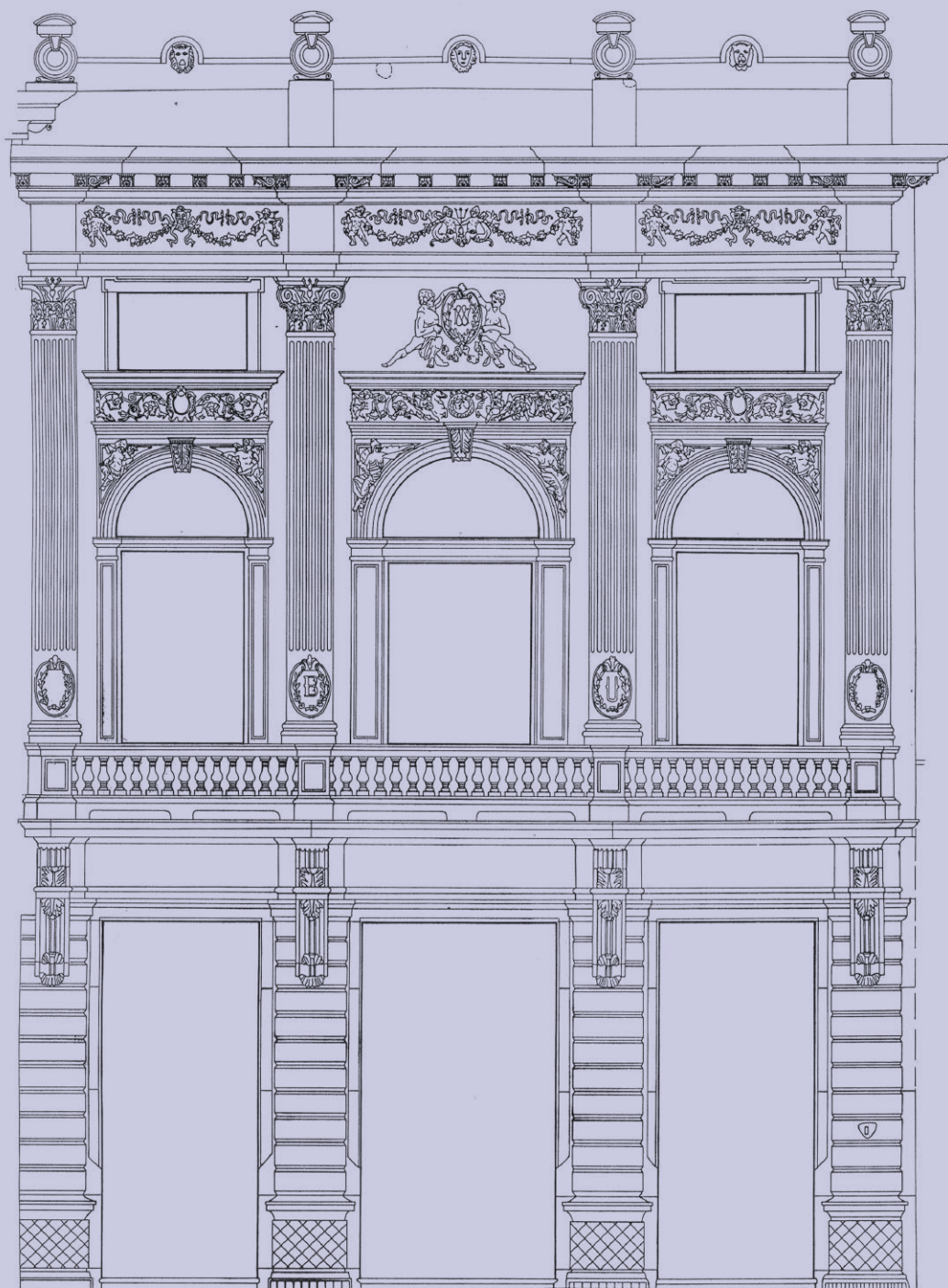


TECHNE¹⁴

PULA
TRAVANJ
2015

ČASOPIS ZA POLITEHNIČKU OBRAZOVNU TEORIJU I PRAKSU



 **Politehnika Pula**
Visoka tehničko-poslovna škola

 **TECHNE**
UDRUŽENJE INŽENJERA

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ **POLITEHNIKE**



Znanje koje primijenjujemo, odmah.
Upisi u akademsku 2015./16. godinu

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ POLITEHNIKE

Popis predmeta



Prvi semestar

Engleski jezik I
Metode i tehnike inženjerskog učenja i rada
Primijenjena fizika
Primijenjena matematika
Primjena elektroničkih računala
Tehnička mehanika I
Timski rad i praktikum I
Tjelesna i zdravstvena kultura I

Drugi semestar

Elektrotehnika I
Engleski jezik II
Inženjerska matematika
Mjerne tehnike
Moderna fizika
Tehnička mehanika II
Timski rad i praktikum II
Tjelesna i zdravstvena kultura II

Treći semestar

CAE/CAD/CAM sustavi
Elektronika I
Elektrotehnika II
Elementi strojeva I
Tehnika materijala I
Tehnologija i proizvodna tehnika I
Timski rad i praktikum III
Tjelesna i zdravstvena kultura III

Četvrti semestar

Elektronika II
Elementi strojeva II
Poslovna organizacija i ekonomika
Proizvodno inženjerstvo
Tehnika materijala II
Tehnologija i proizvodna tehnika II
Timski rad i praktikum IV
Tjelesna i zdravstvena kultura IV
Upravljačko računovodstvo

Peti semestar

Ekologija
Konstrukcije
Menadžment projekata
Osnove automatskog upravljanja
Stručna praksa
Timski rad i praktikum V
Upravljanje kvalitetom

Šesti semestar

Marketing
Osnove prava i radno pravo
Poslovno-proizvodni procesi
Timski rad i praktikum VI
Izborni predmet 1
Izborni predmet 2
Izborni predmet 3
Završni rad s obranom

Izborni predmeti

Električni strojevi
Elektroenergetske mreže i postrojenja
Energijske tehnologije
Geoinformacijski sustavi
Inženjerska statistika
Karakterizacija materijala
Održavanje
Poslovni informacijski sustavi
Računalne mreže
Regulacijska tehnika
Tehnika pregovaranja i retorika
Tehnike dokumentacije i prezentacije
Upravljanje elektromotornim pogonima

Sadržaj

Surfing Hydro-Wind Electric Station (str. 4)
Prof. Ivanaisky Aleksey V.
Eng. Ivanaiskaya T. S.

Innalzamento della tensione provocato dalle correnti ascensionali
 nell'atmosfera mediante separazione delle cariche elettriche (str. 7)
Roberto Bosaz

Lomna žilavost (str. 9)
Lana Buletić, mag. ing. mech.

Energija sunca kao značajan potencijal smanjenja energetske
 ovisnosti republike hrvatske (str. 12)
Dubravka Čolak, spec. upravljanja procesima

Upravljanje mikroprocesorskim sustavima putem web klijenta na
 primjeru obiteljske kuće (str. 25)
Denis Ivančić

Linearni sustavi i metode njihovog rješavanja (str. 30)
Pred. Đani Žufić, prof.

Primjena nanotehnologije u elektronici (str. 35)
Barbara Jurki

Revitalizacija SCADA aplikacije u proizvodnom inženjerstvu na
 primjeru postrojenja za pohranu, mljevenje i obradu pšenice (str. 41)
Prof. dr. sc. Dario Matika
Tomislav Damjanović, mag. ing. elth.

Standardizirani postupak određivanja lomne žilavosti pomoću CT uzorka
 (str. 45)
Lana Buletić, mag. ing. mech.
Pred. Sandi Buletić, dipl. ing.

Kamate po Zakonu o obveznim odnosima (str. 53)
Luka Šumberac, mag.iur.

Linearno programiranje (str. 59)
Pred. Đani Žufić, prof.

Temeljne dimenzije i modeli za mjerenje kvalitete usluge internet
 bankarstva (str. 63)
Pred. Dijana Mečev, univ. spec. oec.

Obnovljivi izvori energije i energetska učinkovitost s aspekta
 projektnog financiranja (str. 70)
Pred. Tamara Žufić Košara, mag. oec.
Ivan Sapundžić

Formiranje nekretninskih indeksa (str. 74)
Dr. sc. Dolores Pušar Banović

ERP sustavi temeljeni na otvorenom kodu (str. 82)
Dr. sc. Giorgio Sinković
Saša Davidović, dipl. ing.

Za nakladnika | For Publisher

Mr. sc. Davor Mišković

Uredništvo | Editorial Board

Mr. sc Davor Mišković

Dr. sc. Branimir Ružojčić

Dr. sc. Klaudio Tominović

Mr. sc. Radovan Jokić

Dr. sc. Goran Zgrablić.

Boris Marjanović

Barbara Marušnik

Sanja Grbac Babić

Tamara Žufić-Košara

Glavni urednik | Editor

Luciano Kuhar

Likovni urednik | Art Editor

Boris Marjanović

Grafički urednik | Graphic Editor

Boris Marjanović

Naslovnica | Cover

Igor Zirojević

Tisak | Press

Tiskara Nova, Galižana

Naklada | Copies

300 primjeraka

Časopis izlazi dva puta godišnje

UDK 371

ISSN 1333-2643

IN MEMORIAM

Mr. sc. Davor Mišković

... svih ovih šezdesetak godina isprepliću nam se životi, pa možda mogu izreći nekoliko crtica ...

U Raškoj 6, još početkom šezdesetih – igram nogomet s Valneom, imamo 6, 7 godina. Osnovna škola, gimnazija, tehnička, Luciano je dvije godine stariji, uvijekje ispred, vaterpolo, tae-kwon-do. Pa onda Elektrotehnika u Zagrebu, žele živjeti zajedno, ali tata Pero je rekao: prvo brak pa onda ... i tako žene se već na trećoj godini. Diploma, još malo Zagreba u školi za rezervne oficire – i tu sam bio, godinu, dvije u zakašnjenju. Povratak u Pulu – Elektroistra, odmah magisterij, rađaju se Dora, pa Ivan. Napredovanje do tehničkog direktora, pa onda politika, demokracija – skoro 20 godina. Usput – doktorat. Gradonačelnik, zastupnik, Župan - telefon gori od poziva, u međuvremenu samo rijetki zovu. Odjednom zatvara vrata licemjerne politike i opet smo zajedno, na Politehnici. I to je ono što mu je možda i najdraže, nastavlja rad profesora Jurcana, stvara, osjeća da je potreban. Voli ideju Politehnike, zgradu, voli ljude s kojima radi, studente – i na kraju časti Politehniku, to mu je obitelj. Nismo završili sve što smo trebali, otišao si prebrzo, prerano i ne znamo baš kako ćemo dalje, ali moramo – bit će sve u redu, ne brini.

Imali smo privilegiju raditi s Lučanom.

Hvala ti što smo bili prijatelji.



Luciano Delbianco

10. lipnja 1954. – 29. rujna 2014.

SURFING HYDRO-WIND ELECTRIC STATION

Author and Patent holder: Prof. **Ivanaisky Aleksey V.**

Author and Patent holder: Eng. **Ivanaiskaya T. S.**

The invention deals with the energy, particularly, to surfing hydro-wind electric stations and is presented for production of the electric power by the transformation of the energy of the surfing flow and the energy of low tide near sea coasts, oceans as well as the energy of the airstreams.

The known mobile hydro-wind electric station, containing rotor wind plant, located on deck parallel installed boat, between which magnetic-electric generators are located, kinematically connected with wind plant that provides the production of electric power from speed pressure winds simultaneously and water, but when there is no wind the hydro-wind electric station works as hydroelectric station (refer to RF patent on useful model 107828, MPK F03D 3/00, published 27.08.2011).

The disadvantage of the known hydro-wind electric station is a complicity of the design and as a result the unreliability of its work.

The known surfing hydro-wind electric station, containing some wave intake blade located under the water, installed by possibility of the swing around axis, hydraulic pump and hydraulic engine with electric generator.

Wave intake blade has a storage battery and an overflow tank in its average part. The hydraulic pump is double-sided and has a membrane. Springy membranes are located with outer faces of the water intake blades (refer to RF patent №2291985, MPK F03B 13/14, published in 2007).

Also known some surfing hydroelectric station, taken as a prototype, which contains wave intake blade, set up with possibility of the swing for axis, piston pump and hydroengine with electric generator (refer to RF patent 2009367, MPK F03B 13/12, published in 1994).

The disadvantage of the hydro-electric station mentioned is the complexity of the hydro design, and the need for seals on the piston pump and intermittent supply of hydraulic fluid to the hydraulic motor associated with the nature of the piston pump, which makes industrial generation of electricity.

The aim of the present invention is to improve the completeness sharing power of surfing flow and ebb air flow, as well as simplifying the construction surfing hydro-wind electric station and its operation.

The problem is solved by the fact that surfing hydro-wind electric station provides a platform with a cut, mounted on

the surface of the sea in its coastal zone, rotor plant placed in the slot platform with finding parts of it under the water and consisting of two rotors, a mirror located on a common shaft, mechanically connected to the shaft of an electric generator, each of which made in the form of a disk with blades in the form of aerodynamic wings, arranged with a gap on the overall shaft, two fairings each of which is mounted on a common shaft to the appropriate rotor and covers the gap between the inner edges of the blades and two confusers and additional drowned platform, that is fixed in front of the platform that is located from the side of a sea. While the butt ends of the rotor's blades are sloped to the axis of the general gross, the confusers are set on peripheral parts of the butt ends of the rotor's blades with a gap with a certain fairing.

The problem could be solved by the following theses:

- rotor plant can be provided with inertial wheel, placed on the general gross between disk rotor;
- platform can be bolted on sea surfaces at full tilt or pontoon;
- Rotor plant is located in cuts of the platform with finding before 1/3 under water;
- additional platform is drowned on depth 0,3 – 1 m from surface;
- butt end of the blades of each rotor is sloped to axis of the general gross by the angle, forming 15 – 20 degrees, area of the cross-section fairing forms 25 % – 35 % area of the disk corresponding to rotor, but area to projections to confusor on disk forms 35 % – 45 % area of the disk corresponding to rotor.

Surfing hydro-wind electric station is presented on fig.1

On fig. 2 – A type fig. 1.

On figs. 3 – B type fig. 1.

On fig. 4 – C type fig. 1.

Proposed surfing hydro-wind electric station (fig.1) contains the platform 1 with cut 2, bolted on surfaces of a sea in its coast band, rotor plant 3, placed in cuts 2 platforms 1 with finding of its part under water, and additional stamped platform 4, bolted before platform 1 on the part of sea surface and intended for concentration of the energy of the flow of waves.

Rotor plant 3 consists of two rotors 5 (2, 3, 4) located on the general gross 6, mechanically bound through reduction gear 7 with gross of electric generator 8, each of which has a form of disk 9 with blade 10 in the form of aerodynamic wings.

These wings has a clearance for the general gross 6, two fairings 11, each of which is found on the general gross 6 before corresponding to rotor 5 and covers the clearance between internal edge of the blades 10, and two confusors 12. The butt end of the blades 10 rotors 5 are executed sloped to axis of the general gross 6, but confusors 12 are installed on peripheral parts of butt end blades 10 rotors 5 with forming the clearance with corresponding to fairing 11. For passing "dead" point of waves rotor plant 3 can be provided with inertial wheel 13, placed on the general gross 6 between disk 9 and rotors 5. The platform 1 can be bolted on sea surfaces at full tilt 14 or pontoon 15. Rotor plant 3 is located in cuts of 2 platforms 1 with finding with 1/3 under water. If the plant 3 is located more its 1/3 under water it reduces the velocity of the rotor 5 rotation by the increase of friction. If the plant 3 is less its 1/3 under water it reduces the efficiency of the influence of the flow of water on its capacity. The additional platform 4 is drowned on the depth of 0,3 – 1 m from sea surface. Increase of the depth of the additional platform 4 more than 1 m reduces the concentration to energy of the water flow. So at the depth of 10 m the energy of the flow is practically absent. The reduction of the depth of additional platform 4 less than 0,3 m, also reduces the concentration to energy of the water flow by its diffusing at the depth before 0,3 m. Butt end of the blades 10 of each rotor 5 is sloped to axis of the general gross 6 with the angle of 15 – 20 degrees. The area of the cross-section of fairing 11 forms 25 % – 35 % area of the disk 9 corresponding to rotor 5.

The area of projections confusor 12 on disk 9 forms 35 % – 45 % area of the disk 9 corresponding to rotor 5. Such geometric correlations are received experimental. The corner from 15 before 20 degrees is conditioned that that 15 degrees provide the sufficient concentration of the flow winds and flow of surfing and tidal waves (the velocity), increase more 20 degrees will positively influence the velocities of the flow winds and water upon increase. Reduction of covered area of a disk 9 by fairings 11 less 25 % reduces efficiency of the use of energy flow winds and water and complicates design a rotor 5, but increase more 35 % reduces worker a surface disk 9 and also reduces velocity of the rotation rotor 5. The confusor coerture 12 on flow winds and water disk 9 less 35 % will bring about sharp reduction of the velocities of the rotation rotor 5, but increase the coerture more 45 % area disk 9 will shorten the required clearance between corresponding to confusor 12 and fairing 11 and will also bring about reduction of the velocities of the rotation rotor 5.

The Flow winds enters on fairing 11 and in confusor 12 rotors 5, turned to sea, simultaneously escalated stamped by platform 4 flows of waves enters in residing under water part of confusor 12 and rotor 5. In confusor 12 both flows speed up and with top speed get immediately on all blades 10 rotors 5, turned to sea. The having Returned part to its kinetic energy blade 10, airstream and flow of waves get on disk 9 rotors 5, where occurs their braking about blades 10 and disk 9. Here both flows change its direction of the motion on 90 degrees, but then abandon the volume of the rotor 5 through expanding holes, formed adjacent blade 10 and internal surface 12. When moving waves from coast seaborne flow of waves en-

ters in residing under water part of confusor 12 rotors 5, turned aside coast, blades 10. The Kinetic energy of this flow, transformed in mechanical energy of the general gross 6, also stores the inertial wheel 13 and is sent through редуктор 7 on gross электрогенератора 8 for production of the electric powers. Similarly energy low tide is converted.

Thereby, use proposed приборной гидроветроэлектростанции will allow to raise the fullness of the use of wind, surf and tide energy flow, as well as greatly simplify its design and usage.

Claim

1. Surfing hydro-wind electric station containing a platform with a cut, mounted on the surface of the sea in its coastal poyaose, rotor installation placed in the slot platform with finding parts of it under water and consists of two rotors, a mirror located on a common shaft is mechanically connected to the shaft of an electric generator, each which is made in the form of a disk with blades in the form of aerodynamic wings, arranged with a gap on a common shaft, two cowls, each of which is mounted on a common shaft to the rotor and the corresponding covers the gap between the inner edges of the blades, and two confuser, and an additional bay platform, fixed platform in front of the sea, and the ends of the rotor blades are made oblique to the axis of the shaft in common, and confusers installed on the peripheral parts of the ends of the rotor blades to form a gap with the appropriate fairing.
2. Surfing hydro-wind electric station according to claim 1, characterized by the fact that rotary unit is equipped with an inertia wheel placements on a common shaft between the rotor discs.
3. Surfing hydro-wind electric station in pp1 or 2, characterized in that the platform is anchored on the sea surface by means of supports.
4. Surfing hydro-wind electric station in pp1 or 2, characterized in that the platform is anchored on the sea surface by pontoons.
5. The rotary unit is in the slot platform with placing third under water.
6. Additional platform is drowned to the depth of 0,3 – 1 m.
7. The ends of each rotor blade beveled to a common axis of the shaft at an angle components of 15 – 20 degrees, the cross sectional area cowl 25 % – 35 % of the area corresponding to the rotor disk, and the area confuser projection on the disk is 35 % – 45 % of the disk corresponding to the rotor.

(See figures on next page)

INNALZAMENTO DELLA TENSIONE PROVOCATO DALLE CORRENTI ASCENSIONALI NELL'ATMOSFERA MEDIANTE SEPARAZIONE DELLE CARICHE ELETTRICHE

Autore: Dott. Roberto Bosaz

ABSTRACT

We needed three centuries to understand the reasons why the negative charges which are carried by thunderstorms can reach such high voltages, beyond 100 million volts.

The physical principle that let to reach such voltages is the one of energy conservation (the energy produced by the updraughts as the thunderstorm rises together with the negative charges).

Such energy causes a potential difference between the negative charges on the thunderstorm and the positive ones on the ground; the bigger is the amount of charge carried by the ground and by the cloud, the bigger will be the force between these systems of charges and consequently the work done.

As for gravitational forces, that we recall

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \rightarrow E = m \cdot g \cdot h \text{ (Potential Energy)}$$

we find

$$F = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \rightarrow E = \sum f \cdot d_x \text{ (Electric Energy)}$$

from which one can derive

$$\Delta V = \frac{E}{Q}$$

the voltage being equal to the energy per unit charge. Obviously we can express energy also using eV units simply using $E/1,60217656 \cdot 10^{-19}$ for converting. A part of this energy is released with electric discharges producing anti-matter, x rays and gamma rays.

Soltanto dopo quasi tre secoli dall'esperimento ideato da Benjamin Franklin che utilizzava un aquilone per portare un conduttore in quota, siamo giunti a comprendere come sia possibile che le cariche negative trasportate dalle celle temporalesche riescano a raggiungere tensioni incredibilmente elevate.

Si parla infatti di valori superiori a cento milioni di Volt. Si può ragionevolmente ritenere che al verificarsi di condizioni favorevoli, tali tensioni possano raggiungere diversi miliardi di Volt.

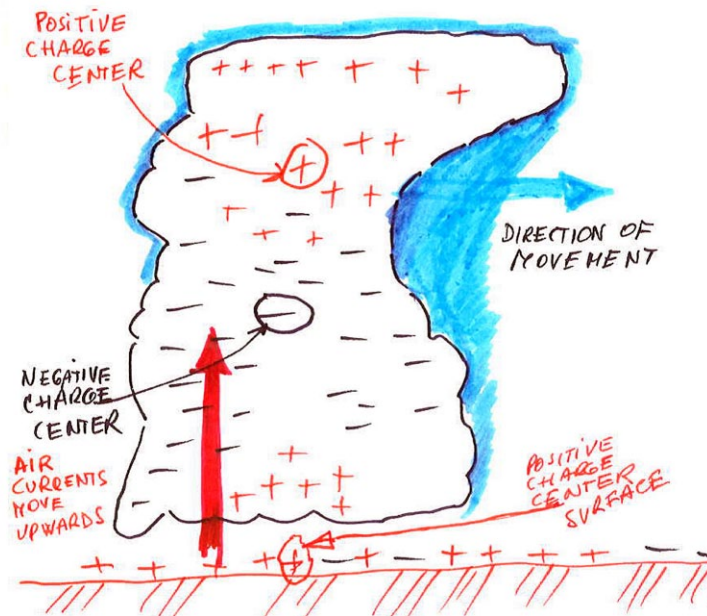
Certamente prima di questo sarà bene ricordare l'effetto Lenard secondo il quale una goccia di acqua spezzandosi a seguito di forti moti convettivi presenta cariche positive nei

frammenti più grossi e pesanti, negative in quelli più piccoli e leggeri. La separazione delle cariche avviene quindi per effetto del diverso peso delle stesse. La prevalenza delle cariche positive si deposita al suolo, mentre quelle più leggere vengono trasportate dalle correnti verso l'alto.

Il meccanismo fisico che consente il raggiungimento di tali tensioni è quello della conservazione dell'energia (energia prodotta dalle correnti ascensionali nel sollevamento della cella temporalesca).

Tale energia si traduce in un aumento della differenza di potenziale tra le cariche negative e quelle positive presenti al suolo: tanto più grande è la quantità di carica presente al suolo,

Figura 1: Cella temporalesca secondo Feynman



tanto maggiore sarà la forza che si esercita fra questi sistemi di cariche e quindi il lavoro svolto relativo alla separazione fra le cariche positive e negative del suddetto sistema di cariche presenti sulla cella temporalesca.

Troviamo per analogia con le forze gravitazionali che ricordiamo sotto

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \quad E = m \cdot g \cdot h \quad \text{Energia potenziale}$$

$$F = \frac{k \cdot Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \quad E = \sum f \cdot \Delta x \quad \text{Potenziale energia elettrica}$$

da cui ricaviamo, essendo la tensione uguale all'energia per unità di carica:

$$\Delta V = \frac{E}{Q}$$

Naturalmente, l'espressione dell'energia nell'unità di misure eV può essere ottenuta semplicemente usando $E/1,60217656 \cdot 10^{-19}$ per la conversione.

Recenti studi condotti dall'università di Tel Aviv hanno evidenziato la relazione esistente tra numero di fulmini generati mediamente in un anno ed innalzamento globale della temperatura: basti pensare che per ogni grado di aumento della temperatura, si ottiene un aumento del 10 % del suddetto numero dei fulmini. Appare quindi evidente la relazione che esiste fra correnti ascensionali e fulmini.

E' certo poi che parte di questa energia che si libera con le scariche elettriche produce antimateria, raggi x e raggi γ . Ricordiamo che i raggi γ sono prodotti quando entrano in gioco energie superiori al milione di eV: questi valori sembrano compatibili con i calcoli che ho effettuato. Ipotizzando che le cariche negative presenti sulla cella abbiano un valore di 20 Coulomb e quelle positive presenti a terra di 20 Coulomb, la differenza di potenziale prodotta ad una quota di circa 600 metri si aggira intorno a 1,2 miliardi milioni di Volt.

Bisogna inoltre ricordare che oltre i 90 km di quota (fuori dall'atmosfera) le radiazioni ultraviolette solari sottraggono elettroni alle molecole dei gas creando una zona ionizzata che circonda la terra (ionosfera). Pertanto tra le celle temporalesche e gli ioni positivi si possono innescare scariche verticali verso l'alto. I meccanismi con cui i raggi gamma terrestri vengono provocati è sufficientemente chiaro: gli elettroni che accelerati viaggiano a velocità prossima a quella della luce interagiscono con i nuclei ivi presenti e perdono la loro energia sotto forma di radiazioni gamma (fenomeno di Bremsstrahlung). Il Fermi gamma ray space telescope ha rilevato anche la presenza di antimateria, che si crea a seguito dei flash di raggi gamma.

L'aumento della differenza di potenziale fra le cariche di segno opposto che vengono allontanate è stato verificato in un esperimento che ho condotto ed i cui risultati ho pubblicato sulla rivista TECHNE, n. 13 del POLITECNICO DI POLA. L'esperienza è stata ripetuta all'università di Pisa alla presenza del prof. Leone Fronzoni docente di Fisica dei sistemi complessi.

Per approfondire

- Science BBC: Fulmini in laboratorio - come creare un fulmine, del Morgan Botti, Lightnine Laboratory
- Risultati del satellite Agile
- Risultati del satellite Batse Gamma Ray Flashes
- Scienze 1992: Alexander V. Gurevich – Istituto di Fisica Lebedev
- Scienze: Dwyer Joseph- Florida Institute of Technology
- Fermi Gamma-Ray Space Telescope
- Il TGF ha prodotto elettroni e positroni ad alta velocità, prossima a quella della luce. Journal of Geophysycal Research – Source mechanism electron-positron beam – observed with fermi GBM
- Rivista ligure di meteorologia (modello atmosferico Volland)
- Michael Briggs – L'antimateria prodotta in un temporale, meno di un granello di polvere (360 Mjoule).

LOMNA ŽILAVOST

Autor: Lana Buletić, mag. ing. mech.

SAŽETAK

Lomna ili pukotinska žilavost (eng. *plane strain fracture toughness*) je novije važno mehaničko svojstvo materijala, koje najbolje određuje njegovu otpornost prema nestabilnom rastu pukotine u njemu pod precizno određenim uvjetima. Drugačije rečeno, lomna žilavost je kritična vrijednost koncentracije naprezanja na vrhu pukotine pri kojoj nastupa nestabilni rast pukotine pod uvjetima stanja ravninske deformacije.

KLJUČNE RIJEČI: Lomna žilavost, pukotina, lom, koeficijent intenzivnosti naprezanja

1. UVOD

Lomna žilavost je karakteristika materijala koja se koristi kod dizajniranja konstrukcija spram otpora na pojavu i širenje pukotina. Vrijednost lomne žilavosti materijala predstavlja njegovu otpornost širenju pukotine a, samim time, i lomu materijala. Kao i većina značajki materijala, lomna se žilavost eksperimentalno određuje za pojedinu vrstu materijala, a postupci određivanja jesu standardizirani.

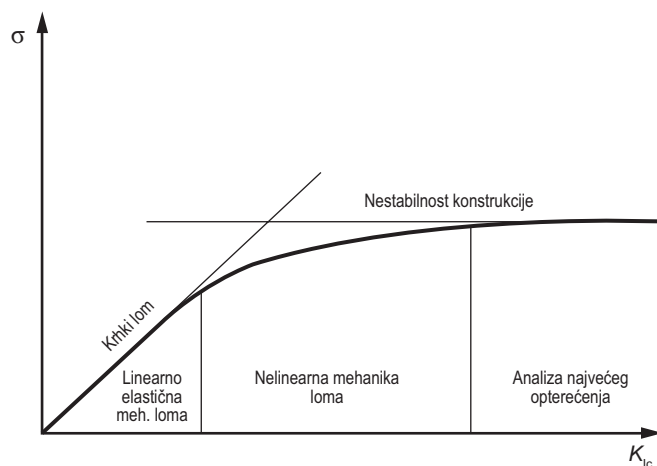
2. DEFINICIJA LOMNE ŽILAVOSTI

Lomna ili pukotinska žilavost (eng. *plane strain fracture toughness*) je novije važno mehaničko svojstvo materijala, koje najbolje određuje njegovu otpornost prema nestabilnom rastu pukotine u njemu pod precizno određenim uvjetima. Drugačije rečeno, lomna žilavost je kritična vrijednost koncentracije naprezanja na vrhu pukotine pri kojoj nastupa nestabilni rast pukotine pod uvjetima stanja ravninske deformacije.

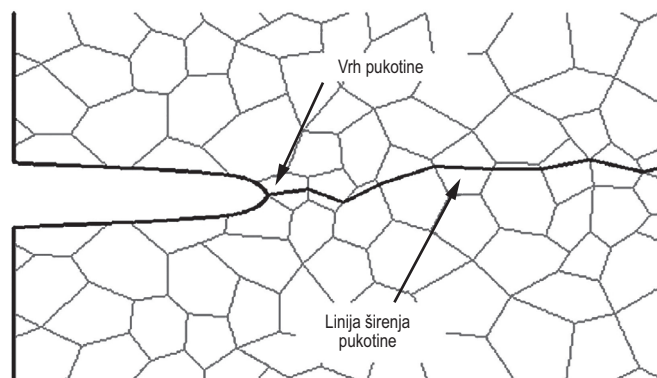
Lomna žilavost materijala utječe na vrstu loma. Radi li se o materijalu male lomne žilavosti K_{Ic} , doći će do krhkog loma. U tom se slučaju kritično naprezanje linearno mijenja s promjenom lomne žilavosti. Kod vrlo visoke razine lomne žilavosti, značajke tečenja materijala određuju nestabilnost konstrukcije, a između ova dva područja dolazi do žilavog loma (Slika 2.1).

Krhki lom predstavlja širenje pukotine duž kristalografskih ravnina u materijalu, što je tipično za feritne čelike (Slika 2.2). Zajednička karakteristika svih krhkih lomova je niska lomna žilavost materijala te iznenadni nestabilan lom. Za opisivanje takvog loma dovoljna je jedna vrijednost lomne žilavosti, primjerice K_{Ic} .

Slika 2.1: Utjecaj lomne žilavosti materijala na vrstu loma [2]

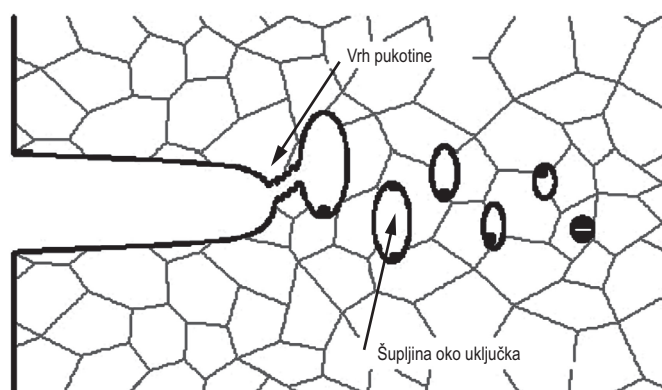


Slika 2.2: Krhki lom [2]



Žilave lomove karakterizira znatno plastično ponašanje materijala u blizini vrha pukotine. Na mikroskopskoj razini, dolazi do stvaranja šupljina oko čestica legiranih elemenata ili uključaka u materijalu koje se zatim spajaju, razvijaju u pukotine i pod naprežanjem dovode do loma (Slika 2.3). Lomu prethodi stabilno širenje pukotine koje se definira kao stanje tijekom kojeg se lom još može uspješno zaustaviti ne dođe li do povećanja naprežanja. J integral, tj. kritična vrijednost parametra lomne žilavosti J_c ili otporne krivulje $J-R$, najčešće se koristi kao značajka loma kod žilavog loma.

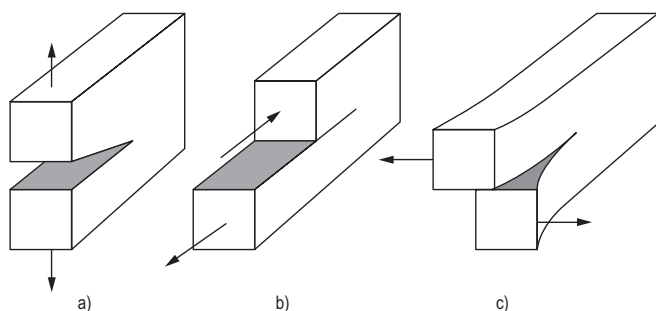
Slika 2.3: Žilavi lom [2]



3. NAČIN OTVARANJA PUKOTINE

Početak loma materijala nastaje kada se u vrhu pukotine (Slika 2.2 i 2.3) javi naprežanje koje je veće od naprežanja kojeg materijal može izdržati. U tom trenutku pukotina se počinje širiti (otvarati) na jedan od tri načina (Slika 3.1).

Slika 3.1: Načini otvaranja pukotine. a) odcjepni. b) smični. c) vijčani. [2]

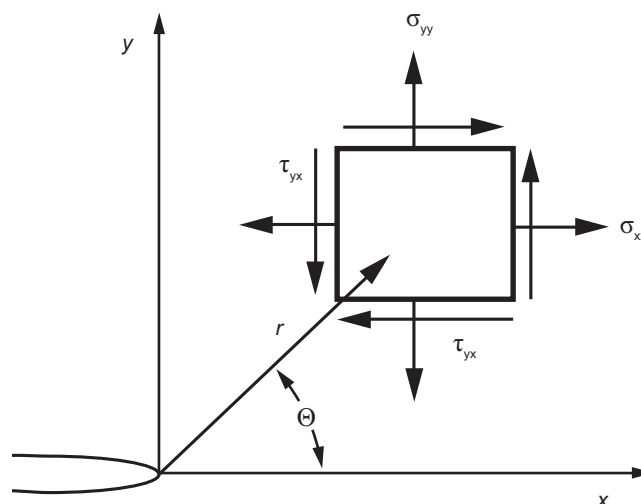


Način otvaranja pukotine ovisi o obliku opterećenja. U prvom načinu, tzv. odcjepnom (eng. *Mode I, opening mode*), sila djeluje okomito na ravninu pukotine otvarajući je. U drugom načinu, tzv. smičnom (eng. *Mode II, sliding mode*), smično se naprežanje javlja u ravnini pukotine, a u trećem se načinu otvaranja pukotine, tzv. vijčanom (eng. *Mode III, tearing mode*), smično naprežanje javlja izvan ravnine pukotine.

4. KOEFICIJENT INTENZIVNOSTI NAPREZANJA

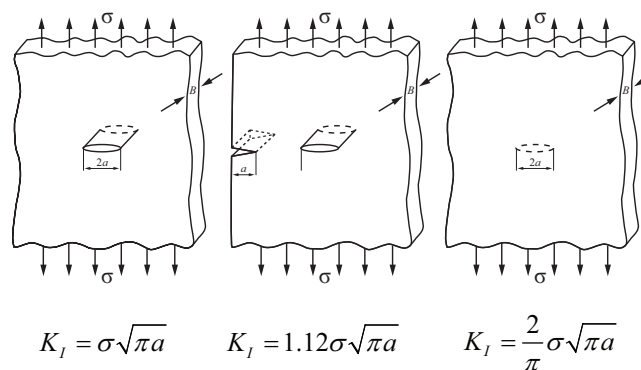
Koeficijent intenzivnosti naprežanja K potpuno definira stanje pri vrhu pukotine. Ako je poznat K , moguće je odrediti sve vrijednosti naprežanja, deformacije i pomaka kao funkcije od r i Θ (Slika 4.1).

Slika 4.1: Polje naprežanja pri vrhu pukotine [2]



Izrazi za određivanje koeficijenta intenzivnosti naprežanja K izvedeni su za određeni broj jednostavnih i široko primjenjivih slučajeva u tzv. zatvorenom obliku. Izrazi su izvedeni analitički, dok su za kompleksnije slučajeve korištene numeričke i eksperimentalne metode. Na Slici 4.2 su navedena rješenja za vrijednost koeficijenta intenzivnosti naprežanja u zatvorenom obliku za tri situacije vlačno opterećene ploče s pukotinom [3].

Slika 4.2: Vlačno opterećene ploče s tri oblika pukotine. a) Beskonačna ploča s centralnom pukotinom duljine $2a$. b) Polubeskonačna ploča s pukotinom na kraju, duljine a . c) Beskonačna ploča s kružno oblikovanom pukotinom poput novčića "usađenom" u tijelo [2]



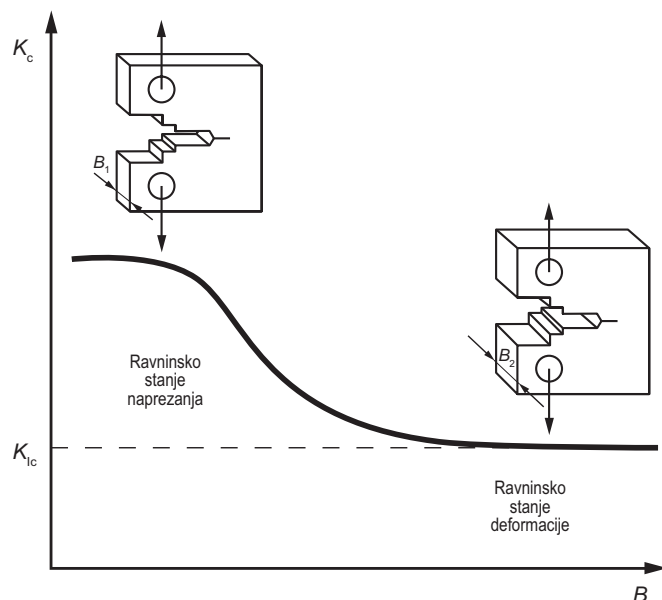
5. KOEFICIJENT INTENZIVNOSTI NAPREZANJA KAO KRITERIJ LOMA

Pretpostavi li se da do loma materijala na lokalnoj razini pri vrhu pukotine dolazi kod određene kombinacije naprežanja i deformacija, znači da do širenja pukotine dolazi kod određene kritične vrijednosti koeficijenta intenzivnosti naprežanja K . Ta se vrijednost označava s K_c i mjera je žilavosti loma, odnosno otpora širenju pukotine (eng. *fracture toughness*) te je isključivo značajka materijala koja ne ovisi o dimenzijama promatranog tijela, a određuje se eksperimentalno.

Ipak, valja napomenuti da lomna žilavost može u nekim slučajevima ovisiti i o geometriji tijela. Budući da pri vrhu pukotine kod njezina širenja postoji mala plastična zona, epruveta s pomoću koje se mjeri lomna žilavost materijala mora imati debljinu B razmjerno veću od te plastične zone kako bi se osiguralo stanje ravninske deformacije (eng. *plain strain*). Može

se stoga smatrati, da u slučaju malene širine epruvete naspram plastične zone pri vrhu pukotine, tamo vlada ravninsko stanje naprezanja (eng. *plain stress*). Uobičajeno se kao mjera lomne žilavosti K_{Ic} rabi ona veličina koja odgovara stanju ravninske deformacije, tj. veličina K_{Ic} .

Slika 5.1: Utjecaj debljine epruvete B ($B_1 < B_2$) na lomnu žilavost materijala, (K_{Ic} , K_{Ic}) [2]



U praksi je najvažnija lomna žilavost kod odcjepnog načina otvaranja pukotine budući da kod većine materijala lom izazivaju povišena normalna, a ne posmična (tangencijalna) na-

prezanja. Kod preostala dva načina otvaranja pukotine treba razlikovati njihove vrijednosti lomne žilavosti:

$$K_{Ic} \neq K_{IIc} \neq K_{IIIc} \quad (1)$$

6. ZAKLJUČAK

Lomna žilavost karakteristika je materijala koja se koristi u dizajnu konstrukcija spram otpora na pojavu i širenje pukotina. Što znači da je vrijednost lomne žilavosti za određeni materijal, eksperimentalno određena, vrlo važna karakteristika o kojoj ovisi stabilnost konstrukcije.

U današnje vrijeme se proračun i odabir materijala prilikom konstruiranja izvode najviše na temelju lomne žilavost materijala, dok se klasična mehanička svojstva materijala (čvrstoća, tvrdoća, žilavost) sve više izbjegavaju kao relevantne vrijednosti pri određivanju stabilnosti konstrukcije.

LITERATURA

- [1] T. L. Anderson, Fracture Mechanics, Taylor&Francis, Boca Raton, 2005.
- [2] G. Vukelić, Numerička analiza procesa širenja pukotina konstrukcija, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet, Rijeka, 2011.
- [3] J. Brnić, G. Turkalj, Nauka o čvrstoći II, Zigo, Rijeka, 2006.
- [4] E399-90, Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials, ASTM, Philadelphia, PA, 1990 (Reapproved 1997).
- [5] BS 5447, Methods of Testing for Plane Strain Fracture Toughness (K_{Ic}) of Metallic Materials, BSI, London, 1974.

ENERGIJA SUNCA KAO ZNAČAJAN POTENCIJAL SMANJENJA ENERGETSKE OVISNOSTI REPUBLIKE HRVATSKE

Autor: Dubravka Čolak, spec. upravljanja procesima

Mentor: Prof. dr. sc. Luciano Delbianco

Separat diplomskog specijalističkog rada na Politehnici Pula, Visokoj tehničko-poslovnoj školi od 26.03.2012. godine.

SAŽETAK

Osnovni problemi vezani za energetiku s kojima je suočena Republika Hrvatska su: nedostatak energije za zadovoljenje više od 50 % potreba, nesigurnost u opskrbi energijom, ovisnost o uvozu, stalan rast cijena energenata. Znatni gospodarski ali i financijski problemi još dodatno otežavaju nabavu potrebne energije. Cijene energije nepoznanica su s kojom se susreću mnoga svjetska gospodarstva koja ovise o uvozu energije. Prisutan je i stalan porast potrošnje energije. Osim za grijanje, posljednjih godina znatna se energija troši i na hlađenje. Radi loše kvalitete gradnje stambenih, privrednih i javnih objekata znatni su i gubici energije. Poseban problem bilježi se u području zagađenja okoliša (zraka, tla, voda i mnogih prirodnih podsustava) uzrokovan, u najvećoj mjeri, izgaranjem goriva fosilnog porijekla. U posljednjem desetljeću, dodatni problemi u opskrbi električnom energijom vezani su, kao posljedica akcidenata, za nuklearne elektrane. Imperativ je, dakle, osigurati sklad današnjeg tehnološkog razvoja i blagodati koje današnja civilizacija koristi sa prirodom i održivim razvojem kako na globalnoj razini, tako i u Republici Hrvatskoj.

KLJUČNE RIJEČI: energija Sunca, energetske potrebe RH, solarna ozračenost, energetski potencijal, solarni energetski sustav, energetski objekt, solarni grad

ABSTRACT

The basic energy-related issues which Republic of Croatia faces today are the following: the lack of the energy for fulfilling more than 50 % of requirements, insecure energy supply, dependence upon the import and the constant increase of the price of energy sources. There are also significant financial problems which are additionally complicating the purchase of the required energy. The energy prices are an unknown variable for all the world economies which depend upon the energy import – and Croatia is one of them. Also, the energy consumption is constantly increasing. Besides the heating, in the last few years, a significant quantity of energy is spent on cooling. Because of the low quality of the construction of the apartment and office buildings, the energy loss is also significant. Another problem is the area of environmental pollution (air, soil, water and many natural subsystems), caused mostly by the burning of the fossil fuels. During the last decade, additional problems in the electric energy supply are the consequences of the accidents related to the nuclear plants. Therefore, the imperative is to ensure the harmony of the contemporary technological development and the benefits used by the modern civilization with the natural and sustainable development on the global level, as well as in Republic of Croatia.

1. UVOD

Hrvatska kao potpisnik Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju i kao kandidat za članstvo u Europskoj uniji ima obvezu postupne prilagodbe državnih monopola tržišne naravi uvjetima koji odgovaraju onima koji postoje na zajedničkom tržištu Europske unije (EU).

U lipnju 2000. godine donesen je *Program reforme energetskog sektora*, što je značilo početak energetske reforme u Hrvatskoj. U svrhu definiranja razvoja energetskog sektora u Hrvatskoj, Sabor RH je 2008. godine donio je *Prijedlog strategije energetskog razvitka za razdoblje do 2020. godine*. Strategija¹ slijedi tri temeljna energetska cilja: sigurnost opskrbe, konkurentnost sustava i održivost razvoja, kroz tri moguća scenarija (sunčeva

energija SE bi u ekološkom scenariju – S3, bila najzastupljenija) prema Tablici 1.

Tablica 1: Obnovljivi izvori energije prema Strategiji energetskog razvitka Hrvatske (u PJ)

Oblik prirodne energije	2000	2030-S1	2030-S2	2030-S3
Geotermalna energija	0	5,0	5,0	5,2
Vjetar	0	2,7	4,9	8,4
Sunčeva energija	0	9,2	23,2	35,1
Biomasa	13,9	27,2	34,6	45,7
Vodne snage	23,7	28,8	30,4	29,5
Biodizel	0	5,2	8,7	12,2
Ukupno obnovljivi izvori	37,6	78,1	106,8	136,1
Ukupna potrošnja energije	332	642	599	569
Udio obnovljivih izvora (%)	11,3	12,2	17,8	23,9

Izvor: <http://www.scribd.com/doc/56407648/Nekonvencionalni-Izvori-Energije-Brosura>

¹ Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2020. godine, str. 2-3

Zakoni za područje energije i okoliša usvojeni u RH približili su se europskom zakonodavstvu upravo s ciljem integriranja Republike Hrvatske u unutarnje tržište energije i u EU. Pravila i principi kojima se želi osigurati sigurnost i smanjiti rizik u opskrbi energijom EU, te održati životni standard ovog drugog po redu najvećeg tržišta (450 mil. potrošača) obuhvaćaju 6 bitnih područja²:

- Konkurentnost na unutarnjem energetsom tržištu / otvoreno i konkurentno jedinstveno energetske tržište unutar EU će srušiti cijene, poboljšati sigurnost opskrbe i povećati konkurentnost poduzeća, omogućiti će pružanje kvalitetnije usluge za nižu cijenu;
- Energetska raznolikost (razvoj obnovljivih izvora energije);
- Solidarnost / zajednica treba zajednički nastupati, kako opskrba energijom ne bi bila ugrožena, te zajednički smanjiti potrošnju;
- Održivi razvoj;
- Inovativnost i ulaganje u tehnologiju;
- Vanjska politika / razviti nova partnerstva EU sa susjedima, uključujući i Rusiju, te sa drugim glavnim svjetskim proizvođačima i potrošačima.

Europska komisija³ je predložila, a između ostalih zemalja i Republika Hrvatska je prihvatila ciljeve zajedničke energetske politike, a to su:

- “20 % smanjenje emisija stakleničkih plinova do 2020. godine u odnosu na 1990. godinu, odnosno 30 % ako zemlje u razvoju prihvate obveze u skladu s njihovim gospodarskim mogućnostima;
- 20 % obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji u 2020. godini;
- 10 % će iznositi udio obnovljivih izvora energije u 2020. godini korištenih u svim oblicima prijevoza u odnosu na potrošnju benzina, dizelskog goriva, bio goriva u cestovnom i željezničkom prijevozu;
- 9 % smanjenje neposredne potrošnje energije u razdoblju do 2016. godine primjenom mjera energetske učinkovitosti;
- 20 % smanjenje ukupne potrošnje energije u odnosu na temeljnu projekciju u 2020. godini.”⁴

Proizvodnja el. energije pretvorbom sunčeve energije u Hrvatskoj je zasad zastupljena u malim jedinicama na stambenim objektima i većina sustava je neumrežen (off-grid). U 2008. godini bilo je, od ukupno 58,94 kW, tek 5 umreženih sustava. Sa ugrađenih tek oko 15.000 m² sunčevih kolektora (oko 52 kW) naša zemlja ima, u usporedbi s drugim zemljama EU, daleko najmanje instaliranih solarnih kolektora po broju stanovnika, pa se na žalost može ustvrditi da RH (još) nije iskoristila svoju komparativnu prednost u pogledu pretvorbe SE u toplinsku i ostale vidove energije.

U ukupnoj potrošnji naftnih derivata za 2008. godinu u RH PROMET je sudjelovao sa 50 %, INDUSTRIJA sa 32 %, a OPĆA POTROŠNJA sa 18 %.⁵

² Green paper – A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy (SEC 2006)

³ Europska komisija je političko, te glavno izvršno tijelo Europske unije

⁴ Šeremet, N. (2011.), Magistarski rad: “Razvojne strategije na tržištu nafte i naftnih derivata u Hrvatskoj”

⁵ EIHP, Energija u Hrvatskoj 2008., str. 129.

Analizirajući dalje podatke iz Tablice 2, uočava se i poražavajući podatak o tek 0,71 PJ proizvedene energije u RH iz obnovljivih izvora energije, a analizom naredne Tablice 3, može se konstatirati da će se problem opskrbljenosti energijom u RH do 2030. godine samo zaoštravati. Procjenjuje se da će potrebe sa 310,60 PJ u 2010. godini do 2030. godine narasti na više od 500 PJ.

Tablica 2: Raspoloživost energije u RH u 2007. g.

	IZ PROIZVODNJE	IZ UVOZA
	PJ	
Ugljen i koks		36
Ogrjevno drvo	15	
Tekuća goriva:		
Sirova nafta	37	91
Derivati nafte		51
Prirodni plin	100	36
Vodne snage	42	
Električna energija		28
Obnovljivi izvori energije	0,71	
Ukupno	195,44	342

Izvor: Prilagođeno prema materijalu iz predavanja prof. dr. sc. L. Delbianco: “Energetika u Hrvatskoj”, 2009., str. 14–17.

Tablica 3: Scenarij rasta neposredne potrošnje energije RH do 2030. g.

Područje potrošnje	2006.	2010.	2020.	Predviđena stopa rasta od 2006. do 2020. g.	2030.	Predviđena stopa rasta od 2020. do 2030. g.
	PJ			%	PJ	%
Industrija	58,86	67,11	84,43	2,6	103,09	2,0
Promet	85,36	103,65	135,22	3,3	152,59	1,2
Opća potrošnja	123,40	139,85	189,95	2,8	115,72	2,8
Kućanstva	77,66	83,69	99,47	1,8	245,16	1,5
Usluge	28,09	34,50	57,60	5,3	81,51	3,5
Graditeljstvo	7,39	10,59	19,52	7,2	31,79	5,0
Poljoprivreda	10,27	11,07	13,37	1,9	16,13	1,9
UKUPNO	267,89	310,60	409,60	3,1	500,83	2,0

Izvor: Iz predavanja prof. dr. sc. L. Delbianco: “Energetika u Hrvatskoj”, 2009., str. 79.

2. ENERGETSKA UČINKOVITOST

U proračunima gradova i županija značajnu stavku predstavljaju troškovi energenata (prirodni plin, loživo ulje, ogrjevno drvo, električna energija) i vode u zgradama koje su u njihovom vlasništvu ili pod njihovom upravom. Projekt “Sustavno gospodarjenje energijom” u gradovima i županijama u Republici Hrvatskoj (Projekt SGE) dio je većeg projekta “Poticanje energetske efikasnosti u Hrvatskoj”. Svjetska su iskustva pokazala da se uspostavom SGE-a za 10 do 15 % smanjuje ukupan godišnji trošak za energiju. Sustavno gospodariti energijom znači pratiti potrošnju energije na unaprijed definiran način, tako da u svakom trenutku znamo odgovore na sljedeća pitanja:

- GDJE trošimo energiju? – Objekti: škole, vrtići, muzeji, javne zgrade, bolnice i sl.
- KAKO trošimo energiju? – Sustavi: grijanja, hlađenja, ventilacije, rasvjetu, pripreme hrane i sl.

- KOJE energente trošimo? – Električna energija, plin, loživo ulje, drvo, toplinska energija (a u energente se pritom ubraja i voda).
- KOLIKO energije trošimo? Koliko kWh električne energije, litara lož ulja, m³ plina i dr. te koliki su troškovi za te energente?”⁶

Gospodarenje energijom u gradu i županiji prvenstveno ima za cilj poboljšati energetske efikasnost u zgradama koje su u vlasništvu grada ili županije. Obzirom da je sektor stanovanja odgovoran za 30 % potrošnje energije u Hrvatskoj, primenom EE mjera u svojim domovima, građani mogu znatno doprinijeti smanjenju potrošnje energije. Poboljšanje učinkovitosti potrošnje energije pomaže u ostvarenju ciljeva održivog razvoja, prije svega u očuvanju okoliša zbog smanjene emisije štetnih plinova u atmosferu, a potom i u poboljšanju ekonomske stabilnosti, kroz povećanje konkurentnosti industrijske proizvodnje, smanjenje ovisnosti o uveznoj energiji te otvaranje novih radnih mjesta. U Hrvatskoj su potencijali za poboljšanje energetske učinkovitosti veliki. Naime, potrošnja energije po jedinici BDP-a, tzv. energetska intenzivnost, je u Hrvatskoj za oko 20 % viša nego što je prosjek EU-15, što svakako predstavlja teret kako nacionalnom gospodarstvu tako i okolišu. Zbog toga je, izrada Master plana bila izuzetno značajna u svladavanju ovih prepreka, na osnovu kojega su izrađena dva vrlo važna strateška dokumenta:

1. Program energetske učinkovitosti Republike Hrvatske 2008. – 2016. i
2. Prvi nacionalni akcijski plan za energetske učinkovitost 2008. – 2010.

Ovim Hrvatska dobiva jasno definiranu i dokumentiranu politiku energetske učinkovitosti.

3. EMISIJA ČESTICA, CO₂ I SO₂ U RH

Proizvodnja, konverzija i uporaba energije vodi k efektima degradacije okoliša. Ekonomski razvoj i strateške odluke u Hrvatskoj, moraju u obzir uzeti i problematiku zaštite okoliša povezanu s energetikom. Da bi se postigao održivi razvoj, zaštita okoliša mora biti održiva lokalno, regionalno i globalno. Nedavna katastrofalna nesreća u Japanu, koja je uzrokovala snažno radioaktivno zagađenje mora, kopna i mnogih ekosustava, te znatne ljudske gubitke (a konačan opseg negativnih posljedica konkretnog akcidenta još nije moguće sagledati), unatoč pokazateljima koji govore u prilog tezi da bi nuklearna energija bila rješenje problema zadovoljenja globalnih energetske potreba, potaknula je i prisilila i najveće zagovornike (i korisnike) iste, da ozbiljno “stave na vagu” sve dobrobiti i štete dobivanja energije iz nuklearnih reaktora (Njemačka donosi odluku o zatvaranju svih nuklearnih elektrana). Posljedica navedenog nesretnog akcidenta uvjetovala je intenziviranje korištenja potencijala iz obnovljivih izvora, osobito Sunčeve energije.

“Izgaranjem fosilnih goriva oslobađa se CO₂ u količinama koje mijenjaju globalnu klimu u nepovoljnom smjeru. Tijekom posljednjih 400.000 godina koncentracija CO₂ varirala je između

200 i 300 dijelova u milijun dijelova zraka, da bi tijekom 20. stoljeća porasla na 370 dijelova u milijun. Prognoza je da će u ovom stoljeću taj omjer porasti na 700 dijelova na milijun. CO₂ kao staklenički plin ne propušta toplinsko zračenje koje Zemlja odašilje u svemir i na taj način uzrokuje njezino globalno zagrijavanje, koje je uzrokom katastrofalnih klimatskih promjena.”⁷ Ugljični dioksid je tzv. globalni polutant, tj. njegov učinak na okoliš ne ovisi toliko o prostornoj raspodjeli emisija koliko o ukupnoj svjetskoj emisiji. Zato bi svi (proporcionalno udjelu u zagađenju) trebali doprinijeti smanjenju emisije navedenih polutanata. U Hrvatskoj je prema podacima Energetskog instituta Hrvoje Požar (EIPH) “prema preliminarnim rezultatima za 2006. godinu, emisija CO₂ iz energetskog sektora iznosila je oko 20 milijuna tona, što je 1,7 % manje nego prethodne godine i 2,2 % manje nego 1990. godine. Glavni izvor emisije CO₂ je izgaranje goriva.”⁸

4. SUNCE – NEISKORIŠTEN POTENCIJAL

“Dugoročno, energetske potrebe čovječanstva mogu zadovoljiti samo Sunčeva energija i nuklearna energija.”⁹ *Energija Sunčeva zračenja koja dopire do vanjskog ruba Zemlje ovisno o udaljenosti Zemlje od Sunca iznosi 1.307–1.399 W/m² na plohu okomitu na smjer zračenja. Sunce je neiscrpan izvor energije, njeno korištenje ne zagađuje okoliš kemijski, radioaktivno niti toplinski. Hrvatska ima ogroman potencijal u dozračenju Sunčevom energiji tj. broju sunčanih dana, ima neusporedivo bolje preduvjete od većine europskih zemalja, a nalazi se na samom dnu Europe po iskoristivosti ovog energetske resursa.*

Prosječna mjesečna ili godišnja energija Sunčeva zračenja u nekom mjesecu dobiva se kao aritmetička sredina dnevnih energija za sve dane u promatranom mjesecu/godini. Pri prolasku kroz atmosferu dolazi do gubitaka energije izravnog Sunčevog zračenja, ovisno o atmosferskim prilikama (vedro, polu oblačno, oblačno) zagađenosti atmosfere i nadmorskoj visini! Konačno do Zemlje dopire oko 51,6 % energije izvanzemaljskog Sunčevog zračenja. 4,6 % te energije se reflektira, a 47,4 % te energije dolazi do vanjskog atmosferskog ruba, raspoređen između mora i kopna (70 % : 30 %).

Ovisno o trajanju insolacije (zemljopisna širina, godišnja dob), te naoblaci i zagađenosti (atmosferskim uvjetima), godišnje nam od Sunčeva zračenja dolazi oko 109 TWh energije. Radi se o enormno velikim količinama energije, mnogostruko većim od svih primarnih izvora energije zajedno (plina, ugljena, nafte, urana) i enormno više od ukupne godišnje svjetske potrošnje. Dokazane rezerve konvencionalnih izvora energije su: NAFTE 40 godina, PRIRODNOG PLINA 65 godina i UGLJENA 200 godina.

Pod optimalnim uvjetima, na površini Zemlje može se dobiti energije 1 kW/m², a stvarna vrijednost ovisi o lokaciji, godišnjem dobu, dobu dana, vremenskim uvjetima (u RH prosječno 3 – 4,5 kWh). Jakost zračenja koja dopire do Zemljine površine, a mogla bi se iskorištavati, mijenja se tijekom dana i godine, a ovisi o položaju plohe na koju dopire zračenje. Smanjuje se smanjenjem nadmorske visine (duži put zraka) i s povećanjem zemljopisne širine (manji upadni kut zračenja). Za neku

⁶ http://www.energetska-efikasnost.undp.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=178:sustavno-gospodarenje-energijom-sge-u-gradovima-i-upanjama-u-hrvatskoj&catid=38:projekti&Itemid=113

⁷ DRVO ZNANJA – Enciklopedijski časopis za mlade, rujan 2007. – broj 107, GODINA XI – članak “Sunčeva energija” Mile Baće, str.30 – 35.

⁸ Energetski institut Hrvoje Požar; TRANS-SOLAR, HRVATSKO NACIONALNO IZVJEŠĆE, prosinac 2008., str. 7.

⁹ DRVO ZNANJA – Enciklopedijski časopis za mlade, rujan 2007. – broj 107, GODINA XI – članak “Sunčeva energija” Mile Baće, str. 35.

određenu lokaciju potencijal Sunčeva zračenja se određuje mjerenjem i analitički. Mjeriti se može lokalno ili satelitski.

Ozračenost (iradijacija) je gustoća energetskega toka Sunčevog zračenja i jednaka je omjeru energetskega toka Sunčevog zračenja i površine plohe okomite na smjer tog zračenja. Jedinica za ozračenost je Wat po četvornom metru (W/m^2). Dobiva se integriranjem ozračenosti po vremenu. Jedinica za ozračenost je Wat sat po četvornom metru (Wh/m^2) ili džul po četvornom metru (J/m^2). Ovisno o promatranom vremenskom intervalu ozračenost se često naziva satna, dnevna, mjesečna ili godišnja. Trajanje osunčavanja, odnosno trajanje isijavanja Sunca je razdoblje u kojem je izravno Sunčevo ozračenje veće od $120 W/m^2$. Ukupno (globalno) sunčevo zračenje na nagnutu plohu sastoji se od izravnog, raspršenog i od tla (i/ili vodene površine) odbijenog zračenja.

Kod proračuna učinkovitosti i dimenzioniranja solarnog sustava, potrebno je poznavati snagu ukupnog Sunčeva zračenja koje upada na nagnutu plohu kolektora.

“Ako nema podataka mjerenja, potrebno je snagu zračenja proračunati iz aktinometrijskih podataka za lokaciju. Iz podataka o Sunčevu zračenju na vodoravnu plohu (iz podataka meteorološke službe) izračunava se srednja dnevna ozračenost (prosjeak za čitav mjesec) nagnute plohe okrenute prema jugu, za određeni mjesec. Ukupno Sunčevo zračenje koje dopire do nagnute plohe sastoji se od triju komponenti. Prva je izravno Sunčevo zračenje koje upada na plohu, druga je raspršeno zračenje dijela neba koji se nalazi iznad plohe i treće je zračenje odbijeno od tla i okomitih predmeta.”¹⁰ Obrađeni podaci su dostupni od različitih institucija koje integriraju mjerenja meteoroloških postaja i satelita sa analitičkom obradom za višegodišnja razdoblja i različite rezolucije. Svi izvori koji nisu rezultat posebnih mjerenja za konkretnu lokaciju imaju neodređenost koja može biti i do 30 %. Podatke je moguće kupiti od European Centre for Medium Range Weather Forecast. Postoje i podaci koji su slobodno dostupni, na primjer sa internetskih stranica, RET Screen International i Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).

Spektar svjetlosti koja obasjava objekt, ovisi o debljini i sastavu atmosfere kroz koju prolazi. Ovisno o dobu dana, zemljopisnoj širini i godišnjem dobu, svjetlost do neke točke na površini Zemlje putuje kroz deblji ili tanji sloj atmosfere. Koliki je taj put u odnosu na najkraći izražava se kao omjer mase zraka (AM)¹¹. Prema PVGIS podacima optimalni kut se za područje RH kreće od 33° na sjeveru do 37° na jugu. Trebamo imati na umu da se optimalni kut mijenja tijekom godine zbog prividnog kretanja Sunca. Kod fiksne instalacije je potrebno odabrati optimalni kut za maksimalnu godišnju energiju ili za maksimalnu energiju tijekom slabijih sunčanih dana. Najbolje je rješenje koje prati kretanje Sunca. Time se može povećati dobivena energija za 25 – 40 %.

Za procjenu potencijala korištenja Sunčeva zračenja i preliminarne analize primjene dovoljni su i relativno grubi podaci.

Sportski stadioni na solarni pogon, već su našli svoju primjenu diljem svijeta (Dragon stadion u Tajvanu, Stade de Suisse u Bernu – Švicarska, Stadion San Francisco Giants – SAD, Stadion FC Nurnberg – Njemačka, Baseball stadion RedSox u Bostonu – SAD). U državi New Jersey u SAD-u postavljaju se na 200.000 stupova električne mreže FN moduli snage po 200 W, tako da bi time elektroprivreda te zemlje dobila čak 40 MW decentralizirane solarne snage. Sukladno ideji švedskog arhitekta Mansa Thoma, **autoceste** kod gradova, zajedno sa mostovima i nadvožnjacima, mogle bi sasvim lijepo poslužiti za instaliranje FN modula. Nadalje, **solarne autobusne stanice** po danu akumuliraju el. energiju, koju po noći troše na rasvjetu. Slična mogućnost postoji i za **rasvjetne stupove**. Murter je prvi u Hrvatskoj uveo solarnu javnu rasvjetu (Izvor: www.monitor.hr/vijesti/murter-prvi-u-hrvatskoj-uveo-solarnu-javnu-rasvjetu/162030/).

Na 500 metara ulice postavljeno je 20 stupova na kojima su FN paneli koji SE pretvaraju u električnu i akumuliraju je u akumulatorima. Održavanje ovakve rasvjete jednostavnije je, životni vijek žarulja je duži, a energija – besplatna! Plan je da se ovakva rasvjeta postavi i u ostalim ulicama u Murteru, a namjera je solarne ćelije staviti na krov općinske zgrade i tako dobivenu energiju koristiti i za strojeve u zgradi.

Slika 1: “Solarni tunel” koji će napajati super brze vlakove između Pariza i Amsterdam



Izvor: www.jutarnji.hr/solarni-tunel-pogledajte-kako-izgleda-solarni-tunel-koji-ce-napajati-superbrze-vlakove-izmedu-pariza-i-amsterdama/951525. Očekuje se kako će “solarni tunel” proizvoditi oko 3.300 MWh godišnje, što je potrošnja oko 950 obitelji.

“Solarni tunel”, Slika 1, dugačak je 3,6 kilometara i stajao je 15,6 milijuna eura. Nalazi se na sjeveru Belgije i čini ga 16 tisuća solarnih ploča koji pokrivaju površinu od 50 tisuća m^2 . El. energija dobivena iz solarnih ploča služit će za napajanje osvjjetljenja i signala na pruži te unutrašnjost vlaka, a dio će koristiti i obližnji gradić. Stručnjaci procjenjuju kako će se time u 20 godina uštedjeti oko 47,3 milijuna kg emisija CO_2 u atmosferu.”¹² **Mobilni solarni generatori** mogu naći svoju primjenu kod kampiranja, i za druge aktivnosti na otvorenom (kao i kod katastrofa, npr. u obliku **solarnih šatora**). Pogon vozila solarnom energijom je u fazi istraživanja i razvoja, a odvija se u dva smjera: FN generatori (za pogon automobila, brodova, aviona), proizvodnja tekućih motornih goriva na bazi vodika i ugljičnog monoksida iz vode (ili CO_2) pomoću užarenog cerija (Ce) koji služi kao katalizator. Katamaran Türanor (ime znači

¹⁰ Majdandžić, Lj.: Solarni sustavi – Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata, Zagreb, Graphis, 2010., str. 59.

¹¹ AM- Air Mass, po konvenciji se površina atmosfere označava sa AM = 0

¹² <http://www.jutarnji.hr/solarni-tunel-pogledajte-kako-izgleda-solarni-tunel-koji-ce-napajati-superbrze-vlakove-izmedu-pariza-i-amsterdama/951525/>

“snaga Sunca”) težak je 85 tona, a porinut je u sj. Njemačkoj kod Kiela početkom travnja 2011. godine. Cilj putovanja je na solarnu energiju obići cijeli svijet. Tūranor treba proći 63.000 kilometara, a samo putovanje bi trebalo trajati oko 160 dana. Ima samo dva člana posade, tijekom putovanja trebao bi imati prosječnu brzinu od 7,5 čvorova, dugačak je 31 metar, a na svojoj palubi ima čak 600 m² FN ćelija, te najveću svjetsku litijsku bateriju ispod palube. Koštao je oko 16 milijuna funti, a u slučaju nedostatka Sunca može 3 dana putovati prosječnom brzinom od 7,5 čvorova.

4.1. Posebnosti hrvatskog geografskog položaja u ostvarenju strategije energetskog razvitka RH do 2030. g.

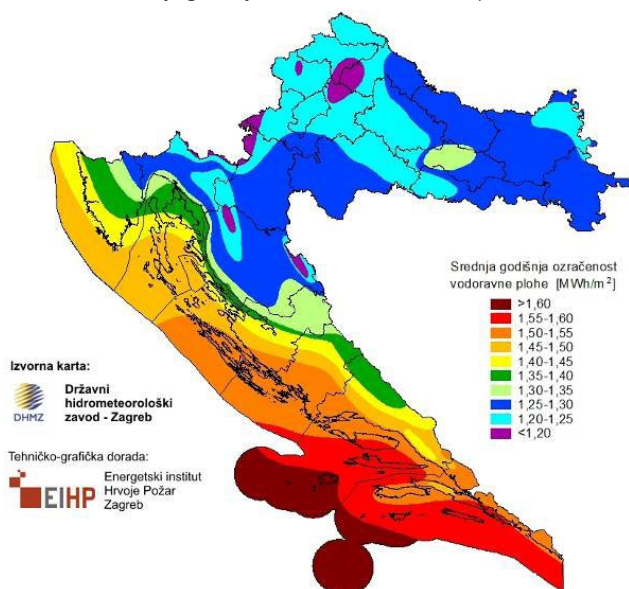
Prema prosječnom trajanju insolacije, Slika 2, razlikuju se dva velika područja RH:

- **Primorska Hrvatska**, uključujući i cijelu Dalmaciju – ima godišnju insolaciju i do 2700 sati godišnje. Najviše ih ima na otocima i u južnoj Hrvatskoj.
- **Nizinska i gorska Hrvatska** – uglavnom nema više od 2000 sunčanih sati godišnje.

Jadranska obala: mediteranska klima (sa suhim i toplim ljetima te vlažnim i blagim zimama). S prosječno 2.600 sunčanih sati u godini jadranska je obala jedna od najsunčanijih u Sredozemlju, a temperatura mora ljeti je od 25° C do 27° C.

Prosječni iznosi i godišnji hod temperature zraka uvelike se razlikuju u pojedinim regijama Hrvatske. Geografski položaj i reljef također utječu na znatne lokalne razlike. Do klimatoloških podataka se dolazi također mjerenjem. Oni obuhvaćaju mjerenja trajanja sijanja Sunca, naoblake, temperature zraka, vrste i količine oborina, brzine vjetra, vlažnosti zraka, tlaka vodene pare.

Slika 2: Prikaz srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe u RH



Izvor: Energetski institut Hrvoje Požar; TRANS-SOLAR, HRVATSKO NACIONALNO IZVJEŠĆE, prosinac 2008., str. 4.

Insolacija ili osunčanje se izražava u vršnim satima (to je dnevno očekivani broj sati za vrijeme kojih će solarni modul raditi punim kapacitetom). Tako za RH možemo uzeti podatke iz slijedeće Tablice 4:

Tablica 4: Broj vršnih sati dnevno u RH prema klimatskom pojasu

Klimatski pojas RH	Broj vršnih sati dnevno		Prosječna godišnja vrijednost
	Prosinac	Srpanj	
Sjever	2	5,6	3,6
Centar	2,5	6,4	4,7
Jug	3,5	7,1	5,4
Gorje	3,3	5,4	4,4

Izvor: Motik, B.; Šimleša, D.: Zeleni alati za održivu revoluciju, Zagreb: Što čitaš i ZMAG, 2007., str. 99.

Obzirom da samo u 1 satu na Zemlju stigne dovoljno Sunčevog svjetla da zadovolji ukupne godišnje energetske potrebe svakog čovjeka na planeti, trebali bismo težiti tome da svakom bude dostupna mogućnost korištenja ovog pouzdanog, čistog i obnovljivog izvora energije. Tako niti Hrvatsku, Sunčeva energija ne zaobilazi, a uvođenjem sustava za korištenje SE smanjiti će se računi za energiju i pomoći izlječenju i zaštiti, kako vlastite gospodarske i energetske neovisnosti, tako i globalno gledajući, naše planete Zemlje. SE može se koristiti u zgradama i objektima svih veličina i namjena, novogradnjama i postojećim objektima (a njihova instalacija je brza i relativno jednostavna). Pri projektiranju određenog Solarnog sustava projektantu je, uz ostale, potreban i podatak o Sunčevom zračenju za odabranu lokaciju. Navedenim geografskim i klimatološkim podacima, pridružuju se i podaci o Sunčevoj ozračenosti gradova Zagreba, Splita i Pule i za još neke odabrane lokacije u RH.

Prema internetskom izvoru http://www.retscreen.net/hr/d_data_w.php, radi uvida u eventualne razlike, odstupanja i dopune, dostavljen je pregled klimatskih podataka za izabrane lokacije u RH¹³:

- Zagreb/Pleso, Split/Marijan, Pula, Osijek i Vis kao i pregled klimatskih podataka izabranih gradova/mjesta u EU¹⁴ uzeti će se;
- Osnabrück

Prema internetskom izvoru:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/showforcity.php>¹⁵ dostupni su podaci o Solarnoj ozračenosti i procijenjeni podaci “Estimation of PV electricity generation for the chosen location” koji su razvidni u narednoj Tablici 5.

¹³ Prilog broj 1 (podaci za izabrane lokacije u RH)

¹⁴ Prilog broj 2 (podaci za izabrane lokacije u EU)

¹⁵ Prilog broj 3 (podaci za Osnabruck i Njemačkoj i izabrane lokacije u RH)

Tablica 5: Usporedba procjena proizvodnje električne energije za lokacije Osnabrueck, Zagreb, Split, Pula, Osijek i Vis u kWh

Mjesec	Procijenjena proizvodnja električne energije u kWh											
	Osnabrück		Zagreb		Split		Pula		Osijek		Vis	
	Mjesečno	Dnevno	Mjesečno	Dnevno	Mjesečno	Dnevno	Mjesečno	Dnevno	Mjesečno	Dnevno	Mjesečno	Dnevno
I	23,2	0,75	43,3	1,40	66,6	2,15	57,1	1,84	42,3	1,36	57,1	1,84
II	39	1,39	63,9	2,28	78,1	2,79	75,7	2,7	60,3	2,15	77,6	2,77
III	73,6	2,38	90,4	2,91	111	3,60	110	3,55	97,6	3,15	117	3,78
IV	105	3,50	109	3,63	120	3,98	126	4,18	117	3,9	129	4,29
V	112	3,60	125	4,05	136	4,39	141	4,54	128	4,13	147	4,76
VI	109	3,62	126	4,19	136	4,54	140	4,67	128	4,27	144	4,80
VII	108	3,47	134	4,32	149	4,81	151	4,86	135	4,35	157	5,06
VIII	98,2	3,17	122	3,92	140	4,51	137	4,43	126	4,07	146	4,70
IX	79,8	2,66	97	3,23	119	3,98	117	3,91	100	3,34	123	4,09
X	57,1	1,84	79,1	2,55	97,7	3,15	91,9	2,96	86,3	2,78	94,6	3,05
XI	34,9	1,16	49	1,63	87,5	2,25	57	1,90	55,5	1,85	54,2	1,81
XII	22,4	0,72	31,7	1,02	57,6	1,86	52,7	1,70	33,2	1,07	46,6	1,50
Ø god.	71,8	2,36	89,1	2,93	107	3,51	105	3,44	92,5	3,04	108	3,54
Σ god.	861		1070		1280		1260		1110		1290	
Indeks	100		124		149		146		129		150	
Geografska širina	N	52° 15' 59"	45° 48' 37"		43° 30' 29"		44° 52' 40"		45° 32' 59"		43° 2' 59"	
Geografska dužina	E	8° 2' 59"	15° 58' 40"		16° 26' 20"		13° 51' 24"		18° 40' 59"		16° 11' 59"	

Izvor: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/showforcity.php>, izrada autora ovog rada

Dobiveni indeksi u prethodnoj Tablici 5 jasno pokazuju znatno veće potencijale svake odabrane lokacije u RH, u odnosu na podatke o potencijalu grada Osnabrück-a u Njemačkoj. Kroz primjer grada Osnabrück-a (sa samog sjeverozapada Njemačke) odlučeno je opisati ono što se smatra ključnim razlozima i argumentima da i Hrvatska treba svoje energetske, gospodarske i ekološke probleme početi rješavati ulaganjem u sustave korištenja Solarne energije.

A, zašto se promatra upravo ovaj njemački grad? Sve je započelo vizijom doktorice geoinformatike Martine Klärle. Ona je prikupljala podatke u koji su joj trebali poslužiti kao priprema za odgovor na pitanje: koliko struje se može proizvesti, ako svaki prikladan krov u Osnabrücku bude opremljen FN solarnim panelima? (Do tada je bilanca dobivanje el. energije iz SE u Njemačkoj iznosila 0,3 %. Ali taj podatak, nipošto ne znači da je potencijal zanemariv, već naprotiv, da je neiskorišten!).

Dr. Klärle je preciznim snimanjem istražila 120 km² gradskih krovova, izradila proračun i preciznu kartu svih krovova Osnabrück-a. Rezultat je pokazao da se instaliranjem FN ćelija - samo na krovove, na koje ih se može instalirati barem 20 m², može zadovoljiti čak 70 % ukupnih potreba grada za el. energijom (i javnih i privatnih). Sa svojim proračunima upoznala je gradske dužnosnike i argumentirala im da će sva potrebna ulaganja u ovaj projekt (3 milijarde €) biti isplaćena za 10 godina. Od tada bi se besplatno (osim minornih troškova za održavanje) i bez emisije CO₂ grad namirivao el. energijom. Već tijekom 2011. godine mnoge javne zgrade u Osnabrücku su opremljene FN uređajima. Osnabrück će tako postati istinski SOLARNI GRAD, a izdatak od 3 milijarde € je opravdan i u ekonomskom smislu i u smislu zaštite okoliša!

“Ograničenje za korištenje SE u podnebljima poput našega sigurno nije primarno u dostupnim podacima o potencijalu. Vodeća europska zemlja u korištenju solarne energije je Njemačka, gdje je godišnja prosječna ozračenost na optimalnu površinu ispod 1.000 kWh/m².”¹⁶

¹⁶ Iz predavanja prof. dr. sc. L. Delbianco: “Energija Sunčevog zračenja”, 2010., str. 4.

Pokušat će se sada izračunati vrijeme potrebno za povrat investicije u (pretpostavljeni) energetski objekt nazivne snage 10 kW (FN moduli 80 m² postavljeni na krovu kuće) na odabranim lokacijama (Osnabrück, Zagreb, Split, Pula, Osijek i Vis), i to prema podacima iz dva izvora: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/showforcity.php> i Majdandžić, Lj.: Solarni sustavi – Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata – obzirom da je i sam izvor podataka često razlog određenog odstupanja u izračunima, Tablica 6.

Tablica 6: Vrijeme povrata investicije energetskog objekta snage 10 kW za lokacije Osnabrück (Njem.), Zagreb, Split, Pula, Osijek i Vis

R. br.		Osnabruck	Zagreb	Split	Pula	Osijek	Vis
1.	kWh/m ²	1180	1480	1810	1760	1540	1830
2.	kWh	1,18	1,48	1,81	1,76	1,54	1,83
3.	W	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
4.	kWh	11.800	14.800	18.100	17.600	15.400	18.300
5.	kn	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
6.	kn	40.120,00	50.320,00	61.540,00	59.840,00	52.360,00	62.220,00
7.	kn	26,25	26,25	26,25	26,25	26,25	26,25
8.	kn	262.500,00	262.500,00	262.500,00	262.500,00	262.500,00	262.500,00
9.	godina	6,54287	5,21661	4,26552	4,38670	5,01337	4,21890

Izvor: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, obrada autor ovog rada

U prvom se retku donosi podatak o upadnoj energiji zračenja Sunca na module (ukupni godišnji iznos S. zračenja po m²). Ako se zna da solarni panel od 100 W nazivne snage proizvodi toliko W energije pri referentnom S, zračenju od 1000 W/m², tada podatak u 2. retku Tablice 6 govori o proizvodnji godišnjeg iznosa za 1 kWh za lokaciju.

3. redak iste tablice, govori o nazivnoj snazi energane (energetskog objekta na lokaciji) od 10 kW. Pretpostavi li se da se omjer učinkovitosti 100 % (omjer između stvarno dobivene električne energije i energije na ulazu u FN sustav)

kreće između 70 % i 85 % a veći je za bolje FN sustave – tada je u 4. retku dat podatak u o ukupno i stvarno dobivenoj količini energije u godini dana, za nazivnu snagu promatrane elektrane od 10 kW.

U 5. retku je prikazana otkupna cijena (3,4 kn/kWh) električne energije prema tarifi za povlaštene proizvođače iz SE za 2011. godinu. Time se dolazi do umnoška u 6. retku, koji predstavlja za pretpostavljenu lokaciju, ukupan iznos godišnje naknade za isporučenu el. energiju u elektroenergetsku mrežu (radi mogućnosti usporedbe i za njemački grad Osnabrück računalo se s istim podacima o tarifi, tako da upadna energija S na lokaciji ima najveći utjecaj na rezultat).

U 7. retku Tablice 6 dat je podatak o procijenjenom iznosu investicije za 1W (u kunama). Procijenjeno je da je po watu potrebno investirati 3,5 € (tečaj eura je računat sa 7,5 kn), što iznosi 26,25 kn. Dakle, u procjenu je uračunat trošak projektiranja, ishođenja dozvola, FN panela-modula, opreme, trošak konstrukcije i same montaže – po watu za energanu snage 10 kW.

Navedenim iznosom došli smo i do izračuna ukupnog procijenjenog iznosa investicije za energanu nazivne snage 10 kW – iskazanog u retku br. 8. Kada tako dobiveni iznos podijelimo sa iznosom godišnje naknade za isporučenu el. energiju

u elektroenergetsku mrežu, za lokaciju, dobivamo traženi podatak o broju godina – u kojima se predmetna investicija na određenoj lokaciji može u cijelosti povratiti (9. redak).

Bitno je naglasiti da se Ugovor o otkupu el. energije u RH (sklupa sa HROTE-om) na 12 godina, a naši izračuni daju podatke koji su ispod polovice tog razdoblja!

Naravno u slučaju investiranja bančnim kreditima razdoblje povrata je tada duže, 8 – 12 godina, ovisno o vrsti panela, optimalnoj poziciji i kutu postavljanja FN panela, uvjetima na lokaciji, opremi i kvaliteti mrežnog pretvarača, a ako se eventualno ostvare poticaji iz sredstva EU/županija/gradova ukupna investicija bi mogla biti manja, a time i povrat iste kraći.

Nastavno je Tablici 7 s drugom varijantom izračuna povrata investicije za energetske objekt iste snage (10 kW). Ulazni podaci su iz drugog izvora (podatak o S. iradijaciji po m² je nešto manji po lokacijama), tako da sam u razmišljanju kako umanjiti trošak ukupne investicije odlučila u ovoj simulaciji, trošak montaže zamijeniti vlastitim radom investitora, a FN module za naše pretpostavljene solarne elektrane smo nabavili po zaista pristupačnoj cijeni. Tako da je procijenjena vrijednost naredne simulirane investicije 2,5 € po watu (redak 7.).

Tablica 7: Izvadak iz Cjenika jednog od aktualnih dobavljača u RH u kn

Solarni set za elektranu sadrži:	109.000,00
– moduli MONO ili POLY fotonaponski ukupno 10kW od 190 – 300 W;	
– pretvarač DIEHL Platium 11000TL 1 kom.;	
– kabel Huber-Suhner Radox 125, 300 m;	
– konektori MC4 u paru 50 kom.;	
– konzolna konstrukcija jednoslojna-komplet;	
Površina potrebna za postavljanje 80 m ²	

Izvor: www.solarni-paneli.hr/pdf/cjenik.pdf

Kako u knjizi Solarni sustavi – Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata (iz kojih su ulazni podaci za naredni proračun) nema podataka za njemački grad Osnabrück – isti je simuliran matematičkim izračunom (Tablica 8).

Tablica 8: Vrijeme povrata investicije energetskog objekta snage 10 kW za lokacije Osnabrück (Njemačka), Zagreb, Split, Pula, Osijek i Vis – II. varijanta

R. br.		Osnabruck	Zagreb	Split	Pula	Osijek	Vis
1.	kWh/m ²	1094*	1370	1720	1580	1370	1780
2.	kWh	1,094	1,37	1,72	1,58	1,37	1,78
3.	W	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
4.	kWh	10.940	13.700	17.200	15.800	13.700	17.800
5.	kn	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
6.	kn	37.196,00	46.580,00	58.480,00	53.720,00	46.580,00	60.520,00
7.	kn	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
8.	kn	187.500,00	187.500,00	187.500,00	187.500,00	187.500,00	187.500,00
9.	godina	5,04086	4,025333	3,206224	3,490320	4,025333	3,098149

* Podatak dobiven prosječnim koeficijentom umanjenja upadne energije Sunčanog zračenja na module obzirom na izvor podataka (PVGIS/ Majdandžić)

Izvor: Majdandžić, Lj.: Solarni sustavi – Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata, Zagreb, Graphis, 2010. g., obrada autor ovog rada

– Povrat investicije u FN sustav instaliran u Zagrebu

Godišnja naknada za isporučenu električnu energiju u EE mrežu

14.800 kWh x 3,4 kn/kWh = 50.320,00 kn

Procjena ukupne investicije

262.500,00 kn (3,5 €/W)

Vrijeme otplate ukupne investicije na lokaciji Zagreb

262.500,00 kn / 50.320,00 kn = **5,21661 godina**

– Povrat investicije u FN sustav instaliran u Osnabrücku

Godišnja naknada za isporučenu električnu energiju u EE mrežu

10.940 kWh x 3,4 kn/kWh = 40.120,00 kn

Procjena ukupne investicije

262.500,00 kn (3,5 €/W)

Vrijeme otplate ukupne investicije na lokaciji Osnabrück

262.500,00 kn / 40.120,00 kn = **6,54287 godina**

– Povrat investicije u FN sustav instaliran u Puli

Godišnja naknada za isporučenu električnu energiju u EE mrežu

17.600 kWh x 3,4 kn/kWh = 59.840,00 kn

Procjena ukupne investicije

262.500,00 kn (3,5 €/W)

Vrijeme otplate ukupne investicije na lokaciji Pula

262.500,00 kn / 59.840,00 kn = **4,38670 godina**

– Povrat investicije u FN sustav instaliran u Zagrebu – II. varijanta

Godišnja naknada za isporučenu električnu energiju u EE mrežu

13.700 kWh x 3,4 kn/kWh = 46.580,00 kn

Procjena ukupne investicije

187.500,00 kn (2,5 €/W)

Vrijeme otplate ukupne investicije na lokaciji Zagreb

187.500,00 kn / 46.580,00 kn = **4,025333 godina**

– Povrat investicije u FN sustav instaliran u Osnabrücku – II. varijanta

Godišnja naknada za isporučenu električnu energiju u EE mrežu

13.700 kWh x 3,4 kn/kWh = 37.196,00 kn

Procjena ukupne investicije

187.500,00 kn (2,5 €/W)

Vrijeme otplate ukupne investicije na lokaciji Osnabrück

187.500,00 kn / 37.196,00 kn = **5,04086 godina**

– Povrat investicije u FN sustav instaliran u Pula – II. varijanta

Godišnja naknada za isporučenu električnu energiju u EE mrežu

15.800 kWh x 3,4 kn/kWh = 53.720,00 kn

Procjena ukupne investicije

187.500,00 kn (2,5 €/W)

Vrijeme otplate ukupne investicije na lokaciji Pula

187.500,00 kn / 53.720,00 kn = **3,49032 godina**

Prikazani podaci daju nam za zaključiti da je svaka odabrana lokacija u RH potencijalno (pod istim uvjetima postavljanja panela) povoljnija za ugradnju solarnog postrojenja od promatranog grada u Njemačkoj (u kojemu se ugradnja istih već značajno zahuktala). Drugi zaključak je i da postoji mogućnost smanjiti ukupnu cijenu investicije po više osnova, a isti trend će se samo nastaviti.

Hrvatska iz vlastite proizvodnje pokriva samo 48 % svojih potreba za energijom, te osim nekoliko velikih hidroelektrana, gotovo i ne koristi obnovljive izvore energije. U opskrbi električnom energijom, udio obnovljive energije manji je od 1 %. U usporedbi s vodećim europskim zemljama, značajno zaostajemo u korištenju OIE. Najbolje će to dočarati podatak da je u Njemačkoj od 2.000. godine proizvodnja energije iz obnovljivih izvora narasla do 74 milijarde kWh i da već iznosi 12 % ukupne proizvodnje. U odnosu na Hrvatsku (s 2.600 sunčanih sati godišnje) Njemačka raspolaže s daleko manje sunčevog zračenja, a ipak zauzima vodeću poziciju u proizvodnji solarne energije među europskim zemljama. U RH je proizvodnja energije iz Sunca zastupljena samo u malim, stambenim jedinicama, a prema nekim procjenama, kada bi se samo 3 % hrvatskog teritorija pokrilo solarnim kolektorima, dobilo bi se osam puta više energije nego što iznosi ukupna hrvatska potrošnja.

Da bi se povećalo korištenje Sunčanih sustava u RH, bilo za proizvodnju toplinske energije ili električne energije (lokalno ili sa spojem na mrežu), najprije moraju biti ostvareni financijski mehanizmi poticanja, jer uz današnje cijene energenata i cijene kolektora, a pogotovo foto naponskih, ovi sustavi nisu konkurentni u odnosu na konvencionalne.

Prvi koraci su već učinjeni, i to za on-grid sustave, gdje se subvencionira proizvedeni kWh, no za lokalni rad se još uvijek očekuje pomoć raznih ekoloških fondova i države. Istodobno, poticanje upotrebe ovakvih izvora energije može biti ekonomski i energetski zamašnjak za naš turizam, kako za hotele i kampove, tako i za privatne turističke jedinice, jer količina Sunčeve energije, upravo prati i količinu potreba, tako da se kapaciteti mogu optimalno koristiti.

Posljedično bi se istovremeno zaposlili i domaći kapaciteti koji su trenutno u relativno lošoj poziciji, te otvorila i nova radna mjesta. Hrvatska je bogata obnovljivim izvorima energije! Obnovljive energije, pa tako i Sunčeva, smanjuju stopu nezaposlenosti i povećavaju bruto domaći proizvod. Isto tako, smanjuju deficit vanjskotrgovinske bilance.

Prema pod zakonskim propisima za obnovljive izvore energije, u Hrvatskoj je predviđena za 2010. godinu proizvodnja električne energije iz istih 5,8 %, dok je taj udio za 2020. godinu 13,8 %. Isto se planira (među ostalim) postići izgradnjom sunčanih elektrana i instaliranjem foto naponskih sustava za proizvodnju el. energije (radi opskrbe el. energijom autonomnih objekata i proizvodnje el. energije u umreženim sustavima). Strategija energetskog razvoja RH predviđa i izvor sredstava i visinu poticaja. U 2011. godini poticaj se financira kroz naknadu po potrošenom kWh, i iznosi 0,005 kn/kWh, a kvota je 1 MW ukupno za sunčane elektrane. Trajanje poticaja za isporučenu solarnu električnu energiju u Hrvatskoj od 12 godina, je znatno kraće od trajanja poticaja većine država razvijenog dijela. Poticaji se garantiraju povlaštenim proizvođačima npr. u Švicarskoj i Španjolskoj 25 godina, dok su u Njemačkoj, Kanadi (Ontario), u SAD (Minnesota) 20 godina. Ovdje se dakle, nazire tek jedna mala niša, u kojoj bi se povećanjem godina poticaja olakšala i stimulirala upotreba SE u Hrvatskoj.

Od uvođenja poticaja za proizvodnju el. energije iz OIE od 2007. do kraja 2010. godine prikupljeno je oko 500 milijuna kuna, od čega je isplaćeno poticaja povlaštenim proizvođačima, tek oko 133,5 milijuna kuna. Dakle više od 73 % navedenih sredstava još je neisplaćeno! SE je u sustavu poticanja proizvodnje el. energije bila slabo zastupljena. Od oko 95 % ukupne snage svih prijavljenih projekata u RH, solarne elektrane prosječne snage 0,5 MW čine tek 0,6 % ukupne snage. Od tog broja do kraja 2010. godine izgrađeno je tek 1 % snage, a zbog raznih barijera u fazi izgradnje je još samo 0,75 % prijavljenih projekata SE. Očito je da je barijera daleko previše i da je veliki posao na lokalnoj upravi.

U prilog argumentaciji da se u našoj zemlji zaista nužno i žurno treba (obzirom na potvrđene potencijale i prezentirane podatke o uvjetima za iskorištenje SE) uvesti i poticaje za proizvodnju toplinske energije iz SE, kako bi se proces ugradnje solarnih postrojenja ubrzao i osnažio, u Prilogu broj 4 ovoga rada¹⁷ razvidno je da je za isto, prema Istraživačkom i testnom centru za solarna postrojenja iz Stuttgarta, Njemačka, opravdan već prinos kolektora od 525 kWh/m².

Potrebno je pojednostaviti postupak za male proizvođače, produžiti trajanje poticaja za solarne elektrane s 12 na barem 15 godina, ukinuti granice od 1 MW (kvota) za solarne elektrane, uskladiti zakonsku regulativu prostornog uređenja, žurno uvesti poticaje za proizvodnju toplinske energije iz OIE i dr.

Premda je foto naponska (FN) tehnologija jedna od najskupljih energetskih tehnologija, njezino tržište ima gotovo najveću stopu rasta u svijetu, a razvoj tržišta FN stimuliran je i ovisan o financijskim poticajima. Kako bi se i u Hrvatskoj pospješilo tržište FN sustava, potrebno je osim navedenog i povećati poticaje kroz feed-in tarife, osnažiti interes u novu tehnologiju, stimulirati energetsku neovisnost, "zelenu energiju". Obzirom na (još uvijek) visoku cijenu opreme, potrebno je iznaći prihvatljivije "lepeze" i uvjete financiranja, a obzirom na deficit kvalificiranog osoblja, u ovom dijelu je zaista značajan prostor za napredak (povećanje broja kvalificiranih radnika u ovoj grani energetike, što uvelike može doprinijeti ukupnom povećanju broja zaposlenih radnika, a to će uz ostale benefite od iskorištenja solarne energije u Hrvatskog, također blagotvorno djelovati na naše ukupno stanje u gospodarstvu).

Najveća tržišta fotonapona u EU:

Njemačka sa ukupno 17.410 MW (od čega u 2010. g. instalirano 7.583 MW), Španjolska sa 3.878 MW (u 2010. g. novih 358 MW), Italija 2.625 MW (u 2010. g. novih 1.593 MW), Češka 1.820 MW (od čega u 2010. g. instalirano 1.368 MW). U usporedbi sa instaliranom snagom FV sustava u Hrvatskoj i odnos broja sunčanih sati prema naprijed navedenim podacima (gradovi u RH i gradovi u EU), evidentno je da postoje znatni neiskorišteni potencijali i zato je potrebno osnažiti ugradnju solarnih sustava.

"Kod primjene FN ćelija razlikuju se tri segmenta: potrošački proizvodi, otočna proizvodnja i rad na mreži. Daleko najveći (danas je to već vjerojatno oko 90 %) dio primjene je u neekonomičnim instalacijama spojenima na mrežu. Sve ostale primjene su ekonomične. Potrošački proizvodi poput satova i najrazličitijih uređaja imaju svoju dodatnu vrijednost koja opravdava ugradnju FN ćelija. Samostalne instalacije zbog izdvojenosti mogu imati ekonomsku opravdanost bilo u

¹⁷ Certifikat – Dokaz godišnjeg prinosa kolektora za dodjelu znaka zaštite okoliša

industrijskim primjenama ili u elektrifikaciji udaljenih naselja. Djelovanje ekonomije velikih brojeva ima svoj učinak i cijena FN ćelija stabilno se smanjuje. Ovo je posebno izraženo sa ambicioznim uključivanjem Kine u proizvodnju i primjenu FN ćelija. Referentna cijena FN ćelije se obično izražava po vršnoj snazi. Za proizvodnju el. en. iz FN ćelija, koja bi bila blizu ekonomičnosti, potrebno je višestruko smanjenje cijene vršne snage (otprilike 4x na ispod 1 €/W za cijenu od 0,1 €/kWh).

Uobičajeno samostalna primjena FN panela uključuje i uređaj za kontrolu punjenja i pražnjenja baterije za optimalni rad i produljenje životnog vijeka baterije. Za primjene spojene na mreži akumulatori nisu nužni, osim u hibridnom radu, ali je zato nužan pretvarač istosmjernog u izmjenični napon. Ovisno o propisima za mrežni priključak, potrebno je zadovoljiti još neke dodatne kriterije. Npr. FN instalacija ne smije napajati mrežu kada ostane bez glavnog napajanja. Pokraj razvoja proizvodnje, veliki potencijal za postizanje ekonomičnosti proizvodnje el. en. iz FN instalacija ima internaliziranje eksternih troškova konvencionalnih fosilnih izvora i preciznije valoriziranje cijene el. en. u različitim trenucima.¹⁸

Važno je istaći da je opredijeljenost i uloga lokalnih uprava najvažnija u promociji “za” SE, a i njihova zadaća u uklanjanju barijera koje priječe i usporavaju upotrebu SE je ključna. Zagađene površine (napušteni industrijski pogoni, odlagališta otpada i sl.) mogu biti povoljna lokacija za postavljanje foto naponske elektrane (i drugih postrojenja obnovljivih izvora energije npr. Vjetro elektrane).

Takve lokacije uglavnom nisu upotrebljive za druge namjene, cijena zemljišta je minimalna, a blizu su potrebnim infrastrukturnama, kao što su električni vodovi, vodovod, ceste i drugo. Hrvatska također raspolaže znatnim brojem zagađenih površina.

U RH ima čak više od 200 službenih odlagališta otpada, što predstavlja 0,18 promila površine Hrvatske. Upravo na toj površini, nakon sanacije, moguće je postaviti niz FN elektrana, ukupne proizvodnje od oko 1,5 Twh godišnje, što bi pokrilo 10 % potrošnje električne energije 2009. godine. Potencijal hlađenja prostorija stambenog i servisnog sektora u Hrvatskoj je značajan.

Prema autorima Motik i Šimleša, u Hrvatskoj se solarni kolektori za toplu vodu također tek “stidljivo” pojavljuju u Dalmaciji, Istri i na otocima, premda bi ih se moglo koristiti i drugdje u Hrvatskoj, s obzirom na povoljni položaj. Tek nekoliko većih takvih sustava imamo u hotelima u Visu, Šibeniku, Puli i kraj Zadra. (U nama susjednoj Sloveniji proizvodnja solarnih kolektora se subvencionira od strane države.) U kombinaciji sa edukacijom i promocijom ova tehnologija bi mogla (i morala) napokon zaživjeti. Prema istim autorima, drugi način da se zaobiđe problem skupoće je samo gradnja solarne opreme. Na taj način može se uštedjeti znatan iznos novca, a izrađena oprema ne mora nužno biti lošija od komercijalne.

Podaci koji najjasnije govore na koji način je Njemačka (iako nije u zoni najoptimalnijeg dotoka Solarnog zračenja u EU) dostigla epitet “prve” zemlje EU po korištenju SE, su podaci o znatnim investiranjima u ovaj segment energetike: godine 2003. investirali su 6 mlrd €, 2004. godine 7 mlrd €, 2005. godine 10 mlrd €, 2006. godine 11,6 mlrd €, 2007. godine još 12 mlrd €. ¹⁹ Energija Sunca postat će atraktivna kada cijenom

bude mogla konkurirati konvencionalnim izvorima energije poput fosilnih goriva. Foto naponska industrija i dalje ovisi o vladinim potporama, poticajima proizvođačima koji se potom prenose na račune potrošača, ali zbog krize, vlade smanjuju te potpore kako bi prisilile industriju da brže smanji troškove, no to je nanijelo štetu mnogim solarnim kompanijama.

Europsko udruženje foto naponske industrije (EPIA) temeljem istraživanja pet najvećih solarnih tržišta (njemačkog, talijanskog, francuskog, španjolskog i onog Velike Britanije) smatra da bi do kraja 2020. godine mogla biti ostvarena konkurentnost, a u Italiji procjenjuju i ranije.

5. UDIO SUNČEVE ENERGIJE U OPSKRBI RH DO 2030. GODINE

Prema Solarnom priručniku iz 2007. godine procjena prirodnog potencijala SE na kopnenom dijelu Hrvatske, uz prosječnu insolaciju od 3,6 kWh/m² iznosi oko 74.300 Twh/god (267.500 PJ/god), što je preko 800 puta više od potrošnje primarne energije u RH u 2000. godini. Tehnički potencijal sunčeve energije na 1 % dijela Hrvatske procijenjen je na 830 Twh/god (3.000 PJ/god) ili 10 puta današnje primarne energije u Hrvatskoj.

Uz pretpostavku da se 60 % te energije iskoristi za proizvodnju toplinske energije, a 40 % za proizvodnju električne energije, proizlazi da tehnički potencijal proizvodnje toplinske energije iz sunčevih kolektora i korištenja pasivne solarne energije (solarna arhitektura) iznosi 175 Twh/god (630 PJ/god), a tehnički potencijal proizvodnje el. energije iz FN sustava i solarnih termičkih elektrana iznosi oko 33 Twh/god. Uz iskorištavanje nešto manje od 1 % tehničkog potencijala, ekonomski potencijal proizvodnje solarne el. energije iznosio bi oko 0,3 % Twh/god., što odgovara električnoj snazi od oko 200 MW. Kad se procjenjuje potencijal SE u RH, osim poklapanja vršnih opterećenja s dnevnim hodom Sunca, postoji još jedna podudarnost. Vrh se turističkih noćenja u Hrvatskoj u velikoj mjeri poklapa sa solarnim zračenjem.

Kako je SE univerzalni izvor energije, koji se može pretvarati u gotovo sve oblike korisne energije, u prvoj dekadi 21. stoljeća primjena iste zabilježena kao najbrže rastući oblik energije. Obzirom je Hrvatska na zemljopisnom položaju koji omogućuje veliku energetske učinkovitost solarnih sustava, svakako bi u hrvatskoj energetskoj djelatnosti trebao postati imperativ ugradnja postrojenja za iskorištavanje energije Sunca!

Postavlja se pitanje, ako je el. energija dobivena iz solarnih panela preskupa, zbog čega onda na krovovima nebrojenih hala po Europi instaliraju takve panele i na bok zgrada stavljaju display-e koji pokazuju koliko je proizvedeno struje od dana ugradnje i koliko je CO₂ uštedeno planeti zemlji? Teško je za vjerovati da bi radili takve stvari koje su neisplative.

Istovremeno, činjenica je da Hrvatska, zahvaljujući svojim geografskim i klimatskim uvjetima, raspolaže takvim potencijalom Sunčeve energije, da u usporedbi sa Njemačkom, može ostvariti prosječno 30–40 % veću stopu proizvedene električne energije po m² instaliranog panela! Zašto graditi reaktore na zemlji kada imamo besplatan i pouzdan fuzijski reaktor star milijardama godina koji, pokreće naš planet – Sunce! Solarna energija je budućnost energetike. Utjecajem na donositelje odluka i predlaganjem konkretnih rješenja, nužno je tzv. “malim proizvođačima”, pojednostavniti administrativni postupak stjecanja statusa povlaštenog proizvođača električne energije iz

¹⁸ Iz predavanja prof. dr. sc. L. Delbianco; “Energija Sunčevog zračenja”, 2010., str. 16, 17.

¹⁹ www.scribd.com/doc/56407648/Nekonvencionalni-Izvori-Energije-Brosura

obnovljivih izvora, i time ubrzati razvoj hrvatske energetike u održivom smjeru. Ovaj status može steći proizvođač koji u pojedinačnom proizvodnom objektu istodobno proizvodi električnu, toplinsku energiju, koristi otpad ili obnovljive izvore energije za proizvodnju električne energije na gospodarski primjeren način, usklađen sa zaštitom okoliša. (Ishođenje statusa razvidno je iz HODOGRAMA – Stjecanje statusa povlaštenog proizvođača (PP)²⁰) Nije status povlaštenosti svrha sam po sebi, već se radi o ostvarivanju poticajne cijene kroz ugovor s Hrvatskim operatorom tržišta električne energije (HROTE).

Upravo uvidom na nedavno osvežene informacije na stranicama HROTE-a, može se uočiti da su potpisani ugovori o otkupu el. energije za točno 992,36 kW FN elektrana, čime je praktički ispunjena kvota za poticanje tog izvora energije koja je određena Pravilnikom o OIE i KPP. Obzirom na iskazano opredjeljenje Vlade RH i potrebu osiguranja neovisnosti i kontinuiteta u području energetske opskrbe, apsurdno je zaključiti da je **gotovo ispunjena kvota za poticanje FN elektrana u RH** razlog velikom (samo)zadovoljstvu. Ostaje samo vidjeti tko će još uspjeti iskoristiti preostalih 7,64 kW. Naime, unatoč najavama iz MINGORP-a koje datiraju od prije godinu i pol dana da će se kvota za FN sustave povećati, jer interesa za ugradnju ovakvih sustava na škole, bolnice, privatne kuće, i druge građevine kojeg ima sve više, do danas još nisu stigli novi zakonski paketi iz nadležnog Ministarstva. Projekata i zaprimljenih zahtjeva za status PP je mnogo i to znači da su građani i poduzetnici prepoznali značaj i potrebu za iskorištavanjem Sunca kao izvora energije. Za nadati se da će se najave nadležnog Ministarstva RH konačno uskoro ispuniti i da ćemo imati sve više FN sustava na krovovima diljem Hrvatske!

“Tvrтка Kirchner jedna je od vodećih u Njemačkoj koja želi zbog velikog broja sunčanih sati koji nose i brži povrat kapitala sagraditi solarno polje baš u Hrvatskoj. Gospodin Lars Kirchner direktor je i vlasnik kompanije koja s kooperantima proizvodi i postavlja solarne parkove diljem svijeta. Sjedište tvrtke je u mjestu Alheim, u središnjoj Njemačkoj, dok su solarna polja, između ostalih, postavljali u Mađarskoj, Bugarskoj, Češkoj, Rumunjskoj i Italiji. Solarne parkove podigli su u posljednje vrijeme u Čečeniji, a sada rade u Arizoni. Najveće je u Njemačkoj od 17 megavata, gdje je, oko tisuću sunčanih sati manje nego u Hrvatskoj.”²¹ (Ako je isplativo stranom investitoru, nema razloga da ne bude i znatnijem broju domaćih investitora!)

Pozitivno je, da je već nekoliko Županija u Hrvatskoj, u suradnji s Fondom za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU), objavilo javni natječaj za (prilično skromno) sufinanciranje ugradnje solarnih sustava u kućanstvima, dakle za fizičke osobe – do maksimalnog iznosa od 12.000,00 kuna po kućanstvu. Ovih cca 200 kućanstava smanjilo bi okolišu emisiju CO₂ preko 170 tona godišnje.

Cijena solarnog sustava za pripremu potrošnje tople vode, s ugradnjom i puštanjem u pogon, kreće se oko 30.000,00 kuna. Takva investicija u unutrašnjosti RH, otplati se kroz razdoblje 7 do 10 godina, a u priobalju i na otocima kroz 5 do 8 godina (u odnosu na aktualne cijene energenata). Stimuliranje ugradnje solarnih sustava za grijanje i/ili pripremu potrošne tople vode, nije moguće ostvariti samo poticajima, već se ostatak sredstava za ovakvu investiciju treba omogućiti povoljnim tzv. “zelenim kreditima” (pogotovo danas, u uvjetima sveopće gospodarske krize). Za primjer, država Austrija svoje građane

stimulira potporom u iznosu 100 €/m² za ugradnju pločastog kolektora, a sa 140 €/m² za ugradnju vakuumskog. Uz to vlada Austrije, svojim građanima dodjeljuje i 1.100 € kao poticaj za kompletnu instalaciju.

Korist za našu zemlju od intenziviranja ugradnje solarnih sustava, ostvarila bi se i u području povećanja zaposlenosti (nova radna mjesta za projektiranje, montažu, nadzor, puštanja u pogon, održavanja, marketinga, ishođenja potrebnih suglasnosti i dozvola i druga).

Izgradnjom novih energetske kapaciteta u RH do 2020. godine, npr. ugradnjom samo 1 m²/stanovniku solarnih toplinskih kolektora, imali bismo gotovo 4,5 miliona m² solarnih kolektora, a to bi odgovaralo snazi od 3.150 MWt. Tako ugrađeni solarni kolektori godišnje Hrvatskoj bi davali oko 2.500 Gwh toplinske energije, a atmosferi bi uštedjeli gotovo 1 milijun tona CO₂.

Nove energetske kapacitete u smislu korištenja SE, treba predvidjeti već u fazi prostornog planiranja novih naselja. Zakonom o prostornom uređenju (lokacijskim i prostornim uvjetima uvijek osigurati optimalno korištenje SE) treba predvidjeti optimalnu orijentaciju i nagib budućih građevina, prostor za solarne kotlovnice i toplane (radi osiguranja pripreme potrošne tople vode, grijanje, hlađenje prostora) i na taj način maksimizirati izgrađenost energetske kapaciteta koji će koristiti energiju Sunca. Svakako treba Zakonom o gradnji urediti i područje koje danas, možemo nazvati, rasipanjem topline, a za sve subjekte u postupku dobivanja uporabnih dozvola (bilo za rad ili stanovanje) propisati obvezu pribavljanja energetske iskaznice (to bi značilo da se obavežu provesti sve potrebne mjere u cilju osiguranja energetske učinkovitosti objekata, a u tom kontekstu i optimiziranja korištenja svih raspoloživih pasivnih i aktivnih solarnih sustava). Ako želimo da Hrvatska postane gospodarski razvijenija, ekološki čista i prepoznatljiva zemlja (i takva integrirana u Europsku zajednicu), trebamo sve aktivnosti snažno usmjeriti za izgradnju kapaciteta za proizvodnju el. energije iz SE, kao i za povećanje energetske kapaciteta za korištenje toplinske ili energije hlađenja.

Prema dokumentu “Program energetske učinkovitosti” koji je usvojila Vlada RH, učinkovitost upotrebe energije u RH, sa ciljem realizacije održivog razvoja naše zemlje, između ostalog, planira se postići uštedama tj. smanjenjem neposredne potrošnje energije, i to:

- u 2016. godini 19,77 PJ (što odgovara uštedi energije 470.000 t nafte),
- u 2020. godini 22,76 PJ (što odgovara uštedi energije 542.000 t nafte),
- u 2030. godini 30,23 PJ (što odgovara uštedi energije 720.000 t nafte).²²

Osim uštede energije, cilj projekta je i izravno smanjenje emisije stakleničkih plinova, koji pridonose efektu globalnog zagrijavanja u okoliš. Potrebno je djelovati i na stranu ponude i na stranu potražnje na tržištu. Krajnji cilj je poticanje i ubrzanje formiranja samostalnog i samoodrživog EE tržišta u Hrvatskoj.

Prema izvješću Agencije za zaštitu okoliša RH od 29.12.2011. g. opskrbljenost energijom iz svih obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije iznosi 20,1 % (Tablica 9 i Slika 3).

²⁰ Prilog broj 5

²¹ Poslovni.hr

²² Prilagođeno iz predavanja prof. dr. sc. L. Delbianco: “Energetika u Hrvatskoj”, 2009., str. 83.

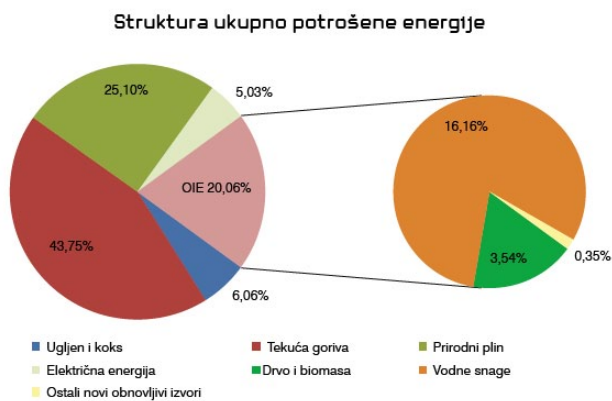
Tablica 9: Proizvodnja primarne energije prema izvorima

Godina	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.
	PJ					
Ogrijevno drvo	16,09	14,96	17,38	15,42	17,01	17,97
Sirova nafta	42,44	40,11	38,90	37,27	35,42	33,07
Prirodni plin	77,08	79,76	94,27	100,12	94,05	93,50
Vodne snage	69,00	62,40	58,18	42,21	50,19	65,77
Obnovljivi izvori	0,02	0,20	0,24	0,84	1,03	1,34
UKUPNO	204,62	197,42	208,96	195,87	197,70	211,64

Izvor: <http://www.obnovljivi.com/aktualno/979-izvjestaj-agencije-za-zastitu-okolisa>.

Na žalost, udio “novih obnovljivih izvora energije”, pod što se podrazumijevaju energija vjetra, Sunčeva energija, bio dizel, geotermalna energija, deponijski plin i bioplin, iznosi, unatoč zabilježenom trendu rasta, tek 0,35 %!

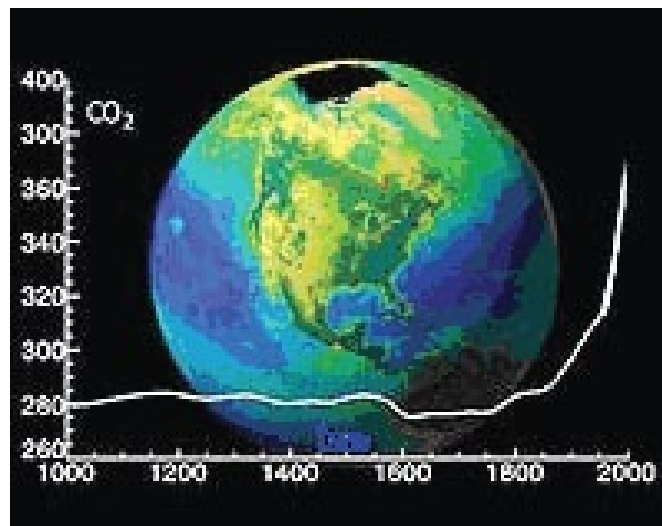
Slika 3: Struktura ukupno potrošene energije RH za 2009.g.



Izvor: EIHP

Izvor: <http://www.obnovljivi.com/aktualno/979-izvjestaj-agencije-za-zastitu-okolisa>

Na ovom mjestu prilika je istaknuti da je do 2020. godine, zacrtano znatno povećati upotrebu Sunčeve energije u Hrvatskoj, instaliranjem 45 MW snage u sunčevim elektranama, a u 2030. godini još 250 MW.²³

Slika 4: Promjena koncentracija (ppm) CO₂ u atmosferi u zadnjih tisuću godina (od 1000.g. do 2000.g.)

Izvor: Loš, B., Tehnologija hvatanja i spremanja ugljikovog dioksida ..., Energija, god. 58(2009), br. 2., str. 112.

Ako još jednom podsjetimo da “...intenzivni razvitak industrije datira od sredine 19. stoljeća. Razvitak prati povećanje razine koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi sa 280 ppm (partes per milion mol) na skoro 370 ppm. Nema točnog odgovora, kolika je granična koncentracija nakon koje će negativne i nepovratne klimatske promjene prouzročiti u konačnici propadanje ljudske civilizacije. Struka smatra da je ona bliže 450 ppm nego 750 ppm. Bez ikakvih mjera za smanjenje koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi bit će ga oko 900 ppm 2100. godine”²⁴, Slika 4, tada je logično zaključiti da su najrazvijenije industrijske zemlje, koje i zemlje sa najpropulzivnijim ekonomijama i najveći zagađivači, i da racionalnim planiranjem svoga razvoja, prema principima održivog razvoja, pri čemu mislim (između ostalog) na drastično intenziviranje iskorištenja potencijala Sunčeve energije, moraju doprinijeti smanjenju emisije i CO₂ i ostalih plinova i štetnih čestica u okoliš.

Također, prema izvješću Agencije za zaštitu okoliša RH od 29.12.2011. g. novost je da je u Hrvatskoj uspostavljen Nacionalni registar stakleničkih plinova, koji će se uključiti u trgovanje stakleničkim plinovima po ulasku zemlje u EU. Raduje podatak da su naše ukupne emisije trenutno manje od obveza Hrvatske prema Kyotskom protokolu, ali bismo ne sumnjivo bili razočarani rezultatom analize razloga koji su doveli do takvog podatka. Naime, nije RH svjesnim povećanjem upotrebe OIE i učinkovitim trošenjem energije došla do ovog povoljnog rezultata emisije štetnih plinova (to je tema koja zahtjeva puno više prostora i složenu analizu, a nije predmet ovog rada). Recimo samo da u Hrvatskoj najznačajniji udio u ovim emisijama ima sektor Energetike (74 %), a slijede Poljoprivreda (11 %) i Industrijski procesi (10 %).

²³ Prilagođeno iz predavanja prof. dr. sc. L. Delbianco: “Energetika u Hrvatskoj”, 2009., str. 90.

²⁴ Loš, B., Tehnologija hvatanja i spremanja ugljikovog dioksida ..., Energija, god. 58 (2009), br. 2., str. 112.

6. ZAKLJUČAK

Referirajući se na podatak o zacrtanim planovima RH za instaliranjem 45 MW snage kroz sunčeve elektrane 2020. godine, te još 250 MW snage (istog izvora energije) u 2030. godini, bitno je istaći da je to (obzirom na vrlo jake političko-gospodarske utjecaje kojima je Hrvatska permanentno izložena) poticajan iskorak u ublažavanju energetske ovisnosti zemlje, no prema evidentnim znatnim potencijalima Sunčeve energije koje Hrvatska ima, daleko premalo, i trend zaostajanja Hrvatske u upotrebi SE je nužno hitno mijenjati. Obzirom je Hrvatska ovisna o uvozu energije, nameće se problem što veće supstitucije uvozne komponente upotrebom energije Sunca. Zbog zaštite klime, okoliša i zdravlja, ekonomskih razloga, energetske sigurnosti i povećanja zapošljavanja, dokazana je potreba u Hrvatskoj osigurati tranziciju iz fosilnih goriva u obnovljive energije, s naglaskom na povećanje energetske efikasnosti (štednja energije).

Polazna hipoteza da je moguće u značajnoj mjeri umanjiti energetska ovisnost Hrvatske instaliranjem energetskih sustava za korištenje SE, zahvaljujući geografskim i klimatskim preduvjetima kojima raspolaže naša zemlja, **potvrđena je** podacima o solarnoj iradijaciji po m^2 , i izračunima o prinosu energije iz energije Sunca po m^2 i rezultatima izračuna vremena povrata ukupne investicije u energetski objekt snage 10 kW za više odabranih lokacija u RH. Stručni doprinos ovog rada čine spoznaje da je neiskorišten potencijal SE u RH znatan i da ne postoje objektivne prepreke, osim financijskih, za njegovo znatnije iskorištenje. Da bi se to ostvarilo, potrebno je ukloniti barijere administrativnih procedura za tako zv. male proizvođače, osnažiti financijske poticaje, produžiti trajanje poticaja za solarne elektrane s 12 na barem 15 godina, ukinuti granice od 1 MW za solarne elektrane, uskladiti zakonsku regulativu prostornog uređenja, žurno uvesti poticaje za proizvodnju toplinske energije iz OIE. Potrebno je senzibilizirati i potaknuti sve (i potencijalne) sudionike u segmentu energetike koji se bave iskorištavanjem energije Sunca u RH, jer su jasno potvrđene višestruke koristi za našu zemlju od istog (energetska sigurnost, stabilnost u opskrbi, smanjenje ovisnosti o uvozu i daljnjih ekonomskih zaduženja, povećanje izvoza specifičnih komponenti, povećanje zaposlenosti, očuvanje okoliša, zdravlja i eko sustava, disperziranje proizvodnje energije, samo su neki od benefita). Realno je za očekivati, već u ovom desetljeću, da će tehnološki razvoj doprinijeti smanjivanju cijene pojedinih komponenata vezanih za iskorištavanje energije Sunca i time osnažiti konkurentnost ovog čistog izvora energije, u odnosu na konvencionalne. Ne sumnjivo je da će ta činjenica uz osiguranje izdašnjih poticaja građanima i institucijama u Hrvatskoj, koja i EU treba pod istim uvjetima osigurati, intenzivirati aktivnosti s ciljem osjetnog rasta iskorištavanja potencijala energije Sunca u našoj zemlji (jer RH će i službeno vrlo skoro postati članica EU). Utvrđeno je da je u Hrvatskoj nužno povećati kvote i ukupnu proizvodnju el. energije iz SE, sukladno pozitivnoj praksi koju već dulji niz godina provodi Njemačka, koja je vodeća zemlja u Europi po korištenju SE, obzirom na utvrđenu prosječnu godišnju ozračenost na optimalnu površinu koja je u RH cca 30 % / m^2 viša nego li u Njemačkoj.

Jer, Sunce je univerzalni izvor energije koji se može pretvarati u gotovo sve oblike korisne energije, od el. energije (foto naponske elektrane i koncentrirane solarne termoelektrane), preko toplinske energije (grijanje, topla voda, hlađenje), do pogona vozila, čijim iskorištenjem će Hrvatska umanjiti ener-

getska ovisnost, te istovremeno osigurati stabilnost u opskrbi energijom uz princip održivog razvoja.

LITERATURA

- [1] Delbianco, L.; izvodi iz predavanja "Energetika i energetska učinkovitost", Politehnika, Pula 2009. i 2010.
- [2] Motik, B.; Šimleša, D.: Zeleni alati za održivu revoluciju, Zagreb: Što čitaš i ZMAG, 2007.
- [3] Majdandžić, Lj.: Solarni sustavi – Teorijske osnove, projektiranje, ugradnja i primjeri izvedenih projekata, Zagreb, Graphis, 2010.
- [4] Institut za međunarodne odnose – IMO; urednice Tišma, Sanja; Maleković, Sanja: Zaštita okoliša i regionalni razvoj – iskustva i perspektive; Zagreb, Kugler, d.o.o., 2009.
- [5] Krpan-Lisica, D.: Osnove energetike, Zagreb: HINUS, 2001.
- [6] Potočnik, V.: Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj, Zagreb, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, 2002.
- [7] Udovičić, B.: Neodrživost održivog razvoja – Energetski sustavi u globalizaciji i slobodnom tržištu; Zagreb: Kigen, 2004.
- [8] Višković, A.: Svjetlo ili mrak: Energetska sigurnost – političko pitanje, Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Lider press d.d., Zagreb, 2009.

STRUČNI ČASOPISI

- [1] NATIONAL GEOGRAPHIC Hrvatska, rujan 2009. – broj 9 – No 71 – članak "Solarna energija: ENERGETSKI IZVOR BUDUĆNOSTI" George Johnson, str. 20 – 43.
- [2] DRVO ZNANJA – Enciklopedijski časopis za mlade, rujan 2007. – broj 107, GODINA XI – članak "Sunčeva energija" Mile Baće, str.30 – 35.

OSTALI IZVORI

- [1] Energetski institut Hrvoje Požar; TRANS-SOLAR, HRVATSKO NACIONALNO IZVJEŠĆE, prosinac 2008.
- [2] Dekanić, I., Kolundžić, S., Slipac, G., Energetska budućnost Hrvatske..., Energija, god. 55 (2006), br. 4., str. 382–415
- [3] Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2020. godine
- [4] Matić, Z., EIHP, predavanje "PRIMJENA SUNČEVE ENERGIJE", Split, 15.travnja 2008.
- [5] Šeremet, N. (2011.), Magistarski rad: "Razvojne strategije na tržištu nafte i naftnih derivata u Hrvatskoj"
- [6] Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet Osijek Izvadak iz predavanja, poglavlje 5. ENERGIJA SUNCA (SUN. ZRAČENJA); str. 345. – str. 423.
- [7] Tomić, A., Debrešin, N., Vrankić, K., Eksterni troškovi proizvodnje električne energije i politika zaštite okoliša, Energija, god. 55 (2006.), br. 2., str 128–163.
- [8] Loš, B., Tehnologija hvatanja i spremanja ugljikovog dioksida ..., Energija, god. 58 (2009.), br. 2., str. 112.
- [9] Tominov, I., Liberalizacija tržišta električne energije..., Energija, god. 57 (2008.), br. 3., str. 256–299.

- [10] Feretić, D., Neki temeljni problemi proizvodnje električne energije u Hrvatskoj u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju, *Energija*, god. 55 (2006.), br. 1., str 36–71

INTERNET

- <http://hrcak.srce.hr/energija>
- <http://www.doaj.org>
- <http://www.dhmz.hr>
- <http://www.eihp.hr/hrvatski/kapital8.htm#d>
- <http://www.edz.hr>
- <http://www.eurobserv-er.org/>
- <http://www.gradimo.hr/Koristenje-Sunceve-energije-u-Hrvatskoj/hr-HR/10375.aspx>
- http://www.eihp.hr/hrvatski/zakoni_propisi.htm
- <http://www.limun.hr/leksikon>
- <http://www.kreativna-energija.hr>
- <http://www.himinsolar.org>
- <http://www.eurobserv-er.org/>
- <http://www.energetika-net.hr>
- <http://www.ipa-sb-solar.hr>
- http://www.energetskaeifikasnost.undp.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=178:sustavno-gospodarenje-energijom-sge-u-gradovima-i-upanijama-u-hrvatskoj&catid=38:projekti&Itemid=113
- <http://www.scribd.com/doc/56407648/Nekonvencionalni-Izvori-Energije-Brosura>
- http://www.advantageaustria.org/hr/zentral/focus/technology/erneuerbare_energie/Erneuerbare_Energie_generell.hr.jsp
- http://www.hsuse.hr/projekti_udruga/solarni_sustavi_u_primjeni/default.aspx
- <http://www.energies-renouvelables.org>
- http://www.fer.hr/_download/repository/DR08IKarlovic.pdf
- http://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2005/01-tab.pdf
- <https://analysis.nrel.gov/homer/includes/downloads/HOMERGettingStarted210>
- <http://www.maplandia.com/germany/bayern/oberbayern/munchen/munich/>
- www.retscreen.net
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/imagdata.php?1>
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?lang=en&map=europe>
- <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets@nrcan.gc.ca&step=1&lat=48+12&lon=16+22&submit=Submit>
- <http://www.eecroatia.com/obnovljivi-izvori/grad-od-100posto-obnovljivih-izvora/>
- <http://novapolitika.blog.hr/2009/09/1626678112/jeftina-energija-iz-obnovljivih-izvora.html>

- <http://www.hrote.hr/hrote/obnovljivi/naknada.aspx>
- <http://www.solektra.hr/projekti/>
- <http://www.obnovljivi.com/aktualno/915-zavsrena-peticija-ne-sprecavajte-koristenje-vjetroatenergije-na-otocima-i-uklonite-ogranicavajucu-kvotu-za-struju-iz-solara>
- <http://www.mojaenergija.hr/Aktualno/Vijesti/Svijet/Sunceva-energija-i-u-zeljeznickom-prijevozu-putnika-prvi-ekoloski-putnicki-vlak-u-Europi>
- <http://www.monitor.hr/vijesti/murter-prvi-u-hrvatskoj-ueve-solarnu-javnu-rasvjetu/162030/>
- http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_opt/pvgis_solar_optimum_HR.png
- http://www.korak.com.hr/sos.php?id_sos=318
- http://www.is-consult.at/hr/wp-content/uploads/CS_Dokaz-prinosa_HR_DE.pdf
- <http://www.meconnues.org/solar-chimney>
- [http://www.bankamagazine.hr/default.aspx?TabId=104&Vew=Details&ItemID=72113](http://www.bankamagazine.hr/default.aspx?TabId=104&View=Details&ItemID=72113)

POPIS OZNAKA I KRATICA

RH	Republika Hrvatska
FZOEU	Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost
EU	Europska unija
DHMZ	Državni Hidrometeorološki Zavod
EIHP	Energetski institut "Hrvoje Požar"
FN	fotonaponski
PV	engl. photovoltaic
SE	Sunčeva energija
PJ	peta džul (1 PJ = 0,2778 TWh = 0,02388 Mtoe / megatona ekvivalentne nafte/)
AM	omjer mase zraka (površina atmosfere AM = 0)
MINGORP	Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva
EE	energetska efikasnost
FZOEU	Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost
GEF	Globalni fond za okoliš
BIPV	engl. Building Integrated Photovoltaics
FNE	fotonaponske elektrane
KSTE	koncentrirajuće solarne termoelektrane
IEA	Međunarodna energetska agencija engl. International Energy Agency
PVGIS	engl. Photovoltaic Geographical Information System
NASA	engl. National Aeronautics and Space Administration
ESRA	engl. European Solar Radiation Atlas
GISCO	engl. Geographic Information System of the European Commission
EPIA	Europsko udruženje fotovoltaične industrije
HERA	Hrvatska energetska regulatorna agencija
HROTE	Hrvatski operater tržišta energije d.o.o.

UPRAVLJANJE MIKROPROCESORSKIM SUSTAVIMA PUTEM WEB KLIJENTA NA PRIMJERU OBITELJSKE KUĆE

Autor **Denis Ivančić**

Mentor **Sanja Grbac Babić**, mag. računarstva, predavač

Separat diplomskog rada na Politehnici Pula, Visokoj tehničko-poslovnoj školi od prosinca 2013. godine.

SAŽETAK

Od pamtivijeka ljudsko biće teži lagodnijem i naprednijem životu. Kao produkt takve težnje u današnjem se svijetu razvila grana automatizacije.

Novonastale tehnološke okolnosti, sveopća prisutnost komunikacijskih tehnologija te široka rasprostranjenost Interneta kao medija otvara sasvim nove poglede i mogućnosti primjene automatizacije. Primjer automatizacije obiteljske kuće daje nam uvid u samo maleni dio potencijala koje pruža Netduino mikroprocesorska platforma.

Kroz implementaciju .net tehnologije, tehnologiju otvorenog koda, korištenje virtualnih servisa i lako umrežavanje, mogućnosti razvoja ovakvih platformi eksponencijalno rastu. Promatrajući stvari s malim odmakom, možda je ova tehnologija najbolji predstavnik koncepcije "Internet of Things" i jedan od pokazatelja kojim smjerom ide razvoj tehnologije i društva.

KLJUČNE RIJEČI: Netduino, mikroprocesorski sustavi, Internet of things, pametna kuća, automatizacija, upravljanje na daljinu.

ABSTRACT

From the beginning of time human being aspire to pleasant and advanced life. As a result of such aspirations, today's world developed the automation branch. New technological opportunities, the presence of global communication technologies and the widespread acceptance of the Internet as a medium are opening up entirely new perspectives and possibilities for automation applications. The example of home automation gives us a glimpse of just a small part of the potential offered by the Netduino microprocessor platform. Through the implementation of .Net technology, open source technology, the use of virtual services and easy networking capabilities, development of such platforms are growing exponentially. Looking at things in perspective, perhaps this technology is the best representative of the concept "Internet of Things" and provides the direction in which both technology development and the society are evolving.

KEYWORDS: Netduino, microprocessor systems, Internet of things, smart house, automation, remote control.

RIASSUNTO

Da sempre l'essere umano aspira a una vita piacevole e avanzata. Come risultato di tali aspirazioni nel mondo di odierno si è sviluppato il ramo dell'automazione. Le nuove opportunità tecnologiche, la globale presenza di comunicazioni e la diffusa accettazione di Internet come mezzo apre nuove prospettive e nuove possibilità di applicazioni di automazione. L'esempio della domotica ci fornisce uno sguardo solo su una piccola parte del potenziale offerto dalla piattaforma del microprocessore Netduino. Attraverso l'implementazione della tecnologia .net, open source, l'uso dei servizi virtuali e alla facilità dei collegamenti alla rete, lo sviluppo di tali piattaforme offre opportunità di crescita esponenziale. Guardando le cose in prospettiva, forse questa tecnologia rappresenta al meglio il concetto di "Internet of things" e fornisce la direzione verso la quale sta evolvendo lo sviluppo della tecnologia e della società.

PAROLE CHIAVE: Netduino, sistemi con microprocessore, Internet of Things, automazione, casa intelligente, gestione remota.

1. UVOD

Mikroprocesori su u današnjem suvremenom društvu gotovo nezaobilazni dijelovi koji se koriste kod sve većeg broja sklopova i uređaja. Mogućnosti koje su nekada bile nezamislive i teško premostive ili izvodive uz ulaganje znatnih financijskih sredstava, današnji moderni integrirani mikroprocesorski sustavi realiziraju uz niske troškove i široku primjenjivost.

Razvoj određenih mikroprocesorskih platformi je kroz vrijeme približio tehnologiju i samim krajnjim korisnicima tako da

danas na tržištu postoje sustavi kompatibilni sa svim trenutno važećim mrežnim standardima i standardima prijenosa podataka. Uza sve to omogućeno je da se izdavanje naredbi vrši kroz sučelja koja prepoznaju objektno orijentirane programske jezike. Sve to vodi većoj popularizaciji i široj primjeni takvih mikroprocesorskih sustava u svakodnevnom životu. Prilagodba jedne takve platforme zahtijeva multidisciplinarni pristup i predstavlja pravi izazov za inženjera budućnosti.

Cilj ovog rada bio je osmišljavanje, razvijanje, realizacija, opis i testiranje rješenja upravljanja putem web klijenta uz upotre-

bu mikroprocesorskog sustava baziranog na primjeni .net tehnologije, njegovih pratećih sklopova, te pridruženih mu senzora i aktuatora.

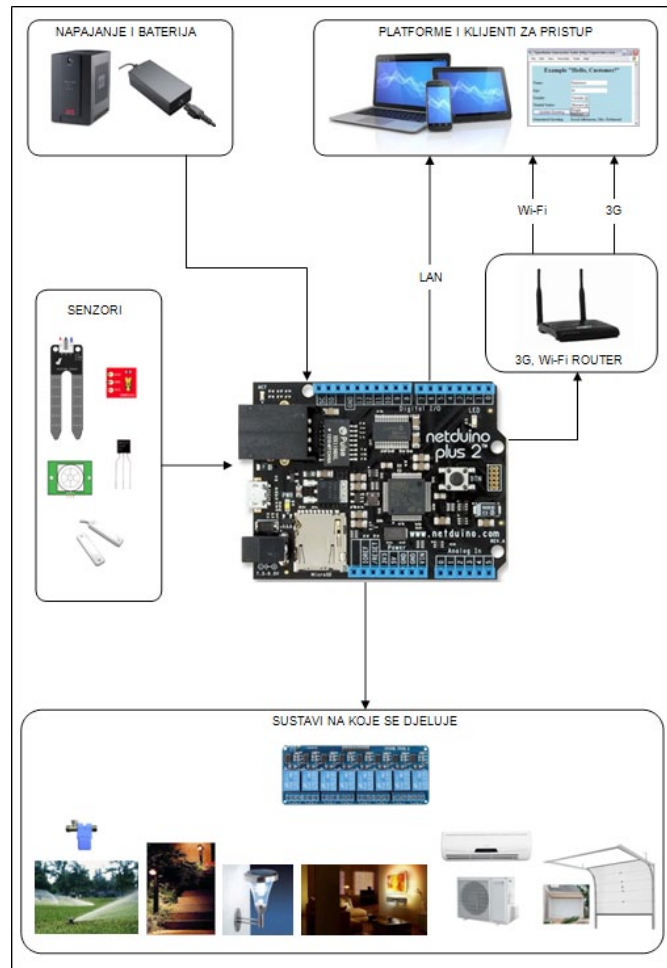
Svrha ovog diplomskog rada je upoznavanje i ovladavanje znanjima i tehnologijama koje se primjenjuju u radu, a čije bi vrijeme strmoglavog uspona tek trebalo nastupiti.

2. OPIS SUSTAVA

Blok shema sustava (Slika 1) nastala je kao nusproizvod idejnog rješenja mikroprocesorskog upravljanja sustavom putem web klijenta. Slijedom događaja određeni su osnovni ulazi i izlazi sustava te je određeno koje bi elemente sustav trebao sadržavati kako bi zadovoljio zahtjeve sa stajališta upotrebljivosti, pouzdanosti i jednostavnosti korištenja.

Kao osnova sustava izabran je "Netduino Plus 2" mikroprocesorski sklop baziran na .net tehnologiji čije karakteristike u potpunosti odgovaraju zahtjevima i načinu primjene. Osnovu platforme čini STMicro STM32F405RG 32-bitni mikroprocesor radne frekvencije 168 MHz (Cortex-M4 jezgra ARM arhitekture) s prostorom od 100 KB RAM-a i 384 KB EPROM-a za pohranu koda. Osim samog mikroprocesorskog sklopa koji je opremljen USB sučeljem za komunikaciju prilikom programiranja, Ethernet sučeljem za spajanje na mrežu te 14 digitalnih i 6 analognih ulaza/izlaza u blok shemi su prikazane međusobne povezanosti podsustava i smjerovi protoka informacija kroz sustav.

Slika 1: Blok shema sustava upravljanja



Senzori

Promatrajući sustav i uspoređujući ga sa ljudskom anatomijom moglo bi se reći da senzori predstavljaju "oči" mikroprocesorskog sustava. Kroz njih mikroprocesorski sustav dobiva informacije iz okoline o trenutnom stanju upravljanih sustava ili njihovih elemenata te na temelju toga izvršava zadane akcije. Kod izbora senzora važno je da udovoljava postavljenim zahtjevima s obzirom na opseg mjerenih vrijednosti te mogućnost upravljanja od strane mikroprocesora. Izbor i upotreba senzora je uvelike olakšana zbog toga što na tržištu postoje već gotovi sklopovi prilagođeni većini današnjih mikroprocesora da bi se izbjegla upotreba složenijih među-sklopova i prilagodbi. Senzori koji se mogu upotrijebiti u ovakvom podsustavu mogu se svrstati u četiri skupine prema načinu na koji se definira njihova izlazna veličina. Tako postoje senzori sa analognim, digitalnim, SPI i I²C izlazima. Rezultat mjerenja senzora je u konačnici jednak samo u drugom obliku pa tako pažnju treba usmjeriti na ispravnu obradu podataka s obzirom na vrstu senzora. Prilikom realizacije modela testnog sklopa testirana je primjenjivost senzora vlažnosti tla, senzora razine osvjetljenja, senzora pokreta, senzora stanja (otvoreno/zatvoreno) i senzora temperature.

Aktuatori

Analogijom usporedbe senzora sa ljudskom anatomijom za aktuatora bi se sa punim pravom moglo zaključiti da predstavljaju "ruke" mikroprocesorskog sustava. Pomoću aktuatora mikroprocesor izvršava naredbe zadane u kodu i pretvara ih u interakciju prema okolini. Kod izbora aktuatora posebnu pažnju treba obratiti na prilagođenost upotrebi u sprezi s mikroprocesorom i pripadajućim mu izlazima te ispravnoj dimenzioniranosti s obzirom na tip i jačinu upravljanog trošila. Aktuatori koji se izabiru za upotrebu u sustavu trebali bi biti, kao i senzori, što jednostavnije izvedbe i što prilagođeniji upravljanju putem Netduino Plus 2 platforme kako bi se izbjegla upotreba složenijih među-sklopova i kompliciranih prilagodbi. Prilikom realizacije modela na testnom su se primjeru koristile tri vrste sklopova za akciju: tranzistori u spoju sklopke (kod upravljanja signalnim diodama kako bi se umanjilo strujno opterećenje mikroprocesora), relejne sklopke za upravljanje trošilima većih snaga te IC predajnik za upravljanje klimatičkim uređajem.

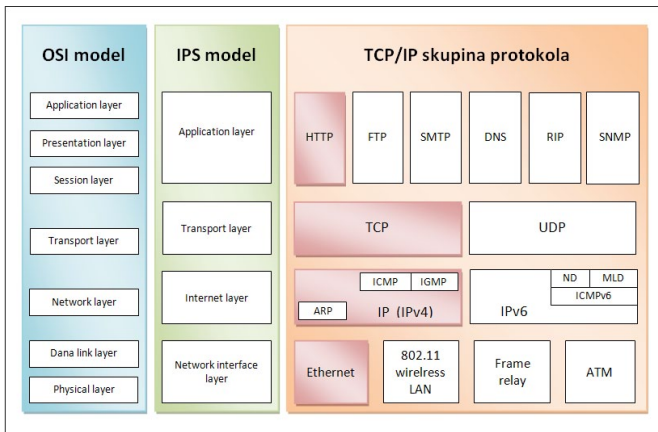
3. KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE U FUNKCIJI SUSTAVA

Ovaj mikroprocesorski sustav zamišljen je kao lokalno instalirani sustav s mogućnošću lokalnog i globalnog upravljanja procesima. Internet mreža svojom raširenošću (preko 2,4 milijardi korisnika u svim zemljama svijeta) nudi veoma fleksibilnu platformu za globalni pristup mikroprocesorskom sustavu.

Postoje razne definicije i modeli arhitekture internet mreže među kojima je najčešće korišten i najpriznatiji model razvijen od International Standards Organization (ISO) pod nazivom Open System Interconnect (OSI) Reference model. Ovim modelom je obuhvaćen opis strukture mreže i opis funkcija podatkovnih protokola. OSI model sastavljen je od sedam osnovnih slojeva kroz koje se definiraju funkcije komunikacijskih protokola.

Uz OSI model, najzastupljeniji model arhitekture koji opisuje internet komunikaciju je IPS (Internet Protocol Suite), često nazivan i TCP/IP model mrežne arhitekture, ponajviše zbog najčešće korištenih glavnih protokola. IPS (TCP/IP) model mrežne arhitekture je u literaturi opisan kroz tri do pet slojeva, dok je za potrebe opisa mrežne komunikacije u ovom projektu izabran četvero-slojni model arhitekture baziran na aplikacijskom, prijenosnom, internet i mrežnom sloju. Na Slici 2, u drugom stupcu prikazani su slojevi arhitekture četveroslojnog IPS (TCP/IP) modela. U trećem stupcu su prikazani protokoli TCP/IP modela u ovisnosti od slojeva oba modela, crvenom bojom istaknuti su protokoli koji se koriste prilikom komunikacije testnog sustava.

Slika 2: Usporedba OSI i IPS modela uz pripadajuću TCP/IP skupinu protokola



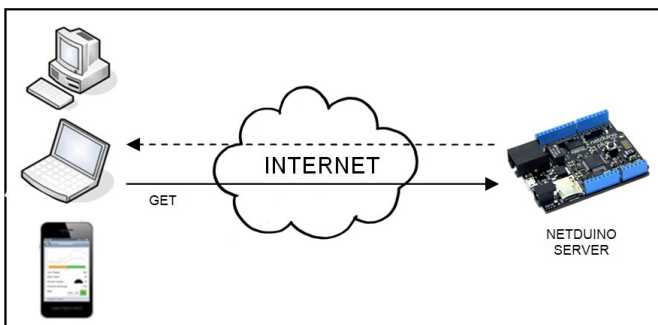
Application layer (HTTP i DNS)

Protokoli koji su na ovoj razini važni za funkcioniranje sustava upravljanja mikroprocesorom su HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) kroz dvije korištene metode PUT i GET te DNS (Domain Name System).

Prilikom upotrebe internet mreže za potrebe komunikacije mikroprocesorskog sustava na aplikacijskoj razini najvažniji dio je oblik komunikacije između klijenta i poslužitelja. Takva komunikacija može se izvesti na više načina:

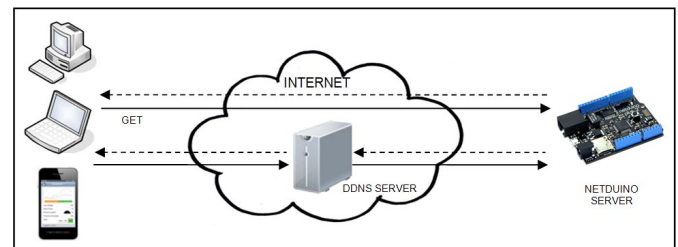
- Direktno, kao što je prikazano na Slici 3, tako da mikroprocesorski sustav predstavlja server, a upravljačko sučelje predstavlja klijenta. Takva opcija zahtijeva podešavanje Netduino Plus 2 uređaja s postavkama web servera te podešavanje okolne mreže uz dodjeljivanje fiksne globalne IP adrese (domene) mikroprocesoru da bi ga klijent mogao alocirati. Ovakav način komunikacije nije pogodan za upotrebu u zaštićenim mrežama ili kod mreža sa dinamičkim IP adresama.

Slika 3: Direktni odnos klijent- server



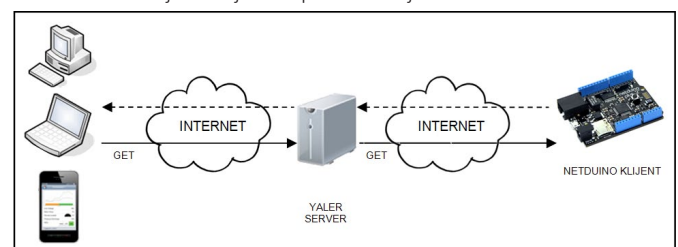
- Komunikacija uz posredovanje nekog od DDNS (Dynamic Domain Name Server) servisa za praćenje IP adrese. Takav način primjenjuje se da bi se izbjegao prekid komunikacije u slučaju promjene IP adrese servera (uobičajeno je da se IP adrese resetiraju i dinamički mijenjaju od strane davatelja usluga svakih 24 sata ili kod prekida veze). Mikroprocesorski sustav je u ovom slučaju konfiguriran kao server, a upravljačko sučelje je klijent s razlikom što se mikroprocesorskom sustavu ne mora dodijeliti globalna fiksna IP adresa već samo fiksna IP adresa unutar lokalne mreže. DDNS server prati promjene IP adrese i veže ih uz dodijeljenu domenu da bi pristup mikroprocesoru bio moguć i kod promijenjene IP adrese. Na Slici 4 vidljiva je usporedna komunikacija posredstvom DDNS servisa.

Slika 4: Odnos klijent- server uz posredovanje DDNS servisa



- Komunikacija putem YALER (obrnuto od eng. RELAY) servisa. Primjenjuje se u slučaju kada se želi postići veća fleksibilnost mikroprocesorskog sustava i neovisnost komunikacije o IP adresi. U ovom slučaju mikroprocesorski sustav se podešava kao klijent koji servisu šalje jedinstveni tajni ključ i pripadajuću mu domenu zajedno s informacijama o trenutnoj IP adresi. Ovakav odnos između mikroprocesora i upravljačkog sučelja zove se još i klijent – klijent odnos. Kretanje zahtjeva i odgovora od servisa do mikroprocesora naziva se "REVERSE HTTP" pošto je kretanje podataka suprotno uobičajenom odnosu klijent – server, što se može vidjeti na Slici 5.

Slika 5: Odnos klijent- klijent uz posredovanje YALER servisa



Transport layer (TCP)

Prilikom povezivanja dva računala na internetu i prijenosa paketa TCP (Transmission Control Protocol) protokol je odgovoran za obostrano spajanje i osiguranje ispravnosti redoslijeda prilikom isporuke paketa na odredište.

U slučaju komunikacije prema mikroprocesoru važno je naglasiti da se ona odvija putem TCP porta 80 kojim se prenosi HTTP i koji je otvoren za komunikaciju u gotovo svim mrežama gdje se mikroprocesorski sustav može primijeniti. Ukoliko situacija nije takva i port 80 je zatvoren, može se pribjeći zaobilasku zabrane, bilo putem konfiguracije mikroprocesora za upotrebu na drugom portu, ili konfiguracijom softvera za zaštitu mreže.

Network layer (IP)

IP (Internet protocol) se koristi za podatkovnu komunikaciju između računala bez direktnog spajanja kroz računalnu mrežu a za prijenos podataka ga koristi i TCP protokol. IP protokol je odgovoran za pravilno adresiranje računala i promet paketa. IP protokol fragmentira podatke na manje pakete i šalje ih mrežom neovisno jedan o drugima da bi se opet spojili na odredištu u prvobitni oblik. Danas je na internetu trenutno aktualna verzija 4 IP protokola (IPv4), koja je ujedno i najraširenija. Svojstvo koje se najčešće zamjećuje kod IPv4 protokola je upravo IP adresa dužine 32-bita.

Interface layer (ETHERNET)

Ethernet je protokol kojeg obilježava velika fleksibilnost i relativna jednostavnost implementacije i razumijevanja uz relativno nisku cijenu. Zbog takvih svojstava Ethernet je gotovo u potpunosti istisnuo ostale mrežne interface tehnologije i drži primat na tom području. Netduino Plus 2 mikroprocesorski sustav posjeduje integriranu mrežnu karticu s jedinstvenom MAC adresom koja podržava 10baseT standard preko RJ-45 ethernet konektora.

Web klijenti i platforme

Upravljačka platforma sustava bazirana je na HTML kodu. Izvedena je tako da je potpuno neovisna o hardverskim mogućnostima platformi i operativnim sustavima, uz jedini uvjet kojem se mora udovoljiti, a to je da se na platformama može pokrenuti web klijent (HTML preglednik). Primjerice, platforme s kojih se može upravljati mikroprocesorskim sustavom mogu biti: osobno računalo (MS Windows, Linux,...), tablet (iOS, Android,...), pametni telefon (iOS, Android, MS Windows,...) ili bilo koji drugi uređaj koji može pristupiti internetu i prikazati HTML kod.

Isto tako, softverska ograničenja sustava svode se na mogućnost grafičkog prikazivanja HTML koda, što omogućavaju svi preglednici koji se mogu naći trenutno na tržištu. Neki od poznatijih preglednika ili Web klijenata kojima se može upravljati mikroprocesorskim sustavom su: Mozilla Firefox, Internet Explorer, Opera, Chrome, Safari i svaki drugi koji može zadovoljiti osnove grafičkog prikaza HTML koda.

4. PROGRAMSKO RJEŠENJE

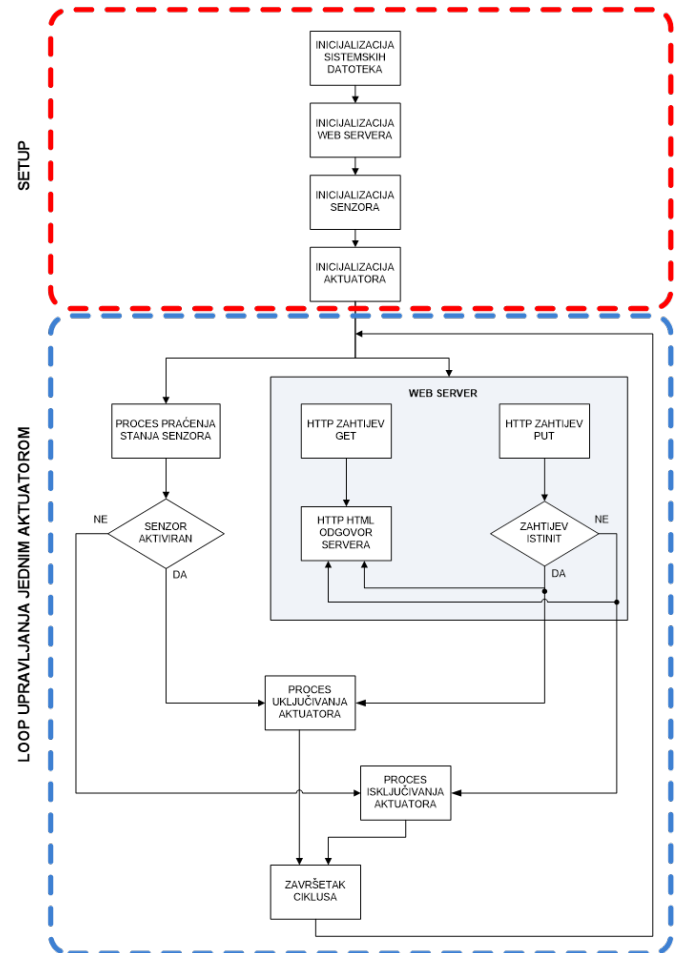
Okružja za stvaranje programskih rješenja za mikroprocesorske sustave mogu biti vrlo komplicirana i sežu od pristupa programiranja u assembleru pa sve do specifičnih razvojnih okružja za pojedinačne verzije mikroprocesora. Za potrebe ovoga projekta korišteno je okružje potpuno prilagođeno i kompatibilno s Netduino Plus 2 platformom, koje preporuča i sam proizvođač. Okružje se sastoji od osnovne platforme (Microsoft Visual #C 2010 Express) i dva dodatka (.NET Micro Framework SDK v4.2 te Netduino SDK v4.2.2.0), koji joj omogućavaju podršku za razvoj programskog koda namijenjenog za Netduino Plus 2 mikroprocesorske platforme. Ovakav pristup ima veliku prednost zato što je vrlo prilagodljiv što se tiče korisničkog poznavanja pisanja koda u određenom jeziku, jer okružje prepoznaje sve moderne objektne jezike namijenjene pisanju programskog koda.

Dijagram programskog rješenja

Na Slici 6 može se vidjeti dijagram toka programskog rješenja. Dijagram se sastoji od dvije cjeline. Prva cjelina se naziva inicijalizacija i u njoj se vrši pozivanje sistemskih datoteka po-

trebnih za pravilno funkcioniranje koda, inicijalizacija web servera te inicijalizacija senzora i aktuatora. Drugi se dio naziva petlja i u njemu se izvršavaju glavne funkcije sustava. On se sastoji od HTML stranice koja unutar Gsiot web servera služi za ostvarivanje interakcije s mikroprocesorom te od logičkog upravljanja stanjima aktuatora u odnosu na ulazne veličine senzora.

Slika 6: Dijagram programskoga rješenja



Slika 7: Prikaz html koda u Firefox 26.0 web pregledniku



Razrada web sučelja za interakciju

Realizacija ovog projekta zahtijevala je i primjenu elementarnih znanja iz područja html programiranja. Naime, dio koda pohranjenog unutar samog mikroprocesora nalazi se u html obliku da bi se mogao prikazati kad se pozove određenom funkcijom putem u mikroprocesor integriranoga Gsiot web servera.

Html kod je koncipiran tako da je definirana osnovna tabela s redovima i stupcima. Stupci predstavljaju određeni podsustav kojim se upravlja, dok se u redovima pojavljuju funkcije unutar podsustava. Vizualni izgled html koda učitano od aktualne verzije html preglednika Firefox ver. 26.0 prikazan je na Slici 7.

5. ZAKLJUČAK

Ideja vodilja i glavna misao ovoga rada bila je "Internet of Things". To je koncept ili bolje rečeno pogled na život koji opisuje uređaje, živa bića i cijeli svijet kroz mrežnu terminologiju i mrežno poimanje stvari. Kroz takvo viđenje stvari nastala je i prvotna ideja za izvedbu ovoga projekta temeljenog na mrežnoj koncepciji poimanja okoline.

U ovom radu obrađena je tema upravljanja mikroprocesorskim sustavima putem web klijenta na primjeru obiteljske kuće. Kroz rad je opisano funkcioniranje sastavnih dijelova zamišljenog sustava, uključujući njen najvažniji dio oko kojeg se rad bazira, Netduino Plus 2 mikroprocesorsku platformu. Takav sustav omogućava veliki stupanj inventivnosti pri projektiranju te se može prilagoditi širokom spektru potreba. Pažljiv pristup, uz odabir uređaja široke kompatibilnosti i jednostavne mogućnosti nadogradnje, u današnje vrijeme sve veće potražnje za raznovrsnim autonomnim sustavima, trebao bi osigurati sigurnu potražnju takve vrste sustava na tržištu.

Prilikom praktičnog dijela rada i njegovog testiranja potvrđena je ispravnost koncepcije i izvedivost takvog mikroprocesorskog sustava. U sklopu rada izrađen je i potpuno funkcionalan prototip za potrebe demonstracije prilikom obrane diplomskog rada. Nepovoljna osobina sustava koja je došla do izražaja kod testiranja je ovisnost o propusnosti i odazivu mreže na koju se sustav spaja, ali uz napomenu da to ne utječe na ispravnost prijenosa podataka već samo na brzinu prijenosa.

Moguća poboljšanja trebalo bi razvijati u smjeru ciljanih aplikacija za određene platforme da bi se smanjio protok podataka mrežom i time omogućio brži odziv sustava. Također daljnji razvoj platforme je omogućen kroz jednostavnu hardversku i softversku mogućnost nadogradnje. Hardverski to može biti omogućeno dodavanjem dodatnih senzora na preostale kanale ili dodatnim multipliciranjem sličnih sustava i njihovim umrežavanjem. Softverska nadogradnja sustava omogućena je jednostavnom mogućnosti unosa novih verzija koda.

LITERATURA

- [1] Pfister, Cuno: "Getting Started with the Internet of Things", O'Reilly Media Inc., Sebastopol, CA, USA, 2011.
- [2] Walker, Chris: "Getting Started with Netduino", Maker Media, Inc., Sebastopol, CA, USA, 2012.
- [3] Netduino home site: (uključujući pod-domene) <http://www.netduino.com/> (02.11.2013)
- [4] Netduino forums: <http://forums.netduino.com/> (01.11.2013 – 10.12.2013)
- [5] How TCP/IP works: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc786128%28v=ws.10%29.aspx> (22.11.2013)

LINEARNI SUSTAVI I METODE NJIHOVOG RJEŠAVANJA

Autor: Đani Žufić, prof., predavač

SAŽETAK

Linearni sustavi i metode njihovog rješavanja. Sustav m linearnih jednadžbi sa n nepoznanica je oblika:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m \end{aligned} \quad (1)$$

gdje se brojevi: $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{mn}$ nazivaju koeficijentima; $b_1, b_2, \dots, b_m$ slobodni članovi; $x_1, x_2, \dots, x_n$ nepoznicama.

Riješiti sustav znači pronaći svaku n -torku brojeva $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ koja uvrštena u (1) svaku jednadžbu sustava prevodi u identitet.

Sustav može imati jedinstveno rješenje, može biti bez rješenja, a može imati i beskonačno rješenja.

U rješavanju sustava baviti ćemo se Gauss – Jordanovom metodom koja se sastoji u tome da se sustav (1) elementarnim transformacijama svede na ekvivalentni sustav iz kojeg će se lakše odrediti rješenje. Dva su sustava ekvivalentna ako imaju isti skup rješenja. Zapisom sustava u matricinom obliku i svođenjem proširene matrice sustava na reducirani oblik dobivamo odgovor da li sustav ima jedinstveno rješenje, beskonačno rješenja ili je nerješiv.

KLJUČNE RIJEČI: sustav, ekvivalentni sustavi, rješiv sustav, Gauss-Jordanova metoda

ABSTRACT

Linear systems and solving methods. System m of linear equations with n the unknown has this form:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m \end{aligned} \quad (1)$$

Where the numbers: $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{mn}$, are called coefficients of the system; $b_1, b_2, \dots, b_m$ are independent variables, $x_1, x_2, \dots, x_n$ are the unknowns.

To solve a linear system we have to find the values to the variables $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ which inserted into (1) each equation of the system translates into identity.

The system may have a single unique solution, may have no solution and may have infinitely many solutions.

In solving linear system, we will apply Gauss-Jordan method where the system is transformed to an equivalent system which is more suitable for obtaining solution. Two systems are equivalent if they have the same solution set. If the system is expressed in the matrix form and if augmented matrix is reduced, we get the solution of the system, which can be the unique solution, infinitely many solutions or no solution.

Sustav m linearnih jednadžbi sa n nepoznanica je oblika:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\ &\vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= b_m \end{aligned} \quad (1)$$

gdje se brojevi : $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{mn}$ nazivaju koeficijentima; $b_1, b_2, \dots, b_m$ slobodni članovi; $x_1, x_2, \dots, x_n$ nepoznicama.

Riješiti sustav znači pronaći svaku n -torku brojeva $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ koja uvrštena u (1) svaku jednadžbu sustava prevodi u identitet.

Sustav može imati jedinstveno rješenje, može biti bez rješenja, a može imati i beskonačno rješenja.

Mi ćemo se ovdje pozabaviti upravo sa sve tri vrste sustava. Pokazati ćemo kada sustav ima jedinstveno rješenje, kada nema rješenja i kada ih ima beskonačno mnogo.

Primijetili ste da se u sustavu (1) broj linearnih jednadžbi i broj nepoznanica ne podudaraju, pa ćemo stoga komentirati i sustave u kojima imamo veći broj nepoznanica nego što sustav ima jednadžbi, kao i kada se broj jednadžbi i nepoznanica poklapa.

Rješavanje sustava linearnih jednadžbi najvažniji je problem linearne algebre.

Gauss-Jordanova metoda rješavanja sustava

Sustav (1) možemo napisati i u obliku matrice jednadžbe:

$$\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{b} \quad (2)$$

Gdje je

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \text{ matrica koeficijenata sustava,}$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \text{ vektor matrica nepoznanica i}$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \text{ matrica slobodnih članova (desna strana sustava).}$$

Gauss-Jordanova metoda sastoji se tome da se sustav (1) elementarnim transformacijama svede na ekvivalentni sustav iz kojeg će se lakše odrediti rješenje. Dva su sustava ekvivalentna ako imaju isti skup rješenja. Pod elementarnim transformacijama podrazumijevamo:

1. Zamjena dvaju redaka
2. Množenje nekog retka skalarom različitom od nule
3. Dodavanje nekog retka pomnoženog skalarom različitom od nule nekom drugom retku.

Prije nego opišemo postupak svođenja sustava na ekvivalentni sustav definirati ćemo **reducirani oblik matrice**.

Reducirani oblik matrice

Matrica zapisana u reduciranom obliku mora zadovoljavati sljedeće kriterije:

1. Prvi član svakog retka (gledajući s lijeve strane) koji je različit od nule mora iznositi 1 (naziva se stožerni element ili stožer). Svi preostali elementi u stupcu stožernog elementa moraju biti jednaki nuli.
2. Svaki redak koji sadrži samo nule (ako postoji) mora se u svom poretku nalaziti iza retka koji ima stožerni element.

3. Svaki naredni stožerni element (po recima) nalazi se barem za jedno mjesto u desnu stranu s obzirom na stožerni element iz prethodnog retka.

Primjer matrica zapisane u reduciranom obliku:

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 1 & 5 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Postupak svođenja matrice na reducirani oblik:

1. Korak: U prvom stupcu pronađemo element različit od nule i dovedemo ga poziciju a_{11} . Najbolje je na to mjesto dovesti jedinicu ako ona postoji u prvom stupcu.
2. Korak: Cijeli prvi red podijelimo sa vrijednošću a_{11} kako bi dobili jedinicu.
3. Korak: Pomoću tako dobivene jedinice poništavamo sve ostale elemente u tom stupcu.
4. Korak: Nakon što smo sredili prvi stupac nastavljamo isti postupak sa svakim narednim stupcem.

Promotrimo li matricnu jednadžbu sustava (2) primjećujemo da rješenje sustava ovisi samo o elementima matrice $\mathbf{A}$ i matrice $\mathbf{b}$. Zato možemo definirati proširenu matricu sustava tako da matrici $\mathbf{A}$ dodamo još jedan stupac, upravo elemente matrice $\mathbf{b}$. Proširena matrica sustava (2) je tada oblika :

$$\mathbf{A}_{pr} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} & \vdots & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} & \vdots & b_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} & \vdots & b_m \end{bmatrix}$$

i nad njom vršimo elementarne transformacije dok ju ne svedemo na reducirani oblik. Iz reduciranog oblika matrice lakše je odrediti rješenja sustava (2), odnosno sustava (1).

Primjer 1: Riješimo sustav Gauss-Jordanovom metodom:

$$2x_1 + 3x_2 + 11x_3 + 5x_4 = 2$$

$$x_1 + x_2 + 5x_3 + 2x_4 = 1$$

$$2x_1 + x_2 + 3x_3 + 2x_4 = -3$$

$$x_1 + x_2 + 3x_3 + 4x_4 = -3$$

Proširena matrica sustava glasi :

$$\mathbf{A}_{pr} = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 11 & 5 & \vdots & 2 \\ 1 & 1 & 5 & 2 & \vdots & 1 \\ 2 & 1 & 3 & 2 & \vdots & -3 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & \vdots & -3 \end{bmatrix} \approx$$

(zamijenimo prvi i drugi redak)

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 & 2 & \vdots & 1 \\ 2 & 3 & 11 & 5 & \vdots & 2 \\ 2 & 1 & 3 & 2 & \vdots & -3 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & \vdots & -3 \end{bmatrix} \approx \begin{matrix} (1.r. \times (-2) + 2.r.) \\ (1.r. \times (-2) + 3.r.) \\ (1.r. \times (-1) + 4.r.) \end{matrix}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 & 2 & \vdots & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \vdots & 0 \\ 0 & -1 & -7 & -2 & \vdots & -5 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & \vdots & -4 \end{bmatrix} \approx \begin{matrix} (2.r. \times (-1) + 1.r.) \\ (2.r. + 3.r.) \end{matrix}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 4 & 1 & \vdots & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & -6 & -1 & \vdots & -5 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & \vdots & -4 \end{bmatrix}$$

podijelimo 4.r. sa (-2) i zamijenimo 3. i 4.r.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 4 & 1 & \vdots & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & \vdots & 2 \\ 0 & 0 & -6 & -1 & \vdots & -5 \end{bmatrix} \approx \begin{matrix} (3.r. \times (-4) + 1.r.) \\ (3.r. \times (-1) + 2.r.) \\ (3.r. \times 6 + 4.r.) \end{matrix}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 5 & \vdots & -7 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & \vdots & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & \vdots & 2 \\ 0 & 0 & 0 & -7 & \vdots & 7 \end{bmatrix}$$

podijelimo 4.r. sa (-7)

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 5 & \vdots & -7 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & \vdots & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & \vdots & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \vdots & -1 \end{bmatrix} \approx \begin{matrix} (4.r. \times (-5) + 1.r.) \\ (4.r. \times (-2) + 2.r.) \\ (4.r. + 3.r.) \end{matrix}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \vdots & -2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \vdots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \vdots & -1 \end{bmatrix}$$

Rezultat svođenja matrice na reducirani oblik je jedinična matrica (matrica koeficijenata sustava je punog ranga, odnosno regularna), pa sustav ima jedinstveno rješenje.

Iz reduciranog oblika proširene matrice očitamo rješenje sustava: $x_1 = -2$, $x_2 = 0$, $x_3 = 1$, $x_4 = -1$.

Prilikom rješavanja sustava postavlja se pitanje kada je sustav rješiv (ima rješenje), te ako rješenje postoji je li to i jedino rješenje?

Da bismo odgovorili na ova pitanja posebno ćemo razmatrati **homogene i nehomogene sustave**.

Homogeni sustav je takav sustav kod kojeg su svi slobodni članovi jednaki nuli. Takav sustav je oblika:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = 0$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = 0$$

ili u obliku matrice jednadžbe $\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{0}$, te uvijek ima

$$\begin{matrix} \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = 0 \end{matrix}$$

rješenje, a to je nul vektor $(0, 0, \dots, 0)$. Takvo rješenje se još naziva i trivijalnim rješenjem. Jedinstveno rješenje postiže se kada je matrica koeficijenata regularna, a to znači da je njezin reducirani zapis jedinična matrica.

Ako reducirani oblik matrice koeficijenata nije jedinična matrica u njoj razlikujemo stupce sa stožernim elementima i stupce bez stožernih elemenata. Stupci bez stožernog elementa nazivaju se slobodnim stupcima, a njihove pripadajuće nepoznanice **slobodnim nepoznanicama** (biramo ih proizvoljno). Stupci sa stožernim elementima nazivaju se vezani stupci a njima pripadajuće nepoznanice **vezane nepoznanice** (ovise o vrijednosti slobodnih nepoznanica).

Primjer 2: Riješimo sustav

$$x_1 + x_2 + 2x_3 - x_4 = 0$$

$$2x_1 - x_2 + x_3 - 3x_4 = 0$$

$$5x_1 - 4x_2 - x_3 - 8x_4 = 0$$

Primjećujemo da sustav sigurno nema jedinstveno rješenje jer matrica koeficijenata ne može bit regularna (punog ranga), jer nije kvadratna. Kako su svi slobodni članovi jednaki nuli nije potrebno promatrati proširenu matricu, jer je i onako dodati stupac ispunjen samo nulama.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & 1 & -3 \\ 5 & -4 & -1 & -8 \end{bmatrix} \approx \begin{matrix} (1.r. \times (-2) + 2.r.) \\ (1.r. \times (-5) + 3.r.) \end{matrix}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & -1 \\ 0 & -3 & -3 & -1 \\ 0 & -9 & -11 & -3 \end{bmatrix} \approx (2.r. \times (-3) + 3.r.)$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & -1 \\ 0 & -3 & -3 & -1 \\ 0 & 0 & -2 & 0 \end{bmatrix} \approx (3.r. \div (-2))$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & -1 \\ 0 & -3 & -3 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \approx \begin{matrix} (3.r. \times 3 + 2.r.) \\ (3.r. \times (-2) + 1.r.) \end{matrix}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & -3 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \approx (2.r. \div (-3))$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & -3 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \approx (2.r. \div (-3))$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -\frac{4}{3} \\ 0 & 1 & 0 & \frac{1}{3} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Iz reduciranog zapisa matrice koeficijenta vidimo da prva tri stupca su stupci sa stožernim elementima, a četvrta bez stožernog elementa. Zbog toga je četvrta nepoznanica slobodna (biramo je proizvoljno), a prve tri nepoznanice su vezane.

Neka je $x_4 = \alpha$, tada je $x_1 - \frac{4}{3}x_4 = 0$ ili $x_1 = \frac{4}{3}\alpha$; $x_2 + \frac{1}{3}x_4 = 0$

ili $x_2 = -\frac{1}{3}\alpha$.

Matrični zapis rješenja sustava glasi:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ 4 \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} 4/3 \\ -1/3 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} 4 \\ -1 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix},$$

što znači da sustav ima beskonačno mnogo rješenja, ovisno o izboru vrijednosti četvrte nepoznanice.

Nehomogeni sustav je oblika (1) ili u matričnom obliku (2).

Formiramo li proširenu matricu sustava (2) dobivamo matricu oblika $A_{pr} = [A \quad b]$.

Nad proširenom matricom sustava vršimo elementarne transformacije kako bismo ju sveli na reducirani oblik. Nakon svođenja matrice A_{pr} na reducirani oblik dobivamo ekvivalentnu matricu koja je oblika $[A_r \quad b']$.

Ako je rang matrice A_r različit od ranga matrice $[A_r \quad b']$ sustav nema rješenja (tada u matrici A_r postoji redak ispunjen samo nulama, a da pritom u istom retku s desne strane nije nula)

Ako je rang matrice A_r jednak rangu matrice $[A_r \quad b']$ i taj se rang podudara sa brojem nepoznanica sustav ima jedinstveno rješenje i ono glasi $[X \quad b']$. Pogledaj primjer 1.

Ako je rang matrice A_r jednak rangu matrice $[A_r \quad b']$ ali je taj rang manji od dimenzije sustava (broja nepoznanica), tada sustav ima beskonačno rješenja. Tada matrica A_r sadrži stupce sa stožernim i bez stožernog elementa, odnosno postoje **slobodne i vezane nepoznanice**. Slobodne nepoznanice pripadaju stupcima bez stožernog elementa i biraju se proizvoljno. Vezane nepoznanice pripadaju stupcima sa stožernim elementom i ovise o slobodnim nepoznanicama.

Primjer 3: Riješimo sustav

$$\begin{aligned} x_1 + 3x_2 + 5x_3 - 4x_4 &= 1 \\ x_1 + 3x_2 + 2x_3 - 2x_4 + x_5 &= -1 \\ x_1 - 2x_2 + x_3 - x_4 - x_5 &= 3 \\ x_1 - 4x_2 + x_3 + x_4 - x_5 &= 3 \\ x_1 + 2x_2 + x_3 - x_4 + x_5 &= -1 \end{aligned}$$

Proširena matrica sustava je oblika

$$A_{pr} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & -4 & 0 & : & 1 \\ 1 & 3 & 2 & -2 & 1 & : & -1 \\ 1 & -2 & 1 & -1 & -1 & : & 3 \\ 1 & -4 & 1 & 1 & -1 & : & 3 \\ 1 & 2 & 1 & -1 & 1 & : & -1 \end{bmatrix} \approx (1.r. \times (-1) + 2., 3., 4., 5.r.)$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & -4 & 0 & : & 1 \\ 0 & 0 & -3 & 2 & 1 & : & -2 \\ 0 & -5 & -4 & 3 & -1 & : & 2 \\ 0 & -7 & -4 & 5 & -1 & : & 2 \\ 0 & -1 & -4 & 3 & 1 & : & -2 \end{bmatrix} \approx (5.r. \times (-1))$$

i zamjena mjesta sa drugim r.

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & -4 & 0 & : & 1 \\ 0 & 1 & 4 & -3 & -1 & : & 2 \\ 0 & -5 & -4 & 3 & -1 & : & 2 \\ 0 & -7 & -4 & 5 & -1 & : & 2 \\ 0 & 0 & -3 & 2 & 1 & : & -2 \end{bmatrix} \begin{matrix} (2.r. \times 5 + 3.r.) \\ (2.r. \times 7 + 4.r.) \\ (2.r. \times (-3) + 1.) \end{matrix}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & -7 & 5 & 3 & : & -5 \\ 0 & 1 & 4 & -3 & -1 & : & 2 \\ 0 & 0 & 16 & -12 & -6 & : & 12 \\ 0 & 0 & 24 & -16 & -8 & : & 16 \\ 0 & 0 & -3 & 2 & 1 & : & -2 \end{bmatrix}$$

$$\approx (4.r. \div 8) i (3.r. \div 4) \approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & -7 & 5 & 3 & : & -5 \\ 0 & 1 & 4 & -3 & -1 & : & 2 \\ 0 & 0 & 4 & -3 & -\frac{3}{2} & : & 3 \\ 0 & 0 & 3 & -2 & -1 & : & 2 \\ 0 & 0 & -3 & 2 & 1 & : & -2 \end{bmatrix} \approx$$

$$\begin{matrix} (5.r. + 3.r.) \\ (4.r. + 5.r.) \end{matrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & -7 & 5 & 3 & : & -5 \\ 0 & 1 & 4 & -3 & -1 & : & 2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -\frac{1}{2} & : & 1 \\ 0 & 0 & 3 & -2 & -1 & : & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & : & 0 \end{bmatrix} \approx$$

$$\begin{matrix} (3.r. \times 7 + 1.r.) \\ (3.r. \times (-4) + 2.r.) \\ (3.r. \times (-3) + 4.r.) \end{matrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -2 & -\frac{1}{2} & : & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & : & -2 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -\frac{1}{2} & : & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \frac{1}{2} & : & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & : & 0 \end{bmatrix} \approx$$

$$\begin{array}{l}
 (4.r.+3.r.) \\
 (4.r. \times (-1) + 2.r.) \\
 (4.r. \times 2 + 1.r.)
 \end{array}
 \approx
 \begin{bmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & \vdots & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & \vdots & -1 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & \frac{1}{2} & \vdots & -1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0
 \end{bmatrix}$$

Iz reduciranog zapisa proširene matrice **A** vidimo da je rang (A) = rang (A_{pr}) = 4, dimenzija sustava je 5, što znači da sustav ima beskonačno rješenja. U reduciranom zapisu matrice primjećujemo četiri stožerna stupca i stupac (peti) bez stožernog elementa.

Dakle x_5 (slobodna nepoznanica) biramo proizvoljno, a ostale nepoznanice ovise o izboru slobodne nepoznanice. Rješenje zapisano u matričnom obliku izgleda:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \\ 2 \end{bmatrix}$$

Primjer 4: Riješimo sustav

$$2x_1 - 4x_2 + x_3 = -4$$

$$4x_1 - 8x_2 + 7x_3 = 2$$

$$-2x_1 + 4x_2 - 3x_3 = 5$$

Proširena matrica sustava je oblika :

$$A_{pr} = \begin{bmatrix} 2 & -4 & 1 & \vdots & -4 \\ 4 & -8 & 7 & \vdots & 2 \\ -2 & 4 & -3 & \vdots & 5 \end{bmatrix} \approx (1.r. \div 2)$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & -2 & \frac{1}{2} & \vdots & -2 \\ 4 & -8 & 7 & \vdots & 2 \\ -2 & 4 & -3 & \vdots & 5 \end{bmatrix} \approx \begin{array}{l} (1.r. \times (-4) + 2.r.) \\ (1.r. \times 2 + 3.r.) \end{array}$$

$$\approx \begin{bmatrix} 1 & -2 & \frac{1}{2} & \vdots & -2 \\ 0 & 0 & 5 & \vdots & 10 \\ 0 & 0 & -2 & \vdots & 1 \end{bmatrix} \approx (2.r. \div 5) \approx \begin{bmatrix} 1 & -2 & \frac{1}{2} & \vdots & -2 \\ 0 & 0 & 1 & \vdots & 2 \\ 0 & 0 & -2 & \vdots & 1 \end{bmatrix} \approx$$

$$\begin{array}{l}
 (2.r. \times (-1/2) + 1.r.) \\
 (2.r. \times 2 + 3.r.)
 \end{array}
 \approx \begin{bmatrix} 1 & -2 & 0 & \vdots & -3 \\ 0 & 0 & 1 & \vdots & 2 \\ 0 & 0 & 0 & \vdots & 5 \end{bmatrix}$$

Iz dobivenog reduciranog zapisa proširene matrice **A** vidimo da je rang (A) = 2, a rang (A_{pr}) = 3.

Budući rangovi nisu jednaki sustav nema rješenja.

Iz navedenih primjera vidimo da rješavanjem homogenog sustava pomoću proširene matrice, svođenjem iste na reducirani oblik dobivamo odgovor da li sustav ima jedinstveno rješenje, ima li ih beskonačno mnogo ili uopće nema rješenja.

Gauss-Jordanova metoda eliminacije dobila je ime po njemačkom matematičaru Carlu Friedrichu Gaussu (1777 – 1855) i njemačkom geodetu Wilhelmu Jordanu (1842 – 1899). Gauss je metodu koristio za rješavanje sustava jednačbi za potrebe svojih istraživanja u astronomiji, a Jordan ju je poopćio za potrebe rješavanja problema u mjerništvu.

LITERATURA

- [1] Raymond A. Bernet, Michael R. Ziegel, Karl E. Byleen: Primijenjena matematika, Mate d.o.o., Zagreb 2006. god.
- [2] Neven Elezović: Linearna algebra, Element, 1999. Zagreb

PRIMJENA NANOTEHNOLOGIJE U ELEKTRONICI

Autor: **Barbara Jurki**

Mentor: Prof. dr. sc. **Luciano Delbianco**, profesor visoke škole

Separat završnog rada na Politehnici Pula- Visokoj tehničko poslovnoj školi od rujna 2012. godine

SAŽETAK

Nanoznanost je znanost malih dimenzija. Bavi se proučavanjem novih i promjenjenih svojstava koje materijali iskazuju smanjivanjem veličina njihovih struktura na nanometarsku skalu. Objašnjenje tih svojstava pronalazi se u okvirima kvantne fizike superponirane sa statistikom velikih brojeva. Otkrića nanoznanosti se primjenjuju u brojnim područjima drugih znanosti, kao i u različitim tehnologijama. Elektronika u kontekstu nanotehnologije ima dvojaku ulogu, jer je istovremeno pokretač nanoznanosti (bez elektronike ne bi bilo moguće istraživati tako male dimenzije) i grana znanosti i tehnologije u kojoj su otkrića nanoznanosti pronašla iznimno veliku mogućnost primjene. Male, brze i jeftine elektroničke komponente izrađene od nanomaterijala poput grafena i ugljikovih cijevi već su pronašle komercijalnu primjenu, dok su drugi uređaji poput spinskih tranzistora, grafenske memorije i kvantnih računala još u razvoju.

KLJUČNE RIJEČI: Nanoznanost, nanotehnologija, kvantna svojstva, poluvodičke nanostrukture, nanočestice, nanomaterijali, nanoelektroničke komponente, nanoelektronički sklopovi, nanoelektronički uređaji, nanoelektronika

1. UVOD

Nanoznanost, odnosno njena primjena u obliku nanotehnologije, može se definirati kao područje znanosti i tehnologije koje se bavi proučavanjem materije i pojava na ljestvici veličina nanometra odnosno milijarditog dijela metra. Nano, predmetak koji na grčkom znači "patuljak", stenografska je kratica za nanometar. Nanoznanost proučava materijale, strukture i sustave čije komponente pokazuju potpuno nova i značajno drugačija svojstva upravo radi svojih dimenzija, u području u kojem atomska fizika konvergira s fizikom i kemijom kompleksnih sustava. Nanotehnologija obuhvaća proizvodnju i primjenu fizikalnih, kemijskih i bioloških sustava na skalama u rasponu od pojedinačnog atoma ili molekule do podmikronskih dimenzija, kao i integraciju stvorenih nanostrukture u veće sustave. Poznato je da kvantna mehanika dominira u svijetu atoma, ali tipični se nanosustavi sastoje od stotina, tisuća i desetaka tisuća atoma, te se zakonima kvantne mehanike pridodaje novi sloj zakona statistike, odnosno ponašanja složenih sustava sastavljenih od brojnih elemenata. Iz ove interakcije proizlaze raznoliki fenomeni, od kojih je nanoznanost do sada otkrila tek neke. Primarni je cilj nanoznanosti i nanotehnologije iskoristiti svojstva nanostrukture na atomskim i molekularnim razinama, te njima upravljati kako bi se stvorile nove strukture i novi materijali koji će se moći koristiti za potrebe elektronike, medicine, biologije, fizike, kemije, strojarstva, te svih ostalih područja znanosti i tehnologije.

2. KVANTNA SVOJSTVA NANOČESTICA

Sićušne čestice tvari poput elektrona iskazuju i valnu i čestičnu prirodu, što je nedvojbeno dokazano brojnim pokusima. Posljedica je toga da se gibanje čestica na atomskoj razini ne može opisati kao gibanje čestica po nekoj putanji, kao što se to čini kod opisivanja gibanja makroskopskih tijela. Umjesto putanje, takvim se česticama pridružuju posebne veličine nazvane de Broglijevi valovi koje se matematički opisuju pomoću valne funkcije $\Psi(x, y, z, t)$ i koji se dobivaju rješavanjem određene valne jednačbe koju je još 1926. godine otkrio Erwin Schrödinger. Ta jednačba određuje način na koji se valna funkcija čestice na koju djeluju određene sile mijenja u prostoru i vremenu i predstavlja osnovnu jednačbu gibanja u kvantnoj fizici. Schrödingerova jednačba u svom osnovnom obliku pretpostavlja da je brzina čestica puno manja od brzine svjetlosti, te da ne vrijede relativistički učinci. Schrödingerova jednačba u osnovnom obliku glasi [4]:

$$-\frac{\hbar^2}{2 \cdot m} \cdot \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(x, t) \cdot \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

gdje je:

$\hbar$ – reducirana Planckova konstanta $\hbar = \frac{h}{2\pi}$,
 m – masa čestice,

ψ – valna funkcija,

$V(x, t)$ – potencijalna energija čestice.

Kod opisivanja gibanja elektrona, pored problema određivanja položaja, javlja se i problem određivanja brzine gibanja elektrona. Werner Heisenberg taj je problem definirao u obliku matematičke nejednakosti koja se prema njemu naziva Heisenbergovo načelo neodređenosti i ima oblik [4]:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi}$$

gdje je:

Δx – greška mjerenja položaja čestice,

Δp_x – greška mjerenja količine gibanja,

h – Planckova konstanta.

Dakle, što se točnije određuje položaj čestice, to će biti veća pogreška u određivanju njene količine gibanja, odnosno brzine. Pojednostavljeno, može se reći da što se točnije odredi "gdje" se čestica nalazi, manje se točno može odrediti "kada" se čestica tamo nalazi.

Iz navedenog je očito da su zakoni kvantne mehanike u najmanju ruku drugačiji i svakako nisu intuitivni, te se protive svakidašnjim iskustvima iz makrosvijeta koji čovjek poznaje.

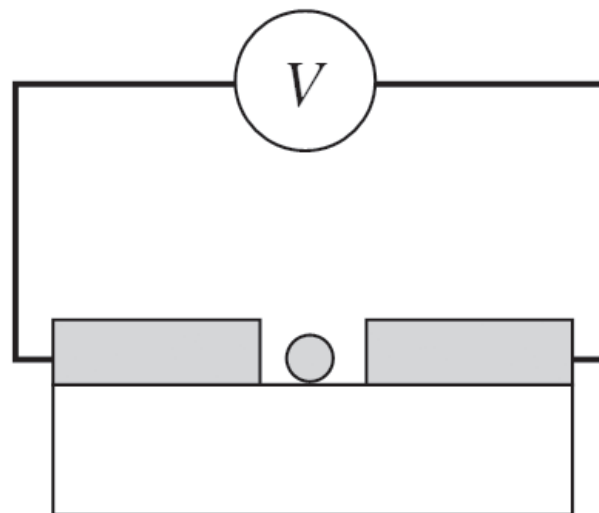
3. GIBANJE ELEKTRONA U POLUVODIČKIM NANO-STRUKTURAMA

Način na koji se elektroni gibaju unutar različitih struktura ovisi o brojnim parametrima i faktorima. Pri velikim dimenzijama, bitna fizikalna veličina je električni otpor koji nastaje kao posljedica raspršenja elektrona, radi nečistoća i nesavršenosti kristala, vibracija kristalne rešetke itd. Pri tome, jakost struje proporcionalna je visini napona, a obrnuto proporcionalna električnom otporu, što je poznato kao Ohmov zakon. Spomenuto raspršenje elektrona, odnosno različiti sudari elektrona, odvijaju se periodički, te se na osnovu vremena i udaljenosti između dvaju sudara određuje srednji slobodni put elektrona koji je pri normalnim temperaturama reda veličine nanometra. Dakle, ukoliko se radi o nanostrukturama i dimenzije poluvodičkog materijala su jednake srednjem slobodnom putu elektrona, Ohmov zakon se ne može primjeniti i gibanje elektrona se može opisati samo kao kvantno gibanje. Ukoliko se na mjesto spoja dvije elektrode postavi nanodimenzionalna struktura, Ohmov otpor se praktički može zanemariti, te elektroni tuneliraju iz jedne elektrode u drugu, neovisno o materijalu. Veličina koja se veže uz takvo gibanje elektrona je Landauereva vodljivost ili Landauerev otpor, konstanta koja iznosi 12,9 kΩ. Ta veličina međutim ne predstavlja otpor u klasičnom smislu jer nema discipacije snage, već predstavlja vjerojatnost promjene prijenosa elektrona ovisno o prednaponu na elektrodama.

Ako se mala vodljiva čestica smjesti u tunnelsku prazninu između dvije elektrode, kako je prikazano na Slici 1, elektroni se mogu kretati iz jedne elektrode u drugu pritom skačući na tu česticu, koja se naziva čvorište tuneliranja. Za takve je strukture značajno da s obzirom na nanometarske dimenzije središnje čestice, dodavanje samo jednog elektrona uzrokuje velike pomake

energije. Radi toga, daljnje dodavanje elektrona može biti onemogućeno što dovodi do pojave Coulombove blokade. Kada napon nadiđe barijeru koja nastaje Coulombovom blokadom, struja ponovno teče. Povećavanjem napona, središnjoj čestici se dodaje još jedan elektron, te ponovno dolazi do pojave Coulombove blokade. Taj se proces ponavlja, a rezultirajuća serija koraka u strujno – naponskim karakteristikama se naziva Coulombovim stepenicama [1,3]. Opisani efekti tuneliranja elektrona i pojave Coulombove blokade odnosno barijere, osnova su funkcioniranja nanoelektroničkih komponenti i uređaja.

Slika 1: Eksperiment kojim se može mjeriti Coulombova blokada



4. KVANTNE TOČKE, ŽICE I BUNARI

U poluvodičkim strukturama atomi su vezani u obliku kristala čija je osnovna građevna jedinica kristalna rešetka. Kod velikih struktura, veličina pojedine kristalne rešetke izražena pomoću konstante kristalne rešetke a_0 se praktički može zanemariti, jer su veličine bitne za gibanje elektrona značajno veće od pojedinačne kristalne rešetke. Pri tome, elektronu se pripisuje efektivna masa m' koja je do stotinjak puta manja od mase elektrona u vakuumu. De Broglijeva valna duljina takvog elektrona λ je tipično veća u odnosu na valnu duljinu slobodnog elektrona λ_0 :

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{m_0}{m'}}$$

gdje je:

λ – de Broglijeva valna duljina elektrona efektivne mase,

λ_0 – de Broglijeva valna duljina slobodnog elektrona,

m_0 – masa elektrona u vakuumu,

m' – efektivna masa elektrona.

Navedeni izraz se može dalje proširiti na način da se uključi energija elektrona koja je ovisna o temperaturi:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2m'E}} = \frac{h}{\sqrt{2m' \cdot k_B \cdot T}}$$

gdje je:

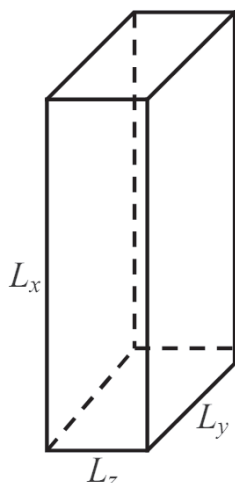
E – energija elektrona efektivne mase m' ,

k_B – Boltzmanova konstanta,

T – temperatura.

Sa smanjivanjem temperature do vrijednosti od samo 3 K, valna se duljina elektrona povećava na vrijednosti reda veličine nanometra, te postaje iznimno bitan parametar za nanometarske strukture. Ovisno o dimenzijama struktura, prikazanima na Slici 2, razlikuju se četiri slučaja [4].

Slika 2: Dimenzije strukture poluvodiča



U prvom slučaju, struktura je puno veća u odnosu na valnu duljinu elektrona i učinci kvantizacije elektronskog spektra nisu bitni, te se elektron ponaša kao slobodna čestica efektivne mase m' :

$$\lambda \ll L_x, L_y, L_z$$

U drugom slučaju valna je duljina elektrona izjednačena sa jednom od dimenzija strukture, te do kvantizacije gibanja elektrona dolazi samo u jednom smjeru. Ta se pojava naziva kvantni bunar:

$$\lambda \simeq L_z \ll L_x, L_y$$

Kvantni bunari se u poluvodičkim strukturama formiraju na način da se između dva sloja materijala sa širokim zabranjenim pojasom postavi sloj materijala kojeg karakterizira uski zabranjeni pojas. Razlika u širini pojasa djeluje kao kvantno-mehanička barijera i sprječava gibanje elektrona iz središnjeg sloja u rubne slojeve. Radi kvazi dvodimenzionalnosti takve strukture, gustoća stanja elektrona se ponaša kao funkcija energije i kvantizirana je, što znači da može poprimiti samo određene diskretne vrijednosti.

U trećem je slučaju valna duljina elektrona izjednačena sa dvije dimenzije strukture, odnosno do kvantizacije gibanja elektrona dolazi u dvije dimenzije. U tom se slučaju elektron slobodno giba samo u jednoj dimenziji – duljinom strukture ili po kvantnoj žici. Najpoznatiji i najzanimljiviji primjeri struktura kvantnih žica su ugljikove nanocijevi.

$$\lambda \simeq L_y \simeq L_z \ll L_x$$

Posljednji je slučaj kada je cijela struktura dimenzija usporedivih sa valnom duljinom elektrona ili slučaj kvantne točke, u kojem se elektroni ne mogu gibati slobodno ni u jednoj dimenziji.

$$\lambda \simeq L_y \simeq L_z \simeq L_x$$

Kvantne točke su sferične strukture čiji promjer iznosi do nekoliko desetaka nanometara, a mogu biti građene od jednog ili od nekoliko atoma. Valentni elektroni atoma unutar sfere stvaraju diskretna energetska stanja čiju energiju određuje promjer sfere, odnosno veličina nanočestice. S obzirom na svoju ekstremno malu veličinu kvantne točke imaju mnogostruko veću gustoću u odnosu na druge veće strukture koje se koriste i zbog toga imaju superiorna transportna i optička svojstva.

Dakle, način na koji se elektroni gibaju unutar poluvodičke strukture ovisan je o dimenzijama te strukture. Slijedom toga, kontroliranjem veličine i dimenzija određene strukture, moguće je precizno kontrolirati količinu elektrona i njihov transport kroz tu strukturu, čime se direktno upravlja električnim svojstvima te strukture.

5. NANOELEKTRONIČKE KOMPONENTE, SKLOPOVI I UREĐAJI

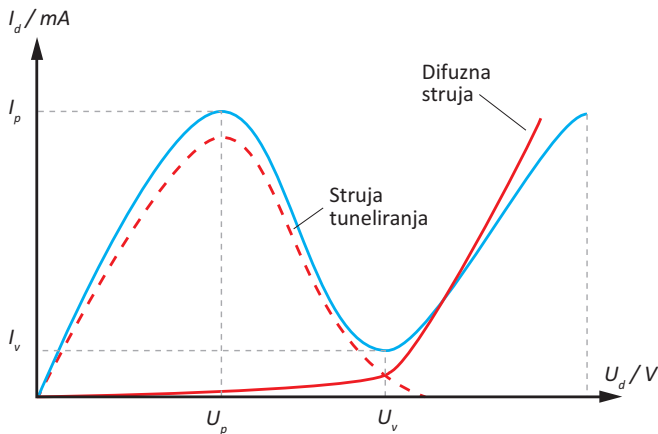
Dosad korišteni materijali poput silicija praktički su dostigli svoje fizikalne granice i dosadašnji eksponencijalni rast snage i brzine elektroničkih uređaja nije moguće nastaviti bez korištenja nekih novih materijala. Radi svojih naprednih mogućnosti i svojstava, nanomaterijali se smatraju presudnim za daljnji razvoj elektronike u svim područjima.

Tunel diode su bogato dopirani poluvodički elementi koji iskazuju kvantna svojstva. U praksi, to znači da kroz diodu osim difuzne struje teče i struja tuneliranja koja u propusnom smjeru naglo raste kod malih napona. Ta je pojava u suprotnosti s Ohmovim zakonom i naziva se efektom negativnog električnog otpora. Specifično je za tunel diode i da ne iskazuju zaporno djelovanje u suprotnom smjeru. Ukoliko se na mjesto spoja slojeva poluvodiča postavi jedna ili više nanostrukture, dolazi do zanimljive pojave odbijanja elektrona između tih nanostrukture, odnosno odbijanja od potencijalnih energetske barijere. Međutim, na određenim rezonantnim energijama, vjerojatnost prolaska elektrona kroz barijere se toliko povećava da elektroni ustvari prolaze kao da potencijalne energetske barijere ni ne postoje, stoga se takve strukture nazivaju **rezonantnim tunel diodama** (Resonant Tunneling Diode). Dobivaju se pomoću dvostrukih ili trostrukih barijera, kvantnih bunara, kvantnih žica ili kvantnih točaka. Struju tuneliranja se može kontrolirati promjenom razlike potencijala između dva sloja poluvodiča, što je ekvivalentno mjenjanju visine potencijalne energetske barijere kroz koju elektroni tuneliraju [1,11]. Karakteristike rezonantne tunel diode prikazane su na Slici 3. Osim difuzne struje, kroz diodu teče i struja tuneliranja koja naglo raste kod malih napona. Povećanjem napona, struja tuneliranja pada, te se to područje naziva područje negativnog otpora [1,11].

Kako se elektroni kreću vrlo velikim brzinama, usporedivima sa brzinom svjetlosti, rezonantne tunel diode se mogu koristiti za vrlo brze operacije u visokofrekventnim područjima, čak do 2,2 THz. Osim toga, efekt negativnog otpora odnosno smanjenje struje povećanjem napona može predstavljati nule i jedinice

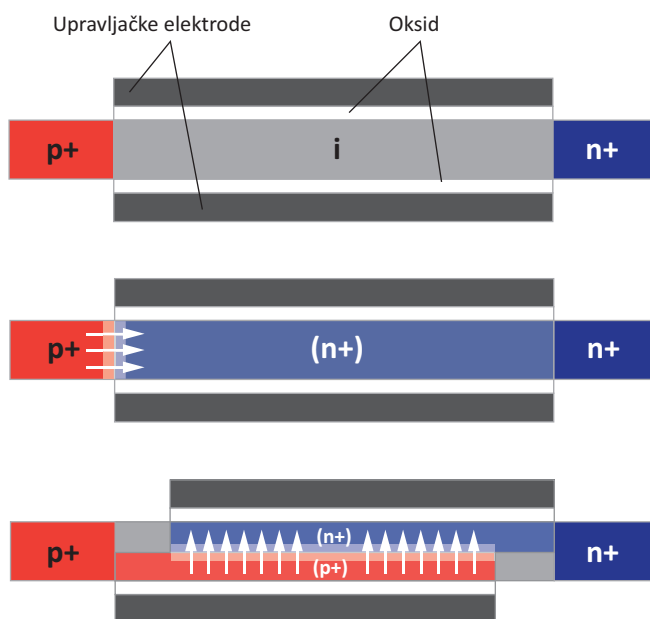
u logičkim sklopovima, te se predviđa upotreba rezonantnih tunnel dioda u logičkim sklopovima kvantnih računala. Međutim, da bi se to ostvarilo treba pronaći učinkovit način za preciznu regulaciju debljine potencijalnih energetske barijere, kao i provesti daljnja istraživanja kojima bi se omogućilo korištenje rezonantnih tunnel dioda bez pojačala i drugih elektroničkih sklopova.

Slika 3: Naponsko strujna karakteristika rezonantne tunnel diode



Tunelski tranzistor s efektom polja (tunnel FET) je reverzno polarizirana PIN dioda s upravljačkom elektrodom. Struja ovog tranzistora proizlazi iz kvantno – mehaničkog tuneliranja elektrona između valentnog i vodljivog pojasa u kanalu i eksponencijalno ovisi o širini i visini potencijalne energetske barijere što nudi mogućnost brze promjene između aktivnog i neaktivnog stanja tranzistora s naponom na upravljačkoj elektrodi. Iako je omjer struje vođenja i nevođenja kod ovog tranzistora jako velik, kao izazov i dalje ostaje ostvarenje prihvatljivog iznosa struje vođenja, što se treba ostvariti optimiranjem PIN spojeva i istraživanjem mogućnosti upotrebe drugih materijala s manjim zabranjenim pojasom, primjerice germanija, silicij – germanija, grafena, karbonskih nanocijevi itd.

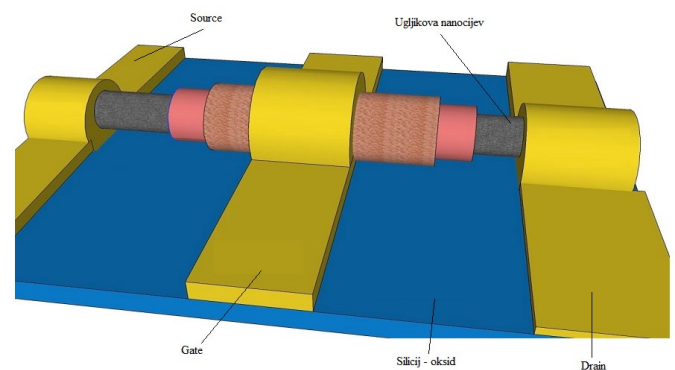
Slika 4: Tunelski tranzistor s efektom polja



Da bi se postigao tranzistorski efekt kod **grafenskih tranzistora s efektom polja**, na grafen smotan u nanocijev se moraju

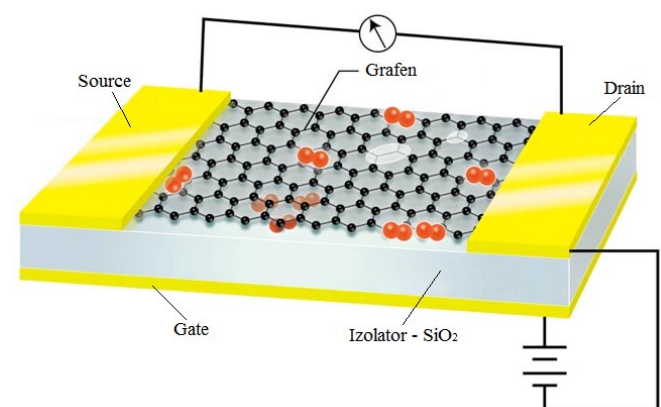
priključiti source, drain i gate elektrode. Kada je gate priključen na negativni potencijal, unutar nanocijevi se stvaraju šupljine koje provode struju. Priključivanjem na pozitivni potencijal smanjuje se koncentracija šupljina odnosno vodljivost nanocijevi. Dakle, kontroliranjem napona na gate elektrodi kontrolira se struja koja protječe kroz tranzistor. Ovakvi se tranzistori nazivaju CNTFET (Carbon Nano Tube Field Effect Transistor) i mogu se proizvoditi kao jednokanalni ili višekanalni, no jednokanalni se obično kvare nakon nekoliko tjedana dok višekanalni zadržavaju stabilne performanse i nakon nekoliko mjeseci. Jedan od glavnih problema u proizvodnji je selekcija poluvodičkih ugljikovih nanocijevi, dok je najveća prednost golemu pokretljivost nosilaca i otpornost na efekt kratkog kanala zbog mogućnosti implementacije upravljačke elektrode koja u potpunosti okružuje kanal [3,11,15].

Slika 5: Tranzistor od ugljikovih nanocijevi s efektom polja



Osim tranzistora od ugljikovih nanocijevi, brojna se istraživanja provode i na tranzistorima s efektom polja građeni od slojeva grafena i grafenskih nanotraka. Takvi se tranzistori nazivaju GNFET (Graphene Nanoribbons Field Effect Transistor). Najveća je mana tranzistora od grafenskih nanotraka s efektom polja iznimno nizak omjer struja u stanju vođenja i nevođenja, zbog nepostojanja zabranjenog pojasa u grafenu. Zabranjeni pojas se može stvoriti i proširiti sлагanjem grafenskih traka jednih na druge, debljine do oko 5 nm i lokalnim djelovanjem električkog polja, no unatoč tome omjer struja ostaje malen, što je glavna zapreka upotrebi takvih tranzistora u logičkim sklopovima [3,15].

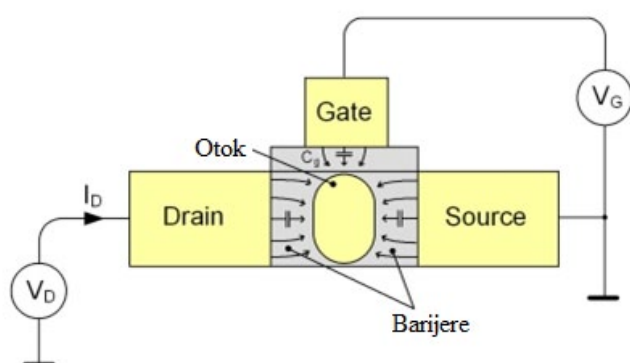
Slika 6: Tranzistor od grafenskih nanotraka s efektom polja



Strukturna građa **tranzistora sa jednim elektronom** slična je građi tranzistora s efektom polja. Elektroni se gibaju sa source

elektrode prema drain elektrodi, međutim kod tranzistora sa jednim elektronom ti se elektroni gibaju jedan po jedan pritom prolazeći kroz energetska barijeru preko čvorišta tuneliranja odnosno "otoka", izvedenih pomoću kvantnih točaka. Pri tome, energetska barijera ima ulogu kanala i kontrolira se pomoću upravljačke elektrode. Kako se elektroni ne mogu cijepati, naboj može poprimiti samo diskretne vrijednosti naboja jednog elektrona, dva elektrona itd. Velika je prednost tranzistora sa jednim elektronom upravo u tome što se razlika između isključenog i uključenog stanja definira gibanjem samo jednog ili eventualno nekoliko elektrona, što znači da je za rad tranzistora potrebno puno manje energije. Istovremeno, discipacija snage je zanemariva i takav se tranzistor puno manje grije u odnosu na druge izvedbe. Iz tih razloga, primjena ovakvih tranzistora u budućnosti se veže za prijenosne baterije, memorije i kvantna računala, a radi velike osjetljivosti tranzistora mogu se koristiti i kao nanosenzori [1,3,15,16].

Slika 7: Tranzistor sa jednim elektronom

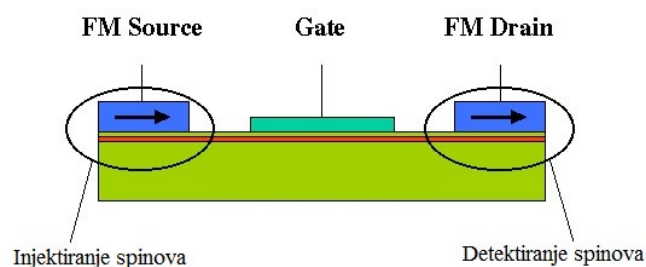


Rad **tranzistora sa vrućim elektronima** (Hot Electron Transistor) zasniva se na injektiranju vrlo brzih elektrona vrlo visoke kinetičke energije, tzv. vrućih elektrona. Baza je odvojena od emitera sa dvije potencijalne barijere dovoljno tanke da omoguće tuneliranje elektrona. Naravno, radi se o debljini od nekoliko nanometara. Kolektorska barijera, koja odvaja bazu od kolektora, deblja je i pomoću nje se kontrolira struja tranzistora. Energija injektiranih elektrona mora biti dovoljno velika da dovoljan broj elektrona balistički prijeđe iz emitera kroz potencijalnu barijeru do sloja baze. Ako je energija elektrona manja, doći se do njihovog raspršivanja i samo će neki elektroni doći do baze, što smanjuje učinkovitost i posebice brzinu rada takvog tranzistora. Radi ogromne brzine elektrona koji gotovo trenutačno prelaze sa emitera kroz bazu i na kolektor, tranzistori sa vrućim elektronima mogu raditi vrlo brzo i na najvišim frekvencijama, čak i do 10 THz [3,18].

Za potrebe klasične elektronike, spin i magnetizacija elektrona su nevažni i praktično se mogu zanemariti. Međutim, kod vrlo malih uređaja, navedena su svojstva iznimno značajna. Elektroni kroz materijale iste spinske orijentacije prolaze iznimno lako, no kad naiđu na materijal suprotne spinske orijentacije njihov je prolaz otežan. Također, ako je spinska orijentacija elektrona u susjednim slojevima naizmjenična, otpor gibanju elektrona je ogroman. Taj se efekt koristi u **spinskim tranzistorima** (Spin transistor). Source i drain slojevi se izrađuju od feromagnetskog materijala, a efekt sklopke se dobiva različitim magnetizacijama tih slojeva. Osim toga, efekt sklopke se može ostvariti i sa source i drain slojevima nepromjenjive magnetizacije, korištenjem materijala sa izraženom spin – orbit interakcijom. Kod takvih materijala, elek-

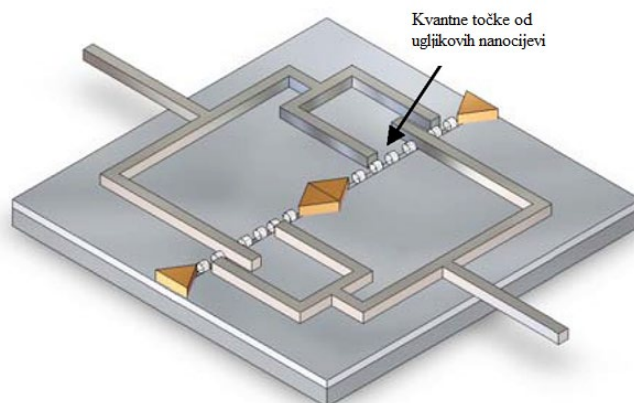
troni se raspršuju na atomima primjesa koji međudjeluju sa spinovima u materijalu, na način da se elektroni suprotnih spinova otklanjaju na suprotne strane. Najveći je problem kod praktičnih izvedbi spinskih tranzistora dobivanje visokog postotka injektiranih spin – polariziranih elektrona iz source sloja tranzistora. Predviđa se da će spinski tranzistori imati velike brzine izmjene aktivnog i neaktivnog stanja i kvalitetna memorijska svojstva, iako stabilni spinski tranzistor još nije ostvaren. Potencijalno, postoji mogućnost da se spinskim tranzistorima ostvari kombinirani logičko – memorijski element [15,19].

Slika 8: Spinski tranzistor



Radi iznimne važnosti memorije u računalima, brojna se istraživanja iz područja nanotehnologije koncentriraju na proučavanje kvantnih svojstva nanomaterijala i nanostrukture pomoću kojih bi se mogle izrađivati manje i brže **jedinice za pohranu podataka**. Prvenstveno, proučavaju se efekti kvantizacije i Coulumbove barijere u uređajima s jednim elektronom, te kvantne točke, kvantne žice i kvantni bunari. Za kvantna se računala predviđa korištenje memorija od samo jednog atoma ili čak memorija od jednog fotona. Memorije koji bi koristile tehnologiju tranzistora sa jednim elektronom posebno su zanimljive. Prema jednom konceptu, memorijska bi se ćelija sastojala od stotinjak tranzistora sa jednim elektronom čije bi se stanje čitalo pomoću pojačala građenog od tranzistora sa efektom polja. Takav koncept zahtjeva periodičko osvježavanje stanja, jednako kao kod klasičnih memorijskih jedinica. Procijenjeno je da bi takve memorijske ćelije mogle dostići gustoću i do 100 Gbit/cm². Prema drugom konceptu, današnje tehnike magnetskog snimanja podataka mogle bi biti zamijenjene sa tehnikama elektrostatskog pohranjivanja podataka, pri čemu bi se za čitanje i pisanje koristili uređaji poput skenirajućeg tunelirajućeg mikroskopa na čijem bi se vrhu nalazio tranzistor sa jednim elektronom. Na taj bi se način postigla gustoća od čak 1 Tbit/cm² [6,11,15].

Slika 9: Memorijska ćelija građena od kvantnih točaka od ugljikovih nanocijevi



6. ZAKLJUČAK

Nanoznanost i nanotehnologija se zasnivaju na zadivljujućim i neočekivanim svojstvima struktura malih dimenzija, te posebnim svojstvima koje takve strukture iskazuju na makrorazini. Kao što se kemičari bave proučavanjem različitih kemijskih elemenata i sintetiziranjem tvari od različitih molekula koje pokazuju različita iskoristiva svojstva, tako se nanoznanost bavi sintetiziranjem materijala, ali na potpuno novoj razini. Mogućnosti upravljanja svojstvima tvari ne samo da su se udvostručile, već eksponencijalno rastu već godinama, i svako novo istraživanje donosi zadivljujuće rezultate. Istina, veliki broj tih otkrića je zasada samo teoretski, jer za praktično ostvarenje ne postoji tehnologija, ali i samo manji broj otkrića koja su realizirana u praksi, poput grafenskih tranzistora i kondenzatora, neinvazivnih medicinskih tehnika, solarnih ćelija nove generacije, pametnih materijala, lasera i optičkih uređaja itd., fundamentalno preobražavaju svijet. U skladu s tim, elektronika je jedno od područja na kojem su nanoznanost i nanotehnologija najviše napredovale i može se reći da se očekuju fundamentalne promjene samih osnova elektronike.

LITERATURA

- [1] Lindsay, S.M.: "Introduction to Nanoscience", Oxford University Press, New York, USA, 2010.
- [2] Paar, V.: "Fizika 4", Školska knjiga, Zagreb, 2001.
- [3] Mitin, V., Kochelap V., Stroscio M.: "Introduction to Nanoelectronics (Science, Nanotechnology, Engineering and Applications)", Cambridge University Press, Cambridge UK, 2008.
- [4] Wichmann, E. W.: "Kvantna fizika", Tehnička knjiga, Zagreb, 2003.
- [5] Paar, V.: "Atomi, molekule, poluvodiči, supravodljivost", Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [6] Ratner, M., Ratner, D.: "Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 2002.
- [7] Šribar, J., Divković – Pukšec, J.: "Elektronički elementi", Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 1997.
- [8] Davies, A. G., Thompson, J. M. T.: "Advances in Nanoengineering-Electronics, Materials and Assembly", Imperial College Press, London, 2007.
- [9] Burchell, T.: "Carbon Materials for Advanced Technologies", Elsevier Science Ltd, Oxford, UK, 1999.
- [10] Grbac Babić, S.: "Mogućnost primjene grafenske nanotehnologije u izradi tranzistora", Techne, Politehnika Pula, 2012.
- [11] Fahrner, W. R.: "Nanotechnology and Nanoelectronics (Materials, Devices, Measurement Techniques)", Springer-Verlag Berlin, Germany, 2005.
- [12] Feynman, R. P.: "There's plenty of room at the bottom", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 1, 1992.
- [13] Šiber, A.: "Svemir kao slagalica", Školska knjiga, Zagreb, 2005.
- [14] Whitesides, G., Love, C.: "The art of building small", Scientific American, Special edition on Nanotechnology, 2007.
- [15] Deleonibus, S.: "Electronic Device Architectures for the Nano-CMOS Era", Pan Stanford Publishing Pte. Ltd., London, 2009.
- [16] Kastner, M. A.: "The single electron transistor and artificial atoms", Annals of Physics, Vol. 327, Elsevier, 2000.
- [17] Zhang, Y., Ruden, P. P.: "Simulation of Heterojunction Bipolar Transistor with Domain Decomposition Method", Nanotech, Vol. 1, 2002.
- [18] Fischetti, M., V.: "Ballistic hot-electron transistors", IBM Journal of Research and Development, Vol. 34, 1990.
- [19] Korkin, A., Rosei, F.: "Nanoelectronics and Photonics", Springer Science and Business Media LLC, New York, 2008.
- [20] Li, S., Long, G., Bai, F., Feng, S., Zheng, H.: "Quantum computing", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol. 98, 2001.

REVITALIZACIJA SCADA APLIKACIJE U PROIZVODNOM INŽENJERSTVU NA PRIMJERU POSTROJENJA ZA POHRANU, MLJEVENJE I OBRADU PŠENICE

Autor: Prof. dr. sc. Dario Matika¹

Autor: Tomislav Damjanović²

SAŽETAK

U članku se obrađuje postupak revitalizacije SCADA aplikacije u proizvodnom inženjerstvu na primjeru pohrane, mljevenja i obrade pšenice postrojenja izgrađenog u Ujedinjenim Arapskim Emiratima za tvrtku Fujairah Grain Silos and Flour Mills. Zbog tehničke zastarjelosti računalne opreme i nemogućnosti nabave rezervnih dijelova potrebno je bilo izvršiti nadogradnju SCADA aplikacije s verzije Super – Flash V3.2 u verziju V3.8 koja je prilagođena Windows platformi. U članku se opisuje PLC Mitsubishi A2ASCPU i njegovo umrežavanje s cjelokupnim sustavom putem MELSECNET protokola kao i komunikacija između PLC-a i SCADA aplikacije. Provedena nadogradnja uz minimalne troškove omogućit će nesmetani razvoj sustava upravljanja postrojenja sljedećih pet godina.

KLJUČNE RIJEČI: revitalizacija, SCADA, PLC, Super-Flash

1. UVOD

SCADA (eng. Supervisory Control and Data Acquisition) je skraćenica za računalni sustav kojim se putem senzora mjeri, zatim prikuplja podatke, nadzire i automatizirano upravlja industrijskim postrojenjima i procesima. Počeci razvoja takvih integriranih sustava datiraju još iz 60-tih godina prošlog stoljeća, a 90-tih doživljavaju pravu ekspanziju pojavom mikrokontrolera odnosno mikroprocesora i sve bržih računala. Cilj ovog članka je pokazati način revitalizaciju SCADA aplikacije u postrojenju za pohranu, mljevenje i obradu pšenice nazivnog kapaciteta 120 t/24 sata kao sastavnice proizvodnog inženjerstva.

Postrojenje za pohranu, mljevenje i obradu pšenice izrađeno je 1998. godine unutar lučke zone Fujairah u Ujedinjenim Arapskim Emiratima za Fujairah Grain Silos and Flour Mills. Od 2003. godine postrojenje je u vlasništvu kompanije International Grain Silos and Flour Mills. Kompletan oprema isporučena je od talijanske tvrtke Golfetto koja je izvela projekt od faze planiranja do završnog puštanja u rad postrojenja. Postojeća SCADA aplikacija razvijena je 1998. godine u DOS (eng. Disk Operating System)³ operativnom sustavu na platformi Super-Flash V3.2. Nedostatak rezervnih dijelova kao i nemogućnost održavanja zastarjele opreme zahtijevalo je nadogradnju SCADA aplikacije s verzije Super-Flash V3.2 na verziju V3.8. koja je prilagođen Windows platformi. Nadogradnja nije podrazumijevala promjenu niti jedne komponente upravljačkog PLC-a (eng. Programmable Logic Controller)⁴ jer bi takva nadogradnja predstavljala ekonomski vrlo zahtjevno rješenje.

¹ Redoviti profesor doktor, Tehnički fakultet u Rijeci

² Magistar inženjer elektrotehnike, Tehnički fakultet u Rijeci

³ DOS (Disk Operating System) je naziv za operacijski sustav za diskove koji je razvijen 70-tih godina prošlog stoljeća

⁴ PLC-a (Programmable Logic Controller) je programibilni logički kontroler odnosno industrijsko računalo koje se sastoji od procesora, memorije i industrijskih ulaza i izlaza. Najviše se koristi kao osnovni dio upravljačkih automatskih sustava u industriji. Njegov se program može jednostavno mijenjati i prilagođavati potrebama mnogobrojnih strojeva i procesa u industriji.

2. TEHNOLOŠKI OPIS POSTROJENJA

Predmetno postrojenje za skladištenje i preradu žitarica smješteno je 200 metara od mora unutar luke. Budući da bi izgradnja lančanih transporterata ili transportne trake ometala ostale lučke operacije za dopremu pšenice, koristio se kombinirani transport koji podrazumijeva istovar sirovine s broda te dodatni transport kamionima do prijemnog koša u silosu. Na Slici 1 prikazan je ulazni dio postrojenja koji se sastoji od dopreme pšenice kamionom i odlaganje u usipni koš.

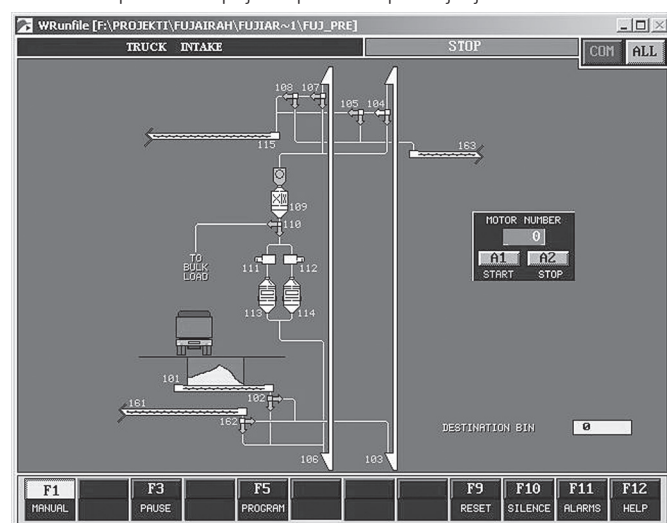
Slika 1: Postrojenja za pohranu i mljevenje pšenice nazivnog kapaciteta 120 t/24 sata u luci Fujairah u UAE



Iz usipnog koša pšenica se lančanim transporterom prenosi do elevatora koji služi za vertikalni transport sirovine pri prijemu pšenice u pogon, kao i za manipulaciju pretovara iz jedne siloske ćelije u drugu odnosno za otpremu pšenice iz silosa

u mlin. Svaki dio procesa opisan je tzv. sinoptičkim slikama, a primjer sinoptičke slike za prijem pšenice u postrojenje prikazan je na Slici 2.

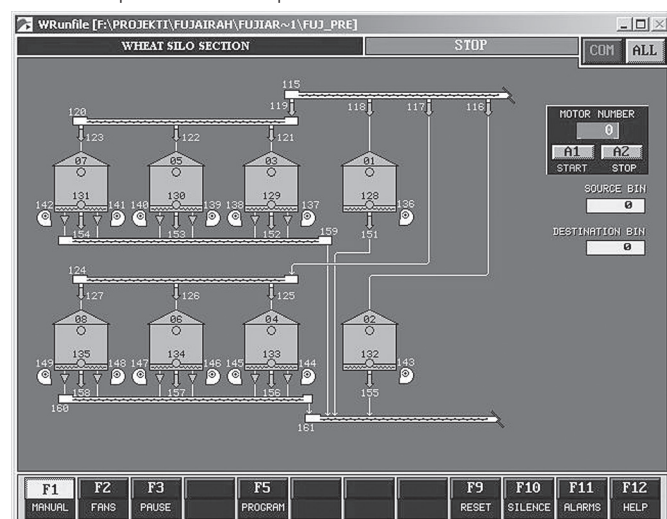
Slika 2: Sinoptička slika prijema pšenice u postrojenje



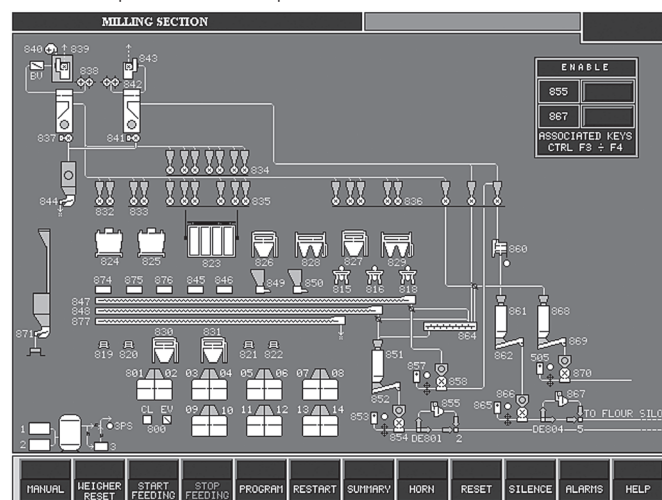
Lančani transporter na Slici 2 nosi oznaku (101), a elevatori nose oznaku (103) ili (106). Pri bilo kojoj od navedenih operacija za kontrolu količine pšenice koristi se siloska protočna vaga s dva koša (109). Vibro-sita i aspirateri-strojevi (111), (112), (113) i (114) služe za predčišćenje pšenice i grubo odstranjivanje nečistoća. Ako se pšenica uskladištava u silos tada se bira lančani transporter (115), a u slučaju da se pšenica transportira direktno na preradu onda se koristi transportni put koji uključuje lančani transporter (163). Na Slici 3 prikazana je sinoptička slika skladištenja pšenice u silose, dok je na Slici 4 prikazana sinoptička slika mlina odnosno na Slici 5 prikazana je sinoptička slika silosa brašna.

Prema tome, može se uočiti da je ukupni tehnološki proces cjelokupnog postrojenja opisan sinoptičkim slikama na temelju kojih se nadzire i automatski upravlja postrojenjem odnosno prikupljaju se i obrađuju svi relevantni podaci za monitoring, dijagnostiku i predikciju događaja kako bi se maksimalno umanjila vjerojatnost nastanka kvara i ispada sustava.

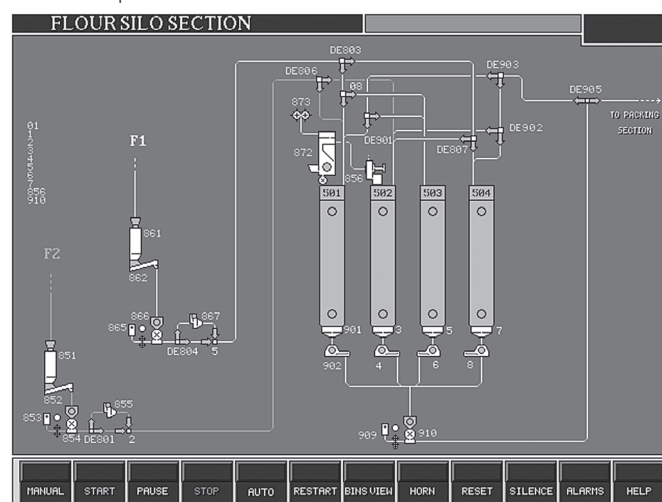
Slika 3: Sinoptička slika silosa pšenice



Slika 4: Sinoptička slika mlina pšenice



Slika 5: Sinoptička slika silosa brašna



3. SUSTAV UPRAVLJANJA I SUPER-FLESH APLIKACIJA

Općenito je sustav upravljanja nekog postrojenja podijeljen na nekoliko razina kako bi se osiguralo što bolje upravljanje. Na samom dnu hijerarhije smješteni su programibilni logički kontroleri (PLC). Ako je na PLC-u smješten zaslon koji daje informaciju o npr. temperaturi ili nivou u spremniku, smatra se da je riječ o HMI (eng. Human Machine Interface) sustavima odnosno čovjek-stroj sučeljima. Na idućoj razini nalaze se SCADA aplikacije, no da bi sustav upravljanja bio pouzdan mora sadržavati bazu podataka u koju se pohranjuju svi podaci iz sustava.

Na vrhu hijerarhije je smješten ERP (eng. Enterprise Resource Planning) softver. To je poslovni softver koji integrira u jednu cjelinu aktivnosti različitih odjela kao što su nabava, planiranje proizvodnje, distribucija proizvoda, upravljanje zalihama, praćenje narudžbi, praćenje ljudskih resursa i slično. Prednost ERP-a je u tome što se njegovom upotrebom, ako je kvalitetno izrađen, mogu kontrolirati svi ulazi i izlazi pogona s jednog mjesta. Posebno je važno da se podaci u sustav unose automatski, a ne ručno. Ako se podaci bilježe automatski (narudžbe, stanje na skladištu, raspored godišnjih odmora, potrošnja energije i sl.) jednostavno je planirati ukupnog poslovanja, kao i nadzor i optimizacija sustava.

3.1 SCADA aplikacije

Kako je prije napomenuto, SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) aplikacije predstavljaju računalni sustav za nadzor, upravljanje i prikupljanje podataka. Omogućavaju prikupljanje podataka iz jednog ili više udaljenih postrojenja kao i slanje upravljačkih naredbi u ta postrojenja. SCADA aplikacije se normalno izvršavaju na PC (eng. Personal Computer) računalima i komuniciraju sa vanjskim instrumentacijom i kontrolnim uređajima. Komunikacija može biti izvedena serijskom vezom, radio vezom, modemom, spajanjem u mrežu- Ethernet. Pri tome se mogu koristiti različiti mediji za prijenos podataka. U slučaju kada je potrebno spojiti instrumentaciju s različitim komunikacijskim sučeljima ili medijima upotrebljavaju se pretvornici signala. Prisutno je pet faza konfiguriranja SCADA sustava, i to:

Faza 1 – Dizajniranje arhitekture sustava koje uključuje komunikacijski sustav kao i svu instrumentaciju koja će biti potrebna za nadzor željenih parametara,

Faza 2 – Osiguranje RTU⁵ opreme (eng. Remote Terminal Unit), komunikacije i HMI opreme, naknadno dodavanje PC sustava kao i potrebnih grafičkih i alarmnih softvera,

Faza 3 – Programiranje komunikacijske opreme odnosno HMI grafičkih i alarmnih softvera,

Faza 4 – Instaliranje komunikacijske opreme i PC sustava,

Faza 5 – Puštanje u rad kada su riješeni svi komunikacijski i HMI problemi. Sustav se prezentira korisniku, a osigurana je obuka operatera kao i sva pripadajuća dokumentacija.

Postojeća aplikacija razvijena je u VGA (eng. Video Graphics Array) rezoluciji 640x480. Višegodišnjom eksploatacijom pojavio se problem održavanja PC računala na kojima su instalirane SCADA aplikacije, prije svega, zbog nedostupnosti rezervnih dijelova. Jednako tako nije bila moguća instalacija starih aplikacija na sada dostupna računala zbog softverskog i hardverskog nepodržavanja pa je iz tog razloga bilo potrebno nadograditi postojeću aplikaciju na verziju 3.8 kako bi se osigurao pouzdan rad postrojenja. Nove aplikacija izrađena je u rezoluciji 1280x1024 kako bi se dobio puno bolji i kvalitetniji grafički prikaz, te mogućnost prikaza većeg broja elemenata po stranici. Stoga je u pogledu nadogradnje korišten razvojni alat SCADA Super-Flash⁶ koji se koristi za razvoj i stvaranje industrijskog nadzora (SCADA) i aplikacijskog sučelja čovjek-stroj (HMI). Aplikacije razvijene uporabom Super-Flash-a mogu provoditi nadzor čitavog postrojenja ili samo jednog stroja. U nadzor je moguće uključiti i kontrolu funkcionalnosti s ciljem upravljanja procesa s jednim ili više računala.

3.2 Povezivanje PLC-a i SCADA aplikacije

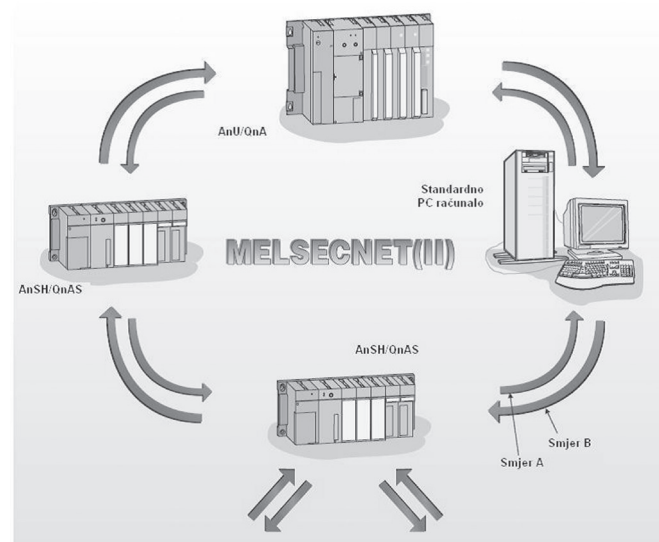
Postrojenje za pohranu, mljevenje i obradu pšenice upravljano je uz pomoć četiri međusobno umrežena PLC-a Mitsubishi

serije A2AS⁷ gdje svaki od njih upravlja zasebnim tehnološkim cjelinama koje čine:

- Prijem pšenice, predčišćenje i transport u silos
- Mlinska čistionica
- Pogon mlina
- Silos gotovih proizvoda, silos posija i pakiranje

Veza između upravljačkih PLC-a i SCADA aplikacija izvedena je prema serijskoj komunikaciji RS232⁸ po protokolu Mitsubishi CP4 Extended⁹ koji je direktno podržan od Super-Flash-a odgovarajućim integriranim driverom. Sustav automatskog upravljanja izveden je s ukupno dvije SCADA aplikacije gdje je svaka SCADA aplikacija povezana s dva PLC-a nezavisnim RS232 serijskim linijama. Prva SCADA aplikacija pokriva tehnološke cjeline: a) Prijema pšenice, predčišćenje i transport u silos i b) Mlinska čistionica, dok druga pokriva: c) Pogon mlina i d) Silos gotovih proizvoda, silos posije i pakiranje. Razmjena podataka SCADA aplikacije s procesnim vagama i dozatorima obavlja se posredno putem PLC-a, gdje odgovarajući PLC čita podatke preko MelsecNet(II)¹⁰ mreže, koji se kopiraju na druga memorijska mjesta za obradu i prikaz u SCADA aplikacijama. Na Slici 6 dat je shematski prikaz Mitsubishi MelsecNet(II) mreže.

Slika 6: Shematski prikaz Mitsubishi MelsecNet(II) mreže



PLC serije A2ASCPU je modularni kontroler koji ovisno o tipu centralne procesorske jedinice može kontrolirati direktno do najviše 1024 ulaza i izlaza. A2ASCPU dozvoljava kreiranje programa do 14k koraka. Na Slici 7 prikazan je koncept slaganja hardverske konfiguracije PLC-a Mitsubishi serije A2AS.

⁵ RTU je mikroprocesorski upravljani elektronički uređaj koji objekte upravljanja iz fizičkog okruženja povezuje sa SCADA upravljačkim sučeljem prenoseći telemetrijske podatke na master i od mastera na povezane objekte upravljanja.

⁶ Super-Flash je proizvod kompanije Automa. Prilikom prodaje softvera Automa nudi dva modela licenci, RUNTIME i ROYALTY-FREE. Kod aplikacija RUNTIME je razvojni alat u potpunosti besplatan, ali se plaćaju Runtime licence čije cijene ovise o količini varijabli i alarma u sustavu. Kod ROYALTY-FREE aplikacije plaća se razvojni alat, a svaka aplikacija razvijena takvim alatom pokreće se uz generički "runfile" koji je dio razvojnog alata. To je isplativo kod razvoja većeg broja aplikacija. Aplikacije koje se opisuju u ovom članku razvijene su sa softverom koji je ROYALTY-FREE.

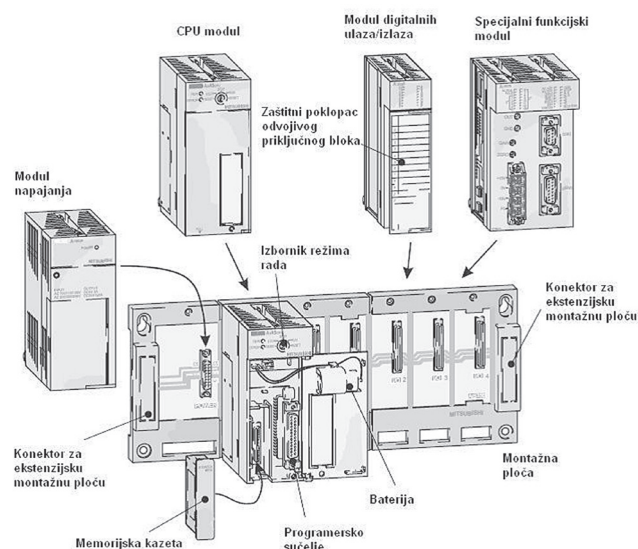
⁷ <http://www.mitsubishi-automation.com/>

⁸ standardni međusklap za serijski prijenos binarnih podataka

⁹ www.automa.it

¹⁰ MelsecNet je protokol razvijen i podržan od strane Mitsubishi Electric za dostavu podataka putem mreže.

Slika 7: Koncept slaganja hardverske konfiguracije PLC-a Mitsubishi serije A2AS

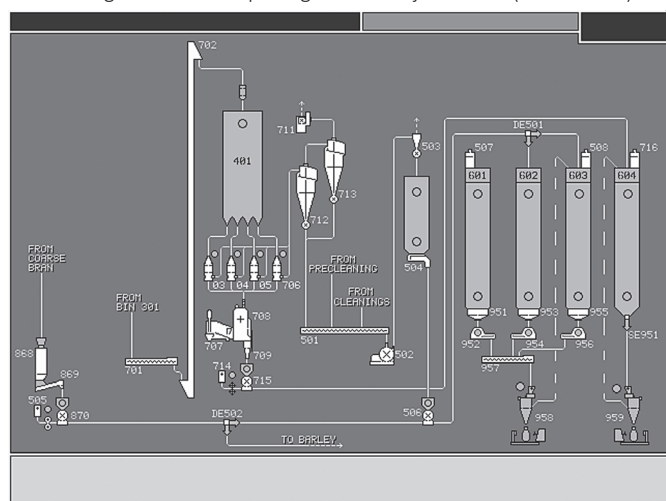


Za programiranje PLC-a može se koristiti DOS baziran program Medoc¹¹ ili paketi GX Developer¹² i GX IEC Developer koji rade u Windows okruženju.

4. REZULTATI NADOGRADNJE

Temeljna zadaća bila je revitalizacija SCADA aplikacije i promjena rezolucije kako bi se nadogradila SCADA aplikacija zbog povećanje kvalitete automatskog upravljanja i lakšeg održavanja. Stare aplikacije izrađene su bile u rezoluciji 640x480, dok su nove aplikacije izrađene u rezoluciji 1280x1024. Na slikama 8 i 9 data je usporedba prikaza u originalnoj statičkoj podlozi u rezoluciji 640x480 i redizajniranoj statičkoj podlozi u rezoluciji 1280x1024. Za nadogradnju SCADA aplikacije korišteni su i drugi alati, poput grafičkog editora u kojem su izrađene nove podloge u *bmp*¹³ formatu rezolucije 1280x1024. Pri tome se vodilo računa da se nove podloge i funkcije sustava izrade čim sličnije originalu kako bi prihvatanje novog sustava od strane operatera bilo lakše.

Slika 8: Originalna statička podloga u rezoluciji 640x480 (Silos brašna)

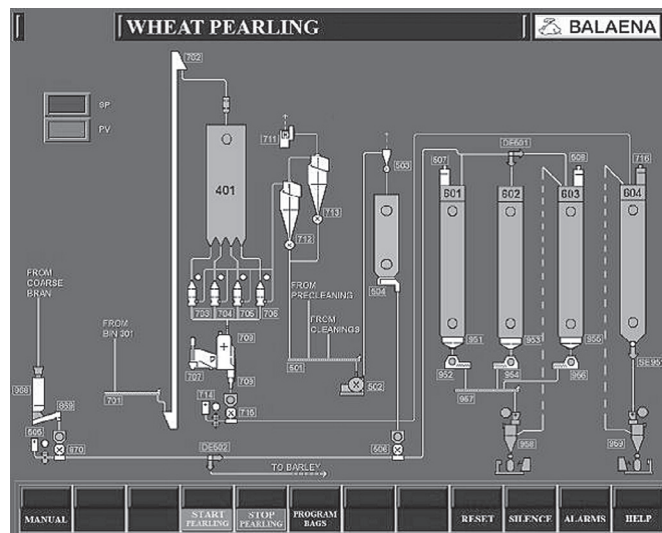


¹¹ <http://melsec-medoc.software.informer.com/>

¹² www.mitsubishi-automation.com

¹³ Naziv *bitmap* (ekstenzija .bmp) potječe iz programerskog okruženja, odnosno fraze *mapa bitova*, a popunjavanjem takve dvodimenzionalne matrice bitovima moguće je iscrtati monokromatske grafike (1-bit-per-pixel).

Slika 9: Redizajnirana statička podloga u rezoluciji 1280x1024(Silos brašna)



Na prikazani način na Slikama 6 i 7 provedena je nadogradnja i za sve ostale prije opisane tehnološke cjeline od prijema pšenice do gotovih proizvoda i pakiranja. Prema prikazanim statičkim podlogama (sinoptičke slike silosa brašna) može se uočiti da je nadogradnja izvršena u Super-Flash aplikaciji uz umetanje pozadina u 'bmp' formatu.

5. ZAKLJUČAK

Revitalizacija postojanja za pohranu, mljevenje i obradu pšenice nazivnog kapaciteta 120t/24sata provedena je zbog zastarijele računalne opreme i nedostataka rezervnih dijelova. Revitalizacija SCADA aplikacije s verzije Super-Flash V3.2 u verziju V3.8 koja je prilagođena Windows platformi omogućit će lakše održavanja računalnog sustava odnosno tehničke modernizaciju sustava u odnosu na nove potrebe tehnološkog procesa pohrane, mljevenja i obrade pšenice.

Provedena nadogradnja uz minimalne troškove omogućit će nesmetani razvoj sustava upravljanja postrojenja sljedećih pet godina.

LITERATURA

- [1] Cinquetti, M., Molini da grano, 1 Volume, Il grano nel mondo e la sua conservazione, Chiriotti Editori, Pinerolo – Italia, 1992.
- [2] Kljusurić, S., Uvod u tehnologiju mljevenja pšenice, Prehrambeno tehnološki fakultet Sveučilišta Josip Juraj Strossmayer u Osijeku, Metković, 2000. godina
- [3] Mitsubishi Programmable Controller MELSEC-A User's Manual, <http://suport.siriustrading.ro>
- [4] Mitsubishi Networks Tehnical Catalogue, http://www.scantime.co.uk/_docs/MelsecNetworks.pdf
- [5] Mitsubishi MELSEC AnS Tehnical Catalogue, http://www.autocontcontrol.cz/rs/download/manual/Katalog_Q_GB.pdf
- [6] Automa Super-Flash 3.2 manual V1, V2, V3, V4, <http://www.automa.it/web/english/pages/Products/SupervisioneLibera/Super-Flash.asp>
- [7] MELSEC A Programming Manual, <http://suport.siriustrading.ro>

STANDARDIZIRANI POSTUPAK ODREĐIVANJA LOMNE ŽILAVOSTI POMOĆU CT UZORKA

Autor: Lana Buletić, mag. ing. mech.

Autor: pred. Sandi Buletić, dipl.ing.

SAŽETAK

Pet je različitih tipova uzorka odobreno prema ASTM standardu koji se koriste za eksperimentalno određivanje lomne žilavosti materijala. Jedan od tih pet je i CT (eng. compact specimen) uzorak.

Standardizirani postupci za eksperimentalno određivanje lomne žilavosti jesu:

- određivanje K_{Ic} ,
- određivanje krivulje K-R,
- određivanje J integrala,
- CTOD postupak.

KLJUČNE RIJEČI: Lomna žilavost, faktor intenzivnosti naprezanja, CT uzorak, K-R krivulja, J integral, CTOD postupak

1. UVOD

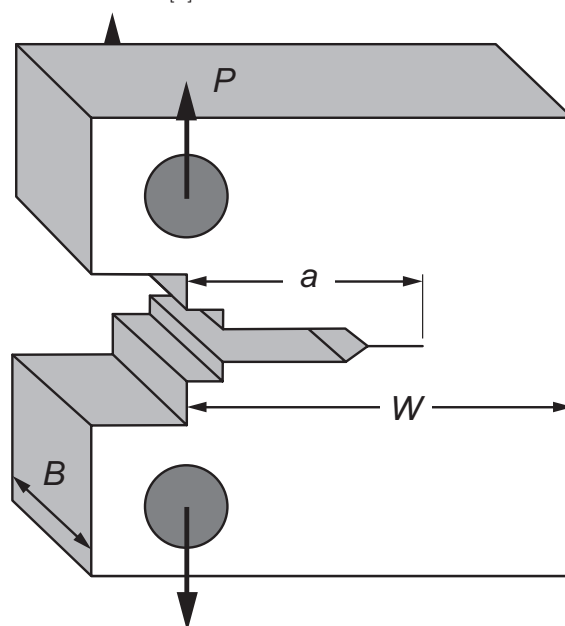
Standardi ispitivanja lomne žilavosti propisuju oblike i vrste epruveta kao i procedure ispitivanja. Propisanim se standardima mogu dobiti pojedinačne vrijednosti lomne žilavosti ili krivulje otpora, gdje su parametri žilavosti, poput faktora intenzivnosti naprezanja, K (eng. stress intensity factor, SIF), J integrala (eng. path-independent contour integral) ili otvaranje vrha pukotine, CTOD (eng. crack tip opening displacement), bilježene u ovisnosti o otvaranju (produljenju) pukotine.

U ovom su radu opisani standardizirani postupci određivanja lomne žilavosti materijala pomoću CT uzorka (eng. compact test specimen), te objašnjeni načini interpretiranja rezultata pokusa.

2. CT UZORAK

Pet je različitih tipova uzorka odobreno prema ASTM standardu koji se koriste za eksperimentalno određivanje lomne žilavosti materijala. Jedan od tih pet je i CT (eng. compact specimen) uzorak (Slika 2.1).

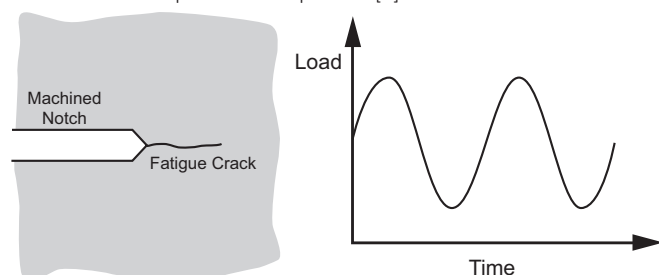
Slika 2.1: CT uzorak [1]



Karakteristične dimenzije uzorka; duljina zarez (a), debljina (B) i širina (W) određenu su standardom te u veći slučajeva vrijedi $W = 2B$ i $a/W \approx 0,5$. Standardne veličine uzoraka jesu 1/2 T, 1T, 2T i 4T gdje brojčana oznaka označava vrijednost debljine u inčima. Na primjer, dimenzije standardnog uzorka 1T jesu $B = 1$ in. (25,4 mm) i $W = 2$ in. (50,8 mm).

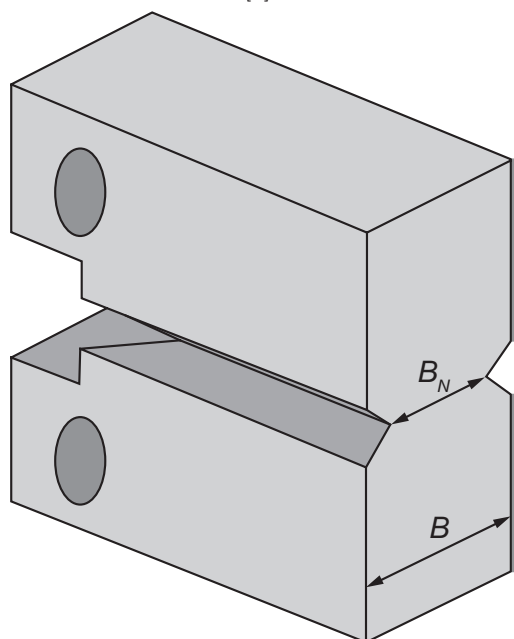
Epruveta prije ispitivanja mora biti zamorno "načeta", tj. ponavljajućim im se opterećenjem zadaje početna pukotina pri vrhu strojno obrađenog zarezu što sve skupa predstavlja početnu duljinu pukotine a_0 (Slika 2.2).

Slika 2.2: Početna pukotina CT epruvete [1]



Veličina zamorom načete početne pukotine ne smije biti manja od 5 % ukupne duljine pukotine niti manja od 1,3 mm. Po zamornoj pukotini epruveti se dodaju i bočni utori koji imaju zadaću osigurati ravno širenje pukotine tijekom ispitivanja, a debljina epruvete mjerena između takvih utora označava se s B_N (Slika 2.3).

Slika 2.3: Bočni utori na CT uzorku [1]



3. STANDARDIZIRANI POSTUPCI ODREĐIVANJA LOMNE ŽILAVOSTI

Standardizirani postupci za eksperimentalno određivanje lomne žilavosti jesu:

- određivanje K_{Ic} ,
- određivanje krivulje K-R,
- određivanje J integrala,
- CTOD postupak.

3.1 Određivanje K_{Ic}

Metoda određivanja K_{Ic} kao parametra lomne žilavosti materijala prikladna je za materijale koji se ponašaju linearno elastično prije loma i kojima je plastična zona mala u usporedbi sa dimenzijama epruvete. Standard koji je prvi definirao ovi metodu je ASTM E 399 [4], a na osnovu tog standarda izdani su drugi standardi, između ostalih i BS 5447 [5].

Za ovu metodu određivanja lomne žilavosti materijala nije važna debljina B epruvete, već samo duljina zarezu a i odnos W/a . Ispitni uzorci za ovu metodu uobičajeno su napravljeni sa dimenzijama $W = 2B$ i $0,45 \leq a/W \leq 0,55$, dok standard zahtjeva da dimenzije epruvete moraju biti veće od plastične zone. Ako to nije slučaj, dobiveni rezultati neće biti vjerodostojni. Stoga je važno pridržavati se sljedećih relacija da bi određena vrijednost K_{Ic} bila valjana:

$$B, a \geq 2,5 \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_{YS}} \right)^2, \quad (1a)$$

$$0,45 \leq a/W \leq 0,55. \quad (1b)$$

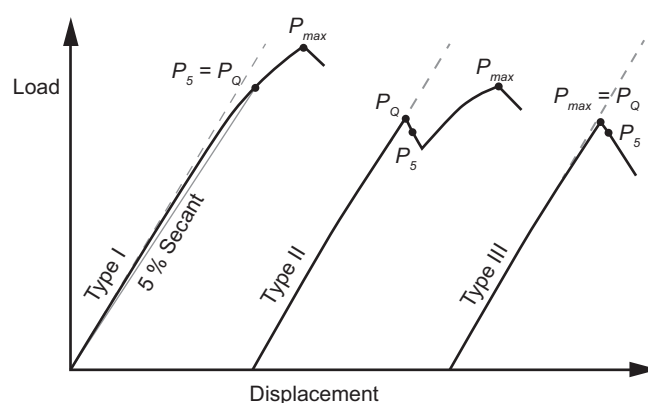
Iz relacije (1) vidljivo je da je potrebno znati K_{Ic} za određivanje dimenzija epruvete, koji se određuje procjenom na osnovi lomne žilavosti sličnog materijala. U slučaju da takav podatak nije dostupan, standard ASTM E 399 predlaže okvirne vrijednosti K_{Ic} uz napomenu da se ti podaci koriste jedino u slučaju nedostupnosti relevantnijih podataka.

Vrijednosti naprezanja kojom se na epruveti zamorom napravi početna pukotina K_{max} ne smije biti veća od $0,8 K_{Ic}$ (na početku), odnosno $0,6 K_{Ic}$ (pri kraju izrade početne pukotine). U slučaju da je početna pukotina napravljena pri temperaturi (T_1) koja se razlikuje od temperature (T_2) pri kojoj se testira, vrijednost naprezanja pri kraju izrade početne pukotine ne smije biti veća od

$$K_{max} \leq 0,6 \cdot \frac{\sigma_{YS(1)}}{\sigma_{YS(2)}} \cdot K_{Ic}. \quad (2)$$

Nakon što su svi parametri postavljeni i početna pukotina napravljena, epruveta se podvrgne ispitivanju. Prilikom ispitivanja prate se dvije varijable, opterećenje i pomak (širenje loma). Ovisno o materijalu koji se ispituje, tri su moguća oblika otporne krivulje (eng. *resistance curve*, *R curve*) prikazane na Slici 3.1.

Slika 3.1: Tri oblika krivulje pri K_{Ic} testu [1]



Kritično opterećenje P_Q određuje se ovisno o tipu krivulje. Na prvoj krivulji (*Type I* na Slici 3.1) koja je u prvom dijelu linearna te se zatim lagano zakrivljuje (nelinearno), za kritično opterećenje se uzima vrijednost P_5 koja predstavlja točku od 5 % nelinearnog dijela krivulje. Drugi tip krivulje (*Type II*) nakon linearnog dijela naglo mijenja smjer jer dolazi do nestabilnog rasta pukotina, a koji dovode do činjenice da pukotina raste iako se opterećenje smanjuje. U tom slučaju kritično je opterećenje P_Q vrijednost neposredno prije prijelaza krivulje iz linearnosti u nelinearnost. Dok se, pri ispitivanju materijala koji se ponaša prema krivulji tipa 3 (*Type III*), kritično opterećenje P_Q određuje kao najveće opterećenje P_{max} kojemu je podvrgnut ispitivani uzorak.

Duljina pukotine mora se izmjeriti sa prijelomne površine epruvete i to kao prosječna vrijednost tri istovjetno opterećene epruvete. Kada je određeno kritično opterećenje P_Q i duljina pukotine, lomna se žilavost (još uvijek privremena) određuje iz sljedeće relacije

$$K_Q = \frac{P_Q}{B\sqrt{W}} f(a/W), \quad (3)$$

gdje je bezdimenzionalna funkcija omjera a/W koja se određuje (za CT uzorak) [6]:

$$f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{2 + \frac{a}{W}}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{3/2}} \left[0,886 + 4,64\left(\frac{a}{W}\right) - 13,32\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 14,72\left(\frac{a}{W}\right)^3 - 5,60\left(\frac{a}{W}\right)^4 \right] \quad (4)$$

Vrijednost K_Q određena relacijom (3) može se uzeti kao važeća vrijednost lomne žilavosti K_{Ic} jedino ako su zadovoljeni standardnom određeni sljedeći zahtjevi:

$$0,45 \leq a/W \leq 0,55, \quad (5a)$$

$$B, a \geq 2,5 \left(\frac{K_Q}{\sigma_{YS}} \right)^2, \quad (5b)$$

$$P_{max} \leq 1,10 \cdot P_Q. \quad (5c)$$

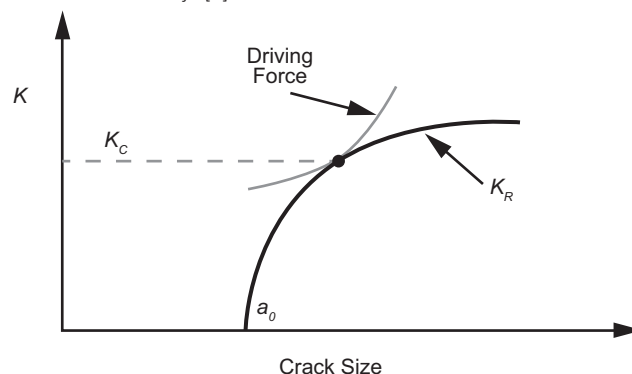
Zbog strogih zahtjeva standarda ASTM E 399, vrlo je teško a ponekad i nemoguće odrediti lomnu žilavost K_{Ic} za većinu materijala. Materijal mora biti relativno krt ili ispitni uzorak vrlo velik da bi dobivene vrijednosti bile vjerodostojne.

3.2 Određivanje krivulje K-R

Za razliku od prethodne metode određivanja lomne žilavosti (K_{Ic} testing) u kojoj se lomna žilavost određuje na osnovi samo jedne (određene) točke na otpornoj R krivulji, u ovoj metodi koja je određena standardom ASTM E 561 [11] određuje se cijela R krivulja na osnovu koje se zatim računa lomna žilavost. Ova metoda se koristi pri određivanju lomne žilavosti duktilnih materijala te je pogodna za ispitivanje tankih limova, pošto standard ASTM E 561 ne sadržava zahtjev o minimalnoj debljini ispitnog uzorka.

Tipična $K-R$ krivulja (Slika 3.2) za materijal sa pretežno linearno elastičnom karakteristikom je na početku strma, sa malim ili nikakvim rastom pukotine dok se opterećenje povećava. Nakon što pukotina počinje rasti, R krivulja postaje ravna.

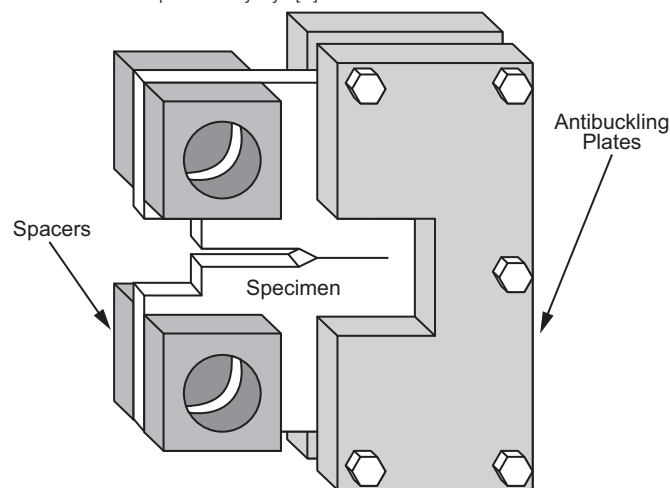
Slika 3.2: $K-R$ krivulja [1]



Na Slici 3.2 vidljivo je da se kritično opterećenje K_c može definirati kao vrijednost opterećenja u točki gdje krivulja opterećenja (narinuta sila) tangentno dodiruje R krivulju. Ta točka ne ovisi o svojstvu ispitivanog materijala, već o obliku krivulje sile koja ovisi o veličini i geometriji loma. Vrijednost K_c sa Slike 3.2 odgovara vrijednosti P_{max} na krivulji *Type I* (Slika 3.1).

Ispitni uzorak u $K-R$ metodi određivanja lomne žilavosti nije konvencionalnih dimenzija (objašnjenih u poglavlju 3.1), iz razloga što se većinom ispituju tanki limovi. Problem koji se javlja pri ispitivanju tankih epruveta je njihova podložnost izvijanju, što dovodi do kombiniranog odcjepno-vijčanog (*Mode I - Mode III*) otvaranja pukotine. Da bi se to spriječilo, ispitna epruveta se postavlja u nosač koji sprječava izvijanje (Slika 3.3).

Slika 3.3: Nosač protiv izvijanja [1]

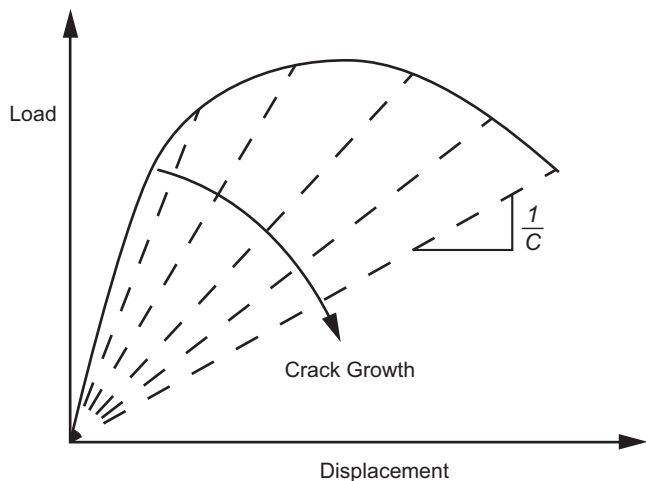


Pri tome treba voditi računa da nosač nije stisnut tako da ne bi preuzimao dio opterećenja, te se još između dodirnih površina epruvete i nosača stavlja podmazujuće sredstvo (najčešće teflon) da se maksimalno smanji trenje odnosno otpor gibanju epruvete.

Iako standard ASTM E 561 definira više alternativnih metoda za izračunavanje lomne žilavosti K_I i duljinu loma, najbolji način ovisi o relativnoj veličini plastične zone. Da bi se to objasnilo,

razmotrit će se prvo slučaj bez plastičnosti gdje R krivulja izgleda kao na sljedećoj slici.

Slika 3.4: R krivulja u slučaju kad nema plastičnosti [1]

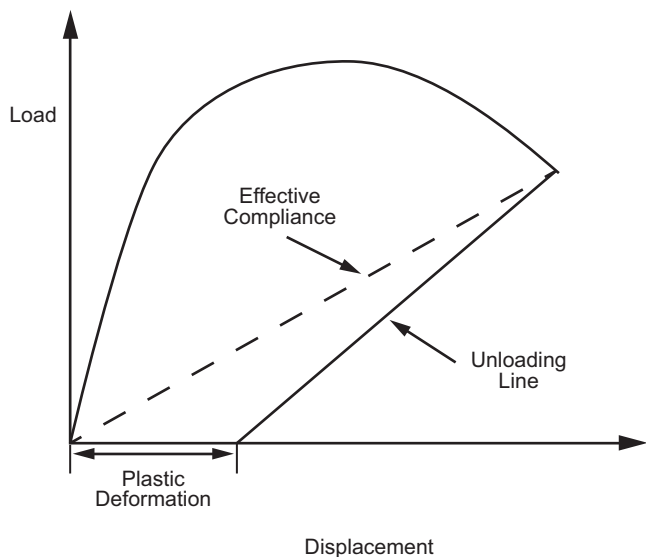


Vrijednost lomne žilavosti u određenom trenutku ovisi o trenutnoj vrijednosti sile (opterećenja) i duljine loma, te se računa prema sljedećem izrazu:

$$K_I = \frac{P}{B\sqrt{W}} f(a/W) \quad (6)$$

Međutim, u praksi svi materijali imaju barem malo plastičnosti. U tom slučaju, ako se ispitna epruveta odtereti (opterećenje se smanji na nulu) prije loma R krivulja se neće vratiti u početno stanje nego će ostati određena vrijednosti plastične deformacije u ispitivanom uzorku (Slika 3.4).

Slika 3.5: R krivulja u slučaju plastičnosti [1]



Vrijednost naprezanja je sada potrebno korigirati za veličinu nastale plastične deformacije. ASTM standard definira jednu od metoda za određivanje efektivne duljine loma a_{eff} , a to je Irwin korekcija plastične zone koja određuje da se efektivna duljina pukotine izračuna kao:

$$a_{eff} = a + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K}{\sigma_{ys}} \right)^2 \quad (7)$$

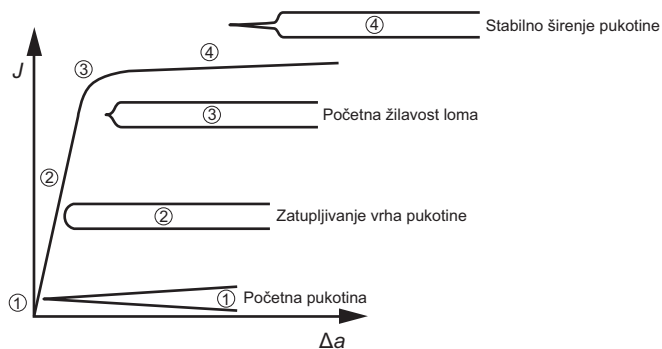
Tada je efektivna vrijednost lomne žilavosti, a koja je u stvari i tražena lomna žilavost materijala K_{Ic}

$$K_{eff} = \frac{P}{B\sqrt{W}} f(a_{eff}/W) \quad (8)$$

3.3 Određivanje J integrala

Begley i Landes [12] prvi su istražili valjanost J integrala kao parametra loma te doveli u vezu promjenu vrijednosti J integrala i povećanja pukotine Δa putem J - R krivulje. Istražili su i ponašanje pukotine u različitim fazama žilavog loma (Slika 3.6). [2]

Slika 3.6: Ponašanje vrha pukotine tijekom žilavog loma [2]



Predložili su uporabu J integrala kao parametra loma kako bi označili početak žilavog loma, točka 3 na Slici 3.6. Ta je vrijednost J integrala označena kao J_{Ic} , tj. kritična vrijednost J integrala pri odcjepnom načinu širenja pukotine kod žilavog loma.

Postupak određivanja J integrala, pri eksperimentalnom ispitivanju CT uzorka, definiran je standardom ASTM E 1820-1 [13] i BS 7448:Part 1 [9].

Konstrukcija J - R krivulje

J - R krivulja predstavlja odnos između vrijednosti J integrala za pukotinu koja se širi, Δa . Najveća vrijednost J integrala za pojedinu je epruvetu manjom vrijednošću od dva navedena izraza:

$$J_{max} = \frac{b \cdot \sigma_Y}{20}, \quad (9)$$

$$J_{max} = \frac{B \cdot \sigma_Y}{20}, \quad (10)$$

gdje je σ_Y srednja vrijednost između naprezanja na granici plastičnosti materijala i vlačne čvrstoće materijala.

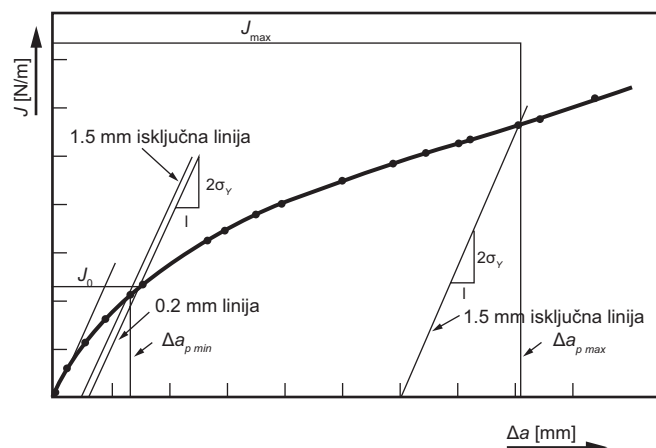
Najveća vrijednost produljenja pukotine za pojedinu CT epruvetu zadana je:

$$\Delta a_{\max} = 0,25 \cdot (W - a_0) \cdot \quad (11)$$

Vrijednosti $J_{\max}$ i $\Delta a_{\max}$ određuju područje valjanih rezultata dijagrama J - R (Slika 3.7). Sve točke J - R krivulje izvan područja određenog s $J_{\max}$ i $\Delta a_{\max}$ se ne uzimaju u daljnje razmatranje. Vrijednosti J integrala za pojedino produljenje pukotine računaju se prema izrazu

$$J_{p_{i+1}} = \left[J_{p_i} + \frac{\eta_{A_{i,j+1}}}{B \cdot b_i} \right] \left[1 - \gamma_i \frac{a_{i+1} - a_i}{b_i} \right] \cdot \quad (12)$$

Slika 3.7: Konstruiranje J - R krivulje [2]



Kako bi se iz J - R krivulje odredila vrijednost parametra lomne žilavosti, J_{lc} , potrebno je skup podataka (J_i , Δa_i) opisati jednadžbom

$$\ln J = \ln C_1 + C_2 \ln(\Delta a) \cdot \quad (13)$$

koja će dati traženu krivulju. Samo određeni segment J - R krivulje je pogodan za daljnji postupak, a on se određuje konstruiranjem isključnih linija. Prvi je korak postavljanje konstrukcijske linije određene jednadžbom

$$J = 2\sigma_y \Delta a \cdot \quad (14)$$

Paralelno s njom povlače se linije koje prolaze kroz $\Delta a = 0,15; 0,2; 0,5; 1,5$ mm. Vrijede samo podaci koji su omeđeni isključnim linijama što prolaze kroz $\Delta a = 0,15$ i $1,5$ mm te ispod granične vrijednosti

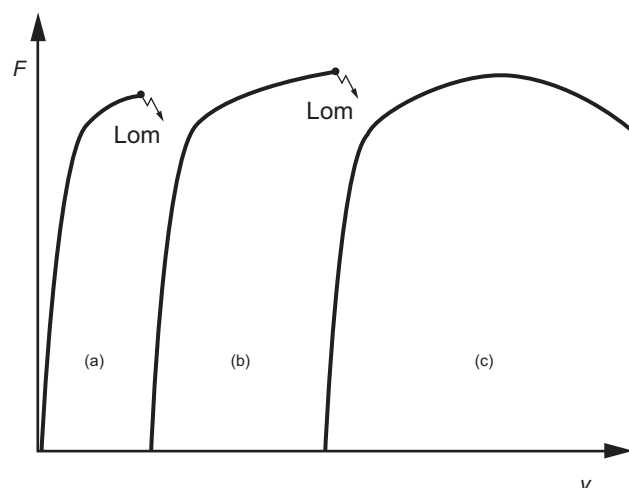
$$J_{\lim} = \frac{(W - a_0)\sigma_y}{15} \cdot \quad (15)$$

Najmanje jedan podatak mora ležati na J - R krivulji između isključnih linija koje prolaze kroz $\Delta a = 0,15$ i $0,5$ mm te $\Delta a = 0,5$ i $1,5$ mm kako bi se osigurao ravnomjeran raspored podataka. Presjecištem J - R krivulje i linije paralelne konstrukcijskoj povučenoj kroz $\Delta a = 0,2$ mm određena je vrijednost J_Q , koja se može smatrati vrijednošću parametra lomne žilavosti, J_{lc} , za ispitivani materijal ako je zadovoljen uvjet:

$$B, (W - a_0) \geq 25 \frac{J_Q}{\sigma_y} \cdot \quad (16)$$

No, ovo vrijedi za slučaj kad je ispitivanjem moguće dobiti kompletnu J - R krivulju (slučaj c na Slici 3.8), odnosno prilikom ispitivanja duktilnih materijala gdje imamo stabilno širenje pukotine.

Slika 3.8: Dijagram opterećenje-pomak pri ispitivanju lomne žilavosti [2]



U slučajevima kod kojih dolazi do nestabilnog širenja pukotine, prikazane na dijagramima a) i b) (Slika 3.8), vrijednost parametra lomne žilavosti J_Q može se uzeti samo kao privremena vrijednost koja se kasnije može, uz zadovoljavanje određenih uvjeta, okarakterizirati kao pravi parametar lomne žilavosti, J_{lc} . Za CT epruvete J_Q se sastoji od elastične i plastične komponente:

$$J_Q = J_{el} + J_{pl} \cdot \quad (17)$$

Elastična komponenta se određuje prema izrazu

$$J_{el} = \frac{K^2 (1 - \nu^2)}{E} \cdot \quad (18)$$

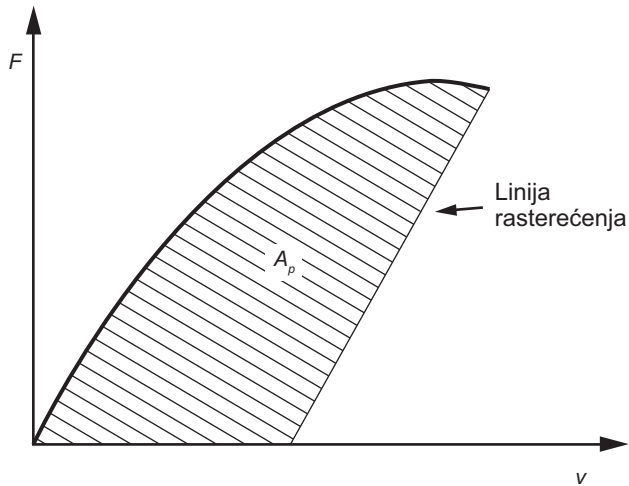
gdje se K računa prema relaciji (7) ako CT uzorak nema bočnog utora. U slučaju kad uzorak ima bočni utor (Slika 2.3), K se računa:

$$K = \frac{P}{\sqrt{B B_N W}} f(a/W) \cdot \quad (19)$$

Plastična komponenta parametra lomne žilavosti, J_{pl} , određuje se prema slijedećem izrazu:

$$J_{pl} = \frac{A_p}{B \cdot b} \left(2 + 0,522 \frac{b}{W} \right) \cdot \quad (20)$$

a površina A_p jest površina ispod krivulje opterećenje-pomak za plastičnu deformaciju (Slika 3.9).

Slika 3.9: Određivanje površine A_p iz dijagrama opterećenje-pomak [2]

Širenje pukotine, Δa , se smatra zanemarivim ako vrijedi

$$\Delta a \leq 0,2mm + \frac{J_Q}{2\sigma_Y} \quad (21)$$

Ako J_Q zadovoljava uvjet (10), uz

$$B, (W - a_0) \leq 200 \frac{J_Q}{\sigma_Y} \quad (22)$$

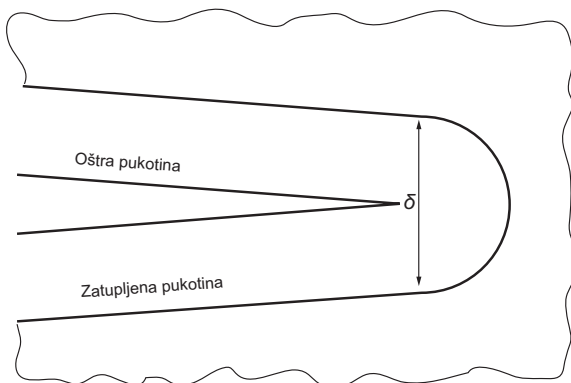
onda je $J_Q = J_u$, tj. privremeni parametar lomne žilavosti odgovara pravoj vrijednosti parametra lomne žilavosti kod nestabilnog širenja pukotine te je neovisna o geometriji epruvete i svim dimenzijama, osim debljine.

Ukoliko uvjet (21) nije zadovoljen, $J_Q = J_u$, gdje J_u označava vrijednost J integrala kao parametra lomne žilavosti kod koje ne postoji neovisnost o geometriji i dimenzijama epruvete. J_u označava vrijednost kod koje može doći do loma ispitivane strukture i ne može se koristiti u druge svrhe osim usporedbe parametara lomne žilavosti i različitih materijala, uz uvjet da su epruvete jednake geometrije i dimenzija.

3.4 CTOD postupak

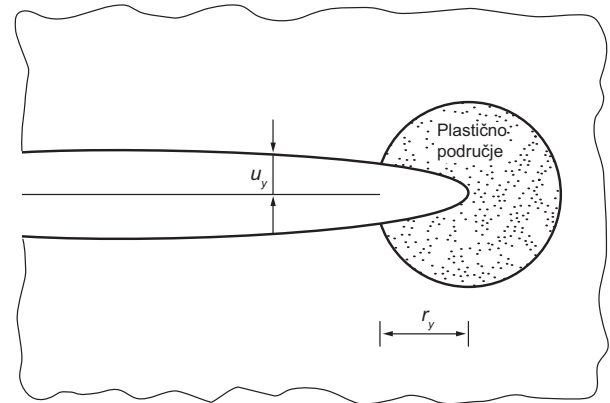
Ispitujući vrijednosti lomne žilavosti za različite čelike, Wells [8] je primijetio da su se kod dijela tih materijala stranice pukotine razmaknule prije samog loma. Uslijed plastične deformacije došlo je do zatupljivanja vrha pukotine (Slika 3.10), koje je bilo veće s većom žilavošću materijala.

Slika 3.10: Otvaranje vrha pukotine [2]



Dakle, vrh pukotine sada nije oštar nego "otupljen" (eng. *blunt*). Takvo zamjetno plastično ponašanje materijala pri vrhu

pukotine nije se moglo opisati principima linearno elastične mehanike loma te je zato Wells predložio parametar otvaranja vrha pukotine CTOD (eng. *crack tip opening displacement*) kao mjeru lomne žilavosti.

Slika 3.11: Pomak u_y i korektivni izraz za postojanje plastičnog područja, r_y kod otvaranja vrha pukotine, CTOD [2]

Postupak eksperimentalnog određivanja lomne žilavosti CTOD metodom određen je standardima ASTM E 1290 [10], te BS 7448 [9] i ASTM E 1820 koji kombiniraju metode određivanja K_{Ic} , J integrala i CTOD u jedan standard.

ASTM E 1820 standard propisuje dvije procedure određivanja CTOD-a kao parametra lomne žilavosti: osnovnu proceduru i proceduru određivanja CTOD-a pomoću otporne (R) krivulje. Standard ASTM E 1290 propisuje metodu sličnu osnovnoj proceduri, a u ovom radu razmotrit će se metode određivanja lomne žilavosti prema ASTM E 1820 standardu.

Osnovna procedura ne uzima u obzir stabilni rast pukotine kao veličinu za određivanje lomne žilavosti, već samo otvaranje pukotine koje se odvaja na elastični i plastični dio.

Elastični dio vrha otvaranja pukotine određuje se iz sljedećeg izraza:

$$\delta_{el} = \frac{K^2 (1 - \nu^2)}{2 \cdot \sigma_{YS} \cdot E} \quad (23)$$

gdje je elastični faktor intenzivnosti naprezanja, K , određen relacijom (6).

Plastični dio određuje se nakon što se CT uzorak podvrgne eksperimentalnom ispitivanju na način da se uzorak simetrično rotacijski plastično deformira. Pri tome je plastični dio

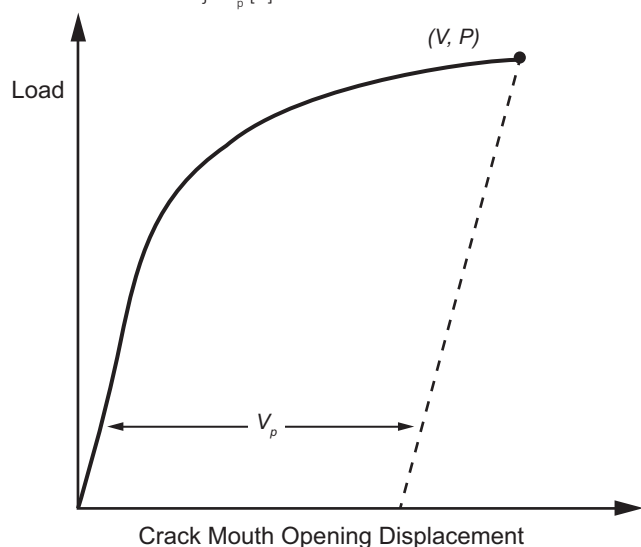
$$\delta_{pl} = \frac{r_p (W - a_0) \cdot V_p}{r_p (W - a_0) + a_0 + z} \quad (24)$$

Pri tome veličine iz relacije (24) za CT uzorak jesu:

$$r_p = 0,4 \cdot \left\{ 1 + 2 \cdot \left[\left(\frac{a_0}{b_0} \right)^2 + \frac{a_0}{b_0} + 0,5 \right]^{1/2} - 2 \cdot \left[\frac{a_0}{b_0} + 0,5 \right] \right\} \quad (25)$$

$$z = 0, \quad (26)$$

$$V_p = \Delta \quad (27)$$

Slika 3.12: Određivanje V_p [1]

Pri metodi određivanja CTOD-a pomoću otporne (R) krivulje, CTOD jednadžba se mora kontinuirano korigirati sa trenutnom duljinom pukotine. Za i -tu mjernu točku pri ispitivanju, CTOD je određen

$$\delta_{(i)} = \frac{K_{(i)}^2 (1 - \nu^2)}{2 \cdot \sigma_{YS} \cdot E} + \frac{[r_{p(i)} (W - a_i) + \Delta a_i] \cdot V_{p(i)}}{[r_{p(i)} (W - a_i) + a_i + z]}, \quad (28)$$

gdje je a_i trenutna duljina pukotine dok je

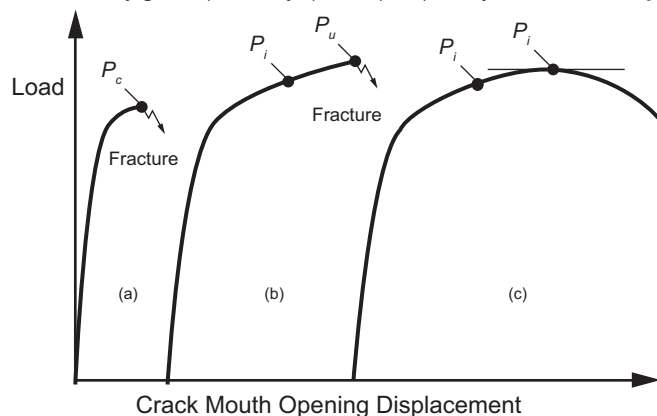
$$\Delta a_i = a_i - a_0. \quad (29)$$

Pri tome se faktor intenzivnosti naprezanja računa sa trenutnom duljinom pukotine a_i , dok se faktor plastičnosti također kontinuirano preračunava na račun rasta pukotine:

$$r_p = 0,4 \cdot \left\{ 1 + 2 \cdot \left[\left(\frac{a_0}{b_0} \right)^2 + \frac{a_0}{b_0} + 0,5 \right]^{1/2} - 2 \cdot \left[\frac{a_0}{b_0} + 0,5 \right] \right\}. \quad (30)$$

Već smo rekli, kod metode određivanja J integrala, da pri ispitivanju CT uzorka na lomnu žilavost može doći do tri vrste odziva, prikazana na Slici 3.13.

Slika 3.13: Dijagram opterećenje-pomak pri ispitivanju lomne žilavosti [1]



Krivulja (a) na Slici 3.13 prikazuje test pri kojem je do nestabilnog loma došlo pri opterećenju P_c , a kojem nije prethodilo značajnije stabilno širenje pukotine. Veličina otvora pukotine δ_c neposredno prije loma uzima se kao privremena vrijednost parametra lomne žilavosti δ_Q koji se, uz zadovoljavanje uvjeta

$$b_0 \geq 35 \cdot \delta_Q, \quad (31)$$

može okarakterizirati kao pravi parametar lomne žilavosti.

Krivulja (b) predstavlja test pri kojem nestabilnom lomu prethodi stabilno širenje pukotine pri opterećenju P_i . Za privremenu vrijednost parametra lomne žilavosti δ_Q uzima se veličina δ_u neposredno prije loma pri opterećenju P_u . Privremena vrijednost se može okarakterizirati kao pravi parametar lomne žilavosti δ_Q ako je zadovoljen uvjet

$$\Delta a \geq 0,2mm + \frac{\delta_u}{M_\delta}, \quad (32)$$

odnosno u slučaju da je

$$\Delta a < 0,2mm + \frac{\delta_u}{M_\delta}, \quad (33)$$

dodatni uvjet koji mora biti zadovoljen je

$$B, b_0 \geq 300 \cdot \delta_c. \quad (34)$$

Krivulja (c) se dobije prilikom testa na potpuno duktilnim materijalima gdje je uzorak stabilan i nakon maksimalnog opterećenja P_m te ne dolazi do loma. U tom slučaju se za vrijednost parametra lomne žilavosti uzima veličina δ_m pri maksimalnom opterećenju P_m . Tri parametra lomne žilavosti, δ_c , δ_u i δ_m međusobno se isključuju, odnosno ne mogu se odrediti pri istom ispitivanju nego se određuju svaka pri zasebnom eksperimentalnom ispitivanju.

4. ZAKLJUČAK

Postoje četiri standardizirana postupka određivanja parametra lomne žilavosti: određivanje K_{Ic} , određivanje krivulje $K-R$, određivanje J integrala, CTOD postupak. Svaki postupak neovisan je od drugih, a izbor postupka ovisi o materijalu koji se ispituje te o dimenzijama, ponajviše širini, uzorka.

Između standardiziranih postupaka, ističe se postupak određivanja J integrala koji se može koristiti za karakteriziranje pukotina u nelinearno elastičnom, ali i linearno elastičnom području. J integral se može dovesti u vezu sa stanjem naprezanja pri vrhu pukotine, koeficijentom intenzivnosti naprezanja K i otvaranjem pukotine CTOD. Sve ga ovo čini široko korištenim parametrom u mehanici loma kojemu je jedina ograničenja predstavljaju primjenjivost za monotono opterećenje u elastoplastičnom području te pretpostavka o zanemarivim deformacijama pomoću koje je izvedena neovisnost J integrala o liniji integriranja, veza s poljem naprezanja pri vrhu pukotine i s otvaranjem pukotine.

LITERATURA

- [1] T. L. Anderson, Fracture Mechanics, Taylor&Francis, Boca Raton, 2005.
- [2] G. Vukelić, Numerička analiza procesa širenja pukotina konstrukcija, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet, Rijeka, 2011.
- [3] J. Brnić, G. Turkalj, Nauka o čvrstoći II, Zigo, Rijeka, 2006.
- [4] E399-90, Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials, ASTM, Philadelphia, PA, 1990 (Reapproved 1997).
- [5] BS 5447, Methods of Testing for Plane Strain Fracture Toughness (K_{Ic}) of Metallic Materials, BSI, London, 1974.
- [6] H. Toda, P. C. Paris, G. R. Irwin, The Stress Analysis of Cracks Handbook 2nd Edition, Paris Productions, St. Louis, MO, 1985.
- [7] A. A. Wells, Application of Fracture Mechanics at and Beyond General Yielding, Britttish Welding Journal, Vol. 10, pp. 563-570, 1963.
- [8] A. A. Wells, Unstable Crack Propagation in Metals: Cleavage and Fast Fracture, Proceeding of the Crack Propagation Symposium, Vol. 1, Paper 84, Cranfield, UK, 1961.
- [9] BS 7448:Part 1, Fracture Mechanics Toughness Test, Part 1, Method for Determination of K_{Ic} , Critical CTOD and Critical J Values of Mettalic Materials, BSI, London, UK, 1991.
- [10] E 1290-02, Standard Test Method for Crack Tip Opening Displacement Fracture Tuoghness Measurement, ASTM, Philadelphia, PA, 2002.
- [11] E 561-98, Standard Practice for R-Curve Determination, ASTM, Philadelphia, PA, 1998.
- [12] J. A. Begley, J. D. Landes, The J integral as Fracture Criterion, Fracture Toughness, ASTM STP 514, ASTM, Philadelphia, PA, 1972.
- [13] E 1820-01, Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness, ASTM, Baltimore, MD, 2005.
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Fracture_toughness (08. svibnja 2012.)
- [15] <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Mechanical/FractureToughness.htm> (09. svibnja 2013.)
- [16] http://www.thetestlab.com/pdf/ASTM-D5045_Fracture_Toughness_Testing.pdf (11. svibnja 2013.)
- [17] http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/97ClassProj/exper/mcmurtry/www/matt.html (12. svibnja 2013.)
- [18] http://enr.bd.psu.edu/rxm61/METBD470/Lectures/Lab%207_Fracture%20Toughness.ppt (13. svibnja 2013.)

KAMATE PO ZAKONU O OBVEZNIM ODNOSIMA

Interests based on the Civil Obligations Act

Autor **Luka Šumberac**, mag. iur.

SAŽETAK

U ovome radu prikazuje se pravno uređenje kamata po Zakonu o obveznim odnosima ("Narodne novine", br. 35/05, 41/08, 125/11), čiji je dio odredaba stupio na snagu 1.1.2006. godine, a dio dvije godine kasnije – 1.1.2008. godine. Prikaz započinje definicijama kamata uz nastavno pojmovno određenje pojedinih vrsta kamata. Glavnina rada obrađuje ugovorne i zatezne kamate, uz sadržane izračune kamatnih stopa s obzirom na visinu eskontne stope Hrvatske narodne banke u pojedinim razdobljima od 2008. do 2012. godine i s obzirom na pojedine subjekte u obveznim odnosima. Posebno je izložen i dio Zakona o kamatama ("Narodne novine", br. 94/04 i 35/05) koji je ostao na snazi nakon stupanja na snagu Zakona o obveznim odnosima, a odnosi se na obračunavanje zatezne kamate i primjene pojedinih matematičkih formula. Na kraju rada prikazana je zastara tražbina kamata.

KLJUČNE RIJEČI: Zakon o obveznim odnosima, kamate, ugovorne kamate, zatezne kamate, kamatna stopa, anatocizam, Zakon o kamatama, zastara

ABSTRACT

This work deals with the legal regulation of interests based on the Civil Obligations Act (Official Gazette no. 35/05, 41/08 and 125/11), from which one part of the provisions is taking effect since January 1 2006, and the other part two years later – January 1 2008. The presentation begins with the definitions of interests, which is followed by a conceptual disposition of different types of interests. The work deals with contractual and default interests, with calculations of interest rates relating to the height of the Croatian National Bank's discount rate in particular periods from 2008 until 2012, and relating to certain entities in contractual relations. It is particularly exposed the part of Interest Act (Official Gazette no. 94/04 and 35/05) which remained in force after the enforcement of the Civil Obligations Act, and it refers to the calculation of default interest and application of individual mathematical formulas. The paper ends with the overview on the statute of limitation for interest claim.

KEY WORDS: Civil Obligations Act, interests, contractual interests, default interests, interest rate, anatocism, Interest Act, statute of limitation

1. UVOD

Zakon o obveznim odnosima ("Narodne novine", br. 35/05, 41/08 i 125/11 – Zakon o rokovima ispunjenja novčanih obveza; dalje: ZOO), kojim su uređene osnove obveznih odnosa (opći dio) te ugovorni i izvanugovorni odnosi (posebni dio), objavljen je u "Narodnim novinama" 17.03.2005. godine te je sukladno članku 1165. ZOO-a stupio na snagu 1. siječnja 2006. godine, čime se uočava *vacatio legis* od devet mjeseci i 14 dana. No, nisu se sve odredbe toga Zakona počele primjenjivati od 1. siječnja 2006. godine. Naime, navedenim člankom 1165. ZOO-a propisano je da se odredbe članka 26. stavka 1. – 3. i članka 29. stavka 2. – 6. i stavka 8., koje se odnose na stopu ugovornih i zateznih kamata, počinju primjenjivati nakon isteka dvije godine od dana stupanja na snagu toga Zakona, što znači da su se počele primjenjivati od 1. siječnja 2008. godine. Do stupanja na snagu ZOO-a ovo je pravno područje bilo regulirano Zakonom o obveznim odnosima ("Narodne novine", br. 53/91, 73/91, 111/93, 3/94, 7/96, 91/96, 112/99 i 88/01; dalje: ZOO/91).

Odredbe ZOO-a o kamatama usklađene su s pravnom stečevinom Europske unije, i to s Direktivom 2000/35/EZ (Directive 2000/35/EC of the European Parliament and of the Council of 29 June 2000 on combating late payment in commercial transactions (objavljeno u: Official Journal of the European Communities, L 200/35, 8.8.2000.).

U ovome radu obrađeno je pravno područje zateznih i ugovornih kamata kao nužnog okvira uređenja ekonomskih i pravnih odnosa u društvu.

2. DEFINICIJA KAMATA

Kamate su naknada za korištenje tuđih zamjenjivih, pokretnih stvari, najčešće novca¹. Druga definicija jest da se kamate najčešće određuju kao naknada za korištenje tuđeg novca ili

¹ Klarić, Petar; Vedriš, Martin, Građansko pravo, Zagreb, Narodne novine d.d., Zagreb, 2006., str. 398.

drugih zamjenjivih (generičnih) stvari, tj. stvari određenih po rodu².

Kamate su u ZOO uvrštene u glavu IV. "vrste obveza", odjeljak 1. "novčane obveze", s time da su ugovorne kamate uređene odsjekom 2., a zatezne odsjekom 3. Valja naglasiti da ZOO ne definira izričito pojam kamata.

3. VRSTE KAMATA

Aktivne i pasivne kamate razlikujemo prema ulozi stranke, davatelja ili primatelja zajma, odnosno kredita (ova distinkcija kamata najčešće se vezuje uz banke, jer su one aktivni primatelji depozita i davatelji kredita). Aktivne kamate banka obračunava na dane kredite, a pasivne priznaje na primljene depozite. Aktivne su kamate pravo, a pasivne obveza.

Fiksne ili promjenjive kamate razlikujemo s obzirom na kamatnu stopu. Fiksne kamate pretpostavljaju fiksnu kamatnu stopu, tj. određeni postotak koji se ne mijenja prema tržišnim prilikama odnosno financijskim kretanjima. Nastuprot tome, promjenjive kamate podrazumijevaju promjenjivu stopu, ovisnu o inflaciji ili drugim čimbenicima na tržištu novca.

Mjениčne kamate plaćaju se na mjениčni dug, a mogu biti ugovorne i zatezne, te diskontne.

Interkalarne kamate jesu ugovorne kamate, a predstavljaju naknadu za vrijeme odgođenog plaćanja glavnice. Kamate se ubacuju u neko međuvrijeme pa im odatle i ime. Primjerice, dužniku može biti odobreno neko vrijeme počeka za otplatu glavnice (tzv. respiro odnosno grace period), ali se i kroz to razdoblje dug servisira, kamate se otplaćuju.

Anuitetne kamate izračunavaju se uz glavicu, pa se i otplaćuju zajedno s njom godišnje (ili polugodišnje), tako da su svi anuitetni obroci jednaki, iako se udio kamata u pojedinom anuitetu s vremenom smanjuje (budući da se tijekom otplate smanjuje osnovica za obračun kamata).

Zakonske (legalne) i ugovorne (konvencionalne) kamate razlikuju se prema načinu utvrđivanja kamatnih stopa.

Službene kamate jesu kamate koje su utvrđene propisom, dok su tržišne kamate one kamate koje su određene ponudom i potražnjom na tržištu.

Eskontne (diskontne) kamate primjenjuju se pri kupnji nedospjelih tražbina, npr. mjenice prije dospijeca. Kod ovih kamata radi se o svoti (postotku) koja se odbija od nominalne svote tražbine (npr. vrijednosnog papira)³.

Valja razlikovati, a ne poistovjećivati izraze **zakonska kamata** odnosno **zakonska kamatna stopa** sa zateznim kamatama ili njihovom stopom. Zakonske kamate mogu biti i ugovorne i zatezne, iako se ugovorne u pravilu ugovaraju, a zatezne u pravilu određuje zakon.

Pojam kamata nadovezuje se na pojmove glavnice i kamatne stope;

- **glavnica** je svota novčane tražbine (odnosno količina generičnih stvari) na koju se obračunavaju kamate, a

- **kamatna stopa** je postotak prema kojem se obračunavaju kamate (novčani iznos, odnosno količina generičnih stvari) na glavicu. Kamatna stopa određuje se ugovorom ili zakonom⁴.

Kamatna svota može ovisiti o:

- **kamatnoj stopi** koja je važan element za utvrđenje visine kamata,
- **razdoblju** ukamaćivanja (odnosno obračunavanja kamata), npr. godišnje (per annum, p.a.), mjesečno, dnevno i
- **metodi obračuna**: prakticiraju se dva načina obračunavanja kamata, jednostavni i složeni. Oba načina mogu se primijeniti anticipativno i dekurzivno.⁵

4. UGOVORNE KAMATE

Ugovorne kamate (lat. *usurae conventionales*) u pravilu se ugovaraju (npr. građanskopravni ugovor o zajmu uređen člankom 500. stavkom 1. ZOO-a⁶), ali njihova obveza može postojati i po samom Zakonu, dakle, čim je sklopljen ugovor određene vrste (npr. trgovački ugovor o zajmu uređen člankom 500. stavkom 2. ZOO-a⁷). Također, prema samoj definiciji ugovora o kreditu iz članka 1021. ZOO-a korisnik kredita se obvezuje, između ostalog, banci plaćati ugovorene kamate⁸.

4.1. Stope ugovornih kamata prema sudionicima ugovornog odnosa

Kogentnim (prisilnim, *ius cogens, ius strictum*) odredbama članka 26. ZOO-a, stopa ugovornih kamata veže se uz stopu zateznih kamata⁹.

Visina najviše dopuštene stope ugovornih kamata ovisi o statusu subjekta u konkretnom obveznopravnom odnosu (načelo *ratione personae*):

- stopa ugovornih kamata **između osoba od kojih barem jedna nije trgovac** ne može biti viša od stope zakonskih zateznih kamata koja je vrijedila na dan sklapanja ugovora, odnosno na dan promjene ugovorne kamatne stope, ako je ugovorena promjenjiva kamatna stopa (čl. 26. st. 1. ZOO-a). Stopa zateznih kamata iznosi u 2008., 2009., 2010. i u prvom polugodištu 2011. godine 14 % godišnje, dok u drugom polugodištu 2011. i u 2012. godini iznosi 12 % godišnje – ugovorena stopa ugovornih kamata ne može, dakle, prelaziti taj postotak. To je tzv. niža razina visine ugovaranja ugovornih kamata.
- stopa ugovornih kamata **između trgovaca, odnosno trgovca i osobe javnog prava** ne može biti viša od stope zakonskih zateznih kamata određene sukladno stavku 1. članka 26.,

⁴ Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate – pravna viđenja nakon 1. siječnja 2008. – u: Tradicionalno XXIII. savjetovanje, Aktualnosti hrvatskog zakonodarstva i pravne prakse, godišnjak 15, Organizator, Zagreb, 2008. (dalje: Momčinović/2008), str. 93.

⁵ Giunio, op. cit., str. 17.-18.

⁶ Zajmoprimac se može obvezati da uz glavicu duuguje i kamate (čl. 500. st. 1. ZOO-a).

⁷ U trgovačkim ugovorima zajmoprimac duuguje kamate iako nisu ugovorene (čl. 500. st. 2. ZOO-a).

⁸ Ugovorom o kreditu banka se obvezuje korisniku kredita staviti na raspolaganje određeni iznos novčanih sredstava, na određeno ili neodređeno vrijeme, za neku namjenu ili bez utvrđene namjene, a korisnik se obvezuje banci plaćati ugovorene kamate i iskorišteni iznos novca vratiti u vrijeme i na način kako je ugovoreno (čl. 1021. ZOO-a).

⁹ Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate prema novom Zakonu o obveznim odnosima (Nar. nov., br. 35/05), u: Giunio, Miljenko; Sessa, Đuro; Kirchbaum, Radovan; Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate, Novi informator, Zagreb, 2005. (dalje: Momčinović/2005), str. 147.

² Giunio, Miljenko, Ugovorne i zatezne kamate – zakonsko uređenje i praksa, u: Giunio, Miljenko; Sessa, Đuro; Kirchbaum, Radovan; Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate, Novi informator, Zagreb, 2005., str. 15.

³ Ibid., str. 15.-17.

uvećane za polovinu te stope (čl. 26. st. 2. ZOO-a). Dakle, sukladno čl. 26. st. 1. stopa zakonskih zatezних kamata iznosi 14 % godišnje (dok polovina te stope iznosi 7 % godišnje), odnosno 12 % godišnje (dok polovina te stope iznosi 6 % godišnje), dolazi se do zaključka da maksimalno dopuštena ugovorena stopa ugovornih kamata u 2008.¹⁰, 2009., 2010. i u prvom polugodištu 2011. godine iznosi 21 % godišnje (14+7), dok u drugom polugodištu 2011. i u 2012. godini iznosi 18 % godišnje (12+6). To je tzv. viša razina visine ugovaranja ugovornih kamata.

Dakle, ako u ugovornom odnosu sudjeluje netrgovac, gornja granica niža je nego ako se kamate ugovaraju između trgovaca, odnosno između trgovca i osobe javnog prava.

U prvom slučaju maksimum je određen zakonskom stopom zatezних kamata, dok je u drugom slučaju dopušteno odstupanje na više, i to do 50 % ove stope.

Pojam trgovca uređen je člankom 1. Zakona o trgovačkim društvima ("Narodne novine", br. 111/93, 34/99, 212/99, 52/00, 118/03, 146/08, 137/09, 152/11 i 111/12, dalje: ZTD) koji određuje da je trgovac, ako tim Zakonom nije drugačije određeno, pravna ili fizička osoba koja samostalno trajno obavlja gospodarsku djelatnost radi ostvarivanja dobiti proizvodnjom, prometom robe ili pružanjem usluga na tržištu. Sukladno praksi nastaloj temeljem judikature i literature, trgovcima se smatraju i pojedinci koji samostalno obavljaju neku profesionalnu djelatnost (npr. obrtnici), ako nisu "trgovci pojedinci" (u smislu odredaba čl. 3. ZTD-a)¹¹.

Osoba koja nije trgovac definira se negativno: za potrebe primjene odredaba o kamatama to su sve (fizičke i pravne) osobe koje nisu ni trgovci, ni osobe javnog prava.¹²

Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o obveznim odnosima ("Narodne novine", br. 41/08, na snazi od 17. travnja 2008.) u članku 26. ZOO-a dodan je stavak 6. kojim je propisano da su, u smislu Zakona o obveznim odnosima, **osobe javnog prava** osobe koje su obvezne postupati po propisima o javnoj nabavi, osim trgovačkih društava. Dakle, to su osobe koje su člancima 3. i 4. Zakona o javnoj nabavi ("Narodne novine", br. 110/07 i 125/08, dalje: ZJN/07), koji je bio na snazi do 31.12.2011. godine, dakle do stupanja na snagu Zakona o javnoj nabavi ("Narodne novine", br. 90/11, dalje: ZJN/11) 1.1.2012. godine, navedene kao javni naručitelji (čl. 3.), odnosno naručitelji koji obavljaju djelatnost na području vodoopskrbe, energetike, prometa i poštanskih usluga (čl. 4.), odnosno one osobe koje su uvrštene u Popis obveznika primjene Zakona o javnoj nabavi (Uredba o popisu obveznika primjene Zakona o javnoj nabavi, "Narodne novine", br. 83/09, na snazi od 15.07.2009.).¹³ Člankom 1. ZJN/11 propisano je da se taj Zakon primjenjuje na naručitelje iz članaka 5. i 6. toga Zakona (st. 2.), kao i na druge subjekte kada je to određeno tim Zakonom (st. 3.). Riječ je o javnim naručiteljima (čl. 5.), sektorskim naručiteljima (čl. 6.), odnosno njihovom Popisu koji je određen Pravilnikom o popisu obveznika primjene Zakona o javnoj nabavi ("Narodne novine", br. 19/12, na snazi od 17.02.2012.).

4.2. Ugovorne kamate bez određene stope

Sukladno čl. 26. st. 3. ZOO-a, ako su kamate ugovorene, ali nije određena njihova stopa, vrijedi sljedeća ugovorna kamatna stopa:

- **između osoba od kojih barem jedna nije trgovac** vrijedi četvrtina stope zakonskih zatezних kamata (dakle, u 2008., 2009., 2010. i u prvom polugodištu 2011. godine kamatna stopa iznosi 3,5 % godišnje ($14\% / 4 = 3,5\%$), dok u drugom polugodištu 2011. i u 2012. godini iznosi 3 % godišnje ($12\% / 4 = 3\%$),
- **između trgovaca** vrijedi polovina stope zakonskih zatezних kamata (dakle, u 2008., 2009., 2010. i u prvom polugodištu 2011. godine kamatna stopa iznosi 7 % godišnje ($14\% / 2 = 7\%$), dok u drugom polugodištu 2011. i u 2012. godini iznosi 6 % godišnje ($12\% / 2 = 6\%$).

Ovdje osobe javnog prava nisu izjednačene s trgovcima, nego su u istom pravnom položaju kao osobe koje nemaju svojstvo trgovca.

4.3. Ugovaranje viših kamata od dopuštenih

Ako su ugovorene više kamate od dopuštenih, primijenit će se najviša dopuštena kamatna stopa (čl. 26. st. 4. ZOO-a). Ovo pravilo ističe kogentnu narav odredaba članka 26. ZOO-a¹⁴.

4.4. Razdoblje stope ugovornih kamata

Stopa ugovornih kamata odnosi se na razdoblje od jedne godine, dakle, određuje se godišnje – *per annum*.

4.5. Zabrana anatocizma – kamate na kamate

Ništetna je odredba ugovora kojom se predviđa da će na kamate, kad dospiju na isplatu, početi teći kamate ako ne budu isplaćene (čl. 27. st. 1. ZOO-a). Dakle, utvrđena je zabrana anatocizma, tj. kamata na kamate. Ali se može, uz ograničenja o stopi ugovorne kamatne stope iz čl. 26. ZOO-a, unaprijed ugovoriti povećana godišnja kamatna stopa, ako dužnik ne isplati dospjele kamate na vrijeme (čl. 27. st. 2. ZOO-a).

Navedena zabrana kapitalizacije ugovornih kamata ne odnosi se, sukladno čl. 27. st. 3. ZOO-a, "na pologe kod banaka i drugih financijskih institucija". To znači da se banke više ne mogu u svojim aktivnim kreditnim poslovima koristiti beneficijom ukamaćivanja dospjelih kamata, jer se zabrana anatocizma primjenjuje na kreditno, a ne na depozitno poslovanje banaka i drugih financijskih institucija¹⁵. Dakle, deponent i banka mogu valjano ugovoriti uglavničenje kamata na depozit kad depozit dospije na isplatu deponentu.¹⁶

4.6. Kamate u nenovčanim obvezama

Odredbe ZOO-a o ugovornim kamatama na odgovarajući način vrijede i za ostale obveze kojima su objekt činidbe stvari

¹⁰ Momčinović/2008., op. cit., str. 102.

¹¹ Ibid.

¹² Momčinović/2008., op. cit., str. 101.

¹³ Ibid., str. 101. i 102.

¹⁴ Momčinović/2005, loc. cit.

¹⁵ Člancima 990.-1001. ZOO-a uređen je bankarski novčani polog. Ugovor o novčanom pologu je sklopljen kad se banka obveže primiti, a položitelj položiti kod banke određeni novčani iznos (čl. 990. st. 1. ZOO-a). Ovim ugovorom banka stječe pravo raspolagati položenim novcem i dužna je vratiti ga prema uvjetima predviđenim u ugovoru (čl. 990. st. 2. ZOO-a).

¹⁶ Momčinović/2008., op. cit., str. 97.

određene po rodu, dakle generične stvari (čl. 28. ZOO-a). Za razliku od zateznih kamata koje su pripadak isključivo novčanih obveza, ugovorne kamate mogu se primjenjivati i kod novčanih i kod nenovčanih generičnih obveza.

5. ZATEZNE KAMATE

Dužnik koji zakasni s ispunjenjem novčane obveze duuguje, pored glavnice, i zatezne kamate (čl. 29. st. 1. ZOO-a). Zatezne kamate (lat. *usurae legales*) vezane su uz zakašnjenje s ispunjenjem samo novčanih obveza, dok je uz nenovčanu obvezu vezana ugovorna kazna.¹⁷

Uz utvrđenu zakonsku stopu zateznih kamata, moguće je i ugovoriti stopu zateznih kamata te se tada radi o ugovornoj stopi zateznih kamata. U određenim slučajevima postoji mogućnost primjenjivanja stope ugovornih kamata kao stope zateznih kamata.

5.1. Zakonska stopa zateznih kamata

Stopa zateznih kamata veže se uz eskontnu stopu Hrvatske narodne banke¹⁸ (koja se uvećava za određenu maržu, i to od osam, odnosno od pet postotnih poena¹⁹), a visina stope ovisi o statusu subjekta u konkretnom obveznopravnom odnosu. Stoga postoje i dvije stope zateznih kamata:

- na **odnose iz trgovačkih ugovora**²⁰ i **ugovora između trgovca i osobe javnog prava** određuje se, za svako polugodište, uvećanjem eskontne stope Hrvatske narodne banke koja je vrijedila zadnjeg dana polugodišta²¹ koje je prethodilo tekućem polugodištu za **osam** postotnih poena ($E + 8$), a
- u **ostalim odnosima** (dakle, ugovorni odnosi u kojima sudjeluju i netrgovci) – za **pet** postotnih poena ($E + 5$), (čl. 29. st. 2. ZOO-a).

“Ostali odnosi” obuhvaćaju i sve izvanugovorne odnose, pa i one u kojima sudjeluju subjekti iz prve skupine: kad je npr. riječ o izvanugovornoj šteti, makar se radilo o trgovcima, pri kašnjenju u plaćanju primjenjuje se niža zakonska stopa zateznih kamata ($E + 5$).

Stopa zateznih kamata utvrđuje se polugodišnje. Hrvatska narodna banka dužna je svakog 1. siječnja i 1. srpnja objaviti eskontnu stopu u “Narodnim novinama” (čl. 29. st. 8. ZOO-a)²². U razdoblju 2008., 2009., 2010. i u prvom polugodištu 2011. godine eskontna stopa Hrvatske narodne banke iznosi 9 % godišnje te to znači da: viša stopa zakonskih zateznih kamata ($E + 8$) koja se primjenjuje na odnose iz trgovačkih ugovora i ugovora između trgovca i osobe javnog prava, iznosi u promatranom razdoblju 17 % godišnje (9 % godišnje + 8 postotnih poena), dok niža stopa zateznih kamata ($E + 5$), koja se

primjenjuje u ostalim odnosima, iznosi u promatranom razdoblju 14 % godišnje (9 % + 5 postotnih poena). U razdoblju drugog polugodišta 2011. godine i u 2012. godini eskontna stopa Hrvatske narodne banke iznosi 7 % godišnje te to znači da viša stopa zakonskih zateznih kamata ($E + 8$) koja se primjenjuje na odnose iz trgovačkih ugovora i ugovora između trgovca i osobe javnog prava, iznosi u promatranom razdoblju 15 % godišnje (7 % godišnje + 8 postotnih poena), dok niža stopa zateznih kamata ($E + 5$), koja se primjenjuje u ostalim odnosima, iznosi u promatranom razdoblju 12 % godišnje (7 % + 5 postotnih poena).

Stopa zateznih kamata, kao i ona ugovornih, odnosi se na razdoblje od jedne godine, tj. *per annum* (čl. 29. st. 7. ZOO-a).

5.2. Mogućnost ugovaranja stope zateznih kamata – ugovor na stopu zateznih kamata

ZOO-om je izričito dopušteno ugovaranje stope zateznih kamata, dakle, drukčije od zakonske stope zateznih kamata. Kod **trgovačkih ugovora i ugovora između trgovca i osobe javnog prava** strane mogu ugovoriti drukčiju stopu zateznih kamata. Dakle, kad ugovori imaju ta obilježja, ugovorne strane mogu valjano ugovoriti stopu zateznih kamata za slučaj zakašnjenja s plaćanjem prema tim ugovorima.²³

Najviša stopa zateznih kamata koja se u takvim slučajevima može ugovoriti je stopa zakonskih zateznih kamata uvećana **za polovinu** te stope (čl. 29. st. 3. u vezi s čl. 26. st. 2. u vezi s čl. 26. st. 1. ZOO-a). Dakle, iz navedenih zakonskih odredaba proizlazi da najviša ugovorena stopa zateznih kamata može u razdoblju 2008., 2009., 2010. i u prvom polugodištu 2011. godine, gdje je $E = 9$ %, iznositi 21 % godišnje, dok u razdoblju drugog polugodišta 2011. godine i u 2012. godini, gdje je $E = 7$ %, može iznositi 18 % godišnje [$E + 5 + (E + 5) / 2$]. Ugovorena stopa zateznih kamata može od zakonske stope zateznih kamata biti veća najviše za jednu polovinu (50 %), ali od one niže zakonske stope zateznih kamata ($E + 5$), a ne od više stope ($E + 8$) koja bi se primjenjivala kad ne bi bilo ugovora o stopi zateznih kamata u odnosima među subjektima kojima je dopušteno njezino ugovaranje.²⁴

No, ništetna je odredba ugovora kojim je ugovorena stopa zateznih kamata ako na temelju okolnosti slučaja, a poglavito trgovačkih običaja i naravi predmeta obveze, proizlazi da je tako ugovorenim stopom zateznih kamata, suprotno načelu savjesnosti i poštenja²⁵, prouzročena očigledna neravnopravnost u pravima i obvezama ugovornih strana (čl. 29. st. 4. ZOO-a). Prilikom ocjene je li odredba ugovora o stopi zateznih kamata ništetna uzet će se, između ostalog, u obzir jesu li postojali opravdani razlozi za odstupanje od zakonom predviđene stope zateznih kamata.

5.3. Stopa ugovornih kamata kao stopa zateznih kamata

U ugovornim odnosima **između trgovaca**, odnosno **trgovca i osobe javnog prava**, ako je stopa ugovornih kamata određena sukladno čl. 26. st. 2. ZOO-a na način da je viša (do polovine) od stope zateznih kamata, ugovorne kamate teku i poslije dužnikova zakašnjenja (čl. 29. st. 6. ZOO-a).

¹⁷ Vjerovnik i dužnik mogu ugovoriti da će dužnik platiti vjerovniku određeni novčani iznos ili pribaviti neku drugu materijalnu korist ako ne ispuni svoju obvezu ili ako zakasni s njezinim ispunjenjem ili ako je neuredno ispuni (čl. 350. st. 1. ZOO-a). Ako što drugo ne proizlazi iz ugovora, smatra se da je kazna ugovorena za slučaj da dužnik kasni s ispunjenjem (čl. 350. st. 2. ZOO-a). Ugovorna kazna ne može biti ugovorena za novčane obveze (čl. 350. st. 3. ZOO-a).

¹⁸ Eskontna stopa (diskontna stopa, engl. discount rate) je kamatna stopa po kojoj središnja banka (Hrvatska narodna banka) odobrava kredite poslovnim bankama

¹⁹ Momčinović/2008, op. cit., str. 107.

²⁰ Trgovački ugovori, prema ZOO-u, jesu ugovori što ih sklapaju trgovci među sobom u obavljanju djelatnosti koje čine predmet poslovanja barem jednoga od njih ili su u vezi s obavljanjem tih djelatnosti (čl. 14. st. 2. ZOO-a).

²¹ Eskontna stopa utvrđuje se na dan 31. prosinca, odnosno na dan 30. lipnja.

²² Eskontna stopa Hrvatske narodne banke objavljena je u «Narodnim novinama», br. 1/08, 75/08, 1/09, 76/09, 1/10, 82/10, 1/11, 74/11, 1/12 i 73/12.

²³ Momčinović/2008, op. cit., str. 108.

²⁴ Ibid.

²⁵ Čl. 4. ZOO-a sadrži načelo savjesnosti i poštenja: “U zasnivanju obveznih odnosa i ostvarivanju prava i obveza iz tih odnosa sudionici su dužni pridržavati se načela savjesnosti i poštenja.”

Ova situacija nije moguća u odnosima u kojima jedna od strana nije trgovac jer je tada ugovorna kamatna stopa ograničena stopom zakonskih zateznih kamata, budući da u tim odnosima nije dopušteno ugovaranje kamatne stope iznad stope zakonskih zateznih kamata (čl. 26. st. 1. ZOO-a).

5.4. Pravo na potpunu naknadu

Vjerovnik ima pravo na zatezne kamate bez obzira na to je li pretrpio kakvu štetu zbog dužnikova zakašnjenja (čl. 30. st. 1. ZOO-a). Zatezne kamate objektivna su posljedica dužnikova zakašnjenja i teku prema samom zakonu (*ex lege*). Zato ne treba dužnikovu krivnju za zakašnjenje ni tražiti niti dokazivati.²⁶

Ako je šteta koju je vjerovnik pretrpio zbog dužnikova zakašnjenja veća od iznosa koji bi dobio na ime zateznih kamata, on ima pravo zahtijevati razliku do potpune naknade štete (čl. 30. st. 2. ZOO-a).

5.5. Kamate na kamate

Na dospjele, a neisplaćene zatezne kamate ne teku zatezne kamate, osim kad je to zakonom određeno (čl. 31. st. 1. ZOO-a). Dakle, tom je odredbom načelno utvrđena zabrana anatocizma, od koje je moguće odstupanje samo kad je to zakonom određeno.

Zakonom je izričito dopušteno da se mogu zahtijevati zatezne kamate na iznos neisplaćenih kamata samo od dana kad je sudu podnesen zahtjev za njihovu isplatu (tzv. *procesne* kamate, čl. 31. st. 2. ZOO-a). U ovom slučaju dužnik se ne može pozivati na zabranu anatocizma.

5.6. Primjena odredaba o kamatama na sve novčane obveze

Odredbe ZOO-a o kamatama (čl. 26.-31. ZOO-a) primjenjuju se na novčanu obvezu neovisno o valuti u kojoj je izražena (čl. 22. st. 4. ZOO-a). Ova odredba stupila je na snagu 1. siječnja 2006. godine. Stupanjem ove odredbe na snagu prestalo je dvojstvo kamatnih režima koje je judikaturom bilo uvedeno u hrvatsku praksu (razlikovanje kamata s obzirom na to je li glavnica izražena u kunama ili u stranoj valuti).²⁷

U razdoblju dok je bio na snazi ZOO/91, polazeći od toga da Zakon o zateznim kamatama ("Narodne novine", br. 28/96) i Uredba o visini stope zatezne kamate ne vrijede za glavnice u stranoj valuti, sudska praksa prihvaćala je kao stopu zateznih kamata na devizne glavnice onu stopu koju banke u mjestu ispunjenja priznaju na devizne štedne uloge po viđenju u valuti glavnog duga.²⁸ Ta kamatna stopa koju je judikatura priznavala za glavnice u stranoj valuti, kao i za one vezane valutnom kauzulom uz stranu valutu, oštećivala je vjerovnike i pogodovala neurednim dužnicima, stimulirajući ih na neplaćanje. To zato, što je u vrijeme primjene ZOO/91 bilo i razdoblje kada banke uopće nisu plaćale kamate na devizne štedne uloge po viđenju ("kamatna stopa" je 0), odnosno kada su te kamatne stope bile tek simbolične.²⁹

5.7. Pravo na zatezne kamate na glavnicu naknade štete

Odredbama čl. 1086. ZOO-a i čl. 186. ZOO/91 identično je propisano da se u slučaju **imovinske** (prema ZOO), odnosno **materijalne štete** (prema ZOO/91) obveza naknade štete smatra dospjelom od trenutka nastanka štete.

Sudska praksa (Vs, Rev-2714/88 od 18.05.1989. PSP-45/72) po ZOO/91 navodi da na naknadu novčane **materijalne štete** kamata teče od dana nastanka štete, kad se šteta smatra dospjelom, a na pravičnu novčanu naknadu **nematerijalne štete** od dana donošenja prvostupanjske presude kojom je naknada određena.³⁰

U slučaju **neimovinske** štete, odredbom članka 1103. ZOO propisano je da obveza pravične novčane naknade dopijeva danom podnošenja pisanog zahtjeva ili tužbe, osim ako je šteta nastala nakon toga. Dakle, od tada štetnika ili drugu odgovornu osobu za popravljivanje štete terete zatezne kamate.³¹

6. ZAKON O KAMATAMA

Zakon o kamatama ("Narodne novine", broj 94/04, 35/05; dalje: ZK) uređivao je obračunavanje i plaćanje zateznih kamata kada dužnik kasni s ispunjenjem novčanih obveza (čl. 1. st. 1. toga Zakona).

Odredbom čl. 1164. st. 2. ZOO propisano je da početkom primjene odredaba članka 26. stavka 1.-3. i članka 29. stavka 2.-6. i stavka 8. toga Zakona prestaju važiti odredbe članka 1., 2., 4., 5., 6., 7., 8., 9. stavka 1. točke 1. i članka 10. Zakona o kamatama ("Narodne novine", broj 94/04).

Stoga je od 1. siječnja 2008. godine na snazi ostala odredba članka 3. ZK-a koja uređuje obračunavanje zatezne kamate. Odredbom čl. 3. st. 1. toga Zakona propisano je da se zatezna kamata obračunava primjenom dekurzivnoga jednostavnoga kamatnog računa na dospjelu glavnicu bez pripisa zatezne kamate glavnici istekom obračunskog razdoblja.

Pri obračunu zatezne kamate primjenjuje se ovaj matematički izraz (čl. 3. st. 2. ZK-a):

$$K = \frac{C \cdot p \cdot n}{100}$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

K = zatezna kamata

C = glavnica

p = stopa zatezne kamate

n = broj godina

Pri obračunu zatezne kamate za obračunsko razdoblje kraće od jedne godine primjenjuje se kalendarski broj dana za tu godinu i koristi se ovaj matematički izraz (čl. 3. st. 3. ZK-a):

$$K = \frac{C \cdot p \cdot d}{36500}$$

²⁶ Momčinović/2008, op. cit., str. 109.

²⁷ Ibid., str. 110.

²⁸ Ibid., str. 104.

²⁹ Ibid., str. 104. i 105.

³⁰ Crnić, Ivica, Zakon o obveznim odnosima, prema stanju na dan 1.3.1997. s opsežnom sudskom praksom, Organizator, Zagreb, 1997., str. 201.

³¹ Momčinović/2008., op. cit., str. 111.

odnosno za prijestupnu godinu:

$$K = \frac{C \cdot p \cdot d}{36600}$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

K = zatezna kamata

C = glavnica

p = stopa zatezne kamate

d = broj dana.

Također, na snazi su ostale i kaznene odredbe iz čl. 9. st. 1. toč. 2. i st. 2. ZK-a. Odredbom čl. 9. st. 1. toč. 2. toga Zakona propisano je da će se novčanom kaznom u iznosu od 50.000,00 do 500.000,00 kuna kazniti za prekršaj vjerovnik pravna ili fizička osoba ako obračuna zateznu kamatu na način suprotan članku 3. toga Zakona. Odredbom stavka 2. istog članka toga Zakona propisano je da će se novčanom kaznom u iznosu od 10.000,00 do 50.000,00 kuna kazniti odgovorna osoba u pravnoj osobi koja je počinila prekršaj iz stavka 1. toga članka.

7. ZASTARA TRAŽBINA KAMATA

Sporedne tražbine koje proizlaze iz glavne tražbine slijede njezinu sudbinu (lat. *accessorium sequitur principale*), što jest glavno pravilo.³² Člankom 223. ZOO-a uređeno je pravilo o zastari sporednih tražbina te je propisano da su, kad zastari glavna tražbina, zastarjele i sporedne tražbine, kao što su tražbine kamata, plodova, troškova i ugovorne kazne. No, za slučajeve kada glavna tražbina nije prestala zastarom, već na neki drugi način (npr. ispunjenjem), primjenjuje se čl. 226. ZOO-a o zastari povremenih tražbina. Stavkom 1. toga članka propisano je da tražbine povremenih davanja koja dospijevaju godišnje ili u kraćim razdobljima, pa bilo da se radi o sporednim povremenim tražbinama, kao što je tražbina kamata, bilo da se radi o takvim povremenim tražbinama u kojima se iscrpljuje samo pravo, kao što je tražbina uzdržavanja, zastarijevaju za tri godine od dospelosti svakoga pojedinog davanja.

Tražbina zateznih kamata je, dakle, "povremena tražbina koja dospijeva svakim danom zakašnjenja te rok zastarjelosti te tražbine valja računati od dana svakog pojedinačnog dnevnog potraživanja kamata".³³

Člankom 227. ZOO-a uređena su pravila o zastari prava. Pravo iz kojega proistječu povremene tražbine zastarijeva za pet godina, računajući od dospelosti najstarije neispunjene tražbine (st. 1.). Kad zastari pravo iz kojega proistječu povremene tražbine, vjerovnik gubi pravo ne samo da zahtijeva buduća povremena

davanja nego i povremena davanja koja su dospjela prije te zastare (st. 2.). Ne može zastarjeti pravo na uzdržavanje određeno zakonom (st. 3.).

8. ZAKLJUČAK

Pravno-ekonomski značaj kamata uvjetuje njegovu detaljnu i sveobuhvatnu legislativnu uređenost. Novi ZOO svakako jest pridonio minucioznijem uređenju ove problematike, uz otklanjanje nekih dvojbi koje su nastale prije njegovog stupanja na snagu zbog nedovoljne normiranosti toga pravnog područja. Prvenstveno se ukazuje na pozitivnopravnu odredbu kojom se odredbe ZOO-a o kamatama primjenjuju na novčanu obvezu neovisno o valuti u kojoj je izražena (čl. 22. st. 4. ZOO-a), koja je odredba stupila na snagu 1.1.2006. godine. Relativno široka mogućnost ugovaranja ugovornih kamata dopušta sudionicima obveznopravnih odnosa postizanje različitih ciljeva zbog kojih u navedene odnose ulaze. Ova mogućnost dodatno je proširena mogućnošću ugovaranja stope zateznih kamata kod trgovačkih ugovora i ugovora između trgovca i osobe javnog prava. Također, u ugovornim odnosima između trgovca, odnosno trgovca i osobe javnog prava postoji, uz ispunjenje zakonom propisanih uvjeta, pravilo kada ugovorne kamate teku i nakon dužnikovog zakašnjenja, dakle, kada stopa ugovornih kamata predstavlja stopu zateznih kamata.

LITERATURA

- [1] Crnić, Ivica, Zakon o obveznim odnosima, prema stanju na dan 1.3.1997. s opsežnom sudskom praksom, Organizator, Zagreb, 1997.
- [2] Crnić, Ivica, Zakon o obveznim odnosima, Napomene, komentari, sudska praksa i abecedno kazalo pojmova, Organizator, Zagreb, 2010.
- [3] Giunio, Miljenko, Ugovorne i zatezne kamate – zakonsko uređenje i praksa, u: Giunio, Miljenko; Sessa, Đuro; Kirchbaum, Radovan; Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate, Novi informator, Zagreb, 2005.
- [4] Klarić, Petar; Vedriš, Martin, Građansko pravo, Zagreb, Narodne novine d.d., Zagreb, 2006.
- [5] Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate prema novom Zakonu o obveznim odnosima (Nar. nov., br. 35/05), u: Giunio, Miljenko; Sessa, Đuro; Kirchbaum, Radovan; Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate, Novi informator, Zagreb, 2005.
- [6] Momčinović, Hrvoje, Ugovorne i zatezne kamate – pravna viđenja nakon 1. siječnja 2008. – u: Tradicionalno XXIII. savjetovanje, Aktualnosti hrvatskog zakonodarstva i pravne prakse, godišnjak 15, Organizator, Zagreb, 2008.

³² Crnić, Ivica, Zakon o obveznim odnosima, Napomene, komentari, sudska praksa i abecedno kazalo pojmova, Organizator, Zagreb, 2010, str. 319.

³³ Momčinović/2008., op. cit., str. 112.-113.

LINEARNO PROGRAMIRANJE

Linear programming

Autor Đani Žufić, prof., predavač

SAŽETAK

Problem linearnog programiranja je svaki problem u kojem se traži optimalna vrijednost (maksimum ili minimum) linearne funkcije cilja, oblika

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

gdje **varijable odluke** $x_1, x_2, \dots, x_n$ podliježu problemskim ograničenjima u obliku linearnih jednadžbi i nejednadžbi. Varijable odluke moraju zadovoljavati **nenegativna ograničenja**. Skup točaka koje istodobno zadovoljavaju problemska ograničenja i nenegativna ograničenja zove se **dopušteno područje** problema. Svaka točka dopuštenog područja koja daje optimalno rješenje funkcije cilja zove se **optimalno rješenje**. Ako optimalna vrijednost funkcije cilja u problemu linearnog programiranja uopće postoji, onda ta vrijednost mora nastupiti u jednom ili više vrhova dopuštenog područja.

KLJUČNE RIJEČI: optimalno rješenje, funkcija cilja, dopušteno područje problema, nenegativno ograničenje

ABSTRACT

Linear programming problem is considered to be any problem in which we are looking for the optimal value (maximum or minimum) of the linear objective function, in this form

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

where decision-making variables $x_1, x_2, \dots, x_n$ are subject to problem restrictions in the form of linear equations and inequations. Decision-making variables must satisfy non-negative constraints. Set of points that at the same time satisfy the problem constraints and non-negative constraints is called feasible region. Each point in the feasible region that gives the optimal solution of the objective function is called the optimal solution. If there is an optimal value of objective function in linear programming problem, then that value must be found in one or in more vertices of the feasible region.

Mnogi problemi koji se javljaju u svakodnevnom životu a formuliraju se u matematičkom obliku sastoje se u određivanju ekstrema. Ekstremi su maksimalna i minimalna vrijednost neke funkcije od određenog broja varijabli, a određuju se uz zadane uvjete (ograničenja) na te varijable. Matematički se ograničenja zapisuju u obliku jednadžbi ili nejednadžbi. Tako formuliran problem naziva se **problem matematičkog programiranja**. Ako je funkcija cilja, za koju se određuje maksimum i minimum, linearna govorimo o **problemu linearnog programiranja**. Tada se pod pojmom programiranja podrazumijeva optimalna raspodjela ograničenih resursa, da bi se postigao određeni cilj. Na primjer resursi su: rad, sirovine, strojevi i drugo koje je potrebno kombinirati da bi se dobili određeni proizvodi, uz maksimalnu dobit i minimalne troškove.

Linearno programiranje spada u operacijska istraživanja, koja su se razvila u II. svjetskom ratu iz vojnih potreba. Tada

je ograničene resurse trebalo rasporediti na različite vojne operacije i aktivnosti. Pri tome se htjelo postići čim bolje efekte, pa su stoga pozvani znanstvenici da primijene znanstveni pristup u rješavanju problema. Zbog toga je i došlo do naziva operacijska istraživanja, jer se radilo o istraživanju vojnih operacija. Kasnije se taj naziv zadržao, a operacijska istraživanja znače takav znanstveni pristup istraživanju, projektiranju sustava i donošenju odluka, koji se zasniva na matematičkom modeliranju procesa i pojava. Proces započinje razmatranjem i formulacijom problema, zatim se na osnovi toga izrađuje model, koji je najčešće matematički i predstavlja određenu aproksimaciju stvarnog problema. Ako taj model dovoljno dobro aproksimira stvarni problem, onda se uz pomoć rezultata dobivenih iz modela mogu lakše donositi odluke. Rješenje dobiveno iz modela je optimalno prema nekom kriteriju i koristi se kao pomoć u donošenju poslovnih i drugih odluka.

PROBLEM LINEARNOG PROGRAMIRANJA

Razmatranje problema linearnog programiranja obaviti ćemo kroz nekoliko primjera. Geometrijska metoda rješavanja sugerirati će dva važna teorema i jednostavnu geometrijsku proceduru rješavanja problema linearnog programiranja s dvije varijable.

PLANIRANJE PROIZVODNJE

Proizvođač šatora za planinarsko logorovanje proizvodi i prodaje dva modela šatora: standardni model i model za potrebe ekspedicija. Proizvodnja standardnog modela zahtijeva 1 radni sat u odjelu za krojenje i 3 radna sata u odjelu za sklapanje. Svaki šator za potrebe ekspedicije zahtijeva 2 radna sata u odjelu za krojenje i 4 radna sata u odjelu za sklapanje. Maksimalni dnevno raspoloživi broj radnih sati u odjelu za krojenje iznosi 32 sata, a u odjelu za sklapanje 84 sata. Ako tvrtka po svakom prodanom primjerku šatora standardnog modela ima dobit od 50 novčanih jedinica, a po svakom prodanom primjerku šatora modela za ekspedicije 80 novčanih jedinica, koliko šatora svakog modela dnevno treba proizvesti da bi se maksimizirala ukupna dnevna dobit (pretpostaviti ćemo da se svi dnevno proizvedeni šatori i prodaju)?

ANALIZA PITANJA

Sukladno pitanju postavljenom u posljednjoj rečenici problema, cilj uprave tvrtke jeste maksimalna dobit. Kako je dobit po različitim modelima različita uprava tvrtke mora odlučiti koliko primjeraka svakog modela treba proizvesti.

Zato je logično uvesti slijedeće varijable:

Neka je

x_1 = broj dnevno proizvedenih šatora standardnog modela

x_2 = broj dnevno proizvedenih šatora ekspedicijskog modela

Tablica koja prikazuje sumirane zahtjeve, ciljeve i ograničenja

Tablica 1.

	Radni sati po šatoru		Maksimalni raspoloživi broj radnih sati po danu
	Standardni model	Ekspedicijski model	
Odjel krojenja	1	2	32
Odjel sklapanja	3	4	84
Dobit po šatoru	50	80	

CILJNA FUNKCIJA

Koristeći varijable odluke i informacije iz Tablice 1, možemo oblikovati **funkciju cilja** (uz pretpostavku da su svi proizvedeni šatori i prodani):

$$P = 50x_1 + 80x_2$$

Cilj je pronaći vrijednosti varijabli odluke koje daju **optimalnu vrijednost** (u našem slučaju maksimalnu vrijednost) funkcije cilja.

OGRANIČENJA

Oblik funkcije cilja ukazuje na to da dobit može biti velika koliko želimo, pod pretpostavkom da proizvedemo dovoljnu

količinu šatora. Ali svaka proizvodna tvrtka ima ograničenja u pogledu dostupnih resursa, kapaciteta tvornice, potražnje za proizvodima, itd. Ta se ograničenja nazivaju **problemska ograničenja**. Koristeći informacije iz Tablice 1, možemo utvrditi dva problemska ograničenja.

$$\begin{aligned} \text{Ograničenje odjela krojenja} & 1x_1 + 2x_2 \leq 32 \\ \text{Ograničenje odjela sklapanja} & 3x_1 + 4x_2 \leq 84 \\ \text{Nenegativna ograničenja} & x_1 \geq 0 \\ & x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

Zapis problema u obliku matematičkog modela:

$$\text{Maksimizirati} \quad P = 50x_1 + 80x_2$$

s obzirom na ograničenja: $1x_1 + 2x_2 \leq 32$

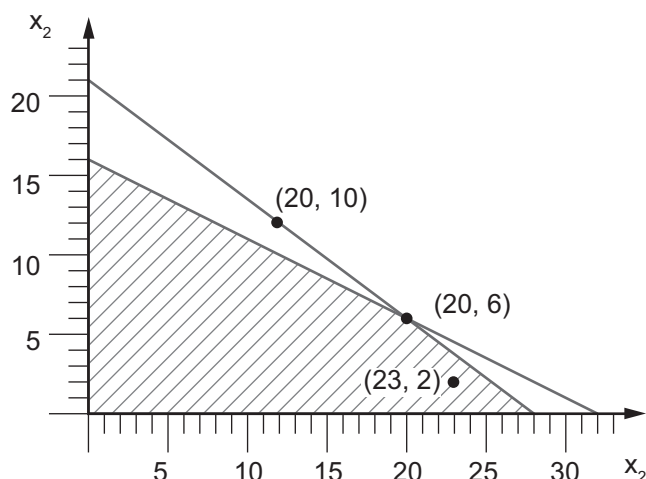
$$3x_1 + 4x_2 \leq 84$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

GRAFIČKO RJEŠENJE

Rješavajući sustav ograničenja, iskazan linearnim nejednadžbama, **grafički**, dobivamo dopušteno područje rasporeda proizvodnje (Slika 1).

Slika 1.



Biranjem plana proizvodnje (x_1, x_2) iz dopuštenog područja rješenja problema (na slici osjenčeno područje), dobit se može utvrditi korištenjem funkcije cilja $P = 50x_1 + 80x_2$.

Na primjer, ako je $x_1 = 12$ i $x_2 = 10$, dnevna dobit iznositi će:

$$P = 50(12) + 80(10) = 1400 \text{ novčanih jedinica}$$

Ili, ako je $x_1 = 23$ i $x_2 = 2$, dnevna dobit iznositi će:

$$P = 50(23) + 80(2) = 1310 \text{ novčanih jedinica}$$

Međutim, pravo pitanje glasi, kako među svim planovima proizvodnje (x_1, x_2) iz dopuštenog područja naći one planove koji će dati maksimalnu dobit. Dakle, ovdje se radi o problemu maksimizacije. Kako je uzastopna provjera svih točaka nemoguća (trebalo bi provjeriti beskonačno mnogo njih), nužno je pronaći drugi način.

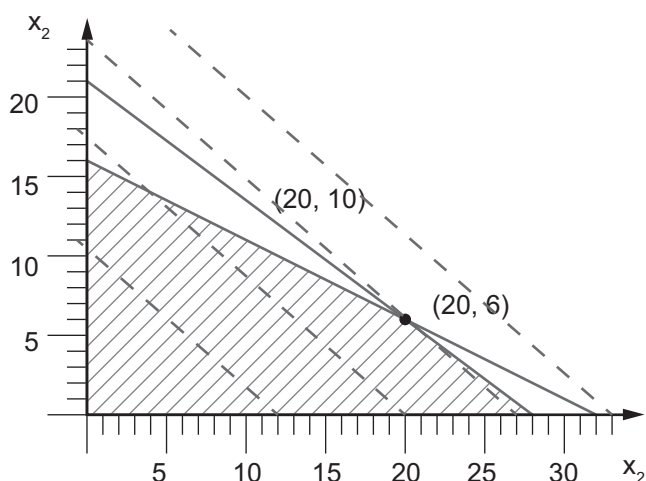
Dajući veličini P u izrazu $P = 50x_1 + 80x_2$ određenu vrijednost i crtajući rezultirajuću jednadžbu u koordinatnom sustavu prikazanom na Slici 1, dobivamo **liniju konstantne dobiti**. Svaka točka te linije, koja leži u dopuštenom području, dati će istu dobit. Čineći isto i za pregršt drugih vrijednosti za P , dobivamo skup međusobno paralelnih linija konstantne dobiti (Slika 2), jer sve one imaju isti nagib. Da bismo to vidjeli, zapisati ćemo funkciju $P = 50x_1 + 80x_2$ u eksplisicnom obliku

$$x_2 = -\frac{5}{8}x_1 + \frac{P}{80}$$

i uočavajući da linija konstantne dobiti za bilo koji iznos dobiti P ima nagib $-\frac{5}{8}$.

Također uočavamo da s rastom dobiti P , presjek linije konstantne dobiti s osi x_2 , jednak $(P/80)$, također raste, pa se linija odmiče od ishodišta.

Slika 2.



Dakle, maksimalna dobit nastupa u točki u kojoj je linija konstantne dobiti najudaljenija od ishodišta, ali još uvijek u doticaju s dopuštenim područjem rješenja sustava nejednadžbi iz opisa problema. U ovom primjeru to se događa u točki $(20, 6)$, što se vidi na Slici 2. Dakle, proizvede li se dnevno 20 standardnih šatora i 6 ekspedicijskih, iznos maksimalne dobiti iznositi će:

$$P = 50(20) + 80(6) = 1480 \text{ novčanih jedinica}$$

Točka $(20, 6)$ naziva se optimalno rješenje problema, jer ona maksimizira funkciju cilja (u ovom slučaju to je funkcija dobiti) i nalazi se u dopuštenom području.

Općenito, vidljivo je da maksimalna dobit nastupa u jednom od vrhova dopuštenog područja. Istovremeno minimalna dobit $P = 0$ nastupa u vrhu $(0, 0)$.

OPĆA FORMULACIJA LINEARNOG PROGRAMIRANJA

Problem linearnog programiranja je svaki problem u kojem se traži optimalna vrijednost (maksimum ili minimum) linearne funkcije cilja, oblika:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

gdje varijable odluke $x_1, x_2, \dots, x_n$ podliježu problemskim ograničenjima u formi linearnih jednadžbi i nejednadžbi. Pored toga, varijable odluke moraju zadovoljavati nenegativna ograničenja. Skup točaka koje istodobno zadovoljavaju problemska ograničenja i nenegativna ograničenja zove se dopušteno područje problema. Svaka točka dopuštenog područja koja daje optimalno rješenje funkcije cilja zove se optimalno rješenje.

TEMELJNI TEOREM LINEARNOG PROGRAMIRANJA

Ako optimalna vrijednost funkcije cilja u problemu linearnog programiranja uopće postoji, onda ta vrijednost mora nastupiti u jednom ili više vrhova dopuštenog područja.

Ovaj nam teorem nudi jedinstvenu proceduru za rješavanje problema linearnog programiranja, pod pretpostavkom da problem ima optimalno rješenje (svi problemi ga nemaju). Dakle da bismo ovaj teorem mogli koristiti trebamo znati ima li problem koji razmatramo optimalno rješenje.

TEOREM O POSTOJANJU OPTIMALNIH RJEŠENJA

- Ako je dopušteno područje rješenja problema linearnog programiranja ograničeno, onda maksimalne vrijednosti funkcije cilja (maksimum i minimum) uvijek postoje.
- Ako dopušteno područje rješenja problema linearnog programiranja nije ograničeno (otvoreno područje), a koeficijenti funkcije cilja su pozitivni, onda minimalna vrijednost funkcije cilja postoji, a maksimalna ne.
- Ako je dopušteno područje prazno (ne postoje točke koje istodobno zadovoljavaju sva ograničenja), onda niti jedna od optimalnih vrijednosti funkcije cilja ne postoji.

Ovaj teorem ne razmatra slučaj ako dopušteno područje nije ograničeno, a jedan ili oba koeficijenta funkcije cilja su negativna. U takvom slučaju problem rješavamo razmatrajući graf funkcije cilja za različita dopuštena rješenja problema.

Primjer:

U nekom se poduzeću proizvode dva proizvoda P_1 i P_2 . Ti se proizvodi proizvode na tri grupe strojeva S_1, S_2 i S_3 . Poznati su tjedni kapaciteti strojeva (u satima), kao i vrijeme obrade (u satima) pojedinog proizvoda na odgovarajućoj grupi strojeva. Osim toga, poznat je i profit (zarada) po jedinici svakog proizvoda (u 000 kuna). Podaci se nalaze u Tablici 2:

Tablica 2.

Grupa strojeva	Broj utrošenih sati po jedinici proizvoda		Kapaciteti grupa strojeva (u satima)
	P_1	P_2	
S_1	5	2	500
S_2	1	2	180
S_3	0	1	80
Profit po jedinici proizvoda (u 000 kn)	10	8	

Postavlja se pitanje koliko treba proizvesti proizvoda P_1 , a koliko proizvoda P_2 , tako da ukupno ostvareni profit bude maksimalan?

Uvedimo oznake: x_1 = količina proizvoda P_1

x_2 = količina proizvoda P_2

Iz Tablice 2 uočavamo da nam je funkcija cilja dana izrazom $Z = 10x_1 + 8x_2$ i nju treba maksimizirati, s obzirom na slijedeća ograničenja:

$$5x_1 + 2x_2 \leq 500$$

$$x_1 + 2x_2 \leq 180$$

$$x_2 \leq 80$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Prikažemo li navedene nejednadžbe u koordinatnom sustavu (Slika 3) primjećujemo da one tvore ograničeno područje pa po drugom teoremu zaključujemo da maksimalna vrijednost funkcije cilja postoji. Po prvom teoremu maksimalna vrijednost će se postići u jednom od vrhova O, A, B, C ili D.

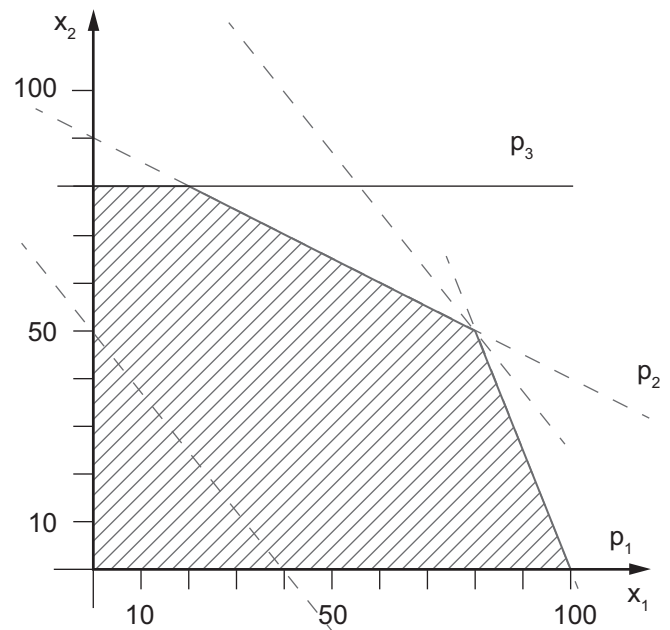
Prikažemo li i funkciju cilja u istom koordinatnom sustavu i povučemo paralelu vidimo da je najudaljenija upravo paralela koja prolazi vrhom B (80,50).

Dakle maksimalna vrijednost funkcije cilja postiže se u točki B (80,50) i ona iznosi

$$Z(80,50) = 10(80) + 8(50) = 800 + 400 = 1200$$

U ovom članku bavili smo se funkcijama cilja koje ovise o dvije varijable, kada funkcija cilja ovisi o više varijabli postoje drugačije metode. S njima ćemo se susresti u narednom članku.

Slika 3.



LITERATURA

- [1] Raymond A. Bernet, Michael R. Ziegel, Karl E. Byleen: Primijenjena matematika, Mate d.o.o., Zagreb 2006. God.
- [2] S. Kurepa, M. Gelineo: Matematika 1, Školska knjiga, Zagreb 2000. God.

TEMELJNE DIMENZIJE I MODELI ZA MJERENJE KVALITETE USLUGE INTERNET BANKARSTVA

Basic Dimensions and Models for Measuring the Internet Banking Service Quality

Autor: Dijana Mečev, univ.spec.oec., predavač (Veleučilište u Šibeniku)

SAŽETAK

U radu su obrađena sva relevantna teorijska područja koja su povezana s kvalitetom usluge Internet bankarstva. Prikazani su dosadašnji pristupi mjerenju kvalitete usluge elektroničkog bankarstva, s posebnim naglaskom na uslugu Internet bankarstva.

Kako pri svakom mjerenju kvalitete usluga treba izraditi novi instrument koji će odgovarati specifičnostima usluge i okružja u kojem se samo istraživanje provodi, u radi je prikazano kako bi se, prema promišljanjima autorice, odabrani modeli mogli prilagoditi karakteristikama usluge Internet bankarstva.

KLJUČNE RIJEČI: Internet bankarstvo, dimenzije kvalitete, zadovoljstvo korisnika, SERVQUAL, E-S-QUAL

ABSTRACT

The paper demonstrates all relevant theoretical areas which are related to the quality of Internet Banking service and presents existing approaches of measuring quality of Electronic Banking services, with special emphasis on the Internet Banking.

Due to the fact that it is necessary for each measurement of service quality to create a new instrument that will be compatible to the specific characteristics of service and the environment in which the research is conducted, paper describes how chosen models can be adjusted to the characteristics of Internet Banking service.

KEY WORDS: Internet Banking, quality dimensions, customer satisfaction, SERVQUAL, E-S-QUAL

1. UVOD

Ubrzan tehnološki razvoj bankama je u novije vrijeme omogućio razvijanje novih proizvoda i usluga, od kojih je jedna od značajnijih svakako Internet bankarstvo. Ono predstavlja razvoj potpuno nove poslovne filozofije banaka koju karakterizira orijentacija prema klijentu, što je najviše vidljivo u činjenici da je klijentu usluga dostupna u svakom trenutku, bez obzira gdje se on nalazi. Brojna istraživanja tržišta su pokazala da je broj korisnika Internet bankarstva u konstantnom porastu. U sklopu tih istraživanja dolazi se do zaključka da u Europi i SAD-u klijenti sve češće biraju matičnu banku po cjelovitosti aplikacije za Internet bankarstvo koje ona nudi.

Hrvatska se nalazi u prijelaznom razdoblju u kojem građani i poslovni subjekti spoznaju sve veću vrijednost Internet bankarstva. Uslugu Internet bankarstva banke su počele uvoditi relativno kasno, tek od 2000. godine. Razlog tomu je ponajviše bilo nepostojanje zakonske regulative: tek donošenjem Zakona o platnom prometu¹ bankama je dozvoljeno obavljati platni promet, što je do tada obavljala jedino financijska agencija FINA, a Zakon o elektroničkom potpisu² donesen je tek početkom 2002. godine, čime je omogućeno da se vlastoručni potpis zamjeni elektroničkim potpisom, odnosno skupom podataka

u elektroničkom obliku koji služe za identifikaciju potpisnika i vjerodostojnost potpisanog elektroničkog dokumenta. "Reforma platnog prometa, odnosno prebacivanje platnog prometa u banke, uvelike je doprinijela razvoju Internet bankarstva u Hrvatskoj, jer se u bankama značajno povećao obujam poslova. Stoga su banke morale pronaći način da sa što manje troškova pruže kvalitetnu uslugu što većem broju ljudi,"³ te su počele intenzivno razvijati usluge Internet bankarstva.⁴ Njihova ponuda postala je široka i prilično ujednačena, zbog čega je kvaliteta i zadovoljenje potreba i želja sve zahtjevnijih korisnika na tržištima sve intenzivnije konkurencije postalo imperativ svake banke.⁵ Kada je riječ o Internet bankarstvu, na početku 21. stoljeća korisnici su kvalitetu i koncept ove usluge "generalno ocijenili kao inferiornu i nezadovoljavajuću, što je potaklo banke na usavršavanje u ovoj oblasti"⁶. No to nije jedini razlog: banke uvođenjem i unapređenjem usluge

³ Uran, S. (2003.) „Informatička tehnologija u bankovnom poslovanju“, Infotrend, br.110, preuzeto s <http://arhiva.trend.hr/clanak.aspx?BrojID=15&KatID> (8.8.2013.)

⁴ Tako je, primjerice, 2000. godine samo 11,6% banaka u Republici Hrvatskoj pružalo uslugu Internet bankarstva, 2005. godine 62,9% banaka, dok danas gotovo sve banke u svojoj ponudi imaju ovaj oblik usluge.

⁵ Mečev, D. i Grubišić, D. (2013.) "Mjerenje kvalitete usluge Internet bankarstva primjenom modificiranog E-S-QUAL modela", 13. hrvatska konferencija o kvaliteti i 4. znanstveni skup hrvatskog društva za kvalitetu „Kvaliteta – put izvrsnosti“, Zagreb: Hrvatsko društvo za kvalitetu, str. 302.

⁶ Mihailović, I. (2009.) „Kvalitet usluga u Internet bankarstvu“, magistarski rad, Univerzitet singidunum Beograd, Beograd, str. 71.

¹ NN 117/2001

² NN 10/02

Internet bankarstva mogu ostvariti brojne kvalitativne i kvantitativne koristi. Prve su povezane s većim zadovoljstvom korisnika, što u velikoj mjeri utječe na rezultate poslovanja, imidž banke i pridobivanje novih korisnika. Kad su u pitanju kvantitativne koristi, "studija koja je provedena na bankama u SAD-u devedesetih godina prošlog stoljeća, pokazala je da je poboljšanje kvalitete usluga rezultiralo povećanjem prinosa na aktivu (ROA) sa 1.05 % na 1.38 %, odnosno povećanjem prinosa na kapital (ROE) sa 16,10 % na 21,22 %."⁷

Prema istraživanju koje su proveli Pyun, Scruggs i Nam u SAD-u 2002. godine, troškovi poslovanja banaka iznose 1,07 \$ po transakciji u tradicionalnom bankarstvu, a samo 1,5 centi po transakciji za poslovanje Internet bankarstvom.⁸ Drugo istraživanje provedeno u Finskoj pokazalo je da banke jedna transakcija obavljena u poslovnici košta 1 \$, dok trošak transakcije obavljene putem Internet bankarstva u prosjeku iznosi 11 centi.⁹

Koristi od usluge Internet bankarstva s aspekta banke se ogledaju i u činjenici da "za uključivanje u sustav nisu potrebne kapitalne investicije,¹⁰ a uvođenjem i stalnim unapređenjem ove usluge banka stvara imidž inovativne banke koja je svojim korisnicima spremna ponuditi najsuvremenija tehnološka rješenja. Istovremeno, interaktivna priroda Interneta kao medija pruža mogućnost personalizacije usluge, pod čim se podrazumijeva individualna usluga za svakog klijenta. Banka ima mogućnost praćenja računa koje korisnik plaća, te stranica koje posjećuje i na osnovu njegovih preferencija i interesa može mu ponuditi korisne savjete i proizvode, čime personalizacija usluge za svakog pojedinog korisnika postaje moćan alat u privlačenju novih klijenata.

Ukoliko banke ne shvate želje korisnika i ne pruže im zadovoljavajuće visokokvalitetne usluge, neke od gore navedenih koristi neće uspjeti ostvariti. Zbog toga, ali i da bi spriječile migraciju korisnika prema konkurenciji, banke trebaju kontinuirano provoditi istraživanja sa svrhom mjerenja kvalitete usluge Internet bankarstva, te utvrđivanja dimenzija kvalitete koje utječu na zadovoljstvo korisnika usluge Internet bankarstva.

Istraživanje kvalitete svake usluge složen je proces iz sljedećih razloga: 1) nemogućnost kontrole i odbacivanja usluge koja ne odgovara određenom standardu, a prije njezina pružanja;¹¹ 2) postojeće tehnike marketinga osiguravaju znanje o korisnicima, njihovim potrebama i očekivanjima, ali profesionalci su bespomoćni u zamjećivanju što je to što korisnici žele ili ne žele i što su spremni prihvatiti; 3) korisnici uvijek žele više i njihovo očekivanje kvalitete različito je od one što im se nudi: samo praksa, osluškivanje i pozornost može dovesti do više ili manje istinite ideje.¹²

Kada je riječ o mjerenju kvalitete usluge Internet bankarstva, dodatno ograničenje predstavlja činjenica da postoji svega nekoliko dostupnih konceptualnih i empirijskih studija u

kojima su autori posebnu pozornost posvetili istraživanju kvalitete usluge Internet bankarstva. Ne postoji niti univerzalno prihvaćen model za mjerenje kvalitete iste. Iz uočenog problema proizlazi predmet istraživanja rada: analiza konceptualnih modela i dimenzija koji bi bili najprikladniji za mjerenje kvalitete usluge Internet bankarstva, te mogućnost njihove prilagodbe specifičnostima usluge Internet bankarstva.

2. PREGLED LITERATURE

Već je naglašeno da je broj dostupnih studija o kvaliteti usluge Internet bankarstva razmjerno malen s obzirom na veliki značaj ovog oblika usluge u okviru bankarskog sektora. U nekoliko dostupnih studija autori se bave općenito kvalitetom usluga elektroničkih transakcija, a što je moguće primijeniti i na Internet bankarstvo. Premda se modeli, vrijeme, dimenzije i načini mjerenja koje autori koriste razlikuju, osnovna karakteristika dostupnih istraživanja je da se metodom anketiranja dođe do stavova uzorka kupaca i zatim izvrši ocjena zadovoljstva na osnovu prikupljenih podataka po nekom pristupu.

Tako su, na primjer, autori Joseph, McClure i Joseph proveli istraživanje o kvaliteti usluga elektroničkog bankarstva u Australiji. Autori su u navedenom istraživanju identificirali i predložili za daljnju uporabu šest dimenzija koje prema njihovom mišljenju određuju kvalitetu usluge elektroničkog bankarstva,¹³ a koje su navedene i objašnjene u Tablici 1.

Tablica 1: Dimenzije kvalitete usluge elektroničkog bankarstva prema Joseph, McClure i Joseph

Dimenzija	Opis dimenzije
Pogodnost / točnost	Transakcije se trebaju obavljati sigurno i točno, a usluga elektroničkog bankarstva treba biti laka za korištenje i dostupna 24 sata, 7 dana u tjednu.
Povratne informacije / rješavanje žalbi	Banka u roku od 24 sata treba riješiti problem ili pritužbu korisnika, te za hitne slučajeve imati dostupne telefonske operatore koji su obučeni za sve situacije.
Efikasnost	Od banke se očekuje da obučeni korisnike da što efikasnije koriste usluge elektroničkog bankarstva.
Portfolio usluga	Banka treba putem elektroničkog bankarstva nuditi sve usluge koje i inače pruža.
Dostupnost	Usluga mora biti dostupna i prilagođena za sve profile korisnika (npr. mora biti lako razumljiva i starijim osobama i osobama s invaliditetom).
Prisan odnos s korisnikom	Korisnici se trebaju osjećati posebnima čak i kada koriste on-line usluge. Zbog toga banke trebaju korisnicima prilikom logiranja slati pozdravnu poruku s njihovim imenom.

Izvor: Prilagođeno prema: Joseph, M., McClure, C. i Joseph, B. (1999.) "Service quality in the banking sector: the impact of technology on service delivery", *International journal of bank marketing*, vol. 17, br. 4, 185. – 186.

⁷ Radojević, P.; Marjanović, D. (2011.) "Kvalitet usluga u bankarstvu: nesaglasnosti, odrednice i istraživačke tehnike za unapređenje kvaliteta", *Bankarstvo*, Br.7/8, str. 38.

⁸ Pyun, C.S., Scruggs, L. i Nam, N. (2002.) "Internet banking in the US, Japan and Europe", *Multinational Business Review*, jesen, 73-81.

⁹ Luštšik, O. (2003.) E-banking in Estonia: reasons and benefits of the rapid growth, Tartu: University of Tartu, Faculty of Economics and Business Administration.

¹⁰ Jurman, D. (2008.) "E-račun: Mrtvo slovo", *Banka*, god. XV, br.7, str. 64.

¹¹ Ozretić Došen, Đ., Škare, V. i Škare, T. (2010.) "Mjerenje kvalitete usluge primarne zdravstvene zaštite SERVQUAL instrumentom", *Revija za socijalnu politiku*, god. 17, br. 1, str. 32.

¹² Kolanović, I. (2007.) "Temeljne dimenzije kvalitete lučke usluge", *Pomorstvo*, god. 21, br. 2, str. 214.-215.

¹³ Joseph, M., McClure, C. i Joseph, B. (1999.) "Service quality in the banking sector: the impact of technology on service delivery", *International Journal of Bank Marketing*, Vol 17, No.4, str. 182.-191.

Istraživanje je provedeno na uzorku od 300 ispitanika s područja grada Melbourne, koji su 1998. godine bili korisnici usluga Internet bankarstva i bankomata. Iako postoje razlike između ovih usluga, istraživanje je bilo usmjereno na generalnu percepciju elektroničkog bankarstva kao novog distribucijskog kanala, bez obzira na njegov specifičan tehnološki oblik. Istraživanje je pokazalo da dimenziju portfolio usluga korisnici ne smatraju pretjerano važnom, ali su zadovoljni njenom performansom koja je bolja nego kod drugih dimenzija kvalitete. Dimenziju dostupnost korisnici su percipirali kao najvažniju, ali nisu bili zadovoljni njenim performansama.

Autori Yang, Jun i Peterson su u svom istraživanju provedenom u studenom 2000. godine koristili šest dimenzija za mjerenje kvalitete usluga elektroničkih transakcija,¹⁴ koje su prikazane i objašnjene u Tablici 2, a koje je moguće primijeniti i na Internet bankarstvo.

Tablica 2: Dimenzije kvalitete usluga elektroničkog bankarstva prema Yang, Jun i Peterson

Dimenzija	Opis dimenzije
Pouzdanost	Uključuje korektno i kompletno obavljanje poslova, brzu isporuku i potpunu točnost.
Pružanje pažnje	Korisnicima banka mora pružiti individualnu pažnju slanjem pozdravne poruke s imenom korisnika i poruke zahvalnosti za obavljene poslove, korisnici moraju imati mogućnost da napišu svoje komentare, preporuke i primjedbe i sl.
Jednostavnost	Aplikacija mora biti dobro organizirana i dizajnirana, te jednostavna za snalaženje i korištenje.
Pristup	Usluga treba biti dostupna 24 sata, 7 dana u tjednu. Na web stranici moraju biti dostupni svi neophodni podaci za kontakt.
Sigurnost	Banka mora osigurati što veću sigurnost osobnih informacija korisnika, kao i sigurnost samih transakcija.
Kredibilitet	Odnosi se na stav o kvaliteti koji korisnici imaju u dosadašnjem korištenju usluge.

Izvor: Prilagođeno prema: Yang, Z., Jun, M. i Peterson, R.T. (2004.) „Measuring customer perceived online service quality: Scale development and managerial implications”, *International journal of operations & product management*, vol.24, br.11/12, str. 1165.-1166.

U istraživanju je sudjelovalo 235 ispitanika koji su klijenti 20 najutjecajnijih Internet banaka u SAD-u. Rezultati su pokazali da sve dimenzije, osim dimenzije sigurnost, imaju statistički značajan utjecaj na percepciju cjelokupne kvalitete usluge. Navedeno se može objasniti činjenicom da „korisnici često imaju poteškoća u izravnom vrednovanju sigurnosti web site-a.”¹⁵ Dimenziju pouzdanost korisnici su percipirali kao najvažniju.

Uz prikazane modele i drugi autori su predlagali različite dimenzije za mjerenje kvalitete elektroničkih usluga, ali „njihovom

primjenom istraživači ne bi dobili potpune informacije o kvaliteti odabrane elektroničke usluge.”¹⁶

Loiacono *et al.* su 2002. predložili model u kojem su se „usredotočili isključivo na tehničku kvalitetu web stranice, a ne na cjelokupnu kvalitetu usluge koja se pruža putem te web stranice.”¹⁷ Stoga ovakav instrument ne bi omogućio sveobuhvatnu procjenu kvalitete elektroničke usluge.

Slično, dimenzije koje su predložili Yoo i Donthu 2001. godine „ne obuhvaćaju sve aspekte procesa korištenja usluge i time ne pružaju sveobuhvatnu procjenu kvalitete usluge.”¹⁸

3. ANALIZA ODABRANIH ALATA I MOGUĆNOST NJIHOVE PRILAGODBE ZA MJERENJE KVALITETE USLUGE INTERNET BANKARSTVA

3.1. SERVQUAL

SERVQUAL¹⁹ model sastoji se od dva dijela, od čega svaki dio sadrži 22 tvrdnje. Prvi dio je dizajniran tako da mjeri razinu očekivane usluge, dok drugi dio mjeri razinu stvarne ili percipirane usluge. Usporedbom očekivane i percipirane usluge izračunava se SERVQUAL jaz ili razlika (eng. *gap*), tj. razina kvalitete usluge. Naime, ukoliko su ocjene percepcije sukladne ocjenama očekivanja, kupac je zadovoljan; ukoliko statistički utvrđena razlika između percepcije i očekivanja prelazi očekivanja, kupac je oduševljen, a ako su statistički utvrđene razlike očekivanja veće od percepcije, kupac je nezadovoljan.

U ovom modelu kvaliteta i zadovoljstvo se koriste kao sinonimi. No u nekim studijama postoji distinkcija između ova dva koncepta te se, primjerice, navodi kako „termin zadovoljstvo kupca označava kumulativnu mjeru, ali nije istovjetan kvaliteti usluge.”²⁰ Bez obzira na stav oko (ne)istovjetnosti ove dvije kategorije, svi autori se slažu da se one nalaze u uzročno posljedičnom odnosu, pri čemu prevladava mišljenje da kvaliteta prethodi zadovoljstvu, što je dokazano i na empirijskoj osnovi.²¹

Tvorci SERVQUAL modela navode deset dimenzija za mjerenje kvalitete usluge,²² iz kojih je jasno vidljivo da u ponuđenoj usluzi postoji manji broj dodirljivih elemenata, a da je istraživanja potrebno usmjeriti na nedodirljive elemente. Te dimenzije su:

1. *pouzdanost* – sposobnost realiziranja obećane usluge odgovorno i točno;
2. *odgovornost* – spremnost i raspoloživost zaposlenika za pružanje usluge;

¹⁶ Kim, M., Kim.H.J. i Lennon, S. (2006.) „Online service attributes available on apparel retail web sites: an E-S-QUAL approach”, *Managing Service Quality*, Vol. 16, No. 1, str. 53.

¹⁷ Zeithaml, V.A., Parasuraman, A. i Malhotra, A. (2002.) „Service Quality Delivery through Web Sites: A Critical Review of Extant Knowledge”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 30, br. 4, str. 365.

¹⁸ Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. i Malhotra, A. (2005.) „E-S-QUAL: a multiple-item scale for assessing electronic service quality”, *Journal of Service Research*, vol.7, br.3, str. 218.

¹⁹ SERVQUAL je složenica od service = usluga i quality = kvaliteta

²⁰ Boulding, W., Kalra, A., Staelin, R. i Zeithaml, V.A. (1993.) „A dynamic process model of service quality: From expectations to behavioral intentions”, *Journal of Marketing Research*, br.30, str. 7.

²¹ Vidjeti: Oliver, R.L. (1981) „Measurement and Evaluation of Satisfaction Processes in Retail Settings”, *Journal of Retailing*, Vol. 57, jesen, 25.-48.; vidjeti i: De Ruyter, K., Bloemer J. i Peeters, P. (1997.) „Merging service quality and service satisfaction: An empirical test of fan integrative model”, *Journal of Economic Psychology*, vol. 18, 387.-406.

²² Parasuraman, A., Berry, L.L. i Zeithaml, V.A. (1985.) „A conceptual model of service quality and its implications for future research”, *Journal of Marketing*, vol. 49, str. 47.

¹⁴ Yang, Z., Jun, M. i Peterson, R.T. (2004.) „Measuring customer perceived online service quality: Scale development and managerial implications”, *International Journal of Operations & Product management*, vol.24, br.11/12, str. 1147.-1152.

¹⁵ Wolfenbarger, M.F. i Gilly, M.C. (2003.) „eTailQ: dimensionalizing, measuring and predicting e-tail quality”, *Journal of Retailing*, vol.79, br.3, str. 186.

3. *kommunikacija* – pružanje informacija korisnicima na jeziku koji mogu razumjeti i uvažavanje njihovih želja i prijedloga;
4. *kompetentnost* – posjedovanje potrebnih vještina i znanja za obavljanje usluga;
5. *uljudnost* – uključuje ljubaznost, poštivanje i razumijevanje;
6. *pristupačnost* – uključuje lakoću kontakta, dostupnost usluge i lokacije;
7. *kredibilitet* – poštenje, profesionalnost, ugled i povjerenje;
8. *poistovjećivanje* – uključuje napor zaposlenika da razumije potrebe i želje korisnika;
9. *sigurnost* – znači slobodu od opasnosti, rizika i sumnje;
10. *opipljivost* – dimenzija koja predstavlja vidljive čimbenike kvalitete usluga (fizička postrojenja, oprema, kadar i komunikacijski materijal).

Daljnjim usavršavanjem ovog procesa, isti autori su 1988. godine razvili novi model dimenzija kvalitete u kojem je prethodno navedenih deset dimenzija svedeno na pet dimenzija za mjerenje kvalitete usluge, a to su:²³

1. *pouzdanost* – odnosi se na konzistentnost kvalitete usluge;
2. *povjerenje* – podrazumijeva znanje i ljubaznost zaposlenika te njihovu sposobnost da ulijevaju povjerenje i pouzdanje;
3. *opipljivost* – fizička dimenzija usluge;
4. *susretljivost* – brižnost i individualiziran odnos prema klijentu;
5. *poistovjećivanje* – spremnost da se pomogne korisnicima i osiguranje brze usluge.

Zanimljiva je i konceptualizacija koja se bazira na 18 dimenzija kvalitete usluge, a to su: *pristup, estetika, uslužnost, raspoloživost, briga, čistoća/urednost, udobnost, privrženost, komunikacija, kompetentnost, poštovanje, fleksibilnost, blagonaklonost, funkcionalnost, integritet, pouzdanost, pravovremenost, sigurnost*.²⁴ No ovaj pristup, iako detaljan, slabo je prihvaćen zbog svoje preopširnosti i broja dimenzija.²⁵

Dimenzije iz SERVQUAL modela utvrđene su kao relevantne za mnoge usluge,²⁶ ali je istraživanjima u raznim uslužnim djelatnostima u cilju prilagodbe specifičnostima usluge isto tako utvrđena potreba izostavljanja, dodavanja ili izmjene popisa dimenzija kvalitete usluge prema SERVQUAL-u, zbog čega su izvorni model i njegova ljestvica doživjeli brojne modifikacije.²⁷

Zbog svojih pozitivnih elemenata – jednostavnosti korištenja i sposobnosti instrumenta za kvantitativnu procjenu, prihvaćen

je i primjenjivan za mjerenje kvalitete različitih vrsta usluga,²⁸ te postoji opće mišljenje da tvrdnje u SERVQUAL modelu na pouzdan način predviđaju ukupnu kvalitetu usluge.²⁹

I u bankarskoj industriji ovaj je model prihvaćen kao ključni instrument za mjerenje trenutačne razine kvalitete usluge,³⁰ zbog čega ga sve veći broj istraživača primijenjuje u svojim istraživanjima.³¹ Rezultati tih istraživanja upućuju na zaključak da je SERVQUAL koristan instrument za vrednovanje pružene kvalitete bankarskih usluga sa stajališta korisnika, a njegovom se primjenom otkrivaju područja u kojima su potrebna poboljšanja.

U nastavku je prikazano kako se originalan SERVQUAL model može prilagoditi specifičnostima usluge Internet bankarstva, a na temelju spoznaja o specifičnostima istog. U okviru dimenzije *opipljivost* korisnici mogu ocijeniti vizualni izgled pisanog promotivnog materijala i uređaja za pristup i identifikaciju, dopadljivost znakova i simbola, te vizualni izgled same web aplikacije, dok se tvrdnje koje se odnose na fizički izgled poslovnice i na osoblje moraju izostaviti. Navedeni aspekti su izuzetno važni budući da kod korištenja usluge Internet bankarstva korisnici ne dolaze fizički u poslovnicu, niti dolaze u kontakt s osobljem pa je izgled aplikacije zapravo jedini vizualni kontakt između korisnika i banke. Stoga postoji presudna potreba za lijepo dizajniranom i funkcionalnom web aplikacijom. Međutim "vizualni izgled web aplikacije različito ocjenjuju korisnici različite životne dobi"³² pa bi banke trebale omogućiti korisnicima da u što većoj mjeri prilagode aplikaciju svojim potrebama.

Pouzdanost bi trebala podrazumijevati sposobnost banke da usluge putem Internet bankarstva pruži precizno i točno, onako kako je obećano i u vremenu u kojem je dogovoreno. To prvenstveno znači besprijekorno tehničko funkcioniranje aplikacije, jer u nedostatku fizičkog kontakta s bankom ono predstavlja element pouzdanosti.

Poistovjećivanje kao odrednica kvalitete usluge Internet bankarstva trebalo bi se prije svega odnositi na spremnost banke da pruži brzu uslugu i pravovremeno odgovori na zahtjeve korisnika. Putem Internet bankarstva banke zapravo mogu omogućiti korisnicima bolje i preglednije vođenje računa, brže transfere i efikasnost nego tradicionalnim načinom, jer je za izvršenje usluge dovoljan samo jedan klik mišem, dok je kod tradicionalnog bankarstva za brzu uslugu potreban i fizički kontakt što banke čini manje spremnima za brzo pružiti usluge. Da bi ova dimenzija kvalitete bila na razini očekivanja korisnika, neophodno je da aktiviranje aplikacije bude brzo i da zadani nalozi budu izvršeni uz minimalan protok vremena i bez pretjerano složenih procedura. Prema istraživanju iz 2002. godine, "30 posto korisnika će odustati od korištenja bilo koje on-line usluge ako na njeno aktiviranje trebaju čekati više od

²³ Parasuraman, A., Berry, L.L. i Zeithaml, V.A. (1988.) „SERVQUAL: A multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality“, Journal of Retailing, vol. 64, jesen, 1.2-40.

²⁴ Johnson, R. (1995.) „The determinants of service quality: satisfiers and dissatisfiers“, International Journal of service industry management, vol. 6, br. 5

²⁵ Mihailović, I. (2009.) „Kvalitet usluga u Internet bankarstvu“, magistarski rad, Univerzitet Singidunum Beograd, Beograd, str. 69.

²⁶ Johnson, L. (2002.) „Using the Critical Incident Technique to Assess Gambling Customer Satisfaction“, UNLV Gaming Research & Review Journal, vol. 6, no.2, str. 1.

²⁷ Vidjeti: Carman, J.M. (1990.) „Consumer perceptions of service quality: an assessment of the SERVQUAL dimensions“, Journal of Retailing, vol. 66, br. 1 (proljeće), 33-55; Headley, D.E. i Miller, S.J. (1993.) „Measuring service quality and its relationship to future consumer behavior“, Journal of Health Care Marketing, vol. 13, br. 4, 32-41; Engelland, B.T., Workman, L. i Singh, M. (2000.) „Ensuring service quality for campus career services centers: a modified SERVQUAL scale“, Journal of Marketing Education, vol. 22, br. 3, 236-245

²⁸ Ozretić Došen, Đ., Škare, V. i Škare, T. (2010.) „Mjerenje kvalitete usluge primarne zdravstvene zaštite SERVQUAL instrumentom“, Revija za socijalnu politiku, god. 17, br. 1, str.33.

²⁹ Khan, M. (2003.) „ECOSERV: Ecotourists Quality Expectations“, Annals of Tourism Research, vol.30 (1), str. 121.

³⁰ Lewis, B.R. (1991.) „Service Quality: An International Comparison of Bank Customers Expectations and Perceptions“, Journal of Marketing Management, No.7, 7.-18.

³¹ Vidjeti: Pepur, M. (2006.) „Kvaliteta usluga u bankarskoj industriji: koncept i mjerenje“, Tržište, Vol.18, No.1-2, str. 53-66; Safakli, O.V. (2007.) „Testiranje dimenzija modela SERVQUAL u bankarskom sektoru sjevernog Cipra“, Financijska teorija i praksa, 31(2), str. 181-197; Žižak, I. (2013), Mjerenje kvalitete bankarskih usluga namijenjenih studentskoj populaciji, doktorska disertacija, Ekonomski fakultet u Zagrebu, Zagreb

³² Kosorić, B. (2010.) „Elektronska satisfakcija u turizmu“, diplomski rad, Beograd: Univerzitet Singidunum, Fakultet za turistički i hotelski menadžment

8 sekundi.”³³ No može se zaključiti da korisnici danas, zbog tehnološkog napretka, očekuju još brže aktiviranje usluge nego 2002. godine. Zbog toga je za banke vrlo važno da omoguće brz pristup usluzi Internet bankarstva. No korisnici istovremeno očekuju lijep izgled aplikacije, a animacije, slike i zvukovi koji poboljšavaju izgled aplikacije ujedno i produljuju vrijeme učitavanja stranice, što može dati negativnu ocjenu od strane korisnika. Stoga banke moraju napraviti kompromis između vizualnog izgleda aplikacije i brzine usluge.

U okviru dimenzije *povjerenje* za korisnike je ključno da banka zna odgovoriti na zahtjeve korisnika. Primjerice, kada korisnici upućuju žalbe ili imaju određene nejasnoće, banka bi ih trebala kroz odgovarajuće kanale komunikacije riješiti u što kraćem roku. Zato korisnici moraju imati mogućnost da na web stranici napišu svoje komentare i primjedbe, a banka bi trebala imati i dostupne telefonske operatore koji su obučeni za sve situacije. Korisnici očekuju da putem Internet bankarstva mogu obavljati sve transakcije koje su im potrebne, pa je vrlo važno da banka putem Internet bankarstva nudi sve usluge koje i inače pruža u svojim poslovnica.

Tvrđenje u okviru dimenzije *susretljivost* prvenstveno se temelje na interakciji između korisnika i službenika banke, pa stoga postoje razmišljanja kako ovu dimenziju “uopće nije moguće upotrijebiti za mjerenje usluge Internet bankarstva, budući da fizički kontakt u ovom slučaju ne postoji.”³⁴ Međutim, banke danas i putem Internet bankarstva mogu pružiti individualnu pažnju korisnicima slanjem pozdravnih poruka s imenom korisnika i poruka zahvalnosti za obavljene poslove, te samim nastojanjem da usluga bude dostupna korisniku “bilo kad, i bilo gdje”. Stoga bi se u okviru dimenzije *susretljivost* upravo navedene tvrdnje mogle primijeniti za mjerenje kvalitete bilo koje on-line usluge, pa tako i Internet bankarstva.

3.2. E-S-QUAL

E-S-QUAL model, u usporedbi s većinom poznatih modela, uzima u obzir uglavnom sve faze interakcije kupca s web stranicom preko koje mu je omogućeno pružanje usluge.³⁵ Ovaj model su razvili Zeithaml, Parasuraman i Malhotra, a predstavlja modificirani SERVQUAL model koji je prilagođen elektroničkim uslugama. Autori su identificirali jedanaest dimenzija E-S-QUAL modela, a to su:³⁶

1. *pouzdanost*,
2. *poistovjećenje*,
3. *pristup*,
4. *fleksibilnost*,
5. *lakoća korištenja*,
6. *učinkovitost*,
7. *povjerenje*,
8. *sigurnost*,
9. *podaci o cijenama*,
10. *izgled web aplikacije*,
11. *personalizacija*.

³³ Cox, J. i Dale, B.G. (2001.) „Service quality and e-commerce: an exploratory analysis”, *Managing Service Quality*, vol.11, br.2, 121-131

³⁴ Mihailović, I. (2009.) „Kvalitet usluga u Internet bankarstvu”, magistarski rad, Univerzitet singidunum Beograd, Beograd, str. 74.

³⁵ Kim, M., Kim, H. J. i Lennon, S. (2006.) „Online service attributes available on apparel retail web sites: an E-S_QUAL approach”, *Managing Service Quality*, Vol. 16, No. 1, str. 55.

³⁶ Zeithaml, V.A, Parasuraman, A i Malhotra, A. (2000.) „e-service Quality: Definition, Dimensions and Conceptual Model”, *Marketing Science Institut*, Cambridge

Kasnije su autori ponudili noviju inačicu konceptualnog modela za vrednovanje i unaprjeđenje kvalitete elektroničkih usluga, koja se sada sastoji od četiri dimenzije:³⁷

1. dostupnost,
2. privatnost,
3. učinkovitost i
4. pouzdanost.

Prva dimenzija, *učinkovitost*, je definirana kao lakoća korištenja aplikacije, brzina pristupa i izvršenja zadanih naloga. U kontekstu Internet bankarstva, to bi značilo da je korisniku omogućeno jednostavno pronalaženje svih usluga koje su postavljene, da su mu sve informacije vezane za korištenje usluge jasne, da je postupak logiranja i pristupa usluzi brz, te da se zadani nalozi izvršavaju u kratkom vremenu.

Dimenzija *pouzdanost* podrazumijeva da sve transakcije trebaju biti dostupne i izvršene onako kako je i dogovoreno. To znači da putem Internet bankarstva korisniku treba biti omogućeno obavljanje svih vrsta usluga za koje je na web stranicama i naznačeno da se mogu obavljati, te da je transakcija izvršena u točnom vremenu kada je i naznačeno da će biti obavljena. “U mnogim istraživanjima upravo ova dimenzija se pokazala kao ona koja ima najviše utjecaja na zadovoljstvo/nezadovoljstvo korisnika uslugom.”³⁸

Dimenzija *dostupnost* podrazumijeva da tehnička podrška omogućava neprestanu dostupnost usluge i njeno neometano korištenje. To znači da usluga Internet bankarstva treba biti dostupna od 0 do 24 sata, svih 7 dana u tjednu, te da se njeno korištenje treba odvijati bez tehničkih poteškoća (npr. poput “zamrzavanja” stranice). Kako bi se osigurala neprestana dostupnost i neometano korištenje Internet bankarstva, banka bi za hitne slučajeve trebala imati i dostupne telefonske operatore koji su obučeni za sve situacije.

Dimenzija *privatnost* podrazumijeva da sve transakcije koje se obavljaju, kao i sve informacije o korisnicima, trebaju biti potpuno sigurne i zaštićene. “Značajan broj ljudi obavljanje novčanih transakcija putem Interneta još uvijek smatra nedovoljno sigurnim,”³⁹ zbog čega su ponuđači on-line usluga “postali itekako svjesni koliko je važno korisnicima omogućiti sigurnost korištenja takvih usluga.”⁴⁰

4. ZAKLJUČAK

Banke uvođenjem i pružanjem usluge Internet bankarstva mogu ostvariti brojne kvantitativne i kvalitativne prednosti u svom poslovanju, pod uvjetom da njeni klijenti budu zadovoljni kvalitetom pružene usluge. S obzirom da je ponuda bankarskih usluga postala široka i prilično ujednačena, osjetljivo područje na kojem klijenti osjete razlike su upravo kvaliteta pruženih usluga i individualna briga za korisnika. Kako je kvalitetu usluge Internet bankarstva teže definirati i mjeriti nego što je to slučaj u proizvodnom sektoru, u radu su posebni naponi usmjereni

³⁷ Zeithaml, V.A, Parasuraman, A i Malhotra, A. (2002.) „Service Quality Delivery through Web Sites: A Critical Review of Extant Knowledge”, *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 30, br. 4, 362-375

³⁸ Kim, M., Kim.H.J. i Lennon, S. (2006.) „Online service attributes available on apparel retail web sites: an E-S_QUAL approach”, *Managing Service Quality*, Vol. 16, No. 1, str. 56.

³⁹ Sharma, A. i Sheth, J.N. (2004.) „Web-based marketing: the coming revolution in marketing thought and strategy”, *Journal of Business Research*, vol. 57, br.7, str. 697.

⁴⁰ Ranganathan, C. i Ganapathy, S. (2002.) „Key dimensions of business-to-consumer web sites”, *Information and Management*, Vol. 30, 457-465.

na cjelovitu i konzistentnu obradu svih relevantnih teorijskih područja koja su povezana s kvalitetom usluge Internet bankarstva. Prikazani su dosadašnji pristupi mjerenju kvalitete usluga elektroničkog bankarstva, s posebnim naglaskom na uslugu Internet bankarstva. Kako još uvijek ne postoji univerzalno prihvaćen model za mjerenje kvalitete istih, u radu je prikazano kako bi se, prema promišljanjima autorice, SERVQUAL i E-S-QUAL modeli mogli prilagoditi karakteristikama usluge Internet bankarstva, te se kao takvi koristiti za mjerenje kvalitete same usluge.

Zaključno, može se reći kako je kvaliteta usluge Internet bankarstva dinamično i rastuće, ali još uvijek nedovoljno istraženo područje kojemu će nadolazeće generacije znanstvenika trebati posvetiti podosta pažnje i truda.

LITERATURA

- [1] Boulding, W., Kalra, A., Staelin, R. i Zeithaml, V.A. (1993.) "A dynamic process model of service quality: From expectations to behavioral intentions", *Journal of Marketing Research*, br.30, 7-27
- [2] Breugelmans, E., Lievens, A. i Bloemer, J. (2004.) "The nature and impact of personal values and organizational values on customer satisfaction", 33rd EMAC Conference, Murcia: University of Murcia, Spain, 1-29
- [3] Carman, J.M. (1990.) "Consumer perceptions of service quality: an assessment of the SERVQUAL dimensions", *Journal of Retailing*, vol. 66, br. 1 (proljeće), 33-55
- [4] Cox, J. i Dale, B.G. (2001.) "Service quality and e-commerce: an exploratory analysis", *Managing Service Quality*, vol.11, br.2, 121-131
- [5] De Ruyter, K., Bloemer J. i Peeters, P. (1997.) "Merging service quality and service satisfaction: An empirical test of an integrative model", *Journal of Economic Psychology*, vol. 18, 387-406
- [6] Engelland, B.T., Workman, L. i Singh, M. (2000.) "Ensuring service quality for campus career services centers: a modified SERVQUAL scale", *Journal of Marketing Education*, vol. 22, br. 3, 236-245
- [7] Headley, D.E. i Miller, S.J. (1993.) "Measuring service quality and its relationship to future consumer behavior", *Journal of Health Care Marketing*, vol. 13, br. 4, 32-41
- [8] Johns, N. (1999.) "What is this thing called service?", *European Journal of Marketing*, 3(9-10), 958-973
- [9] Johnson, R. (1995.) "The determinants of service quality: satisfiers and dissatisfiers", *International journal of service industry management*, vol. 6, br. 5
- [10] Johnson, L. (2002.) "Using the Critical Incident Technique to Assess Gambling Customer Satisfaction", *UNLV Gaming Research & Review Journal*, vol. 6, no.2, 1-12
- [11] Joseph, M., McClure, C. i Joseph, B. (1999.) "Service quality in the banking sector: the impact of technology on service delivery", *International Journal of Bank Marketing*, Vol 17, No.4, 182-191
- [12] Jurman, D. (2008.) "E-račun: Mrtvo slovo", *Banka*, god. XV, br.7, 62-65
- [13] Khan, M. (2003.) "ECOSERV: Ecotourists Quality Expectations", *Annals of Tourism Research*, vol.30 (1), 109-124
- [14] Kim, M., Kim.H.J. i Lennon, S. (2006.) "Online service attributes available on apparel retail web sites: an E-S-QUAL approach", *Managing Service Quality*, Vol. 16, No. 1, 51-77
- [15] Kolanović, I. (2007.) "Temeljne dimenzije kvalitete lučke usluge", *Pomorstvo*, god. 21, br. 2, 207-224
- [16] Kosorić, B. (2010.) "Elektronska satisfakcija u turizmu", diplomski rad, Beograd: Univerzitet Singidunum, Fakultet za turistički i hotelijerski menadžment
- [17] Legičević, J. (2009.) "Quality gap of educational service in viewpoints of students", *Ekonomika misao i praksa*, god. XVIII., br. 2, 279-298
- [18] Lewis, B.R. (1991.) "Service Quality: An International Comparison of Bank Customers Expectations and Perceptions", *Journal of Marketing Management*, No.7, 7-18
- [19] Luštić, O. (2003.) *E-banking in Estonia: reasons and benefits of the rapid growth*, Tartu: University of Tartu, Faculty of Economics and Business Administration
- [20] Marinković, S.; Ljumović, I. (2010.) "Socijalna dimenzija pristupačnosti i kvaliteta bankarskih usluga u Republici Srbiji", *Ekonomika preduzeća*, Vol.58, br. 3-4, str. 149-159
- [21] Mečev, D. i Grubišić, D. (2013.) "Mjerenje kvalitete usluge Internet bankarstva primjenom modificiranog E-S-QUAL modela", 13. hrvatska konferencija o kvaliteti i 4. znanstveni skup hrvatskog društva za kvalitetu "Kvaliteta – put izvrsnosti", Zagreb: Hrvatsko društvo za kvalitetu, 302-311
- [22] Mihailović, I. (2009.) "Kvalitet usluga u Internet bankarstvu", magistarski rad, Univerzitet singidunum Beograd, Beograd
- [23] Nunnally, J.C. i Bernstein, I.H. (1994.) *Psychometric Theory*, New York: McGraw-Hill
- [24] Oliver, R.L. (1981) "Measurement and Evaluation of Satisfaction Processes in Retail Settings", *Journal of Retailing*, Vol. 57, jesen, 25-48.
- [25] Ozretić Došen, Đ., Škare, V. i Škare, T. (2010.) "Mjerenje kvalitete usluge primarne zdravstvene zaštite SERVQUAL instrumentom", *Revija za socijalnu politiku*, god. 17, br. 1, 27-44
- [26] Parasuraman, A., Berry, L.L. i Zeithaml, V.A. (1985.) "A conceptual model of service quality and its implications for future research", *Journal of Marketing*, vol. 49, 41-50
- [27] Parasuraman, A., Berry, L.L. i Zeithaml, V.A. (1988.) "SERVQUAL: A multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality", *Journal of Retailing*, vol. 64, jesen, 12-40
- [28] Parasuraman, A., Zeithaml, V. i Berry, L.L. (1991.) Refinement and reassessment of the SERVQUAL scale, *Journal of Retailing*, 67, 4, 420-450
- [29] Parasuraman, A., Zeithaml, V.A. i Malhotra, A. (2005.) "E-S-QUAL: a multiple-item scale for assessing electronic service quality", *Journal of Service Research*, vol.7, br.3, 213-233
- [30] Pepur, M. (2006.) "Kvaliteta usluga u bankarskoj industriji: koncept i mjerenje", *Tržište*, Vol.18, No.1-2, str. 53-66
- [31] Pyun, C.S., Scruggs, L. i Nam, N. (2002.) "Internet banking in the US, Japan and Europe", *Multinational Business Review*, jesen, 73-81

- [32] Radojević, P.; Marjanović, D. (2011.) "Kvalitet usluga u bankarstvu: nesaglasnosti, odrednice i istraživačke tehnike za unapređenje kvaliteta", Bankarstvo, Br.7/8, str. 34-59
- [33] Ranganathan, C. i Ganapathy, S. (2002.) "Key dimensions of business-to-consumer web sites", Information and Management, Vol. 30, 457-465
- [34] Safakli, O.V. (2007.) "Testiranje dimenzija modela SERVQUAL u bankarskom sektoru sjevernog Cipra", Financijska teorija i praksa, 31(2), str. 181-197
- [35] Sharma, A. i Sheth, J.N. (2004.) "Web-based marketing: the coming revolution in marketing thought and strategy", Journal of Business Research, vol. 57, br.7, 696-702
- [36] Uran, S. (2003.) "Informatička tehnologija u bankovnom poslovanju", Infotrend, br.110, preuzeto s <http://arhiva.trend.hr/clanak.aspx?BrojID=15&KatID> (8.8.2013.)
- [37] Wolfinbarger, M.F. i Gilly, M.C. (2003.) "eTailQ: dimensionalizing, measuring and predicting etail quality", Journal of Retailing, vol.79, br.3, 183-198
- [38] Yang, Z., Jun, M. i Peterson, R.T. (2004.) "Measuring customer perceived online service quality: Scale development and managerial implications", International Journal of Operations & Product management, vol.24, br.11/12, 1147-1152
- [39] Zakon o platnom prometu (2001.) Narodne novine, br.117
- [40] Zakon o elektroničkom potpisu (2002.) Narodne novine, br.10
- [41] Zeithaml, V.A, Parasuraman, A i Malhotra, A. (2000.) "e-service Quality: Definition, Dimensions and Conceptual Model", Marketing Science Institut, Cambridge
- [42] Zeithaml, V.A, Parasuraman, A i Malhotra, A. (2002.) "Service Quality Delivery through Web Sites: A Critical Review of Extant Knowledge", Journal of the Academy of Marketing Science, vol. 30, br. 4, 362-375
- [43] Žižak, I. (2013), Mjerenje kvalitete bankarskih usluga namijenjenih studentskoj populaciji, doktorska disertacija, Ekonomski fakultet u Zagrebu, Zagreb

OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I ENERGETSKA UČINKOVITOST S ASPEKTA PROJEKTOG FINANCIRANJA

Renewable Energy Sources and Energy Efficiency in Terms of the Project Financing

Autor: **Tamara Žufić Košara**, mag. oec. (Politehnika Pula, Visoka tehničko-poslovna škola, Pula)

Autor: **Ivan Sapundžić**, student (Specijalistički diplomski stručni studij "Kreativni menadžment u procesima" na Politehnici Pula Visokoj tehničko-poslovnoj školi, Pula)

SAŽETAK

Rad obrađuje problematiku financiranja projekata primjene obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti te razrađuje model projektnog financiranja takvih projekata i konceptualni prikaz procesa kroz faze životnog ciklusa projekta.

Cilj ovog rada je prikazati moguće izvore financiranja projekata primjene obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti, objasniti model projektnog financiranja te definirati po fazama životnog ciklusa projekta aktivnosti za realizaciju modela projektnog financiranja kod obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti.

Rezultati rada ukazuju na potrebu definiranja i upoznavanja javnosti o fazama, aktivnostima i potrebnim koracima unutar procesa projektnog financiranja, radi realizacije što većeg dijela predloženih projekata, a sve sa ciljem povećavanja udjela u ostvarivanju postavljenih europskih energetske ciljeva.

KLJUČNE RIJEČI: obnovljivi izvori energije, energetska učinkovitost, vrste financiranja projekata, projektno financiranje, konceptualni prikaz procesa, životni ciklus projekta

ABSTRACT

This article addresses a problem of financing renewable energy and energy efficiency projects and elaborates a project finance model with a project life cycle process concept.

This articles objective is to indicate possible finance sources for renewable energy and energy efficiency projects, elucidate a project finance model and to define activities sorted by project life cycle steps for renewable energy and energy efficiency project finance model implementation.

The results indicate the need to define and publicly educate about stages, activities and steps in project finance process in order to realise the majority of proposed projects, all in an effort to increase the share of european energy goals realization.

KEY WORDS: renewable energy, energy efficiency, types of financing projects, project financing, process concept, project life cycle

1. UVOD

Primjena obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti, zahtijeva veliki angažman kako financijskih sredstava tako i ljudskih resursa i vremena, a sve s ciljem njihove uspješne i kvalitetne realizacije.

Provođenje projekata primjene obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti traje duže vrijeme zbog mnogih koraka (izrađivanja potrebne dokumentacije, ishođenja potrebnih dozvola, provođenja javne nabave za nabavku potrebne opreme, montaže opreme, puštanja u pogon i naravno iznalaženja izvora financiranja) koje je potrebno provesti, međutim usklađivanjem aktivnosti moguće je navedeno vrijeme dovesti i kontekst postavljenog cilja. Stoga ukazuje se potreba ulaženja u područje upravljanja procesima.

2. PROBLEM I METODE RADA

Problem rada je razrada modela projektnog financiranja putem konceptualnog prikaza procesa radi lakšeg shvaćanja i praćenja

koraka životnog ciklusa projekta obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti.

U razradi ove tematike korištene su slijedeće znanstvene metode rada: deskriptivna, analize, sinteze i grafička.

Financiranje podrazumijeva prikupljanje financijskih sredstava u svrhu obavljanja određene aktivnosti ili realizacije planiranog projekta, i uspostavljanje obveza prema izvorima sredstava. (Ekonomski leksikon, 2. izd.)

Izvori financiranja mogu se podijeliti prema:

- roku raspoloživosti izvora na kratkoročno financiranje i na dugoročno financiranje
- vlasništvu na vlastiti izvori i tuđi izvori
- porijeklu na unutarnje (interne) izvore i na vanjske (eksterne) izvore.

Obnovljivi izvori energije su izvori energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično, dijelimo ih na

energiju vodotoka, vjetra, neakumuliranu Sunčevu energiju, biogorivo, biomasu, bioplin, geotermalnu energiju, energiju valova, plime i oseke, biomasu, plin iz deponija te plin iz postrojenja za preradu otpadnih voda. (Zakon o energiji, NN 120/12, 14/14).

Pod pojmom energetska učinkovitost podrazumijevamo učinkovitu uporabu potrebne energije u svim sektorima krajnje potrošnje energije: industriji, prometu, uslužnim djelatnostima, poljoprivredi i u kućanstvima ali bez odricanja od energije. Energetsku učinkovitost definiramo kao sumu isplaniranih i provedenih mjera čiji je cilj korištenje minimalno moguće količine energije tako da razina udobnosti i stopa proizvodnje ostanu sačuvane. (Bukarica, V. i dr., 2008) Učinkovito korištenje energije nije samo korištenje tehničkih rješenja već se ono velikim dijelom oslanja na svijest i volju ljudi da promijene svoje ustaljene načine življenja. Razlozi koji mogu uvelike utjecati na promjenu ustaljenog načina života stanovništva, odnosno za učinkovito korištenje energije dijelimo na: zaštitu okoliša i ekonomsku isplativost. (Bukarica, V. i dr., 2008)

Projekti proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije i primjene energetske učinkovitosti mogu se financirati putem (Karan, M., 2009):

1. Vlastitih sredstava
2. Putem suvlasništva
3. Projektnim financiranjem
4. Financiranjem od trećih strana.

Financiranje putem vlastitih sredstava podrazumijeva financiranje projekta kapitalnim sredstvima pravne osobe koja je ujedno i vlasnik projekta, a obveze projekta su osigurane njegovom imovinom. Karakteristike ovakvog načina financiranja su da je to brz i jednostavan način prikupljanja potrebnih kapitalnih sredstava te nema troška zaduživanja koji smanjuje stopu povrata projekta.

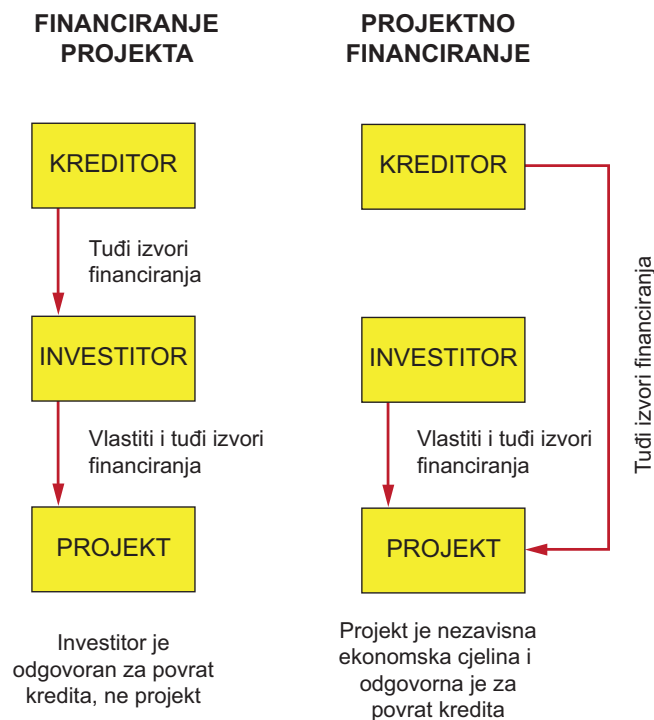
Financiranje putem suvlasništva predstavlja financiranje projekata putem ostvarivanja partnerstva koje uključuje suvlasništvo u projektu ili ekvivalentu u strukturi pravne osobe koja je vlasnik projekta. Ovim načinom prikupljanja potrebnih kapitalnih sredstava podrazumijeva se osnivanje zasebnog trgovačkog društva ili potpisivanje ugovora o joint-venture ulaganju.

Projektno financiranje je specifičan oblik financiranja, tj. to je tehnika financiranja koja se često koristi u kapitalno intenzivnim djelatnostima, i to najviše u financiranju infrastrukture. Riječ je o složenom postupku u kojemu zajmodavac očekuje otplatu zajma prvenstveno od prihoda koje će generirati sam projekt (Aralica, Z.; Račić, D.; Šišinački, J., 2007). Pojam projektnog financiranja potrebno je razlikovati od pojma financiranje projekata jer financiranje projekata u području izgradnje podrazumijeva tzv. bilančno financiranje gdje se takvi projekti prikazuju u aktivi investitora a izvori financiranja tih projekata u pasivi investitora projekta. S druge strane projektno financiranje još se može nazvati i izvanbilančno financiranje zbog toga što se kod ove tehnike ne zadužuje matično poduzeće investitora nego društvo s posebnom namjenom - DPN (eng. *special purpose vehicle* – SPV) što je prikazano na Slici 1. (Juričić, D; Brajković, D., 2010)

Financiranje od treće strane koje razlikuje da li su sredstva dobivena iz komercijalnih izvora ili iz namjenskih fondova.

Ukoliko su sredstva dobivena iz komercijalnih izvora tada ono podrazumijeva financiranje projekta koje omogućuju domaće i strane poslovne banke kod kojih uvjeti ovise o kretanjima na međunarodnom tržištu kapitala, dok su uvjeti za odobrenje zahtjevni ali i promjenjivi. Namjenske fondove za financiranje projekata obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti razlikujemo s obzirom na njihov izvor: domaći (državni proračun, proračuni jedinica lokalne i regionalne samouprave, Hrvatska banka za obnovu i razvoj te Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost) i inozemni koji podrazumijevaju financiranje iz europskih fondova za financiranje obnovljivih izvora energije.

Slika 1: Razlika između financiranja projekta i projektnog financiranja



Izvor: Juričić, D.: "Projektno financiranje", RRiF, Zagreb 4/2011, str. 98.

3. REZULTATI RADA

U ovom radu obrađuje se projektno financiranje čije su prednosti:

- u tome što se ovom vrstom financiranja izbjegavaju ograničenja državnog odnosno lokalnog proračuna ili poslovno-financijskih ugovora, zbog toga što bi se takvi projekti inače trebali financirati iz zaduženja lokalnog proračuna koji je ograničen na godišnjoj razini u visini od 20% vlastitih prihoda od proteklog razdoblja;
- u efikasnijoj alokaciji rizika- u slučaju velikih projekata sponzori nastoje podijeliti rizik s ostalim sponzorima;
- izvanbilančno financiranje označava knjigovodstveno praćenje projekata koje omogućava brzo donošenje poslovnih odluka bez obzira kako sponzor redovno posluje;
- prenošenje "know-how-a" između sponzora projekta prilikom provođenja kompleksnog projekta.

Realizacija projekata obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti prolazi kroz određene korake koji čine životni ci-

klus projekta. Struktura životnog ciklusa projekta podijeljena je u četiri (4) faze (Vodič kroz PMBOK – 4. izd.):

- pokretanje projekta;
- organiziranje i priprema;
- izvršavanja projektnog rada i
- zatvaranje projekta.

Projektne su faze vezane jedna za drugu, odnosno kako jedna završava tako druga započinje, međutim u nekim situacijama je moguće da se i preklapaju radi sažimanja vremenskog perioda za izvršenje projekta. U slučaju kada faze slijede jedna za drugom, tada zatvaranje faza završava nekim izlazom koji može biti u obliku odluke, ili nekog drugog dokumenta i predstavlja ulaz u slijedeću fazu projekta. Dok u slučaju kada se faze preklapaju tada druga faza započinje prije nego što prva faza završi, međutim takav način povećava rizik i može rezultirati ponavljanjem određenih aktivnosti ako slijedeća faza započne prije nego što se prenese točna informacija (izlaz) u slijedeću fazu. Konceptualni prikaz procesa projektnog financiranja razrađen prema fazama životnog ciklusa projekta prikazan je na Slici 2.

Faza pokretanja projekta započinje projektnim zadatkom, kojim su zadani parametri korištenja resursa, određeni rokovi i postavljena je zahtijevana razina kvalitete. Nakon postavljenog projektnog zadatka ulazi se u drugu fazu projekta – organiziranje i priprema u kojoj se izrađuje Plan projekta koji putem Studije izvedivosti i Studije isplativosti prikazuje koliko je projekt opravdan i rizičan. Visoka rizičnost projekta umanjuje se Planom upravljanja rizicima i sklapanjem svih potrebnih ugovora. Nakon što su sponzori (investitori) pribavili svu potrebnu dokumentaciju i izradili Plan projekta, osnivaju Društvo za posebne namjene (eng. Special Purpose Vehicle - SPV) i financiraju ga ulažući vlasnički kapital. SPV potpisuje ugovore sa svim ostalim sudionicima i vlasnik je svih prava koja proizlaze iz projekta. SPV je pravno odvojeno društvo od ostalih tvrtki koje sudjeluju u vlasništvu nad SPV-om. Nakon osnutka društva koje će projektom upravljati, slijedeći korak je pronalazak otkupljivača energije (u Republici Hrvatskoj otkupljivač je HROTE d.o.o. – Hrvatski operator tržišta energije) i sklapanje s njim Ugovora o kupoprodaji energije na kojem se temelje prihodi projekta. Otkupljivač se obvezuje otkupiti energiju od SPV-a, najčešće po principu “isporuči ili plati” i “preuzmi ili plati” (prikazano na Slici 2 kao predzadnja aktivnost unutar faze organiziranje i priprema.

Nakon pronalaska otkupljivača i Pripremom za implementaciju dolazi do preklapanja druge faze sa trećom fazom životnog

ciklusa projekta, fazom izvršavanja projektnog rada koja je većeg intenziteta rada i završava sa izgradnjom. Priprema za implementaciju projekta podrazumijeva pronalazak proizvođača od kojih se nabavlja oprema i sklapa Ugovor o isporuci opreme. Proizvođač nakon izgradnje može sudjelovati kao operator ili održavati opremu ako se nije pronašao poseban Operator. Ukoliko Operator nije proizvođač, traži se posebna tvrtka koja će projektom upravljati i održavati ga u fazi eksploatacije i sa njome se sklapa Ugovor o upravljanju i održavanju opreme. Operator je odgovoran za rad objekta nakon izgradnje i najčešće jamči određenu efikasnost tj. proizvodnju. U isto vrijeme traži se graditelj objekta i potpisuje se Ugovor o izgradnji. Glavni graditelj snosi sve rizike vezane uz izgradnju i također jamči za izvođenje svih radova uključujući radove podizvođača. Kako bi se osiguralo mjesto za pogon, od javnih vlasti potražuje se Koncesija za prostor, koji SPV-u daje pravo za izgradnju i funkcioniranje objekta, i sve popratne Građevinske i Uporabne dozvole. Slijedeća aktivnost, nakon pribavljenih svih potrebnih dokumenata, je ulaganje kapitala u SPV gdje sponzori (investitori), u pravilu, ulažu 30% iznosa a kreditor ostalih 70%. U ovom koraku kreditor sa svojim savjetnicima odlučuje koliko je projekt isplativ i rizičan i, po potrebi, šalje projekt na doradu kako bi se eliminirali negativni učinci. Nakon svih sklopljenih instrumenata osiguranja i predujeta za dobivanje kredita kreće se sa završnom aktivnosti unutar faze izvršavanja projektnog rada, fizičkom izradom postrojenja. Izgradnja se završava po principu “ključ u ruke” i postrojenje započinje sa radom.

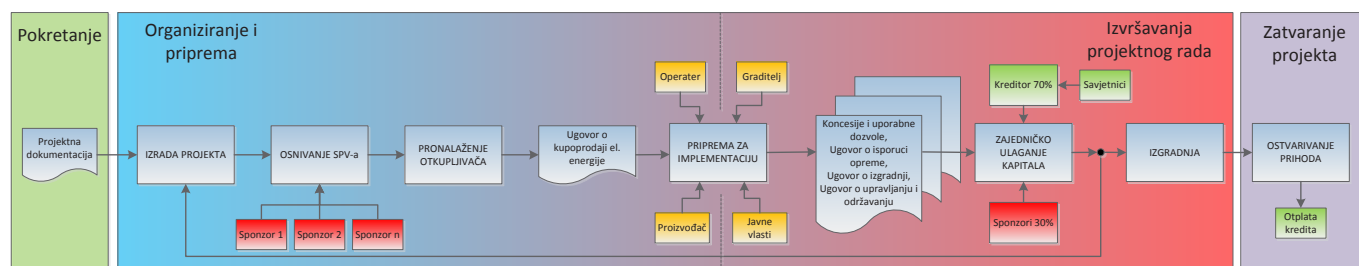
Ovim korakom započinje faza zatvaranja projekta, koja u ovom slučaju podrazumijeva puštanje postrojenja u pogon i period prilagodbe, odnosno započinje generiranje prihoda na kojima se temelji otplata kredita kreditoru.

Nakon određenog broja godina, definiranih u Ugovoru o kreditiranju, sponzori ostvaruju 100%-tni prihod od projekta. Nakon određenog perioda eksploatacije dolazi i do stvarnog zatvaranja projekta likvidacijom i eliminacijom objekta za što je zadužena tvrtka glavnog graditelja koja je postrojenje i izgradila.

4. ZAKLJUČAK

Analizom mogućih načina financiranja projekata primjene obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti ustanovljeno je da je najoptimalniji način projektno financiranje, zbog prednosti koje takav način nosi (efikasnost alokacije rizika, izvanbilančno financiranje što donosi vrijednost za investitore i prenošenje znanja između sponzora). Sve aktivnosti i koraci prikazani su kroz konceptualno rješenje procesa i pripadnih

Slika 2: Konceptualni prikaz procesa projektnog financiranja razrađen prema fazama životnog ciklusa projekta



Izvor: Autor

faza životnog ciklusa projekta, što olakšava razumijevanje potrebnih radnji u svakom trenutku projekta za uspješnu realizaciju primjene obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti.

LITERATURA

- [1] Aralica, Z.; Račić, D.; Šišinački, J.: "Projektno financiranje infrastrukture", Privredna kretanja i ekonomska politika, Zagreb, 112 / 2007. Str. 53-87
- [2] Bukarica, V.; Dović, D.; Hrs Borković, Ž.; Soldo, V.; Sučić, B.; Švaić, S.; Zanki, V.: "Priručnik za energetske savjetnike, 1. izdanje UNDP, Zagreb, 2008. (preuzeto sa <http://www.static.pvc-stolarija.hr>)
- [3] Ekonomski leksikon 2. izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Masmedia, Zagreb
- [4] Juričić, D.: "Projektno financiranje", Računovodstvo, Revizija i Financije, Zagreb, 4/2011., str. 97-100
- [5] Juričić, D.; Brajković, D.: "The project finance model in the supply of residential and commercial premises", Financial Theory and Practice, 34 (2), 2010., page 181-206
- [6] Karan, M.: "Mogućnosti financiranja projekata proizvodnje energije iz obnovljivih izvora", EIHP, Gospić, 2009
- [7] Project Management Institute: Vodič kroz znanje o upravljanju projektima (Vodič kroz PMBOK®) – 4. Izdanje, Mate d.o.o., Zagreb, 2011.
- [8] Zakon o energiji, Narodne novine br. 120/12, 14/14

FORMIRANJE NEKRETNINSKIH INDEKSA

Autor: Dr. sc. Dolores Pušar Banović

SAŽETAK

Prilikom investiranja na financijskim tržištima dionički indeksi, obveznički indeksi te ostale vrste indeksa služe investitorima kao referentni pokazatelj kretanja cijene, povrata i rizika pojedinog vrijednosnog papira, odnosno pojedine imovinske klase. Nekretninski indeksi služe kao referentni pokazatelji kretanja cijena nekretnina, povrata i rizika na tržištima koje pokrivaju. S obzirom na vrstu nekretnina za koju se indeks formira razlikuje se indeks rezidencijalnih nekretnina i indeks komercijalnih nekretnina. S obzirom na činjenicu koje je podatke iz indeksa moguće dobiti, razlikuju se cjenovni indeksi, indeksi dohotka te indeksi ukupnog povrata, a s obzirom na način konstrukcije nekretninskih indeksa razlikuju se indeksi temeljeni na procjenama vrijednosti nekretnina, na podacima o obavljenim transakcijama nekretnina te indeksi koji se temelje na cijenama dionica nekretninskih kompanija. Na hrvatskom se tržištu nekretnina trenutno objavljuju dva nekretninska indeksa rezidencijalnih nekretnina, oba iz kategorije indeksa temeljenih na podacima o obavljenim transakcijama, dok indeks komercijalnih nekretnina na hrvatskom tržištu još uvijek ne postoji.

KLJUČNE RIJEČI: nekretninski indeksi, rezidencijalne nekretnine, komercijalne nekretnine, cjenovni indeks, indeks dohotka, ukupni indeks, nekretninski indeks temeljen na procjenama vrijednosti nekretnina, nekretninski indeks temeljen na podacima o obavljenim transakcijama, nekretninski indeks temeljen na cijenama dionica nekretninskih kompanija

ABSTRACT

When investing in financial markets, stock indices, bond indices and other types of indices serve to investors as a reference indicator of price movement, returns and risks of individual securities or certain property classes.

Real estate indices are used as reference indicators of property price trends, returns and risks on the markets they cover.

Depending on the type of real estate for which the index is formed there are two main real estate index types, the residential real estate index and the commercial real estate index. Depending of the information contained in the indices, there are three property index types, the price index, the income return index and the total return index.

With respect to the construction type of property indices, there are appraisal-based indices, transaction-based indices and real estate securities indices.

The Croatian real estate market currently publishes two residential property indices, both in the category of transaction-based indices, while the index of commercial property still does not exist on the Croatian real estate market.

1. UVOD

Kretanje i promjena cijene pojedine imovinske klase kroz vrijeme te povrati na investiciju u predmetnu imovinsku klasu mjere se indeksima. Podaci o povijesnim povratima služe za izračun povrata od ulaganja za vrijeme držanja investicije, za izračun prosječnog povrata te za izračun rizika investiranja mjenjenog standardnom devijacijom. Iz podataka o povratima izračunava se i korelacija između različitih imovinskih klasa. Svi ovi podaci potrebni su investitoru za donošenje kvalitetne odluke o formiranju optimalnog investicijskog portfelja i definiranju udjela pojedine imovinske klase u ukupnom portfelju.

Nekretninski indeksi, a vodeći računa o specifičnosti nekretnina u odnosu na ostale imovinske klase, osiguravaju više ili manje kvalitetnu osnovu za donošenje investicijske odluke. Kvaliteta indeksa te njegov značaj kao referentnog pokazatelja

investiranja ovisi o brojnim faktorima koji sudjeluju u konstruiranju indeksa kao što su; veličina uzorka nekretnina, homogenost nekretnina uključenih u indeks, primijenjene metode i pristupi konstruiranja indeksa, primijenjene metode vrednovanja nekretnina i dr.

U cilju identifikacije različitih nekretninskih indeksa i njihovih specifičnosti, u nastavku su sumirane metode i načini konstruiranja indeksa rezidencijalnih te indeksa komercijalnih nekretnina, s osvrtom na najznačajnije svjetske nekretninske indekse.

2. NEKRETNINSKI INDEKSI

Kretanje cijena i povrata pojedinih imovinskih klasa kroz vrijeme mjeri se indeksima. Indeksi su osnovni izvor podataka

iz kojih se mjere prosječni povrati na ulaganje i rizik ulaganja, kroz mjerenje standardne devijacije povrata.

Tri su temeljne vrste indeksa¹:

- cjenovni indeks (engl. *price index*);
- indeks dohotka (engl. *income return index*) i
- indeks ukupnog povrata (engl. *total return index*).

Cjenovni indeks uzima u obzir samo kretanje i promjene cijena pojedine klase imovine, indeks dohotka uzima u obzir samo dohodak (dobitak) koji se ostvaruju iz pojedine klase imovine, dok indeks ukupnog povrata sumarno promatra kretanje dohotka (dobitka) i promjene cijena pojedine imovinske klase.

Zbog specifičnosti tržišta nekretnina i specifičnosti nekretnina kao imovinske klase, kod formiranja nekretninskih indeksa javlja se nekoliko pitanja, o kojima je potrebno voditi računa²:

1. na koji način definirati tržišta nekretnina, s obzirom na njegovu heterogenost;
2. koji kriterij koristiti kod izbora reprezentativnog uzorka nekretnina, kao sastavnice indeksa;
3. na koji će način veličina uzroka utjecati na indeks, naime što je uzorak veći, rizik individualne nekretnine se diverzificira te rizik indeksa teži vrijednosti tržišnog rizika i
4. pitanje nepostojanja centralnog mjesta trgovanja nekretninama, nekontinuirano trgovanje nekretninama te poteškoće u dobivanju podataka o ostvarenim kupoprodajnim cijenama.

Pitanje koje se kod konstrukcije nekretninskih indeksa postavlja jest i pitanje pondera pojedine nekretnine u vrijednosti indeksa. Postoje dvije mogućnosti, ili se kao ponder koristi mjera tržišne kapitalizacije³ pojedine nekretnine ili se koristi metoda jednakih pondera.

Kod konstrukcije nekretninskih indeksa, u svijetu se primjenjuje nekoliko različitih načina konstrukcije indeksa, pa se razlikuju:

1. Indeksi koji se temelje na procjenama nekretnina (engl. *Appraisal-based indices*);
2. Indeksi koji se temelje na podacima o obavljenim transakcijama nekretninama (engl. *Transaction-based indices*) i
3. Indeksi koji se temelje na cijenama dionica nekretninskih kompanija.

1. Indeksi temeljeni na procjenama nekretnina

Indeksi temeljeni na procjenama nekretnina najviše se koriste u situacijama kada su informacije o cijenama nekretnina nedostupne ili rijetke, što je najčešće slučaj kod komercijalnih nekretnina. Ovi se indeksi baziraju na procjenama vrijednosti određenog uzorka nekretnina. Vrijednost indeksa se kod ove metode utvrđuje procjenama tržišne vrijednosti nekretnina uključenih u indeks u zadanim vremenskim intervalima (mesečno, kvartalno, polugodišnje, godišnje). Često se kod konstrukcije indeksa koristi uzorak nekretnina pojedinih financijskih institucija koje u portfeljima drže nekretnine, a imaju zakonsku obvezu procjenjivanja tih istih nekretnina određenom dina-

mikom. Različite zemlje koriste različite metode procjena nekretnina, za formiranje indeksa nekretnina temeljenih na procjenama. Prilikom vrednovanja najčešće se utvrđuje tržišna vrijednost nekretnine kao: "... procijenjeni iznos zamjene nekretnine između voljnog kupca i voljnog prodavatelja u tržišnoj transakciji, nakon što je određeno vrijeme nekretnina bila ponuđena na tržištu, gdje stranke djeluju razborito i bez prinude uz dovoljno informacija o nekretnini koja je predmet kupoprodaje⁴.

Sve se metode vrednovanja nekretnina mogu obuhvatiti u tri pristupa vrednovanja: troškovni pristup vrednovanju, komparativni pristup vrednovanju i pristup kapitalizacije prinosa. Troškovni pristup vrednovanju zasniva se na troškovima gradnje nekretnine, komparativni pristup na principu supstitucije te pristup kapitalizacije prinosa koji se zasniva na kapitalizaciji toka novca koji generira procjenjivana nekretnina.

Tri navedena pristupa vrednovanja nekretnina u pravilu rezultiraju trima različitim vrijednostima. Proces donošenja odluke o konačnoj vrijednosti nekretnine naziva se poravnanje odnosno usklađenje dobivenih procijenjenih vrijednosti (engl. *reconciliation*)

Kod indeksa temeljenih na procjenama nekretnina, dobivene serije vrijednosti nekretnina izgladene su, što znači da indeksi podcjenjuju varijabilnost povrata na tržištu nekretnina, odnosno ovi indeksi prema Hoesliju i MacGregoru⁵ predstavljaju izgladenu verziju pravih tržišnih cijena nekretnina. Naime, rijetke transakcije nekretninama tjeraju procjenitelje da vrijednost nekretnine utvrđuju kao kombinaciju tržišne cijene nekretnine slične procjenjivanoj nekretnini i procijenjene vrijednosti nekretnine prošlog razdoblja. Nadalje, i spajanje pojedinačnih procijenjenih vrijednosti nekretnina (uz pretpostavku različitih datuma procjene) u jedinstveni indeks pridonosi izgladivanju te udaljavanju indeksa od tržišnih cijena nekretnina.

Često se kod financijskih kuća koje objavljuju indese nekretnina temeljene na procjenama vrijednosti, vrše periodične analize u cilju usporedbe odstupanja vrijednosti indeksa temeljem procijenjenih vrijednosti nekretnina i postignutih tržišnih cijena pojedinih nekretnina⁶.

Neki od najpoznatijih indeksa, koji se temelje na procjenama nekretnina, jesu **NPI index** u SAD-u te **IPD Index** u Ujedinjenom Kraljevstvu.

NPI index⁷ je kvartalni indeks koji mjeri ukupni povrat na investiciju u nekretnine. U drugom kvartalu 2012. godine indeks je bio sastavljen od 7.299 komercijalnih nekretnina, ukupne tržišne vrijednosti od 310,7 mlrd \$⁸. Sve nekretnine u indeksu dio su portfelja institucionalnih investitora posebnog poreznog statusa, u najvećoj mjeri dio portfelja mirovinskih fondova, članova National Council of Real Estate Investment Fiduciaries (NCREIF). Vrijednost indeksa računa se od kraja četvrtog kvartala 1977. godine kada je definirana vrijednost indeksa od 100. Kalkulacija indeksa bazira se na mjerenju kvartalnih povrata pojedinačnih nekretnina uključenih u indeks. Ponder povrata pojedinačnih nekretnina u indeksu mjeri se udjelom tržišne vrijednosti nekretnine u sumi tržišnih vrijednosti svih

¹ Hoesli M., Macgregor, B.D.: Property Investment. Principles and Practice of Portfolio Management, Pearson Education Limited, Harlow, England, 2000., p 53

² Hoesli M., Macgregor, B.D.: op.cit., p 54

³ Ponder pojedine nekretnine dobiva se dijeljenjem tržišne vrijednosti pojedine nekretnine sa ukupnom tržišnom vrijednošću svih nekretnina

⁴ International Valuation Standards No 1, 3.1.

⁵ Hoesli M., Macgregor, B.D.: op.cit., p 55

⁶ Valuation and Sale Price Report. European Summary 2010. RISC Research. December 2010. www.rics.com

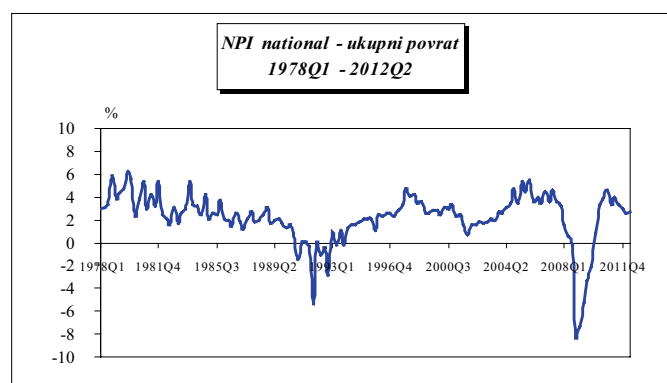
⁷ Detalji o indeksu mogu se pronaći na www.ncreif.org

⁸ www.ncreif.org dana 07. rujna 2012.godine

nekretnina uključenih u indeks. Vrijednost indeksa računa se kroz mjerenje dohotka od nekretnine, promjene u kapitalnoj vrijednosti nekretnine te ukupnog povrata od ulaganja u nekretninu. Osim NPI indeksa na nacionalnoj razini u SAD-u, izvode se i indeksi pojedinih vrsta nekretnina, odnosno zasebni indeks apartmanskog prostora, industrijskih nekretnina, uredskih prostora, maloprodajnih prostora i hotela te indeksi pojedinih geografskih područja u SAD-u.

Na grafikonu u nastavku prikazani su povrati NPI indeksa na nacionalnoj razini u SAD-u, počevši od prvog kvartala 1978. godine do drugog kvartala 2012. godine. Snažan pad u ukupnim povratima zabilježen je od prve polovine 1991. godine do kraja 1993. godine, a sljedeći pad zabilježen je tijekom 2008. i 2009. godine. U drugom kvartalu 2012. godine ukupni povrat NPI indeksa iznosio je 2,68%

Grafikon 1: NPI Index – ukupni povrat na nacionalnoj razini u SAD-u, za razdoblje od prvog kvartala 1978. godine do drugog kvartala 2012. godine



Izvor: www.ncreif.org (obradila autorica)

IPD Index⁹. formira i objavljuje Investment Property Databank (IPD) u Ujedinjenom Kraljevstvu. Indeksi se objavljuju za 14 europskih tržišta i dva tržišta izvan Europe (Kanada i Južna Afrika), te izvješća za tržišta Japana i Australije, ukupno 110 nekretninskih indeksa. Većina indeksa jesu godišnji indeksi, s izuzetkom indeksa u Kanadi, Irskoj i Australiji koji se sastavljaju na kvartalnoj bazi, dok se indeksi u Ujedinjenom Kraljevstvu objavljuju godišnje, kvartalno i mjesečno.

IPD je pokrenula razvoj indeksa nekretnina u Ujedinjenom Kraljevstvu prije 20-tak godina. Svi su indeksi vrijednosno ponderirani, odnosno svaka nekretnina sudjeluje u indeksu proporcionalno vrijednosti te nekretnine u ukupnom portfelju nekretnina koje čine indeks. IPD indeksi po zemljama razlikuju se međusobno samo u primijenjenim metodama vrednovanja nekretnina.

Prema podacima IPD-a¹⁰ u većini europskih zemalja prilikom procjene vrijednosti nekretnina primjenjuje se pristup kapitalizacije prinosa; odnosno metoda kapitalizacije neto operativnog dobitka i/ili metoda diskontiranja toka novca.

IPD godišnji indeks Ujedinjenog Kraljevstva (engl. *IPD UK Annual Property Index*) uključuje cca 11.000 nekretnina sadržanih u preko 240 portfelja institucija u Ujedinjenom Kraljevstvu, koje su zakonski dužne procjenjivati nekretnine u vlastitim port-

feljima. Indeks se računa od prosinca 1980. godine, a za mnogo manji uzorak od prosinca 1970. godine.

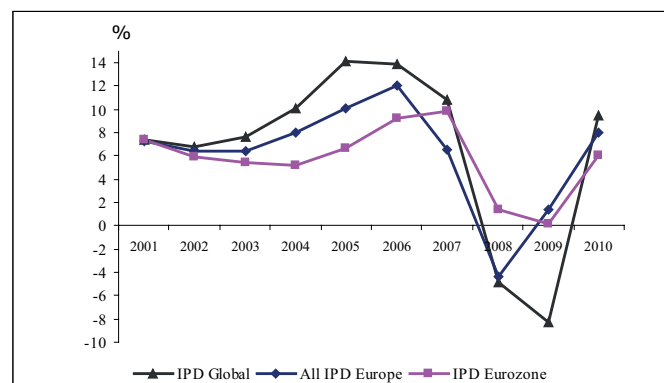
Uz ostale indekse Investment Property Databank izračunava i All IPD Europe indeks, IPD Eurozone indeks te IPD Global Annual Property Index. U All IPD Europe indeks uključene su nekretnine iz sljedećih europskih zemalja: Austrija, Belgija, Češka, Danska, Francuska, Njemačka, Irska, Italija, Nizozemska, Norveška, Poljska, Portugal, Španjolska, Švedska, Švicarska i Ujedinjeno Kraljevstvo. U indeks je uključen i finski KTI Finland Index.

All IPD Europe indeks mjeri godišnji ukupan povrat na direktne oblike ulaganja u nekretnine te mjeri i pojedinačno povrate od maloprodajnih prostora, uredskih prostora, industrijskih i rezidencijalnih nekretnina, sve izraženo u nacionalnim valutama navedenih zemalja. Sve su kalkulacije u izradi indeksa vrijednosno ponderirane udjelom kapitalne vrijednosti pojedine nekretnine u ukupnom portfelju nekretnina.

IPD Eurozone indeks obuhvaća analizu nekretnina zemalja pripadnica Eurozone, a unutar zemalja za koje IPD prikuplja podatke. IPD Global Property Index osim podataka o nekretninama iz europskih zemalja u formiranju indeksa koristi bazu podataka nekretnina iz Australije, Japana, Koreje, Južnoafričke Republike i SAD-a.

Na sljedećem grafikonu izvršena je usporedba kretanja IPD Global Annual Property indeksa, All IPD Europe indeksa i IPD Eurozone indeksa za razdoblje od 2001. do 2010. godine.

Grafikon 2: IPD Global Annual Property Index, All IPD Europe Index i IPD Eurozone Index – ukupni godišnji povrat za razdoblje od 2000. do 2010. godine



Izvor: Global performance in local currencies. www.ipd.com

2. Indeksi temeljeni na podacima o obavljenim transakcijama nekretninama

Podaci o transakcijama rezidencijalnih nekretnina dostupniji su od onih za komercijalne nekretnine, iz tog se razloga indeksi rezidencijalnih nekretninama u pravilu temelje na transakcijskim cijenama. Nekoliko je metoda koje se koriste kod konstrukcije indeksa temeljenih na podacima iz obavljenih transakcija, a to su¹¹:

1. Prosjek transakcijskih cijena (engl. *averages of transaction prices*);
2. Hedonistička metoda (engl. *hedonic method*) i
3. Metoda ponovljene prodaje (engl. *repeat-sales method*).

⁹ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.ipd.com

¹⁰ Cullen, I., Clacy-Jones, M. and Devaney, S.: The use of valuations and transactions in measuring commercial property market cycles, International conference on commercial property price indicators, Frankfurt, 10-11th May 2012.

¹¹ Hoesli M., MacGregor, B.D.: op.cit., p 61

Nekretninski indeks kao prosjek cijena nekretnina

Kod konstrukcije indeksa na temelju prosjeka cijena nekretnina ne uzimaju se u obzir podaci o karakteristikama nekretnina, kao ni o lokaciji nekretnine. Ono što karakterizira ovaj način izračuna indeksa je homogenost pojedinog segmenta nekretnina, odnosno segmentira se indeks za pojedinu vrstu nekretnina, za pojedino geografsko područje, razdoblje gradnje (starost nekretnine) i sl. Cijena nekretnina izražava se u određenim mjernim jedinicama, pa se koristi podatak o cijeni po m², po ft², m³ i sl.

Prednost ovakvog načina konstrukcije indeksa jest u njegovoj jednostavnoj kalkulaciji, međutim temeljni je nedostatak stvarna heterogenost nekretninskog tržišta bez obzira na pokušaje homogeniziranja pojedinog tržišnog segmenta.

Najznačajniji indeksi cijena rezidencijalnih nekretnina temeljeni na prosjeku cijena jesu; **IAS360 House Price Index**¹² u SAD-u koji se bazira na mjesečnim promjenama medijana prodajnih cijena stambenih nekretnina i **DCLG House Pricing Index**¹³ u Ujedinjenom Kraljevstvu koji se temelji na ponderiranim prosjecima transakcijskih cijena stambenih nekretnina.

Hedonistička metoda pri konstrukciji nekretninskog indeksa

Hedonistička metoda u konstrukciji nekretninskog indeksa nastoji otkloniti nedostatke indeksa dobivenog na bazi prosjeka postignutih cijena nekretnina. Naime, metoda počiva na mišljenju da cijena nekretnine ovisi o svojstvima nekretnine, tako da se u konstrukciji indeksa cijena nekretnina, uz podatke o postignutim cijenama, koriste i podaci o svojstvima nekretnina te o lokaciji na kojoj se nekretnina nalazi. U obzir se uzimaju svojstva nekretnine, kao što su veličina zemljišta, veličina zgrade i broj prostorija, godina i kvaliteta izgradnje, trenutno stanje nekretnine i sl. Kod analize lokacije vodi se računa o pristupu nekretnini, o susjedstvu i dostupnoj infrastrukturi te o uklopljenosti nekretnine u susjedstvo. Temeljem izabranih svojstava regresijskom analizom konstruira se funkcija koja najbolje povezuje svojstva nekretnine i cijenu. Primjenom funkcije dobiva se vrijednost indeksa cijena nekretnina za pojedino razdoblje izračuna indeksa.

Naime, prema autorima hedonističkog indeksa cijena nekretnina u Hrvatskoj: "Osnovna je ideja hedonističkih metoda da određena obilježja proizvoda čine ono što kupcu donosi zadovoljstvo, pa je nužno odrediti cijene tih obilježja (atributa), tzv. implicitne cijene. Nakon što su implicitne cijene procijenjene, hedonistička cijena proizvoda izvodi se kao zbroj implicitnih cijena pojedinih obilježja proizvoda. U kontekstu tržišta nekretnina cilj je u obliku novčanog iznosa izraziti korist koju kupac ima, primjerice, od površine stambene jedinice, balkona ili lokacije unutar nekog grada."¹⁴

Prema Hoesliju i MacGregoru¹⁵ hedonistička se metoda može koristiti kod procjene vrijednosti nekretnine na temelju njenih svojstava te se može koristiti i za konstrukciju indeksa cijena nekretnina.

Ova se metoda najčešće koristi kod konstrukcije indeksa kretanja cijena nekretnina, iako se ponekad koristi i kod konstrukcije indeksa ukupnog povrata od nekretnine.

Najpoznatiji nekretninski indeksi rezidencijalnih nekretnina temeljeni na hedonističkoj metodi jesu; **Halifax Building Society Index**¹⁶ u Ujedinjenom Kraljevstvu, **Nationwide House Price Index**¹⁷ u Ujedinjenom Kraljevstvu i **RP Data-Rismark Home Value Index**¹⁸ u Australiji.

Prednosti hedonističke metode pri konstrukciji nekretninskog indeksa jesu što se temelji na obavljenim transakcijama na nekretninskom tržištu, za razliku od indeksa temeljenih na vrednovanju nekretnina, te što uzima u obzir svojstva nekretnina odnosno vodi računa o heterogenosti tržišta nekretnina. Nedostaci koji se pojavljuju vezano za primjenu ove metode jesu pitanje kriterija izbora najznačajnijih svojstava nekretnina koje će biti uključene u regresijski model te ponekad nedostupnost podataka ne samo o transakcijama, već i o svojstvima nekretnina.

Metoda ponovljene prodaje

Ova metoda konstrukcije indeksa cijena nekretnina zasniva se na podacima iz obavljenih transakcija nekretninama, odnosno na transakcijskim cijenama nekretnina koje su u promatranom razdoblju prodane više od jedanput.

Osnovni cilj ove metode je smanjenje i otklanjanje heterogenosti tržišta nekretnina, a s obzirom na to da se promatra kretanje cijena jedne te iste nekretnine.

Prednost ove metode leži u činjenici da s obzirom na to da se radi o promatranju kretanja cijena određene nekretnine, podaci o svojstvima nekretnine nisu neophodni, potrebni su samo podaci o postignutim kupoprodajnim cijenama i datum obavljene transakcije. Nedostatak je što pojedina nekretnina koja se prodaje učestalo može imati špekulativni karakter pa sami transakcijski podaci ovakve nekretnine ne daju relevantne podatke o kretanjima na tržištu. Naime, često su cijene nekretnina koje se učestalo prodaju niže od postignutih cijena nekretnina s rjeđom prodajom. Nadalje, nevelik je broj nekretnina koje se češće prodaju te je nedostatak metode i problem pronalaženja reprezentativnog uzorka nekretnina. Dodatni nedostatak je činjenica da se, bez obzira što se radi o jednoj te istoj nekretnini njena svojstva kroz vrijeme mijenjaju, bilo kao posljedica obavljenih ulaganja na nekretnini ili posljedica protoka vremena.

Najznačajniji indeksi rezidencijalnih nekretnina temeljeni na metodi ponovljene prodaje jesu; **S&P/Case-Shiller Home Price Indices**¹⁹ u SAD-u i **FHFA HPI (Federal Housing Agency Home Pricing Index)**²⁰ u SAD-u.

Indeksi temeljeni na podacima o obavljenim transakcijama komercijalnih nekretnina

Iako se većina indeksa temeljenih na podacima o obavljenim transakcijama odnosi na obavljene transakcije rezidencijalnih nekretnina, u posljednjim godinama objavljuje se nekoliko nekretninskih indeksa koji se formiraju na temelju transakcija komercijalnim nekretninama.

Najznačajniji indeksi temeljeni na podacima o obavljenim transakcijama komercijalnih nekretnina jesu; **NCREIF Transaction**

¹² Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.iaservice.com

¹³ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.communities.gov.uk

¹⁴ Kunovac, D. et al.: Primjena hedonističke metode za izračunavanje indeksa cijena nekretnina u Hrvatskoj. HNB. Zagreb. Lipanj 2008. I-20, str 11

¹⁵ Hoesli M., Macgregor, B.D.: op.cit. p 63

¹⁶ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.hbospic.com

¹⁷ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.nationwide.co.uk

¹⁸ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.rpdata.com

¹⁹ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.standardandpoors.com

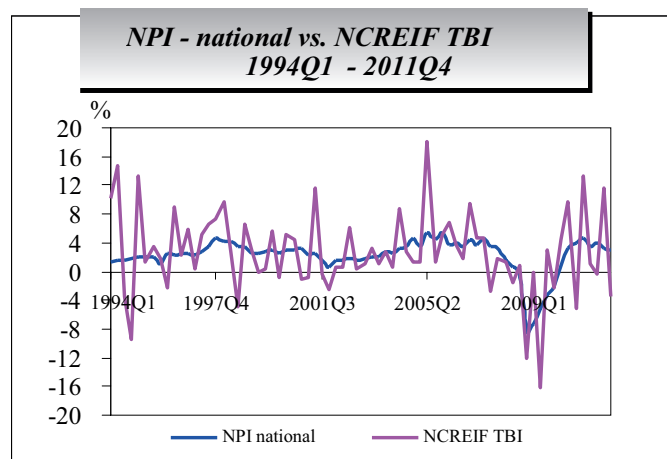
²⁰ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.fhfa.gov

Based Index (NCREIF TBI index²¹) u SAD-u, čiji je izračun zasnovan na hedonističkoj metodi i **Moodys/REAL Commercial Property Price Index** (CPPI)²² u SAD-u, zasnovan na metodi ponovljene prodaje. IPD iz Londona objavljuje **IPD Transaction Linked Index** (IPD TLI)²³ u UK, zasnovan na hibridnoj metodi, koji nije "čisti" indeks zasnovan na podacima o obavljenim transakcijama komercijalnih nekretnina već hibridna verzije ove vrste indeksa.

U SAD-u je 2006. godine pokrenut prvi nekretninski indeks temeljen na podacima o obavljenim transakcijama komercijalnih nekretnina zasnovan na hedonističkoj metodi, **NCREIF Transaction Based Index**. U ovaj su indeks uključene nekretnine iz NCREIF Property Index-a (NPI) prodane u pojedinom kvartalu, za koji se indeks izračunava. Indeks je razvijen u suradnji između MIT Center for Real Estate i NCREIF-a, te se objavljuje kvartalno od 1994. godine. Do 2011. godine indeks je objavljivao MIT Center for Real Estate koristeći podatke o nekretninama uključene u NCREIF Property Index. U drugom kvartalu 2011. godine NCREIF počinje samostalno objavljivati NCREIF Transaction Based Index (NTBI) s primjenom pojednostavljenih matematičkih modela izračuna indeksa. Karakteristika ovog indeksa jest da se radi o indeksu u kojem nekretnine sudjeluju s jednakim ponderima. Razlog jednakih pondera jest što se indeks promatra kao statistička procjena, koja se temelji na uzorku nekretnina od kojih svaka prodaja predstavljaju jednaki reprezentant cijelog uzorka, pa se zbog toga koriste jednaki ponderi za sve prodane nekretnine, a istovremeno se ovaj način kalkulacije pondera pokazao manje volatiln od ponderiranja prema ukupno postignutoj prodajnoj cijeni nekretnine.

S obzirom na to da se indeks izračunava na relativno malom broju nekretnina (nekretnine iz NPI baze prodane u određenom kvartalu) ovaj indeks nije zamišljen kao referentni indeks, već kao indeks koji omogućava usporedbu i visinu odstupanja od referentnih indeksa. Na sljedećem grafikonu prikazano je usporedno kretanje NPI indeksa na nacionalnoj razini u SAD-u i NCREIF TBI indeksa, za razdoblje od 1994. do 2011. godine. Iz kretanja NCREIF TBI indeksa uočava se značajno veća volatilnost od kretanja NPI indeksa.

Grafikon 3: Usporedba kretanja povrata po NPI – national i NCREIF TBI Index, za razdoblje od 1994. do 2011. godine (podaci za SAD na nacionalnoj razini)



Izvor: www.ncreif.com (obradila autorica)

²¹ www.ncreif.org

²² <http://web.mit.edu/cre/research/credl/rca.html>

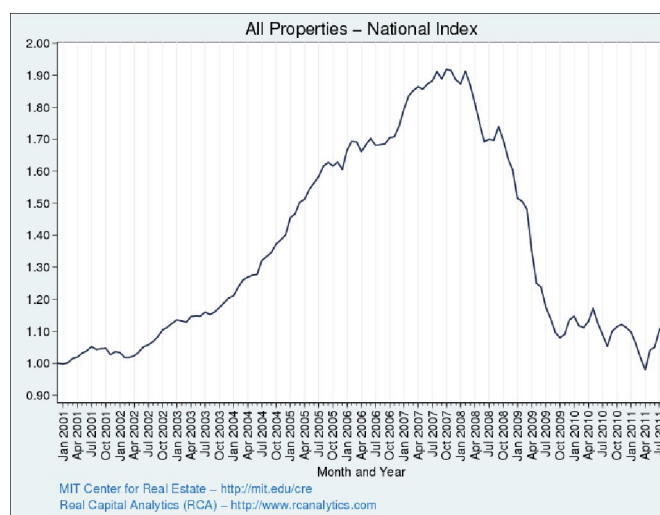
²³ www.ips.com

Moodys/REAL CPPI²⁴ nekretninski indeks temeljen je na metodi ponovljene prodaje komercijalnih nekretnina²⁵. Razvijen je od strane MIT Center for Real Estate, a baziran na podacima kompanije Real Capital Analytics Inc. (RCA). Indeks se objavljuje na mjesečnoj kvartalnoj i godišnjoj razini, a pokrenut je u prosincu 2006. godine. Indeks se objavljuje pojedinačno za uredske prostore, industrijske i maloprodajne nekretnine te apartmane, zbirno za sve vrste komercijalnih nekretnina, te za pojedina geografska područja u SAD-u. Indeks se objavljuje od siječnja 2001. godine.

Moodys/REAL CPPI indeks zasniva se na RCA bazi podataka koja sadrži podatke o svakoj transakciji komercijalnih nekretnina u SAD-u vrijednosti preko 2,5 mln \$, što predstavlja dosad najširu bazu podataka o cijenama komercijalnih nekretnina u SAD-u.

U nastavku je na Grafikonu 4 prikazano kvartalno kretanje povrata po Moodys/REAL CPPI indeksu za razdoblje od siječnja 2001. do lipnja 2011. godine.

Grafikon 4: Kretanje povrata Moodys/REAL CPPI nacionalnog (SAD) kvartalnog indeksa nekretnina, za razdoblje od siječnja 2001. do lipnja 2011. godine



Izvor: <http://web.mit.edu/cre/research/credl/rca.html>

Posljednjih nekoliko godina Investment Property Databank (IPD) razvija hibridnu metodu formiranja nekretninskog indeksa u kojoj spaja informacije o obavljenim transakcijama nekretnina s podacima o procijenjenim vrijednostima nekretnina, **IPD TLI indeks** (engl. *IPD Transaction Linked Index*) Temeljni cilj je osigurati kroz ovaj indeks kompletniju mjeru volatilnosti i rizika prisutnog na tržištu nekretnina. Naime, zadatak ovog indeksa nije da zamijeni IPD nekretninski indeks temeljen na procjeni vrijednosti nekretnina već da posluži kao dopuna i osnova za bolju procjenu rizika i povrata koje osiguravaju komercijalne nekretnine.

Formiranje ovog indeksa obavlja se za područje Danske, Francuske, Njemačke, Irske, Nizozemske, Švedske, Švicarske, Ujedinjenog Kraljevstva, Italije, Portugala, Španjolske, te kompozitni za područje Eurozone, Europske Unije i Pan Europe.

U cilju analize mogućnosti kalkulacije "čistog" indeksa (UK TBI indeks) temeljenog na podacima o obavljenim transakcijama

²⁴ Detalji o indeksu mogu se pronaći na: www.mit.edu/cre/

²⁵ Fisher J.D. and Geltner, D.: *Commercial Real Estate Derivates*, published in: Fabozzi, F.J.(editor): *Handbook of finance. Vol I. Financial Markets and Instruments*, John Wiley & Sons, Inc., 2006., p 531

u Ujedinjenom Kraljevstvu i Europi, Investment Property Data-bank (IPD) i Royal Institution od Chartered Surveyors (RICS) još su 2003. godine pokrenuli istraživanje odnosa između prodajne cijene i procijenjene vrijednosti nekretnina u Ujedinjenom Kraljevstvu²⁶. Temeljni zaključak koji je iz navedenih istraživanja proizašao jest, da su indeksi temeljeni na procjenama vrijednosti nekretnina manje volatilni od kretanja cijena nekretnina te da se razlike između ovih vrijednosti godinama smanjuju, a kao posljedica sve viših i ujednačenijih standarda u vrednovanju nekretnina. Tijekom 2010. godine u suradnji s University of Aberdeen ponovno se radi na izradi feasibility studije s ciljem stvaranja UK TBI indeksa. Međutim do danas, IPD još uvijek ne objavljuje nekretninski indeks temeljen na podacima o obavljenim transakcijama, a osnovni je razlog još uvijek nedostatak podataka o transakcijama i ograničenja metodologije izračuna takvog indeksa.

3. Indeksi temeljeni na cijenama dionica nekretninskih kompanija

Često se kod odluke o investiranju u nekretnine umjesto indeksa cijena nekretnina koriste indeksi kretanja cijena dionica nekretninskih kompanija. Ovi se indeksi koriste kao referentni indeksi za ulaganje u direktne oblike nekretnina.

Pojavni oblici nekretninskih kompanija te ostalih indirektnih oblika ulaganja u nekretnine, razlikuju se od zemlje do zemlje, pa je potrebno poznavanje zakonodavstva pojedine zemlje za razumijevanja i pravilno korištenje indeksa prilikom donošenja investicijske odluke. Najznačajniji indeksi temeljeni na kretanju cijena dionica nekretninskih kompanija, jesu; **FTSE NAREIT US Real Estate Index Series** u SAD-u, **Wilshire index** u SAD-u, **Index of the Institut de l'Épargne Immobilière et Foncière**²⁷ (IEIF) u Francuskoj, te indeksi koji se formiraju na globalnoj razini kao što su **Global Property Research (GPR) Index**²⁸, **Morgan Stanley Capital International Property Share index**²⁹ te **Datastream index**³⁰.

Financial Times Stock Exchange (FTSE) osim indeksa temeljenih na procjeni vrijednosti nekretnina (FTSE UK Commercial Property Index) periodično objavljuje i **FTSE NAREIT³¹ US Real Estate Index Series** i **FTSE EPRA³²/NAREIT Global Real Estate Index**, odnosno nekretninske indekse temeljene na cijenama dionica nekretninskih kompanija.

FTSE NAREIT US Real Estate Index Series³³ sastoji se od šest vodećih indeksa i većeg broja sektorskih i pod-sektorskih indeksa. Ova serija indeksa ima cilj prezentirati i pratiti kretanje REIT³⁴ industrije u SAD-u s investicijama u komercijalne nekretnine. Indeks je konstruiran 6. ožujka 2006. godine. Kod većine indeksa iz serije, konstruiranje indeksa temelji se na free float tržišnoj kapitalizaciji, likvidnosti i veličini REIT-ova.

²⁶ IPD Index Research and Development Review. January 2010. IPD. www.ipd.com

²⁷ Detalji o indeksu mogu se ponaći na: www.ieif.fr

²⁸ Detalji o indeksu mogu se ponaći na: www.globalpropertyresearch.com

²⁹ Detalji o indeksu mogu se ponaći na: www.msci.com

³⁰ Detalji o indeksu mogu se ponaći na: www.thomsonreuters.com

³¹ NAREIT (National Association of Real Estate Investment Trusts) je nacionalna asocijacija SAD-a koja uključuje preko 2.000 članova, kao što su REIT-ovi i druge korporacije u svijetu, koje posjeduju, upravljaju i financiraju komercijalne nekretnine kao i konzultati u nekretninskoj djelatnosti, a koji imaju interese u SAD-u.

³² EPRA (European Public Real Estate Association) je neprofitna organizacija osnovana 1999. godine u Belgiji, a predstavlja javni nekretninski sektor u Europi. Ima više od 200 aktivnih članova, redom vodeće nekretninske kompanije Europe, investitori i konzultanti koji zajedno drže više od 250 mln € imovine u nekretninama

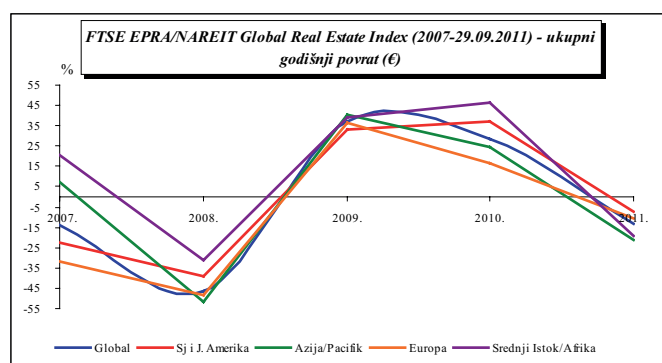
³³ Detalji o indeksu mogu se ponaći na: www.ftse.com

³⁴ Zatvoreni investicijski fond za ulaganje u nekretnine (engl. Real Estate Investment Trust, REIT)

FTSE/EPRA NAREIT Global Real Estate Index Series strukturiran je s namjerom da prezentira opći trend u kretanju cijena i povrata od nekretnina diljem svijeta. Obuhvaća dionice koje kotiraju na službenim tržištima na sjeverno američkom, europskom i azijskom tržištu nekretnina, u portfeljima institucionalnih investitora. Ova serija indeksa sastoji se od podindeksa po geografskim područjima, dividendnih indeksa, indeksa REIT-ova i indeksa drugih nekretninskih korporacija, a mogu se klasificirati kao globalni, regionalni i specifični indeksi. Serija indeksa pokriva najveći dio globalnog tržišta nekretnina, tržište Sjeverne i Južne Amerike, Azije i Pacifika, Europe, Srednjeg Istoka i Afrike. Za svaki se indeks računa povrat od kapitala i ukupni povrat.

Na sljedećem grafikonu prikazani su godišnji povrati FTSE NAREIT Global Real Estate indeksa od 2007. do rujna 2011. godine za pojedina geografska područja.

Grafikon 5: FTSE NAREIT Global Real Estate Index – ukupni godišnji povrat u razdoblju od 2007. godine do rujna 2011. godine



Izvor: FTSE EPRA/NAREIT Global Real Estate Index. Returns. National Association of Real Estate Investment Trust. September 29, 2011. www.ftse.com (obradila autorica)

Unutar grupacije **Global Property Research indeksa**³⁵, sastavljaju se četiri indeksa; GPR 250 Index, GPR 250 REIT Index, GPR General Index i GPR General Quoted Index.

Kako se radi o globalnim indeksima u iste su uključene dionice nekretninskih kompanija iz Argentine, Australije, Austrije, Belgije, Kanade, Danske, Finske, Francuske, Njemačke, Hong Konga, Indonezije, Irske, Italije, Japana, Malezije, Meksika, Nizozemske, Novog Zelanda, Norveške, Filipina, Portugala, Singapura, Južne Afrike, Španjolske, Švedske, Tajlanda, Ujedinjenog Kraljevstva i SAD-a.

GPR 250 Index sastavljen je od 250 najlikvidnijih dionica nekretninskih poduzeća u svijetu, a kao takav predstavlja međunarodnu referentnu vrijednost kretanja tržišta nekretnina.

Indeks je prvi put konstruiran 31. prosinca 1989. godine, s baznom vrijednošću od 100. Vrijednost indeksa izračunava se dnevno u €, \$ i lokalnoj valuti pojedine zemlje čije su dionice uključene u indeks. Indeks pokriva sektore zdravstvene skrbi, hotele, industrijske nekretnine, uredske prostore, maloprodajne prostore i rezidencijalne nekretnine. Free float tržišna kapitalizacija indeksa na dan 10. rujna 2012. godine iznosila je 822.948 mln \$.³⁶

GPR 250 REIT Index podskup je GPR 250 Index-a i pokriva REIT kompanije te vrijednost indeksa predstavlja referentnu

³⁵ www.globalpropertyresearch.com

³⁶ www.globalpropertyresearch.com/indices2.aspx?id=226 (pregledano dan 01.10.2011. g.)

vrijednost globalne REIT industrije. Indeks je konstruiran 31. prosinca 1989. godine, s baznom vrijednošću 100. Vrijednost indeksa računa se dinamikom kao i kod GPR 250 Index-a te uključuje iste nekretninske sektore. Free float tržišna kapitalizacija indeksa na dan 7. rujna 2012. godine iznosila je 643.269 mln \$ s uključenih 190 dionica.

GPR General Index najstariji je indeks, a prvi je put konstruiran 31. prosinca 1983. godine i obuhvaća najveći broj dionica od svih GPR indeksa. Bazna mu je vrijednost 100, objavljuje se mjesečno u €, \$ i lokalnoj valuti te pokriva sve nekretninske sektore kao i prethodna dva indeksa. Obuhvaća dionice nekretninskih kompanija koje kotiraju na burzama, odnosno dionice otvorenih i zatvorenih fondova. Ukupna tržišna kapitalizacija indeksa na dan 31. kolovoza 2012. godine iznosila je 1.230.201 mln \$ s 508 uključenih dionica.

Posljednji iz GPR obitelji indeksa je GPR General Quoted Index. Ovaj indeks prvi je put konstruiran 31. prosinca 1983. godine s baznom vrijednošću od 100. Objavljuje se mjesečno, a pokriva gore navedene nekretninske sektore. Indeks čine dionice nekretninskih kompanije koje kotiraju na burzama s izuzetkom otvorenih bankarskih investicijskih fondova. Ukupna tržišna kapitalizacija ovog indeksa na dan 31. kolovoza 2012. godine iznosila je 1.105.394 mln \$, s 463 uključene dionice.

Temeljno pitanje koje se postavlja kod korištenja indeksa cijena dionica nekretninskih kompanija kao referentne vrijednosti prilikom investiranja u nekretnine jest pitanje, ponašaju li se cijene dionica nekretninskih kompanija na isti način kao i cijene samih nekretnina ili je kretanje ovih indeksa bliže indeksima cijena dionica kompanija iz ostalih djelatnosti.

Nekretninski indeksi u Hrvatskoj

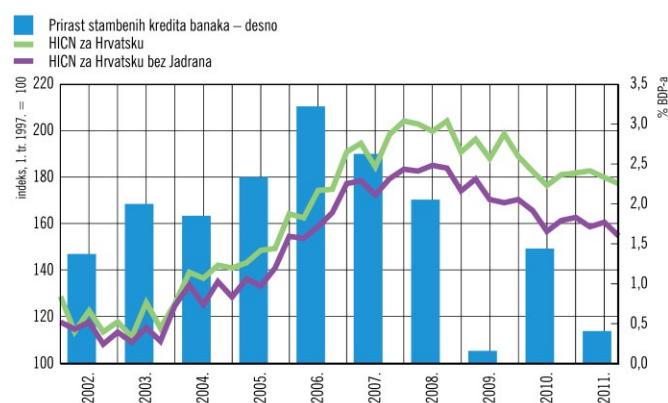
Na hrvatskom tržištu objavljuje se nekoliko vrsta indeksa nekretnina iz grupacije indeksa temeljenih na podacima o obavljenim transakcijama nekretninama, a svi su indeksi kretanja cijena rezidencijalnih nekretnina; **Hedonistički indeks cijena nekretnina (HINC)**, temeljen na hedonističkoj metodi izračuna indeksa i **Indeks traženih cijena nekretnina Centra nekretnina (CN indeks)**

Hrvatska narodna banka u svojoj publikaciji Financijska stabilnost objavljuje podatke o **Hedonističkom indeksu cijena nekretnina u Hrvatskoj (HINC)**. Publikacija se objavljuje od lipnja 2008. godine.

HINC je indeks cijena **stambenih nekretnina** u Hrvatskoj izračunat primjenom hedonističke regresije. Za izračun HINC korištena je baza podataka Burze nekretnina³⁷, a za svaku nekretninu prikupljeni su podaci o traženoj i postignutoj cijeni, datumu prodaje, geografsko-lokacijskim (regija, županija, mjesto, dio grada) i kvalitativnim obilježjima (površina, broj soba, katnost, godina izgradnje, vrijeme prodaje, vrsta nekretnine, vrsta grijanja, (ne)postojanje lođe balkona, telefona, plina i sl.). U okviru HINC indeksa izračunavaju se četiri indeksa cijena nekretnina: za Grad Zagreb, Jadran, Ostalo – urbano, Ostalo – ruralno, te agregirani indeks cijena nekretnina za cijelu Hrvatsku, gdje se kao ponderi koriste udjeli u ukupnom broju transakcija koji se odnose na pojedinu regiju.

HINC se izračunava od 1997. godine, kod kojeg prva polovina 1997. godine predstavlja bazu u vrijednost indeksa od 100 bodova. Karakteristika indeksa je da se izračunava polugodišnje, a kod svakog izračuna indeksa ponovno se procjenjuje svi parametri u jednadžbama, što zahtijeva reviziju indeksa i za prijašnja polugodišta, što znači da svako ažuriranje mijenja indekse ostvarene u prethodnim razdobljima. Više o metodologiji izrade indeksa dostupno je u radu: Primjena hedonističke metode za izračunavanje cijena nekretnina u Hrvatskoj³⁸. Na Grafikonu 6 prikazani su podaci o vrijednosti HINC za Hrvatsku za razdoblje od 2002. godine do 2011. godine.

Grafikon 6: Stambeni krediti i hedonistički indeks cijena stambenih nekretnina*, na tromjesečnoj razini



* hedonistički indeks uzima u obzir kvalitativne faktore pri standardiziranju stambenih jedinica

Izvor: Financijska stabilnost br. 9, Hrvatska narodna banka d.d., Zagreb, srpanj 2012, str 31

CentarNekretnina³⁹ – hrvatski oglasnik za nekretnine, izračunava mjesečni **Indeks traženih cijena nekretnina u Hrvatskoj (CN indeks)**, počevši od svibnja 2006. godine. Broj cijena nekretnina uključenih u indeks kretao se od 4.400 u samim počecima formiranja indeksa, dok je u kolovozu 2012. godine u izradu indeksa bilo uključeno više od 970.000 traženih cijena nekretnina.

Indeks se bazira na traženim cijenama nekretnina i izračunavanju prosječnih cijena, a sam proces formiranja indeksa zasniva se na procesu izbacivanja anomalija o kretanju traženih cijena nekretnina

CentarNekretnina izračunava indeks nekretnina za "nekretnine i kuće" na razini Republike Hrvatske (CN- Hrvatska), za "stanove i kuće" na području Zagreba (CN – Stanovi i kuće Zagreb) te indeks cijena nekretnina na Jadranu (CN – Jadran). U sva se tri slučaja radi o traženim cijenama rezidencijalnih nekretnina.

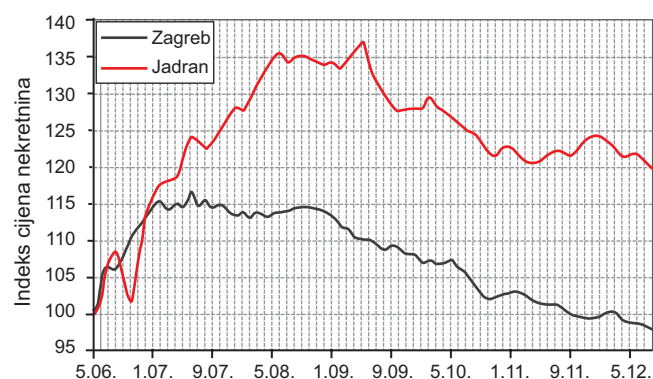
Bazna vrijednost indeksa CN – Hrvatska u iznosu 100 bodova, definirana je u svibnju 2006. godine. Na Grafikonu 7 prikazano je kretanje indeksa CN Jadran i Zagreb za razdoblje od početka sastavljanja indeksa (svibanj 2006.godine) do kolovoza 2012. godine.

³⁷ Burza nekretnina je prvi internet portal za nekretnine, a djeluje od 1996. godine. Burza je organizirana kao servis agencija za posredovanje sa međusobnom informatičkom povezanošću, jedinstvenim nastupom na tržištu, ujednačenom razinom kvalitete i transparentnošću cijena. Članice Burze nekretnina potpisnice su Kodeksa poslovanja posrednika kojim su potvrđena načela i pravila ponašanja (www.burza-nekretnina.com)

³⁸ Kunovac, D., et.al., op.cit., str 10 do 15

³⁹ CentarNekretnina (www.CentarNekretnina.net) oglasnik je za nekretnine u Hrvatskoj i član mreže europskih oglasnika za nekretnine EdenWay. Trenutno na svojim stranicama donosi prosječno mjesečno više od 31.000 oglasa za nekretnine.

Grafikon 7: Indeks cijena nekretnine (CN indeks) za Jadran i Zagreb za razdoblje od svibnja 2006. do kolovoza 2012. godine



Izvor: Indeks cijena nekretnina za kolovoz 2012., Centar nekretnina, Zagreb, 04. rujna 2012., str 3

Pojedine financijske institucije i nekretninske agencije konstruiraju nekretninske indekse za vlastite potrebe, bez javnog objavljivanja. Za potrebe Collateral Management Portfolio Privredne banke Zagreb d.d., razvijen je od strane Direkcije za upravljanje kreditnim rizicima Banke i PBZ Nekretnina d.o.o., **Indeks cijena stambenih nekretnina**⁴⁰. Nadalje, društvo Oglas d.o.o. ma svojim web stranicama dnevno objavljuje podatke o indeksima cijena nekretnina⁴¹ koje dobiva jednostavnim uprosječivanjem traženih cijena nekretnina.

Indeks kretanja komercijalnih nekretnina u Hrvatskoj još uvijek ne postoji.

3. ZAKLJUČAK

Na tržištima nekretnina na globalnoj razini najraniji nekretninski indeksi sastavljeni su za razdoblje od kraja 70-tih godina prošlog stoljeća do danas. Najranije konstruiranje nekretninskih indeksa evidentirano je u SAD-u i Ujedinjenom Kraljevstvu koji i danas prednjače po broju i kvalitetni nekretninskih indeksa.

Iako danas već postoji velik broj indeksa komercijalnih nekretnina, još se uvijek pretežit broj nekretninskih indeksa konstruira za rezidencijalne nekretnine. Razlog ovog leži u većem broju obavljenih transakcija rezidencijalnim nekretninama, većoj transparentnosti i relativnoj jednostavnosti provođenja transakcija rezidencijalnih nekretnina, a u usporedbi s komercijalnim nekretninama.

Referentnim indeksima komercijalnih nekretnina za područje SAD-a i Europe još se uvijek smatraju indeksi temeljeni na procjenama vrijednosti nekretnina, uz koje se u cilju boljeg definiranja volatilnosti kretanja cijena nekretnina, posljednjih godina sve više formiraju indeksi temeljeni na podacima o obavljenim transakcijama komercijalnih nekretnina.

O značaju i referentnosti indeksa koji se temelje na kretanju cijena dionica nekretninskih kompanija, a za donošenje odlu-

ke o ulaganju u direktne oblike nekretnine, još uvijek postoji prijedor, u smislu kreću li se ovi indeksi proporcionalno kretanju cijena nekretnina ili proporcionalno kretanju cijena dionica kompanija iz ostalih djelatnosti.

Na hrvatskom tržištu nekretnina objavljuje se nekoliko indeksa rezidencijalnih nekretnina, dok indeksa komercijalnih nekretnina još uvijek nema. Osnovni razlozi leže u nepostojanju baze podataka o obavljenim transakcijama komercijalnim nekretninama, nedefiniranim metodama procjene nekretnina, ne-transparentnosti trgovanja komercijalnim nekretninama te ne-kontinuiranom trgovanju ovim vrstama nekretnina.

LITERATURA

- [1] Cullen, I., Clacy-Jones, M. and Devaney, S.: The use of valuations and transactions in measuring commercial property market cycles, International conference on commercial property price indicators, Frankfurt, 10-11th May 2012.
- [2] Fisher J.D. and Geltner, D.: Commercial Real Estate Derivates, published in: Fabozzi, F.J.(editor): Handbook of finance. Vol I. Financial Markets and Instruments, John Wiley & Sons, Inc., 2006.,
- [3] Hoesli M., Macgregor, B.D.: Property Investment. Principles and Practice of Portfolio Management, Pearson Education Limited, Harlow, England, 2000.
- [4] International Valuation Standards No 1, 3.1.
- [5] IPD Index Research and Development Review. January 2010. IPD.
- [6] Kunovac, D. et.al.: Primjena hedonističke metode za izračunavanje indeksa cijena nekretnina u Hrvatskoj. HNB. Zagreb. Lipanj 2008. I-20
- [7] Pušar Banović, D.: Diverzifikacijski učinci uključivanja nekretnina u investicijski portfolio, doktorska disertacija, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Ekonomski fakultet u Osijeku, Osijek 2012.
- [8] Stojević, I.: Konstrukcija indeksa cijena nekretnina PBZ – PBZ Nekretnine, CREN, svibanj 2011. Filipović Poslovno savjetovanje d.o.o. Zagreb, str 5-12
- [9] Valuation and Sale Price Report. European Summary 2010. RISC Research. December 2010.
- [10] Web stranice: www.ncreif.org, www.ipd.com, www.iaservice.com, www.communities.gov.uk, www.hbosplc.com, www.nationwide.co.uk, www.rpdata.com, www.standardandpoors.com, www.fhfa.gov, www.standardandpoors.com, www.fhfa.gov, www.ncreif.org, <http://web.mit.edu/cre/research/credl/rca.html>, www.ips.com, www.mit.edu/cre/, www.ieif.fr, www.globalpropertyresearch.com, www.msci.com, www.thomsonreuters.com, www.ftse.com, www.oglas.hr/cijenenekretnina

⁴⁰ Stojević, I.: Konstrukcija indeksa cijena nekretnina PBZ – PBZ Nekretnine, CREN, svibanj 2011. Filipović Poslovno savjetovanje d.o.o. Zagreb, str 5-12

⁴¹ <http://www.oglas.hr/cijenenekretnina>

ERP SUSTAVI TEMELJENI NA OTVORENOM KODU

Autor: Dr. sc. Giorgio Sinković,

Autor: Saša Davidović, dipl.ing.

SAŽETAK

Razvoj informacijske komunikacijske tehnologije (IKT) pokazuje da su vodeći svjetski proizvođači hardvera mijenjali svoju strategiju u odnosu na softver koji se u početku isporučivao besplatno a da bi se nakon toga komercijalizirao i zaštitio. Pojava softvera s otvorenim kodom jedna je od reakcija na to. U članku se analiziraju prednosti i nedostaci primjene softvera otvorenog koda na primjeru ERP (Enterprise Resource Planning) sustava.

KLJUČNE RIJEČI: Softver otvorenog koda, ERP sustavi, licence otvorenog koda

ABSTRACT

During the development of information communication technology (ICT) the leading world supplier have changed their strategy in regard to software products. In the beginning software was free delivered but later on it was commercialized and protected. This was one reason for appearance of open source software. The article analyze the advantages and disadvantages of application the open source software on example of enterprise resource planning systems.

KEYWORDS: Open source software, ERP systems, open source licences

UVOD

Razvoj informacijskih i komunikacijskih tehnologija (IKT), kojem svjedočimo posljednjih 50 godina, bitno je utjecao na promjenu gotovo svih ljudskih djelatnosti, počevši od znanosti, tehnologije, gospodarstva i društvenih odnosa, do promjene načina života pojedinaca. Rezultat toga je pojava mnogih programskih rješenja za potporu raznih aktivnosti, posebice u gospodarstvu gdje su postojala odgovarajuća financijska sredstva i ljudski resursi ali i potreba za održavanje konkurentnosti na globalnom tržištu. Primjena IKT u gospodarstvu neposredno je pratio sam razvoj IKT. Od praćenja troškova i zaliha materijala, primjena IKT proširilo se na upravljanje materijalima i drugim proizvodnim resursima, da bi se 1990. godine objedinila pod nazivom Enterprise Resource Planning ili skraćeno ERP. Tijekom devedesetih, proizvođači ERP sustava dodavali su sve više modula i funkcionalnosti osnovnoj ERP jezgri, tvoreći tako novi sustav pod nazivom Extended ERP¹ koji je obilježio početak 21. stoljeća. Ta "proširenja" uključivala su module poput: Napredno planiranje i raspoređivanje (Advanced planning & scheduling – APS), Upravljanje odnosa sa korisnicima (Customer relationship management – CRM) i Upravljanje lancem snabdjevanja (Supply chain management – SCM). Softver u svojoj suštini predstavlja primjereno modelirano ljudsko znanje i pohranjeno u računalima. Na početku razvoja IKT proizvođači hardvera su ga mahom nudili besplatno, da

bi se kasnije komercijalizirao, pa je danas ukupan prihod od prodaje softvera od prilike isti kao od prodaje hardvera. Vlasnici komercijalnog softvera poduzimaju mjere za njegovu zaštitu, kako bi zaštitili svoj intelektualni kapital, odnosno znanje koje je ugrađeno u taj softver. Oni se vode načelom stvori-zatoči-zadrži (create-capture-keep), pa ne ostavljaju korisniku njihovog sustava dovoljno slobodnog prostora da samostalno prilagođuje i mijenja sustav svojim potrebama, unatoč tome što ga je korisnik platio. Na taj način korisnici softvera način mogu doći u podređenu situaciju u odnosu na vlasnika komercijalnog softvera, jer njihovo poslovanje ovisi o proizvodu nad kojim nemaju potpunu kontrolu.

Reakcija na taj problem bila je stvaranje pokreta za slobodan softver (free software) i unutar toga pokret za softver otvorenog koda (open source software).

Danas postoje nekoliko desetaka različitih ERP softverskih paketa koji su temeljeni na takozvanom slobodnom softveru ili softveru otvorenog koda² o čemu će biti više riječi u nastavku.

1. SLOBODAN SOFTVER I OTVORENI KOD

1.1. Pregled razvoja softvera

U počecima komercijalne primjene računala, proizvođači su smatrali da njihova konkurentska prednost leži pretežno u

¹ Extended ERP u doslovnom prijevodu "Prošireni ERP"

² Treba napomenuti da pojmovi 'slobodan softver' i 'softver otvorenog koda' nisu sinonimi, iako među njima ima dosta sličnosti ali i značajnih razlika.

inovacijama hardvera te nisu pažnju pridavali softveru kao proizvodu na kojem se može zaraditi. Jedan od razloga je i u tome što su većinu korisnika (klijenata) činili znanstvenici i tehničari koji su bili u stanju mijenjati i proširivati programe koji su dolazili zajedno s računalima. Ne samo da su korisnici te “zakrpe”³ (patches) slali natrag proizvođačima, već su iste razmjenjivali s ostalim korisnicima sličnih računala. Proizvođači su često i poticali takvu razmjenu, obzirom da su smatrali kako će njihova računala biti primamljivija novim kupcima.

Površno gledajući, to rano doba moglo bi se usporediti s današnjom kulturom slobodnog i otvorenog koda, no postoje dvije osnovne razlike:

1. Vrlo mala standardizacija hardvera, svaki proizvođač je imao svoju arhitekturu, programi pisani za jednu ne bi se izvršavali na drugoj arhitekturi, programeri su se specijalizirali za jednu arhitekturu računala,
2. Nepostojanje Interneta, kao medija za prijenos, otežavalo je međusobnu komunikaciju, kao i samu razmjenu programa, obzirom da je najbrži način bio slanje običnom poštom.

Sazrijevanjem industrije, dogodilo se istovremeno i nekoliko međusobno povezanih promjena. Mnoštvo različitih računalnih arhitektura iznjedrilo je svega nekoliko pobjednika, bilo nadmoćnom tehnologijom, nadmoćnim marketingom ili njihovom kombinacijom. Istovremeno, pojava programskih jezika treće a za tim i četvrte generacije, omogućila je da se jednom napisan program “prevede” i za ostale računalne arhitekture, te tako proširi broj korisnika. Obzirom da se korisnici više nisu morali ograničiti na jednu vrstu računalne arhitekture, proizvođači su shvatili da je softver postao mogući izvor zarade i nositelj različitosti u odnosu na konkurenciju.

Da bi zaštitili svoj programski kod, proizvođači su započeli primjenjivati autorska prava (copyright) nad kodom, a korisnici su s druge strane bili prisiljeni da potpišu dozvolu za korištenje (licence agreement) koji im je u osnovi branio razmjenu programa kao i bilo kakvu izmjenu istog. Sve ispravke, izmjene ili nadopune korisnik je mogao (i morao) kupiti od proizvođača.

Kako je svijet u kojem se programski kod mogao slobodno razmjenjivati polako nestajao, istovremeno se u svijesti jednog čovjeka iskristalizirala ideja o svijetu slobodnog softvera. Richard Stallman, tada radeći u AI laboratoriju na MIT-u, uvidio je trend kojim kreće računalna industrija te mu se odlučio oduprijeti na svoj osebujan način. Umjesto da prihvati posao programera u nekoj od tvrtki koje su proizašle iz AI laboratorija, te tako dozvoli da njegov rad ostane zaključan u nekoj ladici, dao je ostavku, započeo GNU Projekt i osnovao zakladu slobodnog softvera – FSF⁴ (Free Software Foundation)

Osnovni cilj GNU⁵ Projekta bio je razviti u potpunosti slobodan i otvoren računalni operativni sustav i pripadajući aplikativni softver, gdje korisnik nikada ne bi bio spriječen raditi izmjene i dijeliti te izmjene s drugima. Istovremeno razvijajući novi operativni sustav, Stallman je osmislio i licencu kojom je osigurano da će programski kod biti neprestano slobodan. GNU opća javna licenca GPL (General Public Licence) je pravni tekst koji u osnovi jamči mogućnost umnožavanja i izmjene programskog koda bez ikakvih ograničenja, s obavezom da pre-

slika i programski kod koji je proizašao iz osnovnog koda (npr. izmijenjena inačica) mora biti dijeljena pod istim licencnim uvjetima kao i original bez ikakvih dodatnih ograničenja.

Od početka 80-tih kad je nastao, pa sve do 90-tih, zahvaljujući mnoštvu programera koji su i bilo kojeg razloga prihvatili filozofiju slobodnog softvera, GNU projekt proizveo je veći dio slobodnog operativnog sustava, osim osnovnog “jezgre” (kernel), bez kojeg računalo niti ne može početi raditi. Iz određenog razloga, za GNU projekt izabran je dizajn jezgre koji se pokazao mnogo težim za implementaciju nego što je isprva očekivano. Na sreću po projekt, Linus Torvalds, finski student računalnih znanosti, zajedno s volonterima iz čitavog svijeta, izradio je u potpunosti slobodnu jezgru, koristeći konzervativniji pristup. Jezgru je nazvao “Linux”⁶, te je u kombinaciji s postojećim GNU programima, stvoren prvi slobodni i besplatni operativni sustav GNU/Linux⁷.

Na nastaloj sceni slobodnog softvera, dešavalo se mnogo stvari od kojih su neke bile izrazito ideološke naravi, kao i Stalmanov GNU projekt. Jedna od najznačajnijih bila je i Berkeley Software Distribution (BSD) grupa čiji je cilj bio iznova napisati programski kod Unix operativnog sustava⁸. Zajednica okupljena oko BSD projekta, također je prakticirala ideju zajedničkog razvoja i dijeljenja programskog koda, iako nije, poput Stalmana, o tome iznijela nikakav službeni politički odnosno ideološki stav. BSD projekt prvi je pravi primjer ne-ideološkog razvoja slobodnog softvera. Slijedeći neizostavan primjer zajedničkog razvijanja je “X Window System”⁹, odnosno slobodna i mrežno transparentna grafička računalna okolina. X licenca dozvoljavala je tvrtkama vlasnički zaštićene nadogradnje i proširenja na slobodnu X jezgru. Tim načinom svaki je član X konzorcija imao šansu da poboljša osnovni X-Window sustav, i tako ostvari konkurentsku prednost nad ostalim članovima.

1.2. Licence otvorenog koda

Stalman je u odrednicama slobodnog softvera naveo da je to pitanje slobode u smislu slobode govora, a ne besplatnog proizvoda¹⁰. Da bi se neki softver mogao nazvati slobodnim mora zadovoljavati 4 slobode: [8]

- Slobodu pokretanja programa bez obzira na svrhu (sloboda 0)
- Sloboda proučavanja rada programa i prilagodba vlastitim potrebama (sloboda 1). Preduvjet je pristup izvornom kodu.
- Sloboda davanja kopija programa kako bi pomogao drugome (sloboda 2)
- Sloboda poboljšanja programa, i javnu objavu poboljšanja (i općenito izmijenjenih inačica) u cilju dobiti za cijelu zajednicu (sloboda 3) Preduvjet je pristup izvornom kodu.

Ove slobode, osnova su GPL licence koju nosi gotovo polovica slobodnih programskih paketa. Cilj licence, za razliku od komercijalnih licenci, nije osigurati prava nad programskim kodom, nego zaštititi gore navedene slobode.

³ “Zakrpa” – mali dio programskog koda koji najčešće ispravlja grešku u osnovnom programu

⁴ FSF – www.fsf.org

⁵ GNU predstavlja anagramom “GNU’s Not Unix” www.gnu.org

⁶ Naziv je nastao kao izvedenica riječi Linux i Unix

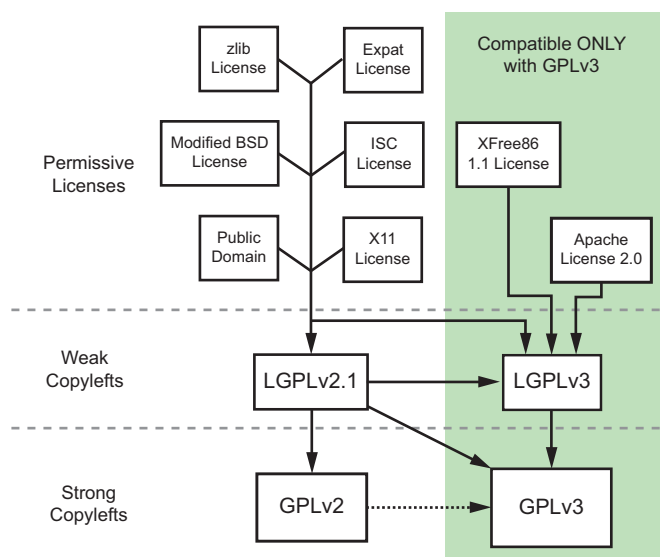
⁷ Strogo gledano, Linux nije bio prvi slobodni operativni sustav, 386BSD objavljen je nešto prije nego Linux, no zbog teškoća pri pokretanju nije postigao veći utjecaj.

⁸ Tada je autorska prava na Unix operativni sustav držala tvrtka AT&T

⁹ U praksi se češće nazivaju X Window ili jednostavno X

¹⁰ “...free as in free speech, not as in free beer”

Slika 1: Veza između GPL i ostalih licenci



Izvor [8]

Slika 1 prikazuje vezu između osnovne GPL i ostalih licenci korištenih u svijetu otvorenog koda.

Usporedni pregled ostalih najčešće upotrebljivanih licenci otvorenog dan je u Tablici 1.

Tablica 1: Licence otvorenog koda

Licenca	Povezivanje s vlasničkim softverom	Distribucija "Djela"	Redistribucija Koda S promjenama	Sukladno s GNU GPL
GPL	Nije dopušteno (obzirom da se povezani softver također smatra cjelinom)	Nije dozvoljen sa djelom čija licenca nije sukladna s GNU GPL.	Jedino ukoliko je djelo također GNU GPL.	Da
LGPL	Dopušteno (budući da se softver i biblioteke ne smatraju cjelinom)	Dopušteno s nekim Ograničenjima: (1)	Samo ukoliko je konačni djelo GNU LGPL ili GNU GPL.	Da
Apache Public	Dopušteno	Dopušteno	Dopušteno (sve dok se ime "Apache" ne koristi u imenu konačnog djela)	Ne
BSD	Dopušteno	Dopušteno	Dopušteno	Samo izmijenjena BSD licenca je sukladna sa GPL.(2)
MPL	Dopušteno	Dopušteno	Jedino pod MPL.	Djelomično (3)
Python	Dopušteno	Dopušteno	Dopušteno(4)	Da
QPL	Nije dopušteno	Jedino ukoliko je Otvoreni Kod.	Samo u obliku zakrpa Izvornog koda.	Ne
W3C	Dopušteno	Dopušteno	Dopušteno	Da

(1) Potrebno je osigurati izvorni kod distribuirane LGPL biblioteke sa svim izmjenama, izmjene u LGPL bibliotekama trebaju biti dozvoljene trećim

(2) Izvorna BSD licenca nije sukladna jer uključuje čudnu klauzulu vezanu uz oglašavanje. <http://www.opensource.org/licenses/bsd-license.php>

(3) <http://www.opensource.org/licenses/mozilla1.1.php>

(4) uz pretpostavku da je uključen popis promjena na izvorni Python kod i obavijesti o autorskim pravima na sve datoteke.

Izvor [23]

"Povezivanje s vlasničkim softverom" odnosi se na povezivanje zatvorenih aplikacije/biblioteka s aplikacijama/bibliotekama licenciranih pod jednom od otvorenih licenci.

Pod "Djelo" u "Distribucija djela" smatra se kombinacija softvera s bibliotekama ili aplikacijama licenciranih pod jednom otvorenih licenci.

"Redistribucija koda s promjenama" odnosi se na čin redistribucije izmijenjene aplikacije/biblioteke temeljene na aplikaciji/biblioteci licenciranim pod otvorenom licencom.

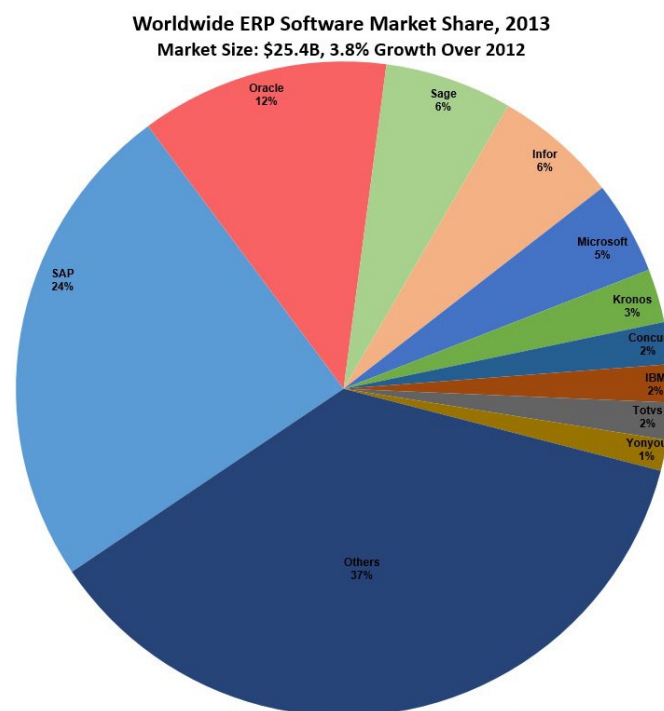
2. ERP SUSTAVI

ERP sustavi su rezultat nastojanja da se kreira integrirani softverski proizvod za upravljanje većinom procesa u poslovnim organizacijama.

To se najčešće odnosi na upravljanje materijalima, upravljanje ljudskim resursima, upravljanje proizvodnjom, upravljanje novčanim tokovima, upravljanje projektima, upravljanje odnosima s kupcima, upravljanje lancem snabdjevanja i poslovnu inteligenciju kao potpora sustavu poslovnog odlučivanja.

Na Slici 2 prikazuje se podjela tržišta ERP proizvoda koncem 2013. godine.

Slika 2: Podjela svjetskog tržišta ERP proizvoda u 2013. godini



Izvor: <http://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2014/05/12/gartners-erp-market-share-update-shows-the-future-of-cloud-erp-is-now/> na dan 21.08.14.

Iz naslova se vidi da je ostvareni ukupan prihod od prodaje ERP sustava bio 25,4 milijardi dolara i da je u odnosu na prethodnu godinu ostvaren rast od 3,8 %. Ako se zna da je ukupna prodaja softvera u 2013. iznosila oko 300 milijardi dolara,¹¹ vidi se da je učešće prodaje ERP softvera nešto manje od 9 %.

Među prvih 10 ERP proizvoda nema ni jednog sa statusom otvorenog koda. Ovo i nije iznenađujuće s obzirom da je raniranje izvršeno prema financijskim veličinama, a softver otvorenog koda je pretežno besplatan.

Pregled najčešće korištenih ERP sustava temeljenih na otvorenom kodu i njihovih glavnih značajki, prikazuje se u Tablici 2.

3. PRIMJERENOST OTVORENOG KODA ZA ERP SUSTAVE

Temeljna svrha ERP sustava je potpora poslovanju u cilju ostvarivanja povećanja konkurentnosti i ekonomske efikasnosti organizacije. ERP sustavi otvorenog koda imaju neke zajedničke značajke zbog kojih se javljaju određene dvojbe vezane za primjerenost njihove primjene. U tom smislu značajna su slijedeća svojstva:

- imaju razmjerno mali broj korisnika i još manje onih koji imaju odgovarajuće kapacitete za potporu daljnjem razvoju,

¹¹ Preuzeto s <http://www.gartner.com/newsroom/id/2643919> na dan 30.09.2014.

Tablica 2: Usporedni pregled otvorenih ERP sustava

Mjericila usporedbe	Odoo (ex OpenERP)	Compiere	Adempiere	GNUE	ERP5	Openbravo
Funkcionalnosti						
ERP	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CRM	✓	✓	✓	✓	✓	✓
POS	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SCM	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BI	✓	~	✓ (Pentaho BI)	~	✓	✓ (Pentaho BI)
Integracija						
Sa MS proizvodima	✓ (exchange, office365...)	✓	✓ (Excell)	n/d	✓ (kroz OpenOffice)	✓ (Excell)
E-mail integracija	✓	✓	✓	n/d	✓	✓
Međuveze (middleware API)	JSON-RPC, XML-RPC	Java i JBOSS	JDBC, JAX-RPC, SOAP...	XML-RPC, SOAP, etc...	ODBC	JDBC
Korisnička podrška i usluge						
Implementacija	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)	✓ (Partneri-Plaća se)	x	✓ (Plaća se – različite razine usluge)	✓ (Partneri-Plaća se)
Dokumentacija	✓	Djelomično (Plaća se)	✓	✓	✓	✓
Telefonska podrška	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)	✓ (Partneri-Plaća se)	x	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)
E-mail podrška	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)	✓ (Partneri-Plaća se)	x	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)
Programski razvoj	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)	x	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)
“Osposobljavanje/savjetovanje putem web stranica”	✓	✓ (Plaća se)	✓	x	✓ (Plaća se – različite razine usluge)	✓ (Plaća se)
“Osposobljavanje/savjetovanje kod klijenta”	✓ (Plaća se)	✓ (Plaća se)	✓ (Partneri-Plaća se)	x	✓ (Partneri-Plaća se)	✓ (Plaća se)
Demonstracijski sustav	✓	✓ (Video)	✓	x	✓	✓
Tehničke osobine						
Baza podataka	PostgreSQL	Oracle, PostgreSQL	Oracle, PostgreSQL	Oracle, PostgreSQL, MySQL, etc...	ZODB (Zope Object vtabase)->MySQL	Oracle, PostgreSQL...
Programski jezik	Python, Javascript, XML	Java/Swing	Java	Python	Python(Zope)	Java, Javascript
Arhitektura	3-vezna	2-vezna i 3-vezna	2-vezna i 3-vezna	2-vezna i 3-vezna	3-vezna	3-vezna
Višezjezična podrška	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Operacijski sustav	Linux/Windows + (SaaS)	Linux/Windows +(Cloud)	Linux/UNIX/Windows, OSX	Linux/Windows, OSX	Linux/Windows, OSX, SaaS, Paas, Cloud	Linux/UNIX/Windows
Korisničko sučelje	GUI (iOS, Android), Web	GUI, Web	GUI, Web	GUI, Text UI	Web	Web, Mobile
Stupanj razvoja programa	Stabilna	Stabilna	Stabilna+ (razvojna)	Razvojna (2010)	Stabilna	Stabilna
Trenutna verzija	8.0	3.5 (Community 3.8.4)	3.6.0 LTS (3.8.0)	0.5.3 (appserver) 0.6.9 (gnue common)	1.0.3	3.0PR14Q3.1
Licenca	AGPLv3	GPL/Komercijalna	GPL/LGPL	GPLv3	GPL	OPL/GPLv2
Osobine projekta						
Struktura upravljanja projektom	Tvrtka+Partneri+zajednica	Tvrtka+Partneri	Zajednica+sponzori	Zajednica	Tvrtka(Nexedi)+partneri+zajednica	Openbravo S.L.U. + zajednica
Aktivnost zajednice	✓	~	✓	~	✓	✓
Učestalost obnavljanja programa	+ (Git)	+ (SVN)	+ (SVN)	~ (BZR)	+ (SVN)	+ (HG)
Reference	✓	✓	✓	x	✓	✓
Početak projekta	2001 (TinyERP, OpenERP)	1999	2006	2004	2001	2001

Izvor [autori]

- vrlo veliki raspon zahtjeva koje imaju različite grane industrije čini sustav koji želi pokriti sve tražene funkcionalnosti pretjerano kompleksnim,
- u slučajevima međunarodnih organizacija, sustav mora pokrivati sve posebnosti poslovanja u određenoj zemlji, poput računovodstva, jezika i sl., u kojoj takva organizacija posluje,
- tvrtke koje nemaju vlastite informatičke odjele, s pravom zahtijevaju pouzdan razvoj, podršku i mogućnost osposobljavanja za uporabu i primjenu sustava, što nedostaje velikom broju otvorenih ERP projekata,
- uslijed vrlo ograničenih marketinških sposobnosti otvoreni ERP sustavi imaju u pravilu nizak ugled među potencijalnim korisnicima,
- dokumentacija može biti nepotpuna ili zastarjela.

S druge strane, razlozi u korist uporabe otvorenih ERP sustava u odnosu na komercijalne crne kutije (black box) su:

- neovisnost o strategiji razvoja i pravilima koja postavlja komercijalni proizvođač ERP sustava,
- troškovi otvorenih sustava smanjeni su za cijenu licenci, te se ta sredstva mogu usmjeriti na prilagodbu i razvoj otvorenog sustava¹²,

- izravan pristup, i pravo mijenjanja izvornog koda, čini otvorene sustave prilagodljivijim vlastitim potrebama,
- razvojni proces i popis trenutnih grešaka vidljivi su korisniku, te sustav čine transparentnim,
- funkcionalnosti koje se razvijene za vlastite potrebe mogu se podijeliti s ostalima te uvesti u osnovnu inačicu, čime se nove funkcionalnosti pojavljuju na osnovu potreba stvarnih korisnika a ne mišljenja marketinga.
- korisnici ne mogu biti prisiljeni da, uslijed jačanja ili preuzimanja na tržištu ERP sustava, prate strategiju proizvođača ili prijeđu na novi sustav. [21]

Proizvođači otvorenih ERP sustava, ravnaajući se prema načelima otvorenog koda, svoj poslovni model ne temelje na prodaji softvera i licenciranju istog, već na čitavoj lepezi dodatnih usluga poput: savjetovanja, prilagodbe zahtjevima klijenta, davanju posebnih funkcionalnosti, podrške u slučaju teškoća, održavanje sustava, osposobljavanja i niza drugih.

No, dali su otvoreni sustavi zaista “otvoreni”, i da li se korisnik može naći u istom položaju ovisnosti kao i kod komercijalnih sustava?

Naime, određeni proizvođači otvorenih ERP sustava u ponudi imaju takozvane inačice za zajednicu (ecommunity version), i inačice za poslovnu primjenu (enterprise version). Najčešće se te dvije inačice razlikuju samo po uslugama podrške koji prate

¹² Iskustva u primjeni ERP sustava pokazuju da cijene licence obično ne prelaze 20% ukupnih troškova za implementaciju takvog sustava.

pojedini otvoreni ERP sustav, dok je izvorni kod oba slučaja isti. Postoji mogućnost da je podrška dostupna samo ukoliko je poslovna inačica u izvršnom obliku, te kao takvoj funkcionalnosti ne moraju biti iste kao i kod inačice za zajednicu.

Takve razlike u inačicama, korisnik može postati svjestan tek kasnije, kada je sustav već u uporabi, stoga je potrebno prilikom odabira otvorenog ERP sustava dublje provjeriti koliko stvarne slobode dopušta poslovna inačica. [22]

Sve su to čimbenici koje svaka tvrtka treba odvagati pri namjeri da za potrebe svog poslovanja primjeni ERP sustav temeljen na otvorenom kodu.

ZAKLJUČAK

Slobodan softver je svojom pojavom na tržištu svakako bitno utjecao na ukupni razvoj IKT i za očekivati je da će to biti slučaj i u budućnosti. Zbog navedenih svojstava on se čini primjerenijim za 'neprofitne organizacije' kao što su znanstvene i obrazovne ustanove, kod kojih obično postoji odgovarajuća kadrovska osnova i nisu neposredno na 'udaru konkurencije'.

Organizacije u gospodarstvu pod utjecajem globalne konkurencije usmjerene su prema visokoj specijalizaciji koju mogu ostvarivati samo koncentracijom glavnih resursa na osnovnu djelatnost (core business). Zbog toga su 'outsourcing' i 'spin off'¹³ najčešći dijelovi njihove poslovne strategije. U tom kontekstu teško je za očekivati da bi se kompanije kojima osnovna djelatnost nije u području razvoja softvera, počele neposredno koristiti slobodni softver. Ipak tu se otvara nova poslovna prilika za specijalizirane organizacije koje se bave razvojem, implementacijom i održavanjem softverskih proizvoda, pa tako i ERP softvera da konkuriraju proizvođačima komercijalnog softvera koristeći jeftiniji slobodni softver. Današnji trendovi objedinjeni pod nazivima SaaS (Software as a Service, odnosno softver kao usluga) i računarstvo u oblacima (cloud computing) u suštini to i potvrđuju.

LITERATURA

- [1] T.F, Kremzar, M.H. "ERP: Making It Happen", John Wiley & Sons, Inc., USA, 2001
- [2] Davenport, T. H., "Mission critical : Realizing the promise of enterprise systems", Harvard business school press, USA, 2000
- [3] Hernandez, J.A., "Roadmap to mySAP.com", Premier Press, Inc., USA, 2002
- [4] Fogel, K., "Producing open source software", O'Reilly, USA, 2006
- [5] "History and evolution of ERP", sysoptima.com, 2005 http://www.sysoptima.com/erp/history_of_erp.php (20.09.2014)
- [6] Rashid, M.A., Hossain, L., Patric, J.D., "The Evolution of ERP Systems: A Historical Perspective", Idea Group Publishing, 2002, <http://www.igi-pub.com/downloads/excerpts/193070836XExcerpt.pdf> (20.03.2009)
- [7] Raymonnd, E.S., "The Cathedral and the Bazaar", Thyrus Enterprises, <http://www.catb.org/~esr/writings/cathedral-bazaar/cathedral-bazaar/cathedral-bazaar.ps> (20.09.2014)
- [8] Stallman, R., "The free software definition", Free software Foundation, <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html> (20.09.2014)
- [9] Coar, K., "The Open Source Definition", Open Source Initiative, <http://www.opensource.org/docs/osd> (20.09.2014)
- [10] GNUe, "GNU Enterprise Brochure", [www.gnueenterprise.org](http://www.gnu.org/software/gnue/brochures/Brochure.pdf), <http://www.gnu.org/software/gnue/brochures/Brochure.pdf> (04.04.2009)
- [11] SITE For Open Source ERP, "ERP Modules", Open Source ERP site, <http://www.open-source-erp-site.com/erp-modules.html> (20.09.2014)
- [12] Lyons, P., "N-Tier Application Architecture", Toolbox for IT, http://it.toolbox.com/wiki/index.php/N-Tier_Application_Architecture (20.09.2014)
- [13] Box, D. etc, 2000, "Simple Object Access Protocol (SOAP) 1.1", W3C, <http://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SOAP-20000508/> (20.09.2014)
- [14] Winer, D. 1999, "XML-RPC Specification", UserLand Software inc., <http://www.xmlrpc.com/spec#update3> (20.09.2014)
- [15] Reimer, J. 2005, "A History of the GUI", Ars Technica, <http://arstechnica.com/features/2005/05/gui/> (20.09.2014)
- [16] Pinckaers, F., Gardiner, G., 2009 "Open ERP Book", Tiny SPRL, <https://doc.odoo.com/contents.html/> (20.09.2014)
- [17] www.adempiere.com, (20.09.2014)
- [18] www.compiere.com (20.09.2014)
- [19] Deldycke, K., "Develop your own ERP with ERP5 Business Templates- ERP5 Tutorial ", Nexedi inc., 2005
- [20] www.openbravo.com (20.09.2014)
- [21] Stoj, G., "Pro und contra Open-Source-ERP", Computerwoche, 2005, http://www.computerwoche.de/knowledge_center/enterprise_resource_planning/554984/ (20.04.2009)
- [22] Walker-Morgan, Dj., "The Open Source Enterprise Trap", The H Open source, 2009, <http://www.h-online.com/open/The-Open-Source-Enterprise-Trap--/features/112992> (20.04.2009)
- [23] Davidović, S.: ERP SUSTAVI TEMELJENI NA OTVORENOM KODU, Diplomski rad, Politehnika Pula, 2009.

¹³ U oba slučaja radi se o prijenosu dijela operacija koje ne čine osnovnu djelatnost na vanjske subjekte, razlika je da kod 'spin off' matična kompanija zadržava vlasničku kontrolu nad tim vanjskim subjektom.

UPUTE SURADNICIMA

OPĆE NAPOMENE

Časopis "Techne" objavljuje radove koji se recenziraju i one koji ne podliježu recenzentskom postupku u kojima se neposredno reflektiraju pitanja politehničkog odgoja i obrazovanja. Recenzirani radovi kategoriziraju se u sljedeće kategorije:

- izvorni znanstveni članak – original scientific papers
- prethodno priopćenje – preliminary communication
- pregledni članak – author reviews
- izlaganje sa znanstvenog skupa – conference papers
- stručni članak – professional papers
- ostale radove koji neposredno ili posredno referiraju tematiku politehničkog obrazovanja kao i prikaze radova diplomiranih studenata Politehnike, radove nastavnika i stručnjaka udruženja inženjera.

Izvorni znanstveni radovi sadrže rezultate izvornih istraživanja, originalne teorijske ili praktične rezultate do sada još neobjavljenih istraživanja iskazana na objektivno provjerljiv način.

Prethodno priopćenje sadrži jedan ili više novih znanstvenih podataka, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućavale provjeru kao kod izvornih znanstvenih članaka. Prethodno priopćenje sadrži nove rezultate istraživanja koji zahtijevaju brzo objavljivanje uz naglašenu ulogu autorovog izvornog doprinosa u tom području na već publicirane radove. U priopćenju se opisuju rezultati eksperimentalnih istraživanja odnosno istraživanja u tijeku.

Pregledni članak ima karakter izvornih znanstvenih radova, sadrži cjelovit prikaz stanja i tendencija razvoja određenog područja teorije i prakse, s kritičkim osvrtom ili procjenom na originalan sažet i kritički prikaz jednog područja ili njegovog dijela, u kojem autor i sam aktivno sudjeluje. Citirana literatura mora biti dovoljno cjelovita da omogućuje dobar uvid i uključivanje u prikazano područje u odnosu na već publicirane radove.

Izlaganje sa znanstvenog skupa je priopćenje podneseno i prezentirano na takvom skupu u pisanom obliku. Ono se objavljuje ako nije prije toga objavljeno u zborniku skupa.

Stručni članak sadrži opis rada, dostignuća i rezultate stručnih istraživanja, korisne prijedloge i doprinose iz određene struke te njihove primjene u praksi i ne mora predstavljati izvorna istraživanja.

Ostalo su svi radovi (recenzije, prikazi, vijesti, obavijesti, preporuke) koji se ne mogu kategorizirati i ne podliježu recenziji.

1. Časopis izlazi dva puta godišnje i tiska se na hrvatskom jeziku formata A4.
2. Rukopisi se dostavljaju Uredništvu na adresu:
TECHNE – Politehnika Pula, Riva 6, 52100 Pula
Tel: 052 381- 960, 381- 412; Fax: 381 – 412
WEB: www.politehnika-pula.hr
3. Odluku o kategorizaciji i redosljedu objavljivanja radova ili prikaza donosi Uredništvo nakon recenzentnog postupka recenzenata.
4. Poželjni opseg znanstvenih i stručnih radova je do 16 kartica (jedan autorski arak), koji se dostavljaju na disketi, odnosno CD uz dva otisnuta primjerka na papiru formata A4 i veličini slova Times New Roman 12. Sve stranice treba uredno numerirati.
5. Naslov rada treba biti kratak i jasan. Na prvoj stranici rukopisa treba navesti ime (na) i prezime (na) autora i naziv ustanove u kojoj autor (i) radi (e).
6. Uz svaki rad treba izraditi sažetak do 200 riječi koji sadržava opći prikaz rada, metodologiju rada, najvažnije rezultate i zaključak te navesti ključne riječi od 5 do 7 pojmova i naziv rada na hrvatskom i jednom stranom jeziku.
7. Literatura se navodi na kraju rada po abecednom radu autora.
8. Rukopisi se ne vraćaju.
9. Prihvatanje kategoriziranih radova za objavljivanje obvezuje autora/e da isti rad ne smije/u objaviti na drugom mjestu bez naznake da je rad već objavljen u časopisu TECHNE.

SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ: KREATIVNI MENADŽMENT U PROCESIMA

Popis predmeta



Prvi semestar

Kreativni menadžment
Menadžment ideja u procesima
Inteligentni sustavi
Poduzetnička organizacija i ekonomika
Engleski poslovni jezik B1
Timski rad i praktikum I
Izborni predmet 1

Izborni predmeti

Studijski projekt
Socijalne vještine

Drugi semestar

Energetska učinkovitost
Složeni sustavi upravljanja
Marketing
Engleski poslovni jezik B2
Timski rad i praktikum II
Izborni predmet 2

Izborni predmeti

Virtualna organizacija
Osnove prava u gospodarstvu

Treći semestar

Menadžment znanja
Projektni menadžment
Upravljanje odnosom s klijentima
Financijski menadžment
Plasman izvoznog proizvoda
Timski rad i praktikum III
Definiranje teme specijalističkog diplomskog rada

Četvrti semestar

Menadžment procesima
Ekonomija stvaranja vrijednosti
Osobni razvoj i društvena odgovornost
Izborni predmet 3
Izborni predmet 4
Diplomski rad (rad s mentorom)

Izborni predmeti

Poslovni informacijski sustavi
Tehnika pregovaranja i retorika
Upravljanje konfliktima
Poslovna etika i kultura
Mogućnost praćenja nastave videovezom.

SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ KREATIVNI MENADŽMENT U PROCESIMA



Znanje koje primijenjujemo, odmah.
Upisi u akademsku 2015./16. godinu



Politehnika Pula
Visoka tehničko-poslovna škola