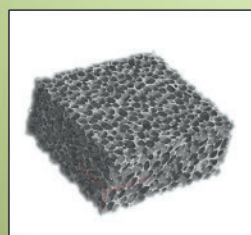
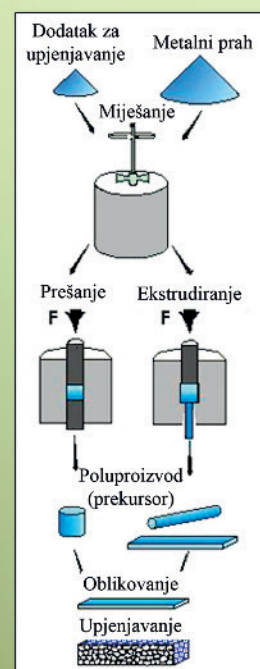


Tehnički Glasnik

Technical Journal



KARAKTERIZACIJA MORFOLOGIJE METALNIH PJENA



TEHNIČKI GLASNIK TECHNICAL JOURNAL

Znanstveno-stručni časopis Sveučilišta Sjever
Scientific professional journal of University North

Godište (Volume) 9
Varaždin, rujan (September) 2015.

Broj (Number) 3
Stranica (Pages) 235–336

Adresa uredništva (Address of Editorial Office):

Sveučilište Sjever – Tehnički glasnik
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, 42000 Varaždin, Hrvatska;
Tel. ++385/ 42/ 493 328, Fax. ++385/ 42/ 493 333
e-mail: casopis@unin.hr
<http://www.unin.hr/sveucilisna-knjiznica/izdavastvo/tehnicki-glasnik/>

Osnivač i izdavač (Founder and Publisher):

Sveučilište Sjever

Savjet časopisa (Council of Journal):

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

Urednički odbor (Editorial Board):

Marin MILKOVIĆ, Živko KONDIĆ, Damir VUSIĆ, Ivan ŠUMIGA, Marko STOJIC, Goran KOZINA, Marko HORVAT, Krešimir BUNTAK, Božo SOLDO, Ljudevit KRAPAN (UNIN Varaždin); Duško PAVLETIĆ i Branimir PAVKOVIĆ (TF Rijeka); Nikola MRVAC i Igor ZJAKIĆ (GF Zagreb); Biserka RUNJE i Krešimir GRILEC (SF Zagreb); Ivan SAMARDŽIĆ, Dražan KOZAK, Leon MAGLIĆ, Roberto LUJIĆ, Ante STOJIC i Katica ŠIMUNOVIĆ (SF Slavonski Brod); Ante ČIKIĆ (VTŠ Bjelovar); Darko DUKIĆ (Sveučilište u Osijeku, Odjel za fiziku); Gordana DUKIĆ (Filozofski fakultet u Osijeku); Srđan MEDIĆ (VELK Karlovac); Sanja KALAMBURA (Veleučilište Velika Gorica); Marko DUĐER (FF Rijeka, Odsjek za politehniku)

Međunarodni urednički savjet (International Editorial Council):

Boris TOVORNIK (UM FERI Maribor); Milan KUHTA (University of Maribor, Faculty of Civil Engineering); 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, Goran KOZINA

Grafički urednik (Graphics Editor):

Dean VALDEC

Tajništvo (Secretary Office):

Domagoj TROJKO

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): 100 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) 2015.

SADRŽAJ
 CONTENT

<i>Čikić A.</i> DOPRINOS SPREMNIKA TOPLINE URAVNOTEŽENJU I STABILNOSTI GRIJANJA NISKOAKUMULATIVNIH OBJEKATA CONTRIBUTION OF A HEAT TANK TO BALANCING AND STABILITY OF HEATING LOW-ACCUMULATION OBJECTS	235
<i>Gupta V., Singh S., Narayan S.</i> ANALIZA KRETANJA MOTORA S VELIKOM TEMPERATURNOM RAZLIKOM MOTION ANALYSIS OF FLUIDDYNE ENGINES	242
<i>Kos, S., Vrhovski, Z., Vidić, D.</i> DETEKCIJA, LOKALIZACIJA I RASPOZNAVANJE OBJEKATA POMOĆU PROGRAMSKOG ALATA LABVIEW DETECTION, LOCALIZATION AND RECOGNITION OF OBJECTS USING LABVIEW	245
<i>Vidić D., Vrhovski Z., Petrović, I.</i> ŠIROKOPOJASNI PRIJENOS PODATAKA ELEKTROENERGETSKOM MREŽOM BROADBAND OVER POWER LINES	251
<i>Kondić V., Višnjić V., Pisačić K., Bojanić B.</i> PREDNOSTI, NEDOSTACI I EKOLOŠKI UČINCI BIODIZELSKOG GORIVA ADVANTAGES, DISADVANTAGES AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BIODIESEL FUEL	260
<i>Krejči J., Petrović I., Vrhovski Z.</i> DVOOSNO USMJERAVANJE FOTONAPONSKOG MODULA KORIŠTENJEM PID REGULACIJE DUAL-AXIS DIRECTING FOR PHOTOVOLTAIC MODULE USING PID CONTROL	264
<i>Pašić M.</i> REGULACIJA TEMPERATURE VODE U KADI ZA PRANJE MASNIH DIJELOVA TEMPERATURE REGULATION IN THE BATH WATER TO WASH FATTY PARTS	269
<i>Groš, J., Srđan, M., Šimunović, N.</i> KONTROLA KVALITETE VRATILA LASERSKIM SKENEROM STEINBICHLER T – SCAN QUALITY CONTROL OF A SHAFT USING THE STEINBICHLER T – SCAN LASER SCANNER	273
<i>Dukić, D., Jukić, D.</i> PREDIKTORI PRIHVAĆANJA ONLINE UČENJA MEĐU SVEUČILIŠNIM STUDENTIMA: ANALIZA TEMELJENA NA RUDARENJU PODATAKA PREDICTORS OF ONLINE LEARNING ACCEPTANCE AMONG UNIVERSITY STUDENTS: AN ANALYSIS BASED ON DATA MINING	279
<i>Čorić D., Begović T., Aleksandrov-Fabijanić T.</i> KARAKTERIZACIJA MORFOLOGIJE METALNIH PJENA MORPHOLOGY CHARACTERIZATION OF METAL FOAMS	285
<i>Dunder, M., Salopek, G., Horvat, M., Kondić, V., Marković, M.</i> PRISTUP ODREĐIVANJU ZAVARLJIVOSTI ČELIKA APPROACH TO DETERMINING WELDABILITY OF STEEL	291
<i>Pisačić K., Kondić V., Višnjić V.</i> KINEMATSKA ANALIZA MEHANIZMA U PROGRAMU SAM KINEMATIC ANALYSIS MECHANISM USING COMPUTER APPLICATION SAM	298
<i>Mostoroi S.N., Barabash I.V., Ksënshekevich L.N., Krantovskaja E.N.</i> UTJECAJ LETEĆEG PEPELA NA SVOJSTVA MEHANIČKO AKTIVIRANIH CEMENTNIH SMJESA FLY ASH AND ITS INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF MECHANO-ACTIVATED CEMENT COMPOSITIONS	303
<i>Karpiuk I., Marchenko M., Karpiuk V., Mosicheva I.</i> ISKUSTVO PROJEKTIRANJA I IZGRADNJE STAMBENE ZGRADE U STJEŠNENIM GRADSKIM UVJETIMA AN EXPERIENCE OF DESIGNING AND CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDING IN THE STRAITENED URBAN ENVIRONMENT	307
<i>Kolomiets L., Orobey V., Lymarenko A.</i> NEKONZERVATIVNI PROBLEMI STABILNOSTI ŠTAPNIH KONSTRUKCIJA NON-CONSERVATIVE PROBLEMS OF THE STABILITY OF BAR STRUCTURES	311
<i>Klimenko E.V., Korol N.D., Korol I.V., Kos Ž</i> PREDVIĐANJE DUGOTRAJNOSTI STUPOVA NA TEMELJU KRITERIJA KARBONIZACIJE BETONA I KOROZIJE ARMATURE PREDICTING THE DURABILITY OF THE COLUMNS ON THE CRITERION OF CONCRETE CARBONATION AND CORROSION OF REINFORCEMENT	317

<i>Bojanić, B.</i> ANALIZA NADZORA SUSTAVA UPRAVLJANJA KVALITETOM OD STRANE NAJVIŠEG VODSTVA ORGANIZACIJE ANALYSIS OF SUPERVISION OF THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FROM THE HIGHEST MANAGEMENT OF AN ORGANIZATION	321
<i>Krpan Lj., Varga D., Maršanić, R.</i> ORGANIZACIJSKA STRUKTURA NABAVE U POSLOVNIM PROCESIMA ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF PROCUREMENT BUSINESS PROCESS	327
Naputak autorima Instructions for authors	III

DOPRINOS SPREMNIKA TOPLINE URAVNOTEŽENJU I STABILNOSTI GRIJANJA NISKOAKUMULATIVNIH OBJEKATA

CONTRIBUTION OF A HEAT TANK TO BALANCING AND STABILITY OF HEATING LOW-ACCUMULATION OBJECTS

Ante Čikić

Izvorni znanstveni članak

Sažetak: Mala vremenska konstanta i termofizikalna karakteristika niskoakumulativnih objekata izrazito povećavaju osjetljivost unutarnje temperature zraka u zoni uzgoja agro kultura na vanjske, naročito nagle, mikroklimatske promjene. Obrnuto proporcionalna brzina grijanja i hlađenja objekta značajno smanjuje učinkovitost toplifikacijskog sustava i ekonomičnost proizvodnje. Uz prilagođenu softversku podršku provedena su eksperimentalna istraživanja u ograničenom vremenskom intervalu na tri objekta (GH1, GH2 i GH3) na različitim lokacijama te je analiziran i uspoređen utjecaj toplifikacijskog sustava sa i bez spremnika topline na brzinu postizanja srednje dnevne unutarnje temperature zraka pri prosječnim vanjskim mikroklimatskim uvjetima u zimskom periodu i tehnološki najosjetljivijem uzgojnom periodu biljaka. Korištenjem akumulirane toplinske energije iz spremnika topline postižu se za oko 50 % brže srednje vrijednosti dnevne unutarnje temperature zraka od minimalno dopuštene unutarnje temperature zraka. Potrošnja toplinske energije i biomase je za oko 23 % do 28 % veća pri pogonu termoenergetskog postrojenja bez spremnika topline i veće toplinske snage za oko 25 % po jedinici površine grijanog prostora iste namjene. Izravna primjena rezultata provedenih istraživanja doprinosi svrhovitijem dimenzioniranju i oblikovanju akumulacijskih spremnika topline te većoj učinkovitosti i ekonomičnosti toplifikacijskih sustava niskoakumulativnih objekata različitih i strogih tehnoloških zahtjeva.

Ključne riječi: niskoakumulativni objekti, akumulacijski spremnik topline, biomasa, unutarnja temperatura zraka, brzina grijanja, stabilnost grijanja.

Original scientific paper

Abstract: A low time constant and thermophysical characteristic of low-accumulation objects significantly increases the sensitivity of the inside air temperature in the area of cultivation of agricultural products to external, especially sudden, microclimate changes. Inversely proportional rate of heating and cooling an object considerably reduces the efficiency of the district heating system and the production cost-effectiveness. With custom software support experimental research was conducted in a limited period of time at three objects (GH1, GH2 and GH3) in different locations and the impact of the district heating system on the rate of achieving the mean daily internal air temperature under average external microclimate conditions in the winter period and the technologically most sensitive period for plant cultivation was analyzed and compared with and without a heat tank. By using the accumulated thermal energy from the heat tank, around 50% faster mean values of daily inside air temperature are achieved as compared to the minimally allowed inside air temperature. The consumption of thermal energy and biomass is about 23 % to 28 % higher in the operation of thermal power plants without heat tank, while thermal capacity is about 25 % higher per unit area of the heated area for the same purpose. Direct application of research results contributes to more appropriate sizing and shaping of accumulation heat tanks and a greater efficiency and cost-effectiveness of heat energy systems of low-accumulation objects of various and strict technological requirements.

Key words: low-accumulation objects, accumulation heat tank, biomass, internal air temperature, heating rate, heating stability.

1. INTRODUCTION

Geometrical shape, technical characteristics and construction quality of low-accumulation agrotechnology objects (greenhouses) must be adapted to climate conditions for year-long production at the location where they are constructed. Along with agrotechnology

conditions, the rate of achieving and the stability of maintaining a suitable air temperature in the zone of plant cultivation in all of its biological stages directly affect the product quality and the expected yield. Due to strong sensitivity of low-accumulation objects to the changes in outside microclimate conditions, along with maintaining the set inside air temperature, it is not

possible to achieve stationary heating under all conditions and carry out an exact thermodynamic calculation. Optimal adjustment of the rate of heating and preventing sudden cooling of a low-accumulation object within a technologically acceptable time interval requires a balance between a low thermophysical characteristic ($\lambda \cdot c \cdot \rho$) of the object and a rational district heating system. Time, cause and frequency of the reduction or discontinuance of heating, thermophysical characteristic of the surface material, windiness, orientation and reflection degree – absorption of external surfaces exposed to solar activity, represent factors that directly affect the thermal reaction of a greenhouse (temporal constant = accumulated heat/heat loss). Temporal constant is very low and significantly affects the efficiency of district heating systems, especially during rapid changes of microclimate conditions at low temperatures of the external air. Additionally, by as much as 10 % – 60 % heat losses increase if the system is exposed to wind, and especially if exposed to rain at the external air temperature between $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ when higher wind speeds are the most frequent. Due to low temporal constant and thermophysical characteristic of objects, as well as high inertia of the secondary hot-water system, in frequently expressed, sometimes even sudden, changes in microclimate conditions in morning and/or evening hours, greater responsiveness and aptitude of the thermal power plant for achieving, maintaining and stability of different inside air temperatures in the heating zones are required. Slower achieving of the required temperature of the heating medium is more expressed in district heating systems with a large proportion of water amount in the secondary circle as compared to the primary circle, which is a feature of greenhouses with larger and large surfaces for intensive plant growth. Accumulation – compensation heat tank is used for diminishing or removing sudden air temperature changes and maintaining thermal and hydraulic balance between the heat source and the secondary heating circle (consumer) [1, 2, 3, 4].

Experimental research was conducted regarding the influence of the heat tank on the rate of achieving inside air temperature, heating balance and stability, as well as the consumption of drive fuel under variable microclimate conditions in the winter period and technologically most sensitive plant growth period.

2. RESEARCH OBJECT AND METHOD

Research was conducted at three low-accumulation objects (greenhouses) constructed in different regions of the continental part of the Republic of Croatia.

(GH1) $P_1 = 10000\text{ m}^2$, hot-water thermal power plant of thermal capacity $Q_1 = 1.5\text{ MW}$, insulated vertical cylindrical heat tank $V_1 = 50000$ liters, zone hot-water heating of the cultivation area.

(GH2) $P_2 = 5000\text{ m}^2$, hot-water thermal power plant of thermal capacity $Q_2 = 0.7\text{ MW}$, insulated vertical cylindrical heat tank $V_2 = 25000$ liters, zone hot-water heating of the cultivation area.

(GH3) $P_3 = 5000\text{ m}^2$, hot-water thermal power plant of thermal capacity $Q_3 = 1.0\text{ MW}$, zone hot-water heating of the cultivation area, without a heat tank.

Drive fuel of each thermal power plant of the installed thermal capacity is biomass – wood chips. Between the primary and secondary heat circle there is a cylindrical heat tank (V_1, V_2), each of a different diameter, height and accumulation heat capacity. Biomass (wood chips) is a mixture of chipped beech and oak wood with granulation up to 5 cm, average moisture 28 % and 35 % and bulk density of around $\rho_{\text{bm}} = 385\text{ kg/m}^3$. The average lower heating value of biomass amounted to around $H_d = 2800\text{ Wh/kg}$ to 3100 Wh/kg . The useful volume of the drive cylindrical biomass container at the thermal power plant GH1 amounts to $V_{\text{bm}}(\text{GH1}) = 40\text{ m}^3$, thermal power plant GH2 $V_{\text{bm}}(\text{GH2}) = 27\text{ m}^3$, and thermal power plant GH3 $V_{\text{bm}}(\text{GH3}) = 30\text{ m}^3$. According to consumption each container was filled with new amounts of biomass within the range of minimal and maximal level inside the container [5, 6]. The product of the useful volume of each container V_{bm} and the number of replenishments n during experimental trials, the consumed amount of biomass was determined for each thermal power plant individually;

$$V_{\text{bm}(1,2,3)} = \frac{D_{(1,2,3)}^2 \cdot \pi}{4} \cdot h_{(1,2,3)} \quad \text{m}^3 \quad [1]$$

where at:

D – diameter of cylindrical biomass container, m

h_K – useful height of the container ($h_{\text{max}} - h_{\text{min}}$), m.

Biomass mass was determined according to the following expression:

$$m_{\text{bm}(1,2,3)} = \frac{V_{\text{bm}(1,2,3)} \cdot \rho_{\text{bm}}}{1000} \quad \text{tons.} \quad [2]$$

The objects are used for intensive, year-long tomato cultivation under controlled technological and microclimate conditions with the regime of changing the inside daily air temperature in the zone of plant cultivation $\vartheta_{\text{gh,day}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{\text{gh,night}} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. The automated regulation and control system continually and with variable work mode maintained the set values of technological and microclimate parameters in the objects, which was connected with drive devices of thermotechnical and technological installations and facilities.

The ratio of the heating medium mass within a hot-water system between the primary and the secondary circle (without the heat tank) amounted to around 1 : (15 – 18). Experimental trials were conducted in the winter period from 20th January to 20th February 2014. In this period thermal load is usually the greatest, and technological conditions of plant growth and development are very strict. The trial equipment for testing influential parameters included: measurement probes and additional instruments, collection and communication assembly, suitable wiring, central system for receiving and processing measurement signals and practical measurements and notes made by operators at each facility and thermotechnical system. Six

temperature sensors distributed inside the greenhouse were used for measuring the inside air temperature ϑ_{gh} at the height 0.6 – 1.0 m above the cultivation surface, while outside microclimate changes were recorded by an internal meteorological station of each object GH1, GH2 and GH3 (outside air temperature ϑ_o , relative air

humidity φ_o , wind speed w). The block diagram of the district heating systems (GH1, GH2, GH3) is shown in Figure 1. Measurement locations were selected in the way that allows as precise monitoring of status and changes of influential parameters during trial measurements as possible.

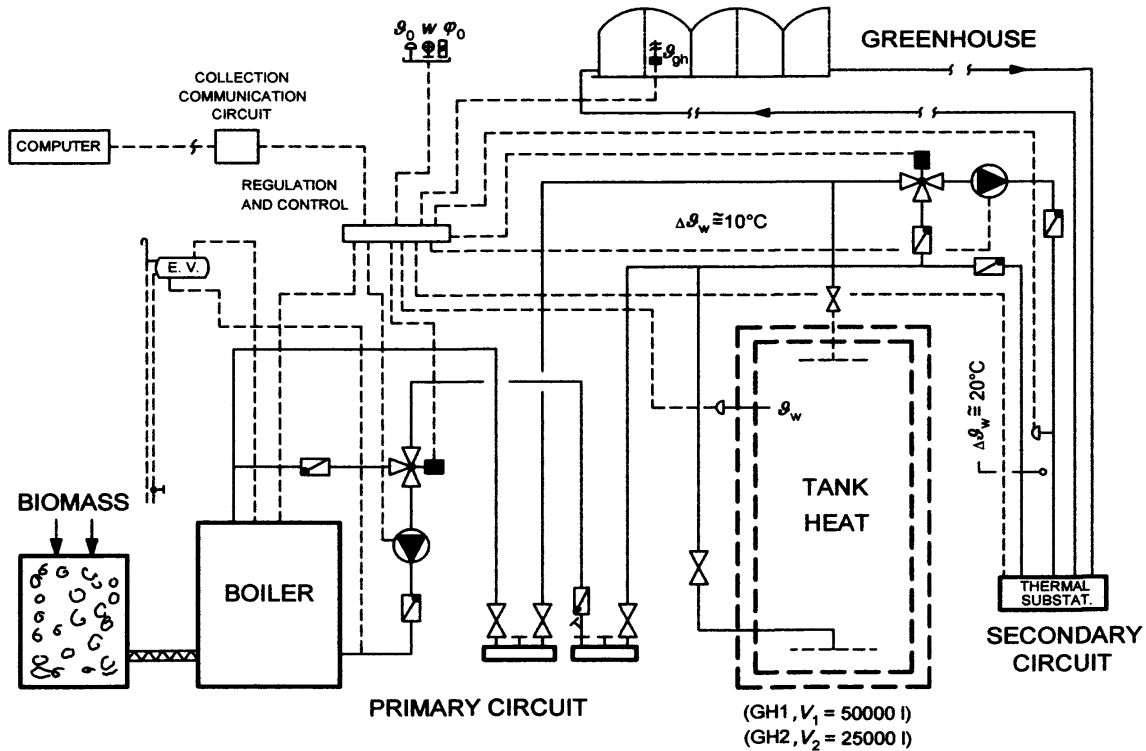


Figure 1. District heating system (GH1, GH2, GH3)

The day interval of maintaining the inside air temperature was between 07:00 to 17:00 o'clock, while the night interval was between 17:00 to 07:00 o'clock on the following day. The recorded measuring of inside and outside air temperature was carried out in the day mode at 08:00, 12:00, 14:00 and 16:00 o'clock, and in the night mode at 17:00, 19:00, 21:00, 23:00, 01:00, 03:00, 05:00 and 07:00 o'clock. Mean day and night temperatures of inside and outside air were determined as arithmetic mean values of measured data according to the following relations:

- Mean outside day air temperature

$$\vartheta_{o,day} = \frac{\sum_{i=1}^N \vartheta_{o,i}}{N} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad N = 5 \quad [3]$$

- Mean outside night air temperature

$$\vartheta_{o,night} = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \vartheta_{o,i}}{N_1} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad N_1 = 7 \quad [4]$$

- Mean inside day air temperature

$$\vartheta_{gh,day} = \frac{\sum_{i=1}^N \vartheta_{gh,i}}{N} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad N = 5 \quad [5]$$

- Mean inside night air temperature

$$\vartheta_{gh,night} = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} \vartheta_{gh,i}}{N_1} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad N_1 = 7. \quad [6]$$

The reduction of heating intensity or switching off the thermal power plant is carried out during the day when it is allowed by microclimate conditions at a certain location, often accompanied by a somewhat higher air temperature, clear atmosphere and expressed insolation.

Characteristic time intervals of reducing thermal needs and smaller heat losses at objects are between 11:00 and 15:00 o'clock. According to technological conditions in the defined vegetative plant stage and slower heat loss from the object, the allowed drop of the inside air temperature reached the values between $\vartheta_{gh,min} = 17 \text{ } ^\circ\text{C}$ to $18 \text{ } ^\circ\text{C}$, which is the limit value for switching on the district heating system and increasing and maintaining the operative air temperature in the zone of plant cultivation ϑ_{gh} . For objects GH1, GH2 and GH3 measurements were carried out regarding the rate at which the district heating system affects the achieving of the inside air temperature ϑ_{gh} under similar microclimate conditions at different locations of the constructed objects.

3. MEASUREMENT RESULTS

The trends and changes of the outside mean air temperature values ϑ_o during day and night in the time interval in which trials were carried out are shown in Figure 2 during district heating of low-accumulation objects (greenhouses) GH1, GH2 and GH3 constructed at

different locations in the continental part of the Republic of Croatia. In the same time intervals the trends of the inside air temperature ϑ_{gh} was measured and recorded in the zone of plant cultivation at objects GH1, GH2 and GH3. Its values for day and night work modes are shown in Figure 3.

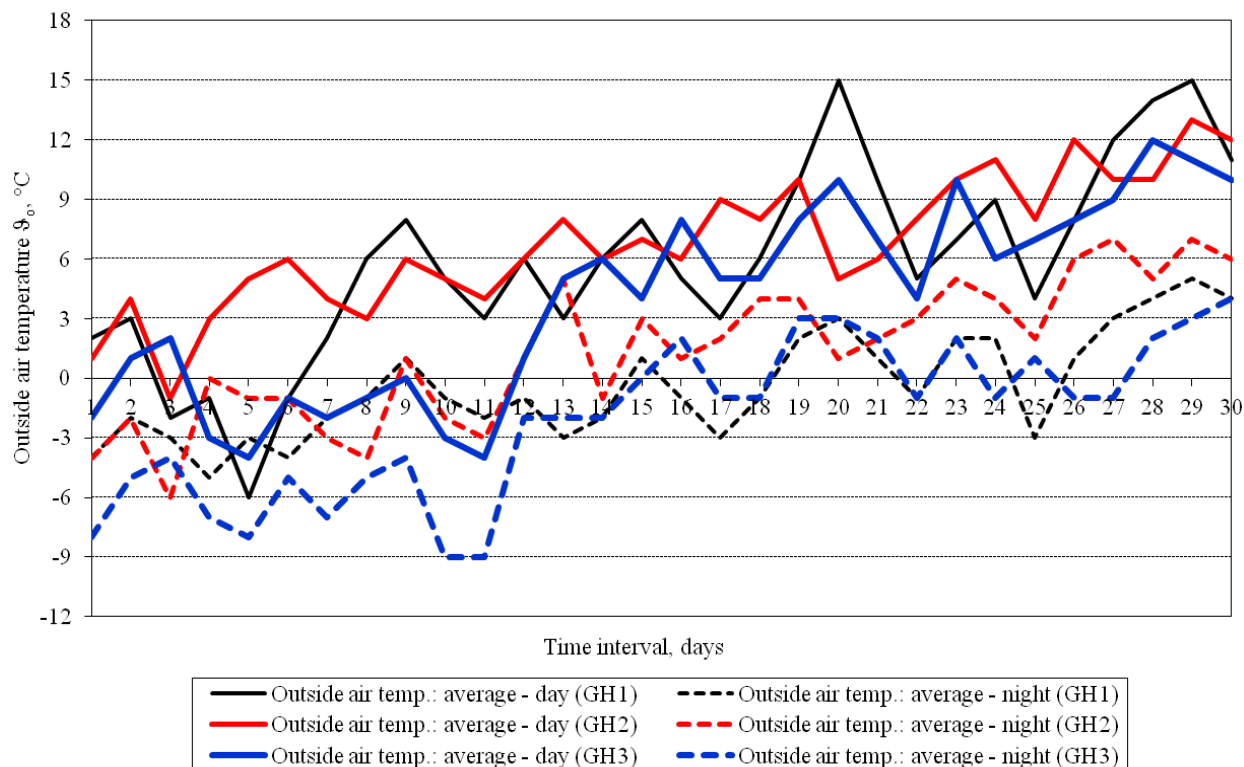


Figure 2. Mean values of outside air temperature (day, night) in the test interval

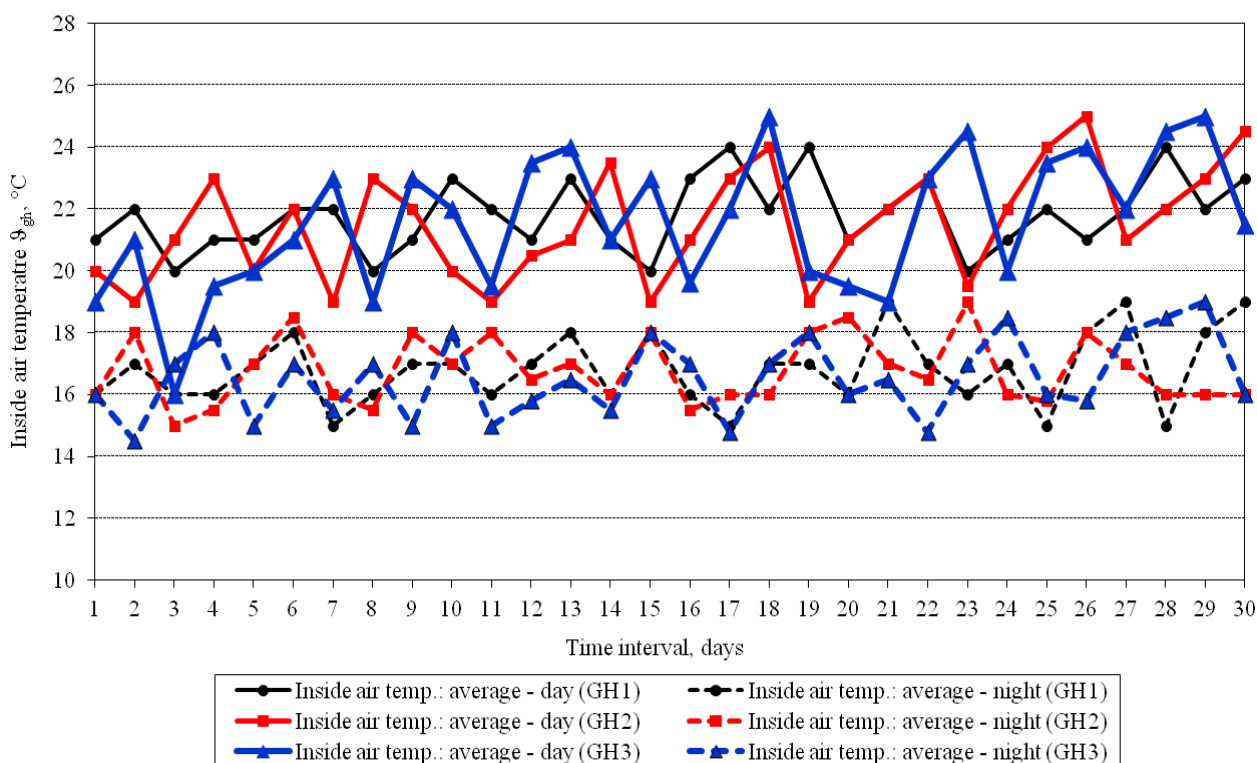


Figure 3. Mean values of inside air temperature (day, night) in the test interval

Under favorable microclimate conditions during the ten day time intervals, heating intensity was reduced or the thermal power plant was switched off, which in practical technical and technological conditions contributes to energy saving without lowering the quality of intensive plant growth. The maximal difference of inside air temperature $\Delta\vartheta_{gh}$ between the technologically

conditioned day value and the minimally allowed values amounted to 3 °C to 6 °C, usually 5 °C to 6 °C. The average time $t_{H,av}$ of achieving the inside air temperature in the plant growth zone from the minimally allowed temperature $\vartheta_{gh,min}$ to the set day value of inside temperature $\vartheta_{gh,day}$ is shown in Table 1.

Table 1. Values of experimental trial parameters

Object	Trial	$\vartheta_{gh,day}$, °C	$\vartheta_{gh,min}$, °C	$\Delta\vartheta_{gh}$, °C	ϑ_o , °C	$t_{H,av}$, min	$t_{H,av}/\Delta\vartheta_{gh}$, min/°C	District heating system
GH1	1	22	18	4	-1	32	8	$P_1 = 10000 \text{ m}^2$, $Q_1 = 1.5 \text{ MW}$, $V_1 = 50000 \text{ liters}$, zone hot-water heating of the cultivation area.
	2	23	18	5	5	20	4	
	3	23	18	5	3	27	5.4	
	4	23	18	5	5	18	3.6	
	5	24	19	5	3	30	6	
	6	24	19	5	10	14	2.8	
	7	23	18	5	5	17	3.4	
	8	21	18	3	9	13	4.33	
	9	24	19	5	14	12	2.4	
	10	22	18	4	15	12	3	
GH2	1	23	17	6	3	31	5.16	$P_2 = 5000 \text{ m}^2$, $Q_2 = 0.7 \text{ MW}$, $V_2 = 25000 \text{ liters}$, zone hot-water heating of the cultivation area.
	2	23	17	6	3	30	5	
	3	23.5	17.5	6	6	24	4	
	4	23	17	6	9	20	3.33	
	5	24	18	6	8	23	3.83	
	6	22	17	5	10	18	3.6	
	7	24	18	6	8	21	3.5	
	8	25	19	6	12	17	2.83	
	9	23	18	5	15	15	3	
	10	24.5	18.5	6	12	18	3	
GH3	1	21	18	3	1	38	12.66	$P_3 = 5000 \text{ m}^2$, $Q_3 = 1.0 \text{ MW}$, without a tank, zone hot-water heating of the cultivation area.
	2	23	18	5	-2	68	13.6	
	3	23	18	5	0	48	9.6	
	4	23.5	18.5	5	1	55	11	
	5	24	18	6	5	48	8	
	6	25	19	6	5	43	7.2	
	7	24.5	18.5	6	10	37	6.16	
	8	24.5	18.5	6	7	42	7	
	9	24	18	6	8	35	5.83	
	10	25	19	6	11	24	4	

4. ANALYSIS OF RESULTS

Under similar microclimate conditions during time intervals of trials, the mean outside day air temperature was usually between 0 °C and 8 °C with maximal oscillation in some intervals from - 6 °C to 15 °C. In the same time intervals the mean night temperature of outside air was usually between - 3 °C and 3 °C, while in some intervals it was around- 9 °C i.e. 6 °C, Figure 2. At the same time, in the plant cultivation zone the mean day temperature of inside air was within the technologically allowed limits from 18 °C to 24 °C, and the mean night temperature of inside air was between 15 °C and 18 °C, Figure 3.

Within the ten time intervals at higher day temperature, clear atmosphere and expressed insolation heat losses at objects were reduced and the reduction of the inside air temperature was slowed down to the minimally allowed limit. For each low-accumulation object the following was measured: time $t_{H,av}$ of achieving the mean day inside air temperature $\vartheta_{gh,day}$ from the minimally allowed value $\vartheta_{gh,min}$, which affects the technological growth parameters, efficiency and cost-effectiveness of the district heating system. The time required for achieving the inside air temperature at objects GH1, GH2 and GH3 in the intervals of switching on the district heating system is shown in Figure 4.

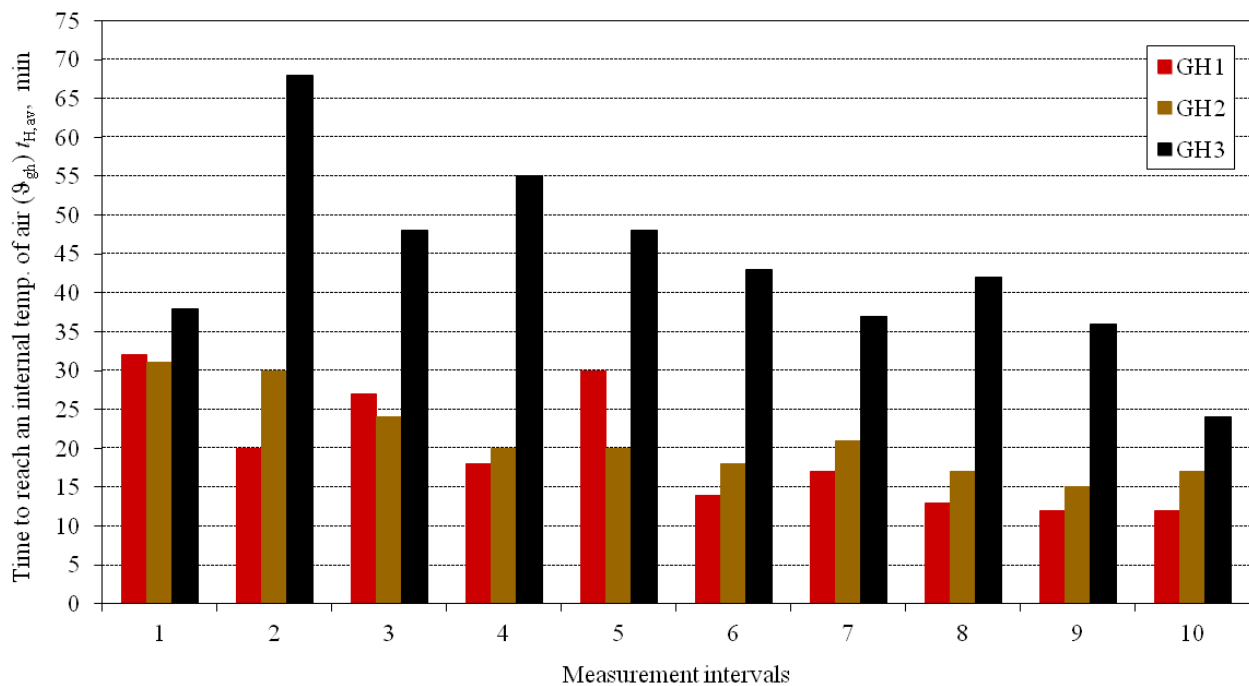


Figure 4. Time required for achieving the mean day inside air temperature $\vartheta_{gh,day}$ ($\Delta\vartheta = \vartheta_{gh,day} - \vartheta_{gh,min}$)

By switching on a thermal power plant with an accumulation heat tank (GH1 and GH2) it is possible to achieve the mean day inside air temperature significantly faster as compared to a thermal power plant without a heat tank (GH3), with lower consumption of biomass (wood chips) per unit of the heated area surface. In average, the time required for achieving the mean inside day air temperature $\vartheta_{gh,day}$ is around 50 % shorter when using a heat tank as compared to a district heating system without one. By lowering the average outside air temperature, the influence of the heat tank on the duration of achieving the mean inside day air temperature is more expressed (Figure 5) and it contributes to a more precise sustainability of technological conditions and higher efficiency and stability of district heating systems and the low-accumulation object.

The determined consumption of biomass (wood chips) and the calculated consumption of thermal energy in the intervals of test measurements are shown in Table 2.

Thermal power plant without a heat tank (GH3) has approximately 25 % higher nominal heat capacity as compared to the thermal power plants of objects GH1 and GH2. The consumption of biomass (wood chips) and thermal energy per unit of the heated area surface is by around 23 % to 28 % greater as compared to thermal power plants with a heat tank, which affects the cost-effectiveness of the technological process and the efficiency of the district heating system.

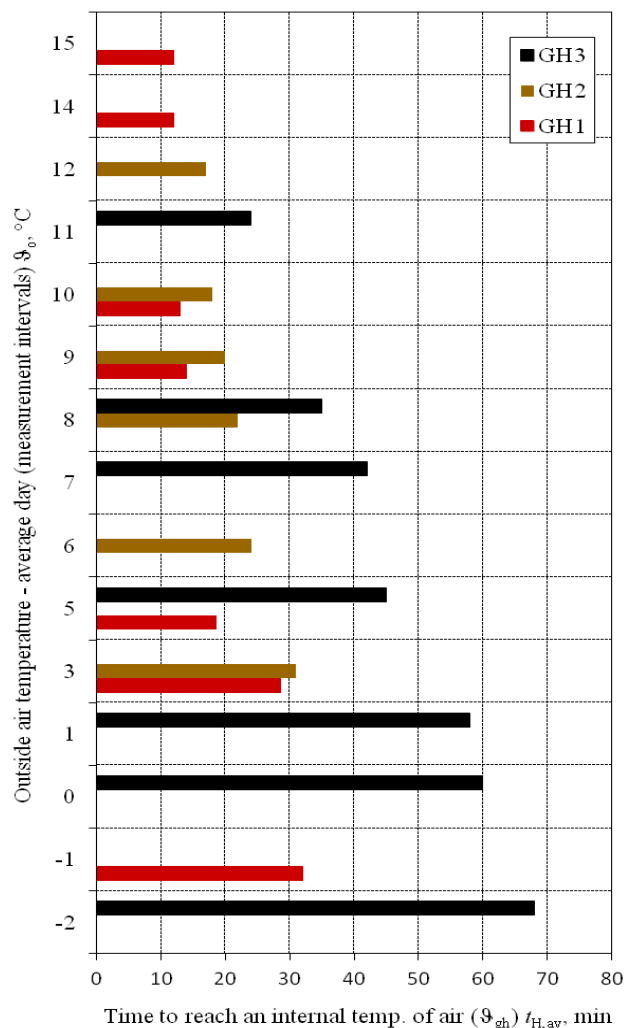


Figure 5. Time required for achieving the mean day inside air temperature $\vartheta_{gh,day}$ at different mean day outside air temperature

Table 2. Biomass consumption and thermotechnical parameters

Low-accum. object	GH1 (10000 m ²)	GH2 (5000 m ²)	GH3 (5000 m ²)
Consumed biomass m_{bm} , t	212	124	142
Unit biomass m_{bm}/m^2 , kg/m ²	21.2	24.8	28.4
Unit nominal thermal load q , W/m ²	150	140	200
Nominal heat capacity Q , kW	1500	700	1000
Consumed thermal energy Q_1 , MWh	540.6	323	392
Actual heat loss q_1 , W/m ²	75	89.8	109

5. CONCLUSION

Heat tank significantly contributes to the stability and efficiency of low-accumulation objects with discontinued thermal loads during the heating season in the intensive production of agricultural products. Trials were conducted within a limited time interval at three objects (GH1, GH2 and GH3) under similar microclimate and technological conditions at different locations for the purpose of analyzing and comparing the influence of a district heating system with and without a heat tank on the rate of achieving the mean day inside air temperature under average microclimate conditions in the winter period. There is a significant contribution of the heat tank to a lower consumption of thermal energy and drive fuel (wood chips), higher efficiency and stability of the district heating system within zone heating of low-accumulation objects of low thermophysical characteristic and temporal constant. Usage of accumulated thermal energy from the heat tank allows for achieving around 50 % faster mean values of day inside air temperature as compared to the minimally allowed air temperature. The consumption of thermal energy and biomass is around 23 % to 28 % greater at thermal power plants without a heat tank, while the heat capacity is around 25 % higher per surface unit of heated area used for the same purpose. By reducing the outside air temperature the accumulation aptitude of the heat tank increases the efficiency and stability of the district heating system, especially when the thermal power plant used biomass – wood chips of variable quality and heating value as the drive fuel. By additional numerical simulation and software adjustments, the results of trial measurements may contribute to optimal geometrical and

thermal sizing of the heat tank with a direct application in rational design and greater efficiency and cost-effectiveness of thermal power plants and district heating systems.

6. REFERENCES

- [1] Energy Conservation for Commercial Greenhouse, ISBN: 0 – 9358 17 – 74 – 3, New York, 2003., 84 pages.
- [2] Greenhouse Engineering, ISBN: 0 – 9358 17 – 57, 32, New York, 2005., 212 pages.
- [3] Nelson, P. V.: Greenhouse Operation and Management, 6th Edition, ISBN: 0 – 13 – 010577 – 5, New York, 2006., 692 pages.
- [4] Chau, J.; Sowlati, T.; Sokhansanj, S.; Preto, F.; Melin, S.; Bi, X.: Economic sensitivity of wood biomass utilization for greenhouse heating application. // Applied Energy, 86, 5(2009), pp. 616 – 621.
- [5] Ergul, E.; Ayrimis, N.: Effect of outdoor storage conditions of wood chip pile on the technological properties of wood-based panel. // Biomass and Bioenergy, 61, (2014), pp. 66 – 72.
- [6] Demirbas, A.: Combustion characteristics of different biomass fuels. // Progress in Energy and Combustion Science, 30, 2(2004), pp. 219 – 230.

Contact:

Ante Čikić, Ph. D. Associate Professor
 Technical College in Bjelovar, Croatia
 Trg E. Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
 acikic@vtsbj.hr

ANALIZA KRETANJA MOTORA S VELIKOM TEMPERATURNOM RAZLIKOM

MOTION ANALYSIS OF FLUIDYNE ENGINES

Vipul Gupta, Ranjeet Singh, Sunny Narayan

Stručni članak

Sažetak: Pumpe su uobičajeni strojarski uređaji koji su postali bitni izvori energije za upravljanje raznih komercijalnih uređaja oko nas. Za upravljanje tim uređajima potrebni su složeni mehanizmi, no mnoge nove pumpe postoje u prirodi i rade bez ikakvih vanjskih izvora energije. U ovom su radu ispitani neki od tih uređaja. Rotacijski motori bez klipova također spadaju u istu kategoriju uređaja koji koriste promjene tlaka za ubrizgavanje goriva. Razmotreni su izrada i način rada tih novih pumpa i učinjene su preporuke za popravljavanje dizajna.

Ključne riječi: nove pumpe, motori s velikom temperaturnom razlikom

Professional paper

Abstract: Pumps are common engineering devices which have become important sources of power to operate several commercial devices around us. Operation of these devices need complex mechanisms, however there are many novel pumps which exist in nature and operate without any external source of power. In this paper some of these devices have been reviewed. Liquid piston engines also fall in same category of these devices which use pressure fluctuations to pump fluid. Design and Working of these novel pumps has been discussed and future recommendations made to improve the current designs.

Keywords: Novel Pumps, Fluidyne Engines

1. INTRODUCTION

Apart from manmade pumps nature also has many clever pumps such as human heart, capillary action in plants and neuron pumps in the nerve cells of human cerebrum. Working of these novel pumps has been reviewed herein.

(A) Human impulse: all animals have nerve cells known as neurons present in their cerebrum. These cells transmit nerve impulses from and to the brain which form basis of human reflexes, movements, emotions and senses. Neurons have Na⁺K⁺ATPase which is a protein pump present in neurons of brain. It utilizes energy from ATP molecules to pump 3 sodium ions out of a cell and two potassium ions into the cell. This causes a potential difference across cell membrane called resting potential which is basic cause of nerve impulses transmitted across neurons in human body. These impulses form basis of human stimuli. Action of this natural pump can be seen in the figure no 1[1].

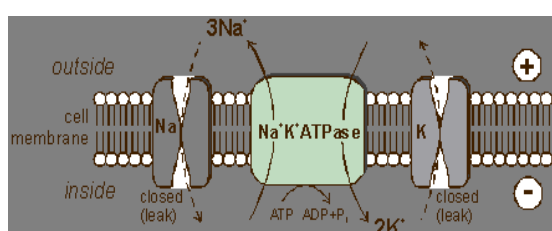


Figure 1. Human Impulse pump

(B) Capillary action: this effect occurs due to cohesive, adhesive forces or surface tension and plays an important role in transportation of water. Capillary action in trees helps to draw water into roots by xylem tissue cells. Xylem cells are made of cellulose molecules which form a chemical bond with water, hence helping in circulation of water in a tree [2].

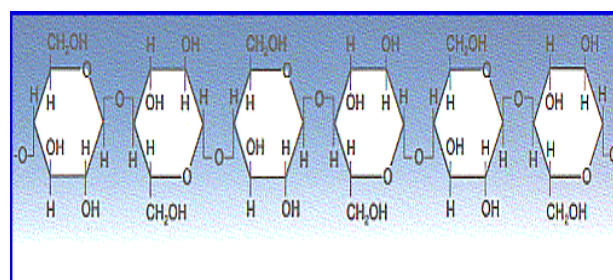


Figure 2. Water cellulose bonding

(C) Human heart-human heart is an excellent example of a natural pump. It has 4 valves namely tricuspid valve, mitral valve, aortic valve and pulmonic valve. Stating from right atrium, blood flows through the tricuspid valve to right ventricle and is sent to lungs for oxygen enrichment by pulmonary artery. From lungs, blood flows through the pulmonary vein to left atrium and from left atrium to left ventricle through

mitral valve. This enriched blood flows to aorta through aortic valve from where it is distributed to whole body. Each valve has a set of flaps which maintain blood flow through it [3].

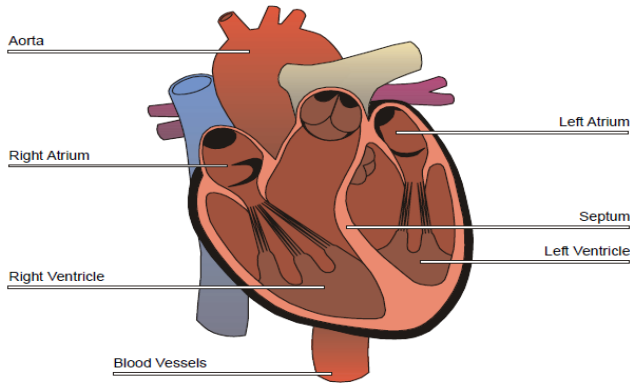


Figure 3. Working of a Human heart

2. BACKGROUND

In actual practice a liquid piston engine can be constructed with two columns of air and fluid connecting at two ends. One of the ends is kept hot whereas the other one is at room temperature. The resulting pressure fluctuations can be used to pump fluid to a certain height. The motion of a fluidyne can be analyzed as a wobbling fluid column synchronous to motion of a See Saw and pendulum where gravity acts as a restoring force to bring back to mean position. Various phases of operation of a fluidyne can be expressed as:

a) **Stage 1**-initially levels of liquid in columns is equal when no heat is applied.

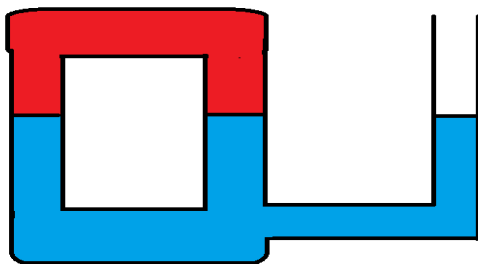


Figure 4. Stages of operation of a fluidyne

b) **Stage 2**- as heat is applied at the hot end; the air at that end is heated up and expands moving towards the cold end through the connecting arm. This pushes the fluid to TDC at the hot end and BDC at the cold end and the fluid out of the output column.

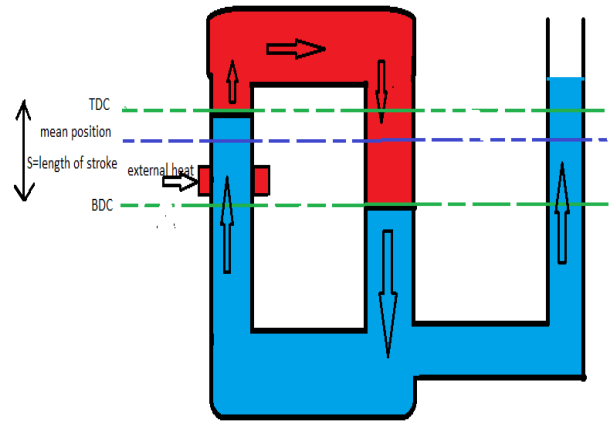


Figure 5. Stages of operation of a fluidyne

c) **Stage 3**-the air comes in contact with fluid at cold end, cools down and contracts. Once the fluid has reached its extreme positions at both columns of the U tube, at the hot side, the inertia of weight of extra risen fluid column tries to bring down the raised level of fluid to its mean position

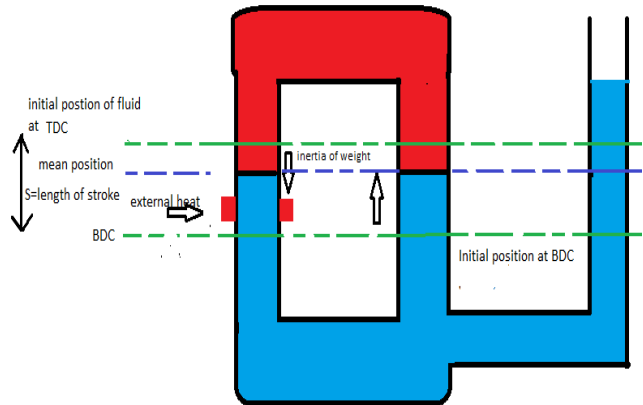


Figure 6. Stages of operation of a fluidyne

d) **Stage 4**-as this happens, the air is again transferred from cold end to hot end through the connecting space, so that level of fluid overshoots mean at hot side and reaches BDC whereas at cold end it reaches the TDC & the fluid is again sucked back in the output column.

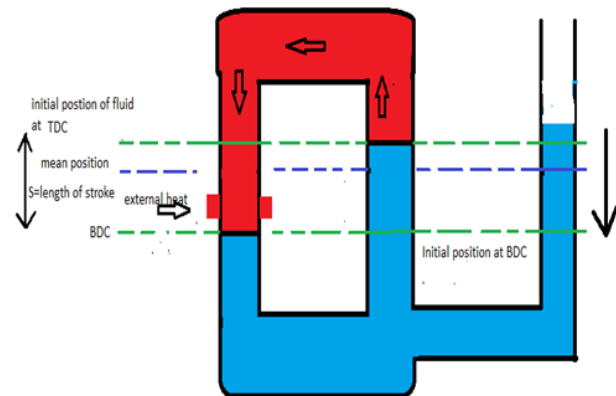


Figure 7. Stages of operation of a fluidyne

e) **Stage 5**-inertia of weight tries again to restore the levels of fluids equal at both ends, so that cycle starts again.

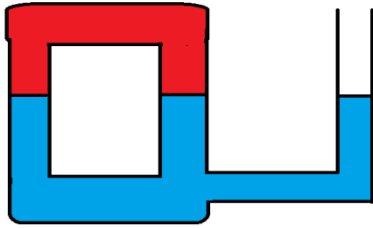


Figure 8. Stages of operation of a fluidyne

Analogous to this cycle, a fluidyne operates in the same way with the left end of U tube acting as a displacer piston, whereas the right end acting as the power piston. Initially most of the air is trapped in hot side of the engine and the top dead centre of cold end corresponds to the bottom dead centre of the hot end[5].

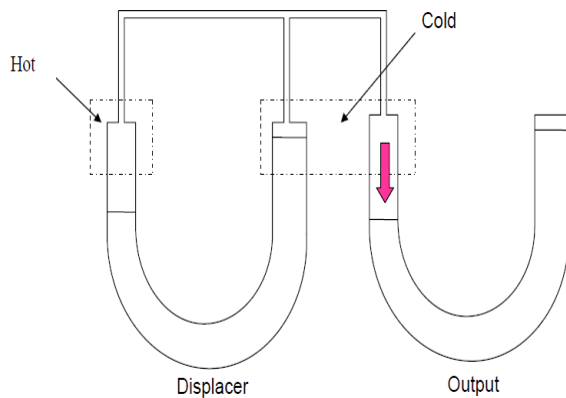


Figure 9. General working of a fluidyne

The temperature of air rises being in contact with hot end, hence its pressure rises which tends to pump fluid out from the output tube. After half of the cycle most of the air is transferred to the cold side of machine and so its pressure falls. The cold surface is at bottom dead center and the fluid is pulled back into the U tube.

3. CONCLUSION

The efficiency of device is found to be in order of 2-6% which is very low due to various poor heat transfer, leakage, viscous and frictional losses. Some measures to improve the efficiency of system are include use of bigger diameter displacer tubes which ensures the greater amount of air flowing between cold and hot side. This can lead to larger amplitude of oscillations due to higher pressure, but smaller compression ratio whereas smaller tubing results in a larger compression ratio. Use of regenerator or use of better heat exchange material can be also be used as means to improve performance.

4. REFERENCES

- [1] <http://www.saylor.org/site/wpcontent/uploads/2011/01/Nervous-System.pdf>
- [2] http://soils.stanford.edu/classes/ges175items/lect-3_water_visual.pdf
- [3] http://thevirtualheart.org/3dpdf/Heart_3d.pdf
- [4] C. D. West, Liquid Piston Stirling Engine, Van Nostrand Reinhold, New York, 1983.
- [5] Ila Milos, Jesse,2004, Design and Development of a small Stirling Engine.

Author contact:

Vipul Gupta, Ranjeet Singh, Sunny Narayan
Mechanical Engineering Department
Indus University,India
rarekv@gmail.com

DETEKCIJA, LOKALIZACIJA I RASPOZNAVANJE OBJEKATA POMOĆU PROGRAMSKOG ALATA LABVIEW

DETECTION, LOCALIZATION AND RECOGNITION OF OBJECTS USING LABVIEW

Sebastijan Kos, Zoran Vrhovski, Dario Vidić

Stručni članak

Sažetak: U ovom radu opisana je izrada vizijskog sustava za detekciju, lokalizaciju i raspoznavanje objekata. Vizijski sustav ispisuje rezultate detekcije pomoću grafičkog korisničkog sučelja. Vidljivi rezultati detekcije objekata vizijskog sustava su koordinate i dimenzije objekta. Vizijski sustav signalizira koji je objekt raspoznan. Ovaj vizijski sustav može se koristiti za navođenje robota. Vizijski sustav izrađen je u programskom alatu LabVIEW.

Cljučne riječi: vizijski sustav, LabVIEW, detekcija objekata, lokalizacija objekata, raspoznavanje objekata

Professional paper

Abstract: This paper describes the development of a vision system for detection, localization and recognition of objects. The vision system lists results of detection on a graphical user interface. Visible results of detection in the vision system are represented by coordinates and dimensions of the object. The vision system indicates which object is recognized. This vision system can be used for robot navigation. The vision system is made in the programming tool LabVIEW.

Key words: vision system, LabVIEW, detection of objects, localization of objects, recognition of objects

1. INTRODUCTION

Vision systems are a new step towards automation of machines, robots and plants. In mobile robotic vision systems are used for guidance of mobile robots [1]. This system enables a machine or a robot to “see”. Robots decide on manufacturing processes based on the image acquired from camera and image processing. Vision system requires high-speed data analysis and strong hardware resources. For the purpose of this article, due to high-speed data analysis and speed of creating a vision system for object detection, localisation and recognition, the LabVIEW program tool was used. It was used due to the speed of data analysis and speed of creating a vision system for detection, localisation and object recognition.

LabVIEW is a program tool which enables graphical programming by connecting the existing blocks and functions. Vision system developed in LabVIEW performs object detection, localisation and recognition. The results of object localisation and recognition are coordinates, orientation and dimensions of the object. Based on these results a robot has the possibility to take the detected object and relocate it or isolate a defective object from the valid ones. Possible application of this vision system is separating valid chips from the defective ones and their assembling and packaging.

This paper is structured in the following manner: the second paragraph deals with vision systems and the third one describes equipment and tools used for creating robot vision. Program code for robot vision is described

in the fourth paragraph, whereas the results of robot vision operations are presented in the fifth paragraph.

2. VISION SYSTEM

Vision system is a technology and method which, based on image analysis, provides various opportunities such as automatic inspection, process control or robot guidance in industry. The aforementioned system enables the computer to “see”. Basic part of the vision system is a camera which transfers an image directly to the computer which processes and analyses the imported image. Image analysis determines output parameters for further production process. The camera has a role of a sensor, i.e. a feedback for robot guidance or production process control. Image analysis can detect specific product malfunctions within a short time interval and thus isolate defective products from further production process. When robot guidance is discussed, specific objects can be detected in robot’s operating area and some characteristics of these objects can be determined, such as shape, dimensions and position; and on the basis of the mentioned characteristics one may give the robot an order to e.g. relocate the detected object to the given location (Figure 1).

Organisation of the vision system greatly depends on application. This system is typically an independent system for image processing which is included in a more complex system such as robot guidance or production

process. Vision system's operating procedure consists of several steps which are shown in Figure 2.

The first step is image capturing. In order to acquire a digital image, one or more image sensors are required, i.e. one or more cameras. After an image is acquired, the next step involves the preparation for image processing.

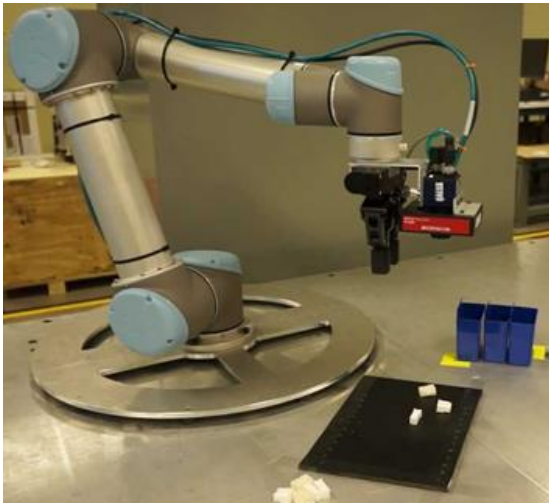


Figure 1. Vision robot guidance [2]

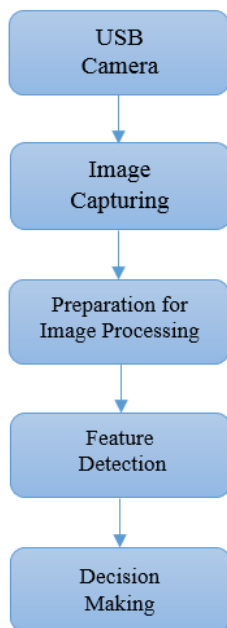


Figure 2. Block diagram of vision system's operating procedure

Image parameters are adjusted in step three - preparation for image processing. Some of the parameters are contrast, colour intensity, image dimensions and other. Besides adjusting image parameters, there is the possibility of converting the image from a coloured image (RGB Image) into a Greyscale Image. After all the parameters have been adjusted, one of the image filters can be used. This is a very important step for gaining better quality and precision in image processing, and all the options and possibilities during the preparation of the image for processing depend on the process in which the vision system will be used. The following step is feature detection. Features are detected on various levels. The

simplest features are lines, edges and ridges, and more complex ones are shapes, figures, textures and movements. It is necessary to define the features which are to be detected and to determine the area of interest, i.e. the area of the image which is relevant for finding the features. The last step in the vision system is making the final decision necessary for application. If production process control is considered, then the decision is whether the examined object passes or fails. When robot guidance is discussed, decision-making is much more complex because more parameters should be determined for the detected feature such as shape, coordinates and dimensions of the feature. Robot system reads output parameters of the vision system on basis of which it collects the detected object.

3. EQUIPMENT AND TOOLS USED FOR CREATING THE VISION SYSTEM

3.1. Program tool LabVIEW

Vision system for robot guidance was created in LabVIEW Program Tool (Figure 3) of the National Instruments Company. LabVIEW is a development environment for graphical programming.

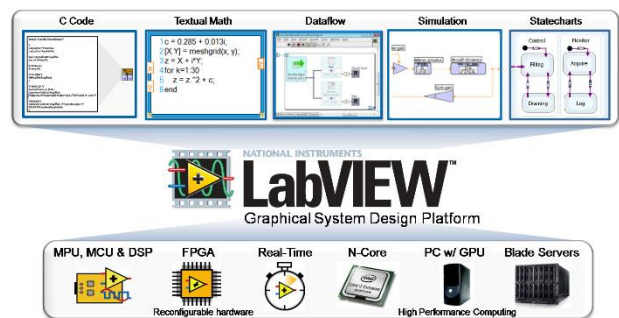


Figure 3. LabVIEW Program Tool [3]

LabVIEW is also known as a Virtual Instrument. After LabVIEW is launched, a new project should be made, i.e. a Virtual Instrument, or an existing project should be launched. Every virtual instrument consists of two windows. The first window is the so-called Front Panel, and the second one is the Block Diagram. The Front Panel is the Graphical User Interface. Controls and indicators are placed on the Front Panel (Figure 4).

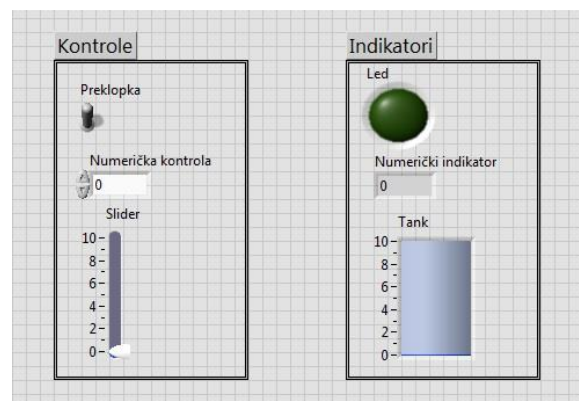


Figure 4. Controls and indicators in LabVIEW

Controls are inputs which enable the user to control the system or to enter data into the virtual instrument. Indicators are outputs which represent the results in graphical form.

The back panel, i.e. the Block Diagram contains the graphical source code. Any object placed on the front panel will appear in the block diagram as a block with attachments terminal (Figure 5). Besides controls and indicators from the front panel, block diagram contains structures and functions. Structures and functions are in a form of blocks with attachments which perform operations and display results on the front panel of the indicator. All the blocks are interconnected by wires. This type of programming enables simple and fast application development.

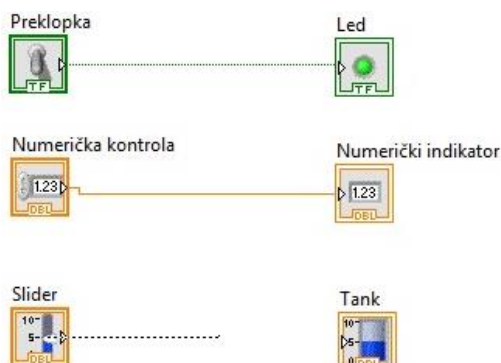


Figure 5. Connecting blocks in LabVIEW Program Tool

3.2. USB camera Logitech C310

Camera is fixed on a stand and records operating area as shown in Figure 6.



Figure 6. Logitech C310 USB camera placed on the rack

Camera used for the vision system was produced by Logitech, model C310. It is connected to the computer via USB port. Focus of the camera and brightness are

adjusted automatically. This is a high resolution camera of 1280x720 pixels with maximum frame frequency of 30 images per second.

3.3. Vision System Operating Area

Operating area is an aluminium plate shown in Figure 7 of 350 mm in length and width. The plate was varnished with white colour in order to achieve a greater contrast between the object and the plate. There are two markers on the plate which are made from black adhesive tape. The marker in the bottom left corner is for determining the origin of the coordinate system, and the straight marker of width amounting to 100 mm is for determining object's dimensions (Figure 7).

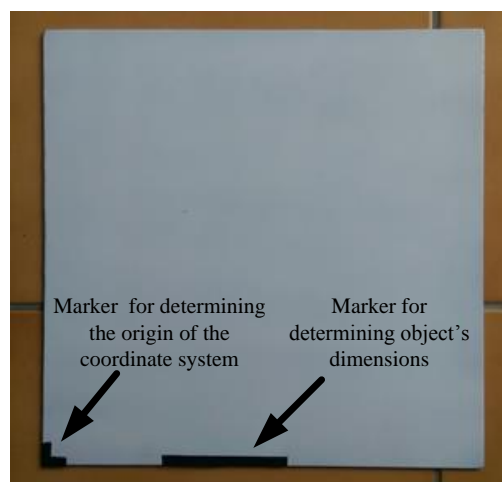


Figure 7. Desktop with markers

4. ROBOT VISION PROGRAM CODE DEVELOPED IN LABVIEW

Program code for robot vision is an algorithm which allows the robot to "see" objects in its operating area and enables decision-making for further robot tasks based on the analysed image. Objects which are detected by the vision system are demo, and all circular or rectangular objects can be detected as long as their dimensions do not exceed the borders of the operating area. Program signalizes the user which object was detected, coordinates are shown with the centre of the object's mass and object's dimensions are measured and shown. If the object is circular in shape, the program shows its diameter, and if the object is rectangular in shape, the program shows its length, width and the angle of rotation, i.e. object's orientation. Besides circular and rectangular objects, vision system can detect microcontroller ATmega16 placed on an electronic plate. For the detected microcontroller coordinates of its centre of mass are written and the microcontroller is rounded. Vision system enables the detection of geometric irregular shape (scalpel) and detection of a sample based on colour intensity (bank card). Vision system's program code developed in LabVIEW is shown in Figure 8 [4], [5], [6].

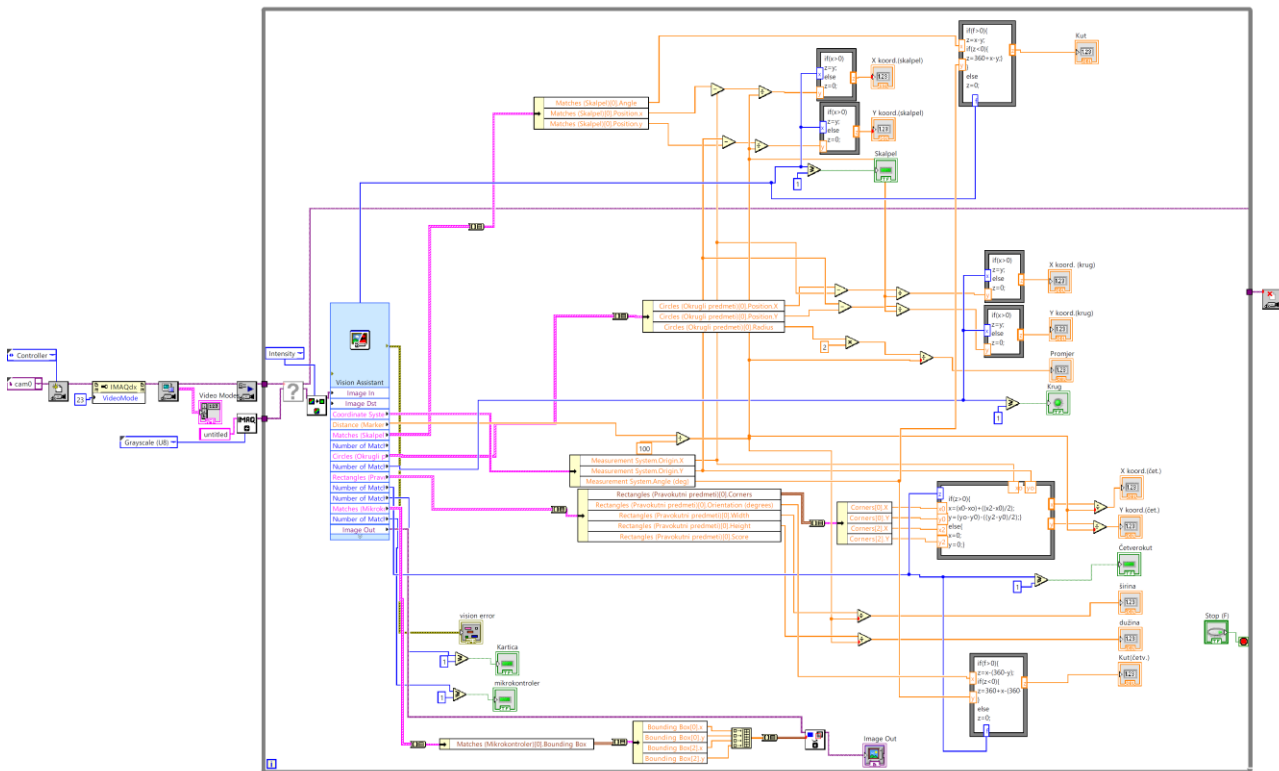


Figure 8. Vision system program code created in LabVIEW

4. ROBOTIC VISION PROGRAMMING CODE RESULTS DEVELOPED IN LABVIEW

Samples which were taken for testing the operating procedure of robot vision program code created in LabVIEW are:

- rectangular object, dimensions 93 mm × 47 mm,
- round object (circle), diameter 55 mm,
- object of irregular shape (scalpel),
- microcontroller ATmega16 on an electronic plate,
- bank card.

Detection, localisation and recognition of a rectangular object are shown in Figure 9. The indicator which shows that the rectangle is detected shines green. Centre of the mass of the detected rectangle is in point (154.63, 188.61) mm of the coordinate system. Dimensions of the rectangle, which were measured with the help of the robot vision system, are 92.48 mm × 46.97 mm, and the measured rotation is 317.85°. The error which appears during the measurement of the dimensions occurs due to insufficient camera resolution and bad illumination.

Detection, localisation and recognition of a round object (circle) are shown in Figure 10. The indicator which shows that the circle is detected shines green. Centre of the mass of the detected circle is in point (173.57, 193.43) mm of the coordinate system. The diameter of the circle was measured with the help of the robot vision system and amounts to 54.41 mm.

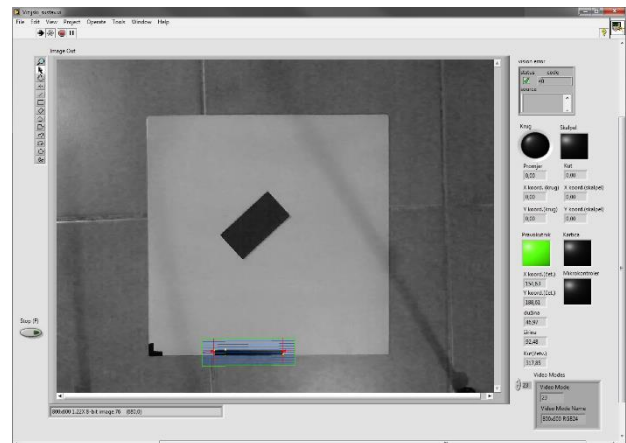


Figure 9. Detection, localisation and recognition of a rectangular object

Orientation of the circle is not important in robot vision systems. The error which occurs during the measurement of the circle diameter is the result of camera resolution and bad illumination.

Detection, localisation and recognition of an object of an irregular shape (scalpel) are shown in Figure 11. The indicator which shows that the scalpel is detected shines green. Centre of the mass of the detected scalpel is in point (161.99, 203.35) mm of the coordinate system. Measured orientation of the scalpel is 43.41°.

Detection, localisation and recognition of a microcontroller ATmega16 on electronic plate are shown in Figure 12. The indicator which shows that the microcontroller is detected shines green.

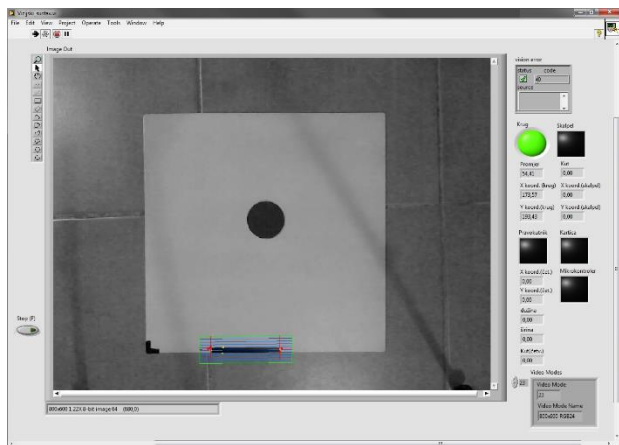


Figure 10. Detection, localisation and recognition of a round object (circle)

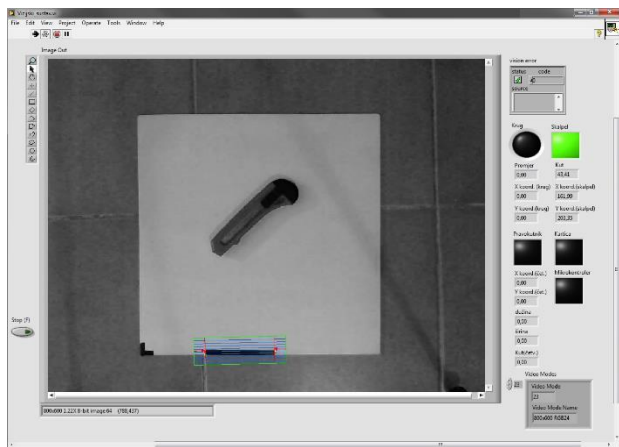


Figure 11. Detection, localisation and recognition of an irregular shape (scalpel)

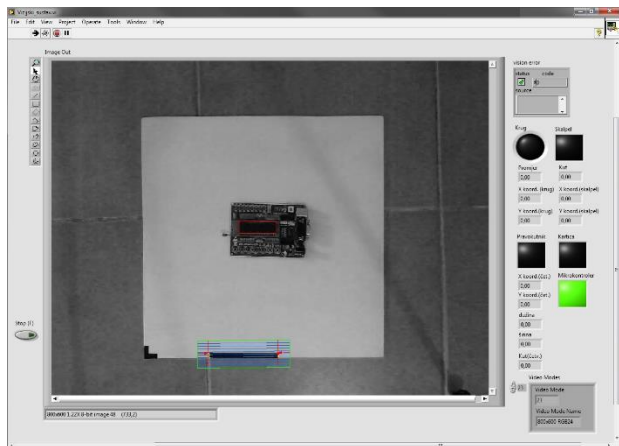


Figure 12. Detection, localisation and recognition of a microcontroller ATmega16 on an electronic plate

Detection, localisation and recognition of a rectangular object (bank card) are shown in Figure 13. The indicator which shows that the rectangle is detected and the additional indicator which shows that the rectangular object is a bank card both shine green. Centre of the mass of the detected bank card is in point (177.66, 197.76) mm of the coordinate system. Dimensions of the bank card measured with the help of the robot vision system are 83.84 mm \times 49.14 mm, and measured

orientation is 20.56°. Camera resolution in all measurements is 800 \times 600.

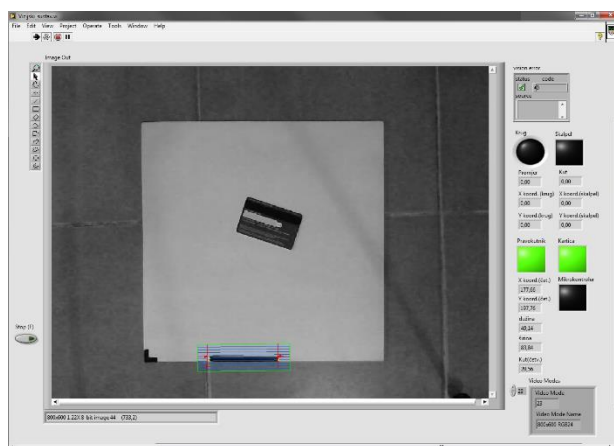


Figure 13. Detection, localisation and recognition of a rectangular object (bank card)

5. CONCLUSION

Vision systems are very complicated systems, but very efficient and requiring low maintenance once they are adjusted. Program development requires a lot of time to test all the options that LabVIEW offers. Every filter, every processing or detection option needs to be tested so that the results can be compared and the user can choose the best settings for objects that are to be detected. Illumination plays the most important role in the operating procedure of the vision system. Illumination has to be configured in a quality way so that the objects do not form shadows or reflection due to too strong light. When the light/illumination is well adjusted, vision system works perfectly and very precisely. Vision system for object detection, localisation and recognition is an ideal algorithm for robot upgrade. Such vision system enables the robot to “see” and turns it into a smart system. Robot makes decisions about its next move based on the image analysis in its operating area. An important advantage of the LabVIEW Program Tool is that it enables development of the graphical user interface which additionally simplifies program development.

Vision system test results show that the vision system is very precise. Higher precision in measuring object dimensions can be achieved by increasing the camera resolution and finding a better source of light.

6. LITERATURE

- [1] Vrhovski, Z.; Herčeki, R.: Lokalizacija ravne linije u slikovnoj sekvenci, Technical Journal, Vol. 5, No. 2 (2011) 5 - 10
- [2] <http://blog.robotiq.com/bid/64205/Flexible-Robotic-Part-Sorting-Universal-Robots-and-Electric-Gripper>, (available: 25th July 2015)
- [3] http://www.ni.com/cms/images/devzone/tut/Figure_5_20090630155208.png, (available: 25th July 2015)

- [4] National Instruments: IMAQ, IMAQ Vision Concepts Manual, (2003)
- [5] National Instruments: NI-IMAQdx, VI Reference Help, (2015)
- [6] National Instruments: NI Vision for LabVIEW Help, (2015)

Contact:**Sebastijan Kos (ex-student)**

e-mail: seba.kos@hotmail.com

Zoran Vrhovski, mag.ing.el.techn.inf.

Technical College in Bjelovar

Trg Eugena Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

043/241-201, e-mail: zvrhovski@vtsbj.hr

Dario Vidić, mag.ing.el.techn.inf.

Technical College in Bjelovar

Trg Eugena Kvaternika 4, 43000 Bjelovar

043/241-201, e-mail: dvidic@vtsbj.hr

ŠIROKOPOJASNI PRIJENOS PODATAKA ELEKTROENERGETSKOM MREŽOM

BROADBAND OVER POWER LINES

Dario Vidić, Zoran Vrhovski, Igor Petrović

Pregledni članak

Sažetak: U radu je opisan pregled širokopojasnog prijenosa podataka elektroenergetskom mrežom. Razvoj tehnologije prijenosa signala omogućio je prevladavanje problema prijenosa komunikacijskih signala putem elektroenergetske mreže. Time je omogućen širokopojasni prijenos podataka kojim se osigurava pristup Internetu koristeći postojeću infrastrukturu. Ovakva komunikacija dijeli se na: pristupnu i kućnu. Najveći ekonomski značaj ove tehnologije je mogućnost pružanja pristupa Internetu TCP/IP protokolom. Osim pristupa Internetu omogućava i implementaciju pametne elektroenergetske mreže (SCADA).

Ključne riječi: širokopojasni prijenos, elektroenergetska mreža, Internet, pristupni BPL, kućni BPL, pametna mreža

Subject reviews

Abstract: The paper presents an overview to broadband over power lines. Over the past few years advances in signal processing technology have enabled the advent of modem chips that are able to overcome the transmission difficulties associated with sending communications signals over electrical power lines. There are two predominant types of BPL communications configurations: Access BPL and In-Home BPL. One of the largest commercial markets for BPL is the ability to provide Internet Services by means of the Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) protocols. Another significant benefit of BPL is the ability to employ "intelligent" power line networks that make use of SCADA devices.

Key words: Broadband, power line, Internet, Access BPL, In-Home BPL, smart grid

1. INTRODUCTION

The electric power grid is a hostile environment for high-speed data transmission, but after years of development, the technology to deliver high-speed data over the existing electric power delivery network has emerged, somewhat tentatively, in the marketplace. This technology, referred to as *Broadband over Power Lines* (BPL), uses medium- and low-voltage power lines to provide broadband Internet access to residential users and businesses and is considered by some as a third access technology offering potential competition to xDSL telecommunication lines and cable modems. Recent trends, however, indicate that the focus of BPL technology is shifting from providing broadband connectivity to smart meter usage allowing households to reduce energy costs and allow better energy management by developing a "smart grid". BPL technology is relevant to a variety of public policy issues, such as energy, communications, environmental policy, and national security policies. BPL can promote energy policy by enabling advanced metering initiatives for time-of-use pricing, load management and outage detection, but it can also enhance communications policy by providing broadband access and promoting competition for broadband services to rural and under-served areas. It is relevant for environmental policies through conservation and energy management that reduce greenhouse gases,

and for national security through network redundancy and video surveillance applications that are being used for public safety and critical infrastructure protection. There are several reasons why BPL can be attractive as a third wire to the home. From the perspective of electrical utility companies the basic infrastructure is already in place (electric grid) and there is no requirement to obtain rights of way or construct ducts, nor is there a need for business or household wiring to deploy BPL. This enhances the cost effectiveness of rolling out BPL. Only the sub-station server equipment and customer conditioning service units need to be installed in order to establish a digital power line network. Another important benefit from the perspective of providers is that the power grid is virtually ubiquitous in most countries providing an already existing network infrastructure covering private customers as well as businesses. From the perspective of end users, the equipment needed to set up BPL in the home is cheaper on average than that of other broadband solutions such as DSL and cable modems. The equipment uses existing power outlets in the home making it easier to set-up and there is no need for additional wiring or installations. For end users in rural areas, who cannot receive DSL or cable modem services, BPL could have the potential to provide a broadband access which can support triple play services and automation of a smart network controlling electrical consumption. Despite the potential advantages of BPL, it

faces a number of serious challenges. Technologically, BPL has floundered over the last few years because it can generate radio frequency interference with amateur and emergency radio. The slow rate of growth in BPL, with less than 30 000 subscribers in 15 OECD countries as of 2007, and the lack of international standardisation, has also meant that there have been insufficient scale economies in the manufacture of equipment. Many BPL trials and/or commercial networks are being abandoned or are being reconverted for use in smart-electrical grid monitoring [1].

2. POWER LINE AS COMMUNICATION CHANNEL

PLC works no different than any electronic communication system. How PLC uses existing power grid as channel for data? Basically, power grid is intended to carry low frequency, high power AC signal. So it is not at all possible to use low frequency carrier, and it does not provide sufficient bandwidth as well. PLC signal uses carrier frequency ranging from 1.8 MHz to 90 MHz. However, with single wire transmission lines, such as electric lines, high frequencies can also be transitted over grid. A device, usually known as plug, works as a transponder for PLC network. It modulates outgoing data and demodulates incoming data. For PLC, frequency and phase modulation is preferred. This is because PLC signal should not interfere with AC voltage or vice-versa. To achieve this goal, PLC signal should have:

- less amplitude than AC mains voltage,
- no frequency component of AC mains,
- matched wave impedance to grid.

Operating frequency for PLC is chosen such that it won't come in attenuation band for a grid line. Effective impedance Z for particular operating frequency can be calculated as follows:

$$Z = R + j(2\pi FL + \frac{1}{2\pi fC}) \tag{1}$$

When impedance is properly matched, maximum PLC signal power is transmitted, helping to improve signal to noise ratio (SNR). PLC signal is also affected by noise in grid. Fluctuation in AC mains, sudden load changes and short circuits cause spikes. Spikes have random frequency and amplitude which is unpredictable. Lightning can also cause hazardous spikes in grid. By chance, if frequency of spike matches with carrier of PLC, it could interfere in signal. Certain electrical appliances also cause disturbance to PLC devices. Those include reactive appliances such as motors, Zener diodes, dimmers, and cathode ray tubes. These devices create their own noise signal which could flow back in AC mains and surroundings.

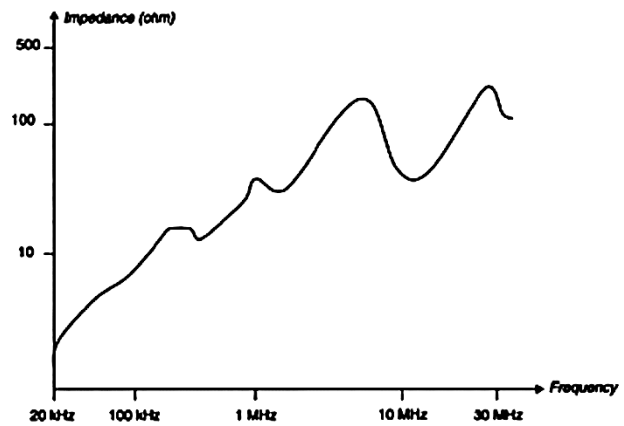


Figure 1 Impedance for various frequencies [2]

Filters are used to attenuate these noises. Each PLC device is equipped with notch filter to reject mains frequency. Devices used in transmission grid, such as meter, have their own attenuation of PLC signal. So if the PLC signal passes through series of such devices, it will be attenuated considerably; causing SNR to fall. Attenuation and frequency response of grid have put a limit on PLC technology. It has been said that to investigate power line network performance in detail so as to optimize its transmission system a reasonably accurate channel model must be available [3]. Hensen [4] proposed a simple power line model where attenuation was increasing with frequency that did not take into consideration the multipath phenomenon. The second model was proposed by Philipps *et al.* [5], whose transfer function is given by (2). In (2) out of N number of possible signal flow paths, each path delayed by time τ_i is multiplied by a complex factor ρ_i (product of transmission and reflection factors).

$$H(f) = \sum_{i=1}^N \rho_i e^{-j2\pi f \tau_i} \tag{2}$$

The method in [5] was extended by Zimmermann *et al.* [6] to account for the attenuation of the signal flow and is given by (2). In (2) each path is characterized by weighting factor g_i (product of transmission and reflections factors) and path length d_i . The attenuation factor is modeled by the parameters a_0 , a_1 and k , which are obtained from measurements. Banwell *et al.* [7] proposed a model which accounts for a multi-conductor configuration. The model that power line researchers commonly use is that of Zimmermann *et al.* [6] since its modeling results conforms with that of measurements and is easy to apply.

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i e^{-(a_0+a_1 f^k) d_i} e^{-j2\pi f \frac{d_i}{v_p}} \tag{3}$$

To generalize the model used to suit any power line configuration, a power line network with distributed branches shown in Figure 2 was considered. The transfer function is given by (4a). In (4a), N_T is the total number of branches connected say at node „ n “ and terminated in any arbitrary load. Let $n, m, M, H_{mnd}(f)$ and T_{Lmd} , represent any branch number, any referenced (terminated) load, number of reflections (with total L number of reflections), transfer function between line n to a referenced load m at the referred node d , transmission factor at the referenced load m at referred node d respectively. With these the signal contribution factor α_{mnd} is given by (4b), where ρ_{nmd} is the reflection factor at node“ d “ between line n to the referenced load m , γ_{nd} is the propagation constant of line n that has line length l_n . All terminal reflection factors P_{Lnd} in general are given by (4c), except at source where $\rho_{L11}=\rho_s$ is the source reflection factor [8]. Also Z_s is the source impedance, Z_n is the characteristic impedance of any terminal with source while V_s and Z_{LdNT} are source voltage and load impedance respectively based on Figure 2. The output referenced voltage $V_{mMT}(f)$ in frequency domain is given by (5). The time domain response is obtained by inverse Fourier transform of (5).

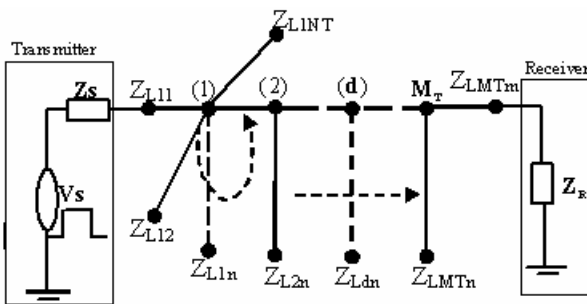


Figure 2 Power line network with distributed

$$H_{mM_T}(f) = \prod_{d=1}^{M_T} \sum_{M=1}^L \sum_{n=1}^{N_T} T_{Lnd} \alpha_{mnd} H_{mnd}(f) \quad n \neq m \tag{4a}$$

$$\alpha_{mnd} = P_{Lnd}^{M-1} \rho_{mnd}^{M-1} e^{-\gamma_{nd}(2(M-1)l_{nd})} \tag{4b}$$

$$P_{Lnd} = \begin{cases} \rho_s, & d=n=1(\text{source}) \\ \rho_{Lnd}, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{4c}$$

$$V_{mM_T}(f) = H_{mM_T}(f) * \left(\frac{Z_{Ldn}}{Z_{Ldn} + Z_s} \right) V_s \tag{5}$$

Any communication system comprises a transmitter, a receiver, the medium, and a signal. In a generic PLC system, the transmitter modulates and injects the signal into the power line (Figure 3). The receiver at the opposite end of the link demodulates the signal and retrieves the data. The impedance of the power line attenuates the signal as it travels from the transmitter to the receiver. Any noise in the medium also corrupts the signal as it moves through the power line. The factors that affect the performance and reliability of a PLC system include the transmit-signal strength, the noise on

the power line, the impedance of the power-line network, the protocol in use, and the receiver’s sensitivity. Stronger signals are less prone to the corrupting effects of noise on the power line and can travel farther.

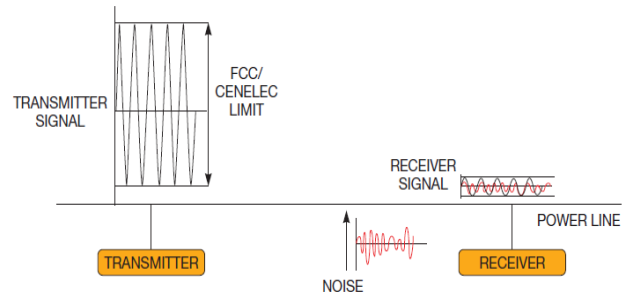


Figure 3 The impedance of the power line, along with noise on the line, can significantly

Transmit signal strength also affects the PLC node’s power consumption because the node consumes more power as more signal energy enters the line. In the best-case scenario, developers would increase the signal strength of the transmitter until they achieved the best performance and power consumption over the power line. However, organizations such as CENELEC in Europe tightly control transmit-signal strength. CENELEC also regulates the harmonics that the main transmitter signal can inject into the power line. These regulations prevent signals on different frequency bands from corrupting one another. When selecting a PLC device, check that it meets the transmit-signal strength requirements for your target market. It should also comply with the standards that CENELEC sets. Ideally, the transmitting gain should be configurable so that you can tune signal strength based on the rest of the system. Additionally, confirm how much energy the PLC node consumes to achieve the best transmit-signal strength that CENELEC require.

2.1 Impedance

The impedance that a signal sees on a power line affects the signal power that the transmitter can transfer into the power line. This impedance depends on the impedance of the power line and that of the nodes—that is, the appliances—that connect to it. Power line impedance changes whenever you plug an appliance or a node into a power socket. Maximum signal power transfers when the impedance that the signal sees in the power line matches that of the transmitter circuit. The greater the difference between these two impedances, the less the transferred signal power; as a result, PLC performance degrades. The dynamic change in impedance over time is one of the toughest issues to address in power-line applications. PLC transmitters and receivers must anticipate these impedance changes in the power line if they are to achieve robust signal performance. Continually matching the impedance of the transmitter to that of the power line allows maximum signal transfer, and high receiver impedance ensures minimal signal loss on the receiver side.

3. BPL ARCHITECTURE OVERVIEW

From the system engineering perspective, BPL provides effective data communication through a combination of the electric network within the home or office, the power distribution grid, and the backbone network which transfers the data signal from the Internet Service Provider (ISP) to the power lines. BPL systems take advantage of one of the largest and the most pervasive networks, the power distribution grid. The power distribution grid is made up of a number of components aimed at delivering electricity to customers, and includes overhead and underground Medium Voltage (MV) and Low Voltage (LV) power lines and associated transformers. First, power is generated at power stations and distributed around a medium to large geographical area via High Voltage (HV) lines. Second, in areas where power needs to be distributed to consumers, transformers will be used to convert this high voltage into a lower voltage to transport over MV power lines. These transformers are generally located at electrical substations operated by the utility or power supplier. Such MV power lines will be used to transport electricity around smaller geographical areas such as small towns. Finally, for the purposes of using electricity in the home or business a transformer is used to reduce the voltage down to safer and more manageable voltages at the customer's house or business premises. This power is usually transported over LV power lines. These LV power lines include the lines that traverse a customer's home or business. Over the existing power distribution grid, recent technological advancements have led to the development of new systems that make it possible to deliver broadband services. These systems are comprised of **access BPL**, **in-house BPL**, or a combination of both technologies. **Access BPL** uses electrical transmission lines to deliver broadband to the home, and uses injectors, repeaters, and extractors to deliver high-speed broadband services to the customer. Injectors/or concentrator are devices that aggregate the end user Customer Premises Equipment (CPE) data onto the MV grid. *Injectors* are tied to the Internet backbone via fibre lines and interface to the MV power lines feeding the BPL service area. A repeater is a physical-layer hardware device used on a network to extend the length, topology, or interconnectivity of the physical medium beyond that imposed by a single segment. *Extractors* provide the interface between the MV power lines carrying the signals to the customers in the service area. BPL extractors are usually located at LV distribution transformers that service groups of households. Since the BPL signal loses strength as it passes through the LV transformer, extractors are required to retransmit the signal. In other cases, couplers on the MV and LV lines are used to bypass the LV transformers and deliver the signal to the customer. There's a third type of extractor transmitting a wireless signal directly from the MV power line to the customer. **In-house BPL** is broadband access within a building or structure using the electric lines of the structure to provide the network infrastructure. In-house BPL will network machines within a building. Unlike access BPL, in-house BPL utilises the electric wiring in a privately owned building

and not the electric power lines owned, operated or controlled by an electricity service provider. Broadband devices are connected to the in-building wiring and use electrical sockets as access points. In-house BPL technologies are largely designed to provide short-distance communication solutions which compete with other in-home interconnection technologies. Product applications include networking and sharing common resources such as printers. Multiple choices in possible architectures offer electric utilities and their partners flexibility in selection of BPL business model and deployment plans by market type. Figure 4 shows the simplified medium voltage (MV) network. The BPL signal in this network is transmitted over the MV system from a head-end in the local network, and for the purpose of final distribution of BPL service to the end user, either a local repeater to counter the signal-blocking effect of the local transformer, or alternatively a WiFi wireless LAN access point can be used. Today's BPL market has three architecture options as illustrated in Figure 4:

- Option 1: wireless: transformer avoided, OFDM used for distributing data, WiFi exchange point at user-end and the MV line transmitter using IEEE 802.11 standard,
- Option 2: wired: transformer avoided, OFDM employed, BPL extractor routes data from MV to LV and user,
- Option 3: wired: bypass transformer with LV/MV coupler and repeater.

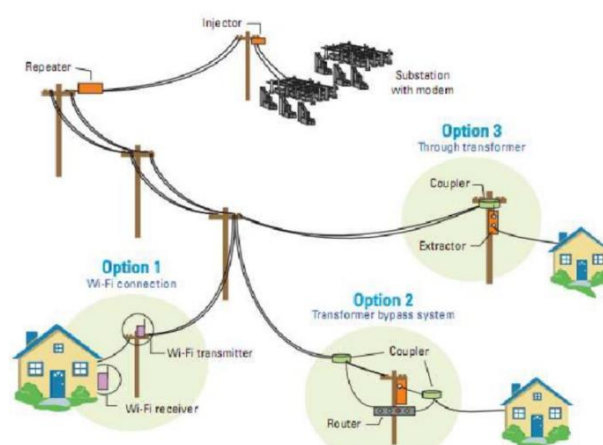


Figure 4 Different BPL architectures

In Europe the system head-end is the local step-down transformer, and the LV wire is used for the broadband data distribution. The local stepdown transformer is usually located further from the final customer, and can distribute power to typically tens of hundreds of customers.

3.1 How it works

At a high-level, a BPL network consists of three key segments, the backbone, the middle mile, and the last mile as shown below in Figure 5. The BPL vendors are primarily seeking to address the "last mile" segment all the way into "the home" market. From the end user's perspective, BPL technology works by sending high-

speed data along medium or low voltage power lines into the customer's home.

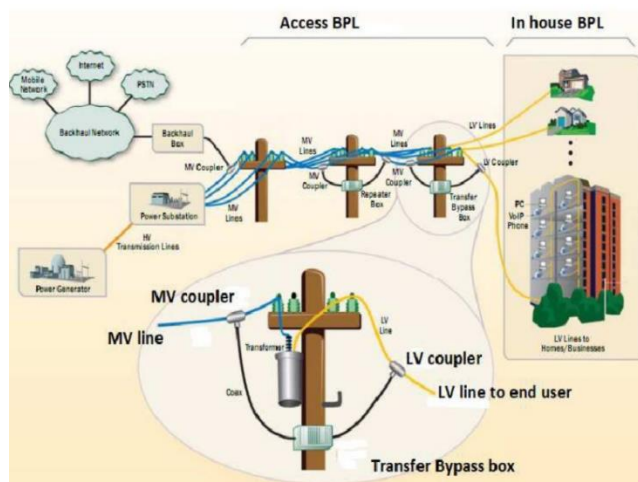


Figure 5 Power grid modified for BPL's purpose

The signal traverses the network over medium and low voltage lines either through the transformers or by-passes the transformer using bridges or couplers. The technology transports data, voice and video at broadband speeds to the end-user's connection. The user only needs to plug an electrical cord from the "BPL modem" into any electrical outlet then plug an Ethernet or USB cable into the Ethernet card or USB interface on their PC. Any Internet Service Provider (ISP) can interface with the BPL network and provide high speed Internet access. The data signal can also interconnect with wireless, fiber or other media for backhaul and last mile completion. The actual hardware used for the deployment varies by manufacturer but typically feature some common characteristics. By combining the technological principles of radio, wireless networking, and modems, developers have created a way to send data over power lines and into homes at speeds equivalent to those of DSL and cable. By modifying the current power grids with specialized equipment, the BPL developers could partner with power companies and ISP's to bring broadband to everyone with access to electricity. The Internet is a huge network of networks that are connected through cables, computers, and wired and wireless devices worldwide. Typically, large ISPs lease fiber-optic lines from the phone company to carry the data around the Internet and eventually to another medium (phone, DSL or cable line) and into the homes. Trillions of bytes of data a day are transferred on fiberoptic lines because they are a stable way to transmit data without interfering with other types of transmissions. The idea of using AC power to transfer data is not new. By bundling radiofrequency (RF) energy on the same line with an electric current, data can be transmitted without the need for a separate data line. Because the electric current and RF vibrate at different frequencies, the two don't interfere with each other. Electric companies have used this technology for years to monitor the performance of power grids. There are even networking solutions available today that transfer data using the electrical wiring in a home or business. But this data is fairly simple and the transmission speed is relatively slow.

There are several different approaches to overcoming the hurdles presented when transmitting data through power lines. The power lines are just one component of electric companies' power grids. In addition to lines, power grids use generators, substations, transformers and other distributors that carry electricity from the power plant all the way to a plug in the wall. When power leaves the power plant, it hits a transmission substation and is then distributed to high voltage transmission lines. When transmitting broadband, these high-voltage lines represent the first hurdle. HV power is unsuitable for data transmission. It's too "noisy." Both electricity and the RF used to transmit data vibrate at certain frequencies. In order for data to transmit cleanly from point to point, it must have a dedicated band of the radio spectrum at which to vibrate without interference from other sources. Hundreds of thousands of volts of electricity don't vibrate at a consistent frequency. That amount of power jumps all over the spectrum. As it spikes and hums along, it creates all kinds of interference. If it spikes at a frequency that is the same as the RF used to transmit data, then it will cancel out that signal and the data transmission will be dropped or damaged en route. BPL bypasses this problem by avoiding high-voltage power lines all together. The system drops the data off of traditional fiber-optic lines downstream, onto the much more manageable 10 kV of medium-voltage power lines. Once dropped onto the medium-voltage lines, the data can only travel so far before it degrades. To counter this, special devices are installed on the lines to act as repeaters. The repeaters take in the data and repeat it in a new transmission, amplifying it for the next leg of the journey. In one model of BPL, two other devices ride power poles to distribute Internet traffic. The coupler allows the data on the line to bypass transformers, and the bridge, a device that facilitates carrying the signal into the homes. The transformer's job is to reduce the 10 kV volts down to the 220-volt standard that makes up normal household electrical service. There is no way for low-power data signals to pass through a transformer, so you need a coupler to provide a data path around the transformer. With the coupler, data can move easily from the 10 kV line to the 220V line and into the house without any degradation. The last mile is the final step that carries Internet into the subscriber's home or office. In the various approaches to last-mile solutions for BPL, some companies carry the signal in with the electricity on the power line, while others put wireless links on the poles and send the data wirelessly into homes. The *bridge* facilitates both. The signal is received by a powerline modem that plugs into the wall. The modem sends the signal to your computer.

4. IMPLEMENTATION CHALLENGES

The most obvious challenges to implementing BPL arise from the fact that power line grids were originally developed to transmit electrical power (high voltage AC at low frequencies of 50 or 60 Hz) from a small number of sources (the generators) to a large number of sinks (the end customers). Power grids were neither designed nor

devised for communications purposes. Even though the interest in using power lines for communications is not new, their early use for data transmission was mainly for simple, low-data-rate (a few kilobits per second) remote monitoring and meter reading applications at a low frequency (typically only up to a few hundred kilohertz). The main challenges to BPL arising from the nature of the power grid have been the extremely harsh, unpredictable, time and location variable characteristics of the power line channel, and potential interference concerns (in both directions). Because power lines are not twisted and have no shielding, they can produce electromagnetic radiation that is easily detected by radio receivers. For the same reasons, power lines can also easily pick up nearby radio frequency signals. A related challenge facing BPL centers around data sensitivity. To prevent interception of sensitive data by unintended and unauthorized receivers, data encryption is a must. The fact that the power line grid is a shared medium and BPL is a contention-based system creates additional challenges. Because all users share the available channel capacity or bandwidth, as the number of users goes up, per-user throughput goes down. An average available throughput of 50 Mbps implies roughly an average of 1 Mbps per user, a speed on par with the current average speeds delivered by DSL or cable modem. However, BPL is thought to be distance limited, similar to DSL. Thus, the distance between the customer's home and the supplying substation is a factor in the bit rate available to the user.

4.1 Electromagnetic compatibility

Electromagnetic compatibility (EMC) is the ability of a device or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances in the form of interferences to any other system in that environment, even to itself. Broadband data can be transmitted at different frequencies, over the same wires, however, in order to enable high-speed and long-distance transmission of data on power lines several technological obstacles have to be overcome. These include data interference or electrical signal interference, the distance over which data can travel while still providing good quality, and the lack of international standards and specifications. The technological issues of BPL in this section deal with how BPL should be implemented to minimise interference with other services such as amateur radio frequencies and international standardisation efforts for BPL technology to increase reliability, interoperability, and security of broadband transmission over power lines. Potentially harmful radio frequency interference (RFI) has been one of the most serious potential technological obstacles to BPL. BPL works by sending radio frequency signals along the power lines using frequencies anywhere from 1.7 to 80 MHz. Some of the BPL signals can cause interference in licensed frequency bands over 1.7-8 MHz, generally known as HF or shortwave bands. Also, various structures in or near power lines may become radiators or antennas at the high frequencies at which BPL data are transmitted. This can also result in interference with a

variety of existing licensed radio services, including ham/amateur radio operators, public safety, emergency response frequencies, military, aviation, maritime, and shortwave broadcasts. BPL signals may propagate down the wires by conduction, but due to the fact that the wires are not solidly shielded or adequately balanced with close conductor spacing, the BPL signal will tend to radiate, which can result in interference. Furthermore, both the high level of injection of radio frequency energy and attenuation of conducted signals on power lines will have a direct influence on interference. Low-voltage networks were designed only for energy distribution to households and a wide range of devices and appliances are either switched on or off at any location and at any time. This variation in the network charge leads to strong fluctuation of the medium impedance. These impedance fluctuations and discontinuity lead to multipath behavior of the PLC channel, making its utilization for the information transmission more delicate. Beside these channel impairments, the noise present in the PLC environment makes the reception of error-free communication signal more difficult. EMC is the first requirement to be met by any device, before it enters the market and even before it enters the wide production phase. However, this remains the main challenge that the PLC community is facing. Several services use one or multiple parts of the spectrum 0–30MHz that is targeted by the PLC system. This makes the set of possible EM victims of PLC devices larger.



Figure 6 BPL act as aerial [9]

In spite of it, standardization activities are going on and trying to reach international flexible standards for the electrical field strength limits. Since powerlines were never intended to be used for piggybacking data, a number of problems arose when trying to do so. Powerline system is a type of carrier current system that electric utility companies have traditionally used for protective relaying and telemetry. They operate between 10 kilohertz (KHZ) and 490 KHZ, although today many utilities rely on the 1-30 megahertz (MHZ) bandwidth for BPL transmission. This particular band of frequencies are known as HF (which is actually 1–30 MHz). This part of the radio spectrum has very special properties not found elsewhere. With this band, one can communicate around the world with very minute power levels. This is due to the fact that radio waves in this band can bounce off the ionosphere multiple times to get to the destination. A carrier current system transmits radio frequency energy to a receiver by conduction over the electric power line. It's essential to regulate carrier current systems and powerline carrier systems, and each is subject to different emission limits. It's also important to limit the amount of conducted radio frequency (RF) energy that may be injected into a building's wiring by an RF device that receives power from the commercial power source,

including carrier current systems that couple RF energy onto the AC wiring for communications purposes. This conducted energy can cause interference to radio communications by two possible paths. First, the RF energy may be carried through electrical wiring to other devices also connected to the electrical wiring. Second, at frequencies below 30 MHz, where wavelengths exceed 10 meters, long stretches of electrical wiring can act as an antenna, permitting the RF energy to be radiated over the airwaves. Due to low propagation loss at these frequencies, such radiated energy can cause interference to other services at considerable distances. Another issue is high attenuation (Figure 7) at high frequencies and noise (internal and external). This leads to the necessity for a lot of error correction/prevention in any protocols using power lines as a physical layer. One thing that cannot be resolved, however is a failing in the electrical properties of the powerlines themselves. They act as aerials (Figure 6) because they are not shielded. This means that they can pick up noise and transmit it on as well as emit interference. BPL operates at the same frequencies as short wave radio and low-band VHF. This can render various radio systems including those of governments unusable. Amateur radio enthusiasts the world over seem to be united in their distaste for what BPL does to the airwaves. Additionally, compared to Ethernet cabling, which has consistent characteristics, power line is not controlled or constant over time. The constant plugging and unplugging, turning on and off, of these appliances throughout the day and evening causes the powerline characteristics to constantly change.

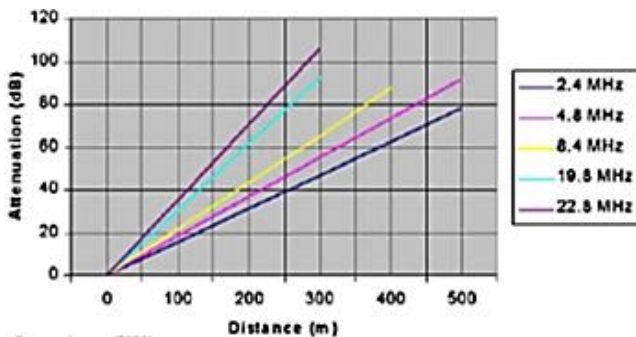


Figure 7 Average measured attenuation (dB) versus distance for outdoor powerlines as a function of frequency (in Europe) [10]

Trying to send data over this inconsistent medium is what has stumped powerline technology companies for years. Power lines, copper twisted pair, and coaxial cable all act like natural low pass filters, meaning higher frequencies are attenuated more than lower frequencies when attempting to transmit them through the medium. The exact slope of the graph of attenuation depends on the specific construction of the material, but in general, twisted pair is suitable up to 100 MHz and coaxial cable can go up to about 3 GHz. Again, these are very general figures and determining the suitability for any application depends on other factors. Power lines would be suitable for up to perhaps 20 KHz, maybe 350 kHz at a stretch, with caveats, but note that this is kilohertz, not megahertz or gigahertz. These are essentially audio frequencies, and equate to a data rate in the neighborhood of ISDN.

Again, unlike all other broadband mediums, power lines are excellent radiators of the frequencies PLC uses. Copper twisted pair, coaxial cable, and fiber are all inherently non-radiating mediums. It should be noted that twisted pair and coaxial cable do actually radiate to some extent, but in proportion to the amplitude of the signal they are carrying, it is minuscule. According to radio amateurs and some broadcasters, PLC is said to be a polluter of the radio spectrum, causing a large rise in the noise floor in urban areas akin to "radio smog".

4.2 Noise on the power line

The noise in PLC networks is diverse and is described as the superposition of five additive noise types, that are categorized into two main classes – on the one hand is the background noise, which remains stationary over long time intervals, and on the other is the impulsive noise, which consists of the principle obstacle for a free data transmission, because of its relative high intensity. This impulsive noise results in error bursts, whose duration can exceed the limit to be detected and corrected usually by used error correcting codes. Therefore, the impulsive noise in PLC networks has to be represented in appropriate disturbance models. Once the transmit signal has been injected into the power line, its integrity depends on the amount of noise on the line; stronger noise does greater damage to the signal. Noise can come from multiple sources. Simplistically speaking, noise on the line subdivides into impulse and continuous noise. Impulse noise is unpredictable and occurs in bursty sequences (Figure 8).

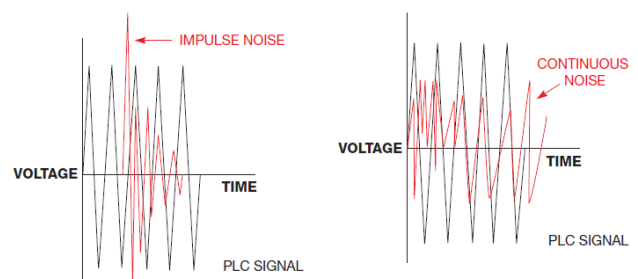


Figure 8 Impulse and continuous noise on the power line [11]

This type of noise can come, for example, from a switched on blender in the kitchen. It can be difficult to design a system that can tolerate the unpredictability and magnitude of impulse noise without compromising its data rate. This type of noise often obliterates any data packets on the line. Continuous noise is more predictable than impulse noise (Figure 8). Continuous noise is usually a function of the quality of the region's power-line installation. The developers of the power-line infrastructure designed it to efficiently carry power, not data, so they paid little attention to noise levels during power-line installation. Power lines' noise level depends on what part of the world a system operates in. To enable robust communication over the power line, the SNR (signal-to-noise ratio) must remain above a certain threshold. If high-amplitude, continuous noise exists within the frequency range of the PLC system, you

should isolate the noise by moving it away from PLC receivers or by adding a blocking inductor to the power supply of the noise-generating equipment, thereby attenuating the noise frequency below the receiver's SNR. Developers can also use several other techniques to overcome the effects of noise. These techniques include the use of bidirectional communication, retries, error detection, and AGC (automatic gain control). If a PLC system communicates in only one direction, the transmitter cannot know whether communication succeeds. This shortcoming was one of the biggest of the original unidirectional *X10 PLC technology* [12]. Bidirectional communication allows the receiver to send an acknowledgment after successful reception of data. In case the receiver does not receive an acknowledgment, the transmitter can take corrective action. In a bidirectional system, communication confirmation can occur through an acknowledgment mechanism. If an intelligent transmitter does not receive a reply from the receiver, then it can resend data packets. A PLC's implementation of built-in retries can be a powerful means of achieving reliable PLC. Even after a receiver successfully receives a data packet, it still must check it for any noise-caused damage. CRCs (cyclic redundancy checks) enable the receiver to detect any data-packet errors. When the receiver detects an erroneous data packet, it can either request the transmitter to resend it or not acknowledge the data, triggering the transmitter to automatically retry transmitting a data packet. To overcome the effects of continuous noise, some PLC devices implement AGC. Using AGC, the receiver dynamically adjusts its sensitivity above the noise floor so that it can better differentiate between noise and data. Clearly, the more ways a system can accommodate or overcome noise, the more reliable the system. Hence, it is beneficial to implement acknowledgment-based bidirectional communication with retries and CRC.

5. BPL IN ACTION - POWER LINE NETWORKING

Two powerful market forces are converging to drive the implementation of effective home networking; high bandwidth consumer applications and the urgent need to develop the smart grid. Both require an effective home network with high QoS for consumer applications (HDTV, IPTV, gaming) and high reliability for smart grid applications. While local area networks in commercial buildings and campuses are ubiquitous with mature standards in place (IEEE 802.3X and IEEE 802.11X), home networking has been characterized as a mix of competing interests and standards that have held back the widespread implementation of a robust home networking topology. That picture is now getting much clearer. Powerline networking is emerging as the backbone for home networks allowing any device to be connected wherever there is a power outlet in the home. Today, BPL devices are becoming popular at every place. Users prefer those for expanding network because wiring a network cable is not practicable all the times. The most popular use of BPL is to expand Local Area Network (LAN) and telephone lines. With increasing popularity and competition cost of BPL in-house devices

is being reduced every day. Most of the devices used are based on HomePlug specifications [13]. Market forces are now demanding a compatible, interoperable powerline network that offers a comprehensive solution with a future migration path and backward compatibility. Adapter plugs into a standard electrical socket and draws power for the device. At the same time, it sends data signals down via the mains wiring. A second adapter (Figure 9) can then be placed on any electrical outlet in the home/office to receive the signal. Now any Ethernet device (Internet, cable/ADSL broadband modem or another computer) can connect to the Ethernet port and create a home/office network. Range on can be expected to be 100 m or more. As there are many similarities between BPL and Wi-Fi technologies with the exception of the communication medium concerning the proposed throughputs, functionalities, or even device cost. Therefore, it was rather logical to notice that these two technologies get closer to allowing use of the electrical network as the Ethernet backbone and the Wi-Fi interfaces to connect the customers of the local area network.

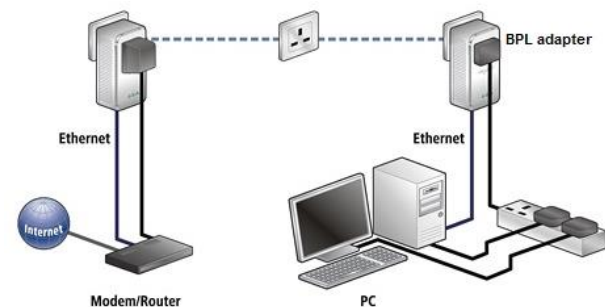


Figure 9 Typical LAN configuration using BPL adapters

An increasing number of manufacturers propose devices combining both technologies. The development of the latest standards will soon bring devices combining HomePlug AV and IEEE 802.11 Super G dynamic to market in order to provide better throughputs and the broadcasting of HD video streams.

6. CONCLUSION

Even though the importance and direct socioeconomic impact of access to broadband services are well understood, currently only 4 percent of the Earth's population has access to some type of broadband services, typically via DSL or cable modem. BPL offers a new, potentially powerful alternative means of providing high-speed Internet services, VoIP, and other broadband services to homes and businesses by using existing MV and LV power lines. Because roughly 60 percent of Earth's inhabitants have access to power lines, BPL could play a significant role in bridging the existing digital divide. The main advantage of this kind of communication system is the existing infrastructure, which simplifies the implementation. But the success of BPL, like that of any new technology in its infancy, depends on more than strong theoretical results or successful field testing. It also depends greatly on the

appropriate business models and deployment plans. As the regulatory uncertainties and interference issues surrounding BPL dissipate, and with the success of many field trials and early commercial deployments, the release of various standards, and the growing availability of reasonably priced standardized and reliable equipment, the road to BPL is becoming increasingly well paved and broadband over power lines seems to be well energized. By 2020, all Europeans should have access to Internet of above 30 Megabits per second (Mbps) and 50% or more of European households have subscriptions above 100 Mbps. This target is from the Digital Agenda for Europe, a flagship initiative of the Europe 2020 strategy for a smart, sustainable and inclusive economy. The European BPL market is currently declining. BPL was under test for a while in Europe to deliver online content over utility distribution lines. Practically, all of these test projects yielded undesired results such as interference with the radio waves forcing the utilities to abandon most of these projects. The disastrous results of the BPL pilot projects undertaken have cast a dark shadow over the viability of BPL as competing internet technologies such as DSL, WiFi, and WiMAX. With all these disadvantages, the report predicts a steady demise for BPL technology that provides Internet connectivity over power lines. Promising market field for technology is home/office networking. In addition to savings, increased efficiency and reliability of the network, the satisfaction of the consumers is also achieved. Overall, BPL has a future albeit a limited one.

7. REFERENCES

- [1] Hrasnica, H.; Haidine, A; Lehnert, R: Broadband Powerline Communications Networks: Network Design, John Wiley & Sons, 2004.
- [2] Gouret, W.; Nouvel, F;El-Zein G: High data rate network using automotive PLC, 7th International Conference on ITS, 2007.
- [3] Biglieri, E.:Coding and Modulation for a Horrible Channel, IEEE Communications Magazine, May, 2003. pp. 92-98.
- [4] Hensen, C.; Schulz, W.: Time Dependence of the Channel Characteristics of Low Voltage Power-Lines and its Effects on Hardware Implementation, AEU Int'l. J. Electronics and Communication, vol. 54, no. 1, Feb. 2000
- [5] Philipps, H.:“Modelling of Powerline Communication Channels,” Proc. 3rd Int'l. Symp. Power-Line Communications and its Applications, Lancaster, UK, 1999.
- [6] Zimmermann, M.; Dostert, K.:A Multipath Model for the Powerline Channel, IEEE Trans. On Communications, vol. 50, No. 4, pp. 553-559, 2002.
- [7] Gali, S.; Banwell, T.: A Novel Approach to the Modeling of the Indoor Powerline Channel -Part II: Transfer Function and Its Properties, IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 20, no.2, April 2005.
- [8] Anatory, J.; Kissaka, M.M.; Mvungi, N.H.: Channel Model for Broadband Powerline Communication, Power Delivery, IEEE Transactions, vol. 22, No. 1, pp. 135 - 141, 2007.
- [9] BPL News. RAC.: www.rac.ca/news/bplnews.htm, (Dostupno 23.7.2015.)
- [10] Ascom: <http://www.ascom.com/en/annual-report-2011-en.pdf>, (Dostupno 23.7.2015.)
- [11] EDN online: www.edn.com/article/511709-Designing_reliable_power_line_communications.php, (Dostupno 23.7.2015.)
- [12] x10 PLC technology: www.x10.com/support/, (Dostupno 23.7.2015.)
- [13] European Broadband Communication: ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/, (Dostupno 23.7.2015.)

Kontakt autora:

Dario Vidić, mag.ing.el.techn.inf.

Technical College in Bjelovar
Trg Eugena Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
043/ 241 -201, e-mail: dario.vidic@gmail.com

Zoran Vrhovski, mag.ing.el.techn.inf.

Technical College in Bjelovar
Trg Eugena Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
043/ 241 -201, e-mail: zvrhovski@vtsbj.hr

dr.sc. Igor Petrović

Technical College in Bjelovar
Trg Eugena Kvaternika 4, 43000 Bjelovar
043/ 241 -201, e-mail: ipetrovic@vtsbj.hr

PREDNOSTI, NEDOSTACI I EKOLOŠKI UČINCI BIODIZELSKOG GORIVA

ADVANTAGES, DISADVANTAGES AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF BIODIESEL FUEL

Veljko Kondić, Vinko Višnjić, Katarina Pisačić, Branislav Bojanić

Stručni članak

Sažetak: U radu su pojašnjene glavne ekološke, ekonomske i gospodarske prednosti i nedostaci biodizelskog goriva, te ekološki učinci. U distribuciji i proizvodnji biodizel nije opasan, nije štetan za zdravlje, nije lako zapaljiv te nije opasan u smislu zagađivanja voda i zraka. Primjenom biodizelskoga goriva značajno se doprinosi očuvanju okoliša, budući da je uz smanjenje štetnih plinova znatno manje stakleničkih plinova. Biodizelsko gorivo je biorazgradivo te se time smanjuje rizik zagađivanja tla i voda.

Cljučne riječi: biodizel, biodizelsko gorivo, ekološki učinci, stanje tla, stanje voda

Professional paper

Abstract: In this article the main ecological, economical and commercial advantages and disadvantages of biodiesel fuel are being explained, as well as ecological effects. When distributed or produced, biodiesel is not dangerous, a health hazard, easily flammable or a pollution hazard for water and air. Usage of biodiesel fuel significantly contributes to environmental protection because it lowers the harmful gases emission and with it the greenhouse gas emission. Biodiesel fuel is biodegradable and as such lowers the pollution hazard for soil and water.

Keywords: biodiesel, biodiesel fuel, ecological effects, soil condition, water condition

1. UVOD

Motorno gorivo koje se može dobiti od raznih uljarica (uljana repica, suncokret, soja, palma itd.), otpadnih jestivih ulja i životinjskih masti esterifikacijom s etanolom zove se biodizel. Današnji biodizel ima osnovna svojstva približno jednaka onima mineralnog dizela, a može se koristiti u potpunosti kao zamjena za mineralni dizel ili u smjesi s njim. Biodizel je proizvod iz obnovljivih izvora energije, biorazgradiv je, nije toksičan, CO₂ neutralan je (ne pridonosi efektu staklenika), a njegova primjena pridonosi smanjenju emisije štetnih tvari u urbanim sredinama. Proizvodnja biodizela široko je rasprostranjena u većini europskih zemalja, a započela je još 1991. godine u Njemačkoj.

2. PREDNOSTI BIODIZELSKOG GORIVA

Prednosti proizvodnje i uporabe biodizelskog goriva očituju se u:

- *Motorima s unutrašnjim izgaranjem* - smjesa dizela i biodizela (već sa udjelom od 1 %) značajno poboljšava mazivost u usporedbi s konvencionalnim dizelom te smanjuje trošenje i produžuje životni vijek motora. Povećanje podmazivanja je naročito pozitivno za visokotlačnu pumpu goriva [1].

- *Ekološki čimbenik* - biodizel izgara 75% čišće nego dizel iz fosilnih goriva, biorazgradiv je i manje toksičan od kuhinjske soli, ne ispušta CO₂ plinove u atmosferu. U proizvodnji nema neiskorištenog otpada, a u proizvodnom procesu i distribuciji biodizel nije opasan ni po jednom kriteriju (nije lako zapaljiv, nije štetan za zdravlje te nije opasan u smislu zagađivanja voda i zraka). Primjenom biodizelskoga goriva značajno se doprinosi očuvanju okoliša, budući da je uz smanjenje štetnih plinova znatno manje stakleničkih plinova, a obzirom da je biodizelsko gorivo biorazgradivo smanjujemo i rizik zagađivanja voda što je posebno važno zbog nacionalnih parkova, parkova prirode, vodocrpilišta i inih [2]. Korištenje biodizela u konvencionalnim dizelskim motorima rezultira znatnim smanjenjem neizgorelih ugljikovodika, ugljičnog monoksida i čestica. Emisije dušikovih oksida se ili malo smanjuju ili malo povećavaju, ovisno o ciklusu motora i korištenoj metodi testiranja. Biodizel ima prednost pred fosilnim dizelom u pogledu smanjenja emisija tako da smjesa B20 smanjuje emisiju ugljikovodika za 20%, ugljičnog monoksida i čestica za 12%, a sumpora za oko 20%.
- *Ekonomski čimbenik* - zbog porasta ovisnosti o nafti u iduća dva desetljeća, potrebno je okrenuti se obnovljivim izvorima energije, čime će se smanjiti troškovi uvoza nafte, te povećati proizvodnju umjetnih goriva. Svjetske velesile diktiraju cijenu

nafta, što se reflektira na gospodarstva svih zemalja uvoznica nafte. Zemlje članice EU imaju pravo primijeniti diferenciranu poreznu stopu na biogoriva kako bi se potaknulo njihovo korištenje. U Njemačkoj je kvotni režim za biogoriva (eng. *Biofuel Quota Act*), s kojim je nastupilo postepeno smanjenje poreznih olakšica za biodizel i biljna ulja. Proizvodnjom biodizelskog goriva potiče se zapošljavanje (pogotovo u ruralnim krajevima), što je izuzetno bitno za vrijeme globalne recesije [1].

- *Gospodarstveni čimbenik* - potiče se proizvodnja pogače uljane repice, povećanje udjela krmnih smjesa u obrocima domaćih životinja utječe na to i veću mliječnost mužnih krava, potiče se razvoj apikulture, postiže se ravnoteža u plodoredu.
- *Zakonska regulativa* - zadovoljenje obveza prema Kyotskom protokolu (koji se odnosi na smanjenje emisije stakleničkih plinova), izbjegavanje plaćanja kazne za neobrađene polj. površine (u EU od 350 €/ha), poštuje se direktiva Europske unije (2003/30/EC) koja je propisala upotrebu biodizelskog goriva, koja je obavezna kako za postojeće, tako i za buduće članice, dakle i za RH [1,2].

3. NEDOSTACI BIODIZELSKOG GORIVA

Nedostaci biodizelskog goriva očituju se u:

- *Motorima s unutrašnjim izgaranjem* - stinjanje kod biodizela počinje na višim temperaturama u odnosu na fosilni dizel - preporuča se uporaba aditiva koji će pomoći u sprječavanju stinjanja u zimskom periodu. Prodiranje biodizela u molekularnu strukturu crijeva i brtvi može uzrokovati propuštanje i rastvaranje istih. Na brizgaljkama goriva i prstenima klipova mogu se stvoriti nakupine tvrdih naslaga. Kraći su servisni intervali izmjene ulja za podmazivanje i filtra ulja zbog svojstva biodizela da razrjeđuje ulje za podmazivanje. Preventivno je potrebno promijeniti filter goriva, gumenu brtvu čepa spremnika goriva, gumenu cijev koja povezuje uljevni otvor sa spremnikom goriva, plastični poklopac uljavnog voda, ispusni ventil spremnika goriva i vod koji povezuje ventil sa spremnikom, vodove za gorivo, pokazivač razine (za motore s rednom pumpom za gorivo), vodove ispusta ulja, elektronički hidraulički prekidač (na modelima s upravljanjem putem sustava EDC), uređaj za dodatno grijanje, vod goriva k uređaju za dodatno grijanje. Poseban oprez potreban je kod punjenja spremnika jer je biodizel odlično otapalo, pa ni lakirane površine nisu pošteđene.
- *Ekološki čimbenik* - uporabom B20, emisija NO_x-a se povećava za 2%
- *Ekonomsko/gospodarstveni čimbenik* - potreban je izuzetan oprez kako se ne bi dogodilo da se površine namijenjene proizvodnji hrane koristile za proizvodnju sirovina za biodizelsko gorivo. U nekim zemljama Južne Amerike, te na jugoistoku Azije, došlo je do negativnih trendova proizvodnje hrane

koja je poskupila i za tri puta. Porast cijena bioloških sirovina za proizvodnju energije, na primjer palminog ulja, u siromašnim je zemljama uzrokovao porast proizvodnje biljnog ulja za izvoz, zbog čega su posječene šume ili su područja nacionalnih parkova pretvorena u plantaže [3].

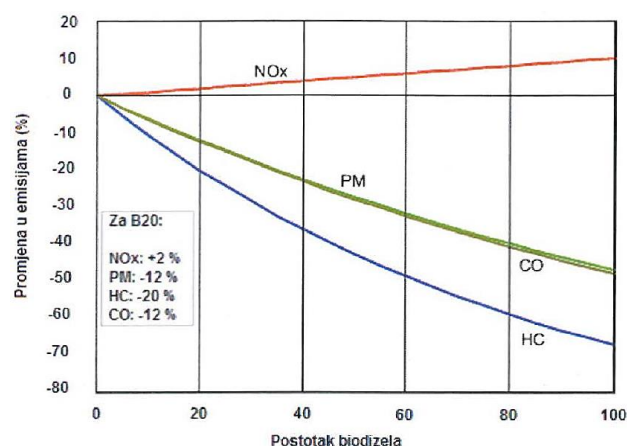
4. EKOLOŠKI UČINCI BIODIZELSKOG GORIVA

Cestovni promet proizvodi značajne količine ugljikovog dioksida (CO₂), metana (CH₄) i dušikovog oksida (N₂O), kao i ugljikovog monoksida (CO), dušikovog oksida (NO_x), nemetanskih hlapivih organskih spojeva (NMVOC), sumpornog dioksida (SO₂), čestica teških metala i postojanih organskih onečišćivača, koji utječu na probleme sa zagađenjem zraka dok biodizel izgara 75% čišće nego dizel iz fosilnih goriva, biorazgradiv je i manje toksičan od kuhinjske soli te ne ispušta CO₂ plinove u atmosferu [3,4].

U njegovoj proizvodnji nema neiskorištenog otpada. U proizvodnom procesu i distribuciji biodizel nije opasan ni po jednom kriteriju, nije lako zapaljiv, nije štetan za zdravlje te nije opasan u smislu zagađivanja voda i zraka. Primjenom biodizelskoga goriva značajno se doprinosi očuvanju okoliša, budući da je uz smanjenje štetnih plinova znatno manje stakleničkih plinova, a obzirom da je biodizelsko gorivo biorazgradivo smanjuje se i rizik zagađivanja voda što je posebno interesantno zbog naših nacionalnih parkova, parkova prirode, vodocrpilišta i inih.

4.1. Promjena emisija korištenjem biodizela

Korištenje biodizela u konvencionalnim dizelskim motorima rezultira znatnim smanjenjem neizgorenih ugljikovodika, ugljičnog monoksida i čestica. Emisije dušikovih oksida se ili malo smanjuju ili malo povećavaju, ovisno o ciklusu motora i korištenoj metodi testiranja. Biodizel ima prednost pred fosilnim dizelom u pogledu smanjenja emisija tako da smjesa B20 smanjuje emisiju ugljikovodika za 20 %, ugljičnog monoksida i čestica za 12 %, a sumpora za oko 20 % [4]. Emisija NO_x-a se istovremeno povećava za 2 %, što se može vidjeti na slici 1.



Slika 1. Promjena u emisiji Nox-a u ovisnosti o postotku biodizela u gorivu

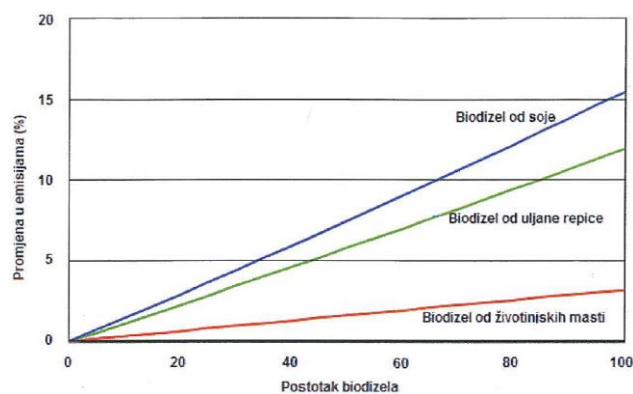
Emisije čestica u konvencionalnim dizelskim motorima općenito se dijele na tri komponente.

Prva komponenta koja je povezana s vidljivim dimom iz ispuha dizel motora je ugljik sastavljen od sub-mikronskih ugljikovih čestica koje se stvaraju tijekom izgaranja dizela.

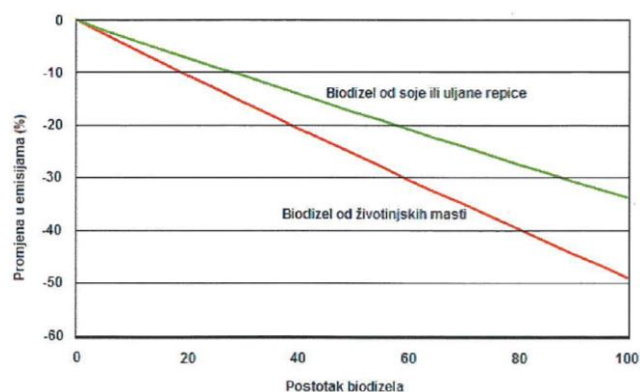
Druge komponente su ugljikohidrati koji su apsorbirani u ugljične čestice i odnose se na topivi dio. Dio ovog materijala rezultat je nekompletnog izgaranja goriva, a preostali dio se odnosi na motorno ulje koje prođe kroz uljne prstene klipa.

Treći dio čestica sadržava sulfate i vodu. Ovaj dio je direktno vezan za sadržaj sumpora u gorivu.

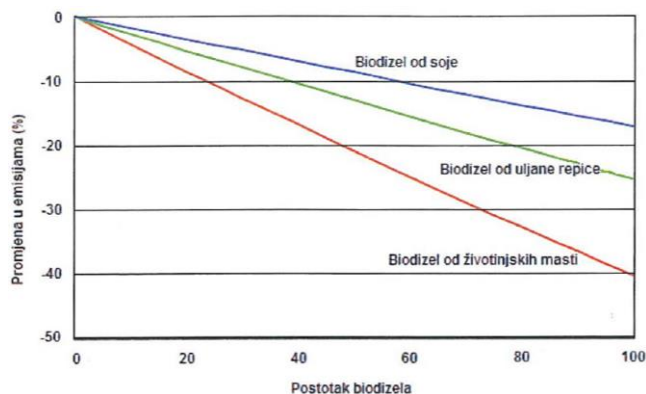
Korištenje biodizela smanjuje udjel krutog ugljika u česticama (pošto kisik iz biodizela omogućuje potpunije izgaranje u CO₂), eliminira udjel sulfata (pošto nema sumpora u gorivu), dok NO_x ostaje nepromijenjen ili se povećava [3,4]. Na taj način, biodizel je usporediv s novim tehnologijama kao što su primjena katalizatora, hvatači čestica i recirkulacija dimnih plinova. U ovisnosti o sirovini od koje je proizveden biodizel razlikuju se i rezultati promjena emisija. Rezultati promjene emisija za NO_x su prikazani na slici 2, za čestice (PM) na slici 3, a za CO na slici 4.



Slika 2. Promjena emisija Nox-a ovisno o izvoru sirovine i postotku biodizela u gorivu



Slika 3. Promjena emisija čestica u ovisnosti o izvoru sirovine i postotku biodizela u gorivu



Slika 4. Promjena emisija CO u ovisnosti o izvoru sirovine i postotku biodizela u gorivu

4.2. Učinak proizvodnje biodizelskog goriva na stanje tla

U proizvodnom procesu i distribuciji biodizel nije opasan ni po jednom kriteriju, nije lako zapaljiv, nije štetan za zdravlje te nije opasan u smislu zagađivanja voda i zraka. Postrojenje za proizvodnju biodizelskog goriva koncipirano je na način da se smanji na najmanju moguću mjeru nekontrolirano izlijevanje ulaznih sirovina, gotovih proizvoda i otpadnih voda, kao i emisija buke.

Najveće količine otpada koje nastaju u proizvodnji biodizelskog goriva predstavlja talog od filtracije otpadnog jestivog ulja. Količina taloga ovisi o kakvoći sakupljenog otpadnog ulja i kreće se približno 1 kilogram na 1000 kg otpadnog ulja. Analizom se utvrđuje sadržaj štetnih tvari, ukoliko je sadržaj ispod dozvoljenih graničnih količina koje je propisano Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima (NN, broj 15/92), talog se može koristiti kao kompost. Do utjecaja na okoliš može doći pri skladištenju, transportiranju i manipulaciji otpadnog jestivog ulja ukoliko prostor ne zadovoljava osnovne tehničko-tehnološke uvjete propisane Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN, broj 23/07 i 111/07) [4].

4.3. Učinak proizvodnje biodizelskog goriva na stanje voda

Utjecaj na vode pri proizvodnji biodizelskog goriva očituje se u povećanoj potrošnji vode za potrebe tehnološkog procesa i ispuštanju otpadnih voda. Tehnološke otpadne vode koje nastaju u procesu proizvodnje karakterizira velika kiselost (pH=3), te se prije upuštanja u prirodni prijemnik neutraliziraju. Tehnološke vode opterećene su i suspendiranim tvarima, mastima i uljima, koje se odstranjuju u separatoru. Sustav za odvodnju otpadnih voda mora imati atest o vodonepropusnosti sukladno Zakonu o vodama (NN 107/95 i 150/05), te ishoditi Vodopravnu dozvolu pri Hrvatskim vodama i osigurati da je kvaliteta vode koja se ispušta te način i rokovi njenog ispitivanja u skladu s odredbama propisanim u Vodopravnoj dozvoli [4,5]. Oborinske otpadne vode s površina koje su namijenjene parkiranju i kretanju vozila onečišćene su suspendiranim

česticama i mineralnim uljima motora vozila, te mogu negativno utjecati na okoliš u slučaju nekontroliranog ispuštanja. Stalnom kontrolom tehnološkog procesa, kvalitete sirovina i proizvoda, kao i praćenjem stanja okoliša moguće je potencijalne utjecaje na okoliš svesti na najmanju moguću mjeru i u skladu sa zakonskim propisima.

4.4. Učinak proizvodnje biodizelskog goriva na stanje tla i vode u RH

Tlo je, poput vode i zraka, ključna sastavnica okoliša. Ubraja se u uvjetno obnovljive resurse s obzirom na dugotrajne procese nastanka i razvoja. Tlo je tanki, rahli sloj smješten na površini Zemlje. Proces nastajanja tla je dugotrajan - sloj tla debljine npr. 30 centimetara nastaje u razdoblju od 1000 do 10000 godina, ovisno o podlozi i faktorima koji utječu na njezino trošenje. Tlo je izvor 90% hrane za čovječanstvo, omogućava uzgoj stoke, proizvodnju prirodnih vlakana i drugih sirovina. Ima neposredan učinak na prirodna dobra i kruženje tvari i energije, a izrazito je osjetljivo na negativne utjecaje (gubitak humusa, erozija, prenamjena ...).

Poljoprivredne površine zauzimaju 52,2% kopnenog prostora Republike Hrvatske. Od toga oko 80% poljoprivrednih površina su u privatnom vlasništvu, a oko 20% su državna zemljišta. Znatno dio poljoprivrednih površina se ne koristi za uzgoj poljoprivrednih kultura, što predstavlja dobar potencijal za znatno povećavanje poljoprivredne proizvodnje, kako za prehrambeni tako i za neprehrambeni lanac. Trajno neobrađiva tla, zbog nepovoljnih fizikalnih ili kemijskih svojstava, zauzimaju 8066 km² ili 6%.

Ukupni obnovljivi izvori vode iznose 35200 m³ po stanovniku. Rezerve pitke vode relativno su velike, 90% vode za opskrbu crpi se iz zaliha podzemne vode. Izvorišta (podzemne i površinske vode) koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu zaštićuju se od onečišćenja i od drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na zdravstvenu ispravnost voda ili njihovu izdašnost. Osnovni preduvjet provođenja zaštite izvorišta jest uspostavljanje i održavanje vodozaštitnih područja (zona sanitarne zaštite) izvorišta pitke vode za javnu vodoopskrbu [4].

5. ZAKLJUČAK

Korištenje obnovljivih izvora energije u skladu je s globalnom strategijom održivog razvoja. Smanjenjem ovisnosti o fosilnim gorivima te uvoza energije povećava se sigurnost energetske opskrbe, čime se otvaraju nove šanse poduzetništvu i gospodarstvu. Nadalje, obnovljivi izvori energije pomažu u povećanju industrijske konkurentnosti i imaju pozitivan utjecaj na regionalni razvoj i zapošljavanje.

Korištenje biogoriva doprinosi povećanju sigurnosti opskrbe smanjenju ovisnosti prometnog sektora o nafti, smanjenju udjela emisije stakleničkih plinova iz cestovnog prometa te podupiranju održivog razvoja ruralnih područja. Uštede ostvarene korištenjem biodizela potrebno je promatrati i kroz smanjenje uvoza

nafte, povećanje proizvodnje umjetnih goriva, smanjenje emisije stakleničkih plinova, povećanje zapošljavanja, povećanje količine kvalitetne stočne hrane, obradu trenutno neobrađene zemlje.

Velika prednost biodizela, za razliku od ostalih biogoriva, temelji se na njegovoj izravnoj primjenjivosti u motorima s unutarnjim izgaranjem. Preinake motora su male, ili nikakve, ovisno o starosnoj dobi vozila.

Biodizel nije idealno gorivo, ali za sada se izvrsno uklapa u postojeće kako tehničke izvedbene performanse motora, tako i ekološke i u gospodarsko-ekonomske potrebe današnjice.

6. LITERATURA

- [1] Virkes, T.: Biodizel u prometu kao čimbenik održivog razvoja u Republici Hrvatskoj, Zagreb, 2007.
- [2] Lončar, N.: Perspektive korištenja biodizelskog goriva u prometu Republike Hrvatske, Zagreb, 2008.
- [3] Voća, N.; Krička T.; Jukić Ž.; Janušić, Ž.: Uloga poljoprivrede u proizvodnji i korištenju biodizelskog goriva i njegovih nusproizvoda
- [4] Protulipac, N.; Župančić K.: Proizvodnja biodizela u RH
- [5] Kiš, D.: Iskoristivost uljane repice kao bioenergenta u proizvodnji biodizelskog goriva, doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet u Osijeku, 2004.

Kontakt autora:

Veljko Kondić, mag. ing. mech.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: veljko.kondic@unin.hr

prof.dr.sc.Vinko Višnjić,

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: vinko.visnjic@unin.hr

Katarina Pisačić, dipl. ing.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: katarina.pisacic@unin.hr

dr.sc. Branislav Bojanić

Pulaparking d.o.o.
52000 Pula
e-mail: branisal.bojanic@pulaparking.hr

DVOOSNO USMJERAVANJE FOTONAPONSKOG MODULA KORIŠTENJEM PID REGULACIJE

DUAL-AXIS DIRECTING FOR PHOTOVOLTAIC MODULE USING PID CONTROL

Josip Krejči, Igor Petrović, Zoran Vrhovski

Stručni članak

Sažetak: U ovom članku prikazano je konfiguriranje PID regulatora na primjeru pozicioniranja usmjerenja prototipne mjerne stanice sa fotonaponskim sustavom i dvoosnim usmjerivačem. S obzirom da je prototipna mjerna stanica predviđena za istraživanje mogućnosti proizvodnje električne energije fotonaponskim modulima, uz teorijsku podlogu na Liu-Jordan-Klein modelu, cijeli sustav je prilagođen nazivlju odabranog modela. Za prototipnu mjernu stanicu programiran je, parametriran i pušten u rad PID regulator za pozicioniranje azimuta, te isti postupak ponovljen za pozicioniranje nagiba. Tako dobiveni PID regulatori mogu se koristiti istovremeno.

Cljučne riječi: fotonaponski sustav, dvoosno usmjeravanje, upravljački sustav, PID, PLC

Professional paper

Abstract: The configuration of a PID controller is presented in this paper on the example of a positioning system for a prototype measurement station with photovoltaic system and dual-axis directing. Since the prototype measurement station is supposed to be used for research possibilities of electrical energy production using photovoltaic modules, and based on the conventional Liu-Jordan-Klein analytical model, the whole nomenclature is adjusted to the selected model. For the described prototype measurement station the PID controller for azimuth positioning was programmed, parameterized and run in test mode, after which the same procedure was provided for slope positioning. Such PID controllers can be used simultaneously.

Key words: photovoltaic system, dual-axis directing, control system, PID, PLC

1. INTRODUCTION

The prototype measurement station has been designed for the purpose of collecting data which are important for electrical energy production using a photovoltaic system. It has been designed using dual-axis directing and a control system which is at the same time an acquisition system for the measured electrical and non-electrical quantities. The whole prototype measurement station is described in [1]. The measured data are a continuation of a research according to a prototype measurement station that has already been installed in Zagreb, which is described in [2]. The purpose of the measurement station is to upgrade the research that has also been done, among other places, in Bjelovar and the results are shown in [3].

In order that the prototype measurement station might have a higher quality of functionality, it is necessary to integrate a better system of value regulation which is the most important for dual-axis directing and that is azimuth and slope positioning. A PID controller provides the best control system. Considering the structure of the mechanical part of the prototype measurement station, it can be expected that a PI controller would be an optimal solution, but in this case a PID controller was used, which can be later easily transformed into a PI controller by turning off a D component. The basic requirement is a

fast response of the rotation position in the azimuth axis as well as the slope axis. The controller will use reference values based on Liu-Jordan-Klein model for calculating the trajectory of the sun in the sky, which is described in [4]. For that reason both the azimuth and slope position are adjusted to the values which are given by the model.

2. PID CONTROL IN THE POSITIONING SYSTEM

A controller is part of the automatic control system which maintains the system in the desired state, as it is described in [5]. Based on the control deviation of the actual value from the desired value of the controlled variable, the role of the controller in the control circuit is to give at its output such a type and value of the signal which will bring the system into the desired state and keep it there. The structure and the parameters of the control system are unchangeable in ideal conditions, but in praxis the parameters of the system are changeable due to the wear and fatigue of materials. Based on the analysis of the control system, the structure and the parameters of the controller are chosen in such a way which helps create the desired performance of the controlled system. There are a lot of ways in which

controllers can be parameterised for linear systems. Based on the tracking error of a measuring output value $e(t)$ a controller creates a control signal $u_r(t)$ which serves as an instruction to the executing device to bring energy into the system. There are different types of controllers in the field of automatic control, but the most common ones, according to [5], are based on three basic types of actions:

- a proportional (P) action
- an integral (I) action
- a derivative (D) action

There are open-loop and closed-loop automatic control systems. An open-loop automatic control system does not give information about the state of the controlled value, and that can easily create deviation of the actual value from the default value on the controlled system, without any feedback. Since it is important that an error, i.e., a deviation from the default value for the dual-axis directing for a photovoltaic module is known and as small as possible, a closed-loop automatic control system is used. Information from the system is obtained by implementing feedback into the system. A system closed with a negative feedback represents a closed-loop automatic control system as it is shown in Figure 1. The influence of the controller on the control system is achieved through an actuator, while a measuring element, i.e., a sensor gives information about the status of the system. In that way a desired behaviour of the system can be achieved regardless of the action of the disturbance variable.

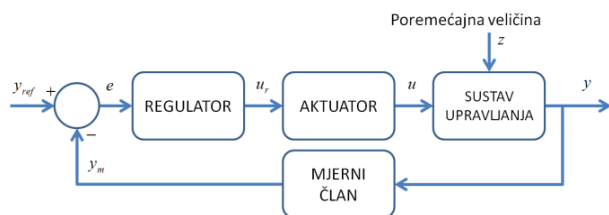


Figure 1 A block diagram of a closed-loop automatic control system [5]

A regulator that includes all three types of actions is called a proportional-integral-derivative-action controller or a PID controller which is described by a differential equation (1).

$$u_r(t) = K_R(t) + \frac{K_R}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_R T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

Where K_R is the coefficient of proportional gain, T_I is the integral time constant expressed in seconds and T_d is the derivative time constant expressed in seconds.

Bode diagram of a real PID controller is shown in Figure 2. It is evident that the amplification of high-frequency signals is removed. Uplifting of phase characteristics enables the system stability. A real PID controller is the best choice for the system control and one of the actions can be turned off. That depends on the type of the system and the demands for the control system. With PID controllers it is practically possible to enable regulation of all kinds of processes, regardless of their characteristics, which depend on the type of their transient characteristics, inertia, accumulation etc.

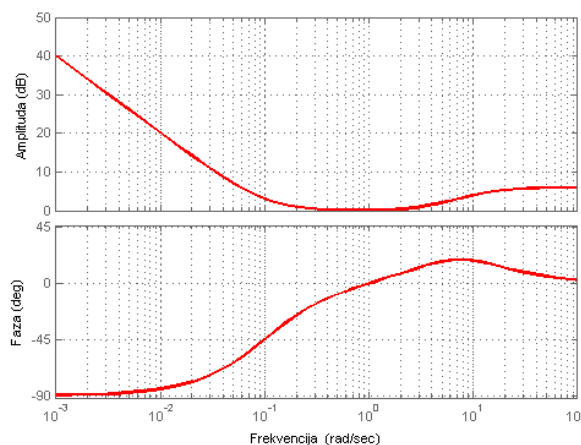


Figure 2 Bode diagram of a real PID controller [5]

3. DEVELOPMENT OF THE PID CONTROLLER FOR THE PROTOTYPE MEASUREMENT STATION SYSTEM

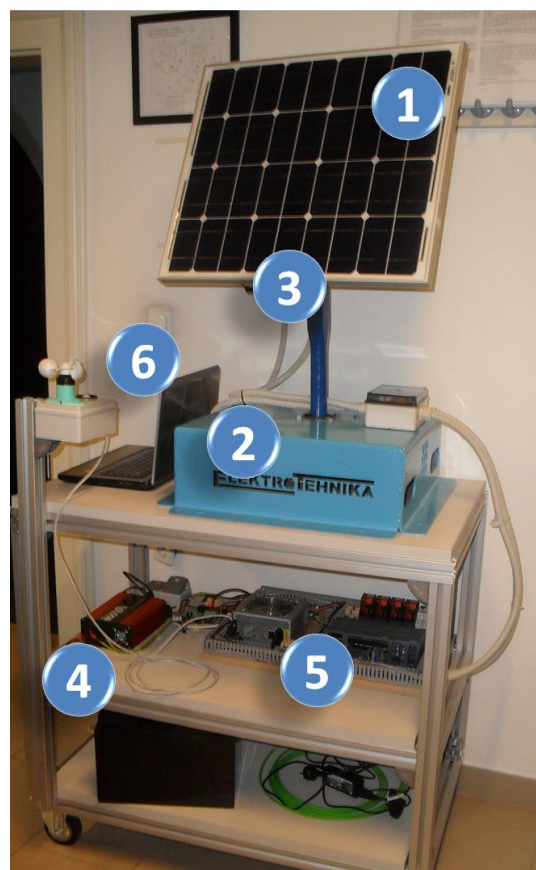


Figure 3 The prototype measurement station of the photovoltaic system with dual-axis directing

The photovoltaic measurement station, shown in Figure 3, consists of:

- 1 a photovoltaic module
- 2 an actuator for azimuth positioning
- 3 an actuator for slope positioning
- 4 an energy conversion subsystem (a charger, a battery, an exchanger)
- 5 a control system
- 6 a laptop (programming / SCADA)

The way the measurement station functions is very simple. Energy which is produced by the photovoltaic module using a battery with a charger and an exchanger supplies the PLC and the SCADA devices which control the whole system. Electrical energy also supplies the motors for rotation of the photovoltaic module, as well as other circuits and devices. The laptop battery is charged through the exchanger. Since the photovoltaic module can produce more or less electrical energy than the system can consume, depending on weather conditions, it is possible to store energy in an accumulator. If the photovoltaic module does not produce enough electrical energy, it can be taken from the accumulator. Exchanger output of 800 W can simply be connected to a NN network and in that way ensure the supply of the control system and the actuator.

The measurement station system is controlled by a Siemens PLC (eng. *Programmable Logic Controller*), Siemens Simatic S7-1200 model. A PLC is a microcomputer system used for automation of industrial plants, mostly for electromechanical processes. The great advantage of a PLC is that it has minimum maintenance requirements and for that reason it is used in industrial environment where dust, humidity and high or low temperatures are common. It is resistant to electrical and electromagnetic interferences, vibrations and changes in temperature. PLCs simplified the control algorithm design which is now a control programme and detecting errors is faster since wiring does not have to be examined. Advantages over a relay technique are numerous and some of them include reliability, flexibility, functionality, communication, velocity and diagnostics. Signal modules (SM) are used for adjustment of different digital and analogue process signals which the S7-1200 is connected to and for the increase in the number of inputs and outputs in the PLC. Their merger does not require additional connectors or cables and they are connected to a CPU using a built-in connector. It is possible to upgrade the CPU using digital and analogue signal modules. An SM 1234 is an analogue input-output extension module used for the prototype measurement station.

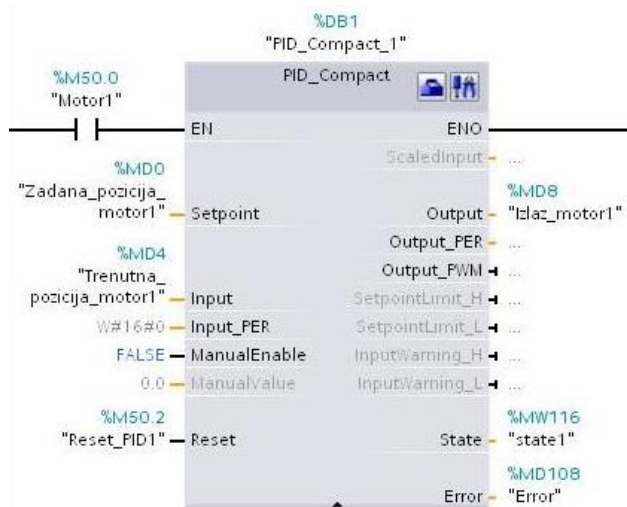


Figure 4 A PID regulator block in LAD, an example of azimuth positioning

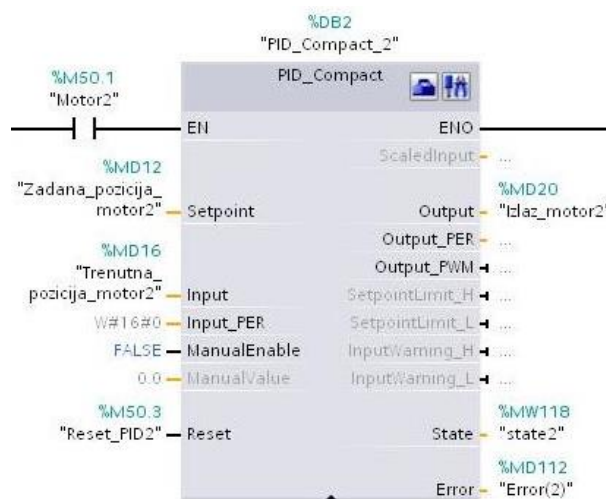


Figure 5 A PID regulator block in LAD, an example of slope positioning

For the control of the azimuth and slope positioning a compact built-in controller was used. A PID controller block for the azimuth is defined in the programming environment which is shown in Figure 4. A PID controller block for the slope is defined in the programming environment which is shown in Figure 5. A PID controller in „PID_Compact“ block uses the equation (2) to calculate the output value.

$$y = K_p \left[(bw - x) + \frac{w-x}{T_I s} + \frac{T_D s(cw-x)}{a T_D s + 1} \right] \quad (2)$$

Where y is the output value, w is the set point, K_p is the coefficient of proportional gain, T_I is the integral time constant, T_D is the derivative time constant, x is the process value, s is the Laplacian operator, a is the derivative delay coefficient and b is the derivative action weighting.

During the start operation, the structured PID controller, according to Figure 5, is inactive. It is necessary to adjust the system in order to get all the parameters. An exception is the case of manual input of previously known parameters. The system itself performs the function of pretuning and fine tuning. After the tuning process has been finished, it is possible to enter the obtained parameters into the PID controller, which can be subsequently changed depending on user preferences. Once the PID controller has been set, it sends information that the control system has been set and it starts working in automatic mode. Each time the PID controller is run up, it starts working in automatic mode.

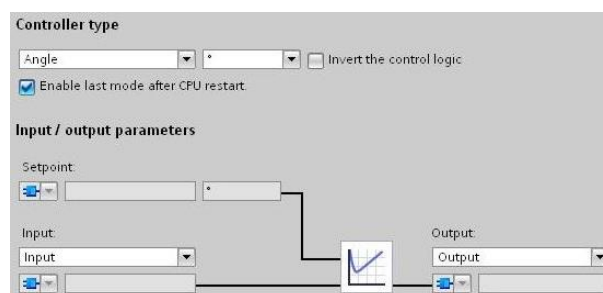


Figure 5 Defining the structure of the PID controller parameters

A SCADA application was made for the analysis of the PID controller operation. Separate screens are intended for separate actuators. Figure 6 shows a visualisation for azimuth control.

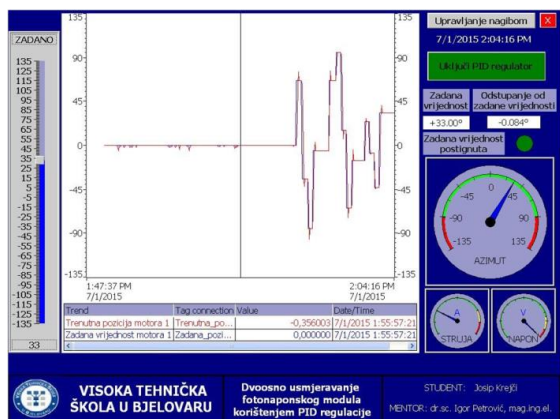


Figure 6 A SCADA part for azimuth control

4. THE RESULTS OF COMMISSIONING OF THE PID CONTROLLER FOR THE PROTOTYPE MEASUREMENT STATION

The azimuth and slope position feedback is entered in an integer form. Since it was planned to use Liu-Jordan-Klein model, it is necessary to map the information into the rotation using unit °. The azimuth positioning resulted in the equation (3), where x is the amount of reading from the analogue input of the azimuth feedback. The slope positioning resulted in the equation (4), where x is the amount of reading from the analogue input of the slope feedback.

$$\alpha = 0,01826x - 149,01632 [^\circ] \quad (3)$$

$$\beta = -0,017x + 196,7 [^\circ] \quad (4)$$

The starting operation of the pretuning function by direct response recording determines the proposals of the PID controller parameters according to the predetermined algorithm. The settings of the PID controller for azimuth are shown in Figure 7, while the settings of the PID controller for slope are shown in Figure 8.

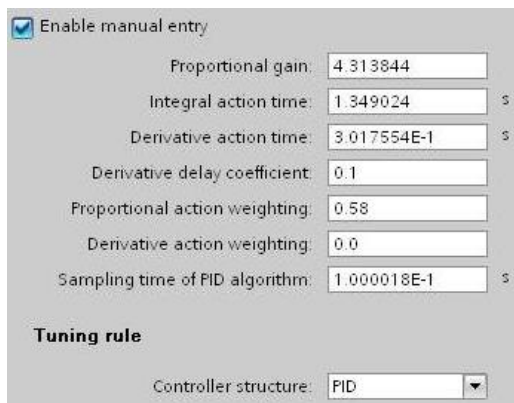


Figure 7 The settings of the PID controller for azimuth, the results of pretuning

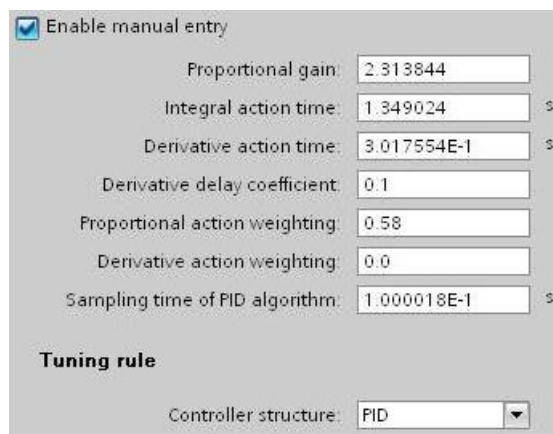


Figure 8 The settings of the PID controller for slope, the results of pretuning

If we compare the proposed settings of the PID controller, it is evident that all the parameters for the azimuth and the slope are the same, except the proportional part. A computer subprogramme in the TIA software package is used to test the operation of the PID controller. The recordings contain the diagrams of set points in blue, feedback in green and the output analogue signal in red. Figure 9 shows the recording of the PID controller for azimuth in operation, while Figure 10 shows the recording of the PID controller for slope in operation. The deviation of the measured value of the position from the set point in the stationary state of the system is less than 1 ° for both cases, which can be considered negligible.

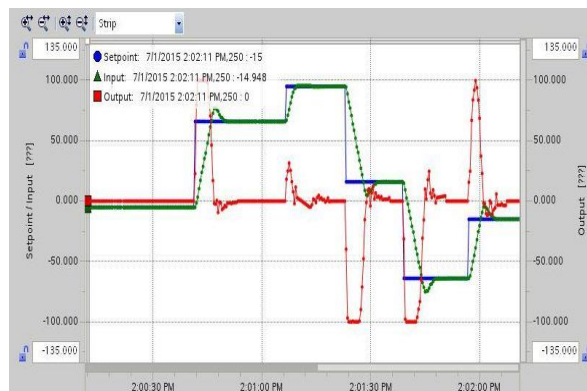


Figure 9 The response of the system with the PID controller for azimuth positioning

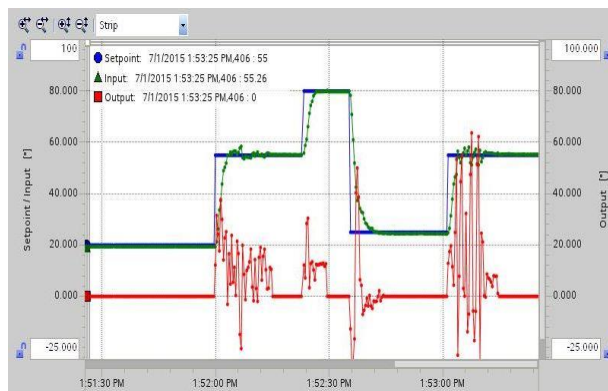


Figure 10 The response of the system with the PID controller for slope positioning

During the regulation of the azimuth position, a camber usually occurs in the linear relationship to the excitation value which the controller quickly corrects. The reason is that the load in the azimuth axis comes down to overcoming friction, while the bearing area bears the construction weight. In case of the regulation of slope positioning, there are different responses, such as stable responses without a camber in the direction of slope descending, i.e., multiple oscillations in the direction of slope steepening. The reason for that is the potential character of the load on the slope axis. In the descending direction the load helps the actuator and less excitation is needed for changing the position. In the direction of the slope steepening the load significantly inhibits the excitation in smaller slope values and pushes the controller to significantly increase the output from the controller, while reaching the slope of 90° reduces the load due to a more favourable (horizontal) position of the photovoltaic module. For that reason the controller cannot reduce the output value fast enough, which causes the oscillation of the regulated value.

5. CONCLUSION

The prototype measurement station is equipped with a PID controller in both axes of freedom in movement. The application of the PID controller enables the further research into the usage, advantages, drawbacks and optimal solution of controllers on a real example. The application of a modular block of the controller also enables a simpler devising and doing scientific researches into electrical energy production using photovoltaic technology.

The results of the parameterisation of the PID controller which are determined by pretuning function have shown that the response characteristics of the system are satisfying and also that the accuracy is good enough. The system has a stable response to a stepped excitation. During the regulation of the azimuth position a camber appears regularly, which the controller quickly corrects. During the regulation of the slope position there are stable responses without a camber in the direction of slope descending, as well as multiple oscillations in the direction of slope steepening.

6. REFERENCES

- [1] Petrović, I.; Herčeki, R.; Kos, S.: The Measuring Station for Electrical Energy Production Modeling Using Photovoltaic Technology, Technical Journal, Vol. 9, No. 2 (2015) 159-163
- [2] Tomiša, T.; Šimić, Z.; Dedeić, D.: Automated photovoltaic panel positioning device for solar radiation monitoring, MIPRO Computers in technical systems, 2011, 28-33
- [3] Petrović, I., Purković, D., Maleš, N.: PV energy production analysis on examples of real PV plants, International Conference on Electrical Drives and Power Electronics EDPE 2013, Dubrovnik, October 2013, 267-271
- [4] Capan, S.; Petrović, I.; Jurčević, I.: The possibilities of european solar radiation atlas usage on example of daily ostensible sun movement analysis, Technical Journal, Vol. 7, No. 2 (2013) 122-125
- [5] Vrhovski, Z.: Automatsko upravljanje, Visoka tehnička škola u Bjelovaru, Bjelovar, 2013.

Kontakt autora:

Josip Krejči, student

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4, 43 000 Bjelovar
043 / 241 – 201; josipkrejci@gmail.com

dr. sc. Igor Petrović

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4, 43 000 Bjelovar
043 / 241 – 201; ipetrovic@vtsbj.hr

Zoran Vrhovski, mag.ing.el.techn.inf.

Visoka tehnička škola u Bjelovaru
Trg Eugena Kvaternika 4, 43 000 Bjelovar
043 / 241 – 201; zvrhovski@vtsbj.hr

REGULACIJA TEMPERATURE VODE U KADI ZA PRANJE MASNIH DIJELOVA

TEMPERATURE REGULATION IN THE BATH WATER TO WASH FATTY PARTS

Muhamed Pašić

Stručni članak

Sažetak: U ovom radu Chien-Hrones-Reswick pravila biti će korištena za podešavanje parametara PID regulatora, pošto ovo pravilo za podešavanje parametara PID regulatora daje najbolje rezultate za proces praćenja. Zatim će u programskom paketu Matlab biti napravljen simulink model za eksperiment u kojem će se koristiti Chien-Hrones-Reswick pravila. Simulink model dati će odzive koji će biti prikazani. Parametri za PID regulator koji će biti dobiveni na osnovu ove metode, biti će parametri PID regulatora koji će biti programiran u programskom paketu Step 7 Basic. Tako dobiveni PID regulator će vršiti regulaciju temperature vode u kadi za pranje masnih dijelova na vrijednost od 75°C.

Ključne riječi: PID regulator, Chien-Hrones-Reswick pravila, prijenosna funkcija, regulacija temperature

Professional paper

Abstract: In this paper the Chien-Hrones-Reswick rules will be used to adjust the PID regulator, because this rule of adjusting the parameters of PID controller gives the best results for process monitoring. Then the Matlab software package will be used to make a Simulink model for an experiment in which Chien-Hrones-Reswick rules will be used. This Simulink model will give responses that will be displayed. The parameters for the PID controller, which will be obtained on the basis of this method, will be PID controller parameters to be programmed into the software package Step 7 Basic. PID controller obtained in such matter will perform temperature control of water in the bathtub to wash the fatty portions at the temperature the value of 75 °C.

Key words: PID controller, Chien-Hrones-Reswick rules, Transfer function, temperature regulation.

1. UVOD

Jedan od najčešćih tipova regulatora u automatizaciji procesa su PID (proporcionalno-integracijsko-derivacijski) regulatori, koji se, zajedno sa svojim podtipovima P, PI i PD, najčešće primjenjuju za upravljanje industrijskim procesima. Prijenosna funkcija idealnog PID regulatora u Laplaceovom području glasi [1]:

$$G_R(s) = \frac{u(s)}{\varepsilon(s)} = K_R \left[1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right] \quad (1)$$

pri čemu su:

K_R - proporcionalno pojačanje regulatora,

T_I - integracijska vremenska konstanta,

T_D - derivacijska vremenska konstanta.

Kod PID regulatora upravljački signal se formira ovisno o trenutnoj vrijednosti pogreške (P-djelovanje), ovisno o tome kako se pogreška mijenjala u prošlosti (I-djelovanje) i ovisno o tome kakav je trenutni trend promjene pogreške (D-djelovanje).

PID regulatori izvedeni u analognoj tehnici rade s kontinuiranim veličinama pa se nazivaju kontinuiranim

ili analognim PID regulatorima. U današnje se vrijeme uglavnom primjenjuju digitalne izvedbe PID regulatora, koje se dobivaju diskretizacijom analognih PID regulatora. Ovisno o primijenjenom postupku diskretizacije razlikuje se više vrsta digitalnih PID regulatora, ali se uvijek nastoji da digitalni regulator oponaša analogni regulator. Digitalni regulator dobro će oponašati analogni regulator ako je vrijeme uzorkovanja dovoljno malo. Na taj se način iskustva stečena analognim regulatorom mogu iskoristiti pri radu s digitalnim regulatorom. Na tržištu su najzastupljeniji digitalni PID regulatori izvedeni u samostalnim mikroprocesorskim uređajima (engl. loop controllers) i PID regulatori izvedeni kao standardni programski moduli u programabilnim logičkim kontrolerima (PLC) te procesnim računalima.

Cilj ovog rada je, dakle, odrediti parametre regulacijskog sustava za regulaciju temperature u kadi za pranje masnih komada. Navedeni proces može se opisati prijenosnom funkcijom prvog reda, kojom se opisuje veliki broj industrijskih procesa (2):

$$G_s(s) = K_s \frac{1}{1 + s\tau} e^{-T_t s} \quad (2)$$

pri čemu su:

K_s – pojačanje procesa,

τ – vremenska konstanta procesa,

T_t – transportno kašnjenje (mrtvo vrijeme).

Kao mjerni član temperature korištena je temperaturna sonda TC-K type. To je analogni signal koji se vodi na analogni modul SM1231, a PLC je S/1200. Programaska podrška ostvarena je preko programskog jezika Step 7 Basic.

2. ODREĐIVANJE PARAMETARA REGLACIJSKOG SISTEMA

Kao što je već navedeno, za podešavanje parametara PID regulatora koristit će se Chien-Hrones-Reswick pravila. Ova metoda za podešavanje parametara regulatora najviše se koristi kod problema praćenja referentne vrijednosti. Kao npr. praćenje temperature u nekom rezervoaru ili kod CNC strojeva gdje motor treba zauzeti određeni položaj. Chien, Hrones i Reswick, pored preporuka za parametre regulatora, daju i preporuke za izbor tipa regulatora koji je dobro koristiti ovisno o pokazatelju R (brzina reakcije) procesa, kao što je pokazano u tablici 1.

Tablica 1. CHR preporuke za izbor tipa regulatora

Tip regulatora	$R = \frac{T_p}{\tau} = \frac{1}{\mu}$
P	$R > 10$
PI	$7,5 < R < 10$
PID	$3 < R < 7,5$
Višeg reda	$R < 3$

Kod CHR pravila za podešavanje parametara regulatora postoje dva slučaja:

- Željena prijelazna karakteristika zatvorenog kruga je neperiodska.
- Željena prijelazna karakteristika zatvorenog kruga je oscilatorna sa preskokom 20%.

Ako se želi dobiti neperiodski odziv sistema, tada se parametri regulatora trebaju podesiti prema tablici 2.

Tablica 2. CHR preporuke za podešavanje PID regulatora

Tip regulatora	K	T_i	T_d
P	$0,3R / K_p$	-	-
PI	$0,35R / K_p$	$1,2T_p$	-
PID	$0,6R / K_p$	T_p	$0,5\tau$

U ovom radu ćemo koristiti drugi slučaj tj. željena prijelazna karakteristika zatvorenog kruga je oscilatorna sa preskokom 20%. Najprije je potrebno naći R tj.

$$R = \frac{T_p}{\tau}$$

U nastavku je data *.m datoteka sa programom pomoću kojeg je izvršena simulacija prethodnog pravila.

```
clear all
close all
clc
G=1/((s+1)*(s+2)*(s+5))
% Određivanje vremenske konstante i kašnjenja procesa(sistema)
% Tk=x(1)
% T=x(2)-x(1)
Tk=0.3519 % Kašnjenje procesa
T=1.887 % Vremenska konstanta
K=dcgain(G) % Određivanje statičkog pojačanja
num=K
den=[T 1]
Gp=tf(num,den,'iodelay',Tk)
% CHR (Chien-Hrones-Reswick) preporuke
R=T/Tk
Kchr=[(0.7*T/Tk)/K inf 0;
(0.6*T/Tk)/K T 0;
(0.95*T/Tk)/K 1.35*T 0.47*Tk];
printmat(Kchr,'Chien-Hrones-Reswick',['P PI
PID'],['Kp Ti Td'])
```

Nakon pokretanja koda dobije se:

```
0.1
Gp=exp(-0.3*s) *-----
```

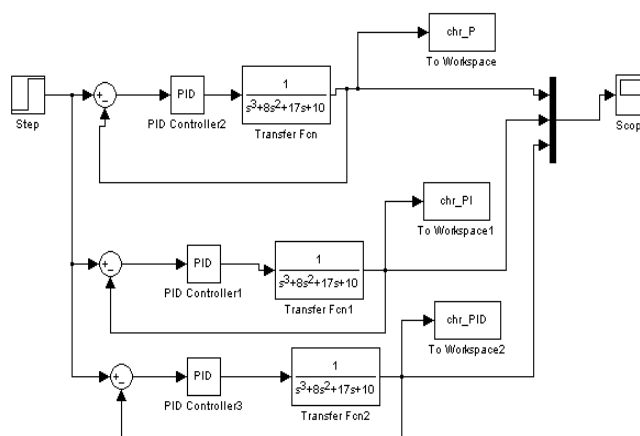
1.987 s + 1

R = 6.5816

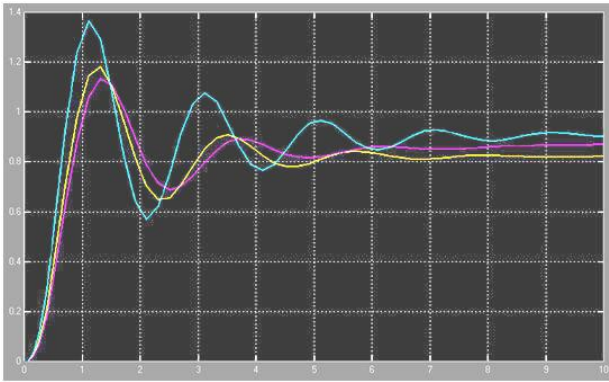
Tablica 3. Izračun parametara PID kontrolera pomoću Chien-Hrones-Reswick pravila

	Kp	Ti	Td
P	46.07155	Inf	0
PI	39.48990	.98700	0
PID	62.52567	2.68245	0.14189

U nastavku će biti pokazan simulink model gdje će biti podešeni parametri koji su prikazani u tablici 3.



Slika 1. Eksperiment izveden sa CHR metodom

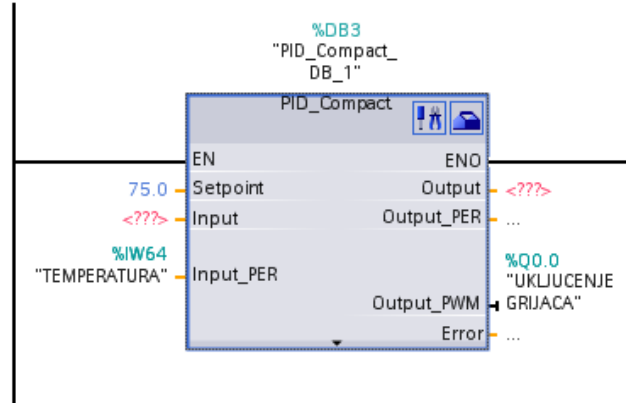


Slika 2. Odstivi P, PI i PID regulatora za podešavanje CHR metodom

3. PROGRAMIRANJE PID REGULATORA U PROGRAMSKOM PAKETU STEP7 BASIC

Na (slici 3) prikazan je blok PID regulatora sa odgovarajućim ulazima i izlazima. Na setpoint se unosi vrijednost koja treba regulirati PID regulator, u ovom slučaju je to temperatura od 75°C. Zatim input, ovaj ulaz se koristi ako koristimo neki signal iz programa, i treći ulaz koji je moguće koristiti kod PID regulatora je input_PER. Na ovaj ulaz se dovodi analogni signal. U ovom primjeru će se koristiti ovaj treći, jer temperaturu

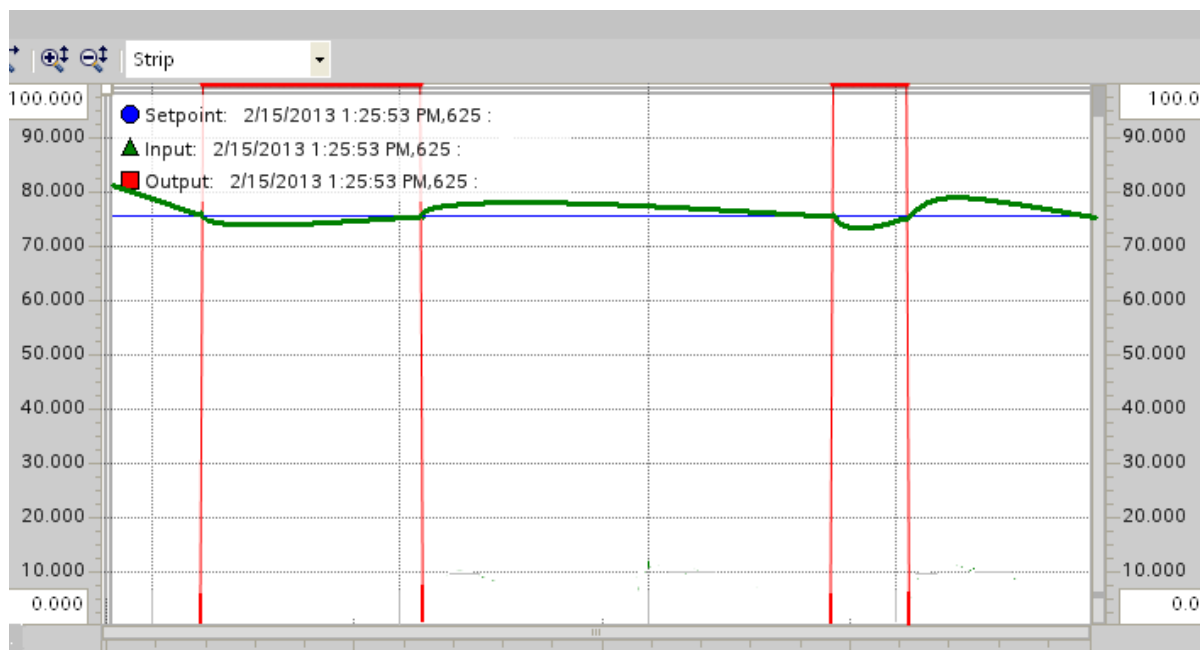
mjerimo preko temperaturne sonde, koja se priključuje na analogni ulaz PLC. Što se tiče izlaza, postoje tri, prvi je output, koristi se ako se izlazni signal koristi dalje u programu. Zatim tu je output_PER, to je analogni izlaz, i treći je output_PWM. Ovaj izlaz je tipa bool, znači može biti 1 ili 0, tj digitalni izlaz. U ovom radu će se koristiti ovaj treći koji će uključivati i isključivati grijač. Sa (slike 5) na kojoj su podešeni ulazni izlazni parametri PID regulatora, može se vidjeti da je ulaz PID regulatora analogni, a digitalni izlaz.



Slika 3. Blok PID regulatora u programu Step 7 Basic

Slika 4. Podešavanje parametara PID regulatora u programskom paketu Step 7 Basic dobijenih na osnovu Chien-Hrones-Reswik pravila

Slika 5. Podešavanje ulaznih i izlaznih parametara PID regulatora



Slika 6. Grafički prikaz ulaza i izlaza PID regulatora

Kao što se može vidjeti na (slici 6) ulaz PID regulatora tj. temperatura je zelena kriva, a izlaz crvena, plavom bojom je označen setpoint. Ono što se može vidjeti sa ovog dijagrama je to da kada temperatura dostigne vrijednost 75°C, izlaz poprima vrijednost logičke 0. A u trenutku kada temperatura padne ispod vrijednosti setpointa izlaz PID regulatora poprima vrijednost logičke 1, tj. ide na maksimalnu moguću vrijednost 100%, i tad se uključuje grijač. Ono što još treba zapaziti na (slici 6) je to da temperatura nastavlja rasti i preko setpointa iako je grijač isključen. Taj preskok nije veliki, i dešava se zbog toga što grijač određeni period emitira toplinu iako je isključen sa napajanja.

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bio pokazati kako na osnovu Chien-Hrones-Reswick pravila odrediti parametre PID regulatora. Zatim određivanje funkcije prijenosa sistema prvog reda sa transportnim kašnjenjem, kojom se može opisati industrijski proces u kojem se koristi ovako podešeni PID regulator. I na osnovu tako dobivenih parametara podesiti PID regulator u programskom paketu Step 7 Basic koji će regulirati temperaturu vode u kadi za pranje masnih komada. Nakon izračunatih parametara u Matlabu napravljen je simulink model koji je dao odziv sistema na step ulaz, i može se vidjeti da se sa ovim parametrima može dobiti dobro praćenje referentne vrijednosti. Zatim je programiran PID regulator u programu Step 7 Basic, gdje su podešeni parametri regulatora dobijeni Chien-Hrones-Reswick pravilom. I na kraju je prikazan odziv sistema sa ovako podešenim PID regulatorom, sa kojeg se može vidjeti da je praćenje referentne vrijednosti tj. temperature zadovoljavajuće.

5. LITERATURA

- [1] Dorf, R.C.; Bishop, R.H.: Modern Control Systems, USA, Addison-Wesley.
- [2] Kovačević, B.; Đurović, Z.: Sistemi automatskog upravljanja - zbornik rešenih zadataka, Beograd, Nauka.
- [3] Krnjača, H.: Parametriranje PID regulatora u sustavu regulacije temperature-diplomski rad, Split, FESB, 2008.
- [4] Kukolj, D.; Kulić, F.: Projektovanje sistema u prostoru stanja, Novi Sad, FTN.
- [5] Kukolj, D.; Bengin, V.; Kulić, F.: Osnovi klasične teorije automatskog upravljanja kroz rešene probleme, Novi Sad, FTN.
- [6] Milić, S.: Kontinualni sistemi automatskog upravljanja, Beograd, Nauka.
- [7] Šurina, T.: Automatska regulacija, Zagreb, Školska knjiga, 1991.
- [8] Unbehauen, H.: Regelungstechnik I, GWV Fachverlage GmbH, 2007.
- [9] Vukić Z., Kuljača Lj., 2004, Automatsko upravljanje – analiza linearnih sustava, Zagreb, Kiegn.
- [10] Williams, C. D. H.: Feedback and temperature control, [ebook], Dostupno na: <http://newton.ex.ac.uk/teaching/CDHW/Feedback/2008>.
- [11] Službene stranice Siemens, Software and Hardware reference v. 3.5, [ebook], Dostupno na: <http://www.siemens.com>

Kontakt autora:

Muhamed Pašić, mr.
Cimos d.o.o Srebrenica
muhamed.pasic@cimos.eu

KONTROLA KVALITETE VRATILA LASERSKIM SKENEROM STEINBICHLER T – SCAN

QUALITY CONTROL OF A SHAFT USING THE STEINBICHLER T – SCAN LASER SCANNER

Josip Groš, Srdan Medić, Nikola Šimunić

Stručni članak

Sažetak: Kod eksploatacije strojnih dijelova zbog trenja na površini dolazi do promjene geometrije oblika. Prilikom ispitivanja ekonomske isplativosti zamjene postojećih pozicija (vratilo i matica vijčane preše), došlo se do zaključka da je najisplativija investicija izrada nove matice prema već postojećem vratilu. Prije početka izrade matice bilo je nužno usporediti postojeće vijčano vreteno preše s postojećim CAD modelom. Na osnovi usporedbe mjerenja došlo se do zaključka da je novu maticu potrebno izraditi po dijelu vretena koje je najviše istrošeno.

Nakon samo nekoliko sati dobiven je oblak točaka vratila vijčane preše. Nakon toga se pristupilo poligonizaciji oblaka točaka te se za rezultat dobio STL model. Zadnji korak je bio izrada mjernog izvještaja tj poklapanje izmjerenih podataka s CAD modelom.

Ključne riječi: digitalizacija, reverzibilno inženjerstvo, 3D skeniranje, T – scan, oblak točaka

Professional paper

Abstract: With the exploitation of machine parts due to friction on the surface, there is a change of geometry shapes. While examining the economic feasibility of replacing the existing position (shaft nut and screw presses) it was concluded that the most cost-effective investment is creating a new parent to an existing shaft. Before starting to produce nuts, it was necessary to compare the existing screw spindle presses with an existing CAD model. A comparison of measurements led to the conclusion that it is necessary to create a new nut down on the most depleted spindle.

After just a few hours a cloud of points back screw presses was produced. Afterwards, a polygonization point cloud was made and the result was a STL model. The last step was the development of measurement reports, i.e. matching the measured data with the CAD model.

Key words: digitizing, reversible engineering, 3D scanning, T - scan, a cloud of points

1. UVOD

Bezkontaktni aktivni skeneri emitiraju neku vrstu radijacije ili svjetla te očitavaju refleksiju iste kako bi ispitali objekt ili okoliš. Mogući tipovi emisije uključuju svjetlo, ultrazvuk ili rendgenske zrake. Npr. i „vrijeme leta“ i triangulacijski 3D laserski skeneri spadaju u ovu skupinu jer koriste laserske zrake za ispitivanje površina. [1]

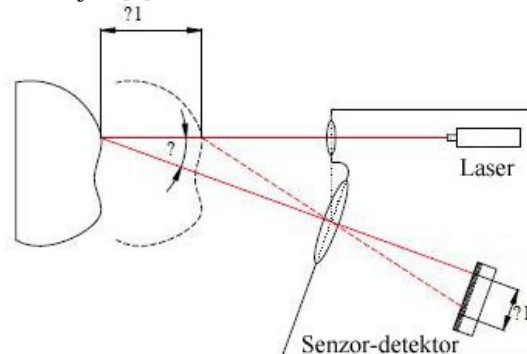
Bezkontaktni pasivni skeneri ne emitiraju radijaciju već očitavaju radijaciju okoliša. Većina skenera ovog tipa očitavaju vidljivo svjetlo, a može se koristiti i infracrveno zračenje. [2]

2. METODA LASERSKE DIGITALIZACIJE

2.1. Laserska triangulacija

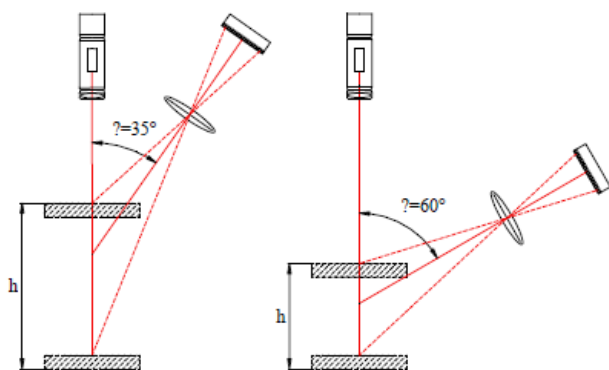
Na industrijskom području princip triangulacije napredovao je razvojem svjetlosnih i laserskih dioda kao

i razvojem optičko-elektroničke sensorike. Navedeno je omogućilo razvoj malih lasersko-triangulacijskih senzora (LTS), koji pri mjerenju u području udaljenosti od nekoliko metara daju točnost do par μm . Shematski prikaz jednog jednodimenzionalnog triangulacijskog senzora dan je na slici 1. Treba uzeti u obzir da se u načelu laserska triangulacija može ostvariti s različitim rasporedom određenih komponenti, a prikazan je samo jedan od njih. [3]



Slika 1. Princip laserske triangulacije[3]

Laserska dioda kroz projekcijsku optiku fokusira jednu svjetlosnu točku na površinu mjenenog objekta. Svjetlost koja se od objekta difuzno reflektira preko optike je opet usmjerena prema senzoru (detektoru) položaja. Među jednostavnije senzore spadaju fotodiode, Lateral-Effect diode (Position Sensitive-Detectors-PSD) i linijske kamere. Pomičemo li objekt u smjeru projicirane laserske zrake, doći će i do promjene položaja pada odbijene zrake na senzoru. U prikazanom sustavu za mjerenje, promjena položaja $?h$ u izravnoj je linearnoj zavisnosti od udaljenosti $?l$. Svaki proizvođač, ovisno o posebnim karakteristikama lasera, optike i detektora određuje potreban raspored i udaljenosti komponenata. Proizvođač tako fiksno određuje neke veličine triangulacijskog kuta. Triangulacijski trokut nalazi se između osi optike i laserske zrake. O njemu će dalje zavisiti razni faktori mjerenja, kao što su mjerna razlučivost i mjereno područje. Sa većim kutom triangulacije (npr. 60°) dobiva se i veći h , odnosno moguć je veći pomak mjenenog objekta. Uz to povećava se i razlučivost mjerenja, dok istovremeno dolazi do smanjenja mjernog područja, odnosno mjernog volumena. Slika 2. prikazuje usporedbu većeg i manjeg kuta triangulacije. Veći kut omogućava veliku razlučivost, ali je manji interval visina koje se mogu mjeriti, dok manji kut ima smanjenu rezoluciju, ali je interval visina veći. Također treba primijetiti da se kod većeg kuta može dogoditi da su neke površine u sjeni, pa je mjerenje istih onemogućeno. [3]



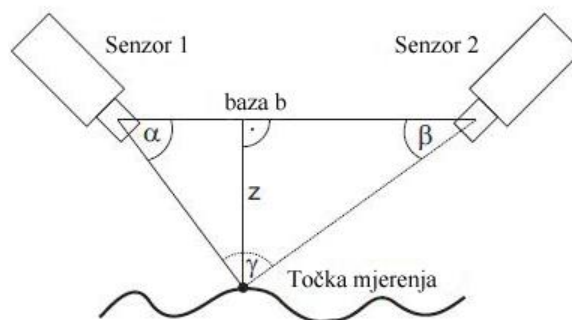
Slika 2. Usporedba manjeg i većeg kuta triangulacije[3]

Pomicanjem izvora laserske zrake, odnosno laserske zrake, relativno u odnosu na mjereni objekt, moguće je ovom metodom snimati i dvodimenzionalne ili trodimenzionalne konture. Međutim za digitalizaciju objekata ovom metodom potrebno je mnogo vremena i mehaničkog napora pa nije pogodna za digitalizaciju većih dijelova. [3]

2.2. Matematički model triangulacije

Princip mjerenja triangulacijom koristio je već Johannes Kepler 1609. godine kako bi objasnio gibanja planeta unutar sunčevog sustava, a već 1617. danski matematičar Willebrord Snellius objavio je ovaj princip u svojem radu „Eratosthenes Batavus“. Princip se temelji na činjenici da je trokut isključivo definiran dužinom jedne stranice i veličinama pripadajućih kutova. Iz tih podatak mogu se dobiti preostale stranice i treći kut.

Optički mjerni uređaji koriste ovaj princip kako bi odredili prostorne dimenzije i geometriju objekta. Jedan od senzora je obično digitalna kamera, a drugi uređaj može također biti kamera ili svjetlosni projektor. Kao što je vidljivo na slici 2.8 centri senzora i mjerena točka na objektu zatvaraju trokut. Unutar tog trokuta udaljenost između senzora je baza (b) i mora biti unaprijed poznata. Određivanjem kutova između projekcije senzora i baze (α , β), mjerena točka izračunava se triangulacijom.



Slika 3. Prikaz principa triangulacije [4]

Izračun kutova α i β , kao i dužine temelji se na početnoj kalibraciji sustava, za vrijeme koje se dobivaju potrebni podaci za izračun. Tražena visina z naposljetku se dobiva putem jednadžbe 2.6. [4]

$$z = \frac{b \sin \alpha \sin \beta}{\sin \gamma}, \gamma = \pi - \alpha - \beta \quad (1)$$

3. LASERSKI SKENER T - SCAN

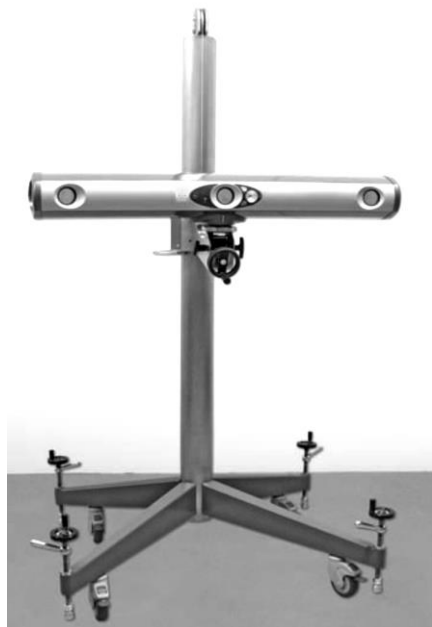
Uređaj T-SCAN 3 tvrtke Steinbichler prikazan na slici 4. primjer je ručnog laserskog skenera. Korištenje istog vrlo je jednostavno i intuitivno.



Slika 4. T-SCAN 3 [5]

Lagana konstrukcija ovog uređaja omogućava snimanje koordinata i većih predmeta bez većih napora za korisnika. Pošto je uređaj ručni; dio sustava je i

kamera koja određuje položaj skenera u prostoru, kako bi imali dovoljno podataka za triangulaciju. Sustav za praćenje (slika 5.) ima ugrađenu kompenzaciju temperature, prikaz mjernog volumena laserskim pokazivačem, te dodirnu sondu. Prethodna priprema površine nije potrebna, a zahvaljujući posebnoj point to point regulaciji intenziteta moguće je i snimanje sjajnih i mat površina. Za vrijeme skeniranja istovremeno na računalu dobivamo rezultat skeniranja. Montažom na robotske ruke moguća je i potpuna automatizacija procesa kontrole kvalitete.



Slika 5. Sustav za praćenje T scan - a[5]

Detaljniji tehnički podaci vidljivi su u tablici 1.

Tablica 1. Tehnički podaci uređaja T-SCAN 3

Podaci senzora	
Dubina mjerenja	75 mm
Širina skeniranja	90 mm
Prosječna udaljenost mjerenja	83 mm
Frekvencija skeniranja	10-140 Hz
Frekvencija uzorkovanja daljinskog mjerenja	20 kHz
Rezolucija daljinskog mjerenja	1 μ m
Gustoća točaka u smjeru skeniranja	0,07 – 0,98 mm
Težina senzora	1200 g
Dimenzije senzora	172x138x80 mm
Standardna dužina kabla skener – PC	9 m
Lateralna razlučivost	0,1 mm
Tip lasera	Diodni
Valna dužina	670 nm
Klasa lasera	2
Podaci sustava za praćenje	
Mjerni volumen	1,5 – 6 m ³
Dimenzije	1126x200x161 mm
Težina	Cca 19 kg

Prednosti:

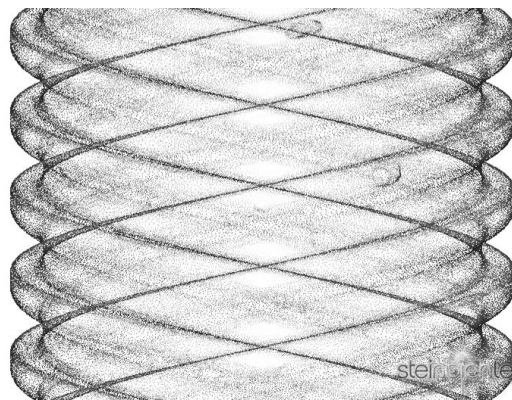
- Robusniji u odnosu na ambijentalne izvore svjetlosti, koji imaju tendenciju „zavarati“ prilikom 3D mjerenja
- Obično su manje podložni pogreškama zbog šuma u podacima, koji nastaje zbog boje objekta ili odbljeska
- Odlična dubinska rezolucija na velikim dijelovima za mjerenje manjih detalja poput rubova, granica i pukotina

Nedostaci:

- Rezolucija i preciznost digitalizacije ograničena je zbog tzv. „speckle“ efekta (efekt pjega)
- Laseri se moraju koristiti s oprezom

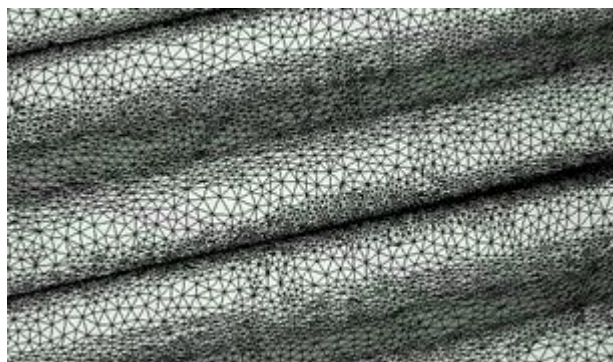
4. 3D DIGITALIZACIJA VRATILA

Nakon postavljanja laserskog sustava pristupilo se digitalizaciji vratila hidraulične preše. Prednost laserskog skeniranja je tad a nije potrebno postavljanje markera na sami objekt mjerenja. Digitalizator dobiva podatak o orijentaciji preko sustava za praćenje. Znači za razliku kod optičkih mjernih uređaja za velike objekte je potrebno postaviti markere i napraviti fotogrametriju objekta mjerenja. Kao rezultat digitalizacije dobivena je geometrija u obliku oblaka točaka. (slika 5.). Broj izmjerenih točaka je 23 000 000. Broj izmjerenih točaka je mogao bit i veći ali za obradu podataka treba optimizirati izmjerene podatke.



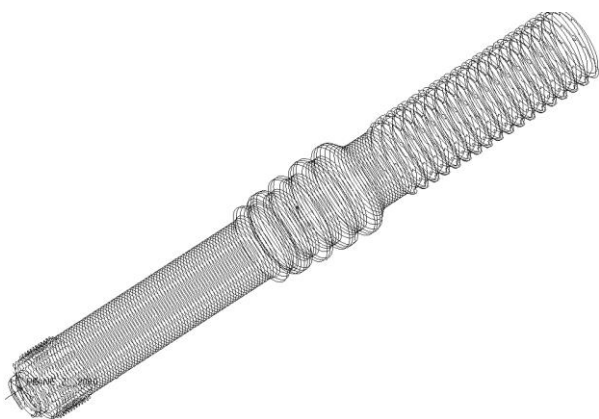
Slika 6. Dio navojnog vretena

Nakon dobivenog rezultata napravljena je poligonizacija za dobivanje stl modela. (slika 6.)



Slika 7. Struktura stl

Zbog lakše obrade podataka broj točaka je optimiziran na 1 200 000, a broj trokuta u stl modelu na 2 400 000. Ovakav rezultat moguće je koristiti u FEM analizi. Trodimenzionalan model vratila je bio orijentiran po metodi 3-2-1 (ravnina, vektor i točka). Orijentacija modela se izvodi da bi se rezultat izrade presjeka bio dovoljno kvalitetan. Za potrebe rekonstrukcije vratila izrađuje se presjeci po osima x, y, z ili se izrađuju kružni presjeci koji se potom pohranjuju u iges format. (slika 7.)



Slika 8. Presjeci po z osi

Za kontrolu kvalitete geometrije oblika najvažnije je da se digitaliziran objekt naknadno ne obrađuje. Znači da se naknadno ne rade operacije smooth, popunjavanje praznina koje se nisu digitalizirale i slično.

5. REZULTATI USPOREDBE

Nakon laserske digitalizacije vratila pristupilo se izradi mjernog izvještaja. Poklapanja se mogu vršiti različitim metodama kao što su: best fit, RPS točke i preko različitih elemenata (provrt, ravnina, osi i sl.).

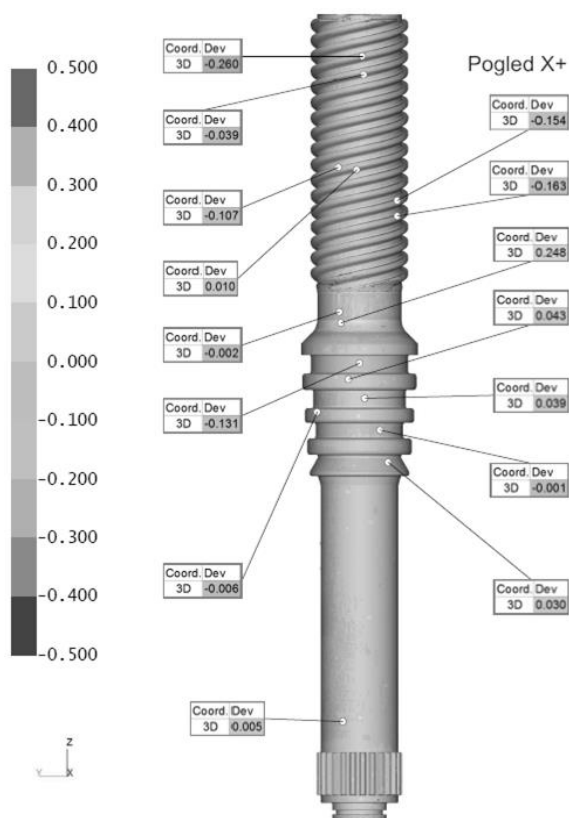
U ovom slučaju je korištena best fit metoda poklapanja.

Kod izrade mjernog izvještaja važno je tolerirano polje. Naše tolerirano mjerno polje je $\pm 0,5$ mm za cijelo vratilo.

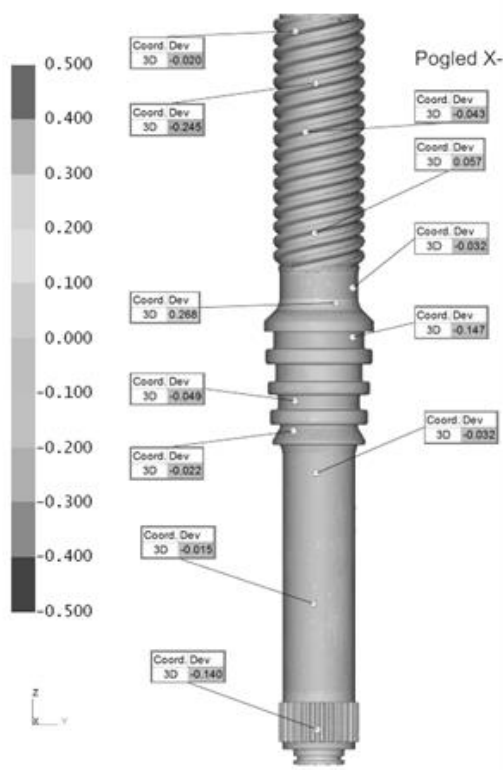
Slika 8. prikazuje mjerni izvještaj za pogled X+ Vidimo da najveće moguće odstupanje u pozitivnom smjeru u pogledu X+ iznosi 0,248 mm i nalazi se na dijelu gdje je vratilo uležišteno. Najveće odstupanje u negativnom smjeru u X pogledu iznosi -0,260 mm i nalazi se na navojnom dijelu vretena. Vidljivo je da je radni dio vretena dvije trećine te da je potrošenost navojnog vretena najveća na kraju vretena.

U pogledu X- (slika 9.) najveće odstupanje u pozitivnom smjeru iznosi 0,268 mm i nalazi se na dosljednom mjestu. Najveće odstupanje u negativnom smjeru iznosi -0,147 mm. Odstupanje zubaca na zupčaniku iznosi -0,140mm.

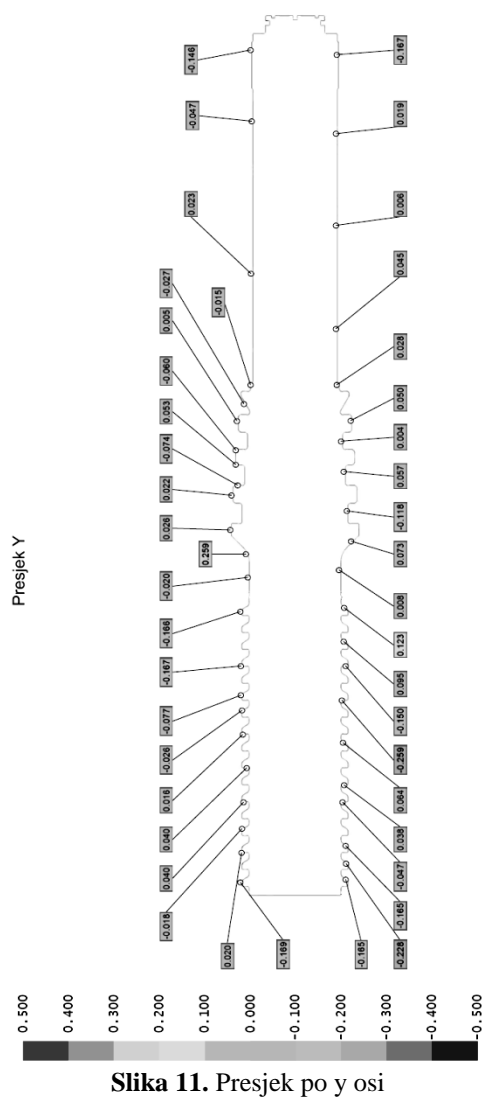
Na isti način je načinjen izvještaj u pogledu Y i Y-. Rezultati su pokazali da ovisno o vrsti zavoja na navojnom vretenu postoje odstupanja. Pošto je navojno vreteno trovojno zaključeno je da se sve tri zavojnice nejednoliko troše. Zbog bolje analize istrošenosti navojnog vretena napravljena je kontrola po presjecima (slika 10.).



Slika 9. Usporedba X+ pogled



Slika 10. Usporedba X- pogled

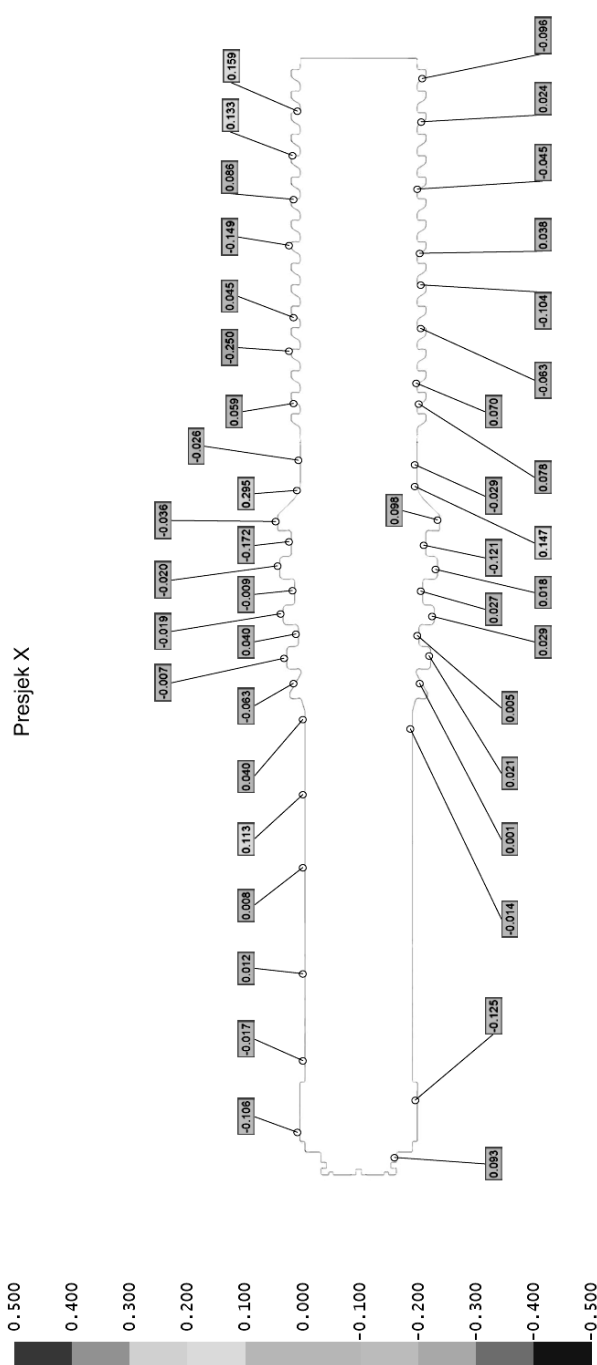


Slika 11. Presjek po y osi

Slika 10 prikazuje analizu skeniranog modela vratila s cad modelom tj. presjek po osi y. Na ulaznom dijelu navojnog vretena vidljivo je odstupanje koje iznosi -0,228 mm došlo je do zaključka da je to krajnji položaj u kojem su najveća opterećenja na samom vratilu. Da bi se izbjeglo trošenje u krajnjim položajima operater bi trebao smanjiti brzinu kretanja vretena tj. ugradnja mikroprekidača koji bi samostalno smanjio brzinu vretena. Drugo veće odstupanje je na sredini navojnog dijela vretena gdje je ujedno i radi dio vretena. Ostali dio navojnog vretena po x presjeku je skoro ujednačeno potrošen uslijed eksploatacije.

To je dobar pokazatelj da su matica i vreteno napravljene u odgovarajućoj toleranciji.

Slika 11. Prikazuje dio kontrole presjeka po osi X. Vidljivo je da se matica oslanja na jedan dio krivulje navojnog vretena. Uslijed gravitacije zbog težine navojnog vretena matica je uvijek oslonjena na donji dio krivulje što je pokazuje presjek po osi X. Nakon digitalizacije programski se vrlo jednostavno izrađuje mjerni izvještaj. Dobivanjem 3d modela izmjerene vratila ako postoje novi zahtjevi za kontrolu dodatnih presjeka nije više potrebno ponovna digitalizacija već se koristi postojeća.



Slika 12. Presjeci po X osi

6. ZAKLJUČAK

Uređaji za 3D digitalizaciju danas su moćan alat na području strojarstva, a najviše se koriste u kontroli kvalitete, reverzibilnom inženjerstvu i brzom izradi prototipova. Na tržištu postoji veliki broj uređaja koji koriste razne metode skeniranja. Svaka od metoda ima svoje prednosti i nedostatke, a konačni izbor uređaja uvelike ovisi o području i načinu primjene.

Zadnjih nekoliko godina trodimenzionalni digitalizatori postaju sve više prisutni u kontroli kvalitete.

Geometrija oblika postaje sve složenija i prilično komplicirana za izradu i mjerenje. Kako se razvijaju druge tehnologije, tako i laserski mjerni uređaji postaju

sve precizniji. Na manjim tržištima zbog relativno visoke cijene trodimenzionalni laserski skeneri nisu toliko prisutni u proizvodnim procesima. Konvencionalni strojevi (CMM) su u usporedbi s laserskim trodimenzionalnim digitalizatorima, spori i dobiva se puno manje izmjerenih podataka. Manji broj megapixelsa u kameri znači manji broj izmjerenih točaka, ali je zato manipulacija s mjerenim podacima puno lakša nego kod većeg broja megapixelsa. Trodimenzionalni optički mjerni uređaji svakim danom postaju sve precizniji, ali i pristupačniji tržištu. Svaka generacija optičkih skenera je sve fleksibilnija i manja.

Laserski skeneri su vrlo fleksibilni za razliku od CMM strojeva. Dobiveni rezultat je 3d model koji se može koristiti i kasnije ako se ukaže potreba za dodatnim provjerama.

7. LITERATURA

- [1] Wu, H. B.; Chen, Y.; Wu, M. Y.; Guan, C. R.; Yu, X.Y.: Harbin: an., 3D Measurement Technology by Structured Light Using, University of Science and Technology, Harbin, China, 2006.
- [2] Pribanić, T.; Cifrek, M.; Peharec, S.: Simplified Ligh Plane Determination during Structured Light, Zagreb, 2006.
- [3] Tombers, A.: Einsatz der optischen 3D Messtechni in der Fertigung von Triebwerksbauteilen Potenzialabschätzung zur Prüfzeitreduktion, München, 2006.
- [4] Teutsch, C.: Model-based Analysis and Evaluation of Point sets from Optical 3D Laser Scanners. s.l. : Shaker Verlag, Aachen, 2007.
- [5] <http://www.steinbichler.com/products/surface-scanning/3d-digitizing.html>.

Kontakt autora:

Josip Groš, mag. ing.stroj

Veleučilište u Karlovcu
Ivana Meštrovića 10
47000 Karlovac
jgros@vuka.hr

Srdan Medić, dr.sc.stroj.

Veleučilište u Karlovcu
Ivana Meštrovića 10
47000 Karlovac
smedic@vuka.hr

Nikola Šimunović, mag. ing.stroj

Veleučilište u Karlovcu
Ivana Meštrovića 10
47000 Karlovac
nikola.simunic@vuka.hr

PREDIKTORI PRIHVAĆANJA ONLINE UČENJA MEĐU SVEUČILIŠNIM STUDENTIMA: ANALIZA TEMELJENA NA RUDARENJU PODATAKA

PREDICTORS OF ONLINE LEARNING ACCEPTANCE AMONG UNIVERSITY STUDENTS: AN ANALYSIS BASED ON DATA MINING

Darko Dukić, Dina Jukić

Prethodno priopćenje

Sažetak: Razvoj informacijskih i komunikacijskih tehnologija snažno se odražava na cjelokupno obrazovanje. Kao rezultat toga, online učenje zauzima sve važnije mjesto i u nastavnom procesu na visokoškolskim ustanovama. Cilj je ovog rada utvrditi kakav je stav hrvatskih sveučilišnih studenata o online učenju i identificirati najvažnije prediktore njegovog prihvaćanja. Istraživanje je provedeno putem online upitnika, a analiza se temeljila na stablima odlučivanja, jednoj od najpopularnijih metoda rudarenja podataka. Prema rezultatima, većina studenata ima pozitivan stav o online učenju, a razina ICT znanja i vještina izdvaja se kao najznačajniji prediktor prihvaćanja. Za studente koji su svoja ICT znanja i vještine ocijenili s vrlo dobrim sljedeći najbolji prediktor je status, a za one sa slabijim kompetencijama to je spol.

Ključne riječi: online učenje, prediktori, prihvaćanje, rudarenje podataka, stabla odlučivanja, sveučilišni studenti

Preliminary communication

Abstract: The development of information and communication technologies has a strong impact on the entire education. As a result, online learning occupies an increasingly important place in the teaching process at higher education institutions. The aim of this study is to determine the attitudes of Croatian university students toward online learning and to identify the most important predictors of its acceptance. The survey was conducted via an online questionnaire and the analysis was based on decision trees, one of the most popular data mining methods. According to the results, most students have a positive attitude toward online learning, and the level of ICT knowledge and skills stands out as the most significant predictor of acceptance. For students who rated their ICT knowledge and skills as very good, the next best predictor is the enrolment status, whereas for those with poorer competencies, it is gender.

Keywords: acceptance, data mining, decision trees, online learning, predictors, university students

1. INTRODUCTION

Traditional teaching in higher education is usually frontal, since it mainly consists of an oral presentation provided by a professor (lecturer) to students (listeners). By its nature, traditional teaching is determined by space and time. It is often characterized by one-way communication, resulting in little or no interaction between students and professor. The higher the number of students there are in a class, the lower is the probability of interaction.

Advances in information and communication technologies (ICT) have strongly affected all levels of education. As a result, the concept of online learning was developed. Bakia et al. [1] defines online learning as instructional environments supported by the Internet which comprises a wide variety of programs that use the Internet to provide both access to instructional materials and facilitate interaction among teachers and students. Online learning is not a one-way linear path from teacher to student, but cyclical process in which learners connect

to a network to discover and share new information, modify their beliefs on the basis of such learning, and then connect again to a network to share these realizations and search for new information [2, 3]. Over the past few years, more and more students are opting for online learning, as an alternative to traditional classroom courses. A survey conducted by Sloan Consortium [4, 5], based on responses from U.S. universities and colleges, reveals that the number of students taking at least one online course increased from 5,6 million in 2010 to 6,7 million in 2012.

As the popularity of online learning among students grows, so do their expectations. Students primarily demand that online education is as effective as traditional face-to-face learning. According to Young [6] effective online learning consists of seven items: adapting to student needs, providing meaningful examples, motivating students to do their best, facilitating the course effectively, delivering a valuable course, communicating effectively, and showing concern for student learning. It follows from the aforesaid that

successful design and implementation of online courses requires knowing the extent to which students accept online learning, and understanding how they perceive different aspects of online learning. Therefore, the aim of this study is to determine the extent to which Croatian university students accept online learning, and the variables that are the most important predictors of their perception of online learning. With the purpose of identifying the predictors of online learning acceptance, data mining was used.

2. PREVIOUS RESEARCH

Online learning and its implementation in higher education is the subject of many studies. Some previous research about students' attitudes toward online learning is presented further in the text.

Many studies show that students are satisfied with their experience in an online environment. In a survey conducted by Kim, Liu, and Bonk [7] over 100 students enrolled in a top-ranked online MBA program were interviewed to investigate their perceptions of the benefits and challenges in online learning. Over 70% of respondents described their online learning experience in a positive manner. They used such words as excellent, good, rewarding, effective, satisfied, and enlightening. Some of those surveyed described their online learning experience as new, unique, and eye-opening. In addition, about 93% of the students agreed or strongly agreed that they were satisfied with the quality of online courses. In contrast, Palmer and Holt [8] found that nearly 45% of students were at least generally satisfied with wholly online delivery, while about one-third of respondents rated their experience as less than neutral. Their sample consisted of students enrolled in a wide range of wholly online units at Deakin University in Australia.

According to Horzum [9], satisfaction with an online learning program can be defined as fulfilment and pleasure level of the students about different aspects of learning service which they received. Why do students accept online learning and perceive their experience with it positively? A possible answer is offered by Sit et al. [10], who explored students' views of an online learning initiative within a post-registration degree in nursing in Hong Kong. Most of the respondents in the research agreed that through online learning they learned to take responsibility for their own study, they were able to work through the learning material when it is convenient to them, and it was easy to navigate the subject material. The students also considered that the face-to-face resource sessions were valuable when supplemented with online learning. Smart and Cappel [11] conducted a survey among students of the Michigan Virtual University. The ability to apply simulations to realistic problem-solving situations, good user interaction, quality of information and explanations presented, and ability to learn more about teams were perceived as strengths of the online learning units.

Online learning undoubtedly has an advantage over traditional learning, especially because students are not limited by time and space. In an online environment, they can acquire new knowledge anytime and anywhere. This

is confirmed by the study of Rodriguez, Ooms, and Montañez [12], conducted on a sample of American students. The authors asked respondents what they liked most about online courses. Approximately 48% of students who had experience with online courses answered that it was the flexibility of study time, and about 24% of them said that it was because they had less need to go to the campus. The answers of students who had no experience with online courses are also interesting. Nearly 39% of them answered that they like online learning because it is not necessary to attend lectures.

Compared with traditional classes, online learning has an innovative course design, which is suitable for many students, so they are more successful in their studies. Song et al. [13] confirmed that students consider the course design as the most important factor in the success of an online course. In this sense, the authors concluded that there is a need for effective instructional design for online courses.

Sulaiman [14] explored the online learning conveniences from students' perception. His sample consisted of students from the University Malaysia Sabah. The study showed that students feel that learning through online is really convenient and easy. One of the participants said that it is convenient for learners because they just have to click to get any kind of information instantly, which suggests that online learning is more flexible and enjoyable than learning in a traditional way.

However, it cannot be categorically stated that students prefer online learning over traditional education [15, 16]. A study by Young and Norgard [17], which was conducted on a sample of 233 American students, shows that 42% of the respondents felt they learned more in online courses than in face-to-face courses, while 58% think the opposite. Nevertheless, 57% of the surveyed students preferred online courses to face-to-face courses, whereas 43% disagreed with this statement. About 68% of the respondents stated that online courses require more study time. The research also revealed that 46% of the students agreed that online courses are more difficult than traditional classes. Zhan and Mei [18] examined the effects of academic self-concept and social presence on students' learning achievement and satisfaction in face-to-face and online version of the same course. Their sample included undergraduate students enrolled in a digital design course in a major university in Southeast China. The authors found that face-to-face students perceived significantly higher social presence than online students. The study also confirmed that there is significant difference between face-to-face and online students on the effect of social presence on learning achievement and satisfaction. In contrast, no significant difference was found with respect to academic self-concept. The effect of social presence on students' learning achievement and satisfaction were stronger in online than in traditional learning environment.

It should be noted that online learning is not suitable for everyone. Although many students perceive online learning as a positive experience, they agree that studying in an online environment can often be difficult and frustrating. The lack of motivation and absence of

social interaction are cited as the main disadvantages of online learning among students.

In comparison with previous research, this study goes a step further and seeks not only to determine the level of acceptance of online learning among Croatian university students, but also to identify the factors that influence its acceptance.

3. PARTICIPANTS AND METHODS

The study was conducted through an online survey. The responses of 902 students from the Josip Juraj Strossmayer University in Osijek were used in the analysis. Among them, there were 538 (59,6%) females and 364 (40,4%) males. The youngest participant was 17 and the oldest was 45. The average age of the surveyed students was 21,97, with a standard deviation of 3,3 years. The sample comprised of 754 (83,6%) full-time students and 148 (16,4%) part-time students. There were 258 (28,6%) first-year students, 214 (23,7%) second-year students, (21,4%) third-year students, 124 (13,7%) fourth-year students, 105 (11,6%) fifth-year students, and 8 (0,9%) sixth-year students. With respect to the field of study, there were 62 (6,9%) students from natural sciences, 220 (24,4%) students from technical sciences, 91 (10,1%) students from biomedicine and health, 56 (6,2%) students from biotechnical sciences, 351 (38,9%) students from social sciences, 91 (10,1%) students of humanities, 13 (1,4%) students of arts, and 18 (2%) students from interdisciplinary study programmes.

In addition to the descriptive statistics, decision trees were applied in the analysis. Decision trees are data mining methods which are used for classification-type problems, and for predicting a target variable based on multiple input variables. They are created using an appropriate algorithm, which defines how to split data into smaller, more homogenous groups. Decision trees consist of nodes that are connected by branches. Decision nodes represent points where data are divided according to some criteria. Leaf nodes are nodes that terminate a branch. Each decision and leaf node has only one incoming branch. Decision tree starts with a root node, which does not have any incoming branches.

The advantage of decision trees is their simplicity and interpretability of results, the possibility to handle both nominal and numeric input attributes, as well as relatively low requirements in terms of computing resources. On the other hand, most of the algorithms require that the values of the target variable are discrete. One of the drawbacks of decision trees is their instability, since small variations in the training set can significantly affect the model. Furthermore, decision trees generate a large number of rules that can become excessively large unless pruning techniques are used to make them more comprehensible. [19, 20, 21]

There are many decision tree algorithms. The chi-square automatic interaction detector (CHAID) was applied in present study. CHAID relies on the chi-square test to determine the most significant variable of each node. This algorithm was primarily designed for categorical target variables. However, it can also deal

with continuous target variables by discretizing them. [22, 23]

4. RESULTS

Table 1 shows the distribution of respondents according to their attitude toward online learning.

Table 1 Students by attitude toward online learning

Attitude	Frequency	Percentage
Negative	131	14,5
Neutral	196	21,7
Positive	575	63,7

Almost two thirds of respondents positively perceive online learning, while a little more than a fifth of the surveyed students have a neutral attitude toward this form of education. The least of respondents evaluated online learning negatively. On the basis of these results, it can be concluded that students from the Josip Juraj Strossmayer University of Osijek generally support online learning.

The survey also examined how students evaluate their equipment, i.e. how satisfied they are with the available technology, since it is required for participation in online learning. The obtained results are given in Table 2.

Table 2 Students by satisfaction with their equipment

Satisfaction level	Frequency	Percentage
Completely dissatisfied	28	3,1
Somewhat dissatisfied	19	2,1
Neither satisfied or dissatisfied	38	4,2
Somewhat satisfied	173	19,2
Completely satisfied	644	71,4

The vast majority of students believe that they have adequate equipment. Only 5,2% of the respondents were dissatisfied with their equipment.

Table 3 Students by the level of ICT knowledge and skills

Level of ICT knowledge and skills	Frequency	Percentage
Insufficient	13	1,4
Sufficient	24	2,7
Good	111	12,3
Very good	295	32,7
Excellent	459	50,9

The results in Table 3 indicate that most of the students believe that they have the necessary ICT knowledge and skills, which is also one of the preconditions for effective participation in online learning. More than half of the surveyed students rated their ICT knowledge and skills as excellent. In contrast, very few respondents stated that they are insufficiently educated and trained in the use of digital technology. More precisely, only 4,1% of students included in the

sample rated their ICT knowledge and skills as sufficient and insufficient.

The attitude of students toward online learning was defined as the target variable in the CHAID analysis. In order to get a clearer picture, students who expressed neutral attitude toward online learning were excluded from the analysis. Gender, age, enrolment status, year of study, field of study, level of satisfaction with equipment, and level of ICT knowledge and skills were defined as input variables. Data analysis was performed using SPSS statistical software package.

Figure 1 shows a tree diagram of the model. From the tree diagram, it can be seen that the level of ICT knowledge and skills is the best predictor of online learning acceptance.

For students who rated their ICT knowledge and skills as good, sufficient or insufficient, the next best predictor is gender. Among male students in this group, only 27% of them accept online learning, while 47% of female students positively perceive this form of education.

For students who rated their ICT knowledge and skills as very good, the next significant predictor is the enrolment status. About 77% of full-time students with very good ICT knowledge and skills accept online learning. Among part-time students the percentage is considerably higher. Namely, almost 95% of part-time

students with very good ICT knowledge and skills have a positive attitude toward online learning.

For students with excellent ICT competencies, the level of ICT knowledge and skills is the only significant predictor. In this group 92,9% of students accept online learning.

The classification table indicates that 62 students who negatively perceive online learning and 534 students who have a positive attitude toward online learning were correctly classified. On the other hand, 69 students who have a negative attitude toward online learning and 41 students who positively perceive online learning were classified incorrectly. Therefore, the decision tree generated by the CHAID algorithm to a greater extent correctly classified the students who accept online learning. Overall, 84,4% of the students were correctly classified.

Table 4 Classification table

Observed	Predicted		
	Negative attitude	Positive attitude	Percent correct
Negative attitude	62	69	47,3
Positive attitude	41	534	92,9
Overall percentage	14,6	85,4	84,4

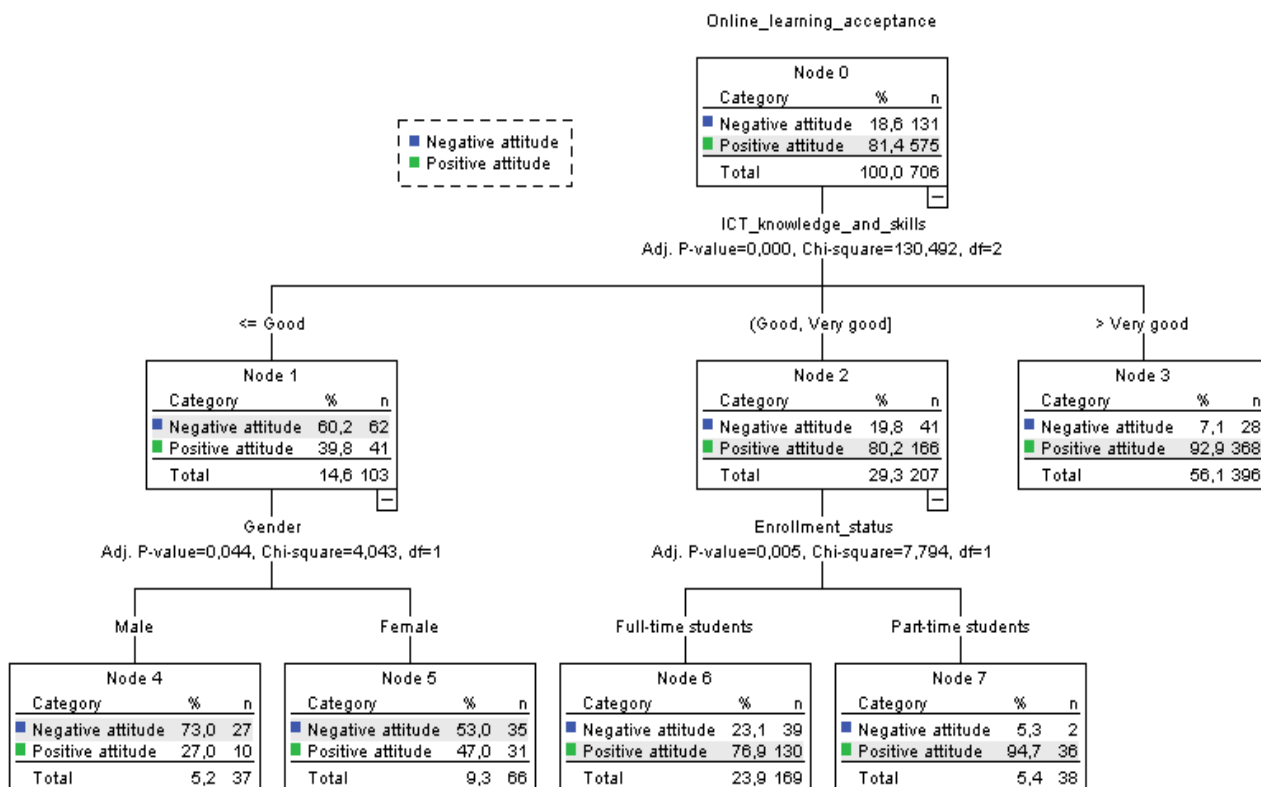


Figure 1 Tree diagram of the model

In accordance with the previous results, the risk estimate for the two-level CHAID tree is 0,156. This indicates that the risk of misclassifying is 15,6%, which can be considered satisfactory.

5. CONCLUSION

Online learning is increasingly emerging as an alternative to traditional education. Especially young people, who grow up with digital technologies, tend to accept online learning. It is difficult to predict with certainty how education will change in the next years and decades, but there is no doubt that online learning will play a very important role.

The primary intention of this study was to determine the perception of Croatian university students toward online learning and to identify which variables are most important in predicting acceptance of online learning. Based on the responses of students from the Josip Juraj Strossmayer University in Osijek, it can be concluded that online learning is mostly positively perceived. The CHAID algorithm was applied to determine the variables that best predict online learning acceptance and most significantly contribute to the classification of students. According to the results, the level of ICT knowledge and skills is the best predictor of online learning acceptance. For students who rated their ICT knowledge and skills as excellent, it is the only significant predictor. The study also revealed that for students who rated their ICT knowledge and skills as very good, the next best predictor is the enrolment status, whereas for those with poorer competencies, it is gender.

Taking into account the trends in the development of higher education, it is necessary to examine various aspects of online learning. Without such information, it is not possible to improve the teaching process and to define an effective strategy of education. In the coming time, scientists and experts who deal with education will be faced with even more dilemmas. Research like this can be of great help to them. Therefore, such studies should be continuously conducted.

6. REFERENCES

- [1] Bakia, M.; Shear, L.; Toyama, Y.; Lasseter, A.: Understanding the Implications of Online Learning for Educational Productivity, U.S. Department of Education, Office of Educational Technology, Washington, D.C., 2012
- [2] Kop, R.; Hill, A.: Connectivism: Learning Theory of the Future or Vestige of the Past?, *International Review of Research in Open and Distance Learning*, Vol. 9, No. 3 (2008) 1-13
- [3] Conrad, R.-M.; Donaldson, J. A.: Transforming the Online Learner, Paper presented at the 28th Annual Conference on Distance Teaching & Learning, Madison, Wisconsin, May 2012
- [4] Allen, I. E.; Seaman, J.: *Class Differences: Online Education in the United States*, Babson Survey Research Group, 2010
- [5] Allen, I. E.; Seaman, J.: *Changing Course: Ten Years of Tracking Online Education in the United States*, Babson Survey Research Group, 2013
- [6] Young, S.: Students Views of Effective Online Teaching in Higher Education, *The American Journal of Distance Education*, Vol. 20, No. 2 (2006) 65-77
- [7] Kim, K.-J.; Liu, S.; Bonk, C. J.: Online MBA Students' Perceptions of Online Learning: Benefits, Challenges, and Suggestions, *Internet and Higher Education*, Vol. 8, No. 4 (2005) 335-344
- [8] Palmer, S. R.; Holt, D. M.: Examining Student Satisfaction with Wholly Online Learning, *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 25, No. 2 (2009) 101-113
- [9] Horzum, M. B.: Interaction, Structure, Social Presence, and Satisfaction in Online Learning, *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* Vol. 11, No. 3 (2014) 505-512
- [10] Sit, J. W. H.; Chung, J. W. Y.; Chow, M. C. M.; Wong, T. K. S.: Experiences of Online Learning: Students' Perspective, *Nurse Education Today*, Vol. 25, No. 2 (2005) 140-147
- [11] Smart, K. L.; Cappel, J. J.: Students' Perceptions of Online Learning: A Comparative Study, *Journal of Information Technology Education*, Vol. 5 (2006) 201-219
- [12] Rodriguez, M. C.; Ooms, A.; Montañez, M.: Students' Perceptions of Online-Learning Quality given Comfort, Motivation, Satisfaction, and Experience, *Journal of Interactive Online Learning*, Vol. 7, No. 2 (2008) 105-125
- [13] Song, L.; Singleton, E. S.; Hill, J. R.; Koh, M. H.: Improving Online Learning: Student Perceptions of Useful and Challenging Characteristics, *Internet and Higher Education*, Vol. 7, No. 1 (2004) 59-70
- [14] Sulaiman, F.: Online Learning Conveniences from Students' Perception: A Case Study in Universiti Malaysia Sabah, *Global Journal of Human-Social Science*, Vol. 14, No. 1 (2014) 39-43
- [15] Artino, A. R. Jr.: Online or Face-to-Face Learning? Exploring the Personal Factors that Predict Students' Choice of Instructional Format, *Internet and Higher Education*, Vol. 13, No. 4 (2010) 272-276
- [16] Paechter, M.; Maier, B.: Online or Face-to-Face? Students' Experiences and Preferences in e-Learning, *Internet and Higher Education*, Vol. 13, No. 4 (2010) 292-297
- [17] Young, A.; Norgard, C.: Assessing the Quality of Online Courses from the Students' Perspective, *Internet and Higher Education*, Vol. 9, No. 2 (2006) 107-115
- [18] Zhan, Z.; Mei, H.: Academic Self-Concept and Social Presence in Face-to-Face and Online Learning: Perceptions and Effects on Students' Learning Achievement and Satisfaction Across Environments, *Computers & Education*, Vol. 69 (2013) 131-138

- [19] Maimon, O.; Rokach, L. (Eds.): Data Mining and Knowledge Discovery Handbook, Second Edition, Springer, New York, 2010
- [20] Rokach, L.; Maimon, O.: Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications, World Scientific, New Jersey, 2008
- [21] Cios, K. J.; Pedrycz, W.; Swiniarski, R. W.; Kurgan, L. A.: Data Mining: A Knowledge Discovery Approach, Springer, New York, 2007
- [22] Nisbet, R.; Elder, J.; Miner, G.: Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications, Academic Press, Amsterdam, 2009
- [23] Tufféry, S.: Data Mining and Statistics for Decision Making, John Wiley & Sons, Chichester, 2011

Authors contact:**Darko Dukić, PhD, Associate Professor**

Josip Jurja Strossmayer University of Osijek
Department of Physics
Trg Ljudevita Gaja 6, 31000 Osijek, Croatia
E-mail: darko.dukic@fizika.unios.hr

Dina Jukić, Master's Student

Josip Jurja Strossmayer University of Osijek
Department of Physics
Trg Ljudevita Gaja 6, 31000 Osijek, Croatia
E-mail: djukic@fizika.unios.hr

KARAKTERIZACIJA MORFOLOGIJE METALNIH PJENA

MORPHOLOGY CHARACTERIZATION OF METAL FOAMS

Danko Ćorić, Toni Begović, Tamara Aleksandrov-Fabijanić

Izvorni znanstveni članak

Sažetak: Metalne pjene predstavljaju novu vrstu i oblik materijala visoke poroznosti. Njihova građa i struktura jedan su od najvažnijih preduvjeta koji određuju svojstva i mogućnosti primjene. Oblik građe i njezin utjecaj na svojstva još nisu u potpunosti proučeni posebice kada se radi o novim proizvodnim tehnikama koje nisu u potpunosti razrađene i kvantitativno opisane te nije ovladano upravljanje procesima izrade. Budući da se na svojstva primarno utječe promjenom parametara procesa proizvodnje ovaj rad predstavlja doprinos razumijevanju utjecaja temperature upjenjavanja na morfologiju metalnih pjena kroz kvantificiranje strukturnih veličina kao što su volumni udio ćelija, njihova veličina, oblik i raspodjela te debljina i tvrdoća stijenki ćelija. Kvantifikacija strukturnih parametara provedena je pomoću nekoliko stereoloških metoda koje su dale slične rezultate. Razumijevanjem utjecaja temperature upjenjavanja na građu metalne pjene otvaraju se mogućnosti za postizanje boljih svojstava, a time i veću komercijalnu zastupljenost.

Ključne riječi: Metalna pjena, morfologija, ćelijasta struktura, upjenjavanje

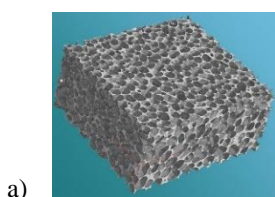
Original scientific paper

Abstract: Metal foams are a new type and form of material which possess a high porosity. Their structure is one of the most important prerequisites which determine the properties and application possibilities. The shape of the structure and its influence on the properties have not been fully studied especially when it comes to new production techniques that are still not fully developed and quantitatively described. Therefore, the management of processes is not fully mastered. This paper is a contribution to the understanding of the influence of the foaming temperature on the morphology of metal foams since the properties are primarily affected by changing the parameters of the production process. Structural parameters, such as the volume fraction of cells, size, shape and distribution of cells and thickness and hardness of cell walls were quantified. The quantification of structural parameters was performed using several stereological methods which showed similar results. Understanding the influence of the foaming temperature on the structure of metal foam creates opportunities for the achievement of better properties and consequently greater commercial use.

Keywords: Metal foam, morphology, cell structure, foaming

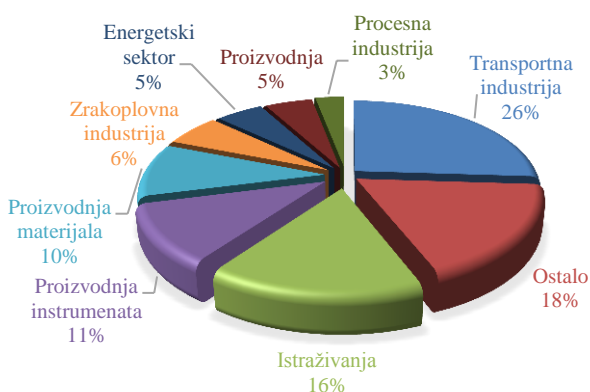
1. UVOD

Metalne pjene predstavljaju relativno novu vrstu materijala koji se razvija na osnovi oponašanja strukture i svojstava prirodnih ćelijastih materijala kao što su drvo, kosti, koralji itd. Radi se o posebnom obliku ćelijastih metala koji uglavnom nastaju od tekućih metalnih pjena i imaju specifičnu morfologiju. Ćelije mogu biti okruglog ili poliedarskog oblika, otvorene ili zatvorene ovisno o procesu proizvodnje, slika 1.



Slika 1. Građa metalnih pjena: zatvorene ćelije (a), otvorene ćelije (b)

Primjena metalnih pjena prvenstveno proizlazi iz njihovih svojstava. Iako uporaba u industrijskoj praksi nije previše raširena, one pokazuju veliki potencijal, slika 2. Glavne prednosti metalnih pjena su: iznimno mala masa, velika specifična krutost, prilagodljiva toplinska svojstva – ovisno o strukturi (otvorene ili zatvorene ćelije), vrlo dobra mogućnost apsorpcije energije udara, vibracija i zvuka, vatrootpornost, recikličnost itd.



Slika 2. Potencijal metalnih pjena u pojedinim industrijskim granama

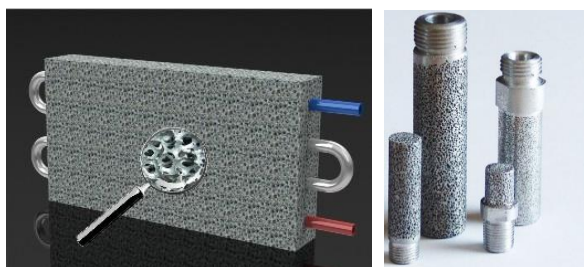
Zahvaljujući specifičnim svojstvima ove pjene nalaze primjenu na mnogim konstrukcijskim područjima (dijelovi cestovnih i tračnih vozila, letjelica, brodova, graditeljstvo i sl.), ali i kao funkcionalni materijali koji uključuje apsorbere udara, izmjenjivače topline, prigušivače zvuka i vibracija, protubalističku zaštitu, različite filtere itd, slika 3.



a)



b)



c)

d)

Slika 3. Primjeri primjene metalnih pjena: apsorber udara (a), protubalistički oklop (b), izmjenjivač topline (c), filteri (d)

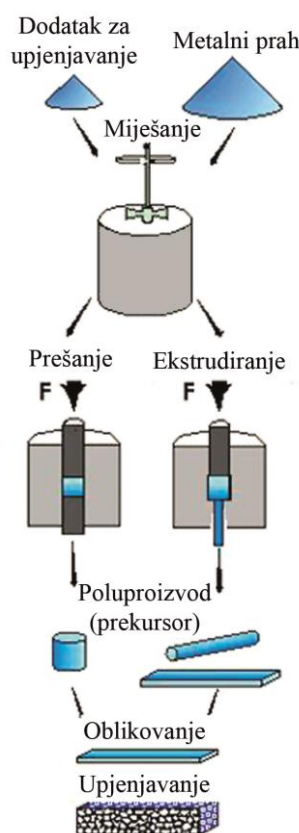
Glavni problem za industrijsku primjenu predstavlja nedovoljno poznavanje proizvodnih postupaka (neujednačena kvaliteta materijala) i neistražene

možnosti primjene. Neke od proizvodnih tehnika nisu još u potpunosti razrađene i nije usavršeno upravljanje parametrima tehnološkog postupka što može rezultirati neželjenim varijacijama građe i svojstava metalnih pjena, što se svakako želi izbjeći. Tako su najčešći nedostaci poznatih proizvodnih postupaka sljedeći:

- nedostatak razumijevanja osnovne mehanike metalnih pjena;
- nemogućnost proizvodnje pjena konstantne kvalitete pomoću prethodno definiranih parametara. To je posljedica činjenice da su sva dosadašnja istraživanja bila empirijskog karaktera bez detaljnog poznavanja osnova procesa upjenjavanja metala. Upravo mogućnost postizanja točno određenih svojstava metalnih pjena na temelju prethodno postavljenih parametara bitna je za njihovu masovnu primjenu.

2. MATERIJAL I EKSPERIMENTALNI POSTUPAK

Uzorci pjenastog metala izrađeni su od metalnog praha. Na samom početku procesa miješaju se prah čistog metala ili legure i dodatak koji pospješuje upjenjavanje, slika 4. Kao raspršujući agens najčešće se koristi titanov hidrid (TiH_2). Nastala mješavina zatim se sabija u poluproizvod (prekursor) oblika šipke ili pločice. Tehnike sabijanja u metalnu matricu mogu biti različite: prešanje, ekstrudiranje, valjanje praha itd.



Slika 4. Proces proizvodnje FOAMINAL-ALULIGHT metalne pjene

Takav poluproizvod mora biti pažljivo napravljen jer poroznost i druge nepravilnosti uzrokuju loše rezultate u

kasnijim fazama procesa. U radu je korišten aluminijski prekursor AlMgSi0,6 s udjelom 0,4 % TiH₂. Ovaj prekursor, poznat pod komercijalnim nazivom ALULIGHT, reže se u manje komade i stavlja u kalup. Masa prekursora (m_p) koja osigurava određeni stupanj poroznosti određuje se iz jednadžbe:

$$m_p = \rho_r \cdot \rho_{Al} \cdot V_k, \quad (1)$$

gdje su:

ρ_r - relativna gustoća pjene;

ρ_{Al} - gustoća aluminija ($\rho_{Al}=2700 \text{ kg/m}^3$);

V_k - volumen kalupa ($V_k=0,0000431 \text{ m}^3$).

Za zahtijevanu poroznost od 65 % i relativnu gustoću pjene $\rho_r=0,35$ masa prekursora iznosi 40,73 g. Kalup se potom čvrsto zatvara i stavlja u peć te zagrijava na temperaturu iznad likvidusa. Dodatak (raspršujući agens) se raspada na Ti i plinoviti H₂ koji uzrokuje širenje i stvarnje visoko poroznog materijala. Proizvod zadržava oblik kalupa (slika 5) i ima zatvorne ćelije promjera 1 do 5 mm.



Slika 5. Uzorak metalne pjene

Ovaj postupak nije ograničen samo na aluminij, već se njime mogu proizvoditi pjene na osnovi cinka, mjedi, olova, zlata i drugih metala ovisno o parametrima procesa. Upjenjavanje se događa u polučvrstom stanju jer se TiH₂ raspada na temperaturi 465 °C što je niže od tališta aluminija. Sve to pospješuje upjenjavanje aluminija koji se zatim zagrijava do taljenja. Nakon hlađenja ispod temperature tališta tekuća se pjena pretvara u čvrstu pjenu i stvara visoko porozni materijal. Komercijalni naziv za ovako proizvedene pjene je „FOAMINAL-ALULIGHT“.

Vrijeme potrebno za potpunu ekspanziju pjene i ispunjavanje kalupa ovisi o temperaturi i veličini poluproizvoda i iznosi oko nekoliko minuta. Stupanj maksimalne ekspanzije, a time i gustoća pjene može se kontrolirati udjelom raspršujućeg agensa, ali i podešavanjem parametara kao što su temperatura i vrijeme. S ciljem određivanja utjecaja režima toplinske obrade na morfologiju metalnih pjena provedeno je upjenjavanje na tri različite temperature: 700, 750 i 800 °C. Kod svake temperature mjereno je vrijeme do maksimalne ekspanzije tj. kada prva kap rastaljenog aluminija počinje istjecati kroz otvor na gornjoj strani kalupa.

Za potrebe morfološke analize uzorci su moraju metalografski pripremiti kroz postupke rezanja, brušenja

i poliranja. Rezanje je provedeno na automatskoj rezalici s dijamantnom pločom uz mali broj okretaja i obilno vodeno hlađenje. Pri tom je potrebno voditi računa da se stjenke ćelija ne deformiraju kako bi zadržale izvorni oblik. U sljedećoj fazi, brušenju, na brusilici Phoenix Alpha 60-1996-230, proizvođača Buehler, uklonjeni su tragovi rezanja. Tijekom brušenja su korišteni brusni papiri različite granulacije silicij karbidnog abraziva (P320, P600, P1200 i P2500). Između svake promjene brusnog papira uzorci su tretirani u ultrazvučnoj kupki. Nakon brušenja slijedi poliranje pomoću dijamantne paste veličine abrazivnih čestica 1 μm. Slika 6 prikazuje pripremljene uzorke metalnih pjena.



a)



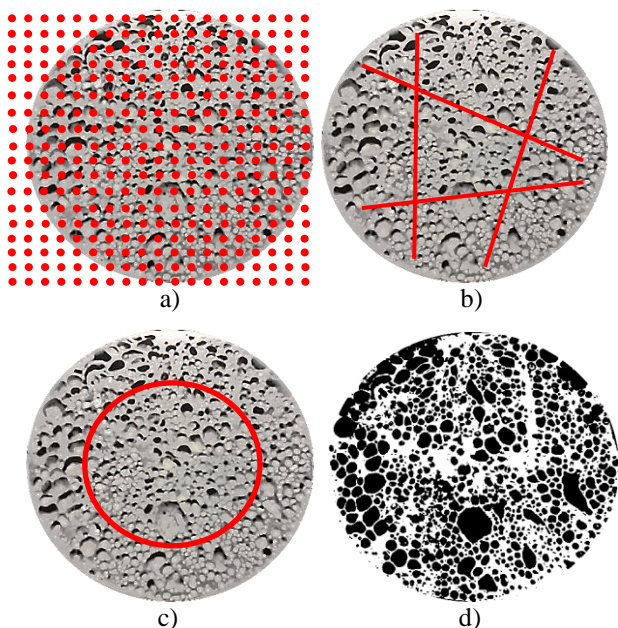
b)



c)

Slika 6. Uzorci Al-pjene upjenjeni na temperaturama: 700 °C (a), 750 °C (b), 800 °C (c)

Na ovim uzorcima je provedena je stereološka analiza građe i strukture koja uključuje određivanje volumnog udjela ćelija, njihove veličine, oblika i raspodjele. Stereologija je disciplina koja kvantitativno procjenjuje trodimenzionalnu unutrašnju građu tijela iz njegovih dvodimenzionalnih presjeka. Analiza morfologije je provedena pomoću nekoliko različitih analitičkih postupaka, te uz pomoć programa za analizu slike, slika 7.



Slika 7. Postupci analize morfologije: metoda s točkama (a); metoda s crtama (b); metoda s krugom (c); metoda pomoću računalnog programa za analizu slike (d)

Kod metode s točkama uzorak ili njegova slika prekriva se referentnom prozirnomo folijom s ucrtanom mrežom točaka s ciljem određivanja poroznosti pjene. Metoda s crtama koja također omogućuje određivanje udjela ćelija, ali i njihove veličine i debljine stijenke temelji se na pretpostavci da zbroj duljina linije preko ćelija (l_c) u odnosu na ukupnu duljinu linije (l_{uk}) dobro aproksimira analizirani parametar. Za valjane rezultate potreban je veći broj linija tako da su u radu korištene četiri linije, svaka duljine $l_{uk}=35$ mm. Analizirane veličine određene su iz izraza:

- volumni udio ćelija (V_c): $V_c = \frac{l_c}{l_{uk}}$, (2)

- srednji promjer ćelija (\bar{d}_c): $\bar{d}_c = \frac{l_c}{n}$, (3)
gdje je n - broj ćelija koje linija sječe,

- srednja debljina stijenke ćelija (\bar{d}_s): $\bar{d}_s = \frac{l_s}{n}$, (4)
gdje je l_s - duljina preko stijenki ($l_s = l_{uk} - l_c$).

Kod metode s krugom gustoća ćelija (N_c) slijedi iz jednadžbe:

$$N_c = M^2 \cdot \frac{n_u + \frac{1}{2}n_k}{A_K}, \quad (5)$$

gdje su: M - povećanje,
 n_u i n_k - broj ćelija unutar kruga odnosno na kružnici,
 A_K - površina kruga.

Srednji promjer ćelija (\bar{d}_c) određuje izraz:

$$\bar{d}_c = \sqrt{\frac{A_c \cdot 4}{\pi}}, \quad (6)$$

gdje je \bar{A}_c - srednja površina ćelija ($\bar{A}_c = 1/N_c$).

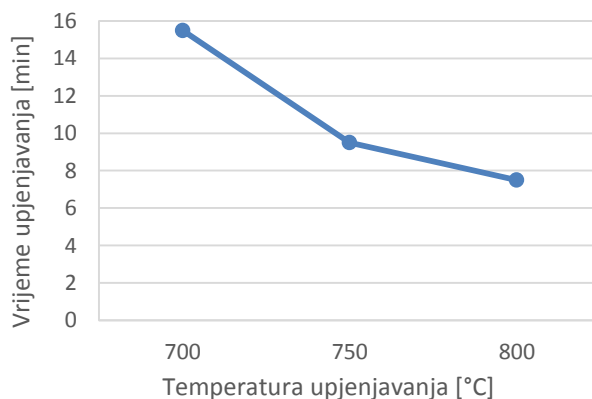
Također je razmatran i faktor oblika ćelija (F_c) koji predstavlja omjer minimalnog (d_{min}) i maksimalnog promjera (d_{max}) ćelije.

Osim navedenih analitičkih postupaka morfološka analiza je načinjena i uz pomoć računalnog programa "ImageJ" (*Image processing and analysis in Java*). Digitalizacijom se slika pretvara u skupinu točaka (piksela) određenog stupnja sivila tako da ćelije postaju crno obojane, a njihove stijenke bijelo.

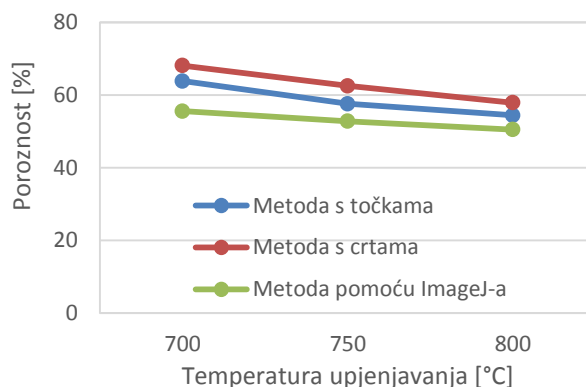
Za potrebe ispitivanja tvrdoće stijenki ćelija korištena je Vickersova metoda koja omogućuje mjerenje mikrotvrdoće primjenom malog opterećenja. Sila utiskivanja dijamante piramide iznosila je 0,098 N što odgovara metodi HV0,01. Mjerenja su obavljena na tvrdomjeru Instron Tukon 2100B proizvođača Wilson-Wolpert. Brzina primicanja indentora ispitnoj površini bila je $\approx 0,2$ mm/s, vrijeme opterećenja 15 s, a ispitna temperatura u granicama 23 ± 5 °C. Tijekom mjerenja osobita pažnja je posvećena vibracijama koje mogu nepovoljno utjecati na točnost mjerenja. Tvrdoća je određena na osnovi 20 mjerenja na svakom uzorku.

3. ANALIZA REZULTATA

Dobiveni rezultati su pokazali da se porastom temperature upnjavanja skraćuje vrijeme ekspanzije pjene kako to prikazuje dijagram na slici 8.



Slika 8. Dijagram upnjavanja metalne pjene



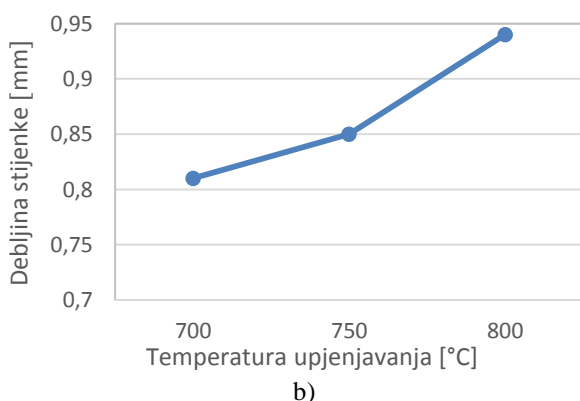
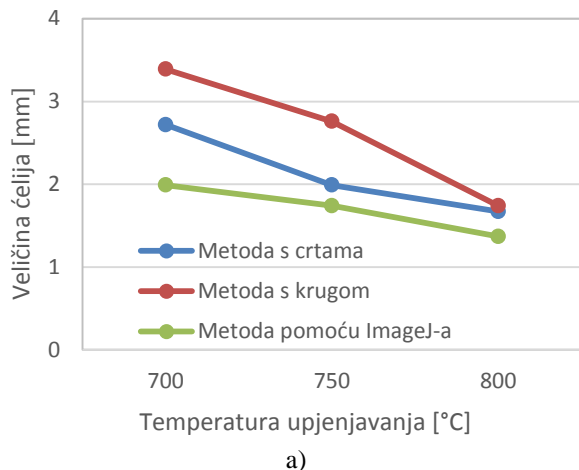
Slika 9. Ovisnost poroznosti o temperaturi upnjavanja

Vrijeme upnjavanja ne smije biti ni prekratko ni predugo jer uz dulje držanje dolazi do prevelikog gubitka materijala pri čemu pjena usahne zbog urušavanja

čelijaste strukture dok u slučaju prekratkog držanja u peći upjenjavanje neće biti potpuno.

Na slici 9 prikazana je ovisnost stupnja poroznosti pjene o režimu upjenjavanja za područje temperatura od 700 do 800 °C. Sve tri metode jasno pokazuju da se porastom temperature upjenjavanja smanjuje volumni udio ćelija, a time i poroznost metalne pjene.

Usporedno sa sniženjem stupnja poroznosti smanjuje se i veličina ćelija pri višim temperaturama upjenjavanja, slika 10a).

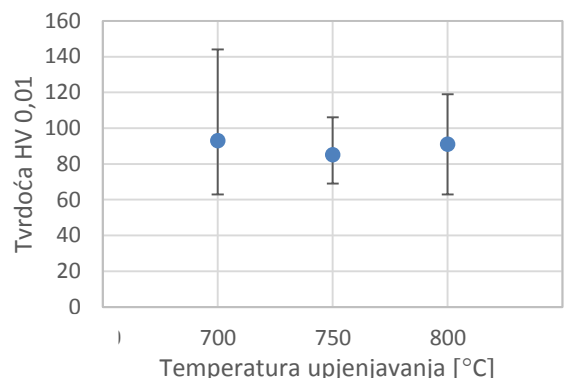


Slika 10. Ovisnost veličine ćelija (a) i debljine stijenki ćelija (b) o temperaturi upjenjavanja

Sve tri metode ukazuju na smanjenje veličine ćelija porastom temperature prema 800 °C. Kod metode s crtama srednji promjer ćelija za temperaturu 700 °C iznosi 2,72 mm dok je za 800 °C samo 1,67 mm. Slična je situacija i kod metode s krugom koja rezultira neznatno većim vrijednostima (3,39 mm za 700 °C odnosno 1,74 mm za 800 °C), dok je najmanja veličina ćelija izmjerena pomoću računalnog programa ImageJ i to u rasponu od 1,99 mm (700 °C) do 1,37 mm (800 °C).

Smanjenje volumnog udjela i veličine ćelija uzrokuje povećanje debljine stijenke tako da je najmanja debljina 0,81 mm zabilježena kod uzorka toplinski obrađenog pri 700 °C, a najveća 0,94 mm za uzorak upjenjen na 800 °C, slika 10b). Slika 11 prikazuje srednje vrijednosti tvrdoća stijenki ćelija za različite temperature upjenjavanja. Očito je da svi uzorci pokazuju približno istu tvrdoću stijenke u rasponu od 85 do 93 HV uz veliko

rasipanje koje se može pripisati mjernoj metodi (HV 0,01) i izrazito maloj debljini stijenke.



Slika 11. Ovisnost tvrdoće stijenki ćelija o temperaturi upjenjavanja

4. ZAKLJUČAK

Problemi u proizvodnji i primjeni metalnih pjena danas još uvijek proizlaze iz nepotpunog ovladavanja parametrima procesa izrade tako da su istraživanja velikom dijelom usmjerena na unaprjeđenje proizvodnog procesa čime bi se dobili što kvalitetniji i ujednačeniji materijali predvidljive strukture i svojstava.

Za većinu tehnoloških procesa trenutno nema primjenjivog teorijskog ili numeričkog modela koji bi omogućio predviđanje ponašanja materijala tijekom upjenjavanja. Poboljšanja se čine metodom pokušaja i pogrešaka čemu u prilog ide i ovaj rad i njegovi rezultati.

Upjenjavanje pri višim temperaturama iziskuje kraće vrijeme, ali i veći utrošak energije. U slučaju prekratkog ili predugog držanja u peći nastaje defektan uzorak koji svojim svojstvima ne može zadovoljiti zahtjeve krajnje primjene jer se radi o djelomično upjenjenom materijalu ili pak materijalu gdje je došlo do urušavanja ćelijaste strukture uslijed prevelike poroznosti.

Porastom temperature upjenjavanja smanjuje se poroznost pjene kao posljedica manjeg volumnog udjela ćelija. To se objašnjava činjenicom da se dio materijala troši na formiranje vanjske stijenke uzorka, a drugi dio tvori relativno velike čvorove oko ćelija koje su uz to i debljih stijenki. Za režime upjenjavanja 700 i 750 °C stereološka metoda kvantitativne analize s crtama daje vjerodostojnije rezultate u pogledu volumnog udjela ćelija nego metoda s točkama ili računalni program ImageJ.

S gledišta morfološke građe radi se o zatvorenim ćelijama pri čemu niže temperature upjenjavanja osiguravaju veće ćelije, nepravilnog i izduženog oblika dok više temperature rezultiraju manjim, pretežno okruglim ćelijama. Faktor oblika ćelija varira u rasponu od 0,778 (700 °C) do 0,814 (800 °C). Kod određivanja dimenzija ćelija treba biti oprezan jer se njihova veličina najčešće kvantificira kao promjer kruga koji ima istu površinu kao i ćelija na metalografskom presjeku. U idealnom slučaju promjer kruga trebao bi biti jednak promjeru kugle istog volumena kao što je i volumen ćelije. Budući da kod rezanja ravnina presjeka prolazi

posve slučajno kroz ćelije može se desiti da mala površina na metalografskom presjeku zapravo predstavlja dio (vrh) znatno veće ćelije. Samo mali broj ćelija od njih stotinu presijeca se upravo po najvećem presjeku. To je razlog što je stvarna veličina ćelija uvijek nešto veća od one izmjerene.

Što se tiče tvrdoće stijenki ćelija svi uzorci pokazuju podjednaku tvrdoću oko 90 HV_{0,01} neovisno o temperaturi upjenjavanja. Budući da je tvrdoća mjerena s malim opterećenjem izmjerene mikrotvrdoće znatno su više od makrotvrdoća koje se dobivaju primjenom većih sila utiskivanja. Kod mjerenja tvrdoće stijenki ćelija javlja se čitav niz problema počevši od male debljine stijenke koja potiče pojačano plastično tečenje materijala pri utiskivanju Vickersove piramide i iziskuje male sile utiskivanja te odsutnost vibracija do odabira mjernog mjesta koje može biti na čvoru ispod kojeg se nalazi nova ćelija što uzrokuje preveliku indentaciju tijekom utiskivanja.

S gledišta inženjerske primjene metalnih pjena odabir parametara upjenjavanja u velikoj mjeri ovisi i o zahtjevima krajnje primjene. Ukoliko se radi o mehanički opterećenim dijelovima povoljnije će biti više temperature upjenjavanja koje osiguravaju nižu poroznost i ćelije manjih dimenzija te veće debljine stijenke, dok će za neke funkcionalne primjene primjerenije biti pjene građe i strukture koja se postiže pri nižim temperaturama obrade.

5. LITERATURA

- [1] Filetin, T.; Kramer, I.; Marić, G.: Metalne pjene, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2003.
- [2] Banhart, J.: Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams, Progress in Materials Science, 2001., br. 46, str. 559-632
- [3] Janus – Michalska, M.; Pecherski, R.B.: Macroscopic Properties of Open – Cell Foams Based on Micromechanical Modelling, Technische Mechanik, 2003., br. 23, str. 234-234
- [4] Bhattacharya, A.; Calmidi, V.V.; Mahajan, R.L.: Thermophysical properties of high porosity metal foams, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2002., br. 45, str. 1017-1031
- [5] Weaire, D.; Cox, S.J.; Banhart, J.: Methods and Models of Metallic Foam Fabrication, Annual Conference in Composites Engineering, 2001., br. 8, str. 977-978
- [6] Gibson, L.J.: Mechanical Behavior of Metallic Foams, Annual Revue of Materials Science, 2000., br. 30, str. 191-227
- [7] Ashby, M.F.; Evans, A.G.; Fleck, N.A.; Gibson, L.J.; Hutchinson J.W.; Wadley, H.N.G.: Metal Foams: A Design Guide, Butterworth – Heinemann, United States of America, 2000.
- [8] Banhart, J.; Fleck, N.; Mortensen, A.: Cellular Metals: Manufacture, Properties, Applications, Verlag MIT Publishing, Berlin, 2003.
- [9] <http://www.metalfoam.net> (dostupno 11.05.2015.)

[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Metal_foam (dostupno 12.05.2015.)

[11] <http://www.ergaerospace.com/Material-Applications-guide.html> (dostupno 29.04.2015.)

Kontakt autora:

Danko Ćorić, prof.dr.sc.

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje

Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb

Tel. 01 6168 312

Fax. 01 6157 106

e-mail: danko.coric@fsb.hr.

PRISTUP ODREĐIVANJU ZAVARLJIVOSTI ČELIKA

APPROACH TO DETERMINING WELDABILITY OF STEEL

Marko Dunder, Goran Salopek, Marko Horvat, Veljko Kondić, Matija Marković

Stručni članak

Sažetak: U radu su prikazani čimbenici koji utječu na zavarljivost, s posebnim osvrtom na zavarljivost mikrolegiranih čelika i čelika za poboljšavanje. Provedena su ispitivanja simulacijom toplinskog zavarivačkog ciklusa na simulatoru tipa Smitweld TCS 1405, te metodama Implant i Tekken u svrhu utvrđivanja sklonosti mikrolegiranih i poboljšanih čelika hladnim pukotinama. Na koncu su predloženi parametri zavarivanja koji pretpostavljaju zavareni spoj bez hladnih pukotina.

Ključne riječi: zavarljivost, hladne pukotine, Implant metoda, Tekken metoda, mikrolegirani čelici, čelici za poboljšavanje

Professional paper

Abstract: The paper presents the factors that affect weldability, with special reference to the weldability of micro-alloyed and quenched and tempered steel. Tests were carried out by simulating the weld thermal cycle simulator type Smitweld TCS 1405, and methods of Implant and Tekken for the purpose of determining the propensity of micro-alloyed and quenched and tempered steel cold cracking. At the end of the proposed welding parameters which assume welding connection without cold cracks.

Key words: weldability, cold cracks, implant method, Tekken method, fine grain structural steel, steels for structural improvement quenching

1. UVOD

Zavarljivost je sposobnost zavarivanja materijala. Metal smatramo zavarljivim onda kada primjenjujući određeni postupak zavarivanja, dobivamo kontinuirani, homogeni zavareni spoj koji zadovoljava predviđene zahtjeve i koji ima zahtijevana mehanička i druga potrebna svojstva. Zavarljivost je komparativno svojstvo (uspoređuje se zavarljivost dva ili više materijala uz primjenu iste ili različitih tehnologija zavarivanja). Ocjena zavarljivosti najčešće je kvalitativna (zadovoljavajuća / ne zadovoljavajuća), ali može biti i kvantitativna.

To je kompleksan pojam pod kojim se podrazumijeva međuzavisnost materijala, konstrukcije i tehnologije. Tako DIN 8528 [1] prikazuje zavarljivost nekog konstrukcijskog elementa kroz utjecaj materijala, preko sposobnosti zavarivanja konstrukcije, do sigurnosti zavarene konstrukcije i mogućnosti zavarivanja. Prema standardu ISO 581, metale se smatra zavarljive u određenom stupnju, određenim načinom zavarivanja i za zadanu svrhu ako se može postići homogenost zavarenog spoja pri uporabi pogodnog postupka zavarivanja, tako da spoj odgovara zahtjevima njihovih lokalnih svojstava i njihova utjecaja na konstrukciju.

Kvaliteta zavarenog spoja može se izraziti usporedbom svojstava osnovnog materijala i zavarenog spoja. Redovito dolazi do razlike u svojstvima osnovnog

materijala i zavarenog spoja, i ona je to veća što je zavarljivost, kao kompleksna veličina, manja. Stoga je jedan od mogućih kriterija za definiranje zavarljivosti veličina navedene razlike svojstava [2].

2. UTJECAJNE VELIČINE NA ZAVARLJIVOST

Elementi zavarljivosti relevantne su pojave u zavarenom spoju koje najčešće nastaju u trenu njegova formiranja ili tijekom eksploatiranja i predstavljaju čimbenike kojima se može definirati zavarljivost kao kompleksna veličina.

Najznačajniji utjecaj na zavarljivost ima materijal, kako njegov nominalni kemijski sastav, također, ali u manjoj mjeri, primjese, veličina zrna, vrsta primijenjene prethodne toplinske obrade, stanje izrade, veličina i oblik komada i konstrukcije. Korelaciju kemijskog sastava, prvenstveno sadržaja ugljika, i zavarljivosti, može se izraziti jednadžbama za ekvivalentni ugljik kao i parametarskim jednadžbama.

Uobičajeno je da je čelik s oko 0,25% C na granici dobre zavarljivosti i što je sadržaj ugljika u čeliku veći, zavarljivost se smanjuje, ali pri tom se ne može govoriti o linearnoj zavisnosti.

Ugljik je svakako element s kojim se mora računati, za razliku od fosfora, sumpora i dr. kojih se razina nastoji smanjiti tehnološkim postupkom prerade čelika. U istom

smislu je i utjecaj plinova, posebice vodika, koji je direktni uzročnik nastanka hladnih pukotina.

Utjecaj vodika značajan je te u okviru određenih metoda ispitivanja zavarljivosti treba odrediti njegov sadržaj u uzorcima.

Izrada i konstrukcija, kao utjecajne veličine na zavarljivost, dolaze do izražaja pri formiranju konkretne zavarene konstrukcije [3].

Zavarljivost se nedvojbeno smanjuje povećanjem debljine osnovnog materijala i složenosti konstrukcije. Zaključujući o utjecajnim veličinama na zavarljivost, može se konstatirati da ih ima mnogo, što i jest razlog nepostojanja jedinstvena pristupa problemu definiranja zavarljivosti.

Istraživanja zavarljivosti obuhvaćaju čitav niz aktivnosti nužnih za dobivanje kvalitetne tehnologije zavarivanja koja je osnova za dobivanje kvalitetnog zavarenog spoja u proizvodnji, koji će biti pouzdan u predviđenim uvjetima i vijeku eksploataciji. Osnovne aktivnosti ispitivanja zavarljivosti odnose se na ispitivanja sklonosti različitim vrstama pukotina (hladne, tople, lamelarno odvajanje / cijepanje, pukotine uslijed naknadnog/ponovnog zagrijavanja), transformacijskom otvrdnjavanju, smanjenju žilavosti (sniženje prijelazne temperature iz žilavog u krhko stanje) i dr.

3. ISPITIVANJE ZAVARLJIVOSTI PROVEDENO ISPITIVANJEM SKLONOSTI HLADNIM PUKOTINAMA

Metode ispitivanja sklonosti hladnim pukotinama mogu se podijeliti na direktne i indirektno. Direktne su metode one koje se provode na uzorcima zavarenih spojeva i/ili zavarenim spojevima na zavarenoj konstrukciji, dok se indirektno metode temelje na različitim eksperimentalno dobivenim jednadžbama za procjenu utjecaja raznih čimbenika na pojavu pukotine.

Direktna ispitivanja mogu se podijeliti u tri skupine [4]:

1. Ispitivanje simuliranjem ciklusa zavarivanja (npr. ispitivanje na Smitweld, Gleeble i Thermorestor uređaju).
2. Ispitivanje sa stvarnim zavarivanjem uz vlastitu krutost (Tekken, Lehigh, CTS, probe s kružnim zarezom RD) i probe s prisilnom krutošću (s vanjskim dodatnim opterećenjem, npr. TRC, RRC i dr.) i
3. Ispitivanje s realnim ciklusom ili uloženim uzorkom (umetkom ili implantom).

Kriterij ocjene sklonosti hladnim pukotinama može biti:

- kvalitativan, odnosno nakon istraživanja zavarljivosti donosi se zaključak da je materijal "sklon" ili "nije sklon" prema hladnim pukotinama,
- kvantitativan, ako se može numerički iskazati neka od relevantnih veličina (npr. maksimalna napreznja pri kojima ne dolazi do nastajanja hladnih pukotina kod Implant metode).

3.1. Simuliranje toplinskog zavarivačkog ciklusa

Ispitivanja na simulatoru toplinskog ciklusa omogućavaju kompleksno utvrđivanje sklonosti

materijala nastanku pukotina. Kod pojedinih laboratorijskih metoda koje zahtijevaju zavarivanje realnih uzoraka, različitih oblika i dimenzija, jasno se utvrđuje djelovanje pojedinačnog utjecajnog faktora na zavarljivost. Ovakve metode daju informaciju o određenoj vrsti pukotine i za ispitivanje zavarljivosti mora se primijeniti više metoda.

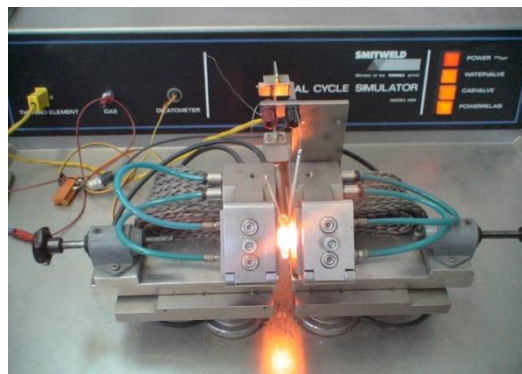
Simulacija toplinskog ciklusa zavarivanja omogućava dobivanje diferencirane ocjene utjecaja pojedinih faktora na nastanak pukotine. Simulacija zavarivačkih ciklusa se posljednjih godina upotrebljava pri istraživanju zavarljivosti, što uključuje ispitivanje prisutnosti različitih vrsta mikrostruktura i detaljno istraživanje zone utjecaja topline (ZUT-a), koja je sa stajališta mikrostrukture izrazito heterogeni dio zavarenog spoja.

Pri istraživanju ZUT-a realnih zavarenih spojeva, često nije moguće pripremiti odgovarajuće epruvete radi veoma uskog ZUT-a, a samim tim i pojedinih uskih područja unutar ZUT-a. Za ispitivanje zavarljivosti mikrolegiranog čelika povišene čvrstoće TStE 420 i poboljšanog visokočvrstog čelika S960QL izabrana je navedena metoda.

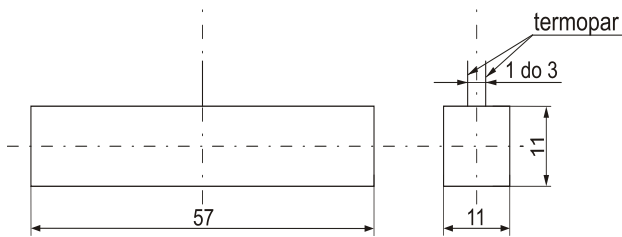
Pri simuliranju toplinskih zavarivačkih ciklusa pojedine mikrostrukture se "sintetički" stvaraju. Tako se ostvaruju povoljni uvjeti za razjašnjenje znatnog broja pitanja koja su u svezi s ponašanjem osnovnog materijala u uvjetima toplinskih zavarivačkih ciklusa. Simulacijom toplinskog ciklusa zavarivanja mogu se ostvariti dovoljno široka područja homogenih i ponovljivih mikrostruktura, tako da se za ispitivanje mehaničkih svojstava mogu upotrebljavati klasični postupci ispitivanja [5].

Podobnost za zavarivanje obuhvaća više odvojenih, neovisnih svojstava i ponašanja materijala prilikom zavarivanja. Najznačajnija svojstva su čvrstoća i žilavost kao ponašanje s obzirom na stvaranje pukotina u spoju. Budući da ovi zahtjevi ovise od konstruktivnog oblikovanja i planiranih uvjeta eksploatacije objekta, i zahtjevi se mijenjaju kod svake nove konstrukcije. Zbog toga nije moguće označiti podobnost za zavarivanje jednim brojem, već se svako područje svojstava kojima se teži mora uzeti posebno u obzir, kod ocjenjivanja i prosuđivanja podobnosti za zavarivanje pojedinog materijala.

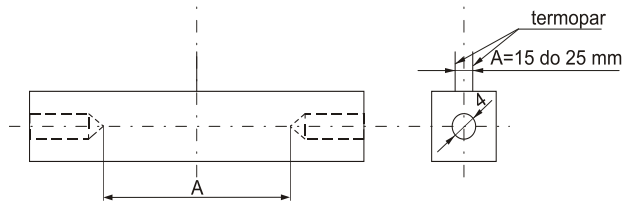
Uređaj za ispitivanje zavarljivosti simulacijom toplinskog zavarivačkog ciklusa prikazan je na slici 1, a uzorci za simulaciju na slici 2 i 3 [5].



Slika 1. Simulator toplinskog ciklusa Smitweld TCS 1405 tijekom simulacije toplinskog ciklusa zavarivanja



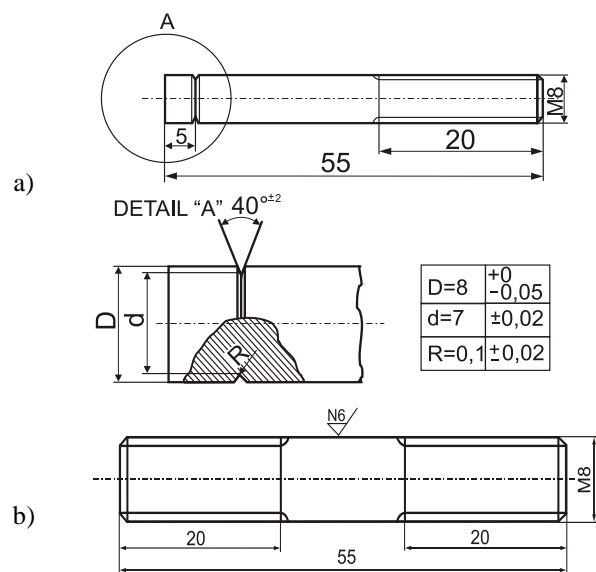
Slika 2. Uzorak za simuliranje toplinskog ciklusa s termo parom (indirektno hlađenje)



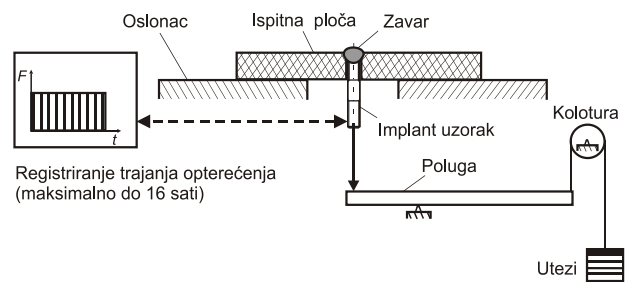
Slika 3. Uzorak za simuliranje toplinskog ciklusa s termo parom (indirektno i direktno hlađenje)

3.2. Ispitivanja zavarljivosti (sklonosti hladnim pukotinama) Implant metodom

Ispitivanje zavarljivosti ovom metodom zasniva se na promjeni utjecajnih čimbenika, kao što su: dodatni materijal, zarivački toplinski ciklus, temperatura predgrijavanja, udjel difundiranog vodika, naprezanje i dr., kao i sagledavanje njihova utjecaja na nastanak hladnih pukotina. Primjenjujući ovu metodu možemo dobiti kvantitativne podatke o kritičnom naprezanju loma (Rkr.)Imp.. To je najviše naprezanje kod kojeg u zavarenom spoju još ne nastaju hladne pukotine, a uspoređujemo ga s granicom plastičnosti osnovnog materijala. Pri ovom ispitivanju upotrebljava se strojno obrađeni cilindrični umetak iz čelika koji treba ispitivati, prikazan na slici 4. Takav umetak se umetne u kalibriranu rupu izbušenu u potpornoj ploči, tako da je zarezani kraj u ravnini s površinom ploče. Na slici 5. prikazana je skica implant uzorka i potporne ploče [6].



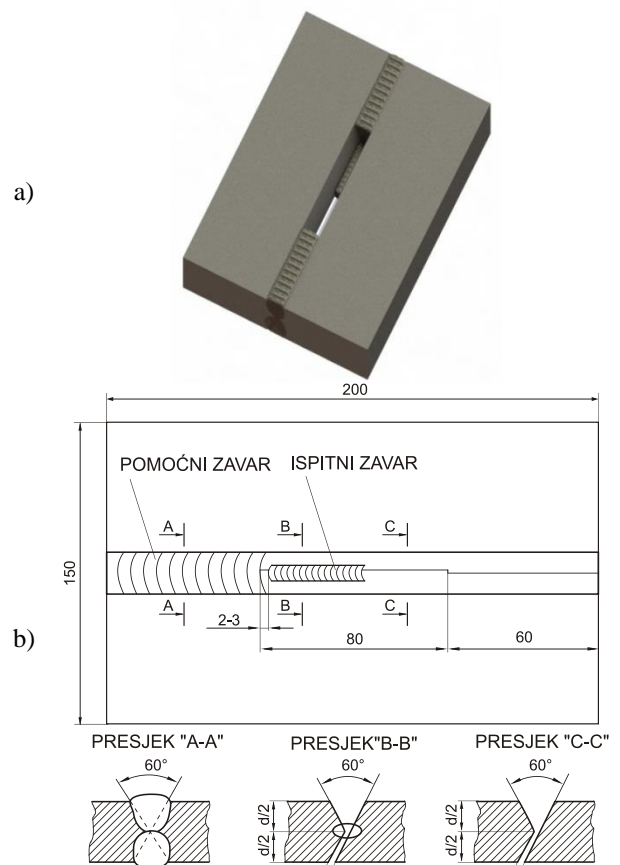
Slika 4. Dimenzije i oblik ispitne epruvete (implanta) za ispitivanje Implant probom
a) izgled zarez a) b) stvarni izgled uzorka



Slika 5. Shematski prikaz Implant uzorka i potporne ploče

3.3. Ispitivanje zavarljivosti (sklonosti hladnim pukotinama) Tekken metodom

Tekken metoda primjenjuje se za ispitivanje sklonosti čelika nastanku hladnih pukotina uzimajući u obzir utjecaj osnovnog i dodatnog materijala, zavarivačkog toplinskog ciklusa, temperature predgrijavanja i sadržaja difundiranog vodika u zavarenom spoju. Oblik, priprema i dimenzije uzorka prikazani su na slici 6. Pri izvođenju zavarivanja na Tekken probi prvo se zavaruje pomoćni zavar s "X"- pripremom. Pri tome se mora paziti da kod "Y"- pripreme koja je u korijenu, ostane razmak 2 do 3 mm. Nakon zavarivanja pomoćnih zavara pristupa se izvođenju ispitnog zavara. Tijekom izvođenja zavarivanja registriraju se parametri zavarivanja. Ispitivanje Tekken - probe obavlja se 48 sati nakon zavarivanja. Nakon pregleda ispitnog zavara i registriranja eventualnih pukotina, iz ispitnog se zavara isijecaju uzorci za ispitivanje.



Slika 6. Epruveta za Tekken probu a) izgled zavarenog uzorka, b) priprema i dimenzije uzorka [6]

4. PLAN POKUSA

Za eksperimentalna istraživanja koja se obrazlažu odabrani su:

- mikrolegirani čelik povišene čvrstoće TStE 420,
- poboljšani visokočvrsti čelik S960QL
- poboljšani nelegirani ugljični čelik Ck 45
- poboljšani nisko legirani krom-molibdenski čelik 25 CrMo 4 i

Kemijski sastav i mehanička svojstva čelika TStE 420 prikazan je u tablicama 1 i 2., a čelika S960 QL u tablicama 3. i 4.

Tabela 1. Kemijski sastav materijala TStE 420

C	0,18
Si	0,3
Mn	1,47
P	0,017
S	0,005
Ni	0,22
N	0,016
Al	0,023
V	0,13
Cu	0,02

Tabela 2. Mehanička svojstva materijala TStE 420

Granica razvlačenja $R_{p0,2}$ / MPa	422	
Vlačna čvrstoća R_m / MPa	577	
Istezljivost A_5 / %	30	
Kontrakcija Z / %	61,9	
Savijanje α =180 °	longitudinalno	+
	transferzalno	+
Žilavost, K_V / J longitudinalno	na 20 °C	261
	na -20 °C	245
	na -40 °C	182

Tabela 3. Kemijski sastav materijala S960QL

C	0,17
Si	0,47
Mn	1,42
P	0,008
S	0,003
Cr	0,59
Mo	0,56
Ni	0,79
Nb	0,02
V	0,05
Cu	0,03
Ti	0,01

Tablica 4. Mehanička svojstva materijala S960QL

Granica razvlačenja $R_{p0,2}$ / MPa	1 020	
Vlačna čvrstoća R_m / MPa	1 080	
Istezljivost A_5 / %	19	
Kontrakcija Z / %	61,9	
Žilavost, K_V / J longitudinalno	na 0 °C	158
	na -20 °C	76
	na -40 °C	58

Kemijski sastav i mehanička svojstva čelika Ck45 prikazan je u tablicama 5 i 6., a čelika 25CrMo4 u tablicama 7 i 8.

Tabela 5. Kemijski sastav materijala Ck 45

C	0,45
Si	0,22
Mn	0,62
P	0,008
S	0,004

Tabela 6. Mehanička svojstva materijala Ck 45

Granica razvlačenja $R_{p0,2}$ / MPa	460	
Vlačna čvrstoća R_m / MPa	694	
Istezljivost A_5 / %	26,3	
Kontrakcija Z / %	62,5	
Žilavost, K_V / J longitudinalno	na 20 °C	30

Tabela 7. Kemijski sastav materijala 25CrMo4

C	0,25
Si	0,31
Mn	0,76
P	0,008
S	0,013
Cr	0,98
Mo	0,16
Ni	0,05

Tabela 8. Mehanička svojstva materijala 25CrMo4

Granica razvlačenja $R_{p0,2}$ / MPa	620	
Vlačna čvrstoća R_m / MPa	810	
Istezljivost A_5 / %	16	
Kontrakcija Z / %	60,3	
Žilavost, K_V / J longitudinalno	na 20 °C	95

U sklopu istraživanja provedeno je ispitivanje tvrdoće HV10 na pojedinim uzorcima, i to u skladu s preporukama dokumenta MIZ-a IX-1609-90, tangencijalnom metodom. Tangencijalnom metodom dobivaju se vrijednosti tvrdoće po presjeku zavarenog spoja za sve zone zavarenog spoja. Svi uzorci iz čelika Ck 45 i 25CrMo4 su izrezivani na tračnoj pili uz kontinuirano hlađenje, a poslije toga poravnati brusnim papirom i polirani. Tvrdoća čelika TStE 420 i S960QL ispitivana je na simuliranim uzorcima.

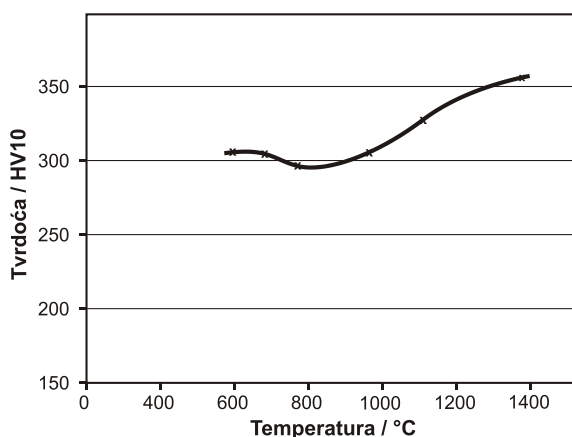
Također je ispitivana i udarna radnja loma i to na temperaturi 20 °C za sve čelike i za čelik TStE 420 na temperaturi -40 °C, a za čelik S960QL na temperaturi -50°C.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

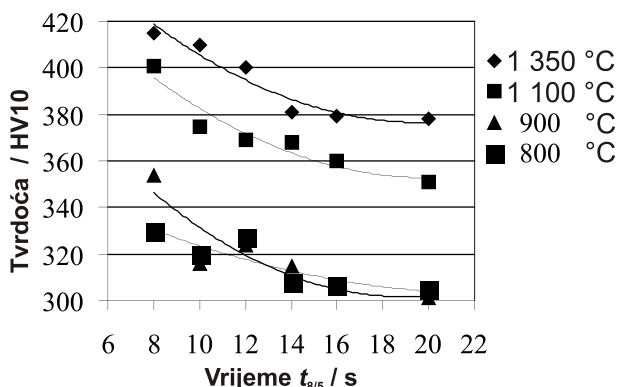
5.1. Rezultati ispitivanja tvrdoće

Nakon simuliranja toplinskog ciklusa zavarivanja u metalografskom laboratoriju, priređeni su uzorci za mjerenje tvrdoće HV10. Uzorci su nakon toga blago

nagriženi 3 % - tnom HNO_3 do razine da bi se pri povećanju kod mjerenja tvrdoće jasno vidjela linija staljivanja. Tvrdoća je mjerena na pet uzoraka za svaku temperaturu simuliranja u dva prolaza. Dobivene vrijednosti tvrdoća za čelik TSStE 420 prikazane su na slici 7, a za čelik S960QL na slici 8.

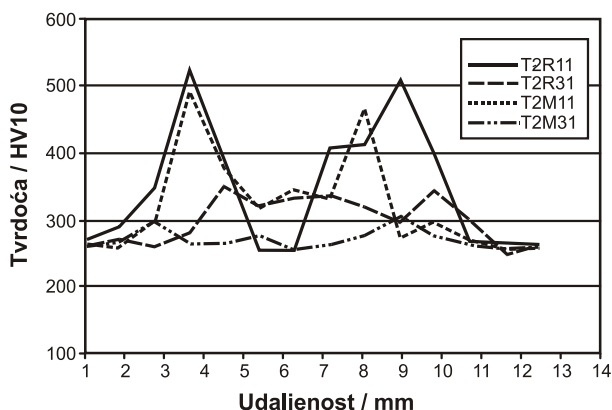


Slika 7. Ovisnost srednje vrijednosti tvrdoće od temperature simuliranja u dva prolaza (temperatura zagrijavanja 1350 °C - prvi prolaz i 600, 700, 780, 960, 1100 i 1350 °C - drugi prolaz)



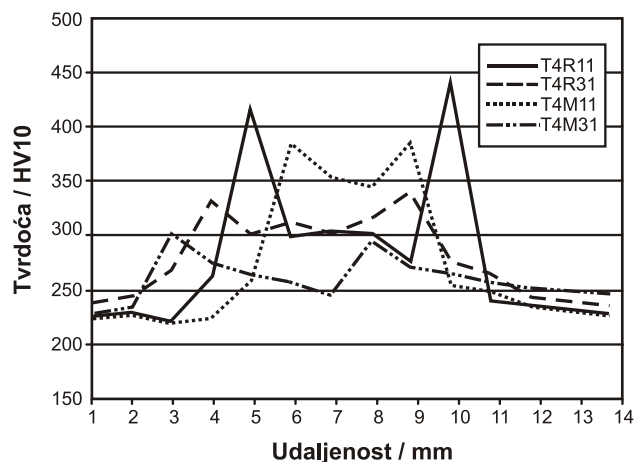
Slika 8. Dijagram vrijednosti tvrdoća u ovisnosti o temperaturi simuliranja i trajanju hlađenja $\Delta t_{8/5}$ (8, 10, 12, 14, 16 i 20s).

Rezultati mjerenje tvrdoće za uzorke iz čelika 25CrMo4 prikazani su na slici 9., a za uzorke iz čelika Ck 45 na slici 10..



Slika 9. Usporedba dijagrama tvrdoća pri različitim uvjetima zavarivanja čelika 25CrMo4: T2R11-

zavarivanje REL postupkom bez predgrijavanja; T2R311- zavarivanje REL postupkom s predgrijavanjem; T2M11- zavarivanje MAG postupkom bez predgrijavanja i T2M31- zavarivanje MAG postupkom s predgrijavanjem.



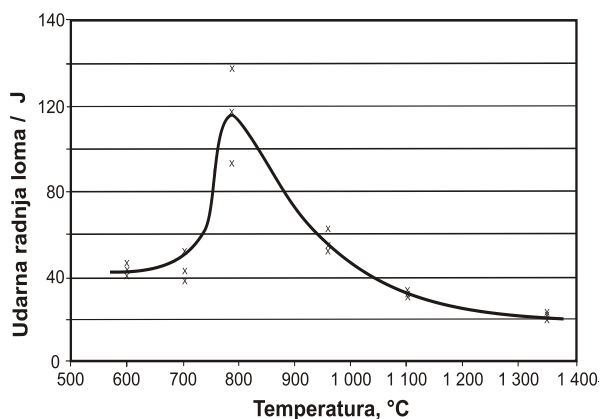
Slika 10. Usporedba dijagrama tvrdoća pri različitim uvjetima zavarivanja čelika Ck45: T4R11-zavarivanje REL postupkom bez predgrijavanja; T4R311-zavarivanje REL postupkom s predgrijavanjem; T4M11-zavarivanje MAG postupkom bez predgrijavanja i T4M31- zavarivanje MAG postupkom s predgrijavanjem.

Mjerenja tvrdoće HV10 tangencijalnom metodom na uzorcima Tekken proba od čelika 25 CrMo 4 na kojima su se pojavile hladne pukotine, pokazala su, da su maksimalne vrijednosti tvrdoće izmjerene u ZUT-u uz "liniju staljivanja" 440 do 530 HV10 (uzorci bez predgrijavanja). Na uzorcima kod kojih je provedeno predgrijavanje na 200 °C, maksimalne vrijednosti tvrdoće izmjerene u ZUT-u uz "liniju staljivanja" iznosile su 300 do 350 HV10, a na uzorcima Tekken proba nije bilo pukotina.

Identična mjerenja tvrdoće provedena su i na uzorcima Tekken proba čelika Ck 45. Na probama kod kojih je došlo do pojave hladnih pukotina izmjerene su maksimalne vrijednosti tvrdoće u ZUT-u uz "liniju staljivanja" 350 do 430 HV10 (uzorci bez predgrijavanja). Na uzorcima kod kojih je provedeno predgrijavanje na 300 °C, maksimalne vrijednosti tvrdoće izmjerene u ZUT-u uz "liniju staljivanja" iznosile su 300 do 330 HV10, te na uzorcima Tekken proba nije bilo pukotina.

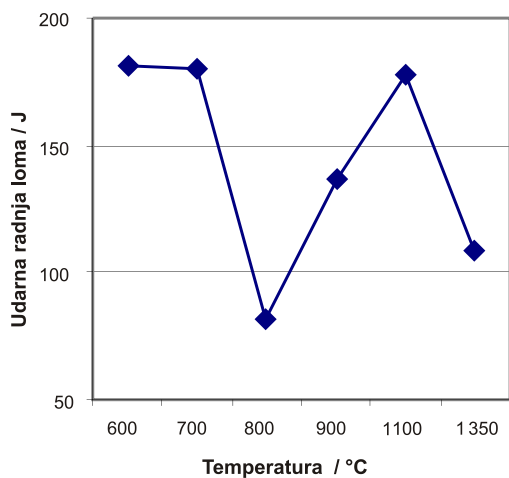
5.1. Rezultati ispitivanja udarne radnje loma

Udarne radnja loma na uzorcima zavarenim simuliranim ciklusom zavarivanja ispitivana je po Charpy-ju, na temperaturama 20 °C i -40 °C. Rezultati udarnih ispitivanja čelika TSStE 420 na temperaturi 20 °C u ovisnosti od maksimalne temperature drugog ciklusa simuliranja prikazani su dijagramski na slici 11.



Slika 11. Dijagram ovisnosti udarne radnje loma o T_{max} drugog ciklusa simuliranja

Najviše vrijednosti udarne radnje loma su vezane za sitno feritno zrno kao rezultat maksimuma na temperaturi malo višoj od A_{c3} , a u prikazanom istraživanju ta temperatura je iznosila 780 °C. Iznad ove temperature dolazi do smanjenja udarne radnje loma. Osim toga maksimum udarne radnje loma na 780 °C smanjuje tvrdoću. Daljnjim povećanjem temperature dolazi do pada udarne radnje loma (slika 11), što je uvjetovano porastom tvrdoće (dijagram na slici 7) [7]. Rezultati udarnih ispitivanja čelika S960QL na temperaturi 20 °C u ovisnosti od maksimalne temperature drugog ciklusa simuliranja prikazani su dijagramski na slici 12.



Slika 12. Dijagram ovisnosti udarne radnje loma o T_{max} drugog ciklusa simuliranja

Najviše vrijednosti udarne radnje loma vezane su za popušteno martenzitno zrno uz manji udio bainita, što je uvjetovano tvrdoćama od 370 do 380 HV (slika 8).

6. ZAKLJUČAK

U radu se obrazlaže problematika ispitivanja zavarljivosti čelika. Poseban se osvrt daje na indirektnu i direktnu metode ispitivanja zavarljivosti čelika povišene i visoke čvrstoće, te čelika za poboljšavanje.

Mikrolegirani čelik povišene čvrstoće TStE 420 treba zavarivati takvim parametrima da sa postigne vrijeme hlađenja 800 do 500 °C od 8 do 10 s. Pri ovakvim

parametrima tvrdoća u ZUT-u uz liniju staljivanja materijala nije maksimalna, dok su vrijednosti udarne radnje loma veće od granične vrijednosti prijelaza u krhko stanje. Rezultati ispitivanja toplinskim simuliranjem dvoprolaznog ZUT-a pokazuju u kojem se pravcu treba orijentirati s obzirom na parametre realnog zavarivanja čelika TStE 420.

Tehnologija zavarivanja čelika S960QL se temelji na kontroliranom unosu energije tijekom zavarivanja (predgrijavanje, temperatura između prolaza, toplinski input ostvaren pomoću električnog luka, dogrijavanje) i strogom pridržavanju propisanih aktivnosti, a sve u cilju izbjegavanja hladnih pukotina i ostalih grešaka u izradi, te postizanja zahtijevanih svojstava zavarenog spoja. Premali unos topline najčešće utječe na povećanje čvrstoće i tvrdoće zavarenog spoja, što uz zaostala naprezanja i nazočnost vodika u zavaru, može uzrokovati pukotine, a uz to smanjuje deformabilnost i povećava sklonost krhkom lomu. [7].

Provedena istraživanja zavarljivosti legiranog krom-molibdenskog čelika 25 CrMo 4 i nelegiranog ugljičnog čelika Ck 45 pokazala su da su ti čelici skloni prema nastajanju hladnih pukotina, odnosno da je za ostvarivanje kvalitetnog zavarenog spoja kod ovih čelika nužno smanjiti utjecaje čimbenika koji dovode do nastajanja hladnih pukotina.

Na osnovi provedenih eksperimentalnih istraživanja Implant i Tekken metodom, potvrđena je temperatura predgrijavanja za čelik 25CrMo4, debljine 20 mm - $T_p=200$ °C, a za čelik Ck 45 debljine 20 mm - $T_p=300$ °C. Iako su kod temperature predgrijavanja na 200 °C za čelik 25 CrMo 4, a na 300 °C za čelik Ck 45 rezultati zadovoljili kod toplinskog inputa u intervalu od 12 do 20 kJ/cm, preporuča se držanje gornje granice vrijednosti za toplinski input, jer se na taj način postiže sporije hlađenje zavarenog spoja (više vremena za efuziju vodika iz zavarenog spoja). Efuziju vodika iz zavarenog spoja pospješuje i viša vrijednost temperature predgrijavanja.

Nedostatak ispitivanja toplinskog ciklusa zavarivanja jeste mogućnost odstupanja parametara simuliranog procesa od stvarnih parametara pri zavarivanju. Pri simulaciji toplinskog ciklusa zavarivanja maksimalna temperatura ciklusa je niža od maksimalne temperature u ZUT-u, praktički ona se približava temperaturi likvidusa osnovnog materijala, a simuliranje također onemogućava utvrđivanje utjecaja metala zavara na svojstva ZUT-a. Pored navedenih nedostataka dugogodišnja ispitivanja simuliranjem toplinskog zavarivačkog ciklusa su pokazala da se mogu s velikom sigurnošću utvrditi zakonitosti ponašanja određenog materijala pri zavarivanju.

7. LITERATURA

- [1] Dunder, M.: Određivanje parametara zavarivanja čelika za poboljšavanje. Magistarski rad, Fakultet Strojstva i brodogradnje, Zagreb, 1997.
- [2] Dunder, M.; Vuherer, T.; Kladarić, I.: Weldability investigation of TStE 420 after weld thermal cycle simulation, Journal Strojstvo 52 (2) 2010; 97-104 UDK 621.791.4: 539.42: 669.14.018.292.

- [3] EN 10025:2004 The European standard for structural steel
- [4] Semjan, V. i dr.: Teorija zavarljivosti čelika, Energoinvest, Institut za zavarivanje, Sarajevo, 1989.
- [5] Dunder, M.; Vuherer T.; Samardžić, I.: Ispitivanje zavarljivosti simulacijom toplinskog ciklusa zavarivanja// Prof. dr. sc. Z. Kožuh (ur.). Šibenik : Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, 2014. 195-204.
- [6] Dunder, M.; Samardžić, I.; Marić, D.; Putnik, I.: Proceedings of CIM 2011 Approach to weldability investigation of quenched and tempered steels // Computer integrated manufacturing and high speed machining / Abele, Eberhard ; Udiljak, Toma ; Ciglar, Damir (ur.). Zagreb : Croatian Academy of Engineering., 2011. 93-98.
- [7] Dunder, M.; Samardžić, I; Vuherer, T.: Weldability of microalloyed high strength steels TStE420 and S960QL // Metalurgija. 53 (2014) , 3; 335-338

Kontakt autora:**Dunder Marko, prof. dr.sc., EWE**

Sveučilište u Rijeci, Odsjek za politehniku

Goran Salopek, asistent

Sveučilište u Rijeci, Odsjek za politehniku

Marko Horvat, dipl. ing.

Sveučilište Sjever

Veljko Kondić, mag. ing. mech.

Sveučilište Sjever

Matija Marković, student

Sveučilište u Rijeci, Odsjek za politehniku

KINEMATSKA ANALIZA MEHANIZMA U PROGRAMU SAM

KINEMATIC ANALYSIS MECHANISM USING COMPUTER APPLICATION SAM

Katarina Pisačić, Veljko Kondić, Vinko Višnjić

Stručni članak

Sažetak: Ovaj rad opisuje osnovni postupak definiranja i simulacije jednostavnog planarnog mehanizma korištenjem programskog paketa SAM. Postupak je ilustriran na primjeru iz udžbenika. Izvršena je kinematska analiza mehanizma te su interpretirani prikazani rezultati.

Ključne riječi: Kinematika, Kinematska analiza, Mehanizam, SAM

Professional paper

Abstract: This article describes basic procedure of defining and simulation of simple planar mechanism using computer application SAM. Procedure is illustrated using textbook example. Numerical analysis of mechanism is performed and given results are interpreted.

Key words: Kinematic, Kinematic analysis, Mechanism, SAM

1. UVOD

SAM (sinteza i analiza mehanizma) je interaktivni softverski paket za konstrukciju analizu i optimizaciju proizvoljnih planarnih mehanizama. Mehanizmi mogu biti generirani preko dizajna čarobnjak ili oni mogu biti sastavljeni od osnovnih komponenti, uključujući grede, prijenosnike, remene, trenje elemenata, uklještenja, itd. SAM integrira obradu, numeričku analizu i naknadnu obradu, kao što su animacije, jednostavnim korištenjem padajućih izbornika.

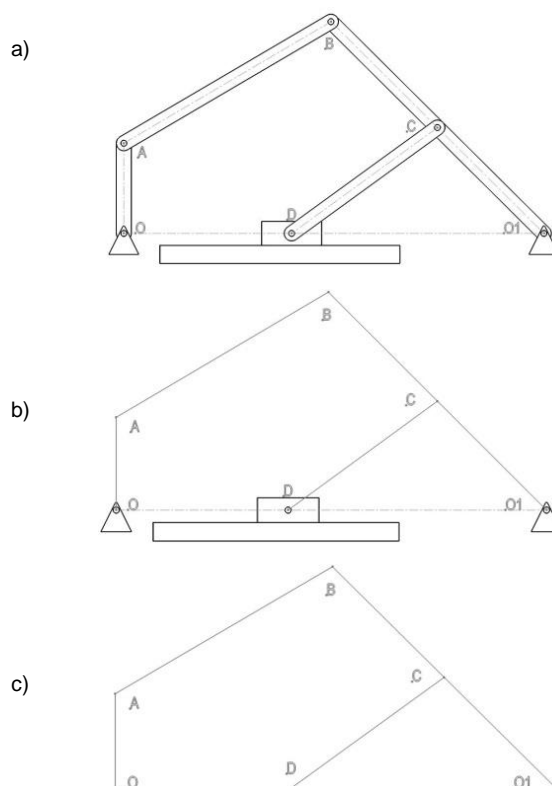
Složeni matematički temelj analize omogućava rješavanje mnoštvo problema koji se javljaju prilikom analize mehanizama: otvorene petlje, zatvorene petlje, višestruke petlje, kompleksni planetarni mehanizmi. Najsloženiji mehanizmi, poput planetarnih zupčanika mogu se analizirati u nekoliko minuta. [1]

2. KINEMATSKA SHEMA MEHANIZMA

Da bi se mehanizam riješio potrebno je iz trodimenzionalnog modela generirati kinematsku shemu mehanizma.

Pod kinematskom shemom podrazumijevamo takav crtež koji sadrži samo one elemente mehanizma koji imaju utjecaja na njegovo gibanje. Kinematska shema određenog mehanizma prikazuje se u određenom mjerilu koje je potrebno za određivanje gibanja. U kinematskim shemama članovi mehanizama prikazuju se pojednostavljeno. Ona je ujedno i osnovni crtež za proračun kinematike mehanizma. Pri strukturalnoj analizi mehanizama i pri izboru metode proračuna služimo se strukturalnom shemom mehanizma. U toj shemi simbolički

prikazujemo članove mehanizma i kinematičke parove, ne vodeći računa o njihovim dimenzijama. [2]



Slika 1: a) polukonstruktivna, b) kinematska, c) strukturalna shema mehanizma [3]

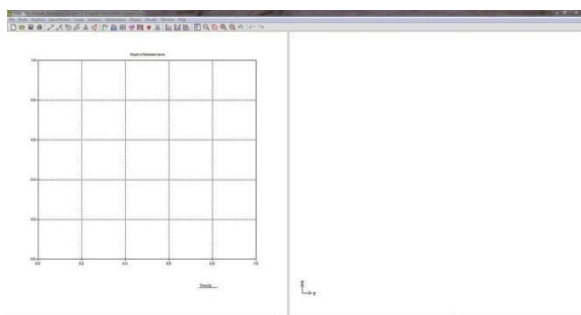
Kinematska analiza odnosno određivanje brzina i ubrzanja elemenata i točaka mehanizma može se provesti

tradicionalnom analitičkom ili grafičkom metodom [4,5], koristeći softvere za računalnu grafiku (CAD) ili simboličko programiranje [6]. U novije vrijeme za kinematsku analizu mogu se koristiti složeni numerički softvera za široku primjenu poput Ansys-a ili za specijalnu primjenu poput SAM-a ili Working Model-a [7].

3. KINEMATSKA ANALIZA MEHANIZMA U SAM-U

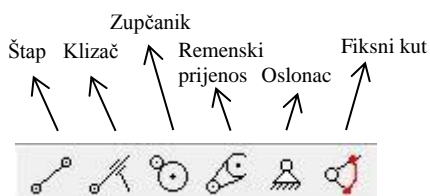
U ovom poglavlju opisat će se postupak crtanja i analize mehanizma u programu SAM.

Uključivanjem programa na ekranu se pojavi sučelje programa koje je podijeljeno na desno područje za prikaz mehanizma i lijevo područje koje pokazuje kinematski dijagram za određeni segment (slika 2.).



Slika 2: Sučelje programa

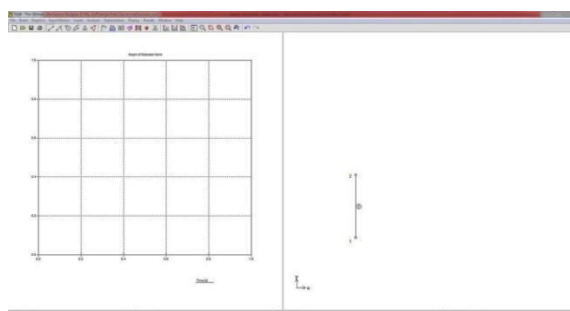
Nakon toga koristi se ikone (slika 3.) za crtanje samog mehanizma. Program ima gotovo sve elemente koji su potrebni za crtanje jednostavnih mehanizama.



Slika 3: Ikone za crtanje mehanizma u SAM-u

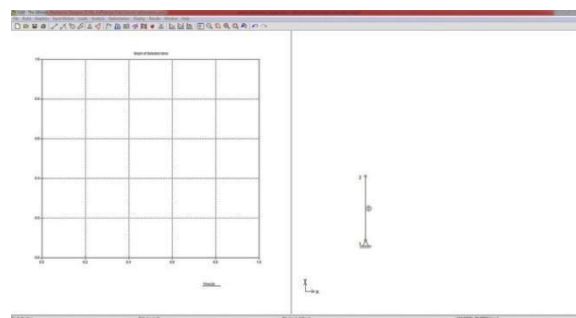
3.1. Definiranje geometrije mehanizma

Za početak se odabere alat za crtanje štapa (slika 3.) te nacrtat prvi štap (slika 4.) mehanizma proizvoljnih dimenzija.



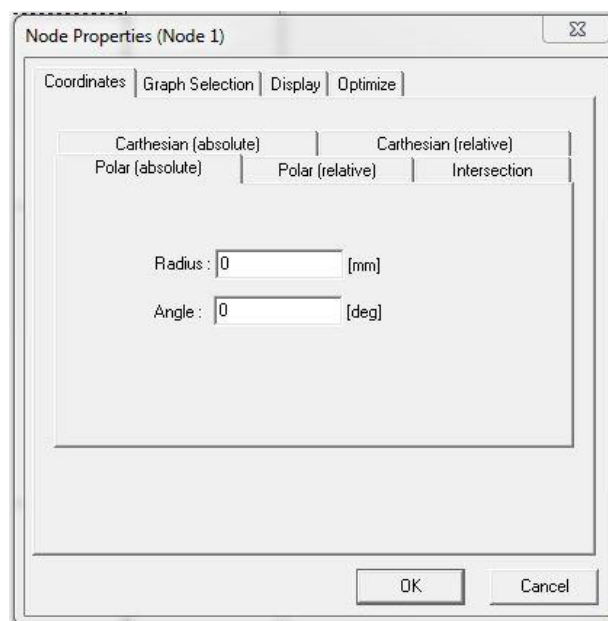
Slika 4: Crtanje prvog štapa

Nakon toga se uključi gumb za odabir vrste oslonca (slika 3.) te odaberemo točku koju želimo da bude fiksna (slika 5.).



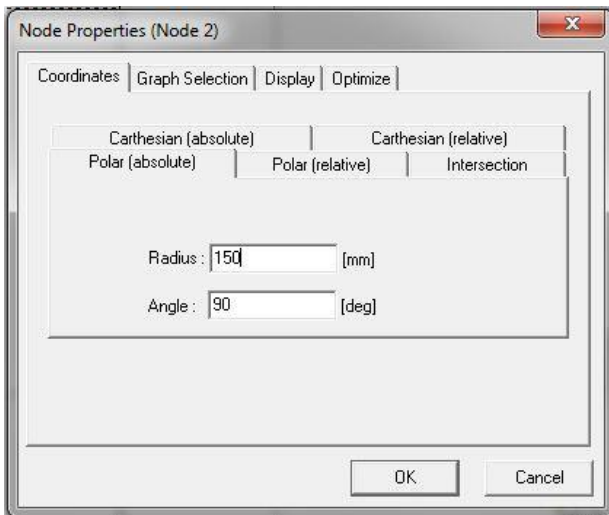
Slika 5: Crtanje nepomičnog oslonca

Definiranu fiksnu točku se postavlja u ishodište koordinatnog sustava i prema njoj se crtaju daljnji elementi. Za postavljanje točke u ishodište potrebno je kliknuti na izbornik "Build" te na "Node Properties". Nakon toga treba kliknuti na točku u koju želimo postaviti ishodište koordinatnog sustava. U našem slučaju je to nepomični oslonac. Klikom na točku otvara se izbornik (slika 6.) za pozicioniranje te točke. Moguće je to napraviti u polarnom ili Kartezijevom koordinatnom sustavu. Za odabranu točku postavljaju se koordinate (0,0).



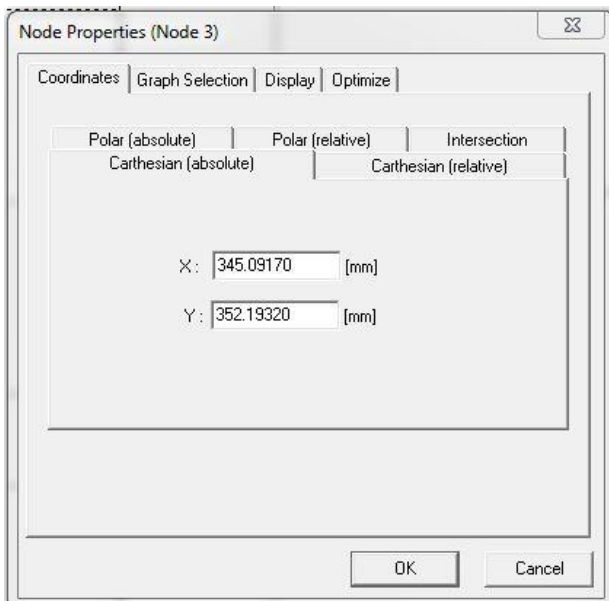
Slika 6: Izbornik za pozicioniranje točke 1

Postavljanjem fiksne točke u ishodište koordinatnog sustava olakšano je kreiranje mehanizama. Iz prethodno nacrtanog CAD modela očitavaju se koordinate točaka. te se za svaki sljedeći štap definiraju koordinate početne i završne točke. Prvi štap (slika 4 i 5) treba biti pod kutom od 90° i duljine 150 mm prema zadanim vrijednostima iz zadatka, koordinate se mogu unositi i tako da se dvostrukim klikom pokrene dijaloški okvir za unošenje koordinata (slika 7.).

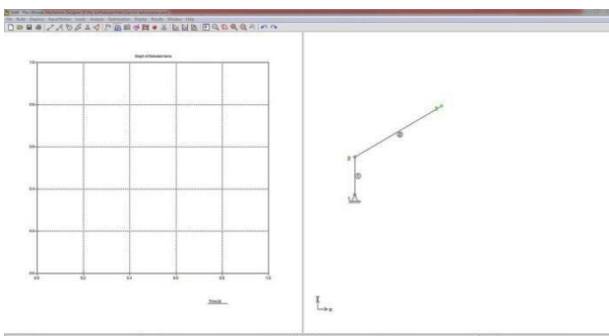


Slika 7: Izbornik za pozicioniranje točke 2

Nakon pozicioniranja točke dva crta se novi štap i pozicionira se točka tri (slika 8.). Koordinate koje se očitavaju u CAD programu su često u Kartezijevom koordinatnom sustavu pa treba paziti kod upisivanja da se odabere ispravna kartica u dijaloškom okviru. Odabere se kartica Carthesian (absolute) te se u upisuju apsolutne koordinate točke mjerene od ishodišta.

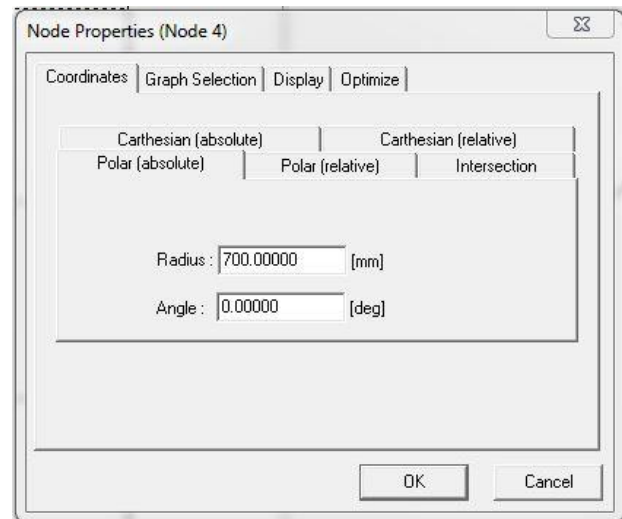


Slika 8: Izbornik za pozicioniranje točke 3



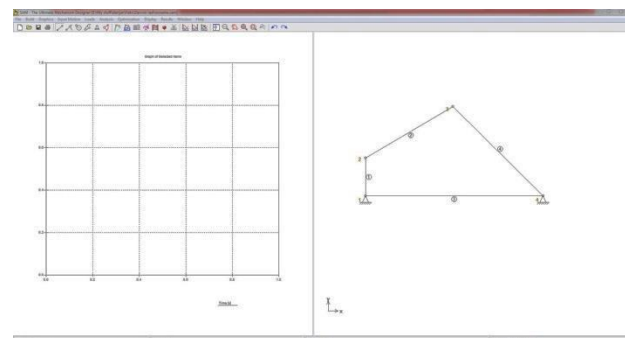
Slika 9: Crtanje štap 2

Pošto su poznate udaljenost između točaka (slika 10), nacrtana linija (štap) od početne točke u desno te se definira pozicija oslonca sa očitanim koordinatama.



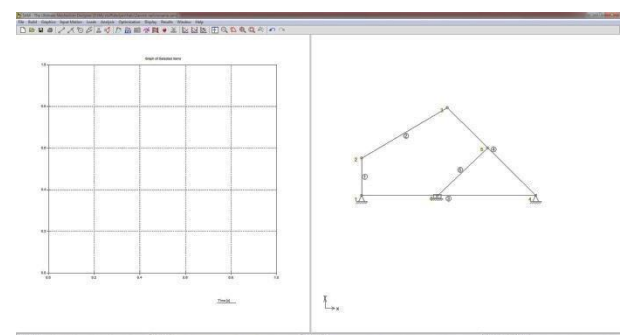
Slika 10: Izbornik za pozicioniranje točke 4

Nacrtani oslonac spoji se sa točkom 3 i dobije se novi štap (slika 11) valjane duljine.



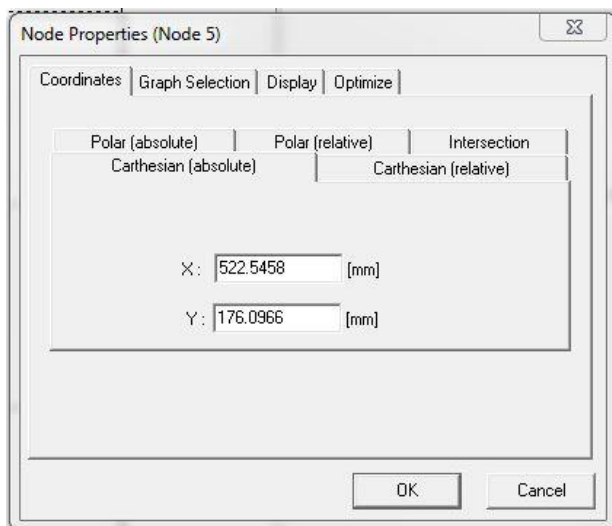
Slika 11: Crtanje štap 4

Posljednji je štap koji na kraju ima klizač. Proizvoljno se nacrtana linija od štap četiri do štap tri. Sa ikonom za uklještenje umeće se klizač (slika 3.12) na kraj štap.

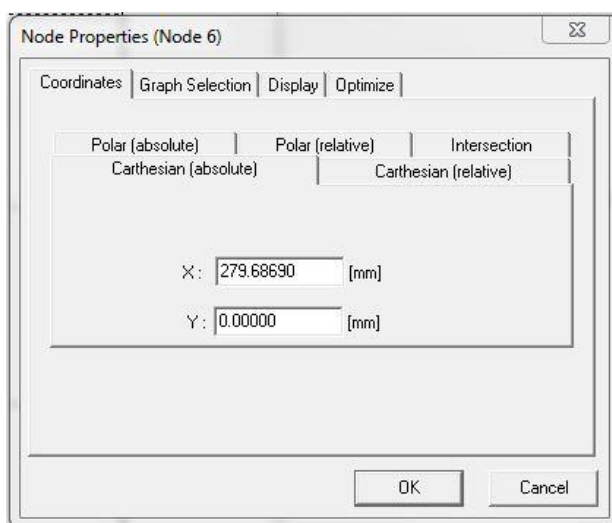


Slika 12: Crtanje štap 5

Na kraj se postave koordinate točaka pet (slika 13) i šest (slika 14) koje su prethodno očitane iz SolidWorksa.

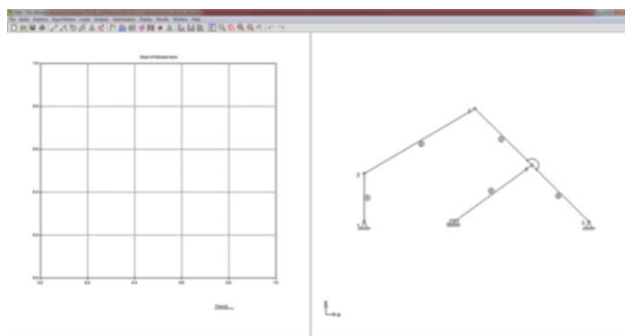


Slika 13: Izbornik za pozicioniranje točke 5



Slika 14: Izbornik za pozicioniranje točke 6

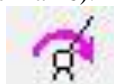
Brisanjem nepotrebne linije tri postupak crtanja mehanizma u SAM-u je završen (slika 15).



Slika 15: Izgled mehanizma u SAM-u

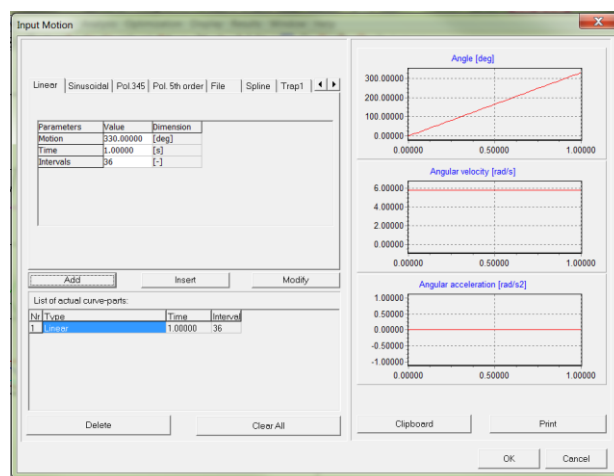
3.2 Zadavanje kutne brzine

Gotovo sve naredbe u SAM-u se vrše pomoću ikona pa tako se kutna brzina za odabrani pogonski element zadaje pomoću ikone (slika 16).



Slika 16: Ikona za zadavanje kutne brzine.

Nakon klika na ikonu treba odrediti za koji element odnosno točku želimo postaviti kutnu brzinu. Postavljanjem na željeno mjesto otvara se prozorčić (slika 17) u koji treba unijeti podatke tj. vrijednosti kutne brzine pogonskog elementa.



Slika 17: Izgled prozora za postavljanje podataka za kutnu brzinu

Prilikom unosa podataka neke vrijednosti treba preračunati. Pa tako kutnu brzinu koja je u rad/s treba pretvoriti u %/s. Ako preračunati %/s ne prelaze 360 %/s potrebno je povećati vrijeme >1, tj. koliko vremena odgovara da pogonski element mehanizma prijeđe puni krug.

Parameters	Value	Dimension
Motion	330	[deg]
Time	2	[s]
Intervals	36	[-]

Slika 18: Postavljanje podataka za kutnu brzinu

Nakon zadavanja podataka pogonskog elementa moguće je pokrenuti animaciju te promatrati kretanje svih točaka mehanizma.



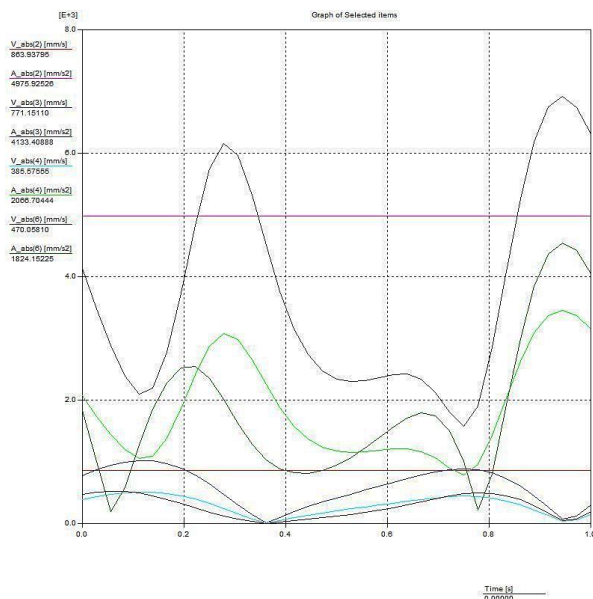
Slika 19: Ikona za pokretanje animacije

3.3 Brzine i ubrzanja točaka mehanizma

SAM omogućava prikaz brzine i ubrzanja svake točke mehanizma u bilo kojem trenutku odnosno položaju mehanizma. Odabirom izbornika "Analysis" otvara se prozor za odabir elemenata ili točaka, označe se točke te nakon toga odaberu veličine (položaj, brzina, ubrzanje, apsolutno ili u smjeru osi x ili y) za koje želimo iscrtati kinematske dijagrame.

Iz rezultata je vidljivo kako se mijenjaju brzine i ubrzanja svih točaka na mehanizmu u periodu trajanja simulacije pa se tako vidi da je apsolutna brzina točke 2

konstanta (kutna brzina pogonskog štapa je konstantna). Apsolutno ubrzanje točke 2 je također konstantno, a ono je jednako normalnoj komponenti ubrzanja točke na obodu odnosno na kraju pogonskog štapa u ovom slučaju.



Slika 20: Graf brzina i ubrzanja

Na y-osi prikazuju brzine u mm/s pa vrijednosti treba pomnožiti sa 1000 da bi se dobili m/s, dok se na x-osi prikazuje vrijeme koje je u sekundama. Vidljivo je da brzine i ubrzanja vrlo malo odstupaju od rezultata grafičkog rješenja, pa možemo zaključiti da su podaci dobiveni računanjem i crtanjem dobri u usporedbi sa SAM-om.

Tablica 1: Brzine i ubrzanja klizača mehanizma

Nr.	Time	V_abs(6)	A_abs(6)
[-]	[s]	[mm/s]	[mm/s ²]
0	0.000	470.058	1.824.152
1	0.028	509.396	1.005.848
2	0.056	525.982	192.154
3	0.083	520.451	580.503
4	0.111	494.447	1.275.818
5	0.139	450.632	1.856.566
6	0.167	392.724	2.284.007
7	0.194	325.516	2.520.347
8	0.222	254.727	2.539.419
9	0.250	186.398	2.348.567
10	0.278	125.646	2.008.573
11	0.306	75.246	1.621.263
12	0.333	35.126	1.280.784
13	0.361	3.203	1.034.770
14	0.389	23.276	886.925
15	0.417	46.827	820.757
16	0.444	69.456	817.677
17	0.472	92.708	863.776
18	0.500	117.815	950.118
19	0.528	145.809	1.070.697
20	0.556	177.563	1.219.714
25	0.694	398.652	1.747.650
30	0.833	452.068	1.927.206
35	0.972	76.469	4.422.466
36	1.000	194.679	4.052.825

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je jednostavan i brz postupak definiranja geometrije, početnih uvjeta i analiza planarnog mehanizma u SAM-u. Sučelje je jednostavno i omogućava studentima i nastavnicima primjenu ovog softvera u nastavi, u smislu didaktičkog pomagala, za provjeru rezultata i slično. U radu je prikazan dio funkcionalnosti programa, ali u njemu je moguće raditi i dinamičku analizu.

Sve je češće korištenje ovakvih i sličnih specijaliziranih numeričkih softvera u nastavi. Iako postoje brojni drugi složeni numerički programi, jednostavnost korištenja ovog programa kao i dostupnost probne verzije predstavljaju veliku prednost za studente i nastavnike.

5. LITERATURA

- [1] SAM 6.1 The ultimate mechanism designer
- [2] Husnjak, M.: Teorija mehanizama, Zagreb, 2009
- [3] Kozak, D.: Autorizirana predavanja, Bjelovar; 2011
- [4] Matejiček, F.: Kinematika sa zbirkom zadataka, sveučilišni udžbenik, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, 2011
- [5] Jecić, S.: Mehanika 2, Tehnička knjiga Zagreb, 1989
- [6] Kljajin, M.; Pisačić, K.; Keček, D.; Bolarić, D.: Usporedba metoda kinematske analize kod jednog demonstracijskog mehanizma, Tehnički vjesnik 21, 3(2014), 657-664
- [7] Myszka, D. H.: Machines and mechanisms, Applied Kinematic Analysis, Prentice Hall, New Jersey 2012.

Kontakt autora:

Katarina Pisačić, dipl. ing.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: katarina.pisacic@unin.hr

Kondić, Veljko, mag. ing. mech.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: marko.horvat@unin.hr

Višnjic, Vinko, izv. prof. dr. sc.

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3
42000 Varaždin
e-mail: vinko.visnjic@unin.hr

UTJECAJ LETEĆEG PEPELA NA SVOJSTVA MEHANIČKO AKTIVIRANIH CEMENTNIH SMJESA

FLY ASH AND ITS INFLUENCE ON THE PROPERTIES OF MECHANO-ACTIVATED CEMENT COMPOSITIONS

Mostoroi S.N., Barabash I.V., Ksënshekevich L.N., Krantovskaja E.N.

Stručni članak

Sažetak: Ovaj članak bavi se utjecajem letećeg pepela na cementne komponente, tj. na efektivnu viskoznost, kinetičku promjenu egzotermnog zagrijavanja i na njegovo vrijeme stvrdnjavanja. Utvrđen je pozitivni efekt mehaničke aktivacije na kompresijsku snagu cementnog morta sa pepelom kao veznim aditivom.

Ključne riječi: kompresijska snaga, efektivna viskoznost, leteći pepeo, mehanička aktivacija, portland cement

Professional paper

Abstract: This article deals with influence of fly ash on components of cement, that is, the effective viscosity, kinetics changes of exothermic warm-up and its setting periods. The positive effect of mechanical activation on the compressive strength of mortar cement with ash as a binding agent has been established.

Keywords: compression strength, effective viscosity, flyash, mechanical activation, Portland cement

1. INTRODUCTION

Despite the fact that the use of fly ash in Portland cement has long been known [1,2,3,4], this issue remains relevant considering the need to obtain high-quality building materials and also by saving resource for bind materials.

The fine particles of ash that are located in the space between the grains of cement, are performing the role of a lubricant, enhancing the rheological properties of the composition. Ash also has a sealing effect on the structure of cement stone. At the same time, due to low activity of ash during the hydration of portland cement [5,6,7] there is need for increased of binder flow to provide the required strength properties of the solution.

Known methods of increasing the chemical activity of fly ash increases its dispersion by mechanical activation [8,9]. In the process of mechanical activation spherical particles of ash are destroyed, which significantly reduces its plasticizing effect [10].

2. EXPERIMENTAL INVESTIGATION

In OGASA (Odessa's academy of civil engineering and architecture) speed thermomixer was designed and developed with fundamentally new design for the mechanical activation of mineral binders and its additives.

Activation of disperse systems is realized through the collision of particles without destroying them in the active zone of mixer. The collision of the dispersed phase in the turbulent flow leads to a modification of the particle surface without substantially increasing the specific surface, which causes a change in the physical and mechanical processes and effects at the phase boundary [11,12].

Interest is to determine the influence of mechanical activation in proposed speed mixer on the properties of cement-ash compositions (the effective viscosity, exothermic heating, setting time) and the strength of the thereof mortar. In the experiment, Portland cement PC I-500 from Kamenev-Podoski cement factory is used as a binder. As an additive, Ladizhinskoi TES fly ash was used. Ash consumption ranged from 0 to 80% weight of binder. For plastification of ash-cement suspensions superplasticizer C-3 was used, concentration of which was varied in the range from 0 to 1% weight of the binder.

Activation time of ash-cement suspension in a high-speed mixer ($n = 2800$ spin/min) was 150 seconds. Effective viscosity measurements was carried out every 30 seconds.

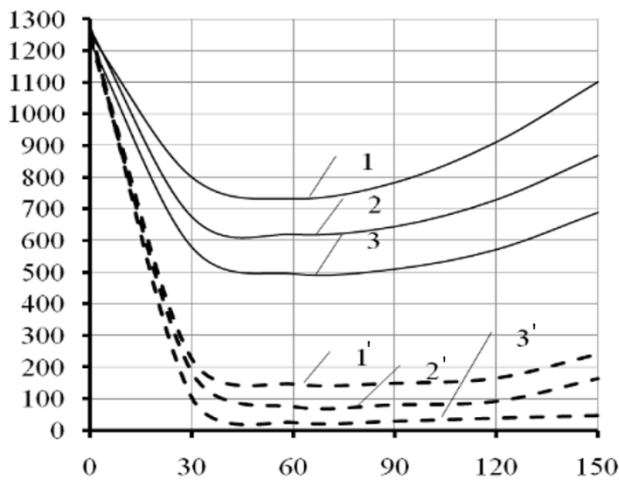


Figure 1. Effect of the activation time on the effective viscosity change of the ash-cement suspensions
X axis represents the time of activation, while y axis represents the effective viscosity.

1,2,3 - the effective viscosity of a suspensions with fly ash content of 0, 40 and 80%. C-3 = 0%

1',2',3' - the effective viscosity of a suspensions with fly ash content of 0, 40 and 80%. C-3 = 1%

3. EXPERIMENTAL RESULTS

Experimental results of effective viscosity of ash-cement suspension depending on the activation time of ash quantities in portland cement are shown on Fig 1. It has been established that speed mixing reduces the effective viscosity of the suspension.

The minimum value of the effective viscosity is achieved after 60-90 second activation of suspension in mixer. Further activation of suspension leads to increase of effective viscosity, apparently due to increase of internal friction between the dispersed particles of the binder. The analysis of the experimental data (Fig. 1.

curves 1, 2, 3) indicates that fly ash has a plasticizing effect on cement-containing suspension.

Thus, replacement of 80% Portland cement with ash reduces the effective viscosity of the suspension after 60 seconds activation with 720 to 500 cps; i.e. almost 30%. Plasticizing effect significantly increases from the combined influence of superplasticizer C-3 and ash on the suspension speed mixing.

Activation of ash-cement suspension (fly ash = 80%) in the presence of superplasticizer-3 leads to a decrease in effective viscosity of the suspension from 1250 cps (inactivated suspension; content of fly ash - 0%, the concentration of C-3 = 0%) to 26 cps, i.e. almost 50 times.

Process of hydration of portland cement is accompanied with increasing of temperature [13]. The character of the curves of the isothermal warming of suspensions gives an indication about the impact on the hydration process of cement mechanical activation as well as the content of fly ash and the concentration of superplasticizer C-3 in the binder.

Determination of exothermic heating solidifying suspension was carried out in a thermos-type calorimeter with temperature fixation after each hour of solidification. The volume of solidifying suspension was 500 ml.

Curves of the exothermic heating shown on Fig 2 indicate that activation of the binder leads to a drastic acceleration of hydration. This is typical for all analyzed concentrations of fly ash in Portland cement.

At the same time it should be noted that increasing the fly ash content in the binder leads to slow heat dissipation, as well as reducing its maximum temperature of isothermal heating.

Thus, if heating of suspension on pure cement clinker reaches its maximum through 6 hour period and then when replacing the 80% of Portland cement with ash, maximum heating-up is achieved after 9 hours.

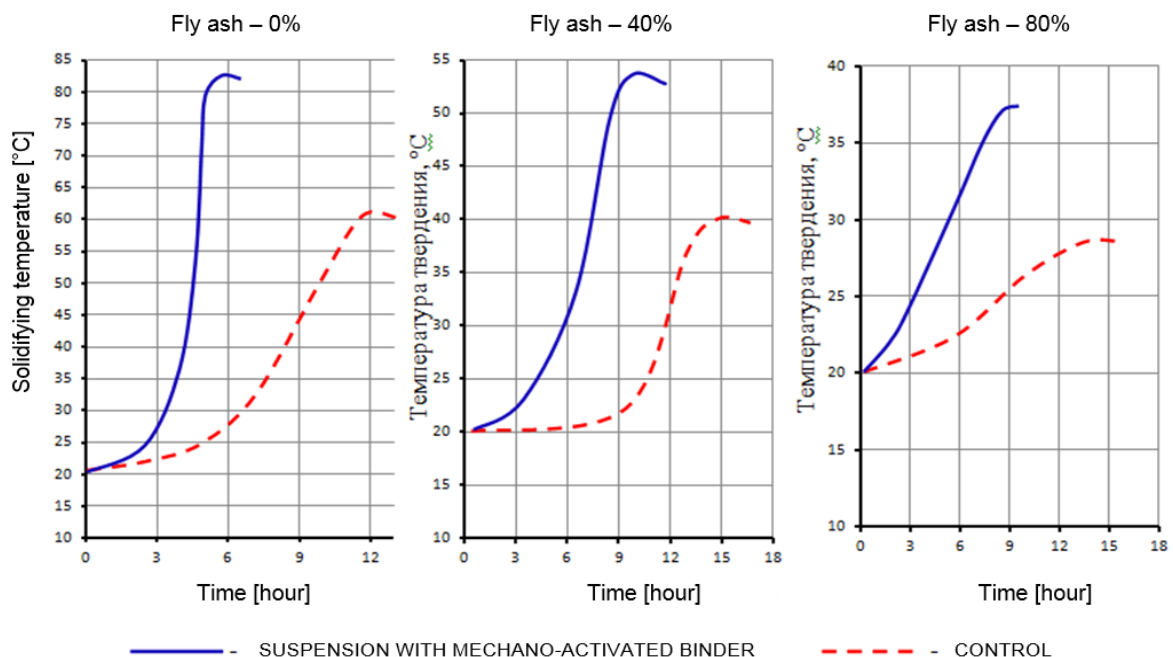


Figure 2 Kinetics of changes in temperature exothermic heating-up of solidifying ash-cement suspensions

Setting time was determined on a test of normal density. The normal density of cement paste (depending on the ash content in the Portland cement and the concentration of C-3) was adjusted by water mixing. The amount of ash in the binder was varied from 0 to 80%. Experimental data on the setting time of cement paste are presented in Table 1.

It has been established for the cement paste in the mechanically activated binder (C-3 = 0%) inserting ash to Portland cement in an amount of 40% delays the setting of the test with from 1 hour 10 min to 1 hour. 40 min. Cement paste with 80% ash in Portland cement starts setting after 2 hours 0 min.

Table 1 Setting time of cement paste

№	Fly ash, %	Cement %	C-3, %	The setting time, hour: min			
				Activated binder		Activation of the binder is absent (control)	
				Start, τ _n	End, τ _k	Start, τ _n	End, τ _k
1	0	100	0	1:10	3:45	2:00	5:15
2	40	60	0	1:40	4:25	2:55	6:10
4	80	20	0	2:00	5:10	3:30	7:20
5	0	100	0,5	1:15	4:45	2:10	6:40
6	40	60	0,5	3:05	8:00	5:30	11:20
8	80	20	0,5	5:50	12:05	10:10	17:00
9	0	100	1	1:40	6:20	3:00	9:00
10	40	60	1	4:05	11:55	8:05	16:55
12	80	20	1	6:30	14:30	11:20	20:25

Setting of cement paste on a non-activated binder starts (with similar content fly ash in Portland cement) occurs in 2 hours 55 minutes and 3 hours and 30 min, accordingly.

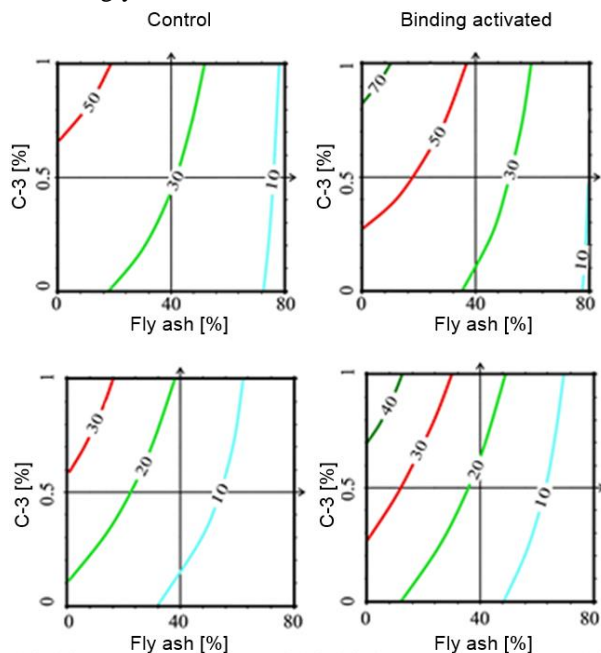


Figure 3 Effect of fly ash and superplasticizer C-3 on the compression strength of the mortar [Mpa]

It should be noted that insertion of additive-3 in cement paste in an amount of 1% even reduces its

normal density at 5 ÷ 20% (depending on the content of fly ash in Portland cement) nevertheless slows down the process of structure formation, which effects on slowdown of setting time start. This is typical for both the cement test on a pure Portland cement, as Portland cement with fly ash additive of 40 and 80%. Decelerating influence of fly ash and superplasticizer C-3 also affects the end of the cement paste setting.

Of interest to determine the effect of the ash content and the concentration of C-3 in Portland cement on the compressive strength of mortar mix composition of 1: 2. In the experiment quartz sand was used with Md = 2,7. The experiment was carried out by 2 factorial designs. As independent variables, following factors of variation were adopted: X1- consumption of ash in Portland cement (40 ± 40)%; X2 concentration of C-3 in the binder (0,5 ± 0,5)%.

Two parallel series of experiments were carried out. First - (Control) - by the traditional technology, the second - with mechanical activation. The activated suspension was mixed with quartz sand in the low-speed mixer until it reached homogeneously state.

According to the obtained experimental and statistical models, diagrams have been constructed, showing the influence of varying factors of composition on the compression strength of the mix, Fig. 3. Mechanical activation increases the strength of mix to 20 ... 25%, thus allowing (by obtaining the mixes of equal strength) 15 ... 20% of Portland cement clinker component to be replaced with the fly ash.

4. CONCLUSION

After experimental and statistical models, we can conclude following:

- 1) Fly ash has a plasticizing effect on cement-composition, which is confirmed by reduction of the effective viscosity.
- 2) Activation of ash-cement suspension leads to acceleration its exothermic heating according to comparison with control.
- 3) Mechanical activation increases the strength of mix to 20 ... 25%, thus allowing 15 ... 20% of Portland cement clinker component to be replaced with the fly ash.

5. REFERENCES

- [1] Волженский, А.В.; Иванов, И.А.; Виноградов, Б.Н.: Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов. М.: Стройиздат, 1984. 250 с.
- [2] Сергеев, А.М.: Использование в строительстве отходов энергетической промышленности. – Киев: Будівельник, 1984. – 120 с.
- [3] Состав и свойства золы и шлака ТЭС /справочное пособие// Под ред. В.А.Мелентьева.– Л.: Энергоатомиздат, 1985.- 285с.
- [4] Кривенко, П. В.; Пушкарева, Е. К.; Гоц, В. И.; Ковальчук, Г. Ю.: Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков. Киев: ООО «ИПК Экспресс – Полиграф», 2012. – 258 с.
- [5] Malhotra, V. M.; Ramezaniapour, A.A.: Fly ash in Concrete. – 2-nd edition, CANMET, Ontario, 1994. – pp. 21-25, 44-50; pp. 73-81.
- [6] Волженский, А. В.: Минеральные вяжущие вещества. - М.: Стройиздат, 1986. - 464 с.
- [7] Nmai, C. K.; Schlagbaum, T.; Violetta, B. A.: history of mid-range water-reducing admixtures // Concrete international. – April, 1998. -pp. 45-50.
- [8] Sersale, R.: Advance of Portland and Blended Cement // Proceedings of the 9-th international Congress on the Chemistry of Cement. – India. Vol. I, 1992. –pp. 261–302
- [9] Besari, M.S; Munaf, D.R.; Hanafiya, Iqbal M.M.: Stability of mechanical properties and interface density of high performance fly ash concrete //Proceed. of the Intern. Conf. On Radical Concrete Technology, University of Dundee, Scotland, UK,1996. – pp. 47-56.
- [10] Monzó, J.; Payá, J.; Peris-Mora, E.; Borrachero, M. V.: Mechanical treatment of fly ashes: strength development and workability of mortars containing ground fly ash // Proceed of the 5-th Intern. Conference “Fly Ash, Silice Fume, and Natural Pozzolans in Concrete”. – Milwaukee, Wiskonsin, USA, v.1. 1995. – pp. 339 – 354.
- [11] Барабаш, И.В.: Бетоны на механоактивированных минеральных

вяжущих – Дисс. докторатех. наук, Одесса, 2005. - 307 с.

- [12] Выровой, В.Н.; Барабаш, И.В.; Дорофеев, А.В. и др.: Механоактивация в технологии бетонов – Одесса: ОГАСА, 2014. – 148с.
- [13] Ушеров–Маршак, А.В.: Калориметрия цемента и бетона. – Харьков, Факт, 2002. – 183с.

Author contact:

Krantovskaja E.N., Phd, docent
Odessa's academy of civil engineering and architecture,
Department Strength of Materials
65029, Украина, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4

ISKUSTVO PROJEKTIRANJA I IZGRADNJE STAMBENE ZGRADE U STJEŠNJENIM GRADSKIM UVJETIMA

AN EXPERIENCE OF DESIGNING AND CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL BUILDING IN THE STRAITENED URBAN ENVIRONMENT

Irina Karpiuk, Michael Marchenko, Vasil Karpiuk, Irina Mosicheva

Stručni članak

Sažetak: U članku je predstavljeno iskustvo geološki i reljefno zahtjevnog gradilišta. Zbog nepovoljnih visinskih razlika izvodio se polu-podzemni parking na 3 nivoa. Osiguranje građevinske jame izvedeno je uz pomoć dva reda bušenih pilota povezanih naglavnom konstrukcijom i žmurja. Potporne konstrukcije integrirane je u opću konstrukciju stambene zgrade. Provedeni su odgovarajući proračuni osnovnih parametara i opće stabilnosti građevine. Kontrolna ispitivanja bušenih pilota potporne konstrukcije i pilota temeljne konstrukcije potvrdili su ispravnost i efektivnost odabranog projektog rješenja.

Ključne riječi: aktivni i pasivni tlak, bušeni piloti, građevinska jama, žmurje

Professional paper

Abstract: In the article the experience of mastering a difficult geological and relief related site area is presented. The drop markers led to the necessity of constructing a semi-underground three-level parking. The protection of foundation pit from existent building and transport communications is accepted as a sheet pile wall from double-row borings piles, incorporated by grillage. Sheet pile wall is integrated into the structural scheme of the building. The appropriate calculations of the basic parameters and the overall stability of building are executed. Routine tests of borings piles wall and prismatic piles of main pile field have confirmed the validity and effectiveness of the design decision.

Keywords: active and passive pressure, bored pile, pit of variable depth, sheet pile wall of the fence

1. INTRODUCTION

Reconstruction and new construction in a historical continuum of urban development poses the problem of operational implementation of technically and technologically advanced engineering solutions for designers and builders [1]. This is due to the following objective factors: the tightness of construction sites, surrounded by existing buildings; the complexity of the geological and hydrogeological conditions; significant drop markers of relief; the need for transferal of urban communications and other.

All of the above takes place in the central part of Odessa (Ukraine) in the area adjacent to the Zhukovsky street (Fig. 1). Natural height difference between the Polish street and Devolanovskiy descent became a major factor in the development of this project site. Study of possible options for the design decisions led to the device in the side beams semi-underground three-level parking. In this connection there was need for excavation a pit of variable depth - from 1m by the Devolanovskiy descent to 10 meters along the Zhukovsky and Polish street.

2. FEATURES OF THE PROPOSED DESIGN METHOD

In the design of deep pits, arranged in the immediate proximity and below the level of the foundation surrounding structures, special measures are necessary to protect them from possible settlements and deformations.

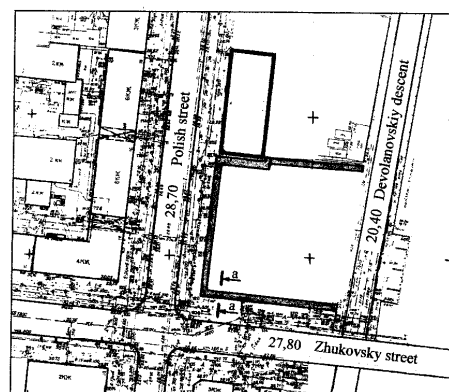


Figure 1. Situational plan of the site with the contours of the pile raft foundation of pit building under construction

One way to protect the pit, the surrounding buildings and traffic intersections is a device sheet pile wall.

Significant and variable on the plan the depth of the pit caused by the terrain of the construction site, has dictated the choice of its enclosure in the form of sheet pile wall unanchoring double row bored piles, whose union on top of monolithic reinforced concrete raft foundation has given the whole structure additional spatial stiffness [2].

A design scheme of this retaining wall is a cantilevered beam having a footing at the base and located in static equilibrium from active and passive pressures of soil. The problem was to determine the depth of setting the size of the wall. Calculation of the adopted wall structure was performed by "elastic line" of Blum-Lomeyer [3].

Due to the complexity of diagrams the thrust and resistance of soil due to its heterogeneity, known Graphic analytical methods used. In the first step of calculating diagrams of the active and passive soil pressures on the wall, taking into account the surface strip load from the existing strip foundation were constructed. The resulting diagrams are divided into individual sections and replaced by concentrated forces. Next the power and rope polygons constructed to these forces of. The torque values are defined by the product of the pole distance to scale forces in the corresponding ordinates of a closed rope polygon to scale lengths. Lower-bound of the current diagram of the passive soil pressure and the calculated depth of wall embedment obtained by the point of intersection the rope-gon with closing the vertical.

The resulting bending torque by method of the elastic line, in our opinion, is too high a value of the possible redistribution of soil pressure caused by the flexible wall. Wherein the pressure decreases in the span and increases in the anchor footing. Therefore, taking into account the rigidity of the wall and the soil characteristics, the maximum torque in the wall adjusted by the accordingly coefficients founded from the graphs given in [2, p. 464].

Checking of the total steadiness of the adopted construction of the partition wall is made by the technical theory of limiting stressed state of soil ground of P.Yakovlev and by the method of Maslov-Bearer [4, 5].

The sequence of work of the zero cycle led to the use of piles of sheet piling as the foundation for the outer walls constructively, thereby significant saving of concrete, reinforcement, time and manpower achieved. Principal scheme of the pile fence and its integration into the building structure are shown in Fig. 2.

In the design came from the fact that two bored piles $\varnothing 350$ mm per 1 m fencing arranged in a transverse direction, should create a couple of forces to perceive the calculated bending torque. Based on this, the force in the reinforcement of single stretched pile must balance the strength in compression of the other pile.

For the perception of the calculated bending torques, taking into account the variability of engineering-geological conditions, variable height of the walls of the pit and loads from the existing building and other structures, the distance between the two rows of piles (magnitude of shoulders) taken: from the Polish street of

the - 1.95 m; from the Zhukovsky Street - 1.95 m and 3.2 m; from the existing residential home - 3.5 m.

At the level of existing blind area piles combined by thick of 600 mm monolithic concrete grillage, which is the reinforcement in the transverse direction is calculated from the condition of the hard crushing and loading of the outer wall.

The length of the bored piles fence confirmed with above calculations and assumed equal to the depth of the pit and the necessary length of their incorporation into the ground. It ranges from 16...18 m, and mark their heels are almost corresponding to marks heel pressed prismatic piles of main field.

Checking the strength of materials piles made of assuming their elastic behavior, based on the magnitude of a possible move of foundation grills in the direction of the pit. The geometrical characteristics given to concrete per meter cross-section of the pile fence - moments of inertia and resistance - were determined for this. It was found that edge stresses in sections of piles are within the boundaries of the calculated resistance of materials, and the horizontal displacements of grillages did not exceed the statutory limits [6].

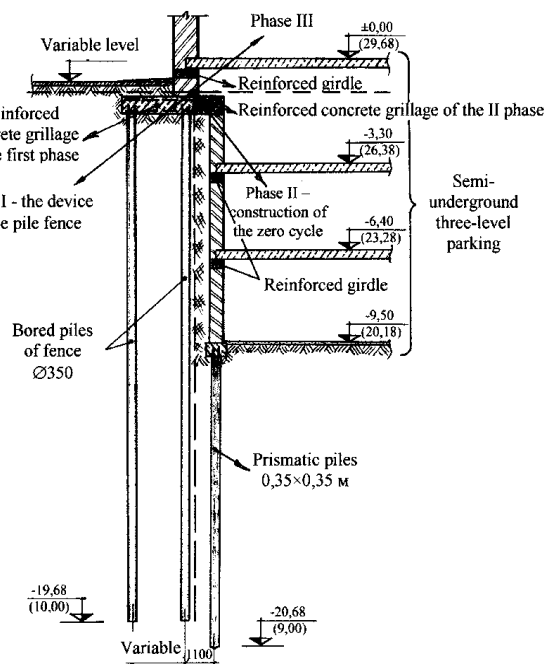


Figure 2. Principal scheme of the device of fencing pit in view of its use in the structural scheme of building under construction (a-a)

The calculation does not take into account the friction forces on the lateral surface of the pile and soil mass work concluded between the piles on shift that has gone into the reserve of strength and stability of fencing pit. The control tests showed that the total carrying capacity of bored fence piles and crushing prismatic piles of the main pile field on the vertical load exceeds the permissible rated load from the outer wall, which confirmed the validity of the accepted decision [7].

To obtain objective quantitative feedback parameters confirming the accuracy of the decisions, as well as for their potential operational adjustments, the construction process, the behavior and the state of the surrounding

buildings and structures geotechnical monitoring was carried out.

Dwelling-house, built using solutions described in this article, normally operated for seven years (Fig. 3).

3. CONCLUSION

Intercalation of enclosing bored piles as an additional power element of resistance to carrier constructive scheme has allowed increasing the efficiency and to optimize the combination of the ratio of operational reliability and cost effectiveness in the construction of multi-storey apartment building with a semi-underground three-level parking.



a)



b)



c)

Figure 3. Dwelling-house with semi-underground three-level parking

4. REFERENCES

- [1] Konovalov, P.A.: Osnovaniya i fundamentey rekonstruirovannykh zdaniy. – Moskva: VNIINTPI, 2000. – 317.
- [2] Osnovaniya, fundamentey i podzemnyye sooruzheniya (Spravochnik proektirovshhika) Gorbunov-Posadov, M.I.; Il'ichev, V.A.; Krutov, V.I.: Pod obshhey redakciej Sorochana, E.A. i Trofimenkova, Ju.G. – Moskva: Strojizdat, 1985. – 480.
- [3] Yakovlev, P.I.; Bibichkov, A.G.; Bibichkov A.A.: Vzaimodejstvie sooruzhenij s gruntom; Nedra, Moskva, 1997.
- [4] Yakovlev, P.I.: Vzaimodejstvie gidrotehniceskikh sooruzhenij s gruntom: uchebnoe posobie, Morteinformreklama, Moskva, 1986.
- [5] Marchenko, M.V.: Veroyatnostnyye podhody k ocenke ustojchivosti osnovanij gidrotehniceskikh sooruzhenij // Visnyk Odes'kogo nacional'nogo mors'kogo universytetu / Zb. nauk. prac'. Vyp. 10 – Odesa: ONMU, 2003.
- [6] SNiP 2.02.03-85. Svajnyye fundamentey./ Gosstroj SSSR. Moskva: CNIITP Gosstroja SSSR, 1986.
- [7] DSTU V.2.1-1-95. Grunty. Metody pol'ovykh vyprobuvan' paljamy / Derzhkommistobuduvannya. Kyjiv, 1997.

Author contact:**Irina Karpiuk, Ph.D.**

Odessa State Academy
of Civil Engineering and Architecture
65029 Odessa, Didrihsona 4, Ukraine
e-mail: irina.carpuk@yandex.ru

Michael Marchenko, Ph.D.

Odessa State Academy
of Civil Engineering and Architecture
65029 Odessa, Didrihsona 4, Ukraine

**Vasil Karpiuk, Doctor of Technical
Sciences, professor**

Vice-rector for scientific and pedagogical
work, International Relations and
European Integration
of Odessa State Academy
of Civil Engineering and Architecture
65029 Odessa, Didrihsona 4, Ukraine
e-mail: irina.carpuk@yandex.ru

Irina Mosicheva

Odessa State Academy
of Civil Engineering and Architecture
65029 Odessa, Didrihsona 4, Ukraine
e-mail: imosicheva@gmail.com

NEKONZERVATIVNI PROBLEMI STABILNOSTI ŠTAPNIH KONSTRUKCIJA

NON-CONSERVATIVE PROBLEMS OF THE STABILITY OF BAR STRUCTURES

Leonid Kolomiets, Viktor Orobey, Aleksandr Lymarenko

Stručni članak

Sažetak: U članku je predstavljen algoritam za korištenje numeričko-analitičke verzije metode graničnih elemenata (MGE) za rješavanje nekonzervativnih problema stabilnosti štapnih konstrukcija kao što su kontinuirane grede i ravninski okviri. Cilj ovog rada je proučiti ponašanje kompleksnih mehaničkih sustava pod djelovanjem nekonzervativnih tlačnih sila. Slični problemi se javljaju u visoko opterećenim konstrukcijama te je karakter njihovog ponašanja od velikog znanstvenog značaja. Pri rješavanju nekonzervativnih problema korištena je dinamička metoda i algoritam MGE. Pokazano je da je ponašanje složenih štapnih konstrukcija pod djelovanjem tlačnih nekonzervativnih sila kvalitativno se razlikuje od ponašanja pojedinačnih stupova i greda. Rezultati rada dopunjuju i proširuju znanje o ponašanju različitih konstrukcija što se može iskoristiti u razradi projektnih rješenja u visokotlačnim cjevovodima, izgradnji strojeva, avio i brodogradnji, gradnji raketa, u izgradnji bušaćih strojeva i sl. Proračuni kritičnih sila napravljeni su u programu MATLAB.

Ključne riječi: MATLAB, metoda graničnih elemenata, nekonzervativni problem stabilnosti, štapnih sustavi

Professional paper

Abstract: An algorithm for the use of numerical-analytic version of boundary element method (MGE) for solving the problems of stability of non-conservative bar systems such as continuous beams and plane frames is presented. The aim of this work is to learn the behavior of complex mechanical systems, loaded with non-conservative compressive forces. Similar problems occur in heavily loaded structures and their behavior is of great scientific and practical importance. Dynamic method and algorithm of MGE are applied in solving the non-conservative stability problems. It is shown that the behavior of complex systems under the action of the bar non-conservative compressive forces are qualitatively different from the behavior of individual bars and beams. The results of the work complement and extend the knowledge about the behavior of different designs that can be used in such design solutions as high-pressure pipelines, machine building, aerospace, shipbuilding, rocket, on drilling rigs, etc. Calculations of the critical forces are made in the MATLAB environment.

Keywords: boundary element method, MATLAB, non-conservative problems of stability, rod system

1. INTRODUCTION

Mechanical systems with non-conservative forces are widely used in the life of modern society. Systems with internal sources of energy can be attributed to such systems: these are rockets, planes, space stations, oil derricks and platforms, turbines, internal combustion engines, metal-cutting machines, various cranes, high-pressure pipelines and etc.

The conservative problems of the stability can be solved only with a static method while the non-conservative tasks can be served with the help of dynamic method only [1]. The main element of BEM for the dynamic method is solution of Cauchy problem for the bar lateral oscillations considering the longitudinal force. The given solution is convenient to be introduced in the matrix form [1].

$$\begin{array}{|c|} \hline EI \vartheta(x) \\ \hline EI \varphi(x) \\ \hline M(x) \\ \hline Q(x) \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline A_{11} & A_{12} & -A_{13} & -A_{14} \\ \hline A_{21} & A_{11} & -A_{23} & -A_{13} \\ \hline -A_{31} & -A_{21} & A_{33} & A_{23} \\ \hline -A_{41} & -A_{31} & A_{43} & A_{33} \\ \hline \end{array} + \int_0^x \begin{array}{|c|} \hline A_{14}(x-\xi) \\ \hline A_{13}(x-\xi) \\ \hline -A_{23}(x-\xi) \\ \hline -A_{33}(x-\xi) \\ \hline \end{array} q(\xi) d\xi, \quad (1)$$

where fundamental orthonormalized functions have the following view:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= \frac{\beta^2 \operatorname{ch} \alpha x + \alpha^2 \sin \beta x}{\alpha^2 + \beta^2}; \\
 A_{12} &= \frac{\beta^3 \operatorname{sh} \alpha x + \alpha^3 \sin \beta x}{\alpha^3 \beta + \alpha \beta^3}; \quad A_{13} = \frac{\operatorname{ch} \alpha x - \cos \beta x}{\alpha^2 + \beta^2}; \\
 A_{14} &= \frac{\beta^2 \operatorname{sh} \alpha x - \alpha \sin \beta x}{\alpha^3 \beta + \alpha \beta^3}; \quad A_{21} = \alpha^2 \beta^2 A_{14}; \\
 A_{23} &= \frac{\alpha \operatorname{sh} \alpha x + \beta \sin \beta x}{\alpha^2 + \beta^2}; \quad A_{31} = \alpha^2 \beta^2 A_{13}; \quad (2) \\
 A_{33} &= \frac{\alpha^2 \operatorname{ch} \alpha x + \beta^2 \cos \beta x}{\alpha^2 + \beta^2}; \quad A_{41} = \alpha^2 \beta^2 A_{23}; \\
 A_{43} &= \frac{\alpha^3 \operatorname{sh} \alpha x - \beta^3 \sin \beta x}{\alpha^2 + \beta^2}; \\
 \alpha &= \sqrt{-\frac{F}{2EI} + \sqrt{\left(\frac{F}{2EI}\right)^2 + \frac{\omega^2 m}{EI}}}; \\
 \beta &= \sqrt{\frac{F}{2EI} + \sqrt{\left(\frac{F}{2EI}\right)^2 + \frac{\omega^2 m}{EI}}}.
 \end{aligned}$$

Expressions (2) proceed to the famous A.N. Krylov functions at $F = 0$.

In contrast to the static method, critical force in the dynamic method is defined in the point where two neighboring frequencies of free oscillations become equal (merge). Therefore, the initial data of compressing force is input in the program and frequencies (at least two) of free oscillations from the BEM frequency equation are defined [2],

$$|A_*(F, \omega)| = 0 \quad (3)$$

where $A_*(F, \omega)$ – is the frequency matrix of the bar structures built according to the BEM algorithm. Then the value of the compressing force is increased and the frequency change is backtracked. The process continues until two neighboring frequencies become equal with the certain precision. At the same time, the value of the compressing force will be critical and the whole process of its identification is comfortable to be presented in the form of diagrams.

2. ANALYSIS OF RECENT RESEARCHES AND PUBLICATIONS

Literature analysis on solution of non-conservative problems of steadiness shows [1], that behavior of complex bar systems such as continuous beams and frames. Therefore, let us show BEM algorithm ideally suits for identical problem-solving models with any structure of elastic system. A random set of bars can be a

model of the object. Each of those bars can have an infinite number of degrees of freedom. Moreover, displacement, rotation inertia, inside and inner friction, optional laws of mass and rigidity change, longitudinal forces and other factors. Non-conservativeness of compressing forces in BEM is considered with a proper formulation of boundary conditions for an elastic system. Boundary conditions are non-linear for a separate bar and are linearized considering a smallness of proper dislocation, i.e. the equalities are true.

$$\sin \psi = \operatorname{tg} \psi = \psi; \quad \cos \psi = 1, \quad (4)$$

where ψ – is an angle between the force of F and a normal to the bar axis (Fig. 1).

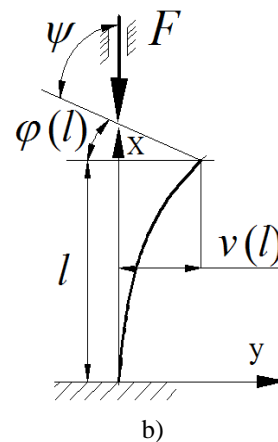
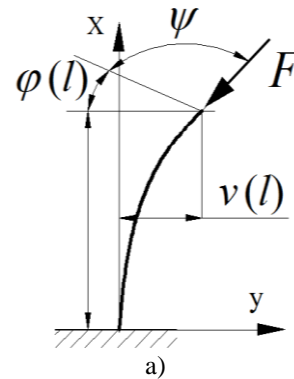


Figure 1. Alternatives of behavior for the compressing non-conservative forces: a) following up the rotation angle of the beam section; b) the force of F has a fixed line of action

Boundary conditions for the force of F in Fig.1, a are quite simple:

$$\begin{aligned}
 \psi &= \frac{\pi}{2}; \quad EI v(l) \neq 0; \quad EI \phi(l) \neq 0; \\
 M(l) &= 0; \quad Q(l) = 0
 \end{aligned} \quad (5)$$

In boundary section of the beam for the force of F in Fig.1, b there arise the bending moment and shear.

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \varphi(l); EIv(l) \neq 0; EI\varphi(l) \neq 0; \tag{6}$$

$$M(l) = Fv(l); Q(l) = F \sin \varphi(l)$$

If non-conservative pressure forces are applied to the assemblies of continuous beams and frames, then their behavior should be considered with boundary conditions of bars that are a part of this assembly. Let us review the tasks of bar structures stability on the force application in Fig.1.

3. THE PURPOSE OF WORK

The purpose of work is to solve new non-conservative tasks of continuous beams and plate frames and learn the behavior of these systems at the

application of increasing non-conservative compressing forces.

4. MAIN PURPOSE OF THE ARTICLE

Continuous beam (Figure 2). According to the BEM [1] algorithm, it is divided into separate bars, assemblies are numerated and the start and end of each bar are marked with arrows. Then the matrices of initial and finite beam parameters are formed. These matrices consider the end conditions, boundary conditions and a connection between the boundary elements in assemblies.

Load non-conservativeness in Fig. 2, a is shown in the Matrix Y in the rows from 13 to 16. If we transfer all parameters from Y to the matrix X*, we will receive the matrix A*(F, ω) of equation (3) for the given beam.

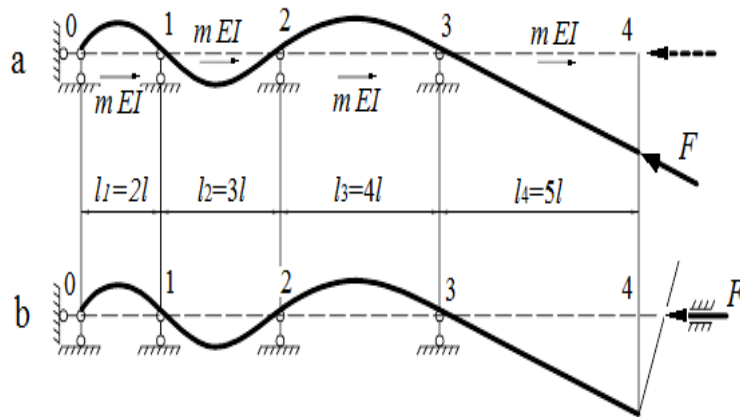


Figure 2. Continuous beam loaded with non-conservative forces

$$X_* = \begin{matrix} 1 & EIv_{(0)}^{0-1} = 0; Q_{(0)}^{0-1}(l_1) \\ 2 & EI\varphi_{(0)}^{0-1} \\ 3 & M_{(0)}^{0-1} = 0; Q_{(0)}^{1-2}(l_2) \\ 4 & Q_{(0)}^{0-1} \\ 5 & EIv_{(0)}^{1-2} = 0; Q_{(0)}^{2-3}(l_3) \\ 6 & EI\varphi_{(0)}^{1-2} \\ 7 & M_{(0)}^{1-2} \\ 8 & Q_{(0)}^{1-2} \\ 9 & EIv_{(0)}^{2-3} = 0; EIv_{(l_4)}^{3-4} \\ 10 & EI\varphi_{(0)}^{2-3} \\ 11 & M_{(0)}^{2-3} \\ 12 & Q_{(0)}^{2-3} \\ 13 & EIv_{(0)}^{3-4} = 0; EI\varphi_{(l_4)}^{3-4} \\ 14 & EI\varphi_{(0)}^{3-4} \\ 15 & M_{(0)}^{3-4} \\ 16 & Q_{(0)}^{3-4} \end{matrix} ; Y = \begin{matrix} 1 & EIv_{(l_1)}^{0-1} = 0 \\ 2 & EI\varphi_{(l_1)}^{0-1} = EI\varphi_{(0)}^{1-2} \\ 3 & M_{(l_1)}^{0-1} = M_{(0)}^{1-2} \\ 4 & Q_{(l_1)}^{0-1} \\ 5 & EIv_{(l_2)}^{1-2} = 0 \\ 6 & EI\varphi_{(l_2)}^{1-2} = EI\varphi_{(0)}^{2-3} \\ 7 & M_{(l_2)}^{1-2} = M_{(0)}^{2-3} \\ 8 & Q_{(l_2)}^{1-2} \\ 9 & EIv_{(l_3)}^{2-3} = 0 \\ 10 & EI\varphi_{(l_3)}^{2-3} = EI\varphi_{(0)}^{3-4} \\ 11 & M_{(l_3)}^{2-3} = M_{(0)}^{3-4} \\ 12 & Q_{(l_3)}^{2-3} \\ 13 & EIv_{(l_4)}^{3-4} \\ 14 & EI\varphi_{(l_4)}^{3-4} \\ 15 & M_{(l_4)}^{3-4} = 0 \\ 16 & Q_{(l_4)}^{3-4} = 0 \end{matrix} \tag{7}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1		A ₁₂		-A ₁₄												
2		A ₁₁		-A ₁₃		-1										
3		-A ₂₁		A ₂₃			-1									
4	-1	-A ₃₁		A ₃₃												
5						A ₁₂	-A ₁₃	-A ₁₄								
6						A ₁₁	-A ₂₃	-A ₁₃		-1						
7						-A ₂₁	A ₃₃	A ₂₃			-1					
8			-1			-A ₃₁	A ₄₃	A ₃₃								
9										A ₁₂	-A ₁₃	-A ₁₄				
10										A ₁₁	-A ₂₃	-A ₁₃		-1		
11										-A ₂₁	A ₃₃	A ₂₃			-1	
12					-1					-A ₃₁	A ₄₃	A ₃₃				
13									-1					A ₁₂	-A ₁₃	-A ₁₄
14													-1	A ₁₁	-A ₂₃	-A ₁₃
15														-A ₂₁	A ₃₃	A ₂₃
16														-A ₃₁	A ₄₃	A ₃₃

(8)

For the case of applying force of F according to Fig. 2, b, there will be added next elements to the matrix

$$A_*(15,9) = -\frac{F}{EI}; A_*(16,13) = -\frac{F}{EI}. \quad (9)$$

Let us review a plane frame, which studdings 4 times longer than cross-bars with the same masses of *m* and rigidity of *EI* (Fig.3). Similarly, when building matrices

with initial and finite data and considering boundary data and frame topology, we will come to a dynamic stability matrix (10) for the frame in Fig. 4, a. Calculation of inertia force of linear movable bars 0-1 and 1-2 leads to the increase of the bars 1-3 and 4-2 distributed mass, i.e. m_*^{1-3} and m_*^{4-2} [3].

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		B ₁₂		-B ₁₄																
2		B ₁₁		-B ₁₃													-1			
3		-λ ⁴ B ₁₄		B ₁₂				1										-1		
4		-λ ⁴ B ₁₃		B ₁₁				-1												-1
5										-1										1
6							B ₁₂	-B ₁₃	-B ₁₄											
7							B ₁₁	-B ₁₂	-B ₁₃											
8	-1						-λ ⁴ B ₁₄	B ₁₁	B ₁₂											
9			-1				-λ ⁴ B ₁₃	λ ⁴ B ₁₄	B ₁₁											
10					-1					1										
11													-B ₁₃	-B ₁₄		1				
12													-B ₁₂	-B ₁₃						
13													B ₁₁	B ₁₂						
14													λ ⁴ B ₁₄	B ₁₁						
15															1					
16																A ₁₁	A ₁₂	-A ₁₃	-A ₁₄	
17																A ₂₁	A ₁₁	-A ₂₃	-A ₁₃	
18																-A ₃₁	-A ₂₁	A ₃₃	A ₂₃	
19																-A ₄₁	-A ₃₁	A ₄₃	A ₃₃	
20																				1

(10)

Here we should use A.N. Krylov functions from the bars that are free from compressing forces:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{\omega^2 m}{EI}}; B_{11} = \frac{\text{ch}\lambda x + \cos \lambda x}{2}; B_{12} = \frac{\text{sh}\lambda x + \sin \lambda x}{2\lambda}; B_{13} = \frac{\text{ch}\lambda x - \cos \lambda x}{2\lambda^2}; B_{14} = \frac{\text{sh}\lambda x - \sin \lambda x}{2\lambda^3}; \quad (11)$$

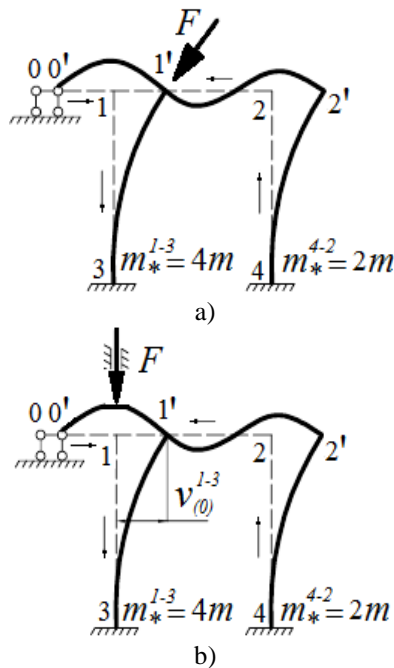


Figure 3. Plane frame: a) force of F follows up the assembly rotation angle 1; b) force of F has a fixed action line.

As in the case with continuous beam, force of F consideration in accordance with Fig. 3, b leads to extension of elements:

$$A_*(3,16) = -\frac{F}{EI}; A_*(5,17) = -\frac{F}{EI}.$$

4. RESULTS

Diagrams representing the changes in frequencies of beam free oscillations during force of F increase are provided in Fig. 4.

The calculations are made in the MATLAB environment at $m = EI = l = 1$ [4]. From the diagrams in Fig.4 it follows that two types of compressing forces lead to the same behaviour of continuous beam. First ensues buckling mode due to non-conservative forces (flatter or divergence) and then, if the beam is not destroyed, comes Euler's buckling mode. Critical non-conservative forces are $0,65/0,06468=10$ times higher than the first critical force of beam compared to Gallilei's "dead" force.

The relationships between compressing forces and frequencies of free oscillations are provided in Fig.5 (the calculations are made in the MATLAB environment at $m = EI = l = 1$ [4]).

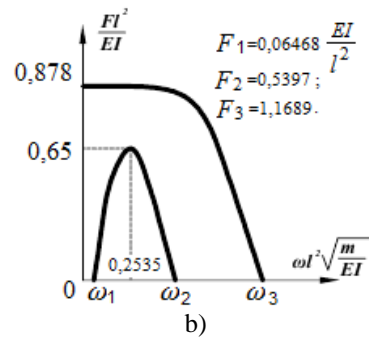
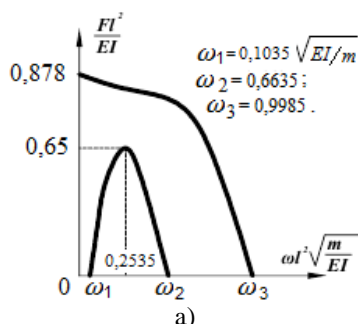


Figure 4. Dependencies of the beam oscillation frequency from compressing forces: a) - force follows the slope of the elastic curve; b) force has a fixed line of action.

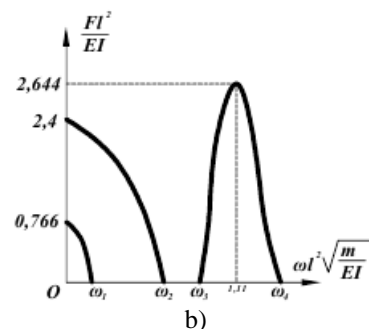
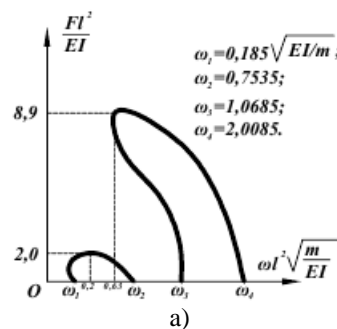


Figure 5. Dependencies of the frame oscillation frequency from compressing forces: a) force follows up the assembly rotation angle 1; b) force has a fixed line of action.

5. REFERENCES

- [1] Daschenko, A.F.: Chislennno-analytycheskiy method granichnykh elementov / A.F. Daschenko, L.V. Kolomiets, V.F. Orobey, N.G. Surjaninov. – Odessa: BMB, 2010. – T. 1. – 416 p.
- [2] Bagenov, V.A.: Chislennyye metody v mehanike / Bagenov, V.A.; Daschenko, A.F.; Kolomiets, L.V.; Orobey, V.F.; Surjaninov, N.G.: – Odessa: "Standart", 2005. – 564 p.
- [3] Orobey, V.F.: Raschet arok na ustoychivost metodom granichnih elementov. / Orobey, V.F.; Dashchenko, A.F.; Lymarenko, A.M.: Odessa national maritime university, Khmelnskiy national universi-ty, Reseach and production magazine Problem technology. – Odessa, 2009. – p. 114 – 123.

- [4] Orobey, V.F.: Primenenie chislennih metodov k raschetu sudovih konstrukciy / Orobey, V.F.; Nemchuk, A.O.; Lymarenko, A.M.: Odessa national maritime university – Odessa, 2009 – p. 85-91.

Author contact:

Professor Leonid Kolomiets

Rector Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality
65020 Odessa, Kuznechnaya 15, Ukraine
odivt@list.ru

Professor Viktor Orobey

Odessa National Polytechnic University
65044 Odessa, pr-t Shevchenko, 1, Ukraine
orvict@mail.ru

Associate professor Aleksandr Lymarenko

Odessa National Polytechnic University
65044 Odessa, pr-t Shevchenko, 1, Ukraine
aml28@mail.ru

PREDVIĐANJE DUGOTRAJNOSTI STUPOVA NA TEMELJU KRITERIJA KARBONIZACIJE BETONA I KOROZIJE ARMATURE

PREDICTING THE DURABILITY OF THE COLUMNS ON THE CRITERION OF CONCRETE CARBONATION AND CORROSION OF REINFORCEMENT

Klimenko E.V., Korol N.D., Korol I.V., Kos Ž.

Prethodno priopćenje

Sažetak: Članak opisuje ovisnost realne čvrstoće cementa o koeficijentu difuzije ugljik dioksida ovisno o temperaturi i vlažnosti okoliša. Izračuni su rađeni za vrijeme karbonizacije betona i koroziju zaštitnog sloja armature betonskih stupova. Predloženi odnosi mogu se povoljno koristiti u predviđanju dubine karbonizacije betona.

Ključne riječi: beton, betonski stupovi, koeficijent difuzije, ugljik dioksid, vrijeme karbonizacije

Preliminary communication

Abstract: This paper describes the dependence of the strength of the concrete in regards to the diffusion coefficient of carbon dioxide in dependence to the temperature and humidity of the environment. Calculations are designed for the time of carbonation of concrete and the corrosion of the reinforcement's protective layer in concrete columns. The proposed relationships can advantageously be used in predicting the depth of carbonation of concrete works.

Key words: diffusion coefficient, carbon dioxide, time carbonation, concrete, concrete columns

1. INTRODUCTION

The relevance of this article is to clarify the methods of predictions and development of technological ways to improve the durability of the columns on the criterion of carbonation of concrete and reinforcement corrosion.

One of the causes of the failure of the concrete columns of buildings and structures is the corrosion of reinforcement. It manifests itself most severely in structures subjected to constant exposure to atmospheric or technogenic water. However, as practice shows the exploitation of buildings and structures for various purposes, even in the absence of concrete moisture, shows with time that corrosion of reinforcement occurs.

The main reason for the beginning of the steel reinforcement corrosion is termination of the passive action of the protective layer of concrete.

Alkaline environment of fresh concrete (pH~12 ... 13) with time reduces the alkalinity (acidity) due to the passage of the carbonation process of concrete components with carbon dioxide. As a result of such exposure, the carbonation of concrete cover occurs and creates the initial conditions for the further development of corrosion processes on the surface of the steel reinforcement (Fig. 1).

A feature of the carbonization process is that at subzero temperatures it practically ceases the interaction of CO₂ with the active components that are dissolved in the pore liquid of the concrete.

This is due to the fact that the smallest pores, where the unfrozen capillary moisture is stored, are not available for the diffusion of CO₂ gas and limestone because the matrix goes into crystal hydrate even at -0.150°C.

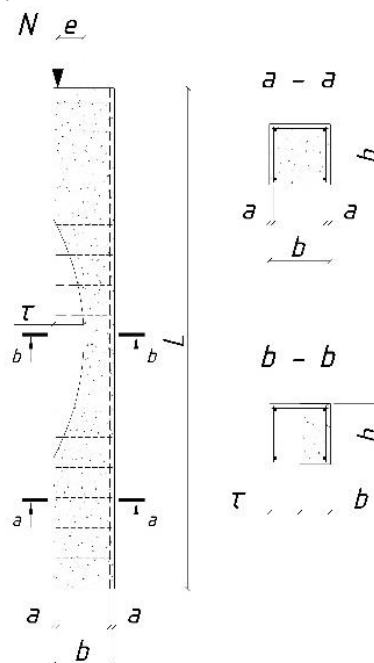


Fig. 1. Reinforced concrete column with damaged part in the middle section

During carbonization the carbon dioxide from air penetrates into concrete pores and capillaries, dissolves itself in the pore liquid and reacts with the limestone to form calcium carbonate. The process can continue until the consumption of limestone in the carbonized layer of concrete and the expansion of the calcium silicate and hydroaluminates is complete.

2. CALCULATION

In calculation of concrete carbonation time in natural environments, only the period of positive temperature is taken into consideration. The period with negative temperature is not considered.

On the basis of experimental data obtained according to the calculation the effective coefficient of diffusion as a function of the most important parameters - the relative humidity of the air and water-cement ratio, characterizing the structure of concrete and its permeability (the accessibility of the internal surface of the concrete):

$$\text{at } \varphi = 60\% \quad D_0 = 10^{-4} \quad (1)$$

$$10(WC - 0.4) / 0.27$$

$$\text{at } \varphi = 90\% \quad D_0 = 10^{-4} \quad (2)$$

$$10(WC - 0.7) / 0.2$$

where D_0 - the effective diffusion coefficient of carbon dioxide in concrete; WC - water-cement ratio of concrete.

Taking the linear interpolation for the influence of ambient air humidity and water-cement ratio of concrete to the value of effective diffusion coefficient at W/C = 0.5 for the effective diffusion coefficient of carbon dioxide in the range of relative humidity (60-90)% an expression is obtained:

$$D_\varphi(60 - 90) = 1 \times 10^{-5} + 0,333 \times 10^{-5}(90 - \varphi); \quad (3)$$

where $D_\varphi(60 - 90)$ - the effective diffusion coefficient of carbon dioxide in the concrete at a relative humidity in the range 60 - 90%; φ - relative humidity of ambient air, %.

The formula to calculate the time (year), carbonation of concrete reinforcement of the protective layer is given by:

$$\tau_{\text{carb}} = \frac{a}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (4)$$

where a - the value of the concrete protective layer; $\sum_{i=1}^n y_i$ - the depth of concrete protective layer carbonation for one calendar year; y_i - the depth of carbonation of concrete protective layer for the i -th month with positive temperature:

$$\delta_s = \sqrt{\frac{2D_i C_0 \tau_i}{m_0}}; \quad (5)$$

where D_i - the effective diffusion coefficient CO_2 in the concrete in the i -th month, depending on the temperature and humidity of outside air; C_0 - volume concentration of gas, %; τ_i - interaction time during the month under review; m_0 - the reactivity of the of concrete.

Influence of temperature on the value of the effective diffusion coefficient is possible to consider using the dependency ε_T :

$$D = D_0 \varepsilon_T; \quad (6)$$

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{273+t}{273}\right)^{1.75}; \quad (7)$$

where D_0 - gas diffusion coefficient in concrete at $t=0$ $^\circ\text{C}$; t - ambient temperature, 0°C .

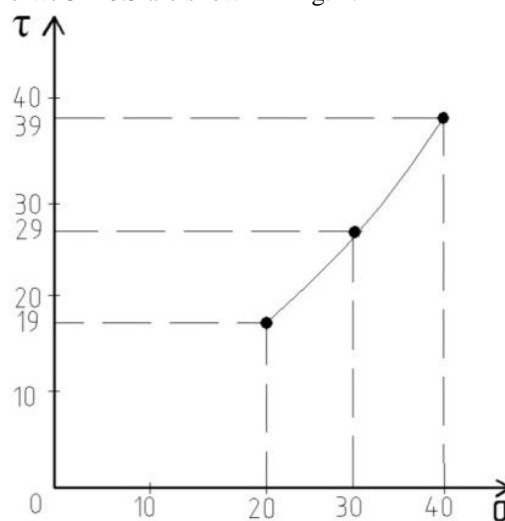
Using the obtained dependences we can estimate time of protective layer of concrete carbonation in columns. Nominal characteristics of the protective layer of concrete columns and the concentration of carbon dioxide, according to the adopted regulatory documents [1, 2] following - Consumption of cement 250 kg/m³, the protective layer - 30 mm, taking into account possible deviations in the nominal characteristics of the concrete protective layer from the designed concrete durability of the protective layer on the criterion of carbonization.

These calculations according to (5) indicate that the speed of carbonation of the concrete protective layer is 1.04 mm / year using the 250 kg / m³ of portland cement and 0.95 mm / year when the content of Portland cement is 300 kg / m³.

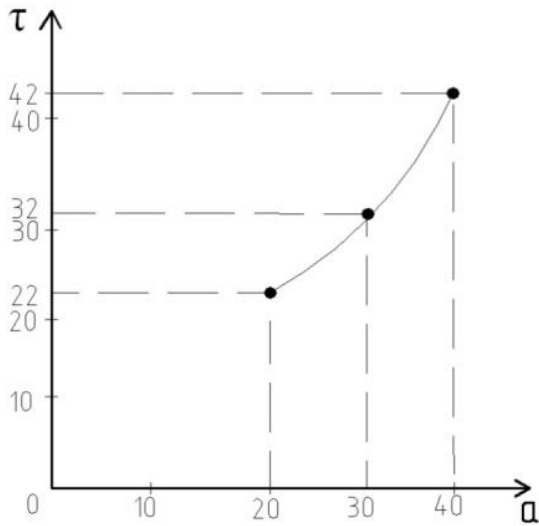
Consequently, according to relation (4) the carbonation time of concrete protective layer of 20 mm is 19 years, 30 mm - 29 years, 40 mm - 39 years at the Portland cement content of 250 kg / m³ and WC = 0,5.

When Portland cement content is 250 kg / m³ and WC = 0,5, the carbonation time of concrete protective layer of 20 mm is 22 years, 30 mm - 32 years and 40 mm - 42 years.

Graphs containing the carbonation of concrete protective layer of examined columns with portland cement content of 250 and 300 kg/m³ and water-cement ratio W/C = 0.5 are shown in Fig. 1.



a) 250 kg/m³



b) 300 kg/m³

Fig. 2. Time of concrete cover carbonation τ_1 with portland cement content of kg/m³

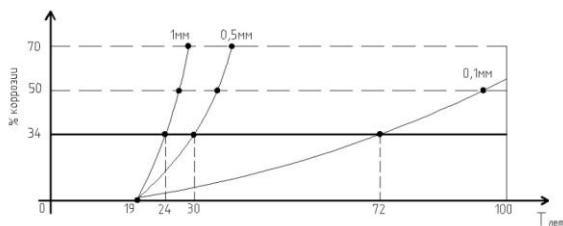
For buildings with service life of 50 years or more, according to the results of the calculation, it is possible to expect the full carbonation of concrete protective layer even when the deviation of nominal parameters of the concrete protective layer is a favorable (increases).

Therefore, there is a real danger of the beginning of reinforcing steel connections depassivation process and appearance of corrosion of the reinforcement.

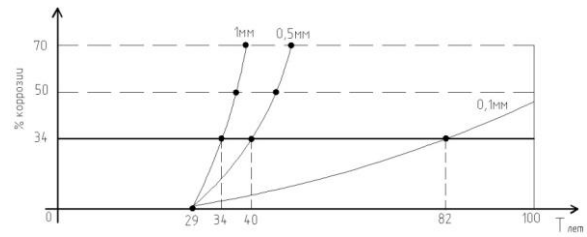
When depassivation reinforcement in concrete as a result of concrete neutralization of acidic gases and certain conditions (presence of oxygen and moisture), the reinforcement steel can intensively corrodate, with speed of corrosion of 0,1 – 1 mm/year.

Depassivation of the steel surface begins only by carbonation of concrete under the influence of carbon dioxide or neutralization of concrete when exposed to other acidic gases. Until the depassivation of steel reinforcement surface, its corrosion is excluded.

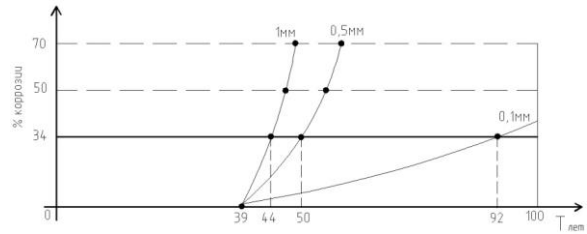
A study of the steel corrosion kinetics is carried out under the following variations of factors: the protective layer cover - 20, 30, 40 mm; Portland cement consumption - 250 to 300 kg/m³, speed of uniform surface corrosion of reinforcement - 0.1, 0.5, 1 mm/year Fig. 3, 4.



a) a = 20 mm

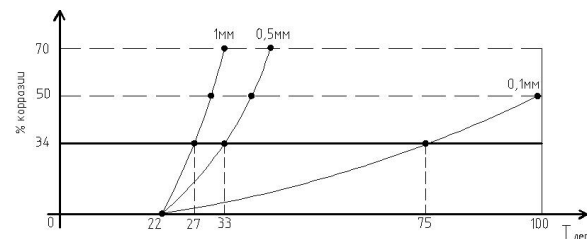


b) a = 30 mm

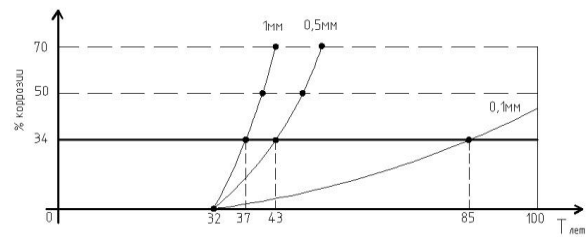


c) a = 40 mm

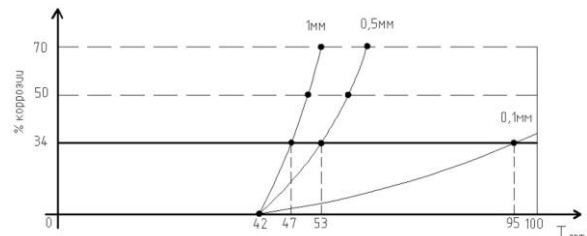
Fig. 3. The value of reinforcement corrosion, depending on the lifetime and corrosion rate of steel at Portland cement consumption of 250 kg/m³ and the thickness of concrete protective layer.



a) a = 20 mm



b) a = 30 mm



c) a = 40 mm

Fig. 4. The value of reinforcement corrosion, depending on the lifetime and corrosion rate of steel at Portland cement consumption of 300 kg/m³ and the thickness of concrete protective layer.

Table. 1 shows the average data from various literature sources for the carbonation depth of concrete cover for concrete of different compressive strength in last 50 years.

Table 1 Average data of carbonation protective layer depth for past 50 years

Source	The depth of carbonation [mm], at concrete strength [MPa]				
	Up to 25	30	37	45	60
Hamada M. [4]	24-85	20-70	16-57	13-47	10-35
Smolchik H.G. [5]	24,5- 46	21,4- 33,5	-	10,2- 21,7	0- 13,7
Kondo R. et.al. [6]	-	-	-	33	22
Schneider U. et.al. [7]	-	-	69,4	-	52
Nizh [8]	25-54	21-33	-	9-22	0-18

Data presented in Table 1 have considerable dispersion of values of carbonation depth in the range of strength of concrete which indicates considerable heterogeneity of concrete, different conditions of their production and experimenting.

3. CONCLUSION

1. On the basis of previously developed theoretical data on the mechanism of interaction of acid gases with active components of the cement stone, here is proposed an estimation method for the durability of concrete columns protective layer on the criterion of carbonization taking into account temperature and humidity obtained by the expression (3) for the effective diffusion coefficient of carbon dioxide, which allows to take into account the humidity of air.

There were also obtained relations (4), (5) to calculate the time of carbonation of the concrete protective layer of a certain thickness.

2. Calculations to predict the time of protective layer carbonization are formed (with thickness of 20, 30, 40 mm) with Portland cement consumption - 250 to 300 kg/m³ and water-cement ratio (W/C) of 0,5.

Results of the calculations indicate that the durability range of the concrete protective layer for these input data is 19 - 42 years. Taking into account the actual life of the building (about 50 years) there is a real danger of reinforcement depassivation and early corrosion of the reinforcement in columns.

4. REFERENCES

- [1] ДСТУ В.2.6-156:2011 «Бетонні та залізобетонні конструкції» - Київ: Мінрегіонбуд України, 2011
 [2] ДБН В.2.6-98~2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції» - Київ: Мінрегіонбуд України, 2009

- [3] ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. «Навантаження та впливи, норми проектування». – Київ: Укрархбудінформ, 2006, 79с.
 [4] Хамада, М.: Карбонизация бетона и коррозия арматурной стали /М. Хамада // Пятый Междунар. конгресс по химии цемента / под общ. ред.О.П. Мчедлова-Петросяна и Ю.М. Бутта. – М., 1973. – С. 306–307.
 [5] Смольчик, Х.Г.: Дискуссия / Смольчик, Х.Г. // Пятый Междунар. конгресс по химии цемента / под общ. ред. О.П. Мчедлова-Петросяна и Ю.М. Бутта. – М., 1973. – С. 308.
 [6] Кондо, Р.: Механизм и кинетика карбонизации затвердевшего цемента / Р. Кондо, М. Даймон, Т. Акиба // Пятый Междунар. конгресс по химии цемента / под общ.ред. О.П. Мчедлова-Петросяна и Ю.М. Бутта. –М., 1973. – С. 309–310.
 [7] Schnieder, U.: Durability of High Permacne (HPC) Compared with Normal Concret / U. Schnieder, G. Scherpke, E. Stangl // Durable Reinforced Concrete Structures. – Aedificatio Publishers, 1998. – P. 3–31.
 [8] Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский Промстрой НИИпроект. – М.: Стройиздат, 1990. – 62 с.

Kontakt autora:

Professor Evgenij Klimenko, Doctor of technical science

Vice-rector for scientific work

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

65029 Odessa, Didrihsona 4, Ukraine

isi@ogasa.org.ua

Željko Kos, spec.ing.aedif

predavač

University North, Department for Civil Engineering,

Varaždin, Croatia

ANALIZA NADZORA SUSTAVA UPRAVLJANJA KVALITETOM OD STRANE NAJVIŠEG VODSTVA ORGANIZACIJE

ANALYSIS OF SUPERVISION OF THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FROM THE HIGHEST MANAGEMENT OF AN ORGANIZATION

Branislav Bojanić

Pregledni rad

Sažetak: Rad opisuje postupak provedbe nadzora sustava upravljanja kvalitetom od strane najvišeg vodstva poduzeća. Kroz opis ulaznih elemenata, njihovu analizu i donošenje zaključaka, definiran je postupak s ciljem cjelovitog sagledavanja i ocjene efikasnosti i učinkovitosti sustava kvalitete u praksi. Kako istraživanja pokazuju ovaj postupak nadzora često se svodi na formalnu provedbu i bez ozbiljnijih rezultata. Autor se nada da će članak dati svoj doprinos unapređenju funkcioniranja sustava upravljanja kvalitetom u proizvodnim i uslužnim organizacijama.

Ključne riječi: Sustav upravljanja kvalitetom, preispitivanje SUK-a.

Review article

Abstract: This article explains the procedure of executing supervision of the quality management system from the highest management of an organization. Through the description of input element, their analysis and conclusion procedure, a process is defined with a goal of seeing the big picture, efficiency assessment and effectiveness of a quality system in praxis. Author hopes that the article will contribute to improving the functioning of quality control systems in production and service companies.

Key words: quality control system, review of the QCS

1. UVOD

Za učinkovit sustav upravljanja kvalitetom (SUK) trebaju biti ispunjena sljedeća tri uvjeta: sustav mora postojati, sustav mora biti operativan (mora biti održavan) i sustav mora biti efikasan (moraju se pokretati mjere poboljšavanja).

Sustav postoji ukoliko je implementiran u sve procese, odnosno ukoliko se može sagledati i prikazati te ukoliko ga razumiju svi zaposlenici, a najviše vodstvo podržava svim potrebnim resursima. Da bi se sustav upravljanja kvalitetom sagledao i prikazao, mora imati jasnu strukturu te mora imati dokumentirane postupke i ostalu potrebnu dokumentaciju koja mora biti raspoloživa na mjestima korištenja [3].

Nakon učinkovito provedenih postupaka implementacije sustava upravljanja kvalitetom potrebno je provoditi postupke njegovog održavanja. Nekad je lakše provesti postupke ustroja i primjene od postupaka održavanja efikasnog sustava. Ako se ne provode, primjerice, mjere kontrole, nadzora ili analiza, moguće je s velikom vjerojatnošću očekivati da će efikasnost dobro ustrojenog sustava ići prema dolje. Sve te aktivnosti treba promatrati kao sustavni način potvrđivanja da je sustav upravljanja kvalitetom definiran i shvaćen na odgovarajući način, da se primjenjuje i da osigurava odgovarajući stupanj pouzdanosti i sigurnosti. Iz tih

razloga nadzori, provjere, kontrole i sl. predstavljaju jednu od najznačajnijih komponenti sustava upravljanja kvalitetom jer je njihov rezultat dokumentirani zapis i dokaz da je sustav efikasan i da se u njemu otkrivaju i uočavaju nesukladnosti. Kad se nesukladnosti konstatiraju, sustav mora osigurati alate i metode te potrebne resurse za njihovo otklanjanje te poduzimanje procijenjenih korektivnih i preventivnih aktivnosti.

Uspješni sustavi upravljanja kvalitetom zahtijevaju sustavne, formalne, stalne i dokumentirane nadzore s planiranim povratnim nadzorima u cilju provjere primjene poduzetih preventivnih ili korektivnih mjera, odnosno njihove učinkovitosti kako se uočene nesukladnosti ne bi ponovile i kako bi se spriječila pojava drugih mogućih nesukladnosti [7].

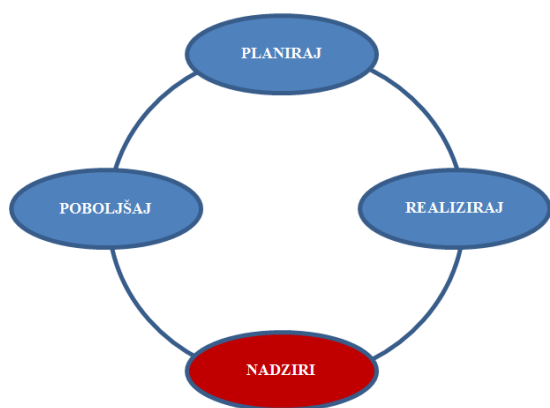
2. POJAM NADZORA U SUSTAVU UPRAVLJANJA KVALITETOM

Aktivnosti nadzora su postupci prikupljanja podataka koji se zasnivaju na objektivnim i nepristranim dokazima. Njihovom planiranom i koordiniranom provedbom:

- rukovodstvu se osiguravaju jasne i objektivne informacije o proizvodima, procesima i funkcioniranju sustava,

- poboljšavaju se interne i eksterne komunikacije u poduzeću te organizacija rada,
- poboljšavaju se postupci pokretanja preventivnih i korektivnih aktivnosti koje rješavaju ili sprječavaju pojavu nesukladnosti na proizvodima ili u procesima,
- djeluje se na kritična mjesta u sustavu gdje bi se mogli pojaviti problemi,
- doprinosi se podizanju svijesti o kvaliteti kod svih zaposlenika i dr.

Na slici 1 prikazan je krug kvalitete. Vrlo važna aktivnost u krugu kvalitete je aktivnost **nadziranja** kojom se kontrolira i ocjenjuje u kojoj mjeri se realiziraju planirane aktivnosti, odnosno kako sustav kvalitete funkcionira i gdje su njegove slabe točke. Na osnovu informacija dobivenih nadzorom i provjerom poduzimaju se mjere poboljšavanja [4].



Slika1. Krug kvalitete

Nadzori u sustavu upravljanja kvalitetom uključuju provjeru [2]:

- Ustroja sustava upravljanja kvalitetom
- Dokumentacije i zapisa
- Oblikovanje i razvoj novih proizvoda
- Proces ugovaranja i komunikacije s kupcima
- Proces nabave materijala i usluga
- Kontrole i osiguranja kvalitete u procesu proizvodnje
- Postupaka označavanja i slijedivosti proizvoda
- Verifikacije specijalnih procesa ako ih ima
- Upravljanja postupaka mjernom opremom
- Identifikacije, skladištenje, rukovanje, čuvanje, pakiranje i isporuke materijala i proizvoda
- Zaliha na skladištima
- Postupaka edukacije radnika čiji posao ima utjecaja na kvalitetu proizvoda ili efikasnost sustava upravljanja kvalitetom.
- Upravljanja zapisima o funkcioniranju sustava
- Postupaka planiranja
- Svih aktivnosti odjela kontrole kvalitete
- Uključenosti najvišeg vodstva u funkcioniranje sustava
- Kao i ostale aktivnosti koje utječu na efikasnost sustava kvalitete.

U organizacijama treba osigurati uporabu učinkovitih i djelotvornih metoda za utvrđivanje procesa i proizvoda u kojima treba poboljšavati sposobnost sustava upravljanja kvalitetom i mjesta gdje se mogu očekivati problemi ili neželjene situacije. Primjeri tih postupaka obuhvaćaju [3]:

- Interne prosudbe u sustavu kvalitete;
- Eksterne prosudbe u sustavu kvalitete;
- Preispitivanja sustava od strane najvišeg vodstva;
- Nadzor nad proizvodom i mjerenje proizvoda;
- Nadzor nad procesima i mjerenje efikasnosti procesa;
- Ispitivanje zadovoljstva kupaca;
- Mjerenje zadovoljstva ostalih zainteresiranih strana i nadzor nad njima;
- Financijska mjerenja;
- Samoocjenjivanje.

3. PROCES PREISPITIVANJE SUK-a OD STRANE NAJVIŠEG VODSTVA

Najviše vodstvo bilo koje organizacije koja ima ustrojen sustav upravljanja kvalitetom dokazuje vlastitu opredijeljenosti za razvoj i primjenu sustava upravljanja kvalitetom i neprekidno poboljšavanje njegove učinkovitosti kroz [8]:

- obavještanje djelatnika o važnosti zadovoljavanja zahtjeva kupca i zahtjeva primjenjivih propisa,
- uspostavljanje politike i ciljeva kvalitete,
- definiranje odgovornosti, ovlasti i kompetencija,
- imenovanje predstavnika uprave za kvalitetu,
- uspostavu unutarnjih komunikacija,
- osiguravanje dostupnosti resursa i
- provođenje upravnih ocjena sustava, odnosno preispitivanje sustava upravljanja kvalitetom.

Preispitivanje sustava upravljanja kvalitetom (SUK) jedna je od najvažnijih aktivnosti u procesu nadzora njegovog funkcioniranja. To je ovjera/verifikacija učinkovitosti sustava koja se treba provoditi u cijeloj organizaciji. Ocjene dobivene na ovom preispitivanju moraju biti platforma za razmjenu novih ideja, s otvorenim raspravom i vrednovanjem ulaznih podataka koje podržava i vodi uprava.

Da bi dodala vrijednost organizaciji i sustavu upravljanja kvalitetom, uprava treba upravljati značajkama procesa realizacije proizvoda i potpornih procesa sustavnim ocjenom koja se temelji na načelima upravljanja kvalitetom. Učestalost ocjena treba biti određena potrebama organizacije, a sve u cilju osiguranja neprekidnosti, primjerenosti, prikladnosti i učinkovitost sustava kvalitete.

Uobičajeno se provodi minimalno jednom godišnje u trenucima kad je najprikladnije osigurati kvalitetne ulazne podatke.

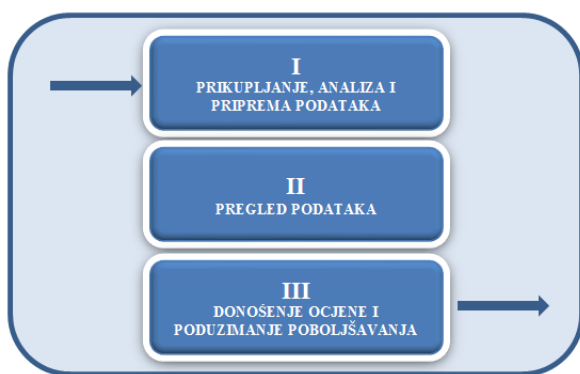
Pogrešno je tumačenje preispitivanje SUK-a od strane najvišeg vodstva organizacije kao „još jedan sastanak o kvaliteti“. Pri takvim stavovima članovi uprave će biti nezainteresirani, nastojat će što prije završiti sastanak, bez korisnih zaključaka i odgovarajućih akcija za poboljšanje. To je najčešće slučaj kod organizacija gdje

SUK nije u potpunosti zaživio i gdje uprava u njegovom funkcioniranju nije razumjela svoje mjesto i ulogu. Kod takvih organizacija ne treba očekivati spektakularne rezultate od ove ocjene. Dakle, ovakav pristup je pogrešan i preispitivanje SUK-a treba shvatiti kao moćan alat u nadzoru i poboljšavanju sustava upravljanja kvalitetom. To je alat kojim se sustav upravljanja kvalitetom „brusi“, odnosno „polira“.

Kroz aktivnosti preispitivanja SUK-a najviše rukovodstvo organizacije treba doći do odgovora na pitanja:

- Ispunjava li sustav upravljanja kvalitetom svoju svrhu?
- Koliko su kupci zadovoljni isporučenim proizvodom?
- Jesu li ostvareni postavljeni ciljevi kvalitete?
- Pokazuje li mjerenje procesa njihovu učinkovitost?
- Pokazuju li rezultati audita učinkovitost sustava?
- Koriste li se dokumentirane procedure na adekvatan način?

Preispitivanje sustava upravljanja kvalitetom je proces koji ima svoje ulazne i izlazne elemente te aktivnosti koje se događaju, i to sve s određenim ciljem i metodama rada. Proces preispitivanja sastoji se od tri faze. Prva faza je prikupljanje, analiza i priprema podataka, druga faza je pregled tih podataka od strane uprave, a treća faza je donošenje ocjene i poduzimanje akcija za poboljšanje sustava upravljanja kvalitetom (slika 2). Detaljniji prikaz procesa realizacije preispitivanja sustava kvalitete od strane najvišeg vodstva organizacije prikazuje slika 3.



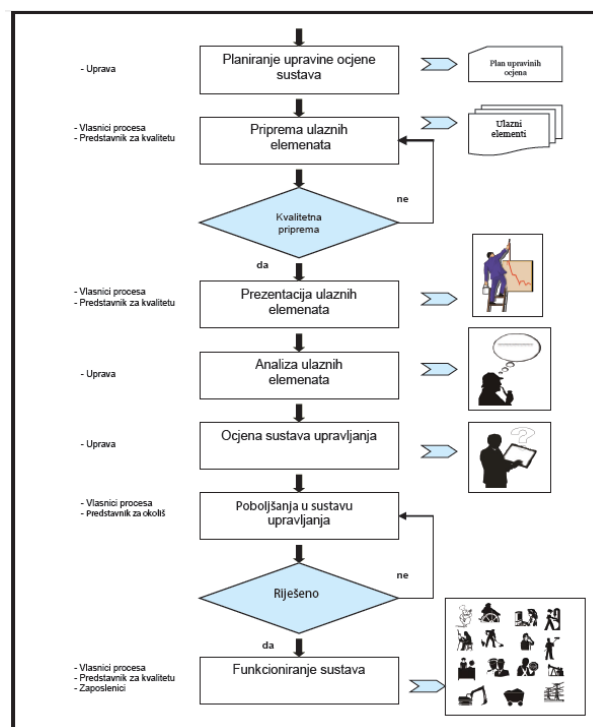
Slika 2: Proces preispitivanja SUK-a od strane uprave

3.1 Priprema elemenata za preispitivanje

Ulazni podaci za preispitivanje i vrednovanje djelotvornosti sustava upravljanja kvalitetom trebaju uzeti u obzir sljedeće [7]:

- stanje i rezultate ciljeva kvalitete te planove i programe za njihovu realizaciju, ukoliko postoje,
- postojeću politiku kvalitete te njenu prikladnost za definiranje ciljeva kvalitete i ostalih aktivnosti SUK-a,
- stanje napredovanja radnji proizašlih iz prethodnog preispitivanja SUK-a,
- rezultate internih audita,

- rezultate samoocjena organizacije, ukoliko su provedene,
- povratne informacije o zadovoljstvu zainteresiranih strana, možda čak izravno dobivene njihovim sudjelovanjem,
- čimbenike koji se odnose na tržište, kao što je tehnologija, istraživanje i razvoj te poslovna dostignuća konkurenata,
- rezultate djelatnosti benchmarkinga,
- poslovne rezultate dobavljačima,
- nove mogućnosti za poboljšavanje,
- upravljanje nesukladnostima procesa i proizvoda,
- status pokrenutih preventivnih i korektivnih radnji,
- vrednovanje tržišnog položaja i strategija,
- stanje djelatnosti koje se odnosi na stratešku suradnju,
- financijske učinke radnji koje se odnose na kvalitetu i
- druge čimbenike koji mogu utjecati na organizaciju, kao što su financijski, društveni i uvjeti okoliša te odgovarajuće zakonske i upravne promjene.



Slika 3: Algoritam aktivnosti prilikom preispitivanja

Navedeni elementi su samo minimalni neophodni ulazni podaci za efikasno preispitivanje SUK-a. Organizacija može uključiti i druge informacije koje smatra relevantnima za ocjenu sustava upravljanja kvalitetom, a ovdje nisu navedeni. Primjerice, to mogu biti podaci o infrastrukturi, radnoj okolini, ljudskim potencijalima, edukaciji, razvoju novih proizvoda, mjernoj opremi, strateškom planiranju, gubicima, troškovima ne kvalitete, ustroju organizacije i SUK-a, sposobnostima procesa i dr.

Moguće je provedbu preispitivanja proširiti i izvan SUK-a, gdje se rezultati mogu upotrijebiti kao ulazni podaci za procese poboljšanja. Uprava može upotrijebiti

taj proces ocjene kao moćno oruđe za utvrđivanje mogućnosti poboljšavanja sposobnosti kompletne organizacije [6].

Pripremu ulaznih elemenata za preispitivanje SUK-a obavljaju odgovorni zaposlenici na uobičajen način koji je uprava definirala. Najviše vodstvo mora zahtijevati pripremu podataka u određenim formama odnosno tablicama, grafičkim prikazima i opisima. Ponekad će se zahtijevati i manje analize ili usporedbe s prošlim periodima ili konkurencijom. Uobičajeno je da se koriste i različite statističke metode, primjerice korelacija, trend, usporedba, indeksi uspješnosti, histogramski prikazi, deskriptivna statistika i dr. Dobro je izbjegavati nepotrebne podatke koji opterećuju suštinu te definirati rokove za pripremu.

3.2 Analiza ulaznih elemenata

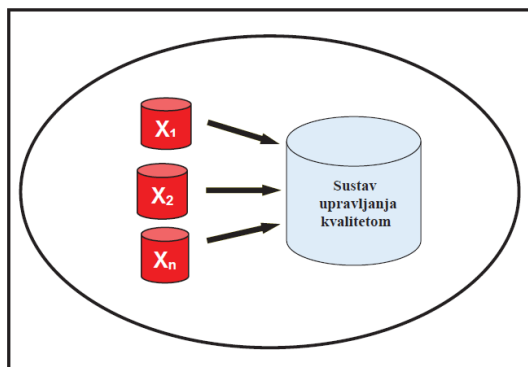
Uobičajeno je da se pripremljeni ulazni elementi daju na prvu analizu kod odgovorne osobe za kvalitetu. Nakon ovog pregleda izvještaj je spreman za analizu i pregled najviše uprave ili se vraća na doradu. Postupak oko dopuna se može i više puta ponoviti dok se ne dobiju zahtijevani elementi u prikladnom obliku.

Analiza se provodi metodama čitanja, usporedbom s planiranim, s konkurencijom i prošlim periodima ili referentnim veličinama, provjerom ili nekim drugim poznatim metodama analize. Kao što se ulazni podaci ne prikupljaju radi prikupljanja, tako se i analiza ne provodi radi analize već da bi se iz njenih rezultata donijela ocjena koja može poslužiti za poboljšavanje sustava kvalitete.

Pregled i analizu ulaznih podataka najviše vodstvo može obaviti na razini uprave organizacije ili je proširiti i na aktivno sudjelovanje djelatnika koji su pripremali podatke.

Dok interni audit sustava upravljanja kvalitetom ima zadatak utvrditi stupanj sukladnosti sustava sa zahtjevima relevantne norme, upravina ocjena vrednuje učinkovitost sustava u smislu kvalitete i potreba organizacije.

Analiza ulaznih elemenata radi se s ciljem pripreme objektivne podloge za ocjenu sustava kvalitete. Suština analize je u detaljnom razmatranju svakog pojedinačnog elementa (X_n) i njegovog utjecaja na kvalitetu -Y (slika 4).



Slika 4: Pojedinačna analiza elemenata i njihovog utjecaja na sustav upravljanja kvalitetom

Analizirajući ulazne elemente, od uprave se zahtijeva:

- pronalaženje odgovora na sva postavljena pitanja,
- oslanjanje na činjenice, a ne na mišljenja koja samo potiču nepotrebne rasprave (rad sa činjenicama rezultira korisnim zaključcima, koji mogu odgovoriti na pitanje zašto),
- otklanjanje uzroka, a ne posljedica,
- djelovanje s razlozima.

U procesu analize utjecaja elemenata na okoliš dolazi do izražaja sveukupno znanje i iskustvo članova uprave. Prilikom analize od velike je pomoći korištenje alata i metoda za rješavanje problema (Pareto analiza, riblja kost, FMEA, PDCA i dr.) [5,7,9].

Praksa pokazuje da se prilikom analize utjecaja elemenata na sustav kvalitete gotovo uvijek javljaju sljedeći utjecajni faktori: ljudi, strojevi, metode rada (tehnologije), proizvodi i materijali.

Neka istraživanja govore da je čovjek u gotovo 75% slučajeva najutjecajni faktor u svim elementima za koje se ocjenjuje utjecaj na sustav kvalitete. Prema mišljenju autora, materijali i tehnologija prerade u većini slučajeva zauzimaju drugo mjesto.

Dobro provedena analiza ulaznih elemenata i njihovog utjecaja na sustav kvalitete treba dati konkretne odgovore na postavljena pitanja. Tek nakon provedene analize može se ocijeniti uspješnost sustava upravljanja kvalitetom.

Upravina ocjena treba se zasnivati na razrađenim kriterijima i mjerilima, kako bi se što objektivnije odredila učinkovitost SUK-a. Ocjena može biti izražena u brojčanom ili opisnom obliku. Svaka organizacija treba definirati kriterije i mjerila za ocjenjivanje primjereno svojim procesima i djelatnosti. O rezultatima upravine ocjene piše se izvješće koje se dostavlja kompetentnim voditeljima procesa i pojedincima prema odluci najvišeg vodstva organizacije.

3.3 Donošenje ocjene SUK-a i djelovanje

Ocjenu učinkovitosti sustava upravljanja kvalitetom treba donijeti najviše vodstvo organizacije na mjerljiv i precizan način. Primjerice, to mogu biti sljedeće ocjene:

- izvrstan,
- učinkovit,
- dobar,
- zadovoljavajući,
- loš.

Podrazumijeva se da za svaku ocjenu treba razraditi konkretne pokazatelje. Treba biti razvidno na osnovu čega se sustav ocjenjuje izvrsnom ili lošom ocjenom.

Nakon opće ocjene sustava upravljanja kvalitetom najviše vodstvo kao rezultat preispitivanja donosi različite odluke i radnje kako bi se:

- poboljšala učinkovitost sustava upravljanja kvalitetom i njegovih procesa,
- poboljšala kvaliteta proizvoda s obzirom na zahtjeve kupca i
- osiguralo potrebne resurse.

O rezultatima preispitivanja treba upoznati zaposlenike u opsegu koji je potreban kako bi se pokazalo na koji način upravina ocjena utječe i dovodi do poboljšanja i unapređenja organizacije.

Zapisi sa preispitivanja sustava upravljanja kvalitetom obavezni su zapisi sustava upravljanja kvalitetom. Trebaju biti dostatni da osiguraju sljedivost i olakšaju vrednovanje procesa preispitivanja kako bi se osigurala njegova trajna učinkovitost i povećala vrijednost organizacije.

Poboljšanja su sve aktivnosti koje se poduzimaju u SUZO-u s ciljem podizanja njegove učinkovitosti. Poboljšanja koja se poduzimaju nakon upravine ocjene sustava su rezultat analize ulaznih elemenata, a navode se u izvješću o provedenoj ocjeni.

Poboljšanja u sustavu upravljanja kvalitetom mogu se provoditi kroz [1,8]:

- definiranje novih ciljeva,
- korigiranje postojećih ciljeva,
- definiranje novih programa,
- korekciju parametara u postojećim programima,
- pokretanje preventivnih i korektivnih aktivnosti,
- dodatnu edukaciju i usavršavanje,
- poboljšavanje dokumentacije i procesa,
- druge oblike djelatnosti.

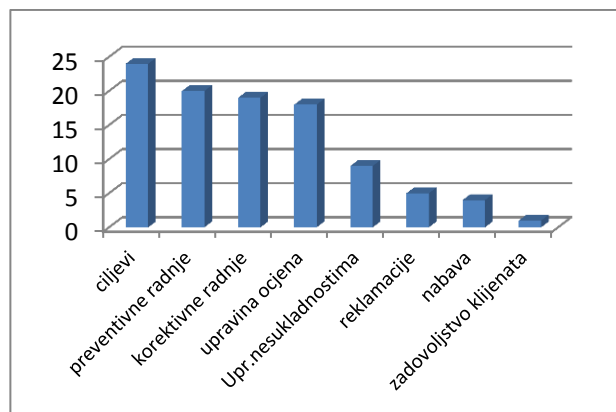
Sve dokumentirane aktivnosti koje se poduzimaju nakon upravine ocjene sustava trebaju se realizirati u definiranim rokovima. Efikasnost provedenih poboljšanja najčešće provjerava predstavnik uprave za kvalitetu ili druga odgovorna osoba koju je imenovala uprava. Nakon što se sam uvjerio u učinkovitost provedenog poboljšanja, predstavnik za kvalitetu ili druga odgovorna osoba izvještava upravu.

4. ISTRAŽIVANJE EFIKASNOSTI PREISPITIVANJA SUK-a U REALNIM USLUŽNIM SUSTAVIMA

Provedena istraživanja u sustavima upravljanja kvalitetom pokazuju da se kod preispitivanja njegove efikasnosti od strane najvišeg vodstva javlja dosta pogrešaka. Tako, primjerice u [1] se navodi niz propusta u uslužnim organizacijama a do koji se došlo snimkom postojećeg stanja na relevantnom uzorku. Najčešće pogreške rangirane po težini su:

1. Uopće se ne provodi (samo na papiru)
2. Provodi se djelomično
3. Provodi se uz sve zahtijevane elemente ali zaključci se ne donose
4. Ne prati se realizacija zaključaka
5. Provodi se zajedno s internim prosudbama
6. Provodi se ali njegova periodičnost nije definirana
7. Druge pogreške.

Pogreške vezane uz nadzor SUK-a od strane uprave zauzimaju i vrlo visoko mjesto na ljestvici pogrešaka u ukupnom funkcioniranju. Slika 5 prikazuje ilustraciju ovih odnosa na ispitivanom uzorku poduzeća koja se bave uslužnom djelatnošću [1].



Slika 5: Odnos pogrešaka pri nadzoru SUK-a

Najvažniji uzroci propusta koji se vežu uz Upravinu ocjenu su:

1. Ne razumijevanje značaja i cilja aktivnosti preispitivanja SUK-a od strane najvišeg vodstva.
2. Slaba ili nikakva edukacija odgovornih za pripremu i provedbu.
3. Ne postojanje pisane procedure ili upute za provedbu.
4. Slaba ili nikakva distribucija zapisa nakon Upravine ocjene.
5. Pokretanje radnji poslije Upravine ocjene vrlo slabo ili nikakvo.

5. ZAKLJUČAK

Preispitivanje SUK-a od strane najvišeg vodstva treba biti planska i ciljana aktivnost kako bi se uspostavljeno sustav nadzirao i poboljšavao. Bez stvarnog opredjeljenja najvišeg vodstva za sustav kvalitete teško je očekivati njegovu značajniju efikasnost i učinkovitost.

Aktivnost se mora provoditi procesno što znači da se moraju pripremiti elementi koji se moraju kritički preispitati i na kraju se donose zaključci u smislu poduzimanja mjera poboljšavanja.

Uprava mora težiti stalno boljim rezultatima do kojih se može doći ako se dobro poznaje sadašnja situacija i ako se zna gdje se želi stići (vizija, ciljevi).

Otklanjanjem uzroka koji se povezuju uz navedene slabosti oko planiranja, provedbe i realizacije zaključaka s Upravine ocjene SUK će sigurno bolje funkcionirati a što će na indirektan način doprinijeti boljim poslovnim rezultatima.

6. LITERATURA

- [1] Bojanić, B.: Prilog istraživanja metoda za poboljšavanje u integriranim sustavima upravljanja uslužnih organizacija, doktorska disertacija, Internacionalni univerzitet Travnik, Ekonomski fakultet, travnik 2013.

- [2] Avelin Holjevac, I.: Upravljanje kvalitetom u turizmu i hotelskoj industriji, Fakultet za turistički i hotelski menadžment, Opatija, 2002.
- [3] Kondić, Ž.; Čikić, A.: Upravljanje kvalitetom u mehatronici, Visoka tehnička škola u Bjelovaru, Bjelovar, 2011.
- [4] Ishikawa, K.: Guide to Quality Control, Quality Resources, new York, 1996.
- [5] Crosby, P.B.: Kvaliteta je besplatna, privredni vijesnik/Binoza press, Kratis, zagreb, 1996.
- [6] Lazibata, T.: Upravljanje kvalitetom, Znanstvena knjiga i MEP, Zagreb, 2009.
- [7] ISO 9004: Sustav upravljanja kvalitetom- Upute za poboljšanje sposobnosti.
- [8] Kondić, Ž.: Kvaliteta i ISO 9000-primjena, Tiva, Varaždin, 2002.
- [9] Kondić, Ž.: Kvaliteta i metode poboljšanja, Zrinski, Čakovec, 2004.

Kontakt autora:**Dr.sc. Branislav Bojanić**

PULA PARKING d.o.o.

Prilaz kralja Salamona 4

52 100 Pula; Hrvatska

e-mail: branislav.bojanic@pulaparking.hr

ORGANIZACIJSKA STRUKTURA NABAVE U POSLOVNIM PROCESIMA

ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF PROCUREMENT BUSINESS PROCESS

Ljudevit Krpan, Diana Varga, Robert Maršanić

Stručni članak

Sažetak: Nabava se nekada u prošlosti bavila uglavnom administrativnim poslovima naručivanja i reklamiranja nedostataka isporučene robe te skladištenja i izdavanja materijala prema zahtjevima korisnika. Danas je nabava sve manje funkcija s taktičkim zadacima u svezi s izvršenjem zahtjeva za nabavu uz niske nabavne cijene, odnosno ona sve više postaje strategijska funkcija koja svoje odluke temelji na filozofiji i politici stvaranja vrijednosti i sniženja ukupnih troškova u lancu opskrbe. Stoga se ovaj rad bazira na radnoj hipotezi koja glasi: Odabir optimalnog oblika organizacijske strukture nabave te optimizacija službe nabave u znatnoj mjeri utječe na poslovanje i poslovni rezultat tvrtke. Svrha ovog rada je dokazati da optimalni oblik organizacijske strukture nabave utječe na efikasnost poslovanja te na mogućnost optimizacije službe nabave u tvrtkama. Cilj istraživanja je da se kroz teoretska i praktična istraživanja istaknu temeljni organizacijski oblici službe nabave u tvrtkama i javnim tijelima te da se prikaže primjer organizacije službe nabave u tvrtci koja se bavi izradom drvenih modela za ljevaonice.

Ključne riječi: nabava, organizacija nabave, organizacijska struktura, služba nabave.

Professional paper

Abstract: In the past, procurement mainly dealt with administrative tasks regarding ordering goods and reporting defects on the delivered goods, as well as storing and issuing of materials according to user requirements. Today, the procurement is to a lesser degree a function with tactical tasks related to carrying out requests for procurement at low purchase price, as is increasingly becoming a strategic function whose decisions are based on the philosophy and policy of value creation and reduction of overall costs in the supply chain. Therefore, this paper is based on the following research hypothesis: Selection of optimal organizational structure of supply and procurement service optimization significantly affects the operations and business results of the company. The purpose of this paper is to demonstrate that the optimal form of the organizational structure of procurement affects the efficiency of operations and ability to optimize procurement service in companies. The research objective is to highlight the basic organizational forms of procurement service in companies and public bodies through theoretical and practical studies and to present an example of organization of procurement service in a company that manufactures wooden models for foundries.

Keywords: procurement, procurement organization, organizational structure, services procurement.

1. UVOD

Nabava se u prošlosti bavila uglavnom administrativnim poslovima naručivanja i reklamiranja nedostataka isporučene robe te skladištenja i izdavanja materijala prema zahtjevima korisnika. Danas je nabava sve manje funkcija s taktičkim zadacima u svezi s izvršenjem zahtjeva za nabavu uz niske nabavne cijene. Ona sve više postaje strategijska funkcija, koja svoje odluke temelji na filozofiji i politici stvaranja vrijednosti i sniženja ukupnih troškova u lancu opskrbe.

Nabava je danas kao ograničena definicija opskrbe strateški čimbenik u profitabilnosti tvrtke i povećanju dioničarske vrijednosti. Upravljanje nabavom danas se javlja kako bi se tvrtkama omogućilo strateška prednost i potencijal za dodavanje vrijednosti. Važnost nabave za poduzeće proizlazi iz njena dva izvora, odnosno iz troškovne i operativne efikasnosti.

U ovom radu predstaviti će se pojmovi vezani za nabavu, kao što su važnost, ciljevi, zadaci, izvori i smjerovi nabave, a osobito organizacija nabave te oblici organizacijske strukture nabave. U radu će se istaknuti prednosti i nedostaci pojedinih oblika organizacijske strukture nabave te o mjestima nabave u organizacijskoj strukturi poduzeća. Budući da je ovaj rad rezultat završnog rada jednog od autora, završno će se opisati i služba nabave u anonimnoj tvrtci te oblik organizacijske strukture nabave u toj tvrtci.

2. POJAM I VAŽNOST NABAVE

Upravljanje nabavom seže do daleke 1832. godine kada je objavljen tekst Charlesa Babbagea pod naslovom „O ekonomiji strojeva i proizvodnji“. 1933. godine Howard T. Lewis je napisao prvi školski tekst koji se

isključivo bavio nabavom. Godina 1960-tih i 1970-tih prvi put se na voditelje nabave počelo gledati kao na profesionalce, a ne kao na službenike. Do kraja 1980-tih godina, troškovi kupovine materijala predstavljali su otprilike 60% troška prodane robe, što je pokrenulo konceptijski pomak od kupovine do upravljanja nabavom.

Poduzeća moraju nabaviti dijelove i materijale kako bi proizvela robu za prodaju, opremu za proizvodnju i operativu te potrošni materijal, kao što su olovke i papir i slično. Proces nabavljanja može biti tako jednostavan kao što je poslati nekog do robne kuće ili specijalizirane prodavaonice po kutiju olovaka. No, u većini slučajeva taj je proces puno složeniji, skuplji, i značajniji za dobrobit poduzeća. Prema tome, nabavna funkcija nekog poduzeća zahtijeva upravljanje. Za većinu poduzeća upravljanje nabavom znači kupovinu. To znači da poduzeća kupuju robu kako bi je prodala, kako bi ostvarila radne operacije ili kako bi proizvela proizvode. Upravljanje nabavom obično ima najširu definiciju, obuhvaćajući svaku aktivnost koja je uključena u kretanje robe u poduzeće.

Razlikujemo dvije vrste nabave, i to nabava u širem smislu i nabava u užem smislu. Kriterij njihova razlikovanja su poslovi koji se odvijaju unutar nje. To mogu biti poslovi koji se u vezi s nabavom obavljaju svakodnevno, učestalo, odnosno ulaze u kategoriju operativnih poslova ili mogu biti poslovi koji se rjeđe, povremeno obavljaju i ulaze i kategoriju poslova od strateškog značenja.

Definicija nabave u užem smislu (dobava) glasi: Obavljanje svih operativnih poslova u procesu nabavljanja objekata nabave predstavlja nabavu u užem smislu.

Definicija nabave u širem smislu (nabava) glasi: Odnosi se na bavljenje stratejskim zadacima u vezi s nabavljanjem. Stratejski zadaci u vezi s nabavom utječu na učinke i dobit poslovnog sustava.

Definicija nabave sa aspekta ciljeva glasi: Nabava je nabavljanje materijala ili usluga, odgovarajuće kvalitete iz odgovarajućeg izvora te njihova pravovremena dostava na odgovarajuće mjesto uz odgovarajuću cijenu.

Porast značaja nabave uvjetovan je sve većom društvenom podjelom rada i povećanjem broja predmeta nabave. Menadžeri dobrih pregovaračkih sposobnosti i jakih poslovnih odnosa s dobavljačima ostvaruju svojim organizacijama znatne uštede važne za konkurentnost na tržištu. Odabir prave opreme za proizvodnju i njena kupnja po povoljnijoj cijeni mogu stvoriti konkurentnu troškovnu prednost koja traje godinama. Konačno, dobre nabavne navike izbjegavaju operativne probleme. Ako osnovne komponente za proizvodnju ne dođu na vrijeme tvornica ne radi. Ukoliko kvaliteta nabavljenog materijala ne zadovoljava standarde može se desiti da proizvod ne zadovolji standarde kupaca. Izbjegavanje ovih problema nužno ne vodi do operativne učinkovitosti, odnosno operativna učinkovitost je neostvariva ako dođe do navedenih problema.

Od nabavne logistike očekuje se kako slijedi [1]: 1) osigurati neprekinuti tijek materijala, odnosno sirovina, potrošnog materijala i usluga potrebnih za rad poduzeća, 2) svesti na minimum investicije i gubitke vezane uz zalihe, 3) održavati prikladne standarde kvalitete, 4)

pronaći ili razviti prikladne dobavljače, 5) standardizirati kupljene predmete gdje god i kad god je moguće, 6) nabavljati potrebne predmete i usluge po najnižoj krajnjoj cijeni, 7) poboljšati konkurentnost poduzeća, 8) usuglašeno raditi s drugim odjelima u poduzeću i 9) ostvariti ciljeve nabave uz najniži mogući stupanj administrativnih troškova.

Logističar nabave mora biti dobro upoznat sa granom industrije poduzeća kojemu vodi nabavu. Njegova greška može dovesti do zatvaranja proizvodnih linija te oštetiti radnike, kupce te na kraju povećati ukupne troškove poduzeća. Osigurati se od toga da poduzeće ne ostane bez materijala potrebnog za proizvodnju možemo putem zaliha, odnosno pravih količina zaliha. Logističar nabave, također, mora razmišljati i o kvaliteti materijala koje u većini slučajeva proporcionalno raste sa cijenom. Smanjiti troškove u nabavi ne znači da se automatski treba prihvatiti najniža ponuđena cijena - ne smije se zaboraviti da cijena nije uvijek novac. Uz komunikacijsko-pregovaračku sposobnost logističara nabave poduzeće može imati neprekidan tok materijala nabavljenog po privilegiranoj cijeni te samim time to poduzeće radi profitabilnije i poboljšava svoju konkurentnost na tržištu.

Izvori nabave su mjesta s kojih se nabavljaju predmeti ili objekti nabavljanja. Oni mogu biti interni (nalaze se unutar poduzeća) i eksterni (nalaze se izvan poduzeća). Eksterne izvore nabave dijelimo na lokalne, nacionalne, regionalne i globalne.

Smjerovi nabave mogu biti izravni (direktni) ili bez posrednika i neizravni (indirektni) ili s posrednicima. Bitno je pokušati smanjivati (eliminirati) posrednike i što se više približiti izvornom dobavljaču (proizvođaču).

Postoje različite definicije logistike nabave. Može se reći da logistika nabave predstavlja logistički sustav koji je povezan s tržištem. Ona predstavlja poveznicu između logistike distribucije dobavljača i logistike proizvodnje promatranog poduzeća. Logistici nabave pripada osobita uloga u okviru optimalne opskrbe kupaca. Značenje logistike nabave raste jer se u praksi pokazuje da stalno raste udio nabave u strukturi vrijednosti proizvoda ili usluga. Više niti jedno poduzeće ne može sve samo proizvoditi. Razlozi su u visokom tempu razvoja i time povezanoj podjeli rada i specijalizaciji.

Dakle, danas poduzeća djeluju u uvjetima globalizacije i sve višeg stupnja međunarodne podjele rada. Stoga ona sada, više nego ikada ranije, moraju težiti sniženju cijena i specijalizirati se za ono što mogu proizvesti osobito učinkovito ili što im je naročito značajno, dok za ostalo koriste prednosti onih koji postupaju po istome načelu. Na taj način poduzeće sve manje nabavlja iz vlastitih izvora (insourcing), a sve više se orijentira na opskrbu od dobavljača (outsourcing).

3. ORGANIZACIJA NABAVE

Organizacijskom strukturom nabave trajno se reguliraju poslovi nabave koji se odvijaju istodobno ili jedan za drugim, na način da se usklade ukupne međuovisnosti tih poslova imajući na umu ciljeve nabave. Organizacijska struktura bavi se ljudskim i drugim resursima, a odnosi se na: 1) podjelu zadataka i

funkcija nabave, 2) sustav rukovodnih i izvršnih radnih mjesta te odnosa između njih, 3) sustav obveza, ovlaštenja i odgovornosti i 4) sustav komunikacija između radnih mjesta.

Organizacija poslovanja se bavi strukturiranjem procesa nabave kako bi njegovo odvijanje bilo u skladu sa ciljevima. Kod organizacije poslovanja potrebno je obratiti pozornost na: 1) zadatke koje treba izvršiti, 2) vremensko i prostorno odvijanje poslovnih zadataka, 3) angažman ljudi i sredstava, odnosno koji ljudi?, koliko njih?, s kojom količinom sredstava?) i 4) regulaciju izvršavanja zadataka u skladu sa ciljevima.

3.1. Faze organizacije poslovanja nabave

Organizacija poslovanja je kontinuirani proces koji se odvija kroz 4 faze, i to [2]:

1. faza: Analiza zahtjeva i uspostavljanje standarda – na temelju informacija o radu i problemima postojećeg sustava te na temelju informacija o razvoju, analiziraju se zahtjevi i postavljaju standardi organizacije nabave. Standardi se temelje na organizacijskim načelima, kadrovskim potencijalima, troškovima, etici i slično. Ova faza predstavlja zapravo brzu i kratku analizu problema, mogućnosti i ograničenja organizacije.

2. faza: Analiza postojećeg sustava – obuhvaća "snimanje" postojeće organizacije poslovanja te kritički osvrt na stanje s ciljem utvrđivanja nedostataka i mogućnosti poboljšanja organizacije.

3. faza: Oblikovanje nove organizacije – ova faza se dijeli u dvije pod faze. Prvi dio obuhvaća oblikovanje grube organizacije (izrada koncepta sustava), a drugi dio razradu detaljnih rješenja (oblikovanje radnih zadataka, utvrđivanje redoslijeda i vremenskog rasporeda njihovog izvršenja te dodjelu zadataka njihovim izvršiteljima).

4. faza: Provedba i kontrola funkcioniranja nove organizacije – novu organizaciju prije primjene treba pripremiti (izraditi dijagram toka rada, odrediti logiku odlučivanja, pripremiti programsku podlogu, pribaviti potrebnu opremu i slično).

3.2. Oblikovanje organizacijske strukture nabave

U poduzećima, u oblikovanju organizacijske strukture još uvijek je duboko ukorijenjen model menadžmenta gdje gornja razina promišlja što i kako raditi, a donja izvršava operativne zadatke. Na takav način ukupne mogućnosti djelatnika ostaju neiskorištene i ne mogu doći do izražaja. U svrhu poboljšanja organizacijske strukture takve odnose treba promijeniti u korist veće decentralizacije odgovornosti i smanjenja hijerarhijskih razina te uspostavljanja mrežnih struktura u kojima se radi timski.

Organizacijska struktura nabave mora omogućiti donošenje odluka na temelju cjelovitih ocjena svakog konkretnog slučaja, tako da se ostvare što bolji rezultati poslovanja poduzeća i njegovih partnera, a ujedno da se vodi računa o psihosocijalnim aspektima te o zaštiti okoliša. Glavni bi cilj trebao biti da nabava što više pridonese uspješnosti poslovanja poduzeća. To se može ostvariti: 1) korištenjem ekonomije količina i

odlučivanjem o izdacima na jednome mjestu, 2) izborom pravih dobavljača na regionalnom i globalnom tržištu s ciljem što bolje iskoristivosti strukture mjesta proizvodnje i prodaje, carinske i porezne propise, logističke lance i mogućnosti opskrbe kvalitetnim predmetima rada, čime se doprinosi ugledu poduzeća i fleksibilnosti poslovanja, 3) ako se normizacijom predmeta i količina nabave poveća produktivnost i ekonomičnost poslovanja, 4) ako se uključi dobavljače u razvoj, proizvodnju i logistiku vlastitog poduzeća i na taj se način snize troškovi i poboljša djelotvornost tih funkcija, 5) povećanjem djelotvornosti procesa nabavljanja automatizacijom i delegiranjem operativnog naručivanja korisnicima predmeta rada ili prepuštanjem pojedinih poslova opskrbe dobavljačima.

Organizacijsku strukturu treba oblikovati na način da se zadovolje ciljevi djelatnika nabave te da se postigne što veće zadovoljstvo na radu. Rad se mora odvijati uz što manje smetnja i sukoba, uz proporcionalno opterećenje djelatnika. Organizacijska struktura, organizacijska rješenja i način odvijanja poslova moraju se individualno uspostaviti vodeći računa o nizu individualnih čimbenika.

Za potrebe organiziranja nabave, samog poduzeća ili bilo koje poslovne funkcije, organizaciju dijelimo na formalnu i neformalnu. Formalna organizacija je ona koja je svjesno podstavljena za potrebe rješavanja zadatka i ostvarivanja postavljenih ciljeva uz određene uvjete. Temelji se na sustavu normi i pravila. Norme i pravila imaju smisla ako ih djelatnici poznaju, odnosno ako ih se pridržavaju.

Uz formalnu organizaciju postoji i organizacija koja nije određene odlukama rukovoditelja ili aktima poduzeća te koja je labilna i podložna čestim promjenama. To je neformalna organizacija. Nju sačinjavaju, tzv. „neformalne“ ili „primarne“ grupe. To su male grupe koje imaju otprilike od 2 do 10 članova, a nastaju kad ljudi stvore osjećaj zajedničkog identiteta, kada se zbliže po bilo kojoj osnovi i na taj način stvore jedan novi „mi“.

3.3. Organizacijska načela strukturiranja nabave

Strukturiranje nabave provodi se prema odgovarajućim organizacijskim načelima. Općenito, koriste se slijedeća organizacijska načela:

1. Načelo ekonomičnosti – organizaciju nabave treba postaviti na način da njeni učinci nadmaše utrošak čimbenika (rad, sredstva, vrijeme), output treba biti veći od inputa. Ovo načelo govori kako je potrebno jednakomjerno opteretiti nosioce zadataka te koristiti sredstva i vrijeme u skladu sa značenjem zadataka i troškovima njihova obavljanja.

2. Načelo prilagodljivosti – organizacija nabave mora biti uspostavljena na način da se sustav može prilagoditi promijenjenim uvjetima te o tome ovisi njegova djelotvornost. Organizacija nabave mora biti fleksibilna i stabilna.

3. Načelo kontinuiteta – ističe kako je potrebno voditi računa o kvalitativnom razvoju organizacije nabave kroz duže razdoblje. Također, naglašava kako

nije potrebno napuštati stara rješenja koja dobro funkcioniraju i koja se mogu uklopiti u novu organizaciju.

4. Načelo transparentnosti – organizacija mora biti jednostavna i jasna. Potrebno je jednoznačno odrediti zadatke, ovlaštenja i odgovornosti svakog mjesta te stvoriti jednostavnu strukturu odgovornosti (mora se znati tko je za što odgovoran). Organizacija koja je transparentna lako je prihvatljiva, kod takve organizacije lako je uklanjati eventualne nedostatke te ju je lako unapređivati.

5. Načelo raščlanjivanja (analize) i agregiranja (sinteze) – predstavlja podlogu za stvaranje organizacijske strukture te se iz njega kao takvog izvodi niz posebnih načela. Analiza zadataka se provodi tako da se cjeloviti zadatak potpuno raščlani na njegove sastavne dijelove. Raščlanjivanje se provodi počevši od ciljeva funkcije nabave prema elementarnim zadacima. Sinteza zadataka se vrši objedinjavanjem raščlanjenih zadataka u skupove zadataka. Može se provesti na način da se istovrsni zadaci objedine na jednom ili više mjesta.

4. OBLICI ORGANIZACIJSKE STRUKTURE NABAVE

Organizacijska struktura funkcije nabave uspostavlja se primjenom navedenih organizacijskih načela, s time da valja odlučiti hoće li se nabava organizirati centralizirano u okviru jedne službe koja će obavljati sve funkcionalne zadatke ili će biti decentralizirana po različitim područjima djelatnosti.

U početku su se obavljali isključivo operativni zadaci, ali razvojem tržišta javlja se sve veća potreba za raznim stratezijskim zadacima. U suvremenim se uvjetima stratezijskim zadacima daje posebna pozornost jer su se spoznale prednosti njihova razgraničenja za uspješnost poslovanja nabave.

4.1. Centralizacija i decentralizacija nabave

Ako je za poslove nabave nadležna isključivo jedna organizacijska jedinica, onda je riječ o centraliziranoj nabavi, a ako zadatke nabave obavljaju razne organizacijske jedinice, onda je riječ o decentraliziranoj nabavi. Moguća je i kombinacija, tj. centralizirano-decentralizirana nabava. Odluka o centralizaciji ili decentralizaciji nabave ovisi o [5]: 1) veličini poduzeća, 2) djelatnosti poduzeća, 3) broju i djelatnosti pogona, 4) prostornoj udaljenosti pogona, 5) stupnju preklapanja djelatnosti pogona, 6) potrebnim vrstama i količinama predmeta rada.

U malim i srednjim poduzećima obično se organizira centralizirana nabava. Prednosti su centralizirane nabave u takvim poduzećima, prvenstveno u mogućnosti optimiranja poslovanja s materijalima i trgovačkom robom (s aspekta troškova, zaliha, nabavljanja i slično) te stvaranja jačeg tržišnog položaja objedinjavanjem ovlaštenja za nabavu i mogućnosti specijalizacije radnim mjestima službe nabave.

Centralizirana nabava omogućuje: 1) objedinjavanje potreba i naručivanje većih količina predmeta rada uz povoljnije uvjete i niže troškove nabave (manje je administrativnih poslova, vodi se manje pregovora, bolje se koriste transportna sredstva, manji su troškovi osiguranja robe), 2) korištenje količinskih i drugih popusta, 3) jedinstveno provođenje politike nabave, 4) normizaciju predmeta rada i količina nabave, 5) bolju dispoziciju i brže obrtanje zaliha materijala koji se drže za potrebe svih korisnika, 6) sniženje normativa zaliha jer su potrebne manje sigurnosne zalihe i koriste se povoljniji sustavi nabavljanja, 7) bolju logističku suradnju s dobavljačima, 8) bolje praćenje tržišta nabave i veći utjecaj na tržišna zbivanja, 9) specijalizaciju referenata nabave za određene predmete nabave ili za dodijeljene im funkcije. Na taj način mogu bolje upoznati posao kojim se bave i postići bolje rezultate u poslovanju nego da se bave mnogim predmetima ili nizom funkcionalnih zadataka, 10) bolju kontrolu poslovanja nabave i 11) plaćanje računa dobavljača s jednog mjesta.

Centralizacija znači manje kreativne slobode za pojedine korisnike predmeta rada, naročito u prostorno udaljenim pogonima i za one koji trebaju specifične materijale. Centralizacija otežava komuniciranje nabave s korisnicima predmeta nabave, što dovodi do vremenskog pomaka u donošenju odluka i do lošijih rezultata. U centralno organiziranoj nabavi djelatnici nabave nemaju osjećaja za tehničke probleme u svezi s izmjenama potreba i primjenom pojedinih materijala. Zbog toga se poslovanje birokratizira, što dovodi do povećanja troškova nabavljanja, gubi se potrebna fleksibilnost pa se javljaju problemi s opskrbom (mnogo hitnih narudžbi pa dolazi do nedostatka pojedinih materijala).

Centralizacijom se u nabavi, upravo zbog toga, unatoč niza teorijskih prednosti, ostvaruju znatno slabiji rezultati nego što se očekuje te je potrebno ispitati koji stupanj i oblik centralizacije omogućuje veću ekonomičnost i djelotvornost poslovanja nabave u određenim uvjetima.

Decentralizacija nabave ima smisla u poduzećima koja imaju više prostorno udaljenih pogona, čiji se asortiman potrebnih materijala bitno razlikuje. U takvoj se situaciji postavlja pitanje u kojoj mjeri može centralna nabava učinkovito i ekonomično zadovoljiti potrebe decentraliziranih pogona jer se javljaju problemi suradnje oko utvrđivanja potreba, spoznaje problema potrošnje, prijevoza materijala, odnosa s korisnicima i s lokalnim dobavljačima i slično. Hoćemo li ići, u takvim uvjetima, u potpunu decentralizaciju koja ima određene prednosti (primjerice, manji troškovi transporta, bolji odnosi s lokalnim tržištem, veća fleksibilnost), ali i evidentnih nedostataka (primjerice, ne mogu se koristiti prednosti ekonomije količina predmeta nabave koje trebaju svi pogoni, nastaju veći opći troškovi nabave, pojedine se službe nabave javljaju na tržištu kao konkurentu)?

U velikim i složenim poduzećima u pravilu se uspostavlja kombinirana (centralizirano-decentralizirana) organizacija. U podjeli zadataka između centralne službe i decentraliziranih organizacijskih jedinica javljaju se različita rješenja, što ovisi o uvjetima kao što su dislokacija pogona, vrste potreba pogona, funkcioniranje informacijskog sustava, izvori i putovi nabave, značenje tipizacije i standardizacije materijala i slično.

4.2. Mjesto nabave u organizacijskoj strukturi poduzeća

Mjesto nabave u organizacijskoj strukturi poduzeća ne može se odrediti jedinstveno već ovisi o uvjetima koji su individualni za svako poduzeće. U suvremenim rješenjima valja težiti da se poboljša sposobnost reagiranja na raznovrsne i promjenjive potrebe opskrbe, da se smanje troškovi opskrbe, da se između nabave i korisnika uspostave izravne informacijske veze i da se snize njihovi troškovi te da se poveća motivacija djelatnika nabave. Nabava mora imati mogućnost djelotvorne i ekonomične realizacije zadataka opskrbe.

Zadaci opskrbe mogu se realizirati tako da se svi ili samo neki zadaci nabave obave u posebnoj organizacijskoj jedinici. Prema tome koji će zadaci biti dodijeljeni posebnoj organizacijskoj jedinici za nabavu razlikuju se ova rješenja:

a) Odjel nabave u sastavu netržišne poslovne funkcije (primjerice, proizvodnje ili financijsko-računovodstvene službe) s kojom su vezane njegove aktivnosti. Takvo se rješenje koristi u slučajevima kada vrijednost nabavljenih materijala i usluga nije postotno značajnije zastupljena u vrijednosti gotovih proizvoda ili kada su poslovi nabave maleni prema količini, asortimanu i vrijednosti ili, u slučajevima ako se materijali velike vrijednosti nabavljaju na veliko na tipičnim tržištima, jednom ili nekoliko puta na godinu pa nabavu obavlja rukovoditelj poduzeća ili rukovoditelj proizvodnje koji je nadležan i kvalificiran u tehničkom pogledu za takve poslove.

b) Odjel nabave u sastavu tržišne poslovne funkcije (komercijalne službe), što pokazuje da se nabavi pridaje veće značenje nego u prethodnom slučaju pa ne obavlja samo rutinske operativne zadatke, već i niz tipičnih kreativnih tržišnih zadataka (primjerice, istraživanje tržišta nabave, istraživanje prikladnosti i izbor sustava nabavljanja, proračun normiranih i ekonomičnih količina nabave, ugovaranje recipročne nabave i slično).

c) Nabava u sastavu službe materijalnog poslovanja, koja ima status poslovne funkcije podređene rukovoditelju poduzeća. Služba materijalnog poslovanja ima u svom sastavu odjele koji vode kompletnu brigu o svim aspektima opskrbe te kretanja i stanja zaliha predmeta rada kako bi se postigla jedinstvena odgovornost i sustavno upravljanje poslovanjem nabave, vanjskog i unutarnjeg transporta, skladišta i odjela za prikupljanje, reciklažu i prodaju ostataka i suvišnih materijala.

d) Nabava u sustavu raznih oblika matrične organizacije (u čistoj matričnoj organizaciji, u sustavu organizacije prema proizvodima ili projektima, u divizionalnoj organizaciji) te u procesnoj organizaciji i fraktalnoj organizaciji.

Prije donošenja odluke o mjestu nabave u organizacijskoj strukturi poduzeća valja utvrditi prednosti i nedostatke pojedinog organizacijskog oblika uzimajući u obzir sve čimbenike koji utječu na uspješnost poslovanja nabave (primjerice, mogućnosti i prednosti podjele strateških i operativnih zadataka, opseg nabave, raspoloživa informatička tehnologija i drugo).

Organizacijske oblike mjesta nabave u strukturi poduzeća potrebno je razmotriti kako bismo mogli dati opću ocjenu za pojedino organizacijsko rješenje:

a) Nabava u sastavu komercijalne službe

U malenim poduzećima nabava se najčešće nalazi u sastavu komercijalne službe. Karakteristike nabave u takvim poduzećima su: 1) nabavno poslovanje nije tehnički zahtjevno i više se naglašava njegovo komercijalno značenje, 2) opseg posla je malen te je za poslove nabave potrebno jedan ili nekoliko djelatnika, 3) jedna osoba (rukovoditelj komercijalne službe) uspješno koordinira i rukovodi poslovanjem nabave, prodaje, skladišta i transporta.

Smatra se da je nedostatak takvog rješenja što se najviše pozornosti pridaje prodaji pa su ostali poslovi komercijalne službe, a među njima i nabave, zapostavljeni i ne razvijaju se u skladu s njihovim značenjima i mogućnostima. Od nabave se zahtijeva da pritiskom na cijene dobavljača ostvari što povoljnije nabavne cijene, u skladu s filozofijom: „kupi jeftino, prodaj skupo“!

Možemo ipak konstatirati da je u malenim poduzećima s obilježjima nabave kao što su navedeni, prihvatljivo organizacijsko rješenje kojim se nabava nalazi u sastavu komercijalne službe. Time se stvaraju pretpostavke o djelotvornom ostvarenju postavljenih zadataka uz relativno niske troškove nabave, pri čemu postoji dobra suradnja i koordinacija posla između nabave, prodaje, skladišta i transporta.

b) Nabava u sastavu tehničke službe ili u sastavu proizvodnje

Ovaj organizacijski oblik možemo smatrati primjer starih organizacijskih shvaćanja prema kojima je nabava samo pomoćna funkcija proizvodnje (prva faza proizvodnog procesa) pa mora biti uključena u sastav tehničke službe ili proizvodnje, odnosno u službu koja neposredno organizira proizvodnju. Ako promatramo razvoj robne proizvodnje, zaključujemo da je ovo organizacijsko rješenje bilo adekvatno uvjetima i načinu rada do pojave serijske i masovne proizvodnje kada je tržište nabave bilo nerazvijeno, asortiman predmeta nabave malen, a tehnički problemi u svezi s nabavom vrlo značajni.

Nedostatak je takvog rješenja što tehnička služba nastoji ostvariti što veću sigurnost kontinuiranog odvijanja procesa proizvodnje pa gomila zalihe materijala, dijelova i sklopova te zahtijeva da se nabavljaju materijali što bolje kakvoće. Takva politika u suvremenom poslovanju dovodi do problema ekonomičnosti i likvidnosti. Osim toga, uključivanjem nabave u tehničku službu ili u proizvodnju komplicira suradnju i koordinaciju posla nabave i prodaje. Osoblje nabave uglavnom obavlja administrativne poslove i nije dovoljno samostalno, a osoblje tehničke službe mora se baviti i problemima nabave, što ih odvaja od njihovog temeljnog zadatka.

c) Nabava u sastavu financijsko-računovodstvene službe

U poslovanju nabave značajno je da se osiguraju potrebna financijska sredstva te da u zalihama bude zamrznuto što manje obrtnih sredstva i da se plaćanje roba i usluga obavi uz najpovoljnije uvjete. Rukovodeći se tim činjenicama, nabava se ponekad stavi pod kompetenciju i u sastav financijsko-računovodstvene službe.

Takvo organizacijsko rješenje ima niz nedostataka: 1) rukovoditelj financijsko-računovodstvene službe nije stručan za poslove nabave, a niti može obratiti dovoljnu pozornost na probleme nabave, 2) financijsko-računovodstvena služba nastoji nabaviti sredstva za proizvodnju po što nižim cijenama, ne vodeći dovoljno računa o kakvoći, 3) u nastojanjima da zalihe budu što manje može se dogoditi da zbog nedostatka materijala dođe do zastoja u proizvodnji, što uzrokuje daleko veće troškove nego što su troškovi nešto većih zaliha materijala, 4) osoblje financijsko-računovodstvene službe odvaja se od svog temeljnog zadatka, 5) osoblje nabave nije dovoljno samostalno u rješavanju zadataka nabave.

Iako uključivanje nabave u sastav financijsko-računovodstvene službe ima negativnih posljedica i ne omogućuje primjenu suvremenih koncepta nabavljanja, takvo se rješenje primjenjuje u manjim organizacijama (primjerice, u lječilištima, na većim gradilištima) kod kojih se posebna pozornost pridaje troškovima nabave i koristi se ciljno orijentirani menadžment troškova na temelju raspoloživih sredstava koja se mogu potrošiti za određenu namjenu, kako bi se ostvarila ciljna cijena i dobit u poslovanju.

d) Nabava kao temeljna poslovna funkcija

Temeljne karakteristike takve nabave su: 1) nabavno poslovanje je opsežno i zahtijeva angažman većeg broja ljudi, 2) nabava ima veliko značenje za uspješnost poslovanja poduzeća, 3) kao poslovna funkcija ravnopravna je ostalim funkcijama poduzeća, 4) ima utjecaj na strateške odluke u poslovanju poduzeća, 5) dosljednije, potpunije i kreativnije provodi zadatke nabave.

U klasičnoj štabno-linijskoj organizaciji razlikuje se nekoliko temeljnih poslovnih funkcija. To su razvoj, proizvodnja, prodaja, kadrovska funkcija i financijsko-računovodstvena funkcija. Neke od tih funkcija objedinjuju se kao, primjerice razvoj i proizvodnja u tehnički sektor te nabava i prodaja u komercijalni sektor/službu ako je to racionalnije s obzirom na opseg posla i s obzirom na troškove, prostorno-vremenske probleme i probleme kakvoće poslovanja. Međutim, ako je nabavno poslovanje opsežno i zahtijeva angažman većeg broja osoblja, a nabava ima odlučujuće značenje za uspješnost poslovanja poduzeća, onda se organizira kao temeljna poslovna funkcija ravnopravna prodaji, proizvodnji i drugim funkcijama poduzeća. Troškovi nabave bit će nešto veći nego u slučaju da se nabava nalazi u sustavu komercijalne službe, ali će učinci ostvareni boljim nabavnim poslovanjem u potpunosti opravdati povećane troškove nabave.

e) Nabava u sastavu službe materijalnog poslovanja

Materijalno poslovanje predstavlja rukovodni i organizacijski koncept koji omogućava pregled nad svim materijalnim tokovima u nabavi, skladištenju i fizičkoj distribuciji. Realizacija tog koncepta rezultira stvaranjem potrebne poslovne funkcije „materijalnog poslovanja“, ravnopravne proizvodnji, marketingu i drugim poslovnim funkcijama koje s njom moraju usko kooperirati kako bi se ostvarili ciljevi poduzeća u nabavi i korištenju materijala. Služba materijalnog poslovanja u svom sastavu ima nabavu, dispoziciju materijala, skladište, transport i odjela za prikupljanje, sortiranje, korištenje i prodaju otpadaka i nepotrebnih materijala te sredstava za rad. Nabava se može podijeliti na odjele operativne i strategijske nabave. Rukovoditelj službe materijalnog poslovanja izravno je podređen rukovodstvu poduzeća, a u dioničkom društvu najčešće je član uprave.

Uključivanjem odjela dispozicije, prijemne kontrole te transporta i špedicije u službu materijalnog poslovanja olakšana je koordinacija toka robe. Operativna nabava obavlja poslove istraživanja i pokrivanja potreba korisnika (dispozicije i naručivanja robe, praćenja rokova isporuke, reklamacija i drugo), a može se decentralizirati za sve materijale koje koristi samo jedan pogon tako da svoje zadatke obavlja u sastavu toga pogona kojem je stručni suradnik nabave i disciplinski odgovoran, ali radi pod stručnim nadzorom i uputama centralne, strategijske nabave. Zadatak je strategijske nabave da istražuje tržište, da se brine o odnosima s dobavljačima i da s njima sklapa dugoročne ugovore, da koordinira i analizira rad operativne nabave, da surađuje s tehničkom službom i marketingom u svezi s razvojem proizvoda, odnosno da poveže i ostvari interese poduzeća na tržištu nabave.

f) Mjesto nabave u matričnoj organizaciji

Matrična organizacija je produkt više linijskog načela rukovođenja. Različite funkcije poduzeća svrstavaju se prema njihovu značenju u glavne i opće. Glavne mogu biti: nabava, proizvodnja, prodaja, financije i računovodstvo. Opće funkcije su one koje se organiziraju kao zajedničke funkcije poduzeća, a mogu biti: planiranje, organizacija, kontroling, kadrovska služba, informatička služba i slično. Grafičke se veze glavnih i općih funkcija prikazuju u obliku matrice pa se zbog toga ova organizacija naziva matričnom. Iako je nabava svrstana u glavne funkcije, u praksi se može organizirati kao opća funkcija, tj. kao zajednička centralno organizirana služba, koja može ostalim funkcionalnim jedinicama pružati odgovarajuće usluge, a u matrici se tada navede u prvom stupcu. To je naročito značajno zbog optimalizacije logističkih procesa u poduzeću.

Prednosti su matrične organizacije: 1) uzimaju se u obzir svi aspekti kod donošenja odluka suradnjom stručnjaka različitih profila, tj. timskim radom, a na taj se način onemogućava samovolja pojedinaca, 2) poslovanje je fleksibilnije, promjene se brže prihvaćaju i bolje integriraju, 3) razvija se stručni, umjesto formalnog autoriteta, 4) postižu se bolji međuljudski odnosi i veća motiviranost djelatnika, 5) moguća je specijalizacija

djelatnika, 6) potiče se proces učenja i kreativnog traženja rješenja.

Nedostaci matrične organizacije: 1) mogućnost nastajanja konfliktnih situacija zbog različitih pristupa te nereguliranih nadležnosti i prioriteta linijskih rukovoditelja, 2) složeniji komunikacijski odnosi, 3) potrebni su stručniji kadrovi, 4) opasnost da dođe do loših kompromisa

g) Mjesto nabave u divizionalnoj organizaciji

Divizionalna organizacija, ili organizacija prema poslovnim područjima, odnosno područjima proizvodnje, uspostavlja se u velikim poduzećima s raznovrsnim programima proizvoda, odnosno djelatnostima. U takvoj organizaciji se za pojedine skupine proizvoda ili djelatnosti formiraju relativno samostalne organizacijske jedinice (divizije) u obliku profitnih centara.

Pretpostavke za formiranje divizionalne organizacije su: 1) raznovrsni proizvodni programi ili djelatnosti koji se odvijaju najčešće na prostorno razdvojenim područjima, 2) potrebe za različitim materijalima i 3) različiti zahtjevi u pogledu politike opskrbe i zaliha te politike prodaje.

Karakteristike divizionalne organizacije su: 1) stvaraju se manje, relativno autonomne, organizacijske cjeline u kojima je cjelokupno poslovanje pa tako i materijalno poslovanje transparentno i zbog toga su djelatnici više motivirani za uspjeh, 2) jasno su razgraničena ovlaštenja i odgovornosti, što proizlazi iz linijske strukture divizija, 3) to je marketinški orijentirana organizacija, 4) postoji opasnost od prevelikog osamostalivanja pojedinih područja poslovanja (divizija) na štetu ciljeva i učinkovitosti cijelog poduzeća.

h) Nabava u timskoj organizaciji

Timska organizacija razlikuje se od prethodno razmatranih organizacijskih oblika jer se ne temelji na linijskoj organizaciji. Zajedničko obilježje svih modela timske organizacije je što u timovima ovlaštenje odlučivanja nemaju pojedinci, nego se odluke donose konsenzusom, sporazumno. Svi poslovi rješavaju se u timovima participacijom i suradnjom članova koji sami organiziraju svoj rad. To znatno povećava motivaciju suradnika za rad i omogućuje prilagodbu izvršavanja zadataka promjenama u okolini. Rad timova koordinira neki centralni (rukovodni) tim. Pojedini se timovi specijaliziraju za određene djelatnosti, a svaki tim ima svog voditelja i suradnike.

Unutar tima nema hijerarhije. Suradnici su ravnopravni bez obzira s kakvih instanca dolaze, što omogućuje kreativan rad i otvorenu razmjenu informacija te međusobno poštivanje. Konfliktna situacije suradnici moraju rješavati sami. U takvoj situaciji mogu uspješno surađivati osobe koje su tolerantne i spremne za timski rad, koje se međusobno poštuju, koje imaju smisla za poučavanje i učenje i koje su kreativne. Rad u timu zahtijeva od svakog suradnika da ima visok stupanj osjećaja odgovornosti i želje da doprinese rezultatima tima, a ne da živi na račun drugih. Svaki član tima mora naći pravi odnos između vlastitih

interesa i lojalnosti ciljevima tima, između egoizma i solidarnosti. Timovi su interdisciplinirani pa se suradnjom stručnjaka raznih profila zadaci mogu rješavati kvalitetno i brzo. Timovi ne bi smjeli imati mnogo članova da se rad ne birokratizira, da se ne otežava komuniciranje i donošenje odluka.

i) Nabava u procesnoj organizaciji

Procesna organizacija temelji se na ideji da podloga strukturiranja bude organizacija procesa poslovanja. Organizacijske se jedinice (timovi) formiraju za pojedine procese, odnosno za cjelovite dijelove procesa. Pristup strukturiranju organizacije je, dakle, obrnut od pristupa u klasičnoj hijerarhijskoj organizaciji, u kojoj se javlja problem povezivanja raščlanjenih dijelova procesa te gubitka informacija i pogrešaka u odvijanju procesa na funkcionalno organiziranim mjestima. Umjesto vertikalno orijentirane hijerarhijske organizacije, rješenje je nađeno u horizontalnom povezivanju dijelova procesa koji se redaju u određenom slijedu, a obavljaju ih timovi sastavljeni od funkcionalno orijentiranih profesionalaca iz pojedinih strukovnih centara (centri u koje ulaze djelatnici sličnih kvalifikacija i koji imaju svog trenera).

j) Nabava u fraktalnoj organizaciji

Nabava ili njezine funkcije, odnosno zadaci mogu se organizacijski smjestiti u fraktale na različitim hijerarhijskim razinama. Pojam fraktal označuje najmanje elemente organizacijske strukture koje u određenim okolnostima nema smisla dalje raščlanjivati, a čije konačno stanje nije fiksno, nego je polazište novog razvoja. Fraktali imaju sposobnost samoorganiziranja i dinamične prilagodbe vanjskim utjecajima, kao organizmi.

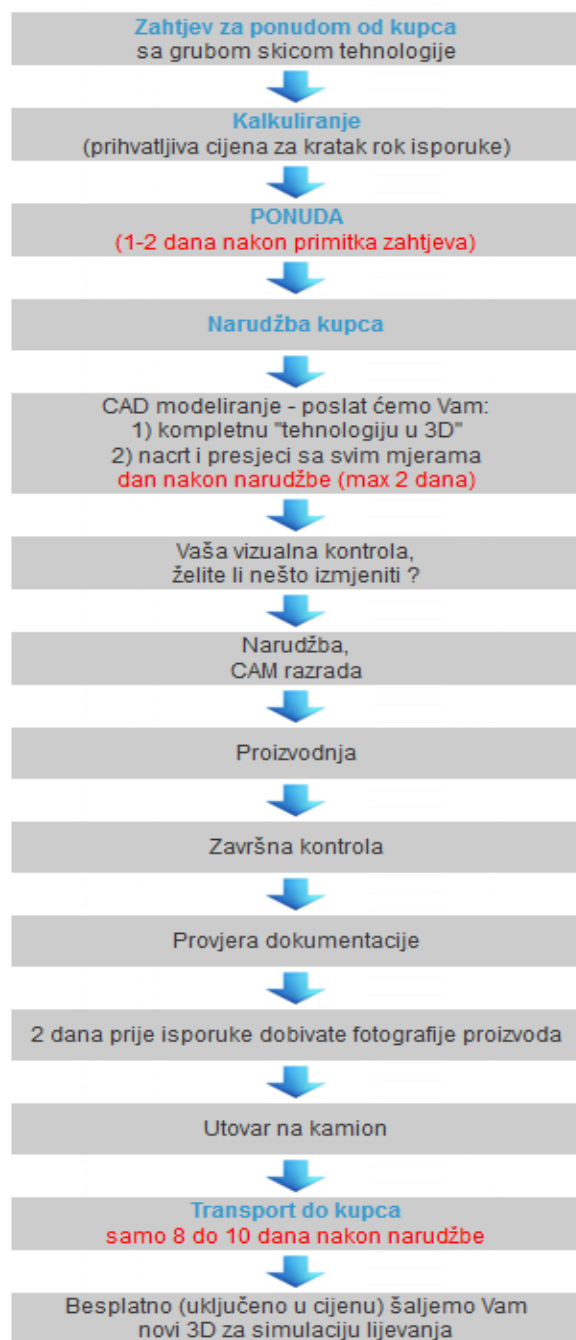
Fraktali u pravilu samostalno rješavaju zadatke, koje sami organiziraju i optimiziraju u skladu s ciljevima suradnika/izvršitelja te u skladu s ciljevima hijerarhijski viših fraktala. Na taj se način postiže harmonija ciljeva, kako ne bi nastao nekoordinirani sustav optimiziranja zadataka pojedinih fraktala. Potrebno je, dakle, odrediti hijerarhiju ciljeva (ciljevi poduzeća, procesa, fraktala). Fraktali samostalno planiraju i reguliraju odvijanje procesa, a koncipirani su prema načelu timske rada. Koncentriraju se na rezultate procesa (ne na način rada) za koje su odgovorni u odnosu s drugim fraktalima i njihovim procesima.

Svaki fraktal, u skladu sa zadacima na svojoj hijerarhijskoj razini, preuzima odgovornost za rezultate svog rada i za odnose s drugim fraktalima. Na taj se način razgrađuju moć i kompetencije rukovodstva, a djelatnici dobivaju slobodu kreiranja svoga rada, preuzimaju rizike i dogovornosti za rezultate.

Odgovornost preuzima samo onaj djelatnik koji je kompetentan i koji može s obzirom na svoju ulogu preuzeti jamstvo za pravodobno i kvalitetno izvršenje zadataka i za posljedice korištenja ovlaštenja. U donošenju odluka, nosilac odgovornosti mora se rukovoditi ciljevima hijerarhijski viših fraktala, a odluke donositi konsenzusom članova tima.

5. PRIMJER ORGANIZACIJSKE SLUŽBE NABAVE U TVRTCI

Tvrtka u kojoj je analizirana organizacija nabave željela je ostati anonimna pa je u daljnjem tekstu nazvana tvrtka „xy“. Tvrtka „xy“ je modelarija i alatnica na sjeveru Hrvatske. Glavne prednosti su im ekstremno kratki rokovi isporuke, visoka kvaliteta izrade te konkurentne cijene. Okupljaju izvrstan tim mladih ljudi i nekoliko vrhunskih eksperata na području modela za ljevaonice koji imaju više od 30 godina iskustva. Modelarija su sa 40 godišnjom tradicijom i stalnim unapređivanjem i prilagođavanjem zahtjevima i potrebama kupaca [2].



Slika 1: Tijek razmjene dokumentacije u procesu izrade modela i komunikacije između tehničkog odjela i naručitelja

Izvor: web stranica tvrtke „xy“ (obradili autori)

Proizvodni program obuhvaća sve vrste modela i jezgrenika za ručno i strojno kalupiranje (drveni, metalni, aralditni) prema svim ljevačkim procesima koji se danas koriste u strojogradnji i brodogradnji. Da bi izašli u susret potrebama kupaca sve proizvode izrađuju prema standardima kvalitete DIN EN 12890 te mogu izraditi modele do 25 metara i 6 metara u promjeru. Ciljano tržište su im industrija energije, valjaonice, brodogradnja, distribucija fluida (ventili, pumpe) te opća strojogradnja.

Tijek razmjene dokumentacije u procesu izrade modela i komunikacije između tehničkog odjela i naručitelja vidljiv je iz slike 1.

Trenutno tvrtka upošljava 170 djelatnika unutar proizvodnih kapaciteta gdje raspolažu sa dva pogona sa ukupno 4.200 m². Njihova tehnička služba se sastoji od 22 tehnologa koji su obučeni za sve vrste pripreme proizvodnih procesa.

5.2. Oblik organizacijske strukture nabave u tvrtci

U tvrtci „xy“ koristi se prostorna centralizacija koja jako dobro funkcionira jer koristi sve prednosti takvog oblika nabave. Nedostaci, kao što su otežano komuniciranje službe nabave s korisnicima predmeta nabave, što dovodi do vremenskog pomaka u donošenju odluka i do lošijih rezultata, nisu vidljivi u tvrtci. Također, tvrtka ne gubi fleksibilnost i nema problema s opskrbom. Djelatnici uvijek rade s istim predmetima nabave pa su specijalizirani, olakšan je posao s dobavljačima jer komuniciraju s kompetentnim djelatnicima. U tvrtci se sklapaju količinski i vrijednosno veći poslovi i smanjuje se administrativno poslovanje.

U tvrtci „xy“ nabava je u sastavu tehničke službe i nasuprot nedostacima tog organizacijskog oblika nabave nema nagomilane zalihe materijala, sklopova i dijelova te nema problema sa ekonomičnosti i likvidnošću. Jedini problem koji je uočen odnosi se na djelatnike tehničke službe koji se moraju baviti i poslovima nabave.

Na temelju istraživanja i navedenih činjenica može se zaključiti da tvrtka „xy“ koristi optimalan oblik organizacijske strukture nabave u tvrtci, što je dokazala svojim vrlo uspješnim poslovanjem te ekonomičnosti, fleksibilnosti i likvidnosti.

5.3. Služba nabave u tvrtci

Sustav nabave u tvrtci ima četiri stavke. Dakle, roba se naručuje po jednoj od niže navedenih stavki ovisno o tome kojoj stavci prema opisu pripada:

1. Automatsko naručivanje robe iz skladišta po sistemu minimalno/maksimalno - to je sustav naručivanja robe koji sam šalje alarm radniku nabave kada određena roba na skladištu dosegne svoj minimum. Znači, za svaki materijal ili alat posebno se odredi minimalna količina i maksimalna količina koja može biti u skladištu. Kada zalihe nekog materijala dosegnu svoj minimum, sustav šalje alarm radniku nabave. Postupak naručivanja je sljedeći: Šalje se zahtjev za nabavu, u obliku alarma radniku nabave, koji ga prima u ERP sustavu. Enterprise Resource Planning (ERP) je poslovni softver za

upravljanje tvrtkom – obično je to paket integriranih aplikacija koje tvrtka može koristiti za prikupljanje, pohranu, upravljanje i interpretaciju podataka iz brojnih poslovnih aktivnosti, uključujući: planiranje proizvodnje, troškove, proizvodnju i dostavu, marketing i prodaju, upravljanje zalihama, te dostavu i plaćanje. Alarm se javlja u obliku poruke da se mora naručiti određeni materijal ili poslati upit prema dobavljaču kako bi on poslao ponudu ili ako je cijena već prije dogovorena, materijal se odmah šalje. Narudžbenica se šalje s cijenom od zadnjeg naručivanja. Nakon toga zahtjev se šalje direktorici kako bi narudžbu odobrila ili ne odobrila (uz obrazloženje). Ako je zahtjev odobren šalje se narudžbenica dobavljaču. Dobavljač šalje potvrdu narudžbe i dogovora se rok isporuke. Plaća se po predračunu, isporuka se odvija u skladištu tvrtke s količinom naručenog materijala (koja mora biti između određenog minimuma i maksimuma). Plaća se nakon isporuke robe u dogovorenom roku plaćanja.

2. Naručivanje poznatog materijala koji se ne drži na skladištu - Ovim sustavom naručuje se materijal koji se već prije koristio i koji je djelatnicima dobro poznat, ali se ne drži na skladištu jer je preskup i/ili nema potrebe za stalnim držanjem tog materijala na skladištu zbog rijetkog korištenja. Postupak naručivanja je sljedeći: Djelatnik nekog odjela koji ima potrebu za tim materijalom piše zahtjev za nabavu u ERP sustavu koji se kao alarm prikazuje radniku nabave. Radnik nabave neće moću upisati radne učinke ako taj zahtjev ne obradi ili barem potvrdi da je zahtjev u izvršenju ili da je primljen. Nakon toga zahtjev se šalje direktorici kako bi narudžbu odobrila ili ne odobrila (uz obrazloženje). Ako je zahtjev odobren šalje se narudžbenica dobavljaču. Dobavljač šalje potvrdu narudžbe i dogovora se rok isporuke. Plaća se po predračunu, isporuka se odvija u skladištu tvrtke samo što radnik nabave mora osobno primiti materijal i uskladištiti ga te ga odmah razdužiti na djelatnika koji je napravio zahtjev za nabavu. Plaća se nakon isporuke robe u dogovorenom roku plaćanja.

3. Naručivanje novog materijala ili alata - u ovaj sustav naručivanja ulazi materijal ili alat koji se naručuje po prvi put. Postupak naručivanja je kako slijedi: Djelatnik nekog odjela koji ima potrebu za tim materijalom šalje zahtjev za nabavu radniku nabave. Radnik nabave šalje što više upita različitim dobavljačima koji drže taj materijal ili alat. Odgovori se u većini slučajeva dobivaju isti dan, a najkasnije 1 do 2 dana nakon slanja upita. Ako ponuda dolazi kasnije ne uzima se u obzir, a tako je i navedeno na upitu. Odabire se dobavljač koji na temelju naše analize i procjene ponudi najbolji omjer cijene i kvalitete te se mu šalje narudžbenica. Dobavljač šalje potvrdu narudžbe i rok isporuke. Plaća se po predračunu i nakon isporuke robe. Kada materijal stigne na skladište uvodi se minimalna i maksimalna količina zaliha koju će držati u skladištu, a to ovisi o tome koliko će se taj materijal ili alat koristiti. Tako se ažurira sustav i automatski se stvore alarmi koji će opet obavijestiti djelatnika nabave kada navedena roba dosegne svoj minimum. Sad kad je novi materijal ili alat uveden u sustav „minimalno/maksimalno“, dalje vrijedi prvi slučaj za automatsko naručivanje robe iz skladišta po sistemu minimalno/maksimalno.

6. ZAKLJUČAK

Vodeći se radnom hipotezom, u ovom radu je pokazano da se odabirom optimalnog oblika organizacijske strukture nabave može utjecati na poslovanje i poslovni rezultat tvrtke. Kroz teoretska i praktična istraživanja istaknuti su temeljni organizacijski oblici službe nabave u tvrtkama i javnim tijelima te je prikazan primjer organizacije službe nabave u tvrtci koja se bavi izradom modela za ljevaonice.

Nabava kao ograničena definicija opskrbe, danas je strateški čimbenik u profitabilnosti tvrtke i povećanju dioničarske vrijednosti. Upravljanje nabavom se danas javlja da bi tvrtkama omogućilo stratešku prednost i potencijal za dodavanje vrijednosti. Važnost nabave za poduzeće proizlazi iz njena dva izvora, i to troškovne i operativne efikasnosti.

Organizacijskom strukturom nabave trajno se reguliraju poslovi nabave koji se odvijaju istodobno ili jedan za drugim, na način da se usklade ukupne međuovisnosti tih poslova imajući na umu ciljeve nabave. Organizacija poslovanja se bavi strukturiranjem procesa nabave kako bi njegovo odvijanje bilo u skladu sa ciljevima. Organizacijska struktura nabave mora omogućiti donošenje odluka na temelju cjelovitih ocjena svakog konkretnog slučaja, tako da se ostvare što bolji rezultati poslovanja poduzeća i njegovih partnera, a ujedno da se vodi računa o psihosocijalnim aspektima te o zaštiti okoliša. Glavni bi cilj trebao biti da nabava što više pridonese uspješnosti poslovanja poduzeća. Mjesta u nabavi moraju biti tako oblikovana da se zadaci mogu dobro koordinirati da se brzo i fleksibilno može riješiti svaki zahtjev koji se stavlja pred funkciju nabave.

Mjesto nabave u organizacijskoj strukturi poduzeća ne može se odrediti jedinstveno već ovisi o uvjetima koji su individualni za svako poduzeće. Prije donošenja odluke o mjestu nabave u organizacijskoj strukturi poduzeća valja utvrditi prednosti i nedostatke pojedinog organizacijskog oblika uzimajući u obzir sve čimbenike koji utječu na uspješnost poslovanja nabave (primjerice, mogućnosti i prednosti podjele strateških i operativnih zadataka, opseg nabave, raspoloživa informatička tehnologija i drugo)

Na temelju istraživanja i navedenih činjenica zaključeno da tvrtka „xy“ koristi optimalan oblik organizacijske strukture nabave u tvrtci, što je dokazala svojim vrlo uspješnim poslovanjem, ekonomičnosti, fleksibilnosti i likvidnosti. Ne otežava se komuniciranje nabave s korisnicima predmeta nabave, tvrtka nema problema s opskrbom te nema nagomilane zalihe materijala, sklopova i dijelova.

7. LITERATURA

- [1] Bloomberg, D. et all: Logistika, Mate, Zagreb, 2006.
- [2] Ferišak, V.: Nabava: politika, strategija, organizacija, management, 2. izdanje, vlast. nakl., Zagreb, 2006.
- [3] Segetlija, Z.: Uvod u poslovnu logistiku, Osijek, Ekonomski fakultet, 2008.
- [4] Varga, D.: Oblici organizacijske strukture nabave (završni rad), Veleučilište u Varaždinu, 2015.

- [5] Žibret, B.: Strateška nabava, put do ostvarenja međunarodne konkurentnosti, Mate d.o.o., Zagreb, 2007.

Kontakt autora:

Doc. dr. sc. Ljudevit Krpan

Adamićeva 10, 51 000 Rijeka
tel. 051 351 900, ljudevit.krpan@pgz.hr

Diana Varga

Bana Jelačića 15, Ivanovec, 40 000 Čakovec
tel. 040 337 311, diana.varga.ll@gmail.com

Dr. sc. Robert Maršanić

Fiumara 13, 51 000 Rijeka
tel. 051 352 521, marsanic@rijekapromet.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*) koje se koriste za označavanje stavki u nekoj listi, odnosno za nabranjanje 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

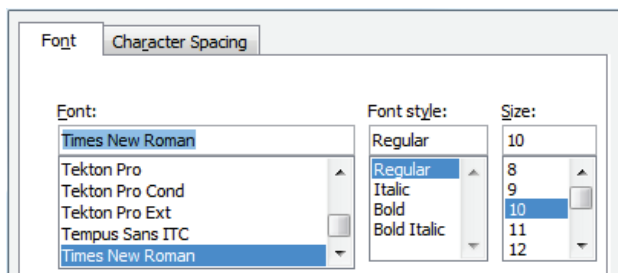
1.2. Oblikovanje slika, tabela i jednadžbi (Stil: Arial Narrow, 12pt, Bold, Align Left)

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

Ponuđeni članak ne smije biti ranije objavljen, bilo u jednakom ili sličnom obliku, niti smije biti istodobno ponuđen drugom časopisu. Za sadržaj članka, autentičnost podataka i tvrdnji u njemu isključivo i u cijelosti odgovara autor ili autori.

Članci prihvaćeni za objavljivanje svrstavaju se u četiri kategorije: izvorni znanstveni članci (original scientific papers), prethodna priopćenja (preliminary

communications), pregledni članci (subject reviews) i stručni članci (professional papers).

U **izvorne znanstvene članke** svrstavaju se radovi, koji po ocjeni 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@unin.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 će 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
