3/science/chemical_material_behaviour/particle_model/activity, srpanj 2012.
- [3] <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/3ds-Max-Help>, srpanj 2012.
- [4] <http://omlc.ogi.edu/classroom/ece532/class3/hg.html>, kolovoz 2012.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Schlick%27s_approximation, kolovoz 2012.
- [6] <http://www.thinkboxsoftware.com/krak-main-controls/>, rujan 2012.

Kontakt mentora:

Andrija Bernik, dipl.inf., predavač

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33, HR-42000 Varaždin

bernik.velv@gmail.com

OBLIKOVANJE WEB STRANICA PRIMJENOM CSS-a 3

CREATING A WEBSITE USING CSS 3

Slavica Vinko Štajdohar, Mario Tomiša, Dean Valdec

Pregledni rad

Sažetak: *Pravilno oblikovanje i pozicioniranje elemenata je najveći problem kod početnika u CSS-u. Korištenje margina i ispuna može zbuniti jer ih neki web preglednici prikazuju drukčije od drugih preglednika. Sastavni dio oblikovanja web stranica su i pozadinske slike, tekst, tablice i navigacije koje daju bolju vizualizaciju stranica. U članku su detaljno obrađene i analizirane novosti koje donosi verzija CSS 3 u odnosu na prethodnu verziju CSS-a. Noviteti su npr. prozirnost elemenata, sjene na elementima i sjene na tekstu, zaobljeni rubovi na elementima, rotiranje slika i drugo. Prikazani su mnogi primjeri za svako novo svojstvo koje donosi verzija CSS 3.*

Ključne riječi: *CSS 3, oblikovanje web stranica, plutanje, pozicioniranje*

Review article

Abstract: *Proper design and positioning of the elements is the biggest problem for beginners in CSS. Using margins and padding can be confusing because some web browsers display them differently than the other ones. An integral part of designing a website is having a background image, text, tables and navigations which provide better visualization of a page. The news brought by version CSS 3 with regard to the earlier version of CSS is analysed and processed in details in the paper. Innovations are such as transparency elements, shadows on the elements and shadow on the text, rounded edges on the elements, image rotating, and more. Numerous examples for each new feature brought by version CSS 3 are presented.*

Key words: *CSS 3, website design, floating, positioning*

1. UVOD

Posljednjih desetak godina broj korisnika interneta je u stalnom porastu jer svakodnevno sve više ljudi ima pristup internetu kojega i koristi. Shodno tome, kako se povećava broj korisnika koji pristupaju internetu, povećava se i ponuda kao i raznovrsnost sadržaja kojem se pristupa. Korisnicima interneta je osim sadržaja vrlo bitan i način na koji je neki sadržaj prezentiran. Tu do izražaja dolaze web dizajneri koji oblikuju sadržaj s ciljem da privuku što više korisnika. Web dizajner oblikuje sadržaj prema zahtjevima naručitelja, poštujući pri tome W3C (engl. World Wide Web Consortium) standarde.

Web stranica se sastoji od segmenata HTML (engl. HyperText Markup Language) ili XHTML (engl. Extensible HyperText Markup Language) kôda koji opisuju značenje sadržaja na stranici i kaskadnih opisa stilova (engl. Cascading Style Sheets, skraćeno CSS), koji daju informaciju pregledniku kako se pojedina stranica mora prikazati korisniku. Tako CSS daje pregledniku sve informacije o izgledu, od rasporeda elemenata na stranici do veličine i boje fontova, pozadine i sl. Osnovna namjena CSS-a je da web dizajnerima omogući definiranje stilova, tj. detalja o oblikovanju kao što su raspored, veličine i boje elemenata, boje pozadine, a zatim te stilove primjenjuju na izabrane dijelove

HTML stranica pomoću selektora, referenci na element, ili grupu elemenata za koje je stil predviđen. Cilj svake web stranice je da je istodobno funkcionalna i zanimljiva uz što manje kôda.

Primjenom CSS kôda svaka web stranica bi se morala sasvim identično prikazivati u svakom dostupnom web pregledniku, no to često nije slučaj. Tako različiti preglednici različito tumače primijenjen CSS stil, što može dovesti do neugodnosti.

Prednosti CSS-a su brojne. Njime je znatno olakšan razvoj i održavanje web stranice, a još jedna velika prednost je konzistencija u prezentaciji kroz cijelo web sjedište i mogućnost drukčijih verzija za različite uređaje. Činjenica da CSS stil možemo izdvojiti iz samog web sjedišta donosi također veliku prednost.

Nedostaci CSS-a su u prvom redu kompatibilnost s prijašnjim verzijama, odnosno razlike u prezentaciji CSS-a kod nekih starijih preglednika koji su još uvijek u upotrebi.

CSS standardi uvelike olakšavaju razvoj prezentacijskog dijela web stranice. Trenutačno CSS 3 još uvijek nije standard, ali bi to mogao postati tijekom 2014. godine.

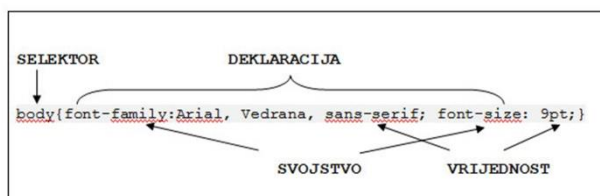
U radu su prikazane standardne tehnike koje omogućavaju brzo i kvalitetno oblikovanje web stranice s naglaskom na novitete koje donosi verzija CSS 3.

2. POSTAVLJANJE TEMELJA CSS-a 3

Važno je da CSS kôd bude jasno i pravilno strukturiran kako bi bio što efikasniji. Postoje 3 načina primjene CSS stilova: umetnuti stilovi, ugrađeni stilovi i vanjski stilovi [1, 2].

Sintaksa CSS-a sastoji se od dva osnovna dijela (slika 1.):

- Jedan ili više selektora razdvojenih zarezima, koji definiraju elemente na koje će se stil primijeniti
- Deklarativni blok odvojen vitičastim zagradama sastoji se od grupe svojstava i njihovih vrijednosti



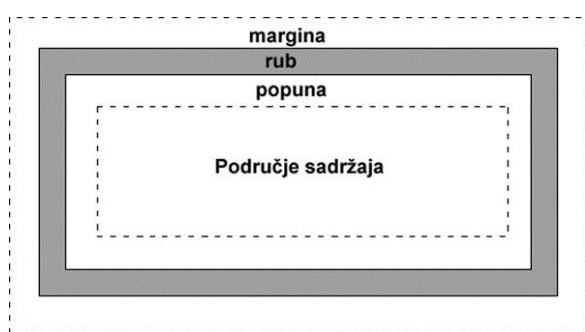
Slika 1. Prikaz sintakse CSS-a

3. MODEL VIZUALNOG OBLIKOVANJA

U CSS-u postoje tri koncepta koji kontroliraju način na koji su elementi poredani i prikazani na stranici. To su: plutanje (engl. floating), pozicioniranje (engl. positioning) i model okvira (engl. box model).

3.1. Model okvira

Model okvira je jedan od temelja CSS-a. Svaki element na stranici možemo promatrati kao pravokutni okvir ispunjen sadržajem elementa, popunom (*padding*), rubom (*border*) i marginom (*margin*) (slika 2.) [1, 13].



Slika 2. Prikaz modela okvira

3.2. Pozicioniranje

Kako bi dobro kontrolirali elemente na web stranici, treba razumjeti modele vizualnog oblikovanja i pozicioniranja. Modeli vizualnog oblikovanja i pozicioniranja kontroliraju način smještaja pojedinih elemenata na stranici. Pozicioniranje može biti pozicioniranje normalnog tijeka ili relativno, apsolutno, fiksno pozicioniranje i plutanje.

3.2.1. Relativno pozicioniranje

Relativno pozicioniranje postavlja elemente relativno u odnosu na normalnu poziciju. Kod relativnog pozicioniranja element nastavlja zauzimati izvorni prostor, bez obzira na to je li odmaknut ili nije, što s druge strane može prouzročiti preklapanje s drugim okvirima.

3.2.2. Apsolutno pozicioniranje

Apsolutno pozicionirani element smješten je u odnosu na svog najbližeg elementa, no ako nema takvog elementa smješten je na početni blok kontejnera. Apsolutno pozicionirani element može biti odmaknut od vrha, dna, lijeve ili desne strane bloka koji ga sadrži. Apsolutno pozicionirani element može se nalaziti bilo gdje na stranici [1, 3].

S obzirom na to da su apsolutno pozicionirani elementi neovisni od tijeka dokumenta, može se dogoditi da se preklapaju jedni s drugima. Da bi to kontrolirali može se dodati svojstvo *z-index*. Što je *z-index* viši broj, okvir se pojavljuje na višem mjestu ili u višem sloju [8].

3.2.3. Fiksno pozicioniranje

Fiksno pozicioniranje elemenata slično je kao i apsolutno, s razlikom da je roditeljski element uvijek prozor preglednika. Element možemo fiksno pozicionirati pomoću koordinata na točno određenom mjestu. Ti će elementi uvijek ostati na istom mjestu bez obzira na kretanje kroz stranicu [1].

3.2.4. Plutanje

Plutajuće pozicionirani okvir izlazi iz pravilnog tijeka dokumenta i može se pozicionirati ulijevo ili udesno, sve dok njegov vanjski rub ne dotakne rub okvira koji ga sadrži. Ostali elementi koji su u pravilnom tijeku ponašaju se kao da plutajućeg elementa nema. Plutanje elemenata je način pozicioniranja koji se najčešće koristi u izradi web stranica [1, 4].

4. NOVOSTI U CSS 3

4.1. Dodavanje sjene tekstu

Dodavanjem sjene tekstu može se diskretno istaknuti neki dio teksta, ali se može postići i naglašeniji efekt. Pomoću svojstva *text-shadow* tekstu se mogu dodavati sjene – od diskretne do naglašene (slika 3.) [5, 6].

Sintaksa: *text-shadow: 3px 3px 3px #999;*

Prva vrijednost predstavlja horizontalnu udaljenost teksta, druga vertikalnu, a treća vrijednost je zamaglivanje ili širenje sjene, dok su četvrta vrijednost boje.

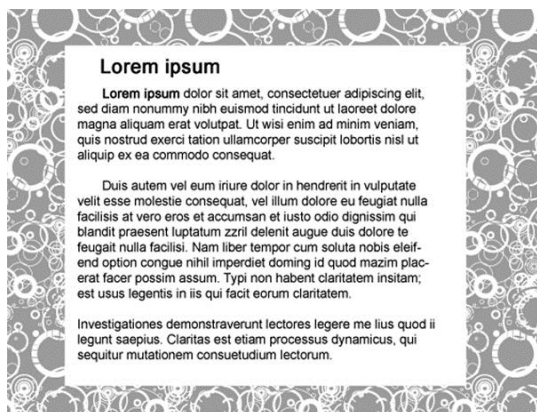
Oblikovanje teksta u CSS 3**Oblikovanje teksta u CSS 3****Oblikovanje teksta u CSS 3****Oblikovanje teksta u CSS 3****Oblikovanje teksta u CSS 3**Slika 3. Prikaz svojstva *text-shadow***4.2. Postavljanje i pozicioniranje pozadinskih slika**

CSS sadrži svojstva pomoću kojih na svoje stranice možete postaviti sliku, boju ili jedno i drugo.

Svojstvo *background-image* omogućava definiranje pozadinske slike. Pozadinska slika se ponavlja horizontalno (po osi x) i vertikalno (po osi y).

CSS-om 3 se omogućuje korištenje više pozadinskih slika za isti element (slika 4.):

```
body
{
background-image:url(slika1.gif),url(slika2.gif);
}
```



Slika 4. Primjer pozicioniranja više pozadinskih slika na isti element

Kod dodavanja više pozadinskih slika treba paziti na njihov redoslijed. Prva slika se prikazuje na vrhu preglednika, a posljednja na dnu.

4.3. Postavljanje i pozicioniranje pozadinskih slika s nijansama

U CSS-u 3 je novost što se mogu dodavati pozadinske slike s nijansama (engl. linear gradient), tako da se svojstvu *background-image* pridruži vrijednost *linear gradient* (slika 5.).

```
background-image: linear-gradient(top,#000, #666);
```



Slika 5. Prikaz tonskog prijelaza od tri boje

U skladu s prikazanim primjerom, nijanse se pomoću CSS-a mogu napraviti iz dvije, tri i više boja, a određuje se i smjer gdje počinje jedna boja i prelazi u drugu boju.

4.4. Prilagođavanje veličine pozadinskih slika web pregledniku

Vrlo popularan efekt se postiže kada se na pozadini web stranice postavi slika u punoj veličini koja će se podešavati prema veličini preglednika. Kako bi se slika prilagodila veličini web preglednika, koristi se svojstvo *background-size* s vrijednošću *cover* (slika 6.) [6, 7].

```
div
{
background-image:url('pozadinska-slika.gif');
background-repeat:no-repeat;
background-size:cover;
}
```



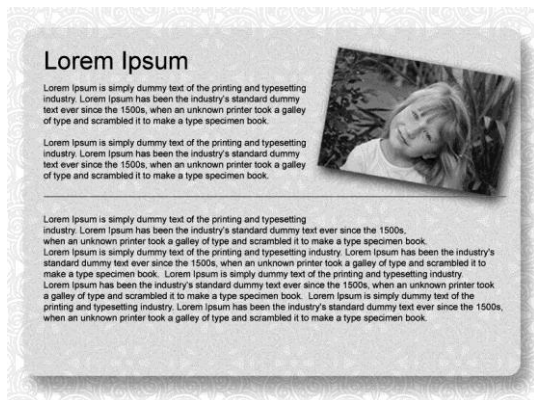
Slika 6. Primjer prilagođavanja pozadinskih slika web pregledniku

4.5. Oblikovanje prozirnosti elementa

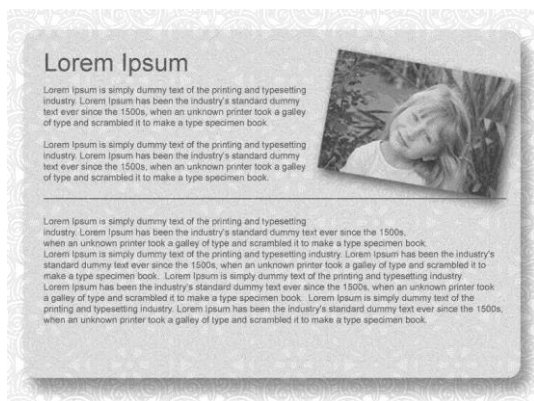
Korištenjem elementa prozirnosti mogu se na stranicama napraviti iznimno zanimljivi efekti. Sve donedavno ovo je bilo teško postići u preglednicima i u pravilu je zahtijevalo korištenje PNG slika s alfa kanalom (enl. alpha chanel) – skupom podataka koji predstavljaju informacije o transparentnosti zasnovane na pojedinačnim pikselima. CSS 3 omogućava svojstvo prozirnosti elemenata.

Postoje dva načina kako element prikazati prozirnim. Prvi je pomoću svojstva *opacity*, čija vrijednost polazi od 0 do 1, pri čemu 0 podrazumijeva da je element potpuno proziran, a 1 da je potpuno neproziran (slika 7.) [6, 11, 12].

Druga metoda je upotreba RGBA pri oblikovanju svojstva *background-color* za okvir, gdje se dodaje četvrta vrijednost u listu vrijednosti. Slovo A u skraćeničici RGBA znači Alpha i kontrolira prozirnost (slika 8.).



Slika 7. Prozirnost pomoću svojstva *opacity*



Slika 8. Prozirnost pomoću svojstva *background-color* s vrijednošću *RGBA*

Osnovna razlika između ove dvije metode je ta što se pri korištenju prozirnosti na prvom primjeru ona definira za cijeli okvir i njegov sadržaj, dok se u drugom primjeru, kada se koristi *RGBA*, utječe samo na boju koja se definira pa tekst unutar tog okvira neće biti proziran.

Svojstvo *opacity* i *RGBA* podržavaju svi suvremeni web preglednici, a zanemaruju ga stariji web preglednici koji nemaju odgovarajuću podršku.

4.6. Dodavanje sjena elementima

CSS 3 ima svojstvo *box-shadow* pomoću kojeg se mogu dodavati sjene gotovo svakom elementu, a da se ne mora pristupiti slikama i uređivati ih u nekom od programa za obradu fotografija (slika 9.).

Sintaksa: *box-shadow: h-shadow v-shadow blur spread color inset;*

Vrijednosti *h-shadow* i *v-shadow* su obavezne, a sve ostale su opcionalne.

box-shadow: 5px 5px 10px 5px rgba(0, 0, 0, 0.4);

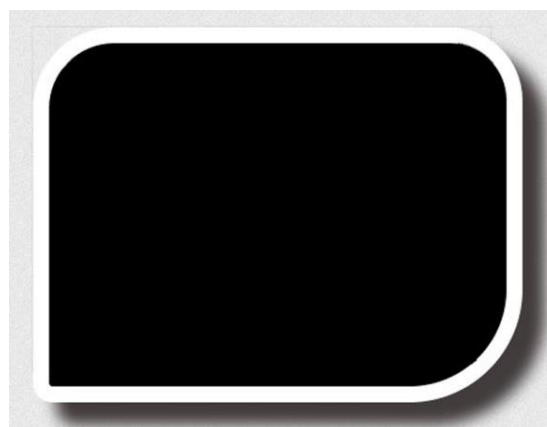


Slika 9. Sjena dodana elementu

4.7. Zaobljeni rubovi

Još jedna novost u CSS-u 3 su zaobljeni rubovi koji se dobivaju pomoću svojstva *border-radius* (slika 10.).

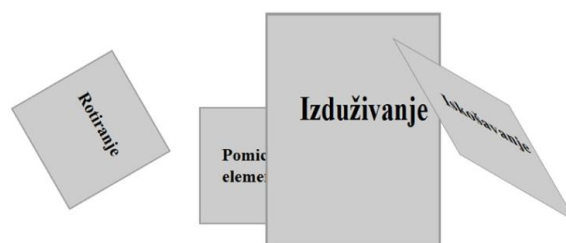
border-radius: 1-4 length%/1-4 length%;



Slika 10. Prikaz elemenata zaobljenih rubova [8]

4.8. CSS transformacije

CSS transformacije su još jedna od novina verzije CSS 3 koja omogućava rad s elementima na stranici pomoću CSS-a. Pomoću svojstva *transform* moguće je rotiranje slika na stranici, mijenjanje veličine elementa (uvećavanje, smanjenje), pomicanje elemenata horizontalno ili vertikalno te ukošavanje elementa (slike) tako da je nagnut duž osi x ili y (slika 11.).



Slika 11. Prikaz mogućnosti svojstva *transform* [15]

4.9. Tekst u više stupaca

Novost su i mogućnost postavljanja teksta u više stupaca, kao što je slučaj s raznim dnevnim novinama pomoću svojstva *multicolumn* (slika 12.).

```

{
-moz-column-count:3; /* Firefox */
-webkit-column-count:3; /* Safari i Chrome */
column-count:3;

-moz-column-gap:40px; /* Firefox */
-webkit-column-gap:40px; /* Safari i Chrome */
column-gap:40px;
}

```

Napomena: Internet Explorer 9, i ranije verzije, ne podržavaju svojstvo "column"

U posljednjih desetak godina broj korisnika interneta je u velikom porastu i svaki dan se širi sve više, što je dokaz da sve više ljudi ima pristup internetu i koristi ga svakodnevno. Shodno tome, kako se povećava broj korisnika koji pristupaju internetu, povećava se i ponuda kao i raznovrsnost sadržaja kojem se pristupa. Korisnicima interneta je osim sadržaja vrlo bitan i način na koji je neki sadržaj prezentiran. Tu do izražaja dolaze web dizajneri koji oblikuju sadržaj u cilju kako bi privukli što više korisnika.

Primjenom CSS koda svaka WEB stranica bi se morala sasvim identično prikazivati u svakom dostupnom WEB pregledniku, no to često nije slučaj. Tako različiti preglednici različito tumače primijenjen CSS stil što može dovesti do neugodnosti. Prednosti CSS-a su brojne. Njime je znatno olakšan razvoj i održavanje WEB stranice, a još jedna velika prednost je konzistentija u prezentaciji kroz cijelo web sjedište i mogućnost drugačijih verzija za različite uređaje.

CSS standardi uveliko olakšavaju razvoj prezentacijskog dijela WEB stranice. Trenutno se još uvijek ne koristi CSS 3 kao standard, ali bi trebao postati iduće 2014. godine. CSS 3 nudi mnogo novih i uzbudljivih značajki kojima se poboljšao izgled WEB stranica, premda te značajke nisu nužno važne za funkcionalnost same stranice. Primjenom CSS 3 su mogući znatni efekti poput zaobljenih rubova, sjena na okvirima, sjena na tekstu i slično.

Slika 12. Prikaz svojstva *multicolumn*

5. TEHNIKE USKLAĐIVANJA CSS-a 3 SA STARIJIM WEB PREGLEDNICIMA

Najnovije verzije internet preglednika imaju odličnu podršku za CSS i prilično dobru podršku za CSS 3. Autori web preglednika sada isporučuju i implementiraju nove CSS 3 module mnogo brže nego su to radili prije nekoliko godina. Tako je sada u suvremenim preglednicima mnogo manje grešaka ili neusklađenosti. Ipak, mnogo korisnika i dalje koristi starije verzije preglednika koji ne podržavaju CSS 3 potpuno, pa se nameće pitanje kako iskoristiti prednosti primjene CSS-a 3 u suvremenom web dizajnu, a pri tome riješiti problem nepostojanja podrške za starije preglednike [6, 9].

Prije svega važno je provjeriti izgled vašeg web sjedišta u što više različitih preglednika. Web sjedište ne mora nužno izgledati isto u svim preglednicima, ali je važno da se može pristupiti sadržaju i da se isti može koristiti bez većih problema.

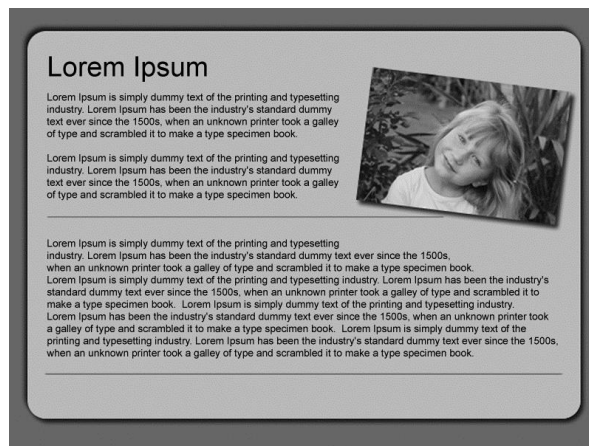
Pri stvaranju web sjedišta treba razmišljati o tome tko će ga sve koristiti i na kojim uređajima, odnosno koja je ciljna skupina. Ako su npr. ciljna skupina mlađi korisnici u stalnom pokretu, jasno je da se uglavnom koriste mobilnim uređajima ili tabletima. Sve je to vrlo važno za kreiranje dobre strategije za podršku korisnicima na svome web sjedištu. Nakon što se zna koji se preglednici koriste, lakše je kreirati razinu podrške u sklopu dizajna web sjedišta.

Podrška podrazumijeva da sve na web stranici izgleda isto. To ne znači da je dizajn u svim preglednicima potpuno jednak, nego da je pristup sadržaju i korištenje sadržaja ujednačen.

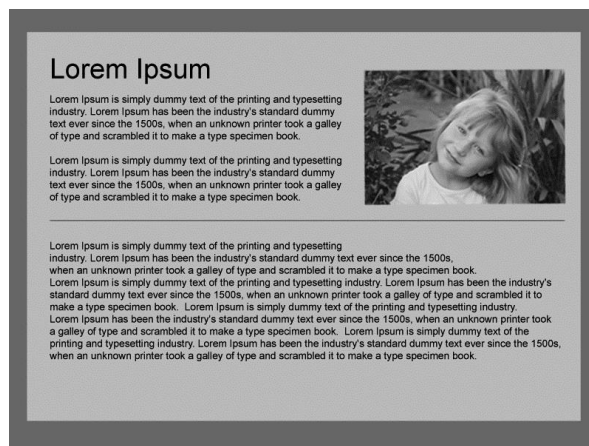
Ilustriran je primjer na slici 13. i 14. Na tim slikama su ilustracije iste web stranice napravljene pomoću CSS 3, ali prikazane u različitim preglednicima. Na slici 13.

prikazana je stranica oblikovana primjenom CSS 3 u suvremenom web pregledniku.

Okvir je sa zaobljenim rubovima i dodanim sjenama. Slika je rotirana i također je dodana sjena. Na slici 14. nalazi se ista stranica, ali prikazana u starijem web pregledniku. Važno je uočiti da su sve relevantne informacije dostupne korisniku, samo nedostaju elementi oblikovanja.



Slika 13. Prikaz primjene CSS 3 u suvremenom web pregledniku



Slika 14. Prikaz primjene CSS 3 u zastarjelom web pregledniku

Gore spomenuti pristup predstavlja jednostavan primjer „progresivnog poboljšavanja“. Dizajn sadrži sve potrebne elemente. Pomoću CSS-a 3 dodani su detalji koje ne čitaju stariji preglednici, međutim i ti preglednici očitavaju osnovne elemente. Koncept progresivnog poboljšanja je od osnovne važnosti za dizajn. Radi se o tome da se napravi jednostavan dizajn namijenjen preglednicima koji ne pružaju dovoljnu podršku, a zatim se nadograđuje i oblikuje pomoću CSS-a.

Postoje i alati za snimanje stanja na web preglednicima, poput Adobe BrowserLab ili Browserhots. Ovi alati mogu biti korisni za brzi pregled situacije na web sjedištu, no ove aplikacije su ograničene po tome što daju samo sliku web sjedišta, a ne mogu se ispitati pojedine funkcije.

6. ANALIZA PREDNOSTI CSS-a 3 U ODNOSU NA RANIJE VERZIJE CSS-a

CSS 3 u odnosu na ranije verzije CSS-a donosi značajne promjene. Mnoge mogućnosti koje dolaze s tim promjenama još neko vrijeme neće zaživjeti u punom sjaju. Razlog tome je što većina internet korisnika još uvijek koristi Internet explorer (IE) koji svojim razvojem zaostaje za Firefox-om i Safarijem [10, 14].

Najveća novina koju donosi CSS 3 su upiti koji omogućuju responzivni web dizajn. Sljedeća velika prednost je mogućnost izrade animacija za koje nam više ne treba npr. Flash, već je dovoljna kombinacija HTML-a 5 i CSS-a 3. Daljnja prednost koju donosi CSS 3 su zaobljeni rubovi koji odskaču od već prihvaćenih mogućnosti stavljanja rubova na strane box modela (gore, dolje, lijevo, desno), te bojanje tih rubova i određivanje njihovih širina i tipova. Boje se mogu nizati izvana prema unutra, no tu su mogućnost za sada prihvatili samo Firefox i Safari. Još jedna prednost box modela je *box shadow*. Kako i samo ime govori, riječ je o postavljanju sjene na rubove box modela. Iduća novina koju donosi CSS 3 su pozadine, tj. višestrukost pozadina. Sada je moguće postaviti više različitih pozadina pod jedan element, kao i postaviti veličinu pozadine.

Jedna od najboljih novina koje donosi CSS 3 je svojstvo opaciteta. I oblikovanje teksta je doživjelo promjene. Na tekst se sada mogu primijeniti sjene. Jedna od apsolutnih novina je „embedanje“ fontova. Naime, ako korisnik nema instaliran font na lokalnom disku može ga se staviti na poslužitelj. Novost su i mogućnost postavljanja teksta u više stupaca, kao što je slučaj s raznim dnevnim novinama pomoću svojstva *multicolumn*. Nadalje, moguće je i korištenje stupnjevanja pri bojanju elemenata.

Mozilla Firefox i Appleov Safari su dva preglednika koji ubrzano prihvaćaju nabrojene nove standarde, dok Microsoftov Internet Explorer kasni. Stoga se ne može točno pretpostaviti kada će potpuno zaživjeti CSS 3 u svim preglednicima, ali se pretpostavlja da će to biti tijekom 2014. godine.

7. ZAKLJUČAK

U radu su objašnjeni brojni primjeri i ilustracije pravilnog oblikovanja i pozicioniranja elemenata pomoću CSS 3 stilova, kao i značajne promjene koje donosi CSS 3 u odnosu na prethodne verzije CSS-a.

Kroz nekoliko primjera prikazano je oblikovanje slika i drugih elemenata pomoću CSS-a s naglaskom na novinama koje donosi CSS 3, kao što su pozicioniranje pozadinskih slika, gradijenti, prilagođavanje veličina pozadinskih slika u web pregledniku, oblikovanje prozirnosti elemenata, dodavanje sjena elementima, oblikovanje zaobljenih rubova te rotacija elemenata. Korištenjem elementa prozirnosti na stranicama je moguće napraviti vrlo zanimljive efekte, što je još donedavno bilo znatno otežano.

Novina je i dodavanje sjena elementima pomoću svojstva *box-shadow*, kao i zaobljenih rubova na elementima pomoću svojstva *border-radius*. CSS

transformacije su još jedna novina verzije CSS 3 koja omogućava rotaciju elemenata pomoću svojstva *transform*. Na kraju su obrađene tehnike usklađivanja CSS-a 3 sa starijim web preglednicima, te su analizirane prednosti koje donosi CSS 3 u usporedbi s ranijim verzijama CSS-a.

U ovom radu je pokazano kako se mogu primijeniti brojne nove tehnike CSS-a 3 i kako pomoću njih brzo i jednostavno oblikovati funkcionalne i atraktivne web stranice.

7. LITERATURA

- [1] Budd, A.; Moll, C.; Collison, S.: CSS Mastery, Dobar Plan, Zagreb, 2008.
- [2] Holzschlag, M. E.: Skok u HTML i CSS, Kompjuter biblioteka, Beograd, 2006.
- [3] Meyer, E. A.: Smashing CSS, Kompjuter biblioteka, Beograd, 2011.
- [4] Mansfield, R.: CSS Web Design For Dummies, Wiley Publishing, Inc., 2005.
- [5] Adams, C.; Bolton, J.; Johnson, D.; Smith, S.; Snook, J.: The Art & Science Of CSS, SitePoint Pty. Ltd., 2007.
- [6] Andrew, R.: CSS 3 Antologija, Mikroknjiga, Beograd, 2012.
- [7] Hill, J.; Brannan, J. A.: Brilljantno HTML5 i CSS 3, Cet. 2011.
- [8] <http://www.w3schools.com/css>, (Dostupno:10.02.2013.)
- [9] <http://www.csstutorial.net>, (Dostupno: 10.02.2013.)
- [10] <http://www.webgrupa.tehnickaskola.net/css4.html>, (Dostupno: 10.02.2013.)
- [11] <http://www.tizag.com/cssT>, (Dostupno: 11.02.2013.)
- [12] <http://www.quackit.com/css/tutorial>, (Dostupno:11.02.2013.)
- [13] <http://www.html.net/tutorials/css>, (Dostupno:11.02.2013.)
- [14] <http://www.webastico.com/kodiranje/sto-nam-donosi-CSS3>, (Dostupno: 10.02.2013.)
- [15] [http://msdn.microsoft.com/enus/library/ie/jj665791\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/enus/library/ie/jj665791(v=vs.85).aspx), (Dostupno: 12.02.2013.)

Kontakt autora:

Slavica Vinko Štajdohar, bacc.ing.techn.graph.
 Veleučilište u Varaždinu
 Jurja Križanića 33, Varaždin
 Tel. 099 2414 600
 e-mail: web@promjena.com

doc.dr.sc. Mario Tomiša
 Veleučilište u Varaždinu
 Jurja Križanića 33, Varaždin
 e-mail: mario.tomiša@velv.hr

dr.sc. Dean Valdec, v. pred.
 Veleučilište u Varaždinu
 Jurja Križanića 33, Varaždin
 e-mail: dean.valdec@velv.hr

PREGLED ODABRANIH PRISTUPA VODSTVU I NJIHOVA PRIMJENA U SUVREMENIM ORGANIZACIJAMA

OVERVIEW OF THE SELECTED LEADERSHIP APPROACHES AND THEIR APPLICATION IN MODERN ORGANIZATIONS

Maja Gotal

Stručni članak

Sažetak: U radu se govori o pojmu vodstva, domeni vodstva koja se sastoji od tri elementa - vođe, sljedbenika i situacije, te se govori o odnosu vodstva i moći. Dan je i pregled nekoliko odabranih pristupa vodstvu s naglaskom na njihovu primjenu u suvremenim organizacijama. Rad govori o pristupu temeljenom na osobinama, pristupu temeljenom na vještinama, na stilu, situacijskom pristupu, transformacijskom vodstvu, teoriji puta do cilja te novijim stilovima vodstva (trening, supervodstvo, vodstvo služenjem, poduzetničko vodstvo).

Ključne riječi: domena vodstva, moć, pristupi vodstvu, stilovi vodstva, vodstvo

Professional paper

Abstract: This paper gives the definition of leadership. The relationship between leadership and power is defined as well as the leadership domain that consists of three elements – leader, follower and situation. A few different leadership approaches are considered, with an emphasis on their application in modern organizations. These are as follows: the approach based on leader's qualities; the approach based on leader's skills; the approach based on style; situational approach; transformational leadership; path-goal theory; and some newer leadership styles (training, supreme leadership, leading by serving, entrepreneurial leadership).

Key words: leadership domain, power, leadership approaches, leadership styles, leadership

1. UVOD

1.1. Definicija vodstva

Vodstvo je proces u kojem pojedinac utječe na grupu u svrhu postizanja zajedničkog cilja [1]. Prema ovoj definiciji vodstvo je transakcijski događaj između vođe i sljedbenika, interakcijski odnos – vođa utječe i pod utjecajem je sljedbenika. Vodstvo se odvija u kontekstu skupina – uključuje utjecanje na skupinu pojedinaca koji imaju zajednički cilj (mala radna skupina, skupina u zajednici ili velika skupina koja obuhvaća čitavu organizaciju). Usmjerenost na ciljeve koju podrazumijeva vodstvo znači da je vodstvo usmjeravanje skupine pojedinaca prema postizanju nekog zadatka ili svrhe, pri čemu vođe usmjeravaju svoju energiju prema pojedincima koji zajednički nastoje nešto postići.

Prema Certu i Certu vodstvo je proces usmjeravanja ponašanja drugih prema ostvarenju nekog cilja, gdje usmjeravanje znači navođenje ljudi da se ponašaju na određeni način i slijede određeni put (u idealnoj situaciji taj je put u skladu sa čimbenicima poput službene organizacijske politike, postupaka i opisa radnog mjesta). Središnja ideja dana u ovoj definiciji vodstva je ostvariti ciljeve s pomoću ljudi [2].

Anglosaksonski etimološki korijen riječi *lead*, *leader* i *leadership* – voditi, vođa i vodstvo – jest *laed*, što znači "staza" ili "put". Glagol *laeden* znači "putovati". Sukladno tome, vođa je onaj koji svojim suputnicima pokazuje put, hodajući ispred njih [3]. Metafora vođe kao kormilara ima dvije grupe pristalica: oni koji na vođe gledaju kao na pokretače šahovskih figura u igri zvanj život (u stanju su pokrenuti ljude), i oni koji ih gledaju kao pojedince koji se obraćaju kolektivnoj mašti svojih ljudi i navode ih da im se pridruže na putovanju (mogu motivirati radnike da se potpuno posvete poslu i ulože dodatni napor). Postoji i treće gledište gdje su vođe doživljeni kao obične figure kojima manipuliraju sile okruženja i prevladava mišljenje da je gotovo svejedno tko je na čelu jer su društvene sile odgovorne za ono što ljudi čine.

1.2. Domena vodstva

Domena vodstva sastavljena je od tri elementa: vođe, sljedbenika i situacije (slika 1.). Uz ličnost, poziciju i iskustvo vođe domena vodstva obuhvaća i osobnosti sljedbenika (zajedno s njihovim stavovima, vrijednostima i vjerovanjima, te snagom povezanosti unutar grupe) u kombinaciji sa situacijom (priroda zadatka, tip organizacije, korporativna kultura, faktori

djelatnosti i socioekonomska/politička situacija). U literaturi se za spomenuto može pronaći i naziv „jednadžba vodstva“ [3].



Slika 1. Domena vodstva (prema [3])

1.3. Vodstvo i moć

Pojam moći kao sposobnosti ili mogućnosti utjecaja također je povezan s vodstvom. Pojedinci imaju moć kada mogu djelovati na stavove, vjeronanja i postupke drugih. Prema Frenchu i Ravenu moć nastaje iz okvira odnosa dviju osoba, uključujući i osobu koja utječe i osobu na koju se utječe, a postoji pet uobičajenih i važnih izvora moći: nagrada, prisila, zakon, uzor i stručnost [1]. Tabela 1. dodatno pojašnjava spomenutih pet izvora moći.

Tabela 1. Pet izvora moći [1]

MOĆ UZORA	Zasniva se na tome gdje se sljedbenici poistovjećuju s vođom i što im se on sviđa. Školski učitelj kojega učenici obožavaju ima moć uzora.
MOĆ STRUČNOSTI	Zasniva se na predodžbi o sposobnosti vođe. Vođić koji je znalac o stranoj zemlji ima moć stručnosti.
MOĆ ZAKONA	Povezana je s položajem ili formalnim poslovnim autoritetom. Sudac koji izriče kazne u sudnici iskazuje moć zakona.
MOĆ NAGRADE	Proizlazi iz mogućnosti nagrađivanja drugih. Nadzornik koji nagrađuje vrijedne zaposlenike koristi moć nagrade.
MOĆ PRISILE	Proizlazi iz mogućnosti kažnjavanja drugih. Trener koji igrača drži na klupi zbog kašnjenja na trening koristi moć prisile.

Moć uključuje sposobnost jedne strane (one koja djeluje) da utječe na drugu stranu (onu na koju se djeluje). Taj fleksibilni pojam može se koristiti na mnogo načina. Tako može podrazumijevati utjecaj onog koji djeluje na ciljnu osobu ili više njih, a može se odnositi i na potencijalni utjecaj na stvari ili događaje, stavove i ponašanja. Stranu koja djeluje katkada predstavlja grupa ili organizacija, a ne pojedinac [4].

Prema autorima Dubljević, Galeković i Obradović-Dragišić postoje sljedeća četiri tipa moći: „moć nad“, „moć za“, „moć sa“ i „moć iznutra“. „Moć nad“ podrazumijeva odnos kontroliranja i/ili subordinacije. Često je karakterizira društveno prihvatljiv nasilan ili prijeteći oblik komunikacije. Kod takvog tipa odnosa može doći do pasivnog suprotstavljanja ili konflikta i konfrontacije. „Moć za“ podrazumijeva moć donošenja

odluka i rješavanja problema. Može biti osnažujuća i kreativna. „Moć sa“ odnosi se na pojedince koji su orijentirani na zajednički sadržaj i posjeduju sposobnost organiziranja i okupljanja drugih oko zajedničkog cilja. „Moć iznutra“ odnosi se na samopouzdanje, osvjiještenost i asertivnost. Pojedinci analizom i interiorizacijom vlastitog iskustva spoznaju kako moć djeluje u njihovom životu, te imaju sposobnost utjecanja i mijenjanja u skladu s time [5].

U organizacijama, prema Northousu, razlikuju se dva osnovna tipa moći – moć položaja i moć osobe. Moć položaja proizlazi iz određenog položaja u formalnom sustavu organizacije, podrazumijeva mogućnost utjecaja koju vođa ima zbog višeg statusa od sljedbenika, a uključuje moć zakona, moć nagrade i moć prisile. Moć osobe proizlazi iz toga što sljedbenici smatraju da je vođa simpatičan i stručan, podrazumijeva da se vođa ponaša na način koji je sljedbenicima važan, a uključuje moć uzora i moć stručnosti [1].

U kontekstu suvremenih organizacija najvažnije su moć uzora i moć stručnosti objedinjene pod nazivom moć osobe. Vođa mora dokazati svoju stručnost u rješavanju određenih problema i situacija u organizaciji, te se tako kod sljedbenika dokazati kao kompetentan nadređeni koji će organizaciju dovesti do željenog cilja. Poželjno je da sljedbenici vođu smatraju dobrim uzorom. I u tom slučaju, kao i kod moći stručnosti, moć se vođama dodjeljuje na temelju toga kako ih se doživljava u odnosu s drugima. Najneprihvatljiviji od pet izvora moći spomenutih u tabeli 1. svakako je prisila. Vođa, koristeći prijetnje i kazne kako bi izazvao promjene kod sljedbenika i ostvario svoje ciljeve, zapravo isključuje sljedbenike iz procesa vodstva i ne naglašava postizanje zajedničkih ciljeva.

2. SUVREMENI PRISTUPI VODSTVU

2.1. Pristup temeljen na osobinama

Pristup temeljen na osobinama naglašava osobine koje čine uspješnog vođu. Prve teorije razvijene uz taj pristup nazvane su teorijama „velikih ljudi“, usmjeravajući se na otkrivanje urođenih svojstava i obilježja koje posjeduju istaknuti društveni, politički i vojni vođe, kao što su Mahatma Gandhi, Abraham Lincoln i Napoleon [1].

Stogdill dovodi u pitanje univerzalnost osobina vođa. Prema njemu prosječan se pojedinac u ulozi vođe razlikuje od prosječnog člana skupine u inteligenciji, pripravnosti, uvidu, odgovornosti, inicijativi, ustrajnosti, samopouzdanju i društvenosti. Ipak, samo posjedovanje određenih osobina ne jamči da će osoba postati vođa, već osobine koje vođa posjeduje moraju biti važne u situaciji u kojoj vođa djeluje. Iz toga proizlazi da vođe u jednom slučaju ne moraju biti vođe i u drugom slučaju, odnosno u drukčijoj socijalnoj situaciji. U kasnijim istraživanjima Stogdill navodi sljedeće osobine koje su pozitivno vezane uz vodstvo: odgovornost i završavanje zadatka, energija i ustrajnost u ostvarenju ciljeva, smjelost i originalnost u rješavanju problema, preuzimanje inicijative u socijalnim situacijama, samopouzdanje i

osjećaj osobnog identiteta, spremnost na prihvaćanje posljedica odluka i postupaka, spremnost na suočavanje sa stresovima zbog međuljudskih odnosa, spremnost na toleriranje frustracije i odgode, sposobnost utjecanja na ponašanje drugih ljudi i sposobnost strukturiranja sustava socijalne interakcije prema trenutačnim problemima [1].

Northouse spominje Mannova te Kirkpatricova i Lockeova promišljanja o osobinama vođe [1]. Mann smatra da vođe imaju izražene sljedeće osobine: inteligenciju, muževnost, prilagodbu, dominantnost, ekstrovertiranost i konzervativizam. Kirkpatric i Locke izdvajaju šest osobina prema kojima se vođe razlikuju od osoba koje nisu vođe: inicijativa, želja za vodstvom, iskrenost i poštenje, samopouzdanje, kognitivne sposobnosti i znanje o poslu. Smatraju da se pojedinci mogu roditi s tim osobinama, naučiti ih, ili i jedno i drugo.

U posljednje vrijeme može se izdvojiti pet temeljnih čimbenika koji čine ličnost (peterofaktorski model ličnosti): neurotizam (sklonost depresiji, anksioznosti, nesigurnoj ranjivosti i neprijateljstvu), ekstrovertiranost (sklonost društvenosti, potvrđivanju i posjedovanju pozitivne energije), otvorenost (sklonost obaviještenosti, kreativnosti, pronicljivosti i znatiželjnosti), ugodnost (sklonost prihvaćanju, prilagodbi, povjerenju i brižnosti) i savjesnost (sklonost temeljitosti, organiziranosti, nadzoru, pouzdanosti i odlučnosti). Judge, Bono, Ilies i Gerhardt proveli su istraživanje o povezanosti tih pet osobina s vodstvom. Kažu da je ekstrovertiranost čimbenik najsnažnije povezan s vodstvom i najvažnija osobina uspješnih vođa, a slijedi savjesnost. Neurotizam i otvorenost su sljedeći najpovezaniji čimbenici, s time da je neurotizam negativno povezan s vodstvom. Posljednji čimbenik, ugodnost, slabo je povezan s vodstvom [1].

Kod pristupa temeljenog na osobinama, prema Northousu, važno je spomenuti i emocionalnu inteligenciju (sposobnost razumijevanja emocija i primjene tog razumijevanja u životnim zadacima). Prema Golemanu emocionalna inteligencija sastoji se od skupa osobnih sposobnosti (samosvijest, samopouzdanje, samoregulacija, savjesnost i motivacija) i socijalnih sposobnosti (empatija i socijalne vještine poput komunikacije i upravljanja sukobima). Odnos emocionalne inteligencije i vodstva još je nedovoljno istražen [1].

Pristup temeljen na osobinama ne zadovoljava potrebe suvremenih organizacija. Kao što je istaknuto ranije, on se temelji na osobinama vođe, ali ne uzima u obzir situaciju. Pristup temeljen na osobinama može pomoći vođama da steknu uvid u to posjeduju li ili ne posjeduju određene osobine koje se smatraju važnima za vođu, te da uoče vlastite prednosti i nedostatke i potom potonje uklone. Ipak, ne može se potpuno odrediti skup poželjnih osobina svojstvenih vođama bez istodobnog sagledavanja utjecaja situacije. Naime, ljudi koji posjeduju određene osobine koje ih čine vođama u jednoj situaciji možda neće biti vođe u drugoj situaciji, a u suvremenim organizacijama upravo je prilagodba različitim situacijama i sposobnost snalaženja u njima jedan od ključnih faktora uspješnosti.

2.2. Pristup temeljen na vještinama

Pristup temeljen na vještinama usmjeren je na vještine i sposobnosti uspješnog vođe koje se mogu učiti i razvijati. Prema Katzu vodstvo ovisi o trima temeljnim osobnim vještinama: tehničkim vještinama (znanje i stručnost u određenoj vrsti posla ili aktivnosti; uključuju sposobnosti u određenom području, analitičke sposobnosti i sposobnosti korištenja prikladnih oruđa i tehnika), međuljudskim vještinama (znanje i sposobnost rada s ljudima; omogućuju vođi da uspješno surađuje s podređenima, kolegama i nadređenima u ostvarenju ciljeva poduzeća) te vještini apstraktnog mišljenja (sposobnost rada s idejama i pojmovima). Važnost određenih vodinih vještina mijenja se ovisno o tome gdje se vođa nalazi u hijerarhiji upravljanja (za vođe na nižim razinama najvažnije su tehničke i međuljudske vještine, za one na srednjoj razini sve tri skupine vještina, a za one na višim razinama vještine apstraktnog mišljenja i međuljudske vještine) [1].

Kasnije su Mumford i suradnici osmislili model vodstva temeljen na vještinama, koji opisuje vodstvo kao sposobnosti (znanja i vještine) koje čine uspješno vodstvo mogućim. Njihov model [1] ima pet sastavnica:

1. sposobnosti

- vještine rješavanja problema – vođina sposobnost kreativnog rješavanja novih, neobičnih i nejasnih problema
- vještine socijalne prosudbe – sposobnost razumijevanja ljudi i društvenih sustava
- znanja – skup podataka i mentalnih struktura koje se koriste u organiziranju podataka

2. individualna obilježja

- opće kognitivne sposobnosti – inteligencija osobe (perceptivna obrada, obrada podataka, opće vještine zaključivanja, sposobnost kreativnog i divergentnog mišljenja, vještine pamćenja)
- kristalizirana inteligencija – inteligencija naučena ili stečena tijekom vremena, uskladišteno znanje koje stječemo iskustvom
- motivacija – vođe moraju biti voljni i motivirani suočiti se sa složenim organizacijskim problemima, moraju biti voljni pokazati dominantnost, trebaju biti odani društvenom dobru organizacije
- ličnost

3. **ishodi vodstva** – uspješno rješavanje problema (smišljanje rješenja koja su logična, učinkovita i jedinstvena), učinak (stupanj u kojem je vođa uspješno obavio dodijeljene mu dužnosti)

4. **radno iskustvo** – izazovni radni zadaci, mentorstvo, prikladan trening i izravno iskustvo u rješavanju novih i neobičnih problema mogu pomoći vođama; radno iskustvo može pozitivno djelovati i na individualna obilježja

5. **utjecaji okoline** – čimbenici izvan sposobnosti, obilježja i iskustava vođe (npr. razine vještina podređenih).

Promatra li se pristup temeljen na vještinama u kontekstu suvremenih organizacija može se uočiti poveznica s prije spomenutim izvorom moći – stručnosti. Kod ovog pristupa svakako su najvažnije sposobnosti pojedinca. Prva od sposobnosti odnosi se na rješavanje problema, koje u organizaciji podrazumijeva sposobnost definiranja nekog problema, prikupljanje podataka o problemu, definiranje novog pristupa tom problemu te planiranje rješavanja problema. Iduća sposobnost povezana je sa socijalnom prosudbom. U organizaciji ova sposobnost vođe omogućuje suradnju sa sljedbenicima u svrhu rješavanja problema i osiguravanje podrške promjenama koje je potrebno uvesti. Tako je važno da vođa shvati stavove sljedbenika o definiranom problemu ili njegovom mogućem rješenju, da razumije potrebe, ciljeve i zahtjeve različitih strana u organizaciji, da sukladno tome prilagođava vlastito ponašanje te da uspješno uvjeri sljedbenike u dobrobit promjene ili riješi sukob nastao zbog iste. Posljednja izdvojena sposobnost odnosi se na znanja. Uspješni vođe u organizacijama su oni koji znaju mnogo o internim i eksternim elementima organizacije. Pod internim elementima podrazumijevaju se npr. proizvodi ili usluge organizacije, zadaci, ljudi te sama organizacija, dok su eksterni elementi npr. kupci ili klijenti, dobavljači, konkurencija, vlada, mediji i društvene organizacije. Uz znanje o spomenutim elementima, uspješni vođe posjeduju i znanje o različitim načinima na koje su ovi elementi povezani.

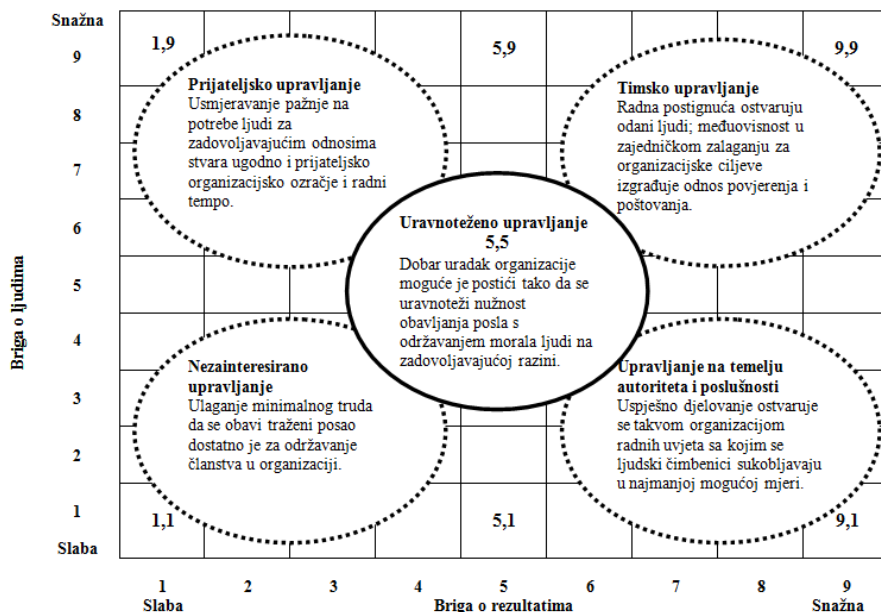
2.3. Pristup temeljen na stilu

Pristup temeljen na stilu usmjeren je na to što vođe rade i kako se ponašaju. Kod ovog pristupa smatra se da se vodstvo sastoji od dviju općih vrsta ponašanja: ponašanja usmjerenih na zadatak (olakšavaju ostvarenje cilja – pomažu članovima skupine da ostvare svoje ciljeve) i ponašanja usmjerenih na odnose (pomažu podređenima da prihvate sebe, druge ljude i stanje u kojem se nalaze) [1].

Northouse kaže da su dvije temeljne vrste ponašanja vođe, prema istraživanju Državnog sveučilišta u Ohiju,

strukturirajuća ponašanja (ponašanja usmjerena na zadatak koja uključuju postupke poput organizacije rada, uvođenja strukture u poslovni kontekst, definiranja odgovornosti povezanih s ulogom, raspoređivanja radnih aktivnosti) i brižna ponašanja (ponašanja usmjerena na odnose koja uključuju izgradnju zajedništva, poštovanja i slaganja između vođe i sljedbenika). Nadalje kaže da su, prema istraživanju Sveučilišta u Michiganu, dvije vrste ponašanja vođe: usmjerenost na zaposlenike (vođe u pristupu podređenima snažno naglašavaju međuljudske odnose – zainteresirani su za radnike kao ljudska bića, cijene njihovu individualnost i posvećuju pozornost njihovim osobnim potrebama) i usmjerenost na proizvodnju (radnici se doživljavaju kao sredstvo za obavljanje posla) [1].

Prema Blakeu i Moutonovoj Menadžerska mreža, preimenovana u Mrežu vodstva („Leadership grid“) [1], objašnjava kako vođe pomažu organizacijama u ostvarenju ciljeva pomoću dvaju čimbenika: brige o proizvodnji (odnosi se na to koliko je vođa zabrinut za izvršenje organizacijskih zadataka; uključuje aktivnosti poput posvećivanja pozornosti odlukama o djelovanju, razvoju novih proizvoda, pitanjima procesa, radnog opterećenja i opsega prodaje) i brige o ljudima (odnosi se na to koliko se vođa usmjerava na ljude u organizaciji koji pokušavaju ostvariti njene ciljeve; uključuje izgradnju odanosti i povjerenja organizaciji, promicanje osobnih vrijednosti zaposlenika, osiguravanje dobrih radnih uvjeta, održavanje pravedne strukture plaćanja i promicanje dobrih društvenih odnosa). Mreža vodstva udružuje brigu o proizvodnji i brigu o ljudima u modelu prikazana je na slici 2. Vodoravna os predstavlja vođinu brigu o proizvodnji, a okomita os njegovu brigu o ljudima. Svaka od tih osi prikazana je kao ljestvica od 9 stupnjeva (brojka 1 predstavlja najmanju, a brojka 9 najveću brigu). Mreža vodstva tako oslikava pet temeljnih stilova vodstva: upravljanje temeljeno na autoritetu i poslušnosti, prijateljsko upravljanje, nezainteresirano, uravnoteženo i timsko upravljanje.



Slika 2. Mreža vodstva (prema [1])

Uz pet temeljnih stilova koji su opisani u Mreži vodstva, Blake i suradnici ustvrdili su još dva stila koji uključuju različite dijelove rešetke: autoritet/prijateljstvo (vođa primjenjuje i stil 1,9 i stil 9,1 ali ih ne povezuje, okarakteriziran je kao „dobronamjerni diktator“ koji se ponaša ljubavno, ali u svrhu ostvarenja cilja) i oportunistički (odnosi se na vođu koji primjenjuje bilo koju kombinaciju temeljnih pet stilova u svrhu osobnog napredovanja) [1]. Osoba obično ima prevladavajući stil koji primjenjuje u većini situacija, te pomoćni stil koji primjenjuje kada je pod stresom i uobičajeni način obavljanja stvari ne djeluje.

Pristup temeljen na stilu može se promatrati u svim suvremenim organizacijama i to na svim razinama jer su vođe, odnosno menadžeri na svim razinama trajno usmjereni na zadatak i odnose. Promatrajući temeljnih pet stilova iz Mreže vodstva može se zaključiti da odgovarajući stil za zadovoljenje potreba suvremenih organizacija ovisi o situaciji. Tako vođe u nekim situacijama trebaju biti usmjereniji na zadatak, a u nekima na odnose. Stil koji je najbolje primijeniti ovisi i o podređenima. Dok dio podređenih u organizacijama treba vođu koji će ih samo usmjeravati, drugi trebaju vođu koji će u većoj mjeri brinuti o njima i podržavati ih. U suvremenim organizacijama uspješan vođa je onaj koji zna pravilno procijeniti koji stil kada upotrijebiti.

Potrebno je spomenuti da se stilovi vodstva, prema Wehrichu i Koontzu, mogu klasificirati i s obzirom na način upotrebe autoriteta. Tako postoje tri tipa vođe [6]. Autokratski vođa zapovijeda, očekuje pokoravanje, dogmatičan je, pozitivno orijentiran i vodi uz pomoć sposobnosti davanja ili ustezanja nagrada i kazni. Demokratski ili participativni vođa savjetuje se s podređenima o predloženim akcijama i odlukama te ohrabruje njihovo sudjelovanje (ovaj tip može varirati od osoba koje ne poduzimaju ništa bez savjetovanja s podređenima do onih koje same donose odluke, ali se prije toga savjetuju s podređenima). Vođa „odriješenih ruku“ ili ne koristi svoju moć ili ju koristi u vrlo malim količinama, dajući podređenima visoki stupanj neovisnosti u njihovim postupcima. Podređenima je dopušteno postavljanje vlastitih ciljeva i određivanje sredstva za njihovo ostvarenje, dok vođe pomažu radu podređenih tako da im pružaju informacije i djeluju kao veza s vanjskim okruženjem skupine.

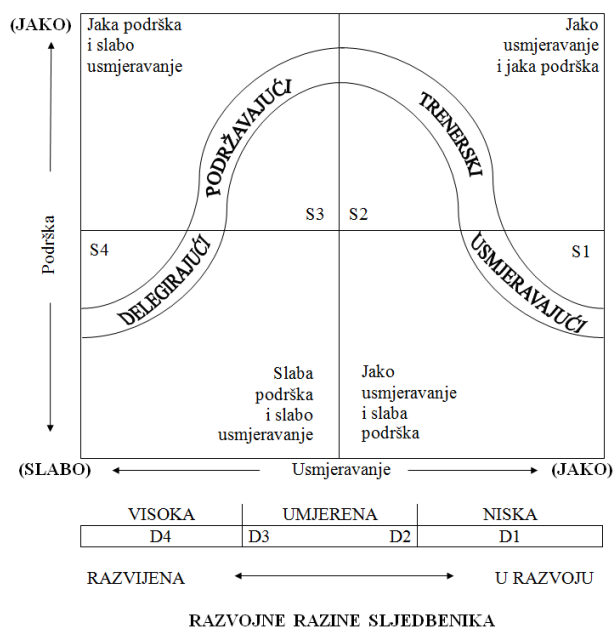
U suvremenim organizacijama i korištenje bilo kojeg od ova tri stila ovisi o situaciji. Tako se autokratski stil koristi u situacijama velike hitnosti (npr. ako se postavi vrlo kratak rok za isporuku nekog proizvoda), demokratski stil može se koristiti kada je vođa važno dobiti mišljenje i povratnu informaciju od svojih podređenih te ujedno osigurati njihovu predanost, dok se sljedbenicima daju odriješene ruke ako se želi iskoristiti njihova kreativnost (npr. kod poslova vezanih uz istraživačke djelatnosti).

2.4. Situacijski pristup

Situacijski pristup [1] pretpostavlja da različite situacije zahtijevaju različite vrste vodstva, a uspješan vođa svoj stil mora prilagoditi zahtjevima različitih situacija. Vodstvo se u ovom kontekstu sastoji od usmjeravajuće i podržavajuće dimenzije. Kako bi vođa

utvrdio što je u kojoj situaciji potrebno, mora vrednovati svoje zaposlenike i odrediti koliko su sposobni i spremni u obavljanju određenog zadatka, te mijenjati stupanj usmjeravanja ili podrške da bi se prilagodili promjenjivim potrebama podređenih.

Northouse kaže su Blanchard i suradnici razvili model koji se naziva „II. situacijsko vodstvo“ („Situational Leadership II“, SLII) [1]. Ovaj model, prikazan na slici 3., pretpostavlja četiri različita stila vodstva (prvi dio situacijskog modela vodstva) koji uključuju određeno usmjeravanje (ponašanje usmjereno na zadatak; pomaže članovima skupine da ostvare ciljeve tako što im se daju upute, određuju ciljevi i metode vrednovanja, postavljaju vremenski rokovi, definiraju uloge i pokazuje im se kako se ciljevi mogu ostvariti) i podršku (ponašanje usmjereno na odnose; pomaže članovima skupine da budu zadovoljni sobom, svojim suradnicima i situacijom; uključuje dvosmjernu komunikaciju i reakcije koje pokazuju socijalnu i emocionalnu podršku drugima). Razvojna razina podređenih drugi je dio situacijskog modela vodstva. Predstavlja stupanj u kojem podređeni imaju razvijene sposobnosti i spremnost potrebnu za obavljanje određenog zadatka ili aktivnosti. Zaposlenici su na visokoj razvojnoj razini ako su zainteresirani i samopouzdana u svojem poslu i znaju kako obaviti zadatak. Na niskoj su razvojnoj razini ako nemaju vještinu za obavljanje zadatka, ali osjećaju da imaju motivaciju i samopouzdanje za obavljanje posla.



Slika 3. II. situacijsko vodstvo [1]

U suvremenim organizacijama situacijski pristup zapravo podrazumijeva da vođe shvaćaju kako zaposlenici napreduju ili nazaduju što se tiče vlastitih sposobnosti i spremnosti. Uspješni vođe moraju odrediti gdje se njihovi sljedbenici nalaze, promatrajući njihove sposobnosti i spremnost u odnosu na pojedini zadatak te sukladno tome primijeniti odgovarajući stil vodstva. Naglasak mora biti upravo na pristupanju svakom zadatku pojedinačno zbog stalnih promjena u razvojnim razinama zaposlenika. Nakon što vođa procijeni prirodu

situacije i razvojnu razinu zaposlenika, mora prilagoditi svoj stil preporučenom stilu vodstva prikazanom u SLII modelu. Zbog stalne promjene razvojnih razina podređenih važno je da vođe u suvremenim organizacijama budu iznimno prilagodljivi u svojem ponašanju. To osobito dolazi do izražaja kada se razvojne razine mijenjaju u različitim stadijima istog zadatka pa vođa usred projekta mora mijenjati stil vodstva.

Načela situacijskog pristupa vodstvu mogu se primijeniti na svim razinama u suvremenim organizacijama, od glavnog direktora do najniže razine.

2.5. Transformacijsko vodstvo

Northouse kaže kako je transformacijsko vodstvo dio paradigme „Novog vodstva“ koje više pozornosti pridaje karizmatičnim i emocionalnim elementima vodstva. Naglašava se intrinzična motivacija i razvoj sljedbenika. Ovakav način vodstva odgovara suvremenim radnim skupinama koje žele da ih se motivira i osnaži za uspjeh u vrijeme nesigurnosti. Transformacijsko je vodstvo proces koji mijenja ljude, a uključuje emocije, vrijednosti, etiku, norme i dugoročne ciljeve, kao i procjenu motiva sljedbenika, zadovoljenje njihovih potreba i postupanje prema sljedbenicima kao jedinstvenim ljudskim bićima. Transformacijsko vodstvo uključuje izniman oblik utjecaja koji potiče sljedbenike da postiču više od onoga što se od njih očekuje. To je proces koji često uključuje karizmatsko i vizionarsko vodstvo [1].

Prema Burnsu [1] postoje dva tipa vodstva: transakcijsko (odnosi se na većinu modela vodstva koji se usmjeravaju na razmjene između vođa i njihovih sljedbenika, npr. kad menadžeri zaposlenicima koji nadmaše svoje ciljeve nude promaknuće) i transformacijsko (proces u kojem osoba surađuje s drugima i stvara povezanost koja podiže razinu motivacije i morala i kod vođe i kod sljedbenika; vođa se brine o potrebama i motivima sljedbenika i pokušava im pomoći u ostvarenju njihovih ciljeva; primjer je Mahatma Gandhi koji je izazivao nadu i postavljao zahtjeve za milijune svojih ljudi i u tom se procesu i sam mijenjao; ili menadžer koji pokušava promijeniti korporacijske vrijednosti svoje tvrtke kako bi odražavale opće ljudske vrijednosti pravednosti i poštenja).

Bass razlikuje nešto što naziva pseudotransformacijsko vodstvo [1] koje se odnosi na vođe koji su skloni samouništenju, iskorištavanju drugih, usmjereni na moć i iskrivljenih moralnih vrijednosti (Adolf Hitler, Saddam Husein). Ovo vodstvo je personalizirano vodstvo usmjereno na osobne interese vođe.

Northouse ističe kako je karizmatično vodstvo koje opisuje House slično, ako ne i jednako, transformacijskom vodstvu. Prema Weberu karizma je posebno obilježje ličnosti koje osobi daje nadljudsku ili iznimnu moć, rezervirano za nekolicinu, božanskog podrijetla, a rezultira time da se prema osobi postupa kao prema vođi [1]. Tabela 2. prikazuje obilježja ličnosti, ponašanja i učinke na sljedbenike kod karizmatičnog vodstva prema Houseu.

Tabela 2. Obilježja ličnosti, ponašanja i učinci na sljedbenike kod karizmatičnog vodstva [1]

OBILJEŽJA LIČNOSTI	PONAŠANJA	UČINCI NA SLJEDBENIKE
dominantni	predstavljaju snažan uzor	povjerenje u vođinu ideologiju
imaju želju za utjecajem	pokazuju kompetentnost	sličnost uvjerenja vođe i sljedbenika
samouvjereni	postavljaju ciljeve	neupitno prihvaćanje
imaju snažne vrijednosti	postavljaju visoka očekivanja izražavaju samouvjerenost pobuđuju motive	privrženost vođi poslušnost poistovjećivanje s vođom emocionalna uključenost zahtjevniji ciljevi povećana sigurnost

Shamir, House i Arthur revidirali su Houseovu teoriju i pretpostavili da karizmatično vodstvo kod sljedbenika preoblikuje pojam o sebi te da identitet sljedbenika nastoji povezati s kolektivnim identitetom organizacije. Ta veza jača time što vođe naglašavaju intrinzične nagrade posla i umanjuju vrijednost ekstrinzičnih nagrada. Sljedbenici rad počinju doživljavati kao izraz njih samih. Vođe iskazuju visoka očekivanja od njih i pomažu im razviti osjećaj sigurnosti i samoučinkovitosti [1].

Kada se govori o karizmi Yukl navodi i neke negativne posljedice takvog stila vođenja. Npr., sljedbenici mogu davati manji broj prijedloga zbog strahopoštovanja prema vođi, nisu skloni kritizirati vođu zbog želje za prihvaćanjem, kod njega stvaraju deluziju nepogrešivosti, pretjerano samopouzdan vođa postaje slijep za prave opasnosti, organizacijsko učenje se smanjuje zbog nijekanja problema i neuspjeha, rizični grandiozni projekti imaju veću vjerojatnost da ne uspiju, preuzimanje svih zasluga za uspjeh odbija neke ključne sljedbenike, impulzivno netradicionalno ponašanje stvara i neprijatelje, ovisnost o vođi inhibira razvoj kompetentnih nasljednika što može dovesti i do krize vođenja [4].

Bass je također revidirao teoriju transformacijskog vodstva. Više se posvetio emocionalnim elementima i podrijetlu karizme te istaknuo da je karizma nužan, ali ne i dovoljan uvjet za transformacijsko vodstvo. Prema njemu transformacijsko vodstvo motivira sljedbenike da učine više od očekivanog jer povećava njihovu svjesnost o važnosti i vrijednosti određenih i idealiziranih ciljeva, pomaže sljedbenicima da prevladaju svoje osobne interese u ime tima ili organizacije, i usmjerava sljedbenike na rješavanje potreba više razine [1].

Model transformacijskog i transakcijskog vodstva [1] uključuje 7 različitih čimbenika prikazanih u tabeli 3.

Tabela 3. Čimbenici vodstva [1]

TRANSFORMACIJSKO VODSTVO	TRANSAKCIJSKO VODSTVO	LAISSEZ-FAIRE VODSTVO
<p>1. čimbenik idealizirani utjecaj</p> <p>karizma</p>	<p>5. čimbenik dogovorne nagrade</p> <p>konstruktivne transakcije</p>	<p>7. čimbenik laissez-faire</p> <p>netransakcijsko</p>
<p>2. čimbenik inspirativna motivacija</p>	<p>6. čimbenik korektivno upravljanje</p>	
<p>3. čimbenik intelektualno poticanje</p>	<p>aktivno i pasivno</p>	
<p>4. čimbenik individualizirani pristup</p>	<p>korektivne transakcije</p>	

Idealizirani utjecaj ili karizma podrazumijeva da se sljedbenici poistovjećuju s vođama i žele ih oponašati, a vođe imaju visoke standarde moralnog i etičnog ponašanja. Kod inspirativne motivacije vođe sljedbenicima prenose visoka očekivanja i motiviraju ih da budu predani i rade na ostvarenju zajedničke vizije organizacije te se tako jača timski duh. Intelektualno poticanje podrazumijeva poticanje sljedbenika na kreativnost i promjene te propitivanje uvjerenja i vrijednosti (vlastitih, vođinih i organizacijskih). Individualizirani pristup znači da vođe pružaju podržavajuće ozračje u kojem pažljivo slušaju pojedinačne potrebe sljedbenika. Dogovorna nagrada je proces razmjene između vođa i sljedbenika u kojem se napor sljedbenika razmjenjuju za određene nagrade. Korektivno upravljanje uključuje korektivne kritike, negativne povratne informacije i negativno potkrepljenje. Ima dva oblika: aktivno (vođa promatra sljedbenike kako bi uočio pogreške ili kršenja pravila i nakon toga poduzima korektivne postupke) i pasivno (vođa se uključuje nakon što nisu zadovoljene norme ili se pojave problemi). Netransakcijski čimbenik odsustva vodstva (laissez-faire vodstvo) zapravo znači da vođa koristi pristup „dižem ruke, neka stvari idu svojim tokom“, odbacuje odgovornost, odgađa odluke, ne daje povratne podatke i ne trudi se pomoći sljedbenicima u zadovoljenju njihovih potreba.

U suvremenim organizacijama svakako je poželjnije koristiti transformacijsko, a ne transakcijsko vodstvo jer transformacijsko vodstvo rezultira većim učincima nego transakcijsko. Transakcijsko vodstvo rezultira očekivanim ishodima, a ishodi transformacijskog vodstva nadilaze očekivano. Vođa koji u suvremenim organizacijama koristi transakcijsko vodstvo ne pristupa potrebama svojih podređenih individualno i nije usmjeren na njihov osobni razvoj. Vođa koji primjenjuje transformacijsko vodstvo na svoje sljedbenike, odnosno na zaposlenike u organizaciji djeluje tako da ih potiče da ostvare svoj puni potencijal, da postignu i više od onoga što se od njih očekuje, te oni postaju motivirani da nadiđu vlastite interese za dobro svoje organizacije. Primjenom ovog pristupa vodstvu u organizacijama se stvara ozračje suradnje. To je iznimno poželjno jer

organizacija tako kroz uključivanje zaposlenika u sve važnije aktivnosti ostvaruje svoj maksimum učinkovitosti.

Laissez-faire vodstvo, odnosno odsustvo vodstva, najnepoželjnija je situacija koja se može dogoditi u suvremenim organizacijama. U toj situaciji vođa uopće ne pomaže sljedbenicima u njihovu razvoju. Kao primjer može poslužiti top menadžer proizvodne organizacije koji ne komunicira s voditeljima proizvodnje, ne saziva sastanke, nema dugoročan plan za organizaciju i malo kontaktira s nižom razinom rukovođenja.

2.6. Teorija puta do cilja

Teorija puta do cilja usmjerena je na to kako vođe motiviraju podređene za ostvarenje postavljenih ciljeva. Cilj ove teorije je povećati uspješnost i zadovoljstvo zaposlenika usmjeravajući se na njihovu motivaciju, a temeljna postavka proizlazi iz teorije očekivanja prema kojoj će podređeni biti motivirani ako misle da su sposobni izvesti zadatak, ako vjeruju da će njihovi napori rezultirati sigurnim ishodom i ako vjeruju da su nadoknade za njihov trud vrijedne truda. Vođa ovdje mora primijeniti stil vodstva koji najbolje odgovara motivacijskim potrebama zaposlenika, što se postiže izborom ponašanja koja nadopunjavaju ono što nedostaje u radnom okruženju [1].

Prema Houseu i Mitchellu vodstvo povećava motivaciju kada povećava broj i kvalitetu rezultata koje podređeni primaju iz svog rada, kada podučavanjem i usmjeravanjem pojašnjava i olakšava put do cilja, kada uklanja prepreke za postizanje cilja te kada olakšava posao zaposlenicima [1].

Prema Northousu, osnovne sastavnice teorije puta do cilja su:

1. ponašanje vođe:

- usmjeravajuće vodstvo – vođa podređenima daje upute o njihovom zadatku, uključujući što se od njih očekuje, kako to treba ostvariti i vremenski rok do kada to treba obaviti
- podržavajuće vodstvo – sastoji se od prijateljskog i pristupačnog odnosa vođe (prema podređenima se ponaša kao prema sebi jednakima), uključuje brigu za dobrobit i ljudske potrebe podređenih
- surađujuće vodstvo – podređeni su pozvani na sudjelovanje u odlučivanju, vođa se s njima savjetuje, prikuplja njihove ideje i mišljenja te uključuje njihove prijedloge i odluke o radu skupine ili tvrtke
- vodstvo usmjereno na postignuće – vođa izaziva podređene na obavljanje posla na najvišoj mogućoj razini, postavlja im visoke standarde izvrsnosti i traži stalna poboljšanja, ali pokazuje i visok stupanj sigurnosti u sposobnost podređenih za postavljanje i ostvarivanje izazovnih ciljeva

- ### 2. obilježja podređenih
- određuju kako će oni tumačiti ponašanja vođe u danom radnom okruženju, odnosno stupanj u kojem podređeni u ponašanju vođe pronalaze neposredan izvor zadovoljstva ili ga vide kao sredstvo za neko buduće zadovoljstvo:

- potreba za pripadanjem – podređeni su skloniji podržavajućem vodstvu jer je prijateljsko i zainteresirano vodstvo izvor zadovoljstva
- potreba za strukturom – podređeni su skloniji usmjeravajućem vodstvu zato što ono pruža psihološku strukturu i jasnoću zadatka
- želja za nadzorom – za podređene unutarnjeg lokusa nadzora (vjeruju da su oni odgovorni za ono što im se događa u životu) najprimjerenije je surađujuće vodstvo koje im omogućuje osjećaj odgovornosti za vlastiti posao i sudjelovanje u odlučivanju, a za podređene vanjskog lokusa nadzora (vjeruju da životne događaje određuju slučaj, sudbina ili vanjske sile) najprimjerenije je usmjeravajuće vodstvo jer prati osjećaj podređenih da vanjske sile nadziru okolnosti u kojima se nalaze
- samopercipirana razina sposobnosti za zadatak – kako među podređenima raste percepcija vlastitih sposobnosti, znanja i vještina, tako se potreba za usmjeravajućim vodstvom smanjuje

3. obilježja zadatka:

- dizajn zadatka podređenih – jasno određeni zadaci čine vodstvo nepotrebnim, a oni koji su nejasni i neodređeni traže vođu koji pruža strukturu
- formalni sustav autoriteta u poduzeću – ako je snažan, podređeni će sami naći put željenim ciljevima; ako je slab, vodstvo postaje oruđe koje pomaže podređenima tako što pojašnjava pravila i zahtjeve posla
- primarna radna skupina podređenih – kod snažnih grupnih normi nema tolike potrebe za vodstvom; kad su grupne norme slabe ili nepodržavajuće, vodstvo pomaže u izgradnji kohezije i odgovornosti uloge

4. motivacija [1]

Prema teoriji puta do cilja, kako bi bili uspješni, vođe u suvremenim organizacijama moraju svoj stil vodstva prilagoditi situaciji, odnosno obilježjima podređenih u radnom okruženju. U različitim situacijama (različita obilježja zadatka) ili s različitim podređenima vođe mogu upotrijebiti bilo koji ili sva četiri stila spomenuta u ovoj teoriji. Važno je da vođa u suvremenoj organizaciji zadovolji potrebe svojih podređenih. On im mora pomoći da definiraju svoje ciljeve, brinući o tome da isti budu realni, mjerljivi, objektivni, izazovni i operativni, te da njihovi pojedinačni ciljevi budu usklađeni s glavnim ciljevima organizacije. Vođa podređenima mora pomoći i prilikom određivanja puta kojim će doći do definiranih ciljeva. Ako se na njihovom putu pojave prepreke, uspješan vođa pomoći će im da se s njima suoče i otklone ih.

Nedostatak primjene ove teorije s aspekta suvremenih organizacija leži u tome što je vodstvo ovdje jednosmjerni događaj u kojem vođa djeluje na podređene. Zbog toga postoji mogućnost da podređeni razviju pretjeranu ovisnost o vođi što se tiče posla i ne izvršavaju zadatke samostalno u onoj mjeri u kojoj bi trebali, zbog čega ni njihove pune sposobnosti ne dolaze do izražaja.

2.7. Noviji stilovi vodstva

Uz opisane pristupe vodstvu u posljednjih nekoliko godina pojavilo se nekoliko novih stilova vodstva koji odgovaraju današnjim situacijama u suvremenim organizacijama, uključujući već spomenuto transformacijsko vodstvo. Naglasak se u organizacijama stavlja na stilove vodstva koji se temelje na uključivanju zaposlenika i davanju slobode da svoje sposobnosti koriste kako najbolje znaju. Takva vrsta vodstva razlikuje se od one u prošlosti, u velikoj mjeri usredotočene na kontroliranje ljudi i radnog procesa. Pregled novijih stilova vodstva prema Weihrichu i Koontzu [6] bit će u nastavku.

Trening je stil vodstva u kojem se sljedbeniku daju upute kako da vlada posebne organizacijske izazove na koje nailazi. Vođa ima ulogu sličnu onoj sportskog trenera, prepoznajući neodgovarajuće ponašanje sljedbenika i predlažući im načine popravka istog. Neki od poželjnih oblika ponašanja trenera su sljedeći: pažljivo sluša (pokušava prikupiti i izrečene činjenice i emocije koje se iza njih skrivaju), daje emocionalnu potporu (ohrabruje sljedbenike, a cilj je motiviranje zaposlenika da učine sve u njihovoj moći za zadovoljenje visokih zahtjeva uspješne organizacije) i vlastitim primjerom pokazuje željene oblike ponašanja (pokazivanjem stručnosti u rješavanju problema zadobiva povjerenje i poštovanje sljedbenika).

Supervodstvo podrazumijeva vodstvo drugih pokazivanjem kako da vode sami sebe. Takvi vođe oblikuju proizvodne, samostalne sljedbenike na koje kasnije trebaju obratiti minimalnu pozornost. Sljedbenici uče razmišljati samostalno i uče postupati konstruktivno i neovisno, potiče ih se na odbacivanje negativnih razmišljanja i uvjerenja o tvrtki i kolegama te na prihvaćanje pozitivnih i konstruktivnih uvjerenja. Vođa im također gradi samopouzdanje uvjeravajući ih da su sposobni, imaju znatni potencijal i mogu se nositi s izazovima zahtjevnih radnih situacija.

Vodstvo služenjem podrazumijeva da vođe svojom primarnom ulogom smatraju pomaganje sljedbenicima u potrazi za ostvarivanjem osobnih potreba, težnji i interesa, dok ostvarenje vlastitih potreba, težnji i interesa smatraju sekundarnim. Svojom glavnom zadaćom smatraju brigu o ljudskim potencijalima organizacija, težeći pretvaranju sljedbenika u mudrije i neovisnije jedinice. Odluke koje često imaju vođe sluge su sljedeće: dobri su slušatelji (pomaže im kod točnijeg definiranja ključnih čimbenika sljedbenikovih potreba, težnji i interesa i pomoći sljedbenicima kod ostvarenja istih), uvjerljivi su (ne koriste se autoritetom, već se usredotoče na to da uvjere sljedbenika u aktivnost koju treba provesti), svjesni su okruženja (znaju koji bi čimbenici mogli sljedbenicima predstavljati prepreku u zadovoljavanju njihovih potreba, težnji i interesa te poduzimaju korake da ih uklone), empatični su (intelektualno se poistovjećuju s osjećajima, razmišljanjima i stavovima sljedbenika kad im pomažu riješiti problem) i skrbnici su (smatraju se skrbnicima ljudskih potencijala organizacije i odgovornima za pomaganje članovima organizacije da povećaju vlastiti potencijal).

Poduzetničko vodstvo temelji se na stavu da je vođa poduzetnik – vođa se ponaša kao da igra ključnu ulogu u organizaciji, kao da preuzima rizik gubitka novca, ali će ostvariti udio u dobiti ako je bude i svakoj grešci pristupa kao da je značajna te je kao takvu neutralizira.

3. ZAKLJUČNE NAPOMENE

S vremenom su se razvili različiti pristupi vodstvu. Svaki od tih pristupa ima svoje prednosti i nedostatke. Ne postoji „idealni“ pristup koji bi dao jedinstvenu formulu za uspješno vođenje.

U suvremenim organizacijama vođa se može smatrati uspješnim ako vodstvo ostvaruje prije svega pomoću moći stručnosti. Na temelju svojih sposobnosti, osobito sposobnosti rješavanja problema, sposobnosti socijalne prosudbe i vlastitog znanja, vođa dokazuje da je s pravom izabran za vođu. Iznimno je važno da vođa ima jasnu viziju budućeg razvoja organizacije i da tu viziju uspješno prenosi na svoje sljedbenike, odnosno na podređene. Naime, kad organizacija ima jasnu viziju, ljudima u organizaciji lakše je shvatiti kako se oni uklapaju u opći smjer u kojem se organizacija kreće. To ih osnažuje jer se osjećaju važnim dijelom organizacije.

S obzirom na stalne promjene u dinamičnom okruženju suvremenih organizacija, uspješan vođa mora biti svjestan važnosti cjeloživotnog obrazovanja i mora težiti stalnom usavršavanju, kako vlastitom, tako i svojih sljedbenika, odnosno podređenih. Svako ulaganje u obrazovanje u organizaciji potrebno je promatrati kao njenu najvažniju investiciju, a nikako kao trošak.

Vođa u suvremenoj organizaciji trebao bi u svom vodstvu primijeniti neka načela modernog menadžmenta, poput usmjerenosti na kupca, procesnog i sustavnog pristupa, stalnog poboljšanja, timskog rada, donošenja odluka na temelju stvarnih činjenica te njegovanja partnerskog odnosa s dobavljačima.

Vođa također mora imati razvijen osjećaj za moral i etiku. Uspješni vođe često imaju snažno izraženu karizmu, zbog čega se u suvremenim organizacijama javlja opasnost da će ta karizma i sposobnost utjecaja na podređene biti iskorišteni u destruktivne svrhe.

Prilikom biranja odgovarajućeg pristupa vodstvu vođa mora biti svjestan međusobnog djelovanja čimbenika vezanih uz njega kao osobu, čimbenika vezanih uz njegove sljedbenike, kao i čimbenika vezanih uz situaciju u kojoj mora voditi. Nakon što su svi čimbenici razmotreni, vođa se može odlučiti koji će pristup upotrijebiti na svojim sljedbenicima kako bi ishod bio najpovoljniji za njega, njegove sljedbenike i organizaciju u cjelini. Uspješan vođa mora se znati prilagoditi različitim situacijama i potrebama svojih sljedbenika, kako vezano uz različite zadatke koji su stavljeni pred organizaciju, tako i tijekom rješavanja pojedinih zadataka.

4. LITERATURA

- [1] Northouse, P. G.: Vodstvo: teorija i praksa, „Mate“, Zagreb, 2010.
- [2] Certo, S. C.; Certo, S. T.: Moderni menadžment, 10. izdanje, „Mate“, Zagreb, 2008.
- [3] Kets de Vries, M.: Tajna vodstva: ponašanje vođa u poduzetništvu, Profil International, Selectio, Zagreb, 2009.
- [4] Yukl, G. A.: Rukovođenje u organizacijama, Naklada Slap, Jastrebarsko, 2008.
- [5] Dubljević, M.; Galeković, S.; Obradović-Dragišić, G.: Žene i vođenje, CESI, Zagreb, 2006.
- [6] Wehrich, H.; Koontz, H.: Menadžment, „Mate“, Zagreb, 1998.

Kontakt autora:

Maja Gotal, mag.prim.educ.

Veleučilište u Varaždinu

J. Križanića 33

42000 Varaždin

maja.gotal@velv.hr

STUDENTSKI PODUZETNIČKO-TEHNOLOŠKI INKUBATOR U BJELOVARU

STUDENT ENTREPRENEURIAL-TECHNOLOGICAL INCUBATOR IN BJELOVAR

Tatjana Badrov, Tomislav Pavlic, Božidar Hršak

Pregledni rad

Sažetak: *Prema Statutu Visoke tehničke škole u Bjelovaru [1], jedna od djelatnosti ustanove je promicanje novih tehnologija, inovacija i poduzetništva. S ciljem poticanja razvoja poduzetničkih vještina i inovativnosti studenata, Visoka tehnička škola u Bjelovaru osnovala je Studentski poduzetničko-tehnološki inkubator Bjelovar (u nastavku: Studentski inkubator).*

Ključne riječi: *elektrostrojarski laboratorij, studentski inkubator, poduzetništvo, nove tehnologije*

Review article

Abstract: *According to the Statute of the Technical College in Bjelovar [1], one of the institution's activities is to promote new technologies, innovations and entrepreneurship. With the aim to foster development of entrepreneurial skills and innovativeness of students, Technical College in Bjelovar has founded the Student Entrepreneurial-technological Incubator Bjelovar (hereinafter: student incubator).*

Key words: *Electro-mechanical laboratory, student incubator, entrepreneurship, new technologies*

1. INTRODUCTION

For the purpose of encouraging the entrepreneurial skills and innovativeness in students, on February 9, 2010 the Management Board of the Technical College in Bjelovar passed the Decision on Launching Projects and the Establishment of the Student Entrepreneurial-Technological Incubator at the Technical College in Bjelovar. The realization was initiated based on an agreement between Technical College in Bjelovar and the Local Development Agency Poslovni Park Bjelovar d.o.o.

The purpose of the project is the preparation of students for working in entrepreneurial environment and providing conditions for the development of projects based on knowledge and contemporary technologies, connecting with the economy, development of technological projects based on the needs of industry and the production and entrepreneurial sector in Bjelovar and its region. The idea related to the development of entrepreneurial skills in the technical area was also recognized by the Ministry of Economy, Labour and Entrepreneurship. Technical College had applied for the call for proposals "Education for Entrepreneurship 2010" and proposed the project of establishing the Student Incubator. The Ministry accepted it and co-financed the procurement of equipment and basic means.

The justifiability of the project and investment into the further development of the student incubator was also acknowledged in the Strategy of the Economic Development of the Town of Bjelovar 2011-2015, where the development of the incubator is recognized as one of

the measures for developing and upgrading the conditions for entrepreneurship development [2].

Upon meeting basic requirements, Technical College has continued to encourage students' innovativeness and has invested additional means into equipment. In 2012 the Ministry of Entrepreneurship and Crafts co-financed further development of incubator activities: incubator rooms was equipped with equipment and devices necessary for project realization of training companies, several process-production projects related to material testing and measurement were initiated, three business plans for the implementation of new technologies in the economy were made, and Student Incubator accessed the Student Entrepreneurship Incubator Network.

Students' interest, more intensive presence at entrepreneurs' and innovators' meetings fostered the need for further development of material and spatial conditions for the development of innovative entrepreneurship. In September 2013 the Town of Bjelovar, Technical College in Bjelovar and the Local Development Agency initiated the establishment of the Technological Park Bjelovar, the purpose of which is to provide the conditions for the development of entrepreneurship in the technical and technological environment.

2. STUDENT INCUBATOR ACTIVITIES WITHIN THE ELECTRO-MECHANICAL LABORATORY

Increased competition on the market allows for customers to have specific requests towards the producer

[3]. Student incubator was developed as a system of training companies that operate with the support of the electro-mechanical laboratory. Their task is to develop flexible technical and technological products that meet market demands by a higher level of machine automation, modular machine concepts and additional contents, such as robotized flexible assembly and production systems, CAD/CAM systems without which a more complex machine processing is today hard to imagine. This paper includes the description of some companies that have been developed within the student incubator: ROBOTIC d.o.o., AUTOMATIC d.o.o. and CAD/CAM PRO d.o.o. The companies were named according to the area related to their operation.

This idea is used to encourage interested students of Mechatronics to develop projects that might be interesting on the market.

The electro-mechanical laboratory provides the student incubator with material and technical conditions, and is equipped with the following systems:

- Computers with the Siemens Sinumerik Operate software (ShopMill, ShopTurn);

Enabling the computers to work with virtual versions of control units of CNC machines (Figure 1), Siemens Sinumerik units (Figure 2).



Figure 1. ShopTurn and ShopMill interface [4]

The laboratory is equipped with a control cabinet with an installed Siemens Sinumerik 840Dsl. control unit and a three-axes CNC turning machine (Figure 3).

The equipment will be used for real testing of machine processing (milling and turning), programmed on 16 virtual units Sinumerik Operate.



Figure 2. Sinumerik Operate workplace [4]

- Control cabinet with an installed Siemens Sinumerik 840Dsl. control unit [3];

This didactic training device is used for training in the construction of new CNC machines or in retrofit of old machines (Figure 3). Drive units for four servo axes and an input/output card for collecting external information are used. The control unit supports the turning (ShopTurn) and milling (ShopMill) functions. It is used for controlling a three-axes CNC milling machine (Figure 3).



Figure 3. Control cabinet and three-axes milling machine [4]

- Three-axes CNC milling machine;

A machine with three translational axes has been developed [4]. Axes' movement was obtained by means of trapezoidal thread spindles. Axes are driven by servo motors. Simultaneous movement of three axes and the control of the main spindle are carried out by the Sinumerik 840 Dsl control system (Figure 3). Classical machine was transformed into a CNC machine of exceptional performances. Drive motors of the main spindle are equipped with encoders. The next logical phase in the work of companies ROBOTIC d.o.o., AUTOMATIC d.o.o., CAD/CAM PRO d.o.o. refers to adding the fourth and the fifth simultaneous axis. The next, preparatory phase refers to the realization of automated tool exchange, clamping work pieces by pneumatic and/or vacuum, and the implementation of sensors for controlling the length of tools for material-removal processing.

- Two-axes CNC lathe;

The automation of a conventional lathe by means of a PC-based Mach3-Lathe system. The company CAD/CAM PRO d.o.o. has purchased a conventional two-axes lathe in a very bad state. The conventional lathe was transformed into a CNC machine with two simultaneous axes. In order for this to be possible, and due to the lack of adequate machine documentation, it was necessary to create new, complete documentation of the machine. Step motors on two axes were installed (Figure 4).

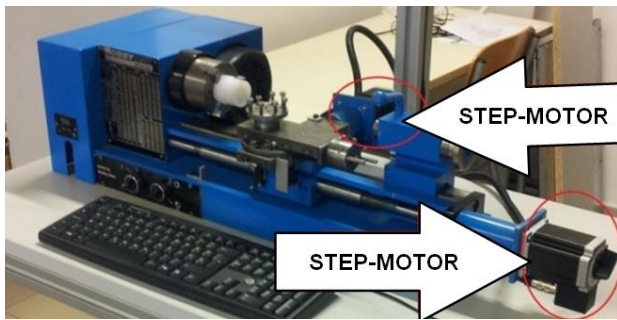


Figure 4. Installed step motors on the lathe [4]

The main spindle is not controlled by a computer, but this option exists. Mechanical end-switches were installed, which serve for referencing the machine and as protection against uncontrolled movements of the machine. The automation of the conventional lathe is currently carried out by means of the PC-based Mach3-Lathe CNC system (Figure 5).

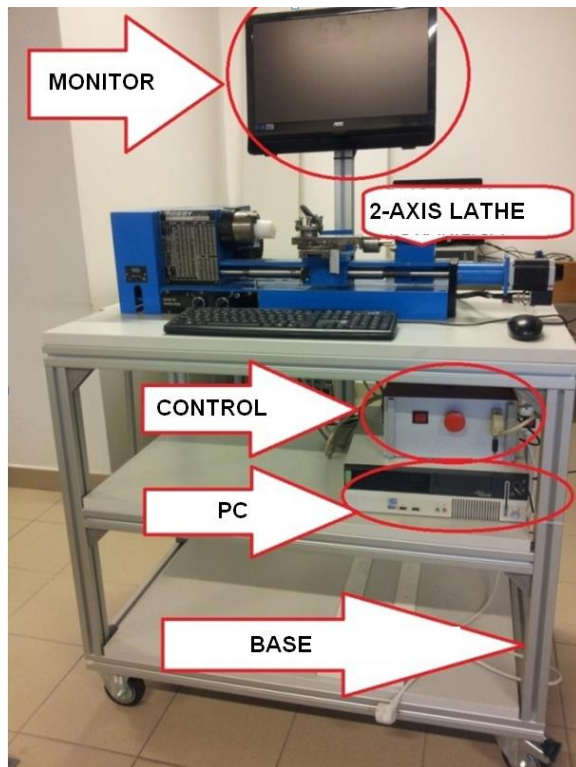


Figure 5. Mach3-Lathe CNC system [4]

- TTT manipulator;

The automation of the manipulator by means of the S7-200 system and computer visualization. Companies ROBOTIC d.o.o. and AUTOMATIC d.o.o. carried out the design and automated a TTT-manipulator, which was designed and constructed by the company CAD/CAM PRO d.o.o. A driver sets step motors and electromagnetic valves of the pneumatic system in motion, while feedback information is collected by mechanical end-switches (Figure 6).



Figure 6. TTT manipulator [4]

- Computers with the Siemens software (MicroWin, WinCC Flexible, TIA-Portal);

Enabling computers for working with Siemens Simatic PLC devices, by means of which further projects based on this technology shall be realized.

- Cart with a positioning system;

Automated cart positioning by means of the S7-200 system and visualization on the TP177B touch panel. Asynchronous drive motor 125 W is driven by the Sinamics frequency inverter of appropriate power, while feedback information is collected by end-switches of cart position.

- Solar tracker;

Automated positioning of a solar tracker by using a micro-controller assembly, along with the reception preparation of the external reference of positions. Step motors are driven by a driver, and feedback information is collected by mechanical end-switches and incremental electronic encoders.

- Pumping station;

Automated control of station pumps for increasing the level of water in the system. DC motors are driven by relays, and feedback information on water levels in the model is realized by mechanical end-switches.

3. TRAINING COMPANIES WITHIN THE STUDENT INCUBATOR

Training companies that are to be developed within the Student Incubator are described in the text to follow. For each company the focus of its work is described, as well as their possible connection with companies that successfully operate in the Bjelovar-Bilogora County, Koprivnica-Križevci County and neighboring counties, which use technologies that are to be dealt with by companies in the incubation process. Furthermore, the procedure of implementing a concrete problem from the industry into classes within the Professional Study of Mechatronics will be described on the example of cooperation with production companies that constructed the parts of TTT-manipulator, making contacts with suppliers of equipment that is not produced in Croatia (pneumatic grabbers, directional valves, motors, PLC etc.). TTT-manipulator is the project that connects the "companies" ROBOTIC d.o.o. and AUTOMATIC d.o.o. The focus of the activity was put on independent work of senior year students. Students contacted suppliers etc. The objective of this approach is to make students more adaptable to the real sector upon finishing their studies and prepare them for challenges that they can expect to face in their everyday work: late delivery of equipment, wrong items being delivered, wrong parts being made etc. In the text to follow objectives of training companies are described.

3.1 Robotic d.o.o.

The objective of this training company is the implementation of robotic manipulators for industrial application. The necessary equipment for the realization of activities is a 6-axes robot, pneumatic gripper for receiving and manipulation of work pieces and welding equipment for MIG/MAG welding. In the student incubator interested students shall acquire practical knowledge about the options of robotized production, especially in the area of welding, as 95% of installed industrial robots in the world work on welding, which is one of the most demanding and complex processes.

In Bjelovar and its surroundings there are several tens of companies that would upgrade their development by applying this technology. The development of experts who will, within the student incubator, be prepared for being included in the production of the existing or initiation of new production plants and trained for installing and maintenance of equipment justifies the purpose of the training company. In the student incubators students will work on examining technical characteristics and use-related efficiency of equipment, connecting robotic manipulators by means of PLCs with CNC process machines, work piece positioning devices, and including them into the process industry. Student Incubator provides the prerequisites for this activity: 30 computers were equipped with the CAD tool SolidWorks 2011, which is 100% compatible to the ABB Robot Studio and assures the conditions for the preparation of projects and develops team approach: project planning, production preparation, realization

plan, responsibility of team members, realization and achievements tracking. Future young entrepreneurs will be able to discuss a set topic in interest groups, exchange their experiences, while mentors will answer their questions and direct their students.

Such form of education and working with young people provides future entrepreneurs with better competitiveness on the added-value service market. The existing software support allows for programming robot trajectory, quality check by virtual simulation and testing the quality of the programmed process.

3.2 CAD/CAMPro d.o.o.

The objective of this training company is providing students with skills necessary for undertaking entrepreneurial activities directed towards the implementation of CAD/CAM technology. According to previous analyses, there are around ten companies in Bjelovar and its surroundings that use one or both tools, and preparing students for working with these tools will assure competent workforce for the development of the production sector.

Upon the preparation of machining in CAD/CAM packages SolidWorks and SolidCAM, the simulation of machining using program packages Siemens SinuTrain ShopMill/ShopTurn follows. The next step is programming on the CNC control unit Sinumerik 840D sl, with the supporting automation equipment, which may be used for equipping every conventional machine and transform it into a CNC machine. By taking this step students will be prepared for entrepreneurial activities that are to follow: from selecting necessary machines to programming of machines. Programming of CNC machines is a component of the study program in Mechatronics at the Technical College in Bjelovar. Within the student incubator students will additionally learn how to apply and control CNC machines and adapt to project needs.

3.3 Automatic d.o.o.

The objective of the training company is the implementation of programmable logic controllers (PLC) for the industrial application. Students will work on testing of technical characteristics and use-related efficiency of equipment, devices and smaller machines in the process industry. Students interested for gaining additional knowledge in automatics will be provided with skills necessary for creating cost-efficient solutions and acquire competences for future entrepreneurial activities of implementing automatics in production activities. The second part of the space is foreseen for students' independent work on projects. Seven workplaces are equipped with computers. Students will be able to discuss a set topic in interest groups, exchange their experiences, while mentors will answer their questions and direct their students. Technical College in Bjelovar purchased a part of the equipment for the automation of the S7-200 series and a new set of equipment for the automation of the S7-1200 series. It is planned to use this equipment for the purpose of projects that are current and

applicable in the production structure of the environment in which Technical College in Bjelovar operates. A characteristic product of the company is the robotic TTT (translation-translation-translation) manipulator, which is a sort of a robot that achieves three translations. Up to now, the project of a three-axes translational manipulator, controlling the motor spin speed by a frequency inverter 1.5 kW using S7-200 and controlling the speed by a frequency inverter 125 W using S7-1200 has been completely carried out. Two projects are currently in the process of development using S7-1200: a two-axes solar tracker and industrial flexible manipulation drive with belt conveyors and robotic arms, along with which the implementation of a completed TTT manipulator as a modular machine in a continually managed production process will be presented as well.

4. CONCLUSION

The described projects allow students to become included in the economy by setting up private companies upon finishing their studies [5]. For the purpose of improving the quality of the study program and preparing students to work in real sector by using equipment and machines, it is necessary to provide a part of automation and peripheral equipment that will upgrade the system to a higher level. As Technical College in Bjelovar possesses the required software for the creation of solutions of industrial plants, the next step refers to more advanced PLC devices (S7-300 and S7-400) and computers that will be connected with each of the systems implemented up to now. Such solutions will make it possible to conduct scientific measurements and experiments by using professional projects, according to the idea of upgrading scientific models. An example of such upgrading of scientific models is the simulation of a three-axes CNC machine on a three-axes TTT manipulator and upgrading the model of solar tracking or recording the production of electric energy by a two-axes solar tracker, based on the results of optimized production. All of this combined is going to increase the competitiveness of Croatian products, but also the value of young entrepreneur in the market race.

5. REFERENCES

- [1] Statute of the Technical College in Bjelovar, page 6, http://vtsbj.hr/images/uploads/STATUT_VISOKE_TEHNI%20C4%8CKE_%20C5%A0KOLE_U_BJELOV ARU.pdf (Available on 30.10.2013)
- [2] The Strategy of the Economic Development of the Town of Bjelovar 2011 – 2015
http://www.bjelovar.hr/download/vazniji_dokumenti/opci_dokumenti/Strategija_gospodarskog_razvoja_ grada_Bjelovara_2011_2015.pdf (Available on 15.10.2013)
- [3] Pavlic, T.: Projecting postprocessors for five-axis machining, Thesis, University of Zagreb, FSB, 2009
- [4] Pavlic, T.: projects carried out in the electro-mechanical laboratory of the Technical College in Bjelovar, 2012
- [5] Pavlic, T.; Golubić, S.; Lukas, M.: Development of electromechanical engineering students entrepreneur-technological incubator at Bjelovar, 14th International scientific conference on production engineering–CIM2013, Biograd, 2013, pp. 127-133

Contact:

mr.sc. Tatjana Badrov

Technical College in Bjelovar
Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
098/296-211, tbadrov@vtsbj.hr

Tomislav Pavlic, mag.ing.mech.

Technical College in Bjelovar
Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
098/1626-988, tpavlic@vtsbj.hr

Božidar Hršak, mag.ing.mech.

Technical College in Bjelovar
Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
042/241-185, bharsak@vtsbj.hr

SUKLADNOST TEHNIČKIH PROIZVODA I CE ZNAK

CONFORMITY OF TECHNICAL PRODUCTS AND THE CE SIGN

Krešimir Buntak, Ivana Droždek, Goran Lepen

Stručni članak

Sažetak: Zakonodavstvo Europske unije za tehničke proizvode primjenjuje se za svaki tehnički proizvod koji u postupku korištenja istog predstavlja određenu opasnost za korisnika i/ili okoliš. Na svaki tehnički proizvod može se primijeniti jedna ili više smjernica Novog pristupa, a proizvod mora zadovoljiti bitne zahtjeve primjenjivih smjernica. Proizvođač proizvod prije plasiranja na tržište EU mora ispitati, označiti ga CE znakom i tek onda ga poslati na tržište Europske unije. CE znak simbolizira da je proizvod sukladan sa svim zahtjevima smjernica Novog pristupa koje se na njega primjenjuju.

Ključne riječi: CE znak, sukladnost, zakonodavstvo, tehnički proizvod, smjernica, modul

Professional paper

Abstract: European Union legislation on technical products has to be applied on every technical product which poses a threat during its use on the user and/or the environment. One or more directives of the New Approach can be applied on a technical product, which must meet the essential requirements of applicable directives. Before placing a technical product on the EU market the manufacturer has to perform testing, apply the CE marking on the product and then place the product on the EU market. The CE sign symbolizes that the product complies with all the requirements of the New Approach Directives that apply to it.

Key words: CE sign, conformity, legislation, technical product, directive, module

1. UVOD

Kako bi olakšale međusobnu trgovinu i otvorile granice, europske se države postepeno ujedinjuju od početka 50-ih godina prošlog stoljeća te svojim proširenjem okupljaju sve više članica.

U Maastrichtu 1991. godine konačno nastaje Europska unija sa svojih 12 članica. Tek 1993. godine se uklanjaju sve prepreke u trgovini, kada počinje važiti Ugovor o Europskoj uniji i uspostavlja se jedinstveno tržište, a to je ekonomski prostor u kojem se slobodno kreću roba, usluge, kapital i radna snaga. Slobodan protok roba, usluga, kapitala i ljudi (nazivamo ih još i „četiri slobode EU“) temeljni su postulati jedinstvenog tržišta EU kojim se potiče konkurentnost poduzeća, a potrošačima omogućava veći izbor i ponuda. Zbog različitih tehničkih zahtjeva za proizvode među državama članicama, u sklopu EU postignut je dogovor o zajedničkom harmoniziranju tehničkih zahtjeva za određene grupe proizvoda koji se naziva Tradicionalni ili Stari pristup tehničkog zakonodavstva. U posljednjih dvadesetak godina intenzivira se izgradnja zajedničke pravne regulative EU pod nazivom *Community acquis*. Poseban segment unutar europskog zakonodavstva čini tehničko zakonodavstvo s harmoniziranim postupcima unutar smjernica zasnovanih na Novom i Općem pristupu, koji imaju važnu ulogu u osiguranju slobodnog protoka roba na slobodnom tržištu EU [1].

Proizvodi koje proizvođači planiraju staviti na tržište EU moraju ispunjavati osnovne zahtjeve koji su dani u harmoniziranim standardima Novog pristupa. Za proizvod koji je proizveden u skladu s harmoniziranim standardima pretpostavlja se da je sukladan odgovarajućim osnovnim zahtjevima, proizvođač ga može označiti CE znakom i staviti ga na tržište EU.

CE znak simbolizira da je proizvod sukladan sa svim zahtjevima smjernica Novog pristupa koje se na njega primjenjuju. On je obavezan za sve relevantne proizvode koji su definirani u smjernicama Novog pristupa. CE znak ne označuje porijeklo proizvoda, tj. ne upućuje na to da je proizvod proizveden u EU, već da se proizvod može staviti na tržište EU. Ujedno, CE znak nije znak za kvalitetu proizvoda, već da je isti projektiran i proizveden u skladu sa zahtjevima svih smjernica koje se na njega primjenjuju.

2. SUKLADNOST TEHNIČKIH PROIZVODA

2.1. Povijest i razvoj EU

Schumanovom deklaracijom od 9. svibnja 1950. godine, kada je predloženo osnivanje zajednice za ugljen i čelik, započeto je otvaranje granica između europskih država i ukidanje barijera u trgovini.

Rimskim ugovorima potpisanim 25. ožujka 1957. godine osniva se Europska ekonomska zajednica (EEZ), čime se stvara šire zajedničko tržište između 6 zemalja osnivača (Belgija, SR Njemačka, Francuska, Italija, Luksemburg i Nizozemska) koje obuhvaća čitav niz roba i usluga. Carinske pristojbe između zemalja članica ukidaju se 1. srpnja 1968. godine.

Zajednica se širi nekoliko puta, a ugovorom iz Maastrichta 1992. osniva se Europska unija od 12 članica. EU danas ima 28 članica, a posljednje proširenje članstva je bilo 1. srpnja 2013., kada je u punopravno članstvo primljena RH kao 28. članica EU.

Tržišna sloboda kao temelj gospodarskog ustroja i razvoja poslužila je i kao temelj na kojem počiva unutarnje tržište Europske unije. Glavni motiv njegova osnivanja bila je slobodna trgovina, kretanje ljudi, dobara, kapitala te sloboda pružanja usluga među državama članicama. To su tzv. „četiri slobode EU“.

2.2. Stari pristup

Različiti tehnički zahtjevi koje su imale pojedine države članice usporavali su i komplicirali izgradnju jedinstvenog tržišta. Da bi se tehničko zakonodavstvo u pojedinim državama članicama svelo na iste tehničke zahtjeve, unutar EU je postignut dogovor o zajedničkom postavljanju detaljnih tehničkih zahtjeva za pojedine grupe proizvoda.

Sektorsko zakonodavstvo ili smjernice Starog pristupa primjenjivale su se na vrlo usko područje, oslanjale na obavezne standarde ili tehničke zahtjeve, tipsko odobrenje nadležnih državnih tijela i često su bile mijenjane. Stari pristup regulira zahtjeve za motorna vozila i prikolice, farmaceutske proizvode, kemikalije, kozmetiku, prehrambene proizvode, tekstil i staklo. Za proizvode iz tih grupa vrijedi pravilo da kada proizvođač ispuni sve propisane zahtjeve vezane uz proizvod i dobije odobrenje za taj tip proizvoda u jednoj državi članici (od tijela državne uprave), to odobrenje priznaje se u svim drugim državama članicama EU [1].

2.3. Novi pristup

Novi pristup predstavlja tehničko zakonodavstvo (smjernice) u kojem je sadržaj ograničen na osnovne zahtjeve s kojima proizvod, prilikom plasiranja na tržište EU, mora biti usklađen [2].

Novi pristup u odnosu na Stari pristup ne ulazi u detaljan opis tehničkih zahtjeva nego se vodi strategijom ograničenog propisivanja općih sigurnosnih zahtjeva za pojedine grupe proizvoda na razini EU. Opći sigurnosni zahtjevi su obavezni za države članice te ih one implementiraju u svoja nacionalna zakonodavstva. Na taj se način proizvodu, a koji je zakonito plasiran na tržište jedne od država članica, omogućuje plasiranje na tržište svih ostalih zemalja članica EU. Time se efikasno sprečava uspostava barijere u trgovini i osigurava se odgovarajuća razina tehničke sigurnosti proizvoda na tržištu [1].

Ključni element Novog pristupa je razvoj i primjena sustava ocjene sukladnosti koji predstavlja postupak kojim se dokazuje da su ispunjeni specifični zahtjevi koji

se odnose na proizvod, proces, sustav, osobu ili organizaciju. Postupak ocjenjivanja sukladnosti podrazumijeva ispitivanje proizvoda, umjeravanje mjerne opreme, kontrolu i certificiranje proizvoda te certificiranje organizacija i osoba [2].

Osnovna načela Novog pristupa:

- a) uklanjanje novih barijera u trgovini
- b) međusobno priznavanje
- c) harmonizacija tehničkih propisa

2.4. Opći pristup

Novi pristup zahtijeva pouzdanu proceduru za ocjenu sukladnosti. Vodeći principi politike EU za ocjenu sukladnosti su izloženi u Općem pristupu. Općim pristupom certifikaciji i testiranju propisane su faze procedura za ocjenu sukladnosti, različite module i kriterije za upotrebu ovih procedura. Osim toga, Opći pristup također definira kriterije za imenovanje tijela koja će se baviti tim procedurama (tijela za ocjenu sukladnosti), kao i za upotrebu CE znaka.

Osnovni principi i elementi Politike ocjenjivanja sukladnosti EU (European Policy on Conformity Assessment):

- konzistentan pristup ocjenjivanju sukladnosti proizvoda u različitim fazama razvoja proizvoda kroz uspostavu modula za ocjenu sukladnosti i kriterija za primjenu modula;
- opća upotreba europskih standarda koji se odnose na garanciju kvalitete, izvedeni iz serije standarda EN ISO 9000, kao i na zahtjeve koje moraju ispunjavati tijela za ocjenu sukladnosti prema seriji EN ISO 45000 (ISO 17000);
- dokazivanje kompetentnosti tijela za ocjenu sukladnosti obavlja se postupkom akreditacije koji provodi nacionalno akreditacijsko tijelo, a imenuje ga nadležno državno tijelo;
- uzajamno priznavanje rezultata ispitivanja i certifikacije proizvoda u području neobavezne certifikacije proizvoda se promovira u sklopu Europske unije;
- planiranje i realizacija programa za smanjenje rizika u postojećoj infrastrukturi kvalitete pojedinih država članica EU;
- trgovina s trećim zemljama (izvan Europske unije) zasniva se na sporazumima o međusobnom priznavanju dokumenata o sukladnosti, kooperaciji i programima tehničke pomoći.

Opći pristup dijeli ocjenu sukladnosti na nekoliko operacija (modula), zavisno od stupnja razvoja proizvoda (npr. konstrukcija, prototip, puna proizvodnja), tipa ocjene koja je uključena (npr. dokumentarne kontrole, odobrenje tipa, garancija kvalitete) i osobe koja ocjenjuje (proizvođač ili treća strana – Prijavljeno tijelo) [3].

Ocjena sukladnosti provodi se po detaljnim procedurama, tzv. modulima za svaku od smjernica Novog pristupa. Definirano je osam osnovnih modula i osam dodatnih modula.

2.5. Smjernice

Najčešći pravni akt za usklađivanje zakonodavstva Novog pristupa za industrijske proizvode je smjernica.

Opseg smjernice definira raspon proizvoda ili prirodu opasnosti koju pokriva određena smjernica. Na isti proizvod može se primijeniti više od jedne smjernice.

Proizvod mora biti sukladan s osnovnim zahtjevima prilikom njegovog puštanja na tržište ili u upotrebu. Osnovni zahtjevi su popisani u aneksima smjernica i opisuju sve što je potrebno da bi se postigao cilj smjernice. Proizvodi koji nose CE znak moraju biti sukladni sa svim odredbama smjernica koje se na njih primjenjuju. Za proizvode sukladne s nacionalnim standardima koji predstavljaju transpoziciju harmoniziranih standarda, pretpostavlja se da su sukladni s osnovnim zahtjevima određene smjernice. Proizvođač koji primjenjuje neke druge tehničke specifikacije da bi ispunio zahtjeve mora dokazati sukladnost s osnovnim zahtjevima uz pomoć detaljne dokumentacije.

Smjernice Novog pristupa odnose se na nove proizvode koji su proizvedeni u državama članicama EU, kao i na nove i rabljene proizvode koji su uvezeni iz država izvan EU (trećih zemalja) [3].

Popis 21 smjernice Novog pristupa za industrijske proizvode prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Popis smjernica Novog pristupa za industrijske proizvode (Izvor:

www.newapproach.org/Directives/DirectiveList.asp)

Red. br.	Oznaka	Naziv
1	2009/142/EZ	Plinski aparati
2	2000/9/EZ	Žičare za prijevoz osoba
3	89/106/EEZ	Građevinski proizvodi
4	2004/108/EZ	Elektromagnetski sklad
5	94/9/EZ	Oprema i zaštitni sustavi u potencijalno eksplozivnoj atmosferi
6	93/15/EEZ	Eksplozivi za civilnu uporabu
7	95/16/EZ	Dizala
8	2006/95/EZ	Niskonaponska oprema
9	2006/42/EZ	Strojevi
10	2004/22/EEZ	Mjerila
11	90/385/EEZ	Medicinski proizvodi: Aktivni za ugrađivanje
12	93/42/EEZ	Medicinski proizvodi: Općenito
13	98/79/EZ	Medicinski proizvodi: In vitro dijagnostika
14	2009/23/EZ	Neautomatske vage
15	89/686/EEZ	Osobna zaštitna oprema
16	97/23/EZ	Tlačna oprema
17	1999/5/EZ	Radiooprema i terminalna telekomunikacijska oprema
18	94/25/EZ	Rekreacijska plovila
19	2009/105/EZ	Jednostavne tlačne posude
20	2009/48/EZ (88/378/EEZ)	Sigurnost igračka
21	2007/23/EZ	Pirotehnički proizvodi

3. INFRASTRUKTURA KVALITETE

Infrastruktura kvalitete nezamjetan je, ali sveprisutan i nezamjenjiv pokretač suvremenog društva i nezaustavljivog procesa globalizacije i internacionalizacije gospodarstva. Potrošači i proizvođači susreću se svakodnevno s komponentama infrastrukture kvalitete, a da toga i nisu svjesni. Povjerenje u trgovačke transakcije i proizvode, sigurnost i povjerenje u rad mnogih djelatnosti i profesija posljedica su kvalitetnog i stalnog

rada institucija infrastrukture kvalitete. Prema definiciji Svjetske trgovinske organizacije (WTO), infrastruktura kvalitete je skup državnih i/ili privatnih organizacija uređenih odgovarajućom regulativom. Djelatnosti tih organizacija odnose se na izradu i donošenje normi i izdavanje potvrda o sukladnosti s njima sa svrhom poboljšanja usklađenosti proizvoda/usluga, procesa i sustava sukladno njihovoj namjeni, odnosno na ukidanje barijera u trgovini i olakšavanje tehnološke suradnje. Zbog internacionalizacije i globalizacije tržišta države su obavezne osnovati učinkovite institucije integrirane u izgrađenu nacionalnu mrežu, koja mora biti usklađena s međunarodnim zahtjevima i propisima za proizvode i procese. Time se omogućuje jačanje trgovinske sposobnosti i stvaranje mogućnosti pristupa različitim tržištima.

Infrastruktura kvalitete temelji se na pet ključnih komponenata koje čine tzv. Europsku kuću kvalitete, a to su:

1. Normizacija
2. Akreditacija
3. Mjeriteljstvo
4. Ocjena sukladnosti
5. Kvaliteta

Sastavni dijelovi infrastrukture kvalitete, odnosno njene komponente, međusobno su uzročno-posljedično povezane i dio su sustava koji kupcu, korisniku ili tijelu državne uprave pruža odgovarajući dokaz da proizvod, proces ili sustav ispunjavaju obavezne ili dobrovoljno dogovorene zahtjeve i/ili očekivanja. Iako potrošači nisu uvijek svjesni važnosti infrastrukture kvalitete i njenih strukturnih dijelova, ipak se vrlo često rukovode oznakama kvalitete i certifikatima na proizvodima prilikom donošenja odluke vezane uz kupnju proizvoda [1].

3.1. Normizacija

Normizacija na međunarodnoj razini ima višestruku pozitivnu ulogu u razvoju i primjeni postupaka ocjene sukladnosti – sprečava nastanak barijera u trgovini i olakšava primjenu procedura ocjene sukladnosti izdavanjem tzv. harmoniziranih standarda i tehničkih propisa koje su prihvatili zainteresirani. Ovakav trend standardizacije stvorio je ključnu potrebu za nezavisnom i odgovornom provjerom stručnih i tehničkih kapaciteta organizacija za ocjenu sukladnosti koja osiguravaju povjerenje u rad i rezultate ovih organizacija. Zbog toga akreditacija postaje efektivno i efikasno sredstvo za osiguranje kompetentnosti, nezavisnosti i integriteta organizacija za ocjenu sukladnosti, što stvara povjerenje svih zainteresiranih strana (korisnika, države) u rezultate ispitivanja, kontrole i certificiranja proizvoda [2].

3.2. Akreditacija

Akreditacija je potvrđivanje da tijela za ispitivanje i/ili umjeravanja i/ili inspekciju i/ili certificiranje zadovoljavaju utvrđene zahtjeve. Nakon provedene akreditacije, akreditacijsko tijelo izdaje akreditacijsku potvrdu kojom se potvrđuje da akreditirano tijelo

ispunjava utvrđene zahtjeve i da je osposobljeno za obavljanje poslova spomenutih u akreditacijskoj potvrdi.

Akreditacija ne jamči da će laboratorij ispravno provoditi svoj rad, niti jamči kvalitetu proizvoda ili kvalitetu usluge. Akreditacija osigurava pretpostavku da akreditirano tijelo ima sva nužna tehnička sredstva i stručno osoblje s kojima je moguće provesti ocjenjivanje sukladnosti.

Danas nije moguć ulazak proizvoda na međunarodno ili regionalno tržište, ako nije ocijenjen sukladno pravilima i kriterijima međunarodnog ili regionalnog tržišta, od tijela za certifikaciju proizvoda, akreditiranog od strane nacionalnog tijela za akreditaciju, koji je član međunarodnih i regionalnih organizacija za akreditaciju [4].

3.3. Mjeriteljstvo

Mjeriteljstvo je disciplina koja je u modernom društvu uključena u područje industrije, tehnologije i znanosti, medicine, trgovine i mnoga druga područja ljudskog života.

U industriji, mjerni se rezultati upotrebljavaju za donošenje odluke o prihvatljivosti proizvoda. Utvrđuje se odgovaraju li svojstva proizvoda tehničkim specifikacijama. U laboratorijima za umjeravanje mjerni rezultati pomažu pri odlučivanju može li mjerna oprema mjeriti parametre sa željenom točnošću. U istraživačkim i razvojnim laboratorijima mjerni rezultati pomažu pri ovjeravanju ispravnosti pretpostavljenog znanstvenog koncepta. Mjerenja u trgovini trgovačkim partnerima osiguravaju rezultate mjerenja koji su za obje strane prihvatljivi i ispravni [4].

Mjeriteljstvo je prema prirodi mjerenog parametra podijeljeno na dva osnovna područja, fizikalno i kemijsko mjeriteljstvo, a prema područjima djelovanja na znanstveno, industrijsko i zakonsko mjeriteljstvo.

3.4. Ocjena sukladnosti

Ocjenjivanje sukladnosti je postupak kojim se dokazuje da proizvod, usluga ili proces zadovoljavaju specificirane zahtjeve.

Osim ispitivanja, inspekcije i certifikacije, postoje i drugi postupci koji su u djelokrugu ocjenjivanja sukladnosti, kao što je akreditacija. U smislu definicije ocjenjivanja sukladnosti, akreditacija se može smatrati postupkom ocjenjivanja, u ovom slučaju tijela koja provode ocjenjivanje sukladnosti [4].

3.5. Nadzor nad tržištem

Nadzor nad tržištem od iznimne je važnosti kako bi tehnička regulativa postigla svoje ciljeve, uz pretpostavku da je kvalitetno uspostavljen, i ima važnu ulogu u funkcioniranju infrastrukture kvalitete. Nadzor provode tijela državne uprave s ciljem postizanja sukladnosti proizvoda s propisanim zahtjevima, odnosno sprječavanja da proizvodi ugroze zdravlje, sigurnost ili neki drugi oblik javnog interesa. Svrha nadzora nad tržištem je osiguranje sukladnosti s odredbama određenih smjernica širom EU tržišta, kao i štititi interese

gospodarskih organizacija budući da pomaže u eliminaciji neloyalne konkurencije [4].

Rad tijela za nadzor nad tržištem u Republici Hrvatskoj uređen je posebnim zakonima i propisima, a podjela poslova temelji se na Zakonu o ustrojstvu i djelokrugu središnjih tijela državne uprave (Narodne novine, broj: 199/2003, 30/2004, 136/2004, 22/2005). Nadzor nad tržištem posebno je uređen Zakonom o Državnom inspektoratu (Narodne novine, broj: 116/2008), a nadležnost za obavljanje većine inspekcijskih poslova vezano za tržište u obavezi je Državnog inspektorata [4].

4. HARMONIZACIJA ZAKONA U PODRUČJU INFRASTRUKTURE KVALITETE ČLANICA EU

4.1. Osnove zakonodavstva EU za industrijske proizvode

Uklanjanjem administrativnih zapreka problem slobodnog kretanja roba bio je samo djelomično riješen jer nisu bile uklonjene tehničke zapreke. U to je vrijeme svaka država članica imala vlastito zakonodavstvo i norme za industrijske proizvode koje su se međusobno razlikovale u tehničkim zahtjevima. Tada nije bilo moguće određeni proizvod iz jedne članice staviti na tržište druge članice, ako proizvod nije ispunjavao tehničke zahtjeve koji su vrijedili u državi u koju se proizvod izvezio, odnosno stavljao na tržište. Za slobodno trgovanje robom unutar Zajednice trebalo je ukloniti i sve tehničke zapreke.

U razdoblju od 1969. do 1985. godine Europska ekonomska zajednica tehničke je zapreke rješavala usklađivanjem tehničkih specifikacija za industrijske proizvode po pojedinim sektorima. Takav pristup usklađivanja ili harmonizacije zakonodavstva, poznat kao sektorski ili *Stari pristup*, provodio se vrlo sporo i s dosta poteškoća.

U traženju rješenja za ubrzanje postupka usklađivanja zakonodavstva za industrijske proizvode i poticanja bržeg tehnološkog razvoja industrije unutar Zajednice, Vijeće Europskih Zajednica je 7. svibnja 1985. godine usvojilo Rezoluciju 85/C 136/01 poznatu kao *Novi pristup*. Novi pristup usklađivanju zakonodavstva za industrijske proizvode temelji se na dobrovoljnoj upotrebi normi i smjernica koje obuhvaćaju veći broj proizvoda i koje definiraju samo bitne zahtjeve za sigurnost proizvoda. Specifikacije na koje se upućuje u smjernici nisu obavezne i imaju status dobrovoljno prihvaćenih tehničkih normi. Izrada tehničkih specifikacija potrebnih za proizvodnju i stavljanje na tržište proizvoda koji su u skladu s bitnim zahtjevima smjernica povjerena je normizacijskim tijelima na razini Europske zajednice.

Nakon 20 godina uspješne primjene Novog pristupa, prikupljenih iskustava i uočenih nedostataka prihvaćen je 2008. godine treći važni zakonodavni okvir za usklađivanje zakonodavstva za industrijske proizvode usvajanjem tri akta:

- Uredba (EZ) br. 764/2008 kojom se utvrđuju postupci za primjenu određenih nacionalnih tehničkih pravila za

proizvode koji su zakonito stavljeni na tržište u drugoj državi članici

- Uredba (EZ) br. 765/2008 kojom se utvrđuju zahtjevi za akreditaciju i nadzor nad tržištem koji se odnose na stavljanje na tržište proizvoda
- Odluka br. 768/2008/EZ o općem okviru za stavljanje proizvoda na tržište

Od tada svaki novi zakonodavni akt Europske unije mora se izraditi na temelju ovog novog zakonodavnog okvira za usklađivanje zakonodavstva u Europskoj uniji.

Danas se u Europskoj uniji za najveći dio (oko 80%) industrijskih proizvoda primjenjuje zakonodavstvo za usklađivanje. Pretpostavlja se da je oko 50% trgovačkih proizvoda obuhvaćeno zakonodavstvom Sektorskog pristupa, a 50% zakonodavstvom Novog pristupa.

Proizvodi na koje se primjenjuje zakonodavstvo za usklađivanje slobodno se stavljaju na tržište Europske unije na temelju načela o sukladnosti, a proizvodi koji još nisu obuhvaćeni europskim zakonodavstvom za usklađivanje na temelju načela o uzajamnom priznavanju.

U odnosima s trećim državama, Europska unija potiče međunarodnu trgovinu proizvoda zaključenjem sporazuma o uzajamnom priznavanju [4].

4.2. Zakonodavstvo EU za industrijske proizvode

Zakonodavstvo Europske unije za industrijske proizvode osigurava provedbu zajedničkih politika, uspostavu zajedničkih pravila i primjenu dogovorenih pravila na jednak način u svim državama članicama.

Prema pristupu usklađivanja zakonodavstvo Europske unije za industrijske proizvode podijeljeno je na:

- Zakonodavstvo sektorskog pristupa ili Starog pristupa
- Zakonodavstvo Novog pristupa

4.2.1. Sektorski ili Stari pristup

Sektorski ili Stari pristup bio je jedini model koji je koristila Europska zajednica za usklađivanje zakonodavstva za industrijske proizvode od 1985. godine.

Osnovni zakonodavni akti sektorskog pristupa su smjernice. Smjernice sektorskog pristupa vrlo su detaljne u tehničkim specifikacijama i namijenjene su za industrijske proizvode gdje postoji velik rizik za zdravlje i sigurnost ljudi, kao što je industrija hrane, farmaceutska industrija, industrija motornih vozila, kemijska industrija, industrija nafte.

Sektorski pristup nema zajednički model usklađivanja zakonodavstva, nego je za svaki sektor industrije razvijen poseban zakonodavni okvir.

U zakonodavstvu sektorskog pristupa nije određeno tko će provoditi ispitivanja i odobravanja za stavljanje proizvoda na tržište, nego je postavljen zahtjev da ispitni laboratoriji, gdje je to potrebno, udovoljavaju zahtjevima niza norma ISO/IEC 17011, ISO/IEC 17020, ISO/IEC 17021, ISO/IEC 17024 i EN 45011. Zbog toga se međusobno razlikuje infrastruktura za potporu primjene sektorskog zakonodavstva između pojedinih sektora [4].

4.2.2. Zakonodavstvo Novog pristupa

Postupak usklađivanja zakonodavstva u Europskoj uniji na temelju načela sektorskog pristupa odvijao se prilično sporo iz dva razloga. Prvi razlog je bio taj što se sektorskim pristupom postavljaju visoki zahtjevi za sigurnost proizvoda koju je moguće ostvariti ispunjavanjem detaljnih tehničkih zahtjeva za svaku skupinu proizvoda. Zbog toga se usvajanje zajedničkih stavova odvijalo uz velike poteškoće i dugotrajne rasprave.

Drugi razlog bio je taj što su smjernice prihvaćane jednoglasnim usvajanjem koje je bilo teško postići među državama članicama s obzirom na to da su neke države članice brže provodile prilagodbu nacionalnog zakonodavstva potrebama i promjenama tehnološkog razvoja industrije u odnosu na ostale članice Zajednice.

Novim modelom u smjernicama su definirani samo bitni zahtjevi koje proizvod mora zadovoljiti, ali bez rješenja kako to napraviti. Odgovor kako izraditi proizvod utvrđen je usklađenim normama ili tehničkim specifikacijama.

Tehnički detalji nisu sastavni dio smjernice, zbog čega smjernice nisu opsežne i ovisne o čestim izmjenama zbog potrebe prilagodbe tehnološkom razvoju i tehničkim poboljšanjima.

Tehničke specifikacije izrađuje neovisno tijelo za normizaciju čiji članovi dolaze iz industrije. Industrija postaje odgovorna za sigurnost proizvoda i usklađenost norma sa zahtjevima tehnološkog razvoja i inovacija.

Novi pristup u mnogome je pojednostavio i ubrzao postupak usklađivanja zakonodavstva, ali ipak nije osigurao očekivanu slobodu kretanja roba na području Zajednice jer su države članice u to vrijeme priznavale ispitivanja i ocjenjivanja sukladnosti proizvoda koje su one propisale. Te prepreke slobodnom kretanju roba Europska zajednica otklonila je prihvaćanjem 21. prosinca 1989. godine Rezolucije Vijeća 90/C 10/01 za usklađivanje kriterija za ispitivanje i ocjenjivanje proizvoda i za postavljanje i korištenje oznake sukladnosti na razini Europske zajednice. Ta rezolucija poznata je pod nazivom globalni ili Opći pristup.

Postupci ocjenjivanja sukladnosti utvrđeni su u Odluci Vijeća 93/465/EEZ o „modulima“ ocjenjivanja sukladnosti i pravilima za označavanje sukladnosti.

4.2.3. Dobra praksa

Dobra praksa zapravo je sustav kvalitete s posebnim naglaskom na području primjene kao npr.: laboratorijska praksa, poljoprivredna praksa, klinička ispitivanja, laboratorijska ispitivanja i mnogo drugih posebnih tehničkih i tehnoloških aktivnosti vezanih uz sigurnost proizvoda ili djelovanja na koja se dobra praksa primjenjuje.

U Novom pristupu se pojavljuje izraz „pouzdana inženjerska praksa“ (engl. sound engineering practice) u Smjernici za jednostavne tlačne posude, i „dobra inženjerska praksa“ (engl. good engineering practice) u Smjernici za niskonaponsku opremu. U proizvodnji jednostavnih tlačnih posuda pouzdana inženjerska praksa primjenjuje se na izradu posuda koje su izvan razreda opasnosti i na koje se ne stavlja oznaka sukladnosti CE,

niti je potrebno uključivati Prijavljeno tijelo u ocjenjivanje sukladnosti. Dobra inženjerska praksa u svojoj osnovi ne razlikuje se od pouzdane inženjerske prakse, osim što je vezana uz Smjernicu za niskonaponsku opremu [4].

4.3. Zakonodavstvo u RH

Odlukom Sabora Republike Hrvatske od 8. listopada 1991. godine raskinute se sve državopravne veze na temelju kojih je Republika Hrvatska zajedno s ostalim republikama i pokrajinama tvorila dotadašnju Socijalističku Federativnu Republiku Jugoslaviju (SFRJ). Tom odlukom (Narodne novine, broj 53/91) ne priznaje se valjanost ni jedan pravni akt bilo kojeg tijela koje nastupa u ime bivše SFRJ. Većina zakona je preuzeta iz SFRJ, ali samo oni koji su usklađeni s Ustavom Republike Hrvatske.

Tako je na temelju Zakona o preuzimanju propisano da se preuzima i primjenjuje u Republici Hrvatskoj Zakon o standardizaciji (Službeni list SFRJ, br. 37/88), kojim su sve JUS norme prihvaćene kao hrvatske norme, kao i oni savezni propisi koji su doneseni za provedbu Zakona o standardizaciji.

Hrvatska je u to vrijeme pokrenula aktivnosti vezane za međunarodne integracijske procese, što je rezultiralo potpisivanjem važnih međunarodnih sporazuma u području zakonodavstva.

Međunarodne obaveze vezane uz usklađivanje zakonodavstva i postupno otvaranje hrvatskog tržišta nametnule su potrebu za usklađivanjem postojećeg zakonodavstva ne samo radi ispunjavanja uvjeta prema odredbama u potpisanim međunarodnim sporazumima i ugovorima, nego i zbog potrebe za zaštitom domaćeg tržišta od uvoza roba loše kvalitete i upitne sigurnosti za zdravlje ljudi i zaštitu okoliša [4].

U području zakonodavstva za industrijske proizvode donosi se mnogo važnih zakona: Zakon o mjernim jedinicama (NN, br. 58/93), Zakon o normizaciji (NN, br. 55/96), Zakon o akreditaciji (NN, br. 158/03), Zakon o mjeriteljstvu (NN, br. 163/03), Zakon o općoj sigurnosti proizvoda (NN, br. 158/03) i dr.

4.4. Harmonizacija zakonodavstva RH s EU zakonima

Iako je Hrvatska do 2003. godine prihvatila značajan broj europskih normi, zakonodavstvo za industrijske proizvode u Hrvatskoj i dalje je imalo zastarjela rješenja vezana uz slobodnu trgovinu u odnosu na zakonodavstvo Europske unije.

Stvarni početak usklađivanja hrvatskog zakonodavstva sa zakonodavstvom Europske zajednice počeo je 2003. godine.

Tijekom 2003. godine stvorena je zakonska pretpostavka za osnivanje infrastrukture za kvalitetu u Hrvatskoj, na temelju koje je 2005. reorganiziran Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo i umjesto njega su osnovane tri ključne infrastrukturne institucije:

- Hrvatski zavod za norme
- Državni zavod za mjeriteljstvo
- Hrvatska akreditacijska agencija

Nakon osnivanja Hrvatskog mjeriteljskog instituta 2010. godine, Republika Hrvatska uspostavila je potrebnu infrastrukturu za primjenu zakonodavstva za industrijske proizvode.

Od potpisivanja Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju 4. svibnja 2001. godine, do potpisivanja Ugovora o pristupanju Republike Hrvatske Europskoj uniji 9. prosinca 2011. godine, zakonodavstvom Republike Hrvatske usklađeno je sa zakonodavstvom Europske unije za industrijske proizvode te je izgrađena potrebna infrastruktura za njegovu primjenu. Time su ostvareni uvjeti za slobodno kretanje industrijskih proizvoda na tržištu Republike Hrvatske u trenutku kad postane dvadeset i osma članica Europske unije [4].

5. ZAKLJUČAK

Hrvatskim je proizvođačima već poznata procedura ocjene sukladnosti koju su do pristupanja Republike Hrvatske Europskoj uniji morali proći kako bi svoje proizvode ispitali i stavili na njih CE znak, tj. nacionalnu oznaku sukladnosti. Kako bi svoj proizvod stavili na tržište Europske unije, trebalo je provesti ocjenu sukladnosti i proizvod označiti CE znakom. Od 1. srpnja 2013. godine pravila koja su vrijedila za tržište Europske unije vrijede i za tržište Republike Hrvatske, te proizvođače obavezuju na proizvodnju proizvoda koji zadovoljavaju bitne zahtjeve primjenjivih smjernica, provedbu procedura ocjene sukladnosti i označavanje proizvoda CE znakom.

Važnost poštivanja zakonodavstva za hrvatske proizvođače je ključ uspjeha i ostanka na tržištu Europske unije. U doba ekonomske krize kada svi sektori bilježe minuse u poslovanju, hrvatskim proizvođačima preostaje izvozno tržište, tj. cijelo tržište Europske unije. Oni su cijenom konkurentni, a položaj Republike Hrvatske daje im velike prednosti zbog blizine, što smanjuje transportne troškove i omogućuje mnogo kraće rokove isporuke nego uvoz s Dalekog istoka.

U Republici Hrvatskoj osnovana su državna tijela za akreditaciju, mjeriteljstvo i normizaciju te je proizvođačima olakšana provedba ocjene sukladnosti i ispitivanja proizvoda prije stavljanja proizvoda na tržište Europske unije.

6. LITERATURA

- [1] Andrijanić, I.; Buntak, K.; Bošnjak, M.: „Upravljanje kvalitetom s poznavanjem robe“, Plejada, Zagreb, 2012.
- [2] Popović, P.; Živković, V.: „Osnovi standardizacije i metrologije“, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2011.
- [3] Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad: Brošura, Primena CE oznake za tehničke proizvode“, GRID, Novi Sad, 2009.
- [4] Poljičanin, I.: „Zakonodavstvo Europske unije za industrijske proizvode“, Kiklos – krug knjige, Zagreb, 2013.

Kontakt autora:

Dr.sc. Krešimir Buntak, docent

Veleučilište u Varaždinu
J.Križanića 33, 42000 Varaždin
kresimir.buntak@inet.hr

Ivana Droždek, univ.spec.oec.

Veleučilište u Varaždinu
J.Križanića 33, 42000 Varaždin
ivana.drozdek@velv.hr

Goran Lepen, bacc.ing.log.

Thorium Consult d.o.o.
Zavojna 9, 42000 Varaždin
GSM: 097-7542-389
goran.lepen@gmail.com

ANALIZA UTJECAJA AGREGACIJE UZORAKA NA PROGNOZU POTRAŽNJE

ANALYSIS OF THE PATTERN AGGREGATION IMPACT ON THE DEMAND FORECASTING

Diana Božić, Ratko Stanković, Goran Kolarić

Pregledni rad

Sažetak: Opskrbni lanci su vrlo rijetko u jednostavnom generičkom obliku, već uključuju različite sudionike, koji neovisno provode prognozu potražnje u svojem djelokrugu. Prognoziranje potražnje temeljem podataka o narudžbama umjesto podataka o potražnji krajnjeg kupca (korisnika) u lancu, na sljedećim višim razinama kumulativno generira sve veća odstupanja. Svaki od sudionika opskrbnog lanca tako dobiva drugačije podatke o potražnji što je uzrokovano tim kumulativnim djelovanjem, poznatim pod nazivom "efekt biča". U cilju smanjivanja ovih nepravilnosti, proizvođači obvezuju distributere na dostavljanje podataka o prognozi potražnji na svojem tržištu. Distributeri su pritom suočeni s problemom prikupljanja i obrade heterogenih uzoraka potražnje od ostalih sudionika na nižim razinama. U radu je prikazana analiza agregacije uzoraka koji su korišteni za prognoziranje potražnje primjenom različitih metoda prognoziranja.

Ključne riječi: metode prognoziranja na vremenskim nizovima, agregacija uzoraka potražnje, efekt biča, opskrbni lanac

Review article

Abstract: Supply chains are rarely in their basic, simple form – they involve different participants who respectively use demand forecasting methods related to their field. Demand forecasting based on orders received instead on end user demand data will inherently become more and more inaccurate as it moves up the supply chain. Each participant in a supply chain receives different fluctuations data in the orders obtained, which is caused by the bullwhip effect. In order to mitigate these distortions, producers require the distributors to deliver the data on demand forecasting for a certain market. Thus the distributor tries to find the appropriate forecast method. This can be very difficult since the demand patterns of buyers differ. The paper analyses the pattern aggregation used for demand forecasting by applying different forecasting methods.

Key words: time series forecasting methods, demand pattern aggregation, bullwhip effect, supply chain

1. INTRODUCTION

In the basic form, a supply chain consists of a company with its suppliers and customers [1]. Extended supply chains have more participants, such as supplier's supplier, service providers, and customer's customer.

Upwards and downwards the supply chain structure, a significant discrepancy in customer demand information between different stages occurs. This phenomenon is known as bullwhip effect or Forrester or whiplash effect [2],[3].

Producers and other participants want to avoid disturbances in their business plans, especially when dealing with short shelf life inventory. For this reason, the right order quantity must be determined, to meet the business plan the best way.

This can be achieved by implementing adequate forecasting method and to periodically verify if the method yields the expected results with reference to the respective demand pattern. The main problem involved is aggregation of demand patterns acquired from different sources.

This paper deals with different time series forecasting methods, and models of demand patterns aggregation used by the respective method.

2. MITIGATING DISTORTION IN SUPPLY CHAIN

Managing supply chain requires trade-offs between efficiency and effectiveness of the participants involved. This can be seen in logistics operations planning which among other issues deal with maintaining the right balance among production, inventory and distribution [4]. Those decisions are based on forecasts that define which products will be required, what amount of these products will be called for, and when they will be needed.

Demand forecasting becomes the basis for mitigating distortions and is used by companies to plan their internal operations and to cooperate among each other to meet market demand. All forecasts deal with four major variables: supply, demand, product characteristics and competitive environment. They combine to determine

what market conditions will be like [1]. Supply is determined by the number of producers of a product and by the lead times that are associated with a product while demand refers to the overall market demand for a group of related products or services. Product characteristics include the features of a product that influence customer demand for the product while competitive environment refers to the actions of a company and its competitors.

When they use this order data to do their demand forecasts, they just add further distortion to the demand picture and pass this distortion along in the form of orders that they place with their suppliers. It represents the phenomenon where orders to supplier tend to have larger variance than sales to the buyer, and customer demand is distorted. This demand distortion also propagates to upstream stages in an amplified form. In return, high inventory levels and poor customer service rates along the supply chain constitute typical symptoms of bullwhip effect. In addition, production and inventory holding costs as well as lead times increase, while profit margins and product availability decrease [5].

Research into the bullwhip effect has identified five major factors that cause the effect: demand forecasting, order batching, product rationing, product pricing, and performance initiatives [1], [5]. These factors interact with each other in different combinations but the net effect is that they generate the wild demand swings. Most of the scientific papers researching bullwhip effect agree that demand forecasting is one of the main causes of this effect [2], [7], [8], [9]. Researchers are mostly examining the influence of different forecast methods such as Moving Average (MA), Exponential Smoothing (ES), Minimum Mean-Squared Error (MMSE), Holt's and Brown's methods and kernel regression, in combination with different inventory policy and lead time, on bullwhip effect [2], [7], [8], [9]. In those studies, the same forecast methods for all participants in a supply chain are assumed, using summarized demand data.

3. DESCRIPTION OF THE OBSERVED PROBLEM

In this research, one company acting as the main distributor for East Europe was chosen. The company distributes 38 different medical supplements, from factories in US to wholesalers and retailers. Beside physical distribution, the company has a web shop, selling directly to final customers. The following problems were observed:

- related to factory, raw materials for a medical product are expensive and have a short shelf life;
- factory does not want to hold inventory, neither tolerate big disturbance in supply line or production;
- risk of lost sales or high inventory are on distributors or wholesalers side;
- factory asks sellers to plan quantity for each product at least three months in advance and gives option for the sellers to periodically modify quantity.

Each participant in supply chain has different demand pattern. To solve this problem the company can:

- forecast demand based on summarized sales information (customers data) using any of the forecasting methods;
- summarize forecasted demand values against each customer.

Relationship between trading partners in supply chain is shown in Figure 1.

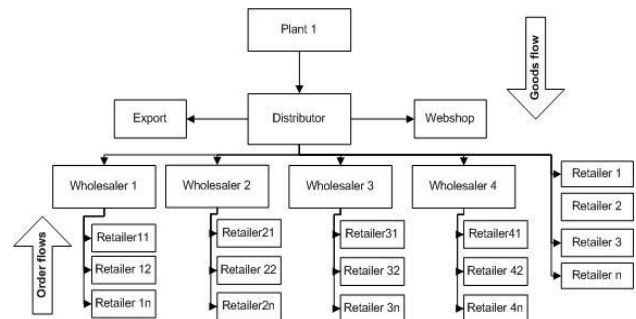


Figure 1. Graphical presentation of the observed production-distribution system

In supplying the market, the company deals with four wholesalers (*WS1*, *WS2*, *WS3*, and *WS4*). Beside the contract with the wholesalers, the company sells products directly to retailers and final customer (consumer). So, it is a combination of a four-stage (trading via wholesaler), a three-stage (selling directly to retailer) and a two-stage supply chain (selling directly to consumer).

The order decision system comes from expected demand, upstream. A distributor collects orders from each trading partner and makes its own estimation of market expected demand (E_{DD}). According to its own inventory policy, distributor is holding safety stock (SS_D) which is equal to forecasted demand in the observed period. Lead time from factory to distributor is two weeks and is continued, while distribution time from distributor to wholesaler, retailer or consumer is fixed, one day. Selling product has shelf life of one year. The order quantity plan is sent to the factory every three months. Final orders to factory are made once a month, or every four weeks.

Final order to factory (Q_{OTF}) is defined as:

$$Q_{OTF} = E_{DD} + SS_D \quad (1)$$

$$E_{DD} = E_{WS1} + E_{WS2} + E_{WS3} + E_{WS4} + E_{R1} + E_{R2} + E_{R3} \dots + E_{Rn} + E_{webshop} \quad (2)$$

The factory is creating a production plan, which by their business policy must equal demand in the observed period. Total production quantity $Q_{(p)}$ is obtained by the following equation:

$$Q_{(p)} = Q_{OTF} + (CS - OS) \quad (3)$$

Here *CS* represents closing stock at the end of the month and equals demand in the month. Quantity of *CS* on distributor side is equal to SS_D . *OS* is opening stock at the beginning of the month and is equal to its closing stock in the previous month.

3.1. Analyses of the observed solutions

Retailers and web shops demand is disregarded at the first step of the demand pattern analysis.

What was examined as first was the distortion value without the distributor’s forecasting demand intervention involved. Wholesalers are making their own independent demand forecasting, and the distributor is summarizing quantities and makes orders to the factory.

In Figure 2, an example of orders placed by trading partner is shown, illustrating the bullwhip effect. What can be noticed is that bullwhip effect is present, as expected. The factory has to stop production every two months which brings into question setup cost as well as holding cost of inventory on factory side.

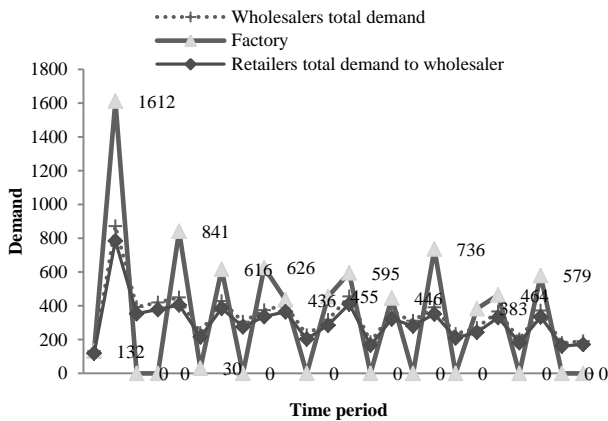


Figure 2. Example of orders placed by trading partner illustrating the bullwhip effect

When the distributor collects orders from wholesalers, he can use two different approaches to create order to the factory. One is to use one forecasting method based on summarized demand data of wholesalers. Another one is to forecast the demand by each wholesaler, and then to summarize values and create an order. In Figure 3 the first case is presented, and in Figure 4 the second one.

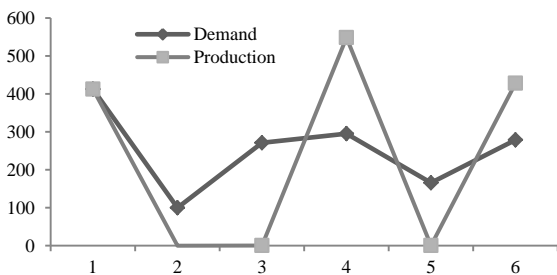


Figure 3. Forecasted demand based on summarized order data

Forecasted demand based on summarized order data (Figure 3) was calculated by applying ARIMA. In Figure 4, demand 1 and production 1 present values forecasted by the forecasting method that best suits wholesales demand pattern data. Demand 2 and production 2 show values forecasted by Double Moving Average, as this method was highly ranked for all the observed demand

patterns. By analyzing disturbance in supply line based on Figures 3 and 4, it can be concluded that if it is not possible to find the best forecasting method for each demand pattern, orders made from forecasting using summarized data create less disturbance.

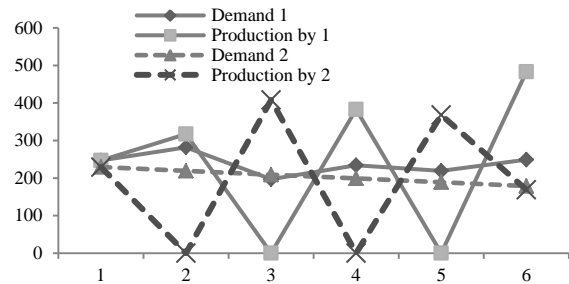


Figure 4. Summarized values of forecasted demand by each wholesaler

To find a forecasting method that best suits the demand pattern, it is necessary to constantly monitor changes in demand and to customize methods in use. For the observed problem, few time series forecasting methods were checked and methods were ranked by the forecast accuracy.

When analyzing each wholesaler demand pattern it can be seen that the forecasting method which gives better results by each wholesaler is different. Methods by ranks are shown in Table 1.

Table 1: Methods ranks for wholesaler demand pattern

Rank 1	Method	RMSE	MAD	MAPE
WS1	Single Moving Average	17.61	13.61	72.45%
WS2	SARIMA(1,0,1)(1,0,1)	30.78	24.92	24.23%
WS3	Double Moving Average	14.07	12.03	20.63%
WS4	Double Moving Average	35.79	28.76	67.44%
Rank 2				
WS1	Double Moving Average	20.12	17.90	85.76%
WS2	Single Moving Average	39.32	30.94	37.29%
WS3	Single Moving Average	21.36	16.11	25.64%
WS4	ARIMA(2,1,2)	37.82	30.05	65.60%
Rank 3				
WS1	ARIMA(0,0,1)	22.96	19.45	71.62%
WS2	Seasonal Additive	43.97	40.76	45.43%
WS3	ARIMA(1,1,2)	23.07	19.28	32.02%
WS4	Single Moving Average	44.65	36.06	128.45%

As shown in Table, the methods differ, and it is not easy to make decision which method to use, especially with seasonality.

In Table 2, the rankings of forecasting methods by RMSE (Root Mean Square Error), MAD (Mean Absolute Error) and MAPE (Mean Absolute Percentage Error) are shown when forecasting is done using data as the sum of all the wholesalers demands. What must be noted here is that only historical data for two years are used for forecasting. Availability of data issue influences the

forecast error. To implement this approach in practice, the usage of historical data of at least five years is suggested. What can be noticed is that the best forecast results for a given demand pattern are achieved with ARIMA (2,1,2).

Table 2: Ranking of forecasting methods by RMSE, MAD, MAPE

Methods	Rank	RMSE	MAD	MAPE
ARIMA(2,1,2)	1	70.90	56.46	19.47%
Double Exponential Smoothing	4	183.60	116.43	54.25%
Double Moving Average	3	86.73	77.00	31.23%
Single Exponential Smoothing	5	184.73	115.61	55.73%
Single Moving Average	2	85.35	70.66	28.43%

RMSE of 70.90 tells that average root squared error of the selected forecast method is around 71 items. Thus averagely, by applying ARIMA, the distributor has wrongly ordered the quantity of 71 items. This gives no information of whether distributor has overestimated or underestimated consumers' needs (as values of miscalculated orders are squared, information whether these were positive or negative values is lost). Therefore, it is highly recommended to consider other error measures, as well as each of them has its own advantages and disadvantages. MAD of 56.46 tells that model tends to slightly over-forecast, with an average absolute error of 56 units and describes well the information that we have miscalculated with RMSE and therefore complements our analysis of the forecast error. The third error measure used is MAPE. MAPE measures the size of the error in percentage terms and for total wholesalers demand and ARIMA it is 0.1947. This means that averagely, by applying ARIMA forecast, ordered quantities are miscalculated by 19.47%.

3.2. Criteria for offered solutions selection

In making decision about demand pattern use for forecasting to lower miscalculated orders and decrease disturbance, it is necessary to analyze correlation between respective demand patterns. If there is no correlation, it will be better not to use the same forecasting method for all wholesalers or to forecast using summarized demand data. In Tables 3 and 4 the correlation between observed demand patterns is presented.

Table 3: Correlation between demand patterns of wholesalers

Variable	WS1	WS2	WS3	WS4
WS1	1.000000	0.419835	0.464614	0.615966
WS2	0.419835	1.000000	0.536701	0.492454
WS3	0.464614	0.536701	1.000000	0.758540
WS4	0.615966	0.492454	0.758540	1.000000

Table 4: Correlation between demand patterns of wholesalers and retailers and web-shop

Variable	Retailers	Web-shop
WS1	0.130436	-0.167629
WS2	-0.110432	0.127863
WS3	0.324240	0.187592
WS4	0.273038	0.130909
Retailers	1.000000	-0.325257
Web-shop	-0.325257	1.000000

When considering WSs, it can be seen that WS4 and WS2 show highest deviations in order quantities. Also, when considering individual WSs orders, there is statistically significant correlation ($p < 0,0500$) among WS1, WS2, WS3 and WS4. All of the correlation coefficients are positive, meaning that ordered quantities are proportional, e.g. if WS3 increases quantity of ordered goods, the same can be expected from WS1, WS2 and WS4.

Figures 5-8 show the trend line for each of the sales.

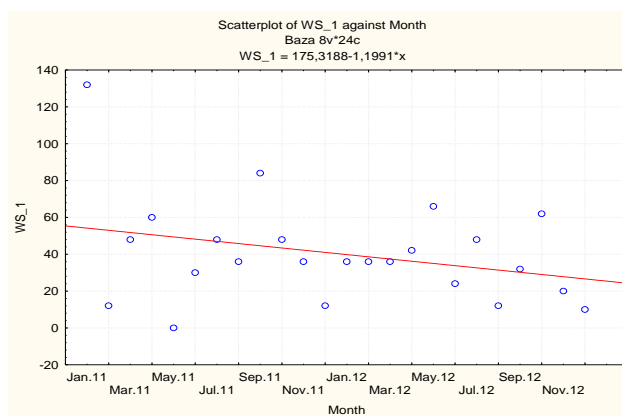


Figure 5. WS 1 trend line

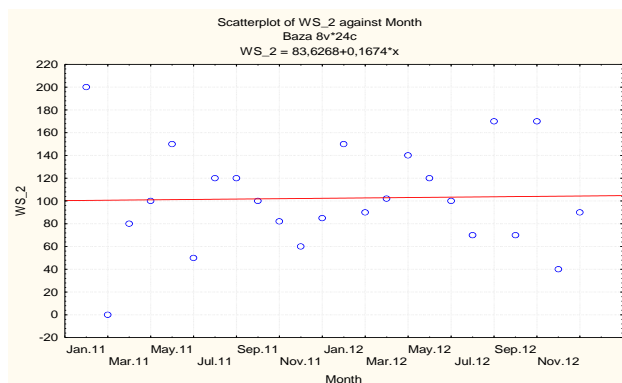


Figure 6. WS 2 trend line

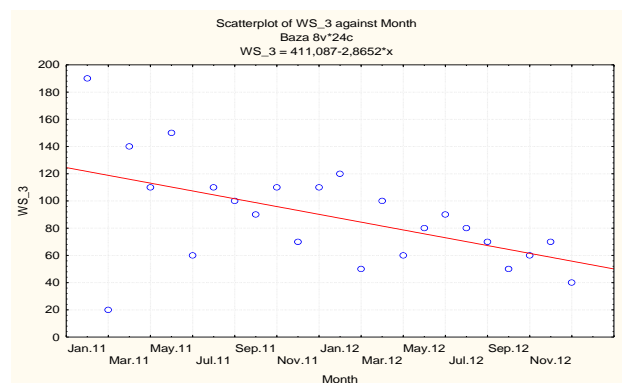


Figure 7. WS 3 trend line

On the other hand, demand pattern from retailers and web-shop seems not to have significant correlation with the above mentioned WSs and behaves independently on the customers market. Figures 9 and 10 show the trend line for each of the sales. It can be seen that most of the sales have negative trend line and are ordering/selling less and less goods. Only WS2 and *Web-shop* are increasing the quantity of ordered goods, but when overall orders are considered, common trend is still negative, meaning that the increase in orders from WS2 and *Web-shop* are not enough to compensate decreases made by other sales.

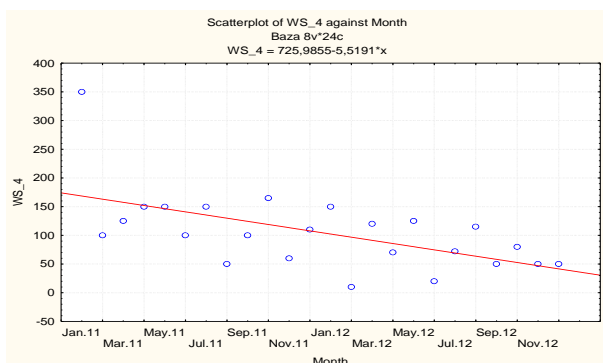


Figure 8. WS 4 trend line

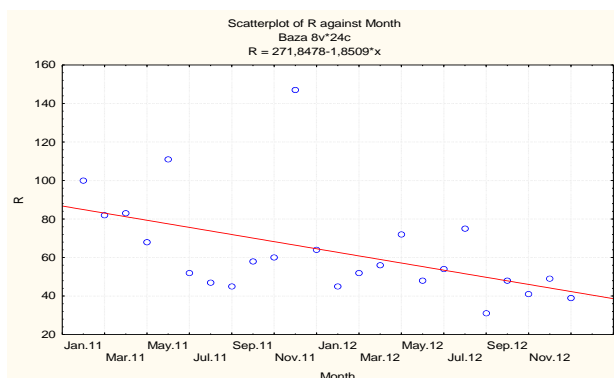


Figure 9. Retailer trend line

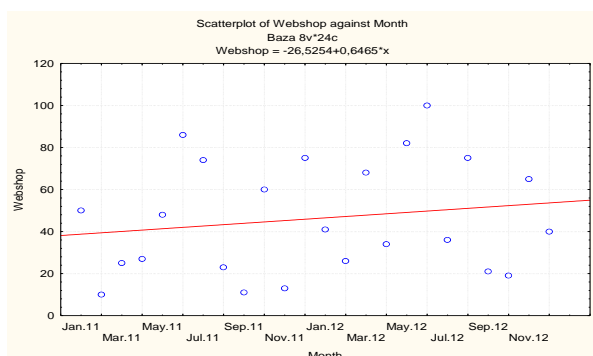


Figure 10. Web-shop trend line

4. CONCLUSION

Research results show that the demand patterns aggregation has a significant impact on the accuracy of the demand forecasting. Furthermore, it is shown that the demand forecasting based on summarized sales information (customers data) yields better results due to the following issues:

- using aggregated sales information in forecasting demand rather than forecasting each customer's demand individually decreases the final forecasting error, an error involved in forecasting each wholesaler's demand can be compensated by the other error of the opposite sign (i.e. forecast error for one wholesaler is -5 and forecast error for another wholesaler is +3, the result is total error -2)(i.e. if for one error it is -5 and for other +3, these two errors give the total error of -2);
- as the model becomes more complex by increase of assortment or the number of wholesalers it is easier to deal with the summarized data;
- training programs for staff are more convenient to be adopted when involving a single method.

5. REFERENCES

- [1] Hugos, M.: Essentials of Supply Chain Management, John Wiley & Sons, New Jersey, 2006
- [2] Lee, H.; Padmanabhan, V.; Whang S.: The bullwhip effect in supply chains, Sloan Management Review, 38 (1997), 93-102
- [3] Christopher, M.: Logistics and Supply Chain Management Creating Value-Adding Networks, Pearson Education Limited, Great Britain, 2005
- [4] Stanković, R., Radulović, S., Hrupački S.: Applying mathematical models in planning logistics operations, Tehnički glasnik/ Technical journal, Vol.7, No.3 (2013), 290-295
- [5] Chopra, S.; Meindl, P.: Supply Chain Management, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 2001
- [6] Ghiani, G.; Laporte, G.; Musmanno, R.: Introduction to Logistics Systems Planning and Control, John Wiley & Sons, England, 2004
- [7] Zhang, W.: The impact of forecasting methods on the bullwhip effect, International journal of Production Economics, 88 (2004), 15-27
- [8] Wright, D.; Yuan, X.: Mitigating the bullwhip effect by ordering policies and forecasting methods, International journal of Production Economics, 113 (2008), 587-597
- [9] Campuzo, F.; Guillamon, F.; Ruiz, M.; Liseć, A.: Alternative forecasting techniques that reduce the bullwhip effect in a supply chain: a simulation study, Promet Traffic & Transportation, Vol.25, No.2 (2012), 177-188

Contact:

Diana Božić, Ph. D.

E-mail: diana.bozic@fpz.hr

Ratko Stanković, Ph.D.

E-mail: ratko.stankovic@fpz.hr

Faculty of Transport and Traffic Sciences
University Campus, Borongajska cesta 83a
HR-10000 Zagreb

Goran Kolarić, M.Sc.

Polytechnic of Varazdin

J.Krizanica 33, HR- 42000 Varazdin

E-mail: gkolakovic@gmail.com

DEKOMPOZICIJA PROCESA KAO OSNOVA ZA MJERENJE LOGISTIČKIH PERFORMANCI

PROCESS DECOMPOSITION AS A BASIS FOR LOGISTICS PERFORMANCE MEASURING

Diana Božić, Krešimir Vrčec, Ivona Bajor

Pregledni rad

Sažetak: Promatranje tehničko-tehnoloških karakteristika opskrbnog lanca i svih njegovih strukturnih elemenata kroz prizmu procesa i aktivnosti iznimno je važno za potrebe kvalitativne i kvantitativne evaluacije. Kada je koncept mjerenja individualno koncipiran i dobro postavljen, detaljna dekompozicija poslovanja do razine aktivnosti rezultira potpunim, detaljnim i točnim podacima o osobitostima procesa i involviranim resursima. Spomenuti koncept u službi je podrške cjelokupnom poslovanju unutar opskrbnog lanca i prije svega se koristi u svrhu postavljanja i dostizanja strateških ciljeva poslovanja. Implementacija istog ostvaruje se uspostavom direktne veze između objekata mjerenja, performanci procesa i vezanih informacija. U radu je prikazana problematika definiranja logističkih pokazatelja uspješnosti te je predložen koncept dekompozicije procesa kao dijela metodologije upravljanja poslovnim procesima, s pozicije mjerenja njihove učinkovitosti u cilju jednostavnije identifikacije ključnih pokazatelja uspješnosti.

Ključne riječi: logistika, upravljanje poslovnim procesima, mjerenje performanci, opskrbeni lanac

Review article

Abstract: Observation of the supply chain elements and its technical and technological structure in the form of processes and activities that an element includes, it is extremely important when it is implemented in the form of qualitative and quantitative evaluation. When the concept of measurement is individually designed and well appointed, detailed decomposition of the business structure up to activities results in accurate and detailed data. The concept is formed for the purpose of achieving strategic business objectives, and can be done by establishing a direct link between the performance of the process, object measurement and information related to them. In this paper, the problems in defining logistics performance indicators are described. The concept of process decomposition as part of business process management is proposed, from the point of their efficiency and effectiveness measurement in order to better identify key performance indicators.

Key words: logistics, business process management, performance measurement, supply chain

1. UVOD

Koncepcija logističkih sustava usmjerena je na zadovoljenje svih oblika potražnje prema strogim kriterijima niske cijene, kratkog vremena isporuke i zahtijevane kvalitete. Logistički operateri kreiraju opskrbne lance povezujući karike unutar logističkih sustava, gdje su sučelja između pojedinih karika u lancu vrlo često prostor tzv. „uskih grla“ koja smanjuju njegovu efikasnost i efektivnost. Upravo ta „uska grla“ i potreba za smanjenjem istih jedan su od razloga što mjerenju performanci u logistici stručnjaci i znanstvenici pridaju sve veću pozornost.

Aktualizaciji teme mjerenja performanci procesa u logističkim sustavima pridonose i vanjski utjecaji kao što su tržišna konkurencija s ciljem smanjenja tržišnih cijena, veliki zahtjevi korisnika te napredak tehnologije.

Recentna istraživanja na globalnoj razini [1] koja su uključila različite subjekte logističkog tržišta potvrdila su da nije zabilježena ni jedna logistička organizacija koja

smatra da mjerenje performanci provodi na potpuno učinkovit način, i da nisu potrebna dodatna unapređenja na svim razinama procesa u svrhu dostizanja poslovnih ciljeva. Osnovni nedostaci, prema provedenim istraživanjima, očituju se u preopširnim ili nedovoljnim mjerenjima, te na krivo usmjerenim mjerenjima. Nadalje, uočeno je da osim tradicionalno postavljenih ciljeva koji se mjerenjem logističkih performanci žele postići (financijski pokazatelji i protok robe unutar pojedinačnog elementa opskrbnog lanca), praćenje i upravljanje ostalim performancama vrlo rijetko biva postavljeno kao cilj.

Iako mjerenje logističkih performanci u današnje vrijeme visokog stupnja tehnološkog razvoja i informatizacije djeluje kao uobičajen pristup korištenju poslovnih informacija za strateško, poslovno i operativno upravljanje, istraživanja autora [1, 2] ukazuju da većina logističkih tvrtki ne mjeri sveukupne performace. Također, rezultati mjerenja nedovoljno se koriste u svrhu

poboljšanja poslovanja i integracije unutar opskrbnog lanca.

Ciljevi mjerenja, pristup pojedinom mjerenju, načini analize promatranog poslovanja i optimalno definiranje relevantnih pokazatelja ključni su izazovi u mjerenju logističkih performanci. Složenost određivanja opsega i načina mjerenja utječe na pojavu realne mogućnosti izbora pogrešnih pokazatelja.

Zbog toga je u radu prikazan drukčiji pristup određivanju okvira za mjerenje logističkih performanci. Predloženi pristup se temelji na metodologiji upravljanja poslovnim procesima. Polazišne osnove za predloženi pristup ogledaju se u interdisciplinarnosti logistike koja objedinjuje inženjerska i menadžerska znanja, što je moguće najbolje opisati upravo spomenutom metodologijom.

2. MJERENJE LOGISTIČKIH PERFORMANCI

Mnogi autori obrađuju važnost mjerenja logističkih performanci i različite pristupe njihovom definiranju. Rezultati mjerenja omogućuju uspoređivanje ostvarenih vrijednosti s vrijednostima iz prethodnih razdoblja, ili planiranim vrijednostima. Međutim, uvijek ostaje otvoreno pitanje što (pozicija) i kako (način) mjeriti.

Općenito, za definiranje učinkovitosti poslovanja koriste se različiti ključni pokazatelji uspješnosti (eng. KPI – Key Performance Indicators). Ključni pokazatelji uspješnosti predstavljaju skup kvantitativnih i kvalitativnih mjera koje tvrtke ili industrije koriste kako bi ocijenile ili usporedile performance kao što su ispunjenje strateških i operativnih ciljeva[3]. Oni predstavljaju samo određeni podskup ukupnih pokazatelja performanci, a ključnih s aspekta promatrane svrhe i namjene mjerenja.

Postoje različite razine odlučivanja koje zahtijevaju različite informacije bitne za dobro upravljanje sustavom. Zato je važno usredotočiti se na elemente opskrbnog lanca, na dijelove logističkog sustava, ali i na logistički sustav u cjelini.

Prethodno spomenuto ukazuje na to da je velik potencijal prikupljenih podataka. Ako su ciljevi mjerenja, pozicije mjerenja i mjerni sustavi nekonzistentno postavljeni mogu utjecati na izbor pogrešnih pokazatelja.

2.1. Pristup mjerenju logističkih performanci

Postoje različiti pristupi definiranju mjera u logistici. U radu će se prije svega promatrati problematika pristupa s obzirom na razinu i obuhvat istraživanja.

Istraživanja u području mjerenja logističkih performanci u opskrbnim lancima, koja vrlo dobro u znanstvenim radovima opisuju različiti autori [4], iznimno su važna zbog fokusa istraživanja na sve razine procesa, odnosno na pojedine aktivnosti unutar opskrbnog lanca.

Detaljno promatranje svih elemenata poslovanja i definiranje njihove međuovisnosti pri samom snimanju procesa može osigurati dovoljno dobre i detaljne podatke. Takve, gotovo trenutačne informacije o cjelokupnom tehničko tehnološkom stanju procesa, kako

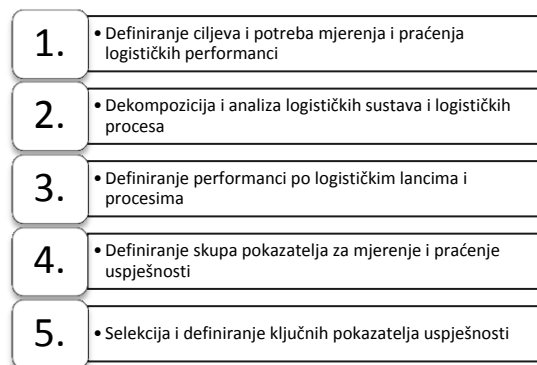
navode autori [5,6], jedino je moguće ostvariti uspostavom direktne veze između performanci procesa, objekata mjerenja i pripadajućih informacija. Na taj način će se osigurati identifikacija i analiza devijacija u procesu, te analiza načina odvijanja aktivnosti u osnovnoj strukturi procesa.

2.2. Postupak definiranja pokazatelja uspješnosti

Dizajniranje pozicija i načina mjerenja u svrhu određivanja ključnih pokazatelja promatranog elementa opskrbnog lanca strukturira se sukladno unaprijed postavljenom cilju. Postupkom definiranja pokazatelja uspješnosti primarno se pokušava odgovoriti na sljedeća pitanja:

- Čemu služe podaci o logističkim performansama
- Na koji način identificirati, prikupljati, kvantificirati i obrađivati podatke

Kako autori navode [7], odgovore na ova pitanja mogu se dobiti kroz pet osnovnih koraka prikazanih na slici 1.



Slika 1. Koraci definiranja pokazatelja performanci [7]

Postupak definiranja pokazatelja uspješnosti podrazumijeva da se prioritetno sustavno odrede i detaljno *definiraju osnovni ciljevi mjerenja i praćenja performanci* kako bi se na temelju ulaznih podataka, u postupcima koji slijede, mogla ustvrditi korist dobivenih rezultata.

Drugi korak, nerijetko smatran i najvažnijim za postupak, odnosi se na *dekompoziciju logističkih procesa*. Vrlo često dekompozicija podrazumijeva ključnu aktivnost u definiranju pokazatelja, jer greške u dekompoziciji procesa mogu bitno utjecati i na rezultate performanci. Prilikom dekompozicije treba imati na umu da se u analizu uključe i veze s okruženjem (korisnicima), jer postoji velika međuovisnost performanci te ulaznih i izlaznih elemenata koje se razmjenjuju s okolinom. Detalji o dekompoziciji procesa obrađeni su u sljedećem poglavlju.

Treći korak uključuje *definiranje performanci logističkih procesa*. U tu svrhu se najčešće koriste povijesni podaci koji podrazumijevaju određenu vrstu smjernice.

Definiranje skupa pokazatelja za mjerenje i praćenje odnosi se na postavljanje pokazatelja na sam proces, te na pojedine aktivnosti procesa. Pri tome treba uzeti u

obzir podatke koje tehničko-tehnološki aspekt trenutno može dati kao podatke za ulaznu analizu.

Posljednji, peti korak *selekcije ključnih pokazatelja performanci* je korak u kojem se odabiru oni pokazatelji koji izravno mogu utjecati na odlučivanje o promjenama kod upravljanja logističkim sustavom.

Druga važna mjera u odabiru broja pokazatelja je već spomenuti tehnološki razvoj i količina podataka koji se mogu prikupiti iz tehnoloških dijelova procesa. Ne postoji uputa kako odabrati optimalan broj pokazatelja, već to izravno ovisi o složenosti procesa i obuhvatu poslovanja.

3. DEKOMPOZICIJA PROCESA I CILJEVI UPRAVLJANJA PERFORMANCAMA

Utvrđivanje detaljnih informacija za mapiranje procesa i dekompoziciju prema elementima opskrbnog lanca važno je zbog toga jer se performanse odnose na procese, aktivnosti i angažirane resurse.

Identifikacija (pozicija), mjerenje (mjerni sustav, način mjerenja), pogodan vizualni i grafički prikaz pokazatelja performanci značajno doprinosi transparentnosti i efektivnosti upravljanja. Isti pristup koristi se radi preglednosti funkcija i resursa unutar promatranog opskrbnog lanca, pojedinog elementa (karike) lanca ili logističkog sustava.

Sve ovo je dio metodološkog pristupa *upravljanja poslovnim procesima*. Zato je metodologija upravljanja poslovnim procesima, kao sustavni način analize, dizajna i kontinuiranog unapređivanja poslovnih procesa, primjenjiva u području definiranja okvira za mjerenje logističkih performanci.

3.1. Postupak dekompozicije procesa

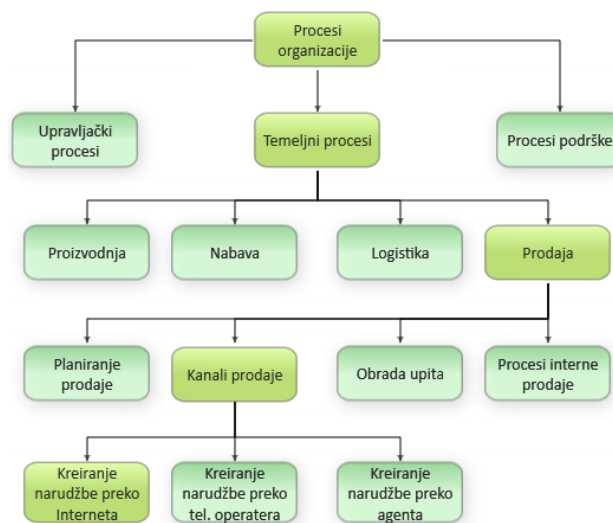
Upravljanje procesima nije moguće ostvariti bez vizualizacije poslovanja. Vizualizacija poslovanja radi se kroz hijerarhijsku dekompoziciju procesa sve do razine aktivnosti koja se prikazuje dijagramima toka.

Hijerarhijska dekompozicija je metoda svladavanja složenosti poslovnog sustava (slika 2.). Proces se na jednoj razini apstrakcije promatra kao jedinstvena cjelina, dok se na nižoj razini apstrakcije promatra kao složen proces koji se sastoji od više dijelova. Uzastopnom primjenom spomenutog dobije se hijerarhijska struktura.

Na najnižoj razini dekompozicije procesa, u dijagramu toka prikazuje se način izvođenja procesa s prikazom redoslijeda ili toka poslovnih aktivnosti, pri čemu je aktivnost osnovna interna strukturna jedinica procesa. Način izvođenja procesa, osim strukture, sadrži i poslovne događaje kojima počinje i završava pojedina aktivnost, ulazne i izlazne tokove podataka, softversku podršku, uloge radnih mjesta u izvođenju pojedine aktivnosti, poslovna pravila i dr. (slika 3.).

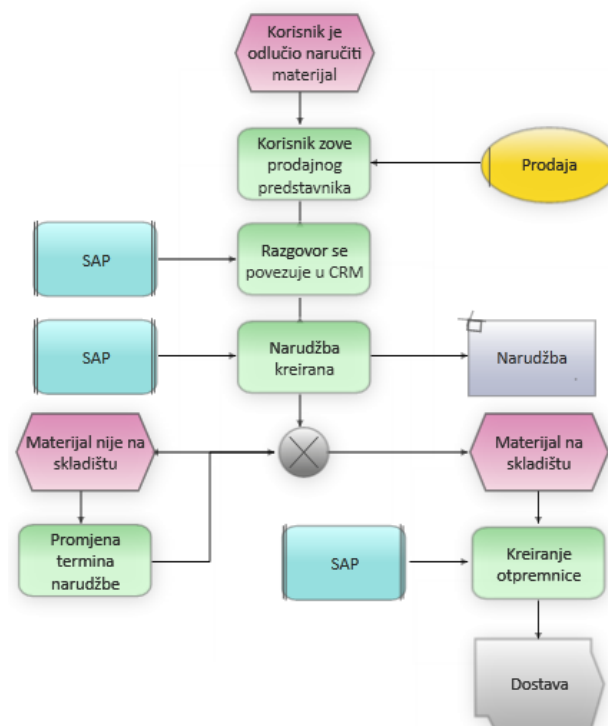
Svaki od elemenata dijagrama toka (npr. aktivnost, radno mjesto, objekt) može se kvantitativno odrediti. Svaka ta kvantitativna mjera može u analizi izvođenja dijagrama toka predstavljati mjeru performanci. Kvantitativno određivanje funkcionalno se bilježi u

unaprijed definiranim obrascima u obliku tablica. Osnovne strukture tablica usko su povezane s promatranom aktivnošću i potpuno ga opisuju.



Slika 2. Dekompozicija poslovnih procesa

Zabilježena zapažanja obrađuju se matematičkim i statističkim metodama s različitim pojedinačnim ciljevima, a sve u svrhu kvantitativne evaluacije promatranog elementa dijagrama toka.



Slika 3. Dijagram toka

Tablica 1. prikazuje način obrade pojedinih elemenata dijagrama toka tako da se svaki promatrani element dijagrama toka smješta u redak tablice (npr. aktivnosti, aplikativna podrška, sredstva za rad). Idući korak je evaluacija svakog elementa iz dijagrama toka s obzirom na performanse u fokusu (vrijeme, trošak, itd.).

Svaki element dijagrama toka ne mora nužno utjecati na promjenu svih promatranih pokazatelja. Na ovaj način

se dobiva inicijalni popis svih pokazatelja performanci nekog procesa. Mogućnost izostavljanja nekih pokazatelja i mogućnost pogreške na taj se način svodi na minimum.

Tablica 1. Mjere performanci

	Vrijeme	Produktivnost	Stanje	Trošak
Aktivnost	*	*		*
Radno mjesto	*		*	*
Sredstvo za rad			*	
Dokumentacija	*	*	*	

3.2. Ciljevi upravljanja logističkim performansama

Osnovni cilj upravljanja logističkim performansama je valorizacija vlastitog poslovanja. Međutim, kako tvrtke na logističkom tržištu uglavnom ne funkcioniraju kao jedinka već su dio logističkog sustava na koji direktno utječu poslovni partneri (na dnevnoj razini), upravljanje performansama, osim valorizacije vlastitog poslovanja, ima za cilj optimizaciju efikasnosti i efektivnost međudnosa poslovnih partnera. Ovaj cilj upravljanja performansama postaje osobito važan kada se sagledavaju performanse na razini cijelog opskrbnog lanca. Jednoznačno definiranje pozicija i načina mjerenja i analiza, kroz dobivene rezultate, mogu ukazati na nedostatke u poslovanju partnera unutar opskrbnog lanca. Definiranjem nedostataka u poslovanju na ovakav način omogućuje ciljanu promjenu u poslovanju što može imati pozitivni efekt u tehničko-tehnološkom smislu, ali i u obliku povećanja profita za sve partnere u opskrbnom lancu.

Optimizacija na temelju performanci, ne samo vlastitog poslovanja već i rada poslovnog partnera, rijetko je primijenjena u praksi unatoč velikim prednostima i mogućnostima. Nedostatak suradnje između pojedinih organizacija vrlo je česta pojava, naročito u nedovoljno razvijenim logističkim tržištima gdje se razmjena podataka na ovako detaljnoj razini smatra odavanjem strogo čuvanih poslovnih tajni.

4. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Definiranje skupa pokazatelja za mjerenje i praćenje uspješnosti procesa je složen zadatak. Iako je moguće provesti vrlo detaljna mjerenja, to ujedno ne predstavlja i optimalan način. Cilj je definirati one skupove pokazatelja te pozicije i načine mjerenja istih, koji u stvarnom vremenu rezultiraju optimalnim brojem informacija uz minimalna ulaganja u dobivanje istih.

Složenost mjerenja i praćenja logističkih performanci očituje se u činjenici da samo tradicionalan pristup, zbog potrebe sve veće fleksibilnosti u poslovanju, više nije dovoljan. Uspješna integracija poslovanja na razini opskrbnog lanca implicira ujednačeno definiranje pozicija i načina mjerenja, te analizu logističkih performanci.

Ujednačavanje pozicija i načina mjerenja logističkih performanci, uz istodobno praćenje pokazatelja

uspješnosti poslovanja pojedinog partnera u lancu, zahtijeva individualnu hijerarhijsku dekompoziciju procesa, analizu pojedine aktivnosti i definiranje pokazatelja njene učinkovitosti. Sažimanje tako popisanih pokazatelja smanjuje mogućnost izbora pogrešnih pokazatelja poslovanja.

Primjenom takvog pristupa u mjerenju logističkih performanci za očekivati je da će definiranje KPI-a i njihovo praćenje, bilo na razini pojedinog elementa opskrbnog lanca ili cijelog opskrbnog lanca, biti jednostavnije i jasnije.

5. LITERATURA

- [1] Sabri, E.H.; Shaikh S.: Lean and Agile Value Chain Management, J. Ross Publishing, USA, 2010.
- [2] James S. Keebler.: Keeping Score: Measuring the Business Value of Logistics in the Supply Chain, Council of Supply Chain Management Professionals, Massachusetts, 1999.
- [3] <http://www.investopedia.com> (Dostupno: 06.11.2013.)
- [4] Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P.; Simchi-Levi, E.: Designing and Managing the Supply Chain Concepts, Strategies, and Case Studies, Irwin McGraw-Hill, New York, 2000.
- [5] Romano P.: Co-ordination and integration mechanisms to manage logistics processes across supply networks, Journal of Purchasing & Supply Management No.9, 2003.
- [6] Gudehus, T.; Kotzab, H.: Comprehensive Logistics, Springer, Hamburg, 2009.
- [7] Milorad, J. Kilibarda; Zečević, Slobodan M.: Upravljanje kvalitetom u logistici, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2008.

Kontakt autora:

Diana Božić, dr. sc.

Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu
diana.bozic@fpz.hr

Krešimir Vrček, mag. inf.

Mola Mola d.o.o.
kvrcek@gmail.com

Bajor Ivona, dipl.ing.

Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu
ibajor@fpz.hr

RAZVOJ SUSTAVA ZA MJERENJE POVRŠINE POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA KORIŠTENJEM OPERACIJSKOG SUSTAVA ANDROID

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM FOR AGRICULTURAL LAND MEASURING USING THE ANDROID OPERATING SYSTEM

Zoran Vrhovski, Tomislav Kurtanjek, Marko Miletić

Stručni članak

Sažetak: U ovom radu opisan je i razrađen sustav za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta. Za mjerenje površine korišten je sustav koji koristi operacijski sustav Android. Prednost ovoga sustava je minimalan broj hardverskih komponenta potreban za njegovu izradu s obzirom na to da se upravlja i nadzire putem pametnog telefona. Ovaj sustav u usporedbi s konkurentnim sustavima ima nižu cijenu. Aplikacija koja se nalazi na pametnom telefonu omogućuje geografsko bilježenje lokacija poljoprivrednih parcela. Na svakoj parceli bilježi se površina parcele, poljoprivredna kultura koja je zasijana ili ubrana na parceli i vrijeme rada na parceli. Ti se podaci statistički obrađuju tako da postoji uvid u ukupan broj parcela, ukupnu površinu, prosječnu površinu i u pojedine kulture na svakoj parceli. Statistički se podaci mogu prenositi bežičnim putem u Windows aplikaciju kojom se može napraviti izvještaj.

Ključne riječi: Android, bežična komunikacija, mjerenje površine, pametni telefon, poljoprivredno zemljište

Professional paper

Abstract: This paper describes and elaborates on a system used for measuring the surface of agricultural area. An innovative system that deploys the Android operating system was used for surface measuring. The advantage of this system is the fact that its construction requires a minimal amount of hardware components, as control and monitoring are carried out over a smartphone. In comparison with competing systems this system is less expensive. The application integrated in a smartphone allows for geographical recording of agricultural site locations. Site surface, crop that has been planted or harvested on the site, and the time of working on the site are recorded for each site. The data are statistically processed, so insight is gained into the total number of sites, overall surface, average surface and individual crops on each site. Statistical data can be wirelessly transferred into a Windows application that allows for the creation of reports.

Key words: android, wireless communication, area measuring, smartphone, agricultural area

1. UVOD

Mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta bitno je iz više razloga. Jedan od njih je mogućnost preciznog kalkuliranja prinosa neke poljoprivredne kulture. Ako se uslužno obrađuje poljoprivredno zemljište tada je mjerenje površine bitno zbog naplate usluge.

Postoje razne metode mjerenja poljoprivrednog zemljišta [1], [2]. Jednostavne metode se odnose na mjerenje površine korištenjem odometrije i radnog zahvata stroja. Složenije metode za svoj rad koriste GPS uređaj koji za konvencionalnu upotrebu nije dovoljno precizan. Precizniji GPS uređaji su jako skupi.

U ovom radu je opisana izrada sustava za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta korištenjem operacijskog sustava *Android*. Ovakav sustav može biti korišten na raznim strojevima kao što su sijačice, kombajni, silo-kombajni i traktori. Predstavljeno rješenje sustava bit će opisano hardverski i softverski.

Mjerenje površine zemljišta radi na principu brojanja digitalnih impulsa sa senzora, najčešće induktivnog. Senzor je montiran na nekom rotirajućem dijelu radnog stroja. Taj dio mora rotirati samo kada je radni stroj u pokretu. Ako je poznat opseg kotača i širina radnog zahvata nekog stroja tada se može dobiti površina pri jednom okretaju kotača. Ako se pomnoži opseg kotača, širina radnog zahvata stroja i broj impulsa sa senzora dobije se ukupna obrađena površina.

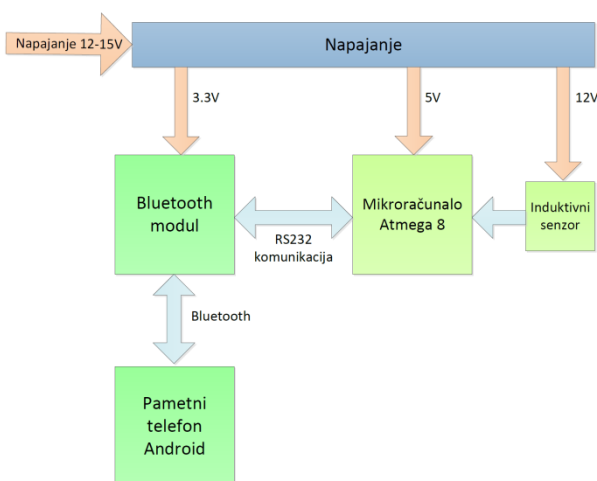
Na tržištu postoji nekoliko rješenja sustava za mjerenje površine zemljišta spomenutog tipa. Zapravo je osnovni princip rada isti kod svih sustava. Na radnom stroju se nalazi induktivni, mehanički ili u nekim slučajevima magnetski senzor koji se spaja na upravljačku jedinicu koja se nalazi u kabini radnog stroja. Na upravljačkoj jedinici se nalaze funkcijske tipke i LCD ekran na kojemu se prikazuje izmjerena površina. Najveća mana ovih sustava naspram sustava koji će biti opisan u radu je cijena koja prelazi nekoliko tisuća kuna. Također u takvim sustavima nije moguća ili je vrlo skupa

statistička obrada podataka i geografsko bilježenje lokacije poljoprivrednog zemljišta.

Rad je strukturiran u četiri poglavlja. U drugom poglavlju opisuje se izrada upravljačke pločice sustava za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta. Treće poglavlje opisuje aplikaciju za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta na pametnom telefonu i *Windows* aplikaciju koja služi za sigurnosnu kopiju podataka i izradu izvještaja. U četvrtom poglavlju su zaključci o prednostima i manama sustava te je predstavljen budući rad na sustavu.

2. HARDVER SUSTAVA ZA MJERENJE POVRŠINE POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA

Blokovska shema sustava za mjerenje površine prikazana je na slici 1. Ulazni napon u sklop za napajanje može biti u granicama od 12 do 15 V. Iz sklopa izlaze tri linije stabiliziranih napona i to redom 12V, 5V, i 3.3V.



Slika 1. Blok shema sustava za mjerenje površine

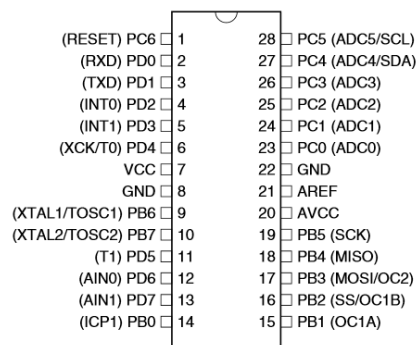
Stabilizirani naponi koriste se za napajanje pojedinih komponenta. Mikrokontroler je spojen na napon od 5V, *bluetooth* modul na 3.3 V, a induktivni senzor na 12V. Mikrokontroler na rastući brid signala s induktivnog senzora mijenja iznos trenutačno izmjerene površine. Komunikacija između mikrokontrolera i *bluetooth* modula ostvarena je putem RS232 komunikacijskog porta. Pametni telefon povezuje se bežično putem *bluetooth* bežične komunikacije s *bluetooth* modulom i na taj se način ostvaruje komunikacija između pametnog telefona i mikrokontrolera. Komunikacija je moguća u oba smjera.

Zahtjevi zadani na hardver sustava za mjerenje površine su niska cijena i mala dimenzija sustava. Tiskana pločica projektirana je u *EAGLE* programskom paketu. U nastavku će biti opisane pojedine komponente hardvera.

2.1. Mikrokontroler ATmega 8

ATmega 8 [3] je mikrokontroler tvrtke *Atmel*. ATmega serija mikrokontrolera koristi se gotovo u svim granama industrije, a prihvatili su je i inženjeri. ATmega

8 ima 28 pinova od kojih se 23 mogu koristiti kao ulazno/izlazni pinovi.



Slika 2. ATmega 8 mikrokontroler [3]

Na slici 2. je prikazan raspored pinova mikrokontrolera ATmega 8. U tabeli 1. se nalazi popis svih korištenih pinova mikrokontrolera u svrhu mjerenja površine poljoprivrednog zemljišta.

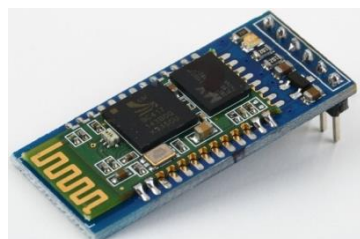
Tabela 1. Lista korištenih pinova mikrokontrolera ATmega 8

PORT	Opis
PORTD 0	<i>Bluetooth</i> RS232 RX
PORTD 1	<i>Bluetooth</i> RS232 TX
PORTD 2	Induktivni senzor 1
PORTD 3	Detekcija napajanja
PORTD 4	<i>Bluetooth</i> key
PORTD 5	<i>Bluetooth</i> state
PORTD 6	Induktivni senzor 2
PORTB 0	LED dioda 1
PORTB 1	LED dioda 2
PORTB 2	Tipkalo
PORTB 3-5	Pinovi za programiranje
PORTB 6 i 7	Kristal kvarca
PORTC 6	Reset

2.2. Bluetooth modul

Bluetooth [4] je bežični način razmjene podataka između dva ili više uređaja. Zbog korištenja radijske veze uređaji koji se povezuju ne moraju biti u optičkoj vidljivosti i ne moraju biti međusobno usmjereni, a veza se može ostvariti u promjeru od 10 do 20 m oko uređaja.

Bluetooth tehnologija se koristi za komunikaciju između hardvera koji se nalazi na radnom stroju i pametnog telefona. Ova tehnologija je odabrana zbog svoje jednostavnosti i zbog toga jer svaki pametni telefon podržava *bluetooth* tehnologiju. Na tržištu postoji nekoliko rješenja *bluetooth* modula, a najčešće je korišten modul HC-05 [5] prikazan na slici 3.



Slika 3. *Bluetooth* modul [5]

Bluetooth modul prije korištenja treba konfigurirati. Konfiguracija se radi tako da se modul spoji na napajanje i pin *key* dovede u visoko stanje (5V). Tada je *bluetooth* modul u modu za konfiguraciju. Konfigurira se preko RS232 porta korištenjem AT komanda. U konkretnom slučaju korišteni su sljedeći parametri *bluetooth* modula:

- Ime: Hektometar
- Zaporka: 1234
- Brzina 115200 b/s
- Stop bit: 1
- Paritet: Paran

Ime i zaporku moguće je promijeniti korištenjem pametnog telefona.

2.3. Upravljačka pločica sustava za mjerenje površine zemljišta

Slika 4. prikazuje upravljačku pločicu sustava za mjerenje površine zemljišta. Ona se montira na radni stroj. Na nju se priključuje napajanje od 12 V do 15 V te induktivni senzor koji detektira broj okretaja kotača. Upravljačka pločica komunicira s pametnim telefonom putem *bluetooth* bežične komunikacije.



Slika 4. Upravljačka pločica sustava za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta

Upravljačka pločica sustava za mjerenje površine izrađena je foto-postupkom [6]. Prilikom projektiranja upravljačke pločice trebalo je obratiti pozornost na širinu vodova i razmak između njih. Elektroničke komponente trebalo je smjestiti što bliže jedna drugoj tako da bi tiskana pločica bila što manjih dimenzija, a to je bio jedan od osnovnih zahtjeva na upravljačku pločicu sustava za mjerenje površine.

2.4. Induktivni senzor

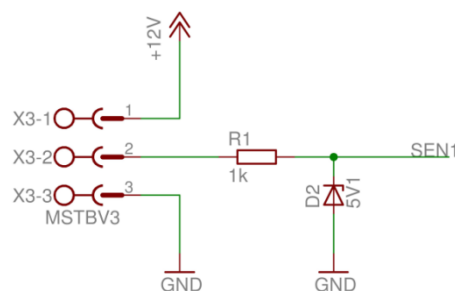
Induktivni senzor [7] prikazan na slici 5. radi na principu promjene induktiviteta zavojnice u LC titrajnom krugu. Visokofrekvencijsko magnetsko polje zavojnice se zbog upotrebe poluotvorene feritne jezgre dijelom nalazi u zraku. Unošenje metalnog objekta u dio magnetskog polja koji je u zraku rezultira promjenom induktiviteta zavojnice, a time i promjenom amplitude i frekvencije titranja LC kruga.



Slika 5. Induktivni senzor

Druga mogućnost interpretacije ove pojave je induciranje kružnih struja u metalnom objektu, koje izvlače energiju za titranje iz titrajnog kruga smanjujući pri tome amplitudu i frekvenciju oscilacija. Okidni sklop s histerezom u senzoru detektira te promjene i u određenoj točki mijenja stanje izlaza senzora.

Induktivni senzor radi na naponu od 6 do 30 V, a mikrokontroler dopušta maksimalni ulazni napon po pojedinom pinu od 5.5V. Iz toga razloga izvedena je prilagodba napona pomoću otpornika R1 i Zenerove diode D2 s probojnim naponom 5.1V. Naponska prilagodba za induktivni senzor prikazana je na slici 6. Induktivni senzor sa slike 5. spaja se na upravljačku pločicu tako da se smeđa žica spoji na stezaljku X3-1, plava žica na stezaljku X3-3, a crna žičana stezaljku X3-2. Stezaljke su prikazane na slici 6.

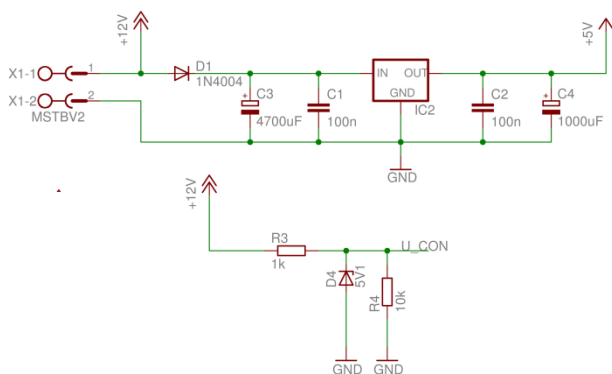


Slika 6. Naponska prilagodba za induktivni senzor

2.5. Detekcija gubitka napajanja

U slučaju nestanka napajanja sustav za mjerenje mora dovoljno dugo autonomno raditi kako bi uspio pospremiti mjerene vrijednosti i dojaviti pametnom telefonu da je došlo do gubitka napajanja. Detekcija gubitka napajanja ostvarena je tako da se u sustav ugradi kondenzator velikog kapaciteta koji može dovoljno dugo zadržati napajanje da mikrokontroler može pospremiti sve bitne podatke u EEPROM memoriju.

Na slici 7. prikazana je shema sklopa koja služi za detekciju nestanka napajanja. Pošto sklop detektira nestanak ulaznog napona, a on je veći od 5V, treba taj signal prilagoditi mikrokontroleru. To je postignuto korištenjem otpornika R3 i Zenerove diode D4. Probajni napon Zenerove diode je 5.1V, što je prihvatljivo za mikrokontroler. Otpornik R4 je pritezni otpornik koji u slučaju nestanka napajanja pin mikrokontrolera priteže na 0 V. Kada pin detektira prijelaz napona iz 5 V u 0 V izvršava prekid u mikrokontroleru. U prekidnoj rutini svi potrebni podaci spremaju se u EEPROM.



Slika 7. Detekcija gubitka napajanja

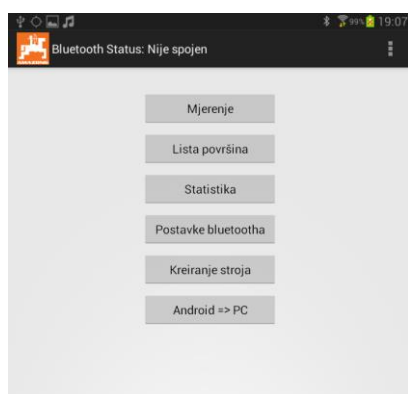
Detekcija gubitka napajanja bitna je za produženje životnog vijeka sustava za mjerenje površine. Ako bi se podaci spremali u EEPROM memoriju pri svakom okretaju kotača na radnom stroju, nakon određenog vremena EEPROM memorija ne bi radila zbog konačnog broja pristupa toj memoriji.

3. SOFTVER SUSTAVA ZA MJERENJE POVRŠINE POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA

3.1. Android aplikacija sustava za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta

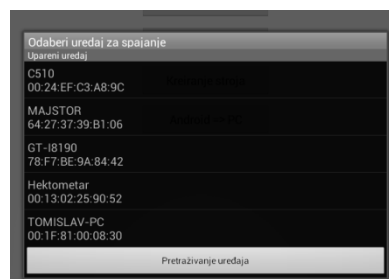
Android operacijski sustav [8] odabran je za izvođenje upravljačke aplikacije sustava za mjerenje površine zemljišta iz razloga što je to danas jedan od najraširenijih operacijskih sustava koji se koristi na pametnim telefonima i tabletima. Gotovo 80% pametnih telefona koristi *Android*. Izrada aplikacije za *Android* relativno je jednostavna. Za izradu aplikacije koristi se programski jezik *Java* i *Android Software Development Kit* [9], [10].

Prilikom pokretanja aplikacije otvara se glavni prozor prikazan na slici 8.



Slika 8. Glavni prozor aplikacije

Prije početka mjerenja treba povezati upravljački sustav za mjerenje površine s pametnim telefonom putem *bluetooth* bežične komunikacije. Potrebno je pritisnuti *Menu* tipku na pametnom telefonu, a zatim tipku *Spoji*. Nakon toga otvara se izbornik prikazan na slici 9. u kojem se odabire Hektometar.

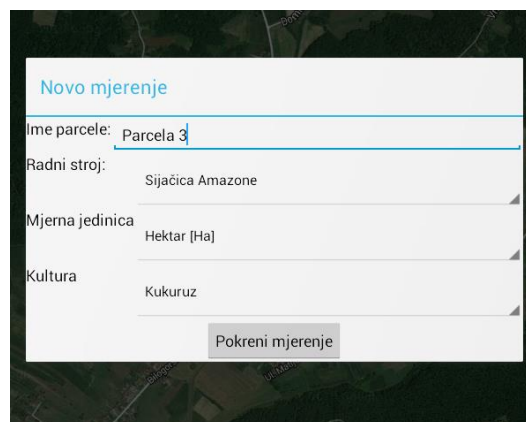
Slika 9. Odabir *bluetooth* uređaja

Nakon povezivanja pametnog telefona i upravljačkog sustava sa slike 4. u glavnom prozoru sa slike 8. potrebno je odabrati tipku *Mjerenje*. Otvorit će se prozor prikazan na slici 10.



Slika 10. Prozor Mjerenje

Željena parcela koja će se mjeriti može se odabrati ručno ili korištenjem GPS sustava. Dugim pritiskom na željenu parcelu otvara se prozor *Novo mjerenje* prikazan na slici 11.



Slika 11. Kreiranje novog mjerenja

U tom prozoru se definira naziv parcele, odabire se radni stroj koji je ranije definiran, mjerna jedinica površine te kultura koja se obrađuje na toj parceli. Nakon

svega definiranoga pritisne se tipka *Pokreni mjerenje*. Tijekom mjerenja na dnu ekrana cijelo se vrijeme ispisuje površina koja je izmjerena do tog trenutka. Lokacija se radnog stroja tijekom mjerenja prikazuje na mapi korištenjem GPS uređaja u pametnom telefonu.

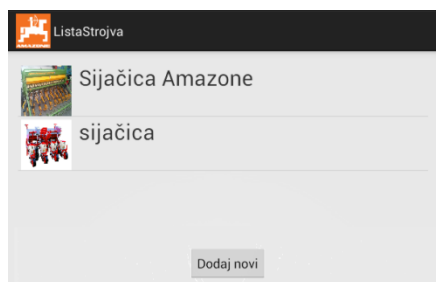
Nakon završenog mjerenja potrebno je pritisnuti tipku *Opcije*. Kada se otvori novi prozor pritisne se tipka *Završi mjerenje*, nakon čega se svi podaci spremaju u *SQLite* [11] relacijsku bazu podataka koja se koristi u *Android* aplikacijama.

Podaci o pojedinoj parceli dobivaju se putem tipke *Lista površina* (slika 12.).



Slika 12. Prikaz mjerene parcele

Pritiskom na tipku *Kreiranje stroja* u glavnom prozoru sa slike 8. otvara se novi prozor prikazan na slici 13. U tom prozoru pohranjena je lista svih kreiranih radnih strojeva. Ako treba kreirati novi radni stroj potrebno je pritisnuti tipku *Dodaj novi*. Kada se uređuje postojeći radni stroj dovoljno je samo pritisnuti na prethodno kreiran radni stroj.



Slika 13. Lista radnih strojeva

Slika 14. prikazuje prozor u kojem se kreira/uređuje radni stroj. Treba definirati ime radnog stroja, a zatim konstantu radnog stroja koja se može zadati na četiri načina:

- Broj okretaja po rali
- Rali po okretaju
- Broj okretaja po hektaru
- Hektara po okretaju

Konstanta stroja mora biti vrlo precizna, a dodatno se može korigirati korekcijskim faktorom ako se uoči pogreška u mjerenju. Korekcijski faktor množi mjerenu površinu i tako se dobije točnije mjerenje.

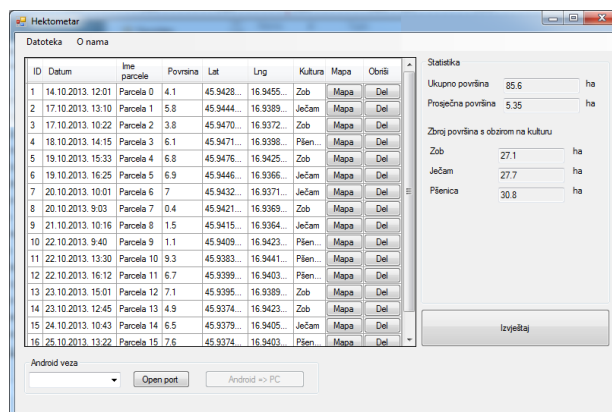
Slika radnog stroja može se odabrati iz galerije slika ili se može slikati postojećom kamerom na pametnom telefonu. Pri dnu ekrana nalazi se tekstualno polje *Dodatni opis* u koji se mogu upisati dodatne informacije vezane za radni stroj. Nakon unosa svih parametara treba pritisnuti tipku *Spremi* i radni će stroj biti pospremljen u bazu podataka.



Slika 14. Kreiranje novog radnog stroja

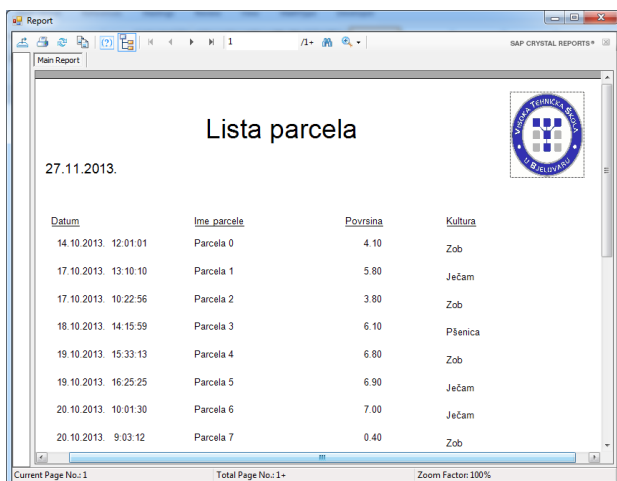
3.2. Windows aplikacija sustava za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta

Windows aplikacija izrađena u *Visual Basicu* programskom jeziku [12] služi za pregled svih mjenjenih površina u tabličnom formatu. Podaci se prenose iz aplikacije na pametnom telefonu u *Microsoft Access* bazu podataka [13] putem *bluetooth* bežične veze. *Windows* aplikacija prikazana je na slici 15. U tablici je prikazan datum kada je mjerenje izvršeno, naziv parcele, površina, kultura te geografska širina i dužina parcele. U zadnje dvije kolone nalaze se tipke *Del* i *Mapa*. Pritiskom na tipku *Del* brišu se mjerenja, a pritiskom na tipku *Mapa* otvara se mapa s lokacijom parcele.



Slika 15. Windows aplikacija sustava za mjerenje površine zemljišta

Pritiskom na tipku *Izveštaj* automatski se generira izvještaj koji sadrži sve površine koje se nalaze u bazi podataka. Izvještaj je generiran u *pdf* formatu i prikazan je na slici 16. Za automatsko generiranje izvještaja korišten je *Crystalreports* koji je dodatak za *Visual Basic* programski jezik.



Datum	Ime parcele	Površina	Kultura
14.10.2013. 12:01:01	Parcela 0	4.10	Zob
17.10.2013. 13:10:10	Parcela 1	5.80	Ječam
17.10.2013. 10:22:56	Parcela 2	3.80	Zob
18.10.2013. 14:15:59	Parcela 3	6.10	Pšenica
19.10.2013. 15:33:13	Parcela 4	6.80	Zob
19.10.2013. 16:25:25	Parcela 5	6.90	Ječam
20.10.2013. 10:01:30	Parcela 6	7.00	Ječam
20.10.2013. 9:03:12	Parcela 7	0.40	Zob

Slika 16. Izvještaj Windows aplikacije sustava za mjerenje površine zemljišta

4. PRORAČUN PARAMETARA SUSTAVA ZA MJERENJE POVRŠINE POLJOPRIVREDNOG ZEMLJIŠTA

Radni stroj na kojem je testiran sustav za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta je sijačica AMAZONED 9-30 [14]. Specifikacije koje proizvođač AMAZONE nudi o radnom stroju serije D9 prikazane su u tabeli 2. Specifikacije radnog stroja odnose se na dimenzije kotača, radni zahvat stroja te na broj okretaja kotača za 1/10 ha obrađene poljoprivredne površine.

Tabela 2. Specifikacije serije sijačica AMAZONE D9[14]

Vrsta kotača	Radni zahvat sijačice, <i>l</i>	Broj okretaja kotača za 1/10 ha, <i>n</i>
5.00 - 16	2.5 m	197.0
	3.0 m	164.0
6.00 - 16	2.5 m	185.0
	3.0 m	154.0
10.0 - 15	3.0 m	149.0
	4.0 m	112.0
	6.0 m	74.5

Sijačica AMAZONE D9-30 na kojoj su provedena testiranja ima kotače s oznakom 6.00-16, te ima radni zahvat od 3 m. Prema tabeli 2., za 1/10 ha kotač se mora okrenuti 154 puta, odnosno za 1 ha 1540 puta. Konstanta 1540 unosi se u aplikaciju (slika 14.). Pogreška mjerenja ovisi o obliku parcele i spretnosti osobe koja upravlja radnim strojem. Ako treba korigirati pogrešku mjerenja u aplikaciju se unosi korekcijski faktor (slika 14.). Korekcijski faktor se množi s mjerenom površinom te se taj umnožak prikazuje u aplikaciji. Statističkom obradom mjerenih površina i stvarnih površina izvučenih iz katastra za podatke sa slike 15. uočeno je da je mjerenja površina za 3% veća od stvarne površine. U tome slučaju korekcijski faktor koji bi eliminirao sustavnu mjernu pogrešku bio bi 0.971. Korisniku aplikacije daje se mogućnost unosa korekcijskog parametra prema vlastitim iskustvenim metodama.

5. ZAKLJUČAK

Ovaj inovativni sustav za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta može biti od velike pomoći poljoprivrednicima jer na jednom mjestu mogu vidjeti sve svoje parcele i njihove površine. Na svakoj parceli bilježi se kultura koja je obrađivana. Sve parcele su vidljive na *Google Maps* kartama upotrebom pametnog telefona ili *Windows* aplikacije. Ti podaci se statistički obrađuju tako da je moguće vidjeti ukupan broj parcela, ukupnu površinu, prosječnu površinu i koliko pojedine kulture ima na kojim parcelama.

Prednost je opisanog sustava za mjerenje površine poljoprivrednog zemljišta što je na vrlo jednostavan način moguća izrada izvještaja o radu na poljoprivrednom zemljištu. Također, velika prednost ponuđenog sustava je njegova cijena koja je niža u odnosu na konkurentne uređaje, a pruža znatno više mogućnosti. Ispravnost rada uređaja za mjerenje površine testirana je na radnom stroju AMAZONED 9-30.

Budući rad na ovom sustavu uključit će planiranje rute od parcele do parcela kako bi se optimizirala potrošnja goriva.

6. LITERATURA

- [1] www.brightengineering.com/geotechnical-engineering/67792-how-to-measure-the-area-of-land/ (Dostupno: 7.11.2013.)
- [2] Carletto, C.; Gourlay S.; Winters, P.: From Guesstimates to GPStimates: Land Area Measurement and Implications for Agricultural Analysis, The World Bank, Development Research Group, 2013.
- [3] www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf (Dostupno: 27.10.2013.)
- [4] en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth (Dostupno: 7.11.2013.)
- [5] robopoly.epfl.ch/files/content/sites/robopoly/files/Tuoriels/bluetooth/hc-05-at_command_set.pdf (Dostupno: 7.11.2013.)
- [6] www.elektronika.ba/forum/uploadz/1170978986_Fo-to_postupak.pdf (Dostupno: 7.11.2013.)
- [7] www.fer.unizg.hr/_download/repository/PM_vjezba_1.pdf (Dostupno: 7.11.2013.)
- [8] [hr.wikipedia.org/wiki/Android_\(operacijski_sustav\)](http://hr.wikipedia.org/wiki/Android_(operacijski_sustav)) (Dostupno: 7.11.2013.)
- [9] [hr.wikipedia.org/wiki/Java_\(programski_jezik\)](http://hr.wikipedia.org/wiki/Java_(programski_jezik)) (Dostupno: 7.11.2013.)
- [10] andbook.anddev.org/files/andbook.pdf (Dostupno: 7.11.2013.)
- [11] <http://www.sqlite.org/>, (Dostupno: 7.11.2013.)
- [12] Kimmel, P.; Visual Basic.NET, Biblioteka Ekspert, 2002.
- [13] Agarwal, V.V.; Huddleston, J.: Visualbasic 2008 baze podataka, Apress, 2009.
- [14] AMAZONE: Tehnički podaci serije sijačica AMAZONE D9

Kontakt:

Zoran Vrhovski, mag.ing.el.techn.inf.

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4
43000 Bjelovar
mob: 0917842199
mail: zvrhovski@vtsbj.hr

Tomislav Kurtanjek (bivši student)

mail: tkurtanjek11@gmail.com

Marko Miletić, bacc.ing.mech.

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4
43000 Bjelovar
mail: mmiletic@vtsbj.hr

12pt

12pt

12pt

NASLOV NA HRVATSKOM JEZIKU (Stil: Arial Narrow, 14pt, Bold, Verzal, Center)

12pt

NASLOV NA ENGLISKOM 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 članka. (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). Pri oblikovanju teksta članka ne smije se koristiti postavka za automatsko rastavljanje riječi.

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 podpoglavlja. Poglavlja se označavaju rednim arapskim brojevima. Podpoglavlja, kao dijelovi poglavlja, označavaju se s dva redna arapska broja kao npr. 1.1, 1.2, 1.3, ... Podpoglavlje 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 podpoglavlja (kao i manjih cjelina) pišu se malim

slovima (kurentom) te se poravnavaju u lijevo. Ako tekst naziva podpoglavlja i manjih cjelina prelazi u više redaka tada se definira viseća uvlaka (hanging intent) 0,7 mm.

10pt

Grafičke oznake (bullet-a) koje se koriste za označavanje stavki u nekoj listi, odnosno za nabrojanje započinju na početku retka, a nakon zadnje stavke dolazi razmak od 10pt:

- Stavka 1
- Stavka 2
- Stavka 3

10pt

Isto pravilo vrijedi prilikom numeriranja stavki u nekoj listi:

1. Stavka 1
2. Stavka 2
3. Stavka 3

10pt

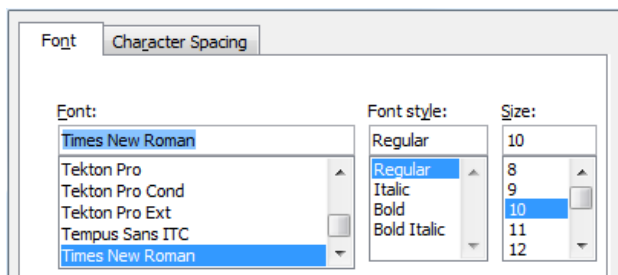
1.2. Oblikovanje slika, tabela i jednadžbi (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Align Left)

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 arapskim 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

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (1)$$

10pt

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \quad (2)$$

10pt

Veličine (varijable) koje se koriste u jednadžbama, ali i u tekstu članka ili u tabelama oblikuju se kao *kurziv* u istoj veličini teksta.

Slike i tabele koje su sastavni dio članka moraju se spomenuti u pratećem tekstu i na taj način povezati sa sadržajem, npr. „... prikazano na slici 1 ...“ ili „... podaci iz tabele 1 ...“ i slično.

10pt

10pt

2. UVODNE NAPOMENE

10pt

Ponudeni članak ne smije biti ranije objavljen, bilo u jednakom ili sličnom obliku, niti smije biti istodobno ponudjen 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 recenzenata 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

Kako bi članci bili pripremljeni istovjetno ovom predlošku preporuča se ubacivanje sadržaja u njega. 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 pripreme 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 ...". Ako su literarne reference poveznice (linkovi) hiperveza se mora ukloniti kao što je vidljivo kod literarne reference 8. Također se uklanjaju hiperveze sa e-mail adresa kod kontakta autora. U popisu literature svaka se jedinica označava brojem, a navodi se prema sljedećim primjerima (podnaslovi iznad referenci se izostavljaju – navedeni su samo 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