

# EKONOMSKA ANALIZA DOBITI I TROŠKOVA IMPLEMENTACIJE NAPREDNIH MREŽA

**Željko Tomšić, Marijana Pongrašić**

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za visoki napon i energetiku  
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska  
E-mail: [zeljko.tomsic@fer.hr](mailto:zeljko.tomsic@fer.hr)

## COST-BENEFIT ANALYSIS OF SMART GRIDS IMPLEMENTATION

**Željko Tomšić, Marijana Pongrašić**

University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing, Department of Energy and  
Power Systems  
Unska 3, 10000 Zagreb, Croatia  
E-mail: [zeljko.tomsic@fer.hr](mailto:zeljko.tomsic@fer.hr)

### **Sažetak**

U radu su prikazane smjernice za provođenje dobiti i troškova pri analizi projekata koji se odnose na implementaciju naprednih sustava u prijenosu i distribuciji električne energije, odnosno projekata koji doprinose izgradnji naprednih mreža (*Smart Grid*). Također su navedena ograničenja današnje elektroenergetske mreže, te rješenja koja nudi napredna mreža.

S ekonomskog stajališta, glavna karakteristika naprednih mreža su velike početne investicije, dok se koristi pojavljuju tek nakon određenog vremena, s rizikom da ostvarene uštede budu manje od predviđenih. Stoga je prije same implementacije projekata potrebno provesti sveobuhvatnu analizu takvih projekata koja se sastoji od ekonomske i kvalitativne analize. Referat se oslanja na metodologiju razvijenu u američkom institutu za energiju, EPRI. Ta se metodologija pokazala sveobuhvatnom, primjenjivom, ali i jednostavnom i lako razumljivom. Opisani su koraci EPRI metodologije, te karakteristike metodologija koje se oslanjaju na tu metodologiju: metodologija razvijena u *Joint Research Centru*, te metodologija za analizu implementacije naprednih brojlara, koji se često zasebno analiziraju. Definirani su troškovi i koristi, te kategorije u koje se mogu svrstati. Kao dio kvalitativne analize projekata, opisan je socijalni učinak projekata naprednih mreža. Kod definiranja troškova posebnu pozornost treba obratiti na implementaciju intermitirajućih izvora energije kod kojih se javljaju dodatni troškovi. U radu su navedene kategorije dodatnih troškova.

Na kraju referata, nalazi se pregled dosadašnjeg ostvarenja i planovi budućih investicija u projekte izgradnje naprednih mreža u zemljama Europske Unije.

### **Abstract**

Paper presents guidelines for conducting the cost-benefit analysis of Smart Grid projects connected to the implementation of advanced technologies in electric power system. Restrictions of presented electric power networks are also mentioned along with solutions that are offered by advanced electric power network.

From an economic point of view, the main characteristic of advanced electric power network is big investment, and benefits are seen after some time with risk of being smaller than expected. Therefore it is important to make a comprehensive analysis of those projects which consist of economic and qualitative analysis. This report relies on EPRI methodology developed in American institute for energy. The methodology is comprehensive and useful, but also simple and easy to understand. Steps of this methodology and main characteristics of methodologies which refer to EPRI methodology: methodology developed in Joined research Center and methodologies for analysing implementation of smart meters in electricity power network are explained. Costs, benefits and categories in which they can be classified are also defined. As a part of qualitative analysis, social aspect of Smart Grid projects is described. In cost defining, special attention has to be paid to projects of integrating electricity from variable renewable energy sources into the power system because of additional costs. This work summarized categories of additional costs.

In the end of this report, it is given an overview of what has been done and what will be done in European Union.

## UVOD – DEFINICIJE, PREDNOSTI I ZNAČAJ NAPREDNIH ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

U Europskoj uniji napredne elektroenergetske mreže (*smartgrids*) definirane su kao mreže koje inteligentno povezuju ponašanje i djelovanje svih korisnika priključenih na nju (slika 1.) s ciljem osiguravanja održivosti, ekonomičnosti i sigurnosti opskrbe električnom energijom. [1] Važno je napomenuti da napredne mreže nisu same sebi svrha, već se njihovom implementacijom nastoje ostvariti globalni ciljevi zaštite okoliša i smanjenja štetnih utjecaja na klimu, kao što su smanjenje emisija CO<sub>2</sub>, efikasno korištenje električne energije od strane potrošača, povećanje udjela obnovljivih i distribuiranih izvora energije u proizvodnji, te jačanje tržišta električnom energijom. U Europskoj uniji očekuje se i doprinos takvih naprednih mreža u ostvarivanju EU 20/20/20 plana [2]. U SAD-u napredne mreže (*Smart Grid*) definiraju se na sličan način, no za razliku od Europske unije, glavni cilj politike SAD-a je naprednom mrežom kreirati nova radna mjesta, te povećati ekonomsku vrijednost i efikasnost elektroenergetskog sustava.



Slika 1. Činitelji naprednih mreža [3]

Temeljne razlike između današnjih i naprednih mreža, a time i glavne prednosti naprednih mreža sažete su u tablici 1.

Tablica 1. Usporedba ključnih značajki današnje distribucijske mreže i napredne mreže [4]

	TRENTNA MREŽA	NAPREDNA MREŽA
<b>KOMUNIKACIJA</b>	JEDNOSMJERNA	DVOSMJERNA
<b>INTERAKCIJA S KORISNICIMA</b>	OGRANIČENA	PROŠIRENA
<b>MJERENJE</b>	ELEKTRO-MEHANIČKO	DIGITALNO
<b>UPRAVLJANJE</b>	RUČNO	DALJINSKO
<b>ODRŽAVANJE</b>	PERIODIČNO	PREMA POTREBI
<b>PROIZVODNJA</b>	CENTRALIZIRANA	CENTRALIZIRANA I DISTRIBUIRANA
<b>KONTROLA TOKOVA SNAGE</b>	OGRANIČENA	SVEOBUHVAATNA
<b>POUZDANOST</b>	SKLONA KVAROVIMA I KASKADNIM PREKIDIMA	PROAKTIVNA, PREDVIĐANJA U STVARNOM VREMENU
<b>PONOVNO UKLJUČENJE</b>	RUČNO	SAMOSTALNO

Današnja elektroenergetska mreža zbog svojih se ograničenja suočava s problemima prouzročenima porastom potražnje električne energije, novim tehnologijama i sustavima koji se integriraju u postojeću mrežu (obnovljivi izvori energije, električna vozila, spremnici energije), potrebom za smanjenjem štetnih emisija, strahom od terorističkih napada na centralizirane jedinice proizvodnje električne energije, te zahtjevima potrošača koji se odnose na pouzdanu, kvalitetnu i sigurnu opskrbu električnom energijom. Napredne elektroenergetske mreže suočavaju se s ovim problemima i nude efikasnost, pouzdanost, sigurnost opskrbe i kvalitetnu energiju za sve sudionike u elektroenergetskoj mreži.

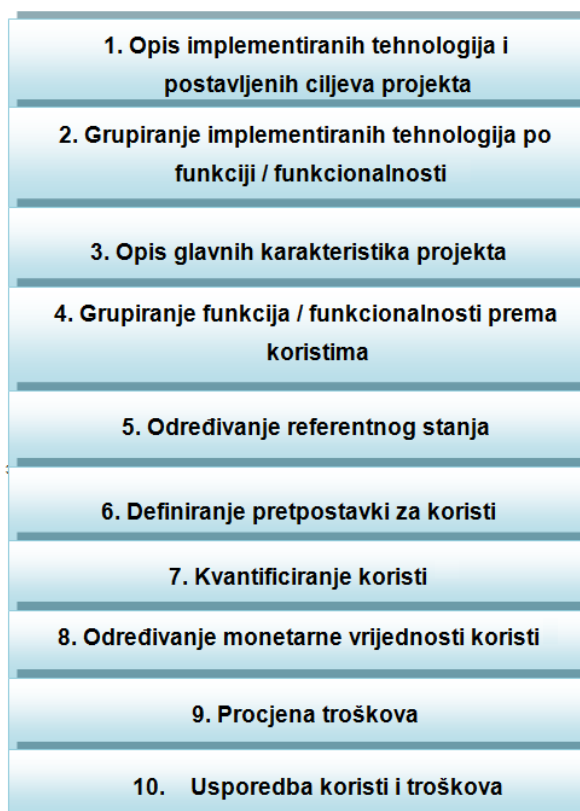
## 1. ANALIZA PROJEKATA IMPLEMENTACIJE NAPREDNIH ELEKTROENERGETSKIH MREŽA

S ekonomskog stajališta, glavni cilj naprednih elektroenergetskih mreža je uvođenjem naprednih tehnologija i sustava, i iskorištavanjem postojećih kapaciteta, sa što manjim novčanim sredstvima, omogućiti efikasno korištenje električne energije na svim razinama, od proizvodnje do potrošnje. Osnovna karakteristika takvih mreža su veliki početni troškovi, a prednosti se očituju tek nakon određenog vremena uz određenu stopu rizika da financijske uštede budu manje od troškova. Takva karakteristika mreža predstavlja rizično ulaganje za investitora te je stoga prije same implementacije mreže potrebno napraviti ekonomsku analizu prednosti i troškova koja će investitoru dati jasnu sliku o isplativosti ulaganja, te kvalitativnu analizu koja će investitoru dati sveobuhvatnu sliku o utjecaju projekta na dionike mreže, okoliš i društvo u cjelini.

EPRI<sup>1</sup> je razvio prvu i do sada najbolju metodologiju za ekonomsku analizu naprednih mreža s koristima i troškovima koji se odnose na cjelokupno društvo.

### 1.1. EPRI metodologija

EPRI metodologija za ekonomsku analizu dobiti i troškova projekata implementacije naprednih tehnologija sastoji se od deset koraka (Slika 2.) grupiranih u tri kategorije: opis projekta, definiranje koristi i troškova, te usporedba definiranih troškova i koristi.



Slika 2. Koraci u provođenju ekonomske analize projekata naprednih mreža prema EPRI metodologiji [5]

<sup>1</sup> EPRI (eng. *Electric Power Research Institute*) je neprofitna organizacija osnovana 1973. godine u SAD-u od svih sudionika u energetske mreži s ciljem provođenja istraživanja na području električne energije u SAD-u, a koja su relevantna za opskrbljivače, operatere mreže, industrijske potrošače i društvo u cjelini.

Prvi korak je sažeti prikaz i opis tehnologija, elemenata i ciljeva projekta. Uključuje definiranje veličine mreže (godišnja potrošnja energije, broj korisnika mreže, lokalne karakteristike mreže, identificiranje sudionika mreže koji snose troškove i imaju koristi od mreže, socijalno – ekonomski utjecaj mreže te regulative za implementaciju mreže. Moguće je definirati tehnologije iz neke od ovih kategorija:

- Infrastruktura za napredno mjerenje potrošnje
- Napredne tehnologije u prijenosnom i distribucijskom sustavu
- Integriranje naprednih sustava (obnovljivi izvori energije, električna vozila)
- Sustav za upravljanje potrošnjom i pametne kuće
- Spremnici energije

Drugi korak je grupiranje komponenata po funkciji. Moguće su 33 različite funkcije podijeljene u šest grupa:

- Mogućnost integracije potrošača novih obilježja (spremnici energije, hibridna vozila)
- Veća efikasnost sustava (redovita razmjena informacija s potrošačima, konstantan nadzor i mjerenje potrošnje)
- Osiguranje sigurnosti sustava i kvaliteta energije (uključivanje distribuiranih izvora u mrežu, nadzor sigurnosti)
- Bolje planiranje budućih investicija u mrežu (bolji modeli distribuiranih izvora i spremnika energije, bolja povratna informacija o kvaliteti električne energije)
- Poboljšanje funkcioniranja tržišta i usluga potrošačima (potrošači mogu upravljati potrošnjom)
- Veće uključivanje potrošača u upravljanje vlastitom potrošnjom (bolja informacija o korištenju energije, bolji sustav mjerenja i nadzora potrošnje)

Treći korak odnosi se na definiranje glavnih karakteristika kojima projekt doprinosi ostvarivanju ciljeva napredne mreže. Ti su ciljevi:

- mogućnost uključivanja potrošača u upravljanje potrošnjom
- mogućnost integracije proizvodnih postrojenja i spremnika energije
- poboljšanje tržišta energijom
- osiguravanje kvalitetne električne energije
- efikasno upravljanje elementima mreže
- prevencija, otkrivanje i popravljavanje kvarova
- zaštita od bilo kakvih šteta i kvarova

Četvrti korak je grupiranje funkcija / funkcionalnosti koje obavljaju komponente mreže prema koristima koje uzrokuju.

Peti korak je uspostava referentnog (osnovnog) stanja s kojim će se sva druga stanja uspoređivati. Referentno stanje može se odrediti na temelju povijesnih ili predviđenih podataka o potrošnji. Kod testiranja novih proizvoda ili usluga referentni podaci su reakcije grupe potrošača na takve proizvode ili usluge. Pri tome je važno da odabrani uzorak potrošača bude nasumičan i da dobro odražava sastav svih potrošača u mreži.

Šesti, sedmi i osmi korak odnose se na kvantificiranje koristi i identificiranje sudionika mreže koji ostvaruju te koristi. Novčana vrijednost ostvarene koristi (ušteda) računa se kao razlika stanja u referentnoj i stanja u naprednoj mreži. Kategorije koristi su ekonomske, zaštita okoliša i održivost, pouzdanost i kvaliteta električne energije, te sigurnost sustava i zaštita potrošača. Sudionici koji ostvaruju te koristi su krajnji potrošači, opskrbljivači i operateri mreže, okoliš i društvo u cjelini.

Deveti korak posebno je važan za izračun vremena povrata investicije. U suštini troškovi su investicijski i operativni. Kod integracije intermitirajućih izvora energije, zbog njihovih specifičnih obilježja kao što su varijabilnost, nepredvidljivost, modularnost, mali marginalni trošak, javljaju se dodatni troškovi:

- troškovi uravnoteženja – troškovi osiguravanja rezervnih kapaciteta za zadovoljenje potražnje
- troškovi pojačanja, proširenja i priključka na mrežu – javljaju se zbog udaljene gradnje vjetroelektrana na mjestima gdje je povoljna snaga vjetrova, jeftino zemljište, izgradnja prihvatljiva za okoliš i društvenu zajednicu
- troškovi adekvatnosti – troškovi za osiguravanje pouzdanosti opskrbe s obzirom na pouzdanost u proizvodnju intermitirajućih elektrana u vrijeme vršnog opterećenja (*Capacity credit*), te smanjenje

faktora iskorištenja konvencionalnih elektrana, a time i smanjenja njihove isplativosti rada (*Utilisation effect*)

Deseti korak u ekonomskoj analizi je usporedba troškova i koristi u svrhu određivanja isplativosti projekta. Moguće je provoditi godišnju, kumulativnu usporedbu ili omjer dobiti i troškova. Metoda čiste sadašnje vrijednosti, NPV računa se kao razlika sume diskontiranih vrijednosti koristi (ušteda) i investicijskih troškova, a investicija je isplativa ako je NPV pozitivna. Interna stopa profitabilnosti, IRR je diskontna stopa uz koju je NPV nula, a investicija je isplativa ako je IRR veći ili jednak od zadane diskontne stope.

## 1.2. JRC metodologija

JRC<sup>2</sup> metoda ekonomske analize naprednih mreža sastoji se od sedam koraka. U usporedbi s EPRI metodologijom, preskočen je treći korak kojim se procjenjuju glavne karakteristike napredne mreže, u drugom i četvrtom koraku zamijenjeni su pojmovi funkcije i funkcionalnosti, budući da se funkcije odnose samo na tehničke prednosti, a funkcionalnosti i na tehničke, ali i na prednosti za okoliš i društvo. Još jedna preinaka je grupiranje šestog, sedmog i osmog koraka, budući da se oni svi odnose na definiranje prednosti. Osim navedenog, za analizu mreža u Europi, predloženo je provoditi kvalitativnu analizu utjecaja naprednih mreža, predložene su formule za izračun koristi, te je predloženo definiranje ulaznih parametara za analizu i provođenje analize osjetljivosti parametara koja definira opseg ulaznih parametara za koje je projekt još isplativ.

## 1.3. Analiza projekata implementacije naprednih brojila

Implementacija naprednih brojila jedna je od najstarijih i najprimjenjivijih tehnologija pri izgradnji napredne mreže, pa se stoga često zasebno analizira. Analiza se provodi kroz pet glavnih koraka.

Prva četiri koraka obuhvaćaju ekonomsku analizu projekata implementacije naprednih brojila. Opis projekta uključuje postotak implementiranih naprednih brojila, vremenski period analize, te funkcionalnosti koje su uzete u obzir. Scenariji s kojima se uspoređuju promatrani projekti su *Business as usual* (bez implementiranih naprednih brojila) i scenarij predviđen u 2020. godini (napredna brojila implementirana kod 80% potrošača, s minimalnim funkcionalnostima).

Neki od parametara koje je potrebno definirati prije analize projekta su procjena kretanja potrošnje energije, procjena kretanja cijene energije, smanjenje vršnog opterećenja, gubici napona na vodovima, procijenjeno trajanje prekida opskrbe, VOLL, diskontna stopa, jedinični troškovi opreme, količina implementiranih naprednih brojila, troškovi instaliranja, očekivani životni vijek naprednog brojila, troškovi očitavanja potrošnje, udio komunikacijske tehnologije, stopa inflacije, smanjenje troškova razvojem tehnologije, plan implementacije, implementacija u urbanoj ili ruralnoj sredini, nameti za emisije CO<sub>2</sub>...

Kao i za svaki drugi implementirani napredni sustav, ekonomska analiza troškova i koristi provodi se kroz već spomenutih sedam koraka. Specifičnost koja razlikuje analizu projekata implementacije naprednih brojila od drugih projekata leži u funkcijama, prednostima i troškovima.

Analiza osjetljivosti, kao i kod EPRI metodologije rezultira opsegom varijabli za koji je projekt još isplativ.

Kod kvalitativne analize projekta u obzir treba uzeti i utjecaj na vanjske faktore kao što su povećanje broja radnih mjesta, povećanje sigurnosti opskrbe, te pozitivan utjecaj na okoliš, zaštita privatnosti, povećanje udobnosti potrošača.

## 1.4. Socijalni efekt provođenja implementacije naprednih sustava

Socijalni efekt odnosi se na uključenost potrošača u funkcioniranje napredne mreže, te utjecaj napredne mreže na potrošače, zajednicu i društvo u cjelini. Stupanj razvoja naprednih mreža uvelike ovisi o uključenosti potrošača u upravljanje vlastitom potrošnjom, a glavna motivacija je briga za okoliš, smanjenje računa za potrošenu energiju, te osjećaj udobnosti i zadovoljstva. Stoga operateri elektroenergetske mreže nastoje potaknuti potrošače na veću uključenost uvođenjem fiksnih i varijabilnih naknada, nagrada ili natjecanja (npr. zeleni uredi).

---

<sup>2</sup> JRC (eng. *Joint Research Centre*) je nezavisni znanstveni i tehnički centar Europske Komisije za savjetovanje iz područja politike Europske Unije

Razlozi skeptičnog stava potrošača prema uvođenju naprednih mreža su velike investicije, rizik ostvarivanja zadovoljavajućih ušteda, briga za zdravlje i zaštitu privatnosti, strah od daljinskog isključivanja potrošnje i sl. No napredne mreže imaju i brojne prednosti za potrošače (udobnost, smanjeni račun za potrošenu energiju, sigurna opskrba, kvalitetna energije, nadzor vlastite potrošnje), zajednicu (sigurna opskrba, međusobna razmjena energije po povoljnoj cijeni), te društvo u cjelini (briga za okoliš, sigurnost opskrbe,...).

## **2. DO SADA PROVEDENI PROJEKTI IZGRADNJE NAPREDNIH MREŽA U ZEMLJAMA EUROPSKE UNIJE I DALJNJI PLANOVI**

JRC (*Join Research Centre*) u najnovijem katalogu [6] izdao je analizu projekata implementacije naprednih sustava u zemljama Europske Unije do lipnja 2013. godine. Provedeno je 459 projekata na kojima je sudjelovalo 47 zemalja, a ukupna investicija iznosila je 3,15 milijardi eura.

Prema istraživanju *Pike Research* institucije iz 2011. godine, od 2010. – 2020. ukupne investicije u napredne tehnologije dostići će 56,5 milijardi \$. Prema IEA, za obnovu elektroenergetskog sustava od proizvodnje do prijenosa i distribucije Europa treba u razdoblju od 2007. – 2030. investirati 1,5 trilijun €. [7]

### **2.1. Sustav naprednog mjerenja potrošnje električne energije u zemljama Europske unije**

Prema Direktivi Europske Unije *Directive 2009/72/EC*, cilj energetske sustava članica EU je do 2020. godine opskrbiti barem 80% potrošača naprednim brojlama. Do sada su plan implementacije naprednih brojila u mrežu provele Finska, Švedska i Italija, koje čine 23% od željenih 80%. 16 zemalja članica ocijenilo je uvođenje naprednih brojila isplativom investicijom, te krenula u pripreme za njihovu integraciju u elektroenergetsku mrežu. 4 zemlje članice EU za sada nisu ocijenile integraciju naprednih brojila isplativom investicijom (Litva, Belgija, Češka i Portugal), a 4 zemlje još nisu provele analizu koristi i troškova (Slovenija, mađarska, Bugarska i Cipar). Njemačka, Letonija i Slovačka provode integraciju samo nekim grupama potrošača. Predviđa se da će do 2020. godine 72% potrošača imati implementirano napredna brojila, što uključuje 200 milijuna potrošača i zahtjeva investiciju od 35 milijardi €. [6]

Hrvatska elektroprivreda (HEP) odlučila se na pilot projekt instalacije 6.000 naprednih brojila. [8] Tako bi potrošnja u kućanstvima bila realno mjerena, a ne kao do sada procijenjena za razdoblje od pola ili jedne godine. Investicija bi iznosila 10 milijuna kuna, a brojila čija je prosječna cijena 170 – 220 €, potrošači bi isplatili kroz mrežarinu. [9] Do danas je u Hrvatski elektroenergetski sustav implementirano oko 50.000 naprednih brojila različitih kategorija. Svi obnovljivi izvori energije priključeni na mrežu i potrošači iz kategorije poduzetništva moraju imati takav način komunikacije. Kao dio EU, i Hrvatska teži cilju implementacije naprednih brojila u 80% kućanstava do 2018. godine.

## **ZAKLJUČAK**

Dosadašnje napredne tehnologije razvijale su se u tehničkom smislu, ali nisu bile usklađene s ostalim sustavima u mreži, te nije ostvaren optimalan rad napredne mreže. Stoga je važno analizirati provedene projekte, objavljivati izvješća te razmjenjivati znanja i iskustva kako bi se lakše pratio doprinos društvenim ciljevima, otvorilo tržište električne energije, ohrabrilu investitore, stvorilo povjerenje kod potrošača, te osmislio strateški plan izgradnje naprednih mreža.

**KLJUČNE RIJEČI:** napredne elektroenergetske mreže, napredno brojilo, EPRI, JRC, ekonomska analiza, isplativost

## **REFERENCE:**

- [1] European Commission, Smart grids Task Force, [http://ec.europa.eu/energy/gas\\_electricity/smartgrids/taskforce\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/taskforce_en.htm), 19.4.2014.
- [2] Smartgrid.gov, [https://www.smartgrid.gov/document/guidebook\\_arra\\_smart\\_grid\\_program\\_metrics\\_and\\_benefits\\_smart\\_grid\\_investment\\_grant\\_program](https://www.smartgrid.gov/document/guidebook_arra_smart_grid_program_metrics_and_benefits_smart_grid_investment_grant_program), 19.4.2014.
- [3] Dr.sc.Miletić S., Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije: Kvaliteta električne energije u naprednim mrežama, 3. (9.) savjetovanje, Sveti Martin na Muri, 13. –16. svibnja 2012.

- [4] ABB, Towards a smarter grid, ABB's Vision for the Power System of the Future, ABB White Paper. 2009
- [5] Electric Power Research Institute, Methodological Approach for Estimating the Benefits and Costs of Smart Grid Demonstration Projects, Palo Alto. 20
- [6] Giordano, V. et al., Joint Research Centre, Smart Grid projects in Europe: Lessons learned and current developments, 2014.
- [7] European Commission, Joint research Centre, Assessing Smart Grid Benefits and Impacts: EU and U.S. Initiatives, 2012.
- [8] Tomić. I., 8.2.2014., *HEP uvodi pametna brojila: Za potrošače niži računi*, <http://dnevnik.hr/vijesti/svijet/hep-uvodi-pametna-brojila-za-potrosace-nizi-racuni---322713.html>, 3.6.2014.
- [9] Šajn J.R., 7.2.2014., *Pametno brojilo štedi struju i sluša naredbe. HEP bira 6000 potrošača koji će ga dobiti*, <http://www.vecernji.hr/hrvatska/pametno-brojilo-stedi-struju-i-slusa-naredbe-hep-bira-prvih-6000-potrosaca-koji-ce-ga-dobiti-919>, 3.6.2014.