

# ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS

---

11. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI  
11<sup>th</sup> NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

4. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI  
4<sup>th</sup> INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

---

HEP-Group  
HEP-Plin Ltd.  
HR-31000 Osijek, Cara Hadrijana 7

J. J. Strossmayer University of Osijek  
Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod  
HR-35000 Slavonski Brod, Trg I. B. Mažuranić 2

University of Pécs  
Pollack Mihály Faculty of Engineering  
H-7624 Pécs, Boszorkány u. 2



Uz potporu  
Supported by

 Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske  
Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia

Osijek, 25. – 27. 09. 2013.

## VODITELJI KONFERENCIJE:

Pero RAOS, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska  
Zlatko TONKOVIĆ, HEP-Plin d.o.o., Osijek, Hrvatska

### POČASNI ODBOR:

Bálint BACHMANN, Mađarska  
Zvonko ERCEGOVAC, Hrvatska  
Ivan JUKIĆ, Hrvatska  
Tomislav JUREKOVIĆ, Hrvatska  
Gordana KRALIK, Hrvatska  
Nikola LIOVIĆ, Hrvatska  
Ivica MIHALJEVIĆ, Hrvatska  
Nikola RUKAVINA, Hrvatska  
Ivan SAMARDŽIĆ, Hrvatska  
Tomislav ŠERIĆ, Hrvatska  
Božo UDOVIČIĆ, Hrvatska

### ORGANIZACIJSKI ODBOR:

Marija SOMOLANJI, Hrvatska  
Nada FLANJAK, Hrvatska  
Tomislav GALETA, Hrvatska  
Mirela GRNJA, Hrvatska  
Pero RAOS, Hrvatska  
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska  
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska

### UREDNICI ZBORNIKA:

Pero RAOS, glavni urednik  
Tomislav GALETA, urednik  
Dražan KOZAK, urednik  
Marija SOMOLANJI, urednica  
Josip STOJŠIĆ, urednik  
Zlatko TONKOVIĆ, urednik



ISSN 1849-0638

### PROGRAMSKI ODBOR:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska  
Gjorgji ADŽIEV, Makedonija  
Zoran ANIŠIĆ, Srbija  
Károly BELINA, Mađarska  
Milorad BOJIĆ, Srbija  
Ivan BOŠNJAK, Hrvatska  
Aida BUČO-SMAJIĆ, BiH  
Zlatan CAR, Hrvatska  
Robert ČEP, Češka  
Majda ČOHODAR, BiH  
Ejub DŽAFEROVIĆ, BiH  
Tomislav GALETA, Hrvatska  
Antun GALOVIĆ, Hrvatska  
Nenad GUBELJAK, Slovenija  
Sergej HLOCH, Slovačka  
Nedim HODŽIĆ, BiH  
Željko IVANDIĆ, Hrvatska  
Željka JURKOVIĆ, Hrvatska  
Ivica KLADARIĆ, Hrvatska  
Milan KLJAJIN, Hrvatska  
Janez KOPAČ, Slovenija  
Damir MILJAČKI, Hrvatska  
Ferenc ORBÁN, Mađarska  
Branimir PAVKOVIĆ, Hrvatska  
Denis PELIN, Hrvatska  
Antun PINTARIĆ, Hrvatska  
Miroslav PLANČAK, Srbija  
Marko RAKIN, Srbija  
Pero RAOS, Hrvatska  
Aleksandar SEDMAK, Srbija  
Antun STOIĆ, Hrvatska  
Marinko STOJKOV, Hrvatska  
Igor SUTLOVIĆ, Hrvatska  
Tomislav ŠARIĆ, Hrvatska  
Mladen ŠERCER, Hrvatska  
Damir ŠLJIVAC, Hrvatska  
Vedran ŠPEHAR, Hrvatska  
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska  
Zdravko VIRAG, Hrvatska  
Nikola VIŠTICA, Hrvatska  
Jurica VRDOLJAK, Hrvatska  
Marija ŽIVIĆ, Hrvatska

Ekskluzivni sponzor



**HYPOTALPEADRIA**

Sponzori



**Xagent** d.o.o.



**Prvo plinarsko društvo**  
vaša prirodna energija



## Popis radova Conference Papers

| Stranica | Naslov rada                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          | <b>Pozvana predavanja / Key lectures</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1        | <b>Držislav Vidaković:</b><br>Mjere zaštite na radu kod izgradnje vodovoda i plinovoda<br><i>Safety measures in the construction of water- and pipelines</i>                                                                                                                                                                |
| 11       | <b>Damir Šljivac, Marko Vukobratović, Marinko Stojkov, Branka Nakomčić, Zvonimir Klaić, Predrag Marić:</b><br>Tehničke i ekonomske karakteristike bioplinke elektrane i utjecaj na elektroenergetsku mrežu<br><i>Technical and economic characteristics of the biogas power plant and the impact on the electrical grid</i> |
|          | <b>Radovi / Papers</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 31       | <b>Željko Krklec, Hrvoje Pešut:</b><br>Praktična primjena mjera za dokazivanje zadovoljavajuće opskrbe zrakom za izgaranje plinskih trošila vrste „B“<br><i>Practical implementation of proving methods for adequate supply with combustion air for gas appliances type „B“</i>                                             |
| 39       | <b>Božidar Soldo, Primož Potočnik, Goran Šimunović, Tomislav Šarić, Edvard Govekar:</b><br><i>The influence of solar radiation on the natural gas consumption forecasting</i>                                                                                                                                               |
| 49       | <b>Anto Ravlić, Vjekoslav Galzina, Roberto Lujčić:</b><br>Analiza doprinosa solarnih kolektora u toplovodnom sustavu u Slavonskom Brodu<br><i>Analysis of thermal solar collector hot water systems contribution in Slavonski Brod</i>                                                                                      |
| 57       | <b>Jasmina Hrnjica Bajramović, Tomislav Grizelj:</b><br>Otpad - OIE/EE<br><i>Waste - OIE/EE</i>                                                                                                                                                                                                                             |
| 65       | <b>Predrag Viduka:</b><br>Primjena GIS-a u području infrastrukturnih objekata - plinovoda<br><i>Application of GIS in the field of infrastructure objects - pipeline</i>                                                                                                                                                    |
| 75       | <b>Tomislav Grizelj, Jasmina Hrnjica Bajramović</b><br>CNG u eksploataciji<br><i>CNG in Service</i>                                                                                                                                                                                                                         |
| 83       | <b>Ibrahim Karahodžić:</b><br>Naknadno povećanje tlaka u plinovodima od polietilena<br><i>Subsequent increase in pressure in the pipelines of polyethylene</i>                                                                                                                                                              |
| 95       | <b>Denis Pelin, Jadran Pavlić, Hrvoje Glavaš:</b><br>Izmjenične karakteristike prijenosnog računala za različite načine rada<br><i>AC characteristics of laptop for different mode of operation</i>                                                                                                                         |
| 104      | <b>Željka Jurković, Zlata Dolaček-Alduk, Sanja Lončar-Vicković:</b><br>Arhitektura i energija<br><i>Architecture and energy</i>                                                                                                                                                                                             |
| 115      | <b>Krunoslav Hornung, Marinko Stojkov, Emil Hnatko, Milan Kljajin:</b><br>Sunčeva energija – rezervni energent i smanjenje potrošnje prirodnog plina<br><i>Solar energy – spare energy source and reduction of natural gas consumption</i>                                                                                  |
| 124      | <b>Milan Ivanović, Hrvoje Glavaš, Zlatko Tonković:</b><br>Korištenje obnovljivih izvora energije i plinski konzum u regiji Slavonija i Baranja<br><i>The Use of Renewable Energy and Gas Consumption in the Region of Slavonia and Baranja</i>                                                                              |
| 134      | <b>Franjo Ambroš, Milan Ivanović, Dalibor Mesarić:</b><br>Izgradnja komunalne infrastrukture i razvoj optičke mreže na području Slavonije i Baranje<br><i>Construction of Municipal Infrastructure and Development of Optical Networks in Slavonia and Baranja</i>                                                          |
| 143      | <b>Zoran Harambašić, Marinko Stojkov, Emil Hnatko, Mario Holik, Damir Šljivac, Vladimir Medica:</b><br>Tehnologije za pročišćavanje dimnih plinova<br><i>Technology for flue gas purification</i>                                                                                                                           |
| 153      | <b>Mario Holik, Zvonimir Janković, Antun Galović:</b><br>Teorijska analiza optimalnog režima rada Braytonova ciklusa<br><i>Theoretical Analysis of optimum</i>                                                                                                                                                              |
| 164      | <b>Dragan Vulin, Matija Štefok, Denis Pelin:</b><br>Pregledni prikaz algoritama za praćenje točke maksimalne snage u fotonaponskim sustavima<br><i>Overview of the Algorithms for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems</i>                                                                                  |

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 172 | <b>Antun Pintarić, Goran Rozing:</b><br>Aktivno rastavljanje<br><i>Active Disassembly</i>                                                                                                                                                                                                                                  |
| 183 | <b>Emir Trožić, Enver Trožić, Edin Smajić:</b><br>Koncept kontinuiranog monitoringa strateških i zonski mjerača protoka centralnog vodovodnog sistema<br><i>The concept of continuous monitoring strategic and zone flow meter central water supply system</i>                                                             |
| 192 | <b>Edin Smajić, Emir Trožić, Enver Trožić:</b><br>Izračun protoka vode modeliranjem poprečnog profila senzorom na pokretnom plovilu za potrebe projektiranja hidro elektrane<br><i>Calculation of the flow stream modelling cross section sensor on a mobile vessel for the design of hydro power plants</i>               |
| 198 | <b>Enver Trožić, Emir Trožić, Edin Smajić:</b><br>Prilog uspostavi automatskog monitoringa utjecaja voda kraškog ponora na izvor vode za piće<br><i>Contribution to establishing an automatic monitoring of the impact of karst abyss to the source of drinking water</i>                                                  |
| 209 | <b>Ruzica Končić, Ante Čikić, Marija Živić:</b><br>Analiza ekonomičnosti grijanja građevina korištenjem toplovoda iz termoelektrane s različitim gorivom<br><i>Cost-effectiveness analysis of heating of buildings using hot water pipeline from the thermal power plant with different fuel</i>                           |
| 219 | <b>Zoran Horvatić, Marinko Stojkov, Zvonimir Janković, Danijel Topić, Vjekoslava Golob:</b><br>Bioplin i bioplinsko postrojenje<br><i>Biogas and Biogas Power Plant</i>                                                                                                                                                    |
| 229 | <b>Siniša Maričić:</b><br>Razvoj i značaj sustava odvodnje osječkog kraja<br><i>Development and the importance of the drainage system of the Osijek region</i>                                                                                                                                                             |
| 241 | <b>Zlatko Tonković, Pero Raos, Igor Skeledžija:</b><br>Usporedba polietilenskih i čeličnih cijevi za plinovode<br><i>Comparison of polyethylene and steel pipes for gas pipelines</i>                                                                                                                                      |
| 251 | <b>Branko Grizelj, Josip Cumin, Marija Stoić, Branimir Vujčić:</b><br>Proračun sile prešanja podnica za tlačne posude<br><i>Pressing force calculation of the floor for pressure vessels</i>                                                                                                                               |
| 260 | <b>Dražen Dorić, Marinko Šlezak:</b><br>Kako odabrati i raditi s integratorima sustava nadzora i upravljanja u distribuciji komunalnih dobara<br><i>How to select and work with integrator of control supervisory system in utility distribution</i>                                                                       |
| 269 | <b>Balazs Baptista, Janos Rittinger, Szabolcs Szavai:</b><br>Testiranje i kvalifikacija zvaračkih radova u prirodnim plinovodima<br><i>Testing and qualification of welds in natural gas transmission systems</i>                                                                                                          |
| 279 | <b>Szabolcs Szavai, Robert Belezna, Szabolcs Jonas:</b><br>Konzervativna ili pouzdana; Pregled postupaka procjene korozije u plinovodima u svjetlu troškova i učinkovitosti<br><i>Conservative or Reliable; Overview of Pipeline Assessment Procedures of Corrosion Defect in the View of the Cost Effective Operation</i> |
| 287 | <b>Ilija Svalina, Goran Šimunović, Katica Šimunović, Božidar Soldo:</b><br>Predviđanje potrošnje prirodnog plina pomoću metode prilagodljivog neuro-neizrazitog sustava zaključivanja<br><i>Predicting natural gas consumption by the method adaptive neuro-fuzzy inference system</i>                                     |
| 297 | <b>Sergej Kovbanovski, Tomislav Barić, Hrvoje Glavaš:</b><br>Grafčki prikaz energetske bilance upotrebom Sankey dijagrama<br><i>Graphical presentation of the energy balance with Sankey diagrams</i>                                                                                                                      |
| 307 | <b>Jasmina Dizdarević:</b><br>Integrirani sustav za geoprostorno upravljanje imovinom i infrastrukturom plinske mreže: KJKP Sarajevogas d.o.o.<br><i>A Integrated system for geospatial asset management of gas network infrastructure: KJKP Sarajevogas Ltd.</i>                                                          |
| 319 | <b>Pero Knežević, Marija Stoić, Antun Stoić, Janez Kopač:</b><br>Servisiranje i održavanje regulatora tlaka u mjerno-regulacijskim stanicama<br><i>Servicing and maintenance of the pressure regulator placed in metering and regulating stations</i>                                                                      |

# **Grafički prikaz energetske bilance upotrebom Sankey dijagrama**

## ***Graphical Presentation of the Energy Balance with Sankey Diagrams***

**S. Kovbanovski, T. Barić, H. Glavaš\***

Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [hrvoje.glavas@etfos.hr](mailto:hrvoje.glavas@etfos.hr)

### **Sažetak**

Rad daje objašnjenje energetske bilance, pojedine oblike prikaza i područje primjene. Analizirane su mogućnosti primjene dostupne programske podrške za grafičku interpretaciju tokova energije pomoću Sankey dijagrama. Na primjeru složenog sustava primijenjena je programska podrška i prikazani su tokovi energije u grafičkom obliku. Zaključna razmatranja naglašavaju pojedine značajke grafičke interpretacije energetske bilance s ciljem lakšeg uočavanja tokova energije i energetske transformacije.

### **Abstract**

In this work the concept of energy balance is defined. The application area and different ways of representing energy balance are also shown. Application possibilities of the software for graphical interpretation of energy flows using Sankey diagrams are analyzed and an example of graphical interpretation of energy flows is made using that software. Concluding observations emphasize certain features of the graphical interpretation of energy balance in order to identify energy flows and energy transformations more easily.

**Ključne riječi:** energetska bilanca, grafička interpretacija, Sankey dijagram, IEA, Eurostat

### **1. Uvod**

Energetska bilanca postavlja temelje za analizu kretanja energije pojedinih procesa, odnosno sustava. Ovaj rad se bavi pojmom i načinom prikaza energetske bilance te daje uvid u mogućnost primjene grafičke interpretacije energetske bilance na primjeru složenog sustava. Dostupna programska podrška: S.Draw, SankeyEditor, Sankey Helper, Excel to Sankey, drawSankey, Sankey by tamc i e!Sankey analizirana je s aspekta značajki ukazujući na prednosti i nedostatke pojedinih aplikacija. Zaključna razmatranja naglašavaju pojedine značajke grafičke interpretacije energetske bilance pomoću Sankey dijagrama s ciljem lakšeg uočavanja tokova energije i energetske transformacije. Rad se može podijeliti na dva dijela. U prvom dijelu, koji obuhvaća drugo poglavlje dana je definicija pojma energetske bilance te su navedeni načini prikaza i područja primjene

energetske bilance. U drugom dijelu, koji obuhvaća poglavlja tri i četiri, prikazana je programska podrška za grafičku interpretaciju tokova energije pomoću Sankey dijagrama, te je dan primjer grafičkog prikaza energetske tokova složenog sustava.

## 2. Energetska bilanca

Energetska bilanca je statistika posebnog tipa kojom se prate tokovi energije od njezine pojave u energetskej privredi promatranog područja do njezine konačne predaje neposrednim potrošačima, odnosno pretvorbe u korisnu energiju u potrošačkim postrojenjima ili aparatima. Svrha izrade energetske bilance je obuhvatiti tokove svih oblika energije kako bi se omogućio prikladan i pregledan prikaz iskorištavanja pretvorbenih oblika energije, uvoza i izvoza prirodnih i pretvorbenih oblika energije, energije za pogon energetske postrojenja, gubitaka energije u transportu i distribuciji, te iskorištavanja pojedinih oblika energije za opskrbu neposrednih potrošača, tj. industrije, prometa i opće potrošnje [1]. Cilj izrade energetske bilance je omogućiti analizu strukture proizvodnje, pretvorbi i potrošnje energenata u nekom području na osnovu koje se može planirati potrebni razvoj te eventualno restrukturiranje kapaciteta za proizvodnju, pretvorbu, transport i distribuciju energije [2]. Struktura i način prikazivanja energetske bilance pojedine zemlje ovisi o metodi prema kojoj je energetska bilanca rađena.

### 2.1. Ogrjevnost i pretvorbeni faktori

Opća energetska bilanca se obično izrađuje paralelno u naturalnim mjernim jedinicama koje su karakteristične za pojedine oblike energije, kao što je na primjer kWh za električnu energiju, t za ugljen i naftu, m<sup>3</sup> za prirodni plin i sl., te u zajedničkoj mjernoj jedinici. Preračunavanje iz naturalnih u zajedničku mjernu jedinicu se ostvaruje množenjem količina s ogrjevnostima pojedinih oblika energije. Prednost prikazivanja energetske bilance u zajedničkoj energetskej mjernoj jedinici je mogućnost međusobnog uspoređivanja i zbrajanja različitih oblika energije, kao i mogućnost izračunavanja odnosa i karakteristika promatranog energetskeg sustava [1]. U tablici 1. prikazani su pretvorbeni faktori kojima su definirani odnosi među pojedinim mjernim jedinicama.

**Tablica 1.** Pretvorbeni faktori, izvor: <http://www.mingo.hr>

|          | kcal    | kJ      | kWh                    | kgen                    | kgeu                   |
|----------|---------|---------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 kcal = | 1       | 4,1868  | $1,163 \cdot 10^{-3}$  | $1 \cdot 10^{-4}$       | $1,4286 \cdot 10^{-4}$ |
| 1 kJ =   | 0,2388  | 1       | $2,7778 \cdot 10^{-4}$ | $2,3885 \cdot 10^{-5}$  | $3,4121 \cdot 10^{-5}$ |
| 1 kWh =  | 859,845 | 3600    | 1                      | $85,9845 \cdot 10^{-3}$ | 0,1228                 |
| 1 kgen = | 10000   | 41868   | 11,63                  | 1                       | 1,4286                 |
| 1 kgeu = | 7000    | 29307,6 | 8,141                  | 0,7                     | 1                      |

|             |                            |                         |
|-------------|----------------------------|-------------------------|
| kcal        | 1000 kalorija              | 1000 Calories           |
| MJ          | 1000000 Joula              | 1000000 Joules          |
| kgen (kgoe) | 1 kg ekvivalentne nafte    | 1 kg of oil equivalent  |
| kgeu (kgce) | 1 kg ekvivalentnog ugljena | 1 kg of coal equivalent |

Osim pretvorbenih faktora za analizu energetske bilance potrebno je i poznavanje ogrjevnost pojedinih izvora energije. Primjenom ogrjevnih vrijednosti može se

doći do podatka o količini pojedinog energenta potrebnoj za stvaranje određene količine energije. Ogrjevne vrijednosti pojedinih izvora energije prikazane su u tablici 2.

**Tablica 2.** Ogrjevne vrijednosti, izvor: <http://www.mingo.hr>

|                          | Jedinica   Unit           | kcal            | MJ        | kgen        | kgeu        |
|--------------------------|---------------------------|-----------------|-----------|-------------|-------------|
| Kameni ugljen            | Hard coal                 | kg              | 5800-7000 | 24,28-29,31 | 0,580-0,700 |
| Kameni ug. za koksiranje | Coking Coal               | kg              | 7000      | 29,31       | 0,700       |
| Mrki ugljen              | Brown Coal                | kg              | 4000-4600 | 16,75-19,26 | 0,400-0,460 |
| Lignit                   | Lignite                   | kg              | 2300-3000 | 9,63-12,56  | 0,230-0,300 |
| Koks                     | Coke Oven Coke            | kg              | 6300-7000 | 26,38-29,31 | 0,630-0,700 |
| Ogrjevno drvo            | Fuel Wood                 | dm <sup>3</sup> | 2150      | 9,00        | 0,215       |
| Biodizel                 | Biodiesel                 | kg              | 8837      | 36,90       | 0,884       |
| Bioetanol                | Bioethanol                | kg              | 6370      | 26,67       | 0,637       |
| Deponijski plin          | Landfill Gas              | m <sup>3</sup>  | 4060      | 17,00       | 0,406       |
| Bioplin                  | Biogas                    | m <sup>3</sup>  | 4777      | 20,00       | 0,478       |
| Prirodni plin            | Natural Gas               | m <sup>3</sup>  | 8120-8570 | 34-35,88    | 0,812-0,857 |
| Sirova nafta             | Crude Oil                 | kg              | 10127     | 42,40       | 1,013       |
| Ukapljeni plin           | Liquefied Petroleum Gases | kg              | 11200     | 46,89       | 1,120       |
| Motorni benzin           | Motor Gasoline            | kg              | 10650     | 44,59       | 1,065       |
| Primarni benzin          | Naphtha                   | kg              | 10650     | 44,59       | 1,065       |
| Petrolej                 | Kerosene                  | kg              | 10500     | 43,96       | 1,050       |
| Mlazno gorivo            | Jet Fuel                  | kg              | 10500     | 43,96       | 1,050       |
| Ekstralako loživo ulje   | Light Heating Oil         | kg              | 10200     | 42,71       | 1,020       |
| Dizelsko gorivo          | Diesel Oil                | kg              | 10200     | 42,71       | 1,020       |
| Loživo ulje              | Fuel Oil                  | kg              | 9600      | 40,19       | 0,960       |
| Naftni koks              | Petroleum Coke            | kg              | 7400      | 31,00       | 0,740       |
| Ostali derivati          | Other Products            | kg              | 8000-9600 | 33,49-40,19 | 0,800-0,960 |
| Rafinerijski plin        | Refinery Gas              | kg              | 11600     | 48,57       | 1,160       |
| Etan                     | Ethane                    | kg              | 11300     | 47,31       | 1,130       |
| Koksni plin              | Coke Oven Gas             | m <sup>3</sup>  | 4278      | 17,91       | 0,428       |
| Gradski plin             | Gas Works Gas             | m <sup>3</sup>  | 6630      | 27,76       | 0,663       |
| Visokopećni plin         | Blast Furnace Gas         | m <sup>3</sup>  | 860       | 3,60        | 0,086       |
| Električna energija      | Electricity               | kWh             | 860       | 3,60        | 0,086       |

## 2.1. Područja primjene energetske bilance

Energetska bilanca ima izuzetno široko područje primjene. Potreba za izradom energetske bilance kreće se od prikaza tokova energije u pojedinim procesima pa sve do energetske tokova složenih sustava poput država. Uvjet za izradu energetske bilance je postojanje barem jednog energetskeg toka. Planiranje na razini države je podloga za kreiranje i unapređenje energetske politike radi uravnoteženog i održivog razvoja [3]. Energetska bilanca upravo omogućuje analizu strukture proizvodnje, pretvorbi i potrošnje energenata na temelju koje je moguće donijeti odgovarajuće odluke. Primjena energetske bilance je važna u proračunu energetske ušteda zbog referenciranja potrošnje. Ona omogućuje analizu trenutne potrošnje, odnosno uvid u udio potrošnje pojedinog dijela sustava. Energetska bilanca tako predstavlja alat za pomoć u odlučivanju o provedbi potrebnih mjera za ostvarivanje najvećih ušteda, odnosno za poboljšanje energetske učinkovitosti.

## 2.2. Načini prikaza energetske bilance

Postoje dva osnovna načina na koji se može prikazati energetska bilanca:

- › numerički prikaz energetske bilance

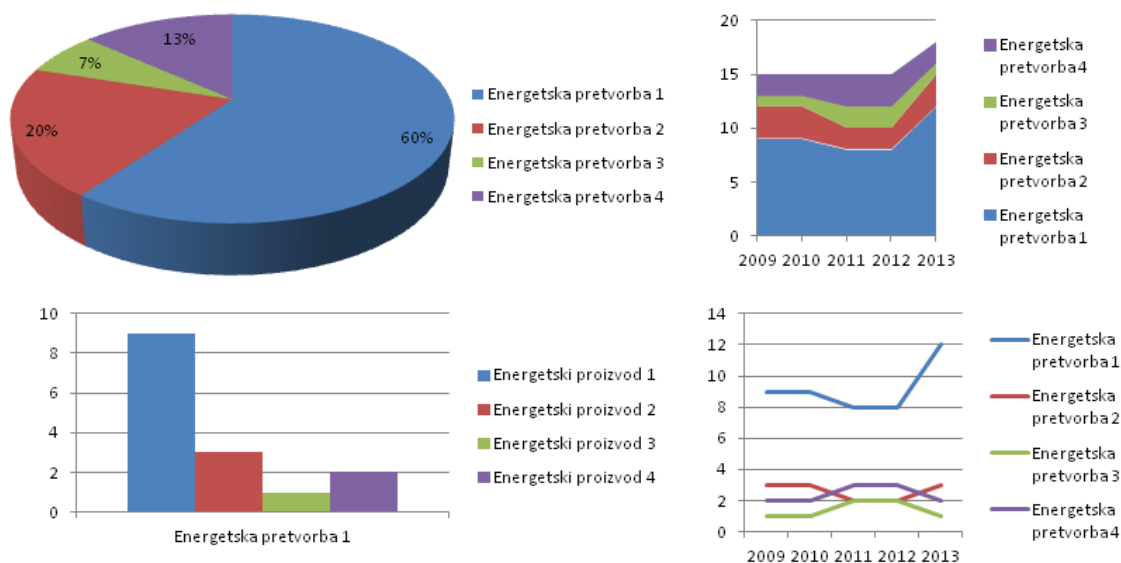
### › grafički prikaz energetske bilance

Numerički prikaz energetske bilance se najčešće koristi prilikom prikazivanja složenih sustava s velikim brojem energetske tokova. Energetska bilanca se može izraditi kao jedna ili kao više tablica. Energetska bilanca prikazana jednom tablicom ima velik broj stupaca i redaka kako bi se obuhvatili svi elementi tijeka energije na jednom mjestu. U tablici je predviđeno da svakom obliku energije koji se iskorištava na promatranom području odgovara po jedan stupac tablice [1]. Primjer energetske bilance jednostavnog sustava s dvije energetske pretvorbe i tri energetska proizvoda te zajedničkom mjernom jedinicom prikazan je u tablici 3. Zbroj energija pojedinih energetske pretvorbi u sustavu, kao i ukupna energija prikazani su u zasebnom stupcu na kraju tablice. Negativna vrijednost ukupne energije predstavlja gubitke energetske pretvorbi.

**Tablica 3.** Primjer numeričkog prikaza energetske bilance

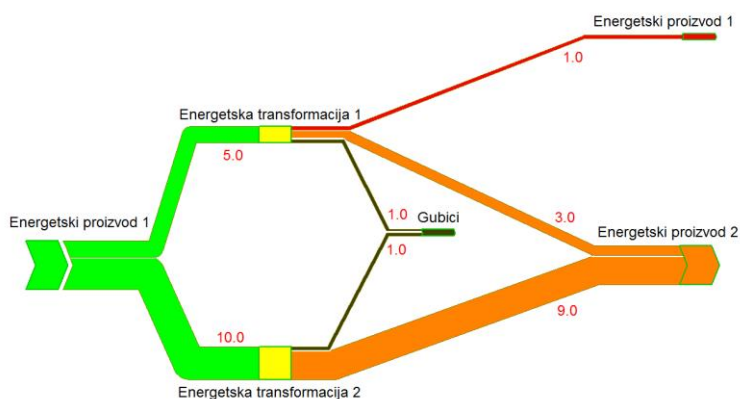
| Mjerna jedinica        | Energetski proizvod 1 | Energetski proizvod 2 | Energetski proizvod 3 | Ukupno |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------|
| Početno stanje         | 15                    | 0                     | 0                     | 15     |
| Energetska pretvorba 1 | -5                    | 3                     | 1                     | -1     |
| Energetska pretvorba 2 | -10                   | 9                     | 0                     | -1     |
| Ukupna energija        | -15                   | 12                    | 1                     | -2     |

Grafički prikaz energetske bilance moguće je ostvariti pomoću grafikona u obliku stupca, crte, torte i površinskog grafikona te pomoću Sankey dijagrama. Glavni nedostatak prikaza energetske bilance pomoću grafikona je nemogućnost prikaza složenih sustava na jednom grafikonu. Za prikaz sustava koji se sastoje od velikog broja procesa, odnosno sustava koji imaju veliki broj energenata potrebno je koristiti više grafikona čime je onemogućena izravna grafička usporedba podataka na jednom mjestu. Pomoću grafikona moguće je prikazati raspodjelu ukupne energije među energetske pretvorbama, odnosno raspodjelu energenata u energetske pretvorbama. Na slici 1. prikazane su energetske bilance izrađene pomoću grafikona.



**Slika 1.** Prikaz energetske bilance pomoću grafikona

Sankey dijagrami predstavljaju poseban tip dijagrama tokova čije su strjelice, odnosno spojni putovi proporcionalni količini toka energije. Na osnovi Sankey dijagrama moguće je grafičkim putem odrediti stupnjeve djelovanja pojedinih energetske pretvorbi, kao i prosječni stupanj djelovanja svih energetske pretvorbi. Prikaz energetske bilance jednostavnog sustava prema tablici 3. pomoću Sankey dijagrama dan je na slici 2.



**Slika 2.** Primjer prikaza energetske bilance Sankey dijagramom

### 2.3. Temeljni tokovi energije u energetske bilanci

U energetske bilanci mogu se istaknuti temeljni tokovi energije koji su najčešće posebno označeni prilikom numeričkog opisa tijeka energije, neovisno o tome da li se energetska bilanca prikazuje jednom tablicom ili s pomoću više tablica.

Temeljni tokovi energije u energetske bilanci su:

› proizvodnja

Proizvedena količina goriva bi trebala biti ona koja se mjeri kada su goriva u tržišnom stanju. Bilo koja količina koja se izravno ne upotrebljava ili se ne koristi za prodaju ne bi se trebala pribrajati podacima vezanim za proizvodnju. Mjerenje proizvedene količine električne energije i topline za potrebe energetske bilance trebalo bi se provoditi što dalje od mjesta na kojemu se energetske tok iskoristava.

› uvoz i izvoz

Podaci o uvozu i izvozu obuhvaćaju one količine energenata koji ulaze i izlaze iz pojedine države kao rezultat kupnje ili prodaje robe od strane osoba koje žive u toj državi. Uvoz i izvoz robe se uzima u obzir kada roba prelazi državne granice, bez obzira na to da li je ili nije prošla kroz postupak carinjenja. Roba koja je u tranzitu kroz državu ne uzima se u obzir kod sastavljanja podataka o uvozu i izvozu.

› bunker brodova

Količina derivata nafte koju dobivaju brodovi za međunarodne plovidbe predstavljaju poseban tip tokova derivata nafte iz zemlje. Ova količina derivata nafte se koristi za pokretanje brodova, ali ne i kao dio tereta kojeg prevoze. Svi brodovi, neovisno o tome kojoj zemlji pripadaju, pod uvjetom da ostvaruju plovidbu izvan teritorijalnih voda,

moraju biti uključeni u podatke o količini energije za bunker brodova. Potrošnja ribarskih brodova je isključena iz podataka o količini energije za bunker brodova [4].

#### › saldo skladišta

Podaci prikazani u energetske bilanci vezani za saldo skladišta se odnose na promjenu stanja zaliha na početku i na kraju godine u nekoj državi kod uvoznika, proizvođača i poduzeća koja obavljaju transformacije energije. Iznos salda skladišta dobiva se oduzimanjem stanja zaliha na početku prvog radnog dana od stanja zaliha na kraju posljednjeg dana u toj godini [5].

#### › energetske transformacije

Energetske transformacije predstavljaju pretvorbu primarnih izvora energije u sekundarne izvore energije koji posjeduju bolje uporabne vrijednosti, odnosno koji imaju pogodniji oblik za zadovoljavanje potreba potrošača. Unutar energetske bilance prikazani su podaci više različitih procesa takve pretvorbe.

#### › neposredna potrošnja

Neposredna potrošnja obuhvaća isporuku energenata industriji, prometu i općoj potrošnji u energetske ili neenergetske svrhe. Energenti korišteni za proizvodnju električne energije ili topline za prodaju su isključeni iz podataka za neposrednu potrošnju te su pridodani podacima za energetske transformacije.

## 2.4. Metode prikaza energetske bilance

U Republici Hrvatskoj se koriste dvije međunarodno priznate metode za prikaz energetske bilance. To su energetske bilance prema IEA metodi i energetske bilance prema Eurostat metodi. Obje metode prikaza sadrže sve oblike energenata, odnosno izvora energije, ali prikazuju samo rezime bilanci kako bi se omogućio pregledan prikaz.

U energetske bilanci prema Eurostat metodi dio koji se odnosi na transformacije podijeljen je na energiju za transformaciju i proizvodnju transformirane energije. Taj dio se naziva matrica transformacije. Sve veličine u matrici transformacije su prikazane s pozitivnim predznakom. Energetska bilanca prema IEA metodi sadrži samo primarne izvore energije u retku koji se odnosi na proizvodnju. Proizvodnja sekundarne energije prikazana je kao pozitivna količina energije u matrici transformacije uz pripadajuću vrstu postrojenja za pretvorbu energije. U istoj matrici transformacije prikazana je energija potrebna za transformaciju i proizvodnja transformirane energije, odnosno ti dijelovi nisu posebno izdvojeni. To se postiže tako da se energiji potrebnoj za transformaciju priroda negativan predznak.

Energetske bilance prema Eurostat i IEA metodi se također razlikuju i u načinu prikaza prijenosa energije unutar bilance. U energetske bilanci prema IEA metodi energija iz primarnog izvora energije se prenosi preko transformacijske matrice. Ona se unosi kao energija potrebna za transformaciju s negativnim predznakom i jednakim pozitivnim

iznosom dodanim ukupnoj proizvodnji energije. Energetska bilanca prema Eurostat metodi koristi poseban redak za transfere [4].

### 3. Programska podrška za grafičku interpretaciju tokova energije pomoću Sankey dijagrama

Dostupnu programsku podršku možemo podijeliti na dvije skupine, odnosno na besplatne alate i programe koji zahtijevaju određena financijska izdvajanja.

Prvoj skupini pripadaju slijedeći alati: Sankey Helper, Excel to Sankey, drawSankey i Sankey by tamc. Za pokretanje alata Sankey Helper i Excel to Sankey potreban je program MS Excel, a za drawSankey je potreban program MATLAB. Ti alati imaju ograničene mogućnosti podešavanja Sankey dijagrama te nisu prilagođeni za izradu dijagrama složenih sustava. Za rad alata Sankey by tamc nije potrebna nazočnost nikakvog drugog programa na računalu osim internet preglednika. Taj alat pruža brojne mogućnosti podešavanja izgleda Sankey dijagrama, ali je njegovo korištenje kompliciranije u odnosu na druge programe i alate.

Drugoj skupini programske podrške pripadaju: S.Draw, SankeyEditor i e!Sankey. Ovi programi imaju napredne postavke za podešavanje izgleda i načina prikaza Sankey dijagrama, oni pružaju određenu razinu korisničke podrške, omogućuju prijenos i obradu podataka u drugim alatima, ali i zahtijevaju visoka financijska izdvajanja. SankeyEditor se ističe mogućnošću prikazivanja animacija vremenski ovisnih energetske tokova, a e!Sankey mogućnošću stvaranja korisničkih baza energetske tokova i mjernih jedinica što može ubrzati izradu pojedinih dijagrama.

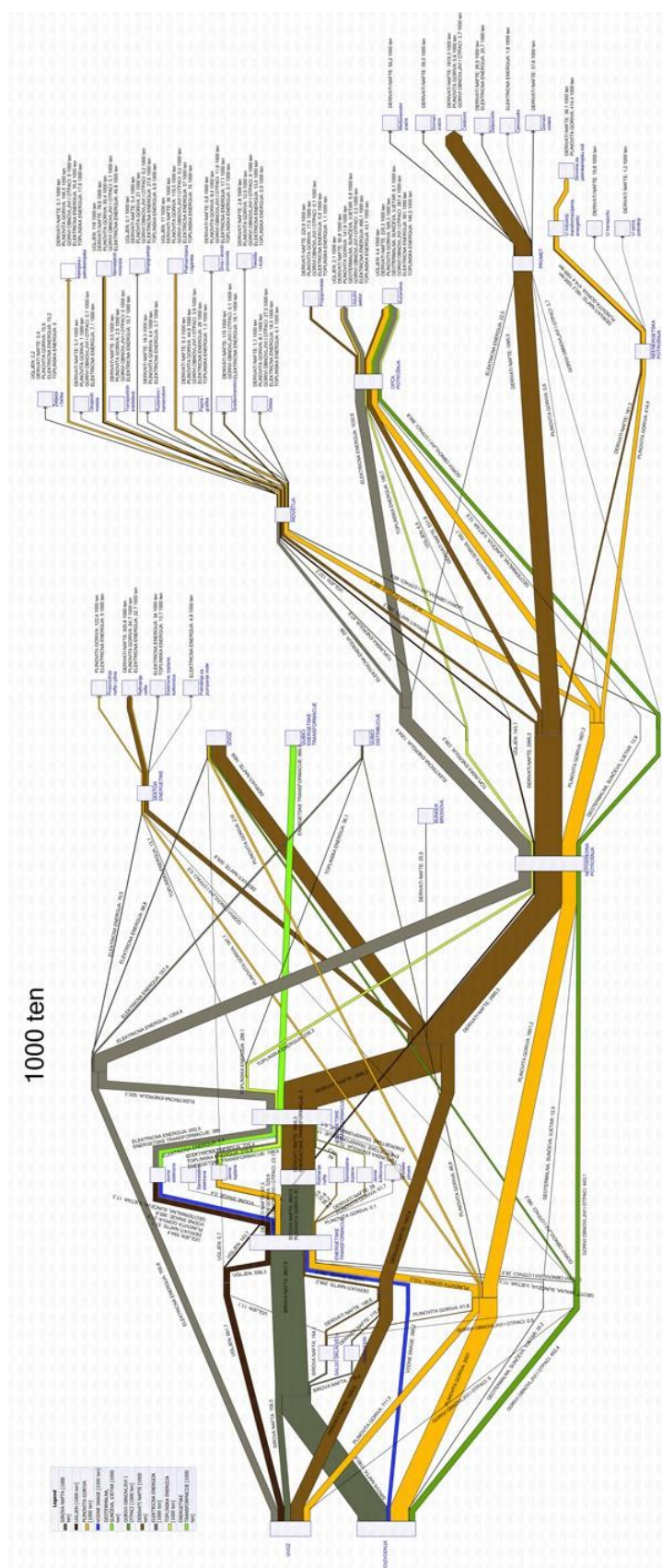
### 4. Prikaz energetske tokova složenog sustava u grafičkom obliku

Za složeni sustav odabrana je Republika Hrvatska, odnosno godišnja energetska bilanca Republike Hrvatske. Energetska bilanca Republike Hrvatske prikazuje se svake godine u numeričkom obliku prema IEA i Eurostat metodi na temelju podataka Energetskog instituta Hrvoja Požara te je dostupna na stranicama Ministarstva gospodarstva i Državnog zavoda za statistiku. Godišnjom energetske bilancom obuhvaćena je analiza iskorištavanja primarnih oblika energije, energetske transformacije, uporabe transformiranih oblika, uvoza i izvoza primarnih i transformiranih oblika energije te uporabe pojedinih oblika energije za neposrednu opskrbu krajnjih korisnika. Energetska bilanca prema IEA metodi pogodnija je za prikaz pomoću Sankey dijagrama zbog manje količine potrebnih čvorova za analizu cjelokupnog tijeka energije unutar Republike Hrvatske.

Za izradu grafičkog prikaza energetske bilance pomoću Sankey dijagrama korišten je jedan besplatan alat Sankey by tamc i jedan od vodećih programa za izradu Sankey dijagrama e!Sankey. Položaj čvorova i boja kojom su prikazani pojedini energenti u energetske bilanci su usklađeni kako bi se mogli lakše usporediti dobiveni dijagrami. Tokovi energije svakog pojedinog energenta od njezine pojave u energetske privredi do njezine konačne predaje neposrednim potrošačima, odnosno pretvorbe u korisnu energiju u potrošačkim postrojenjima ili aparatima prikazani su na slici 3. i na slici 4.



**Slika 3.** Prikaz energetske bilance Republike Hrvatske za 2011. godinu po IEA metodi pomoću alata Sankey by tamc



**Slika 4.** Prikaz energetske bilance Republike Hrvatske za 2011. godinu po IEA metodi pomoću programa e!Sankey

## 5. Zaključak

Svrha izrade energetske bilance je obuhvatiti tokove svih oblika energije kako bi se omogućio prikladan i pregledan prikaz iskorištavanja pretvorbenih oblika energije, uvoza i izvoza prirodnih i pretvorbenih oblika energije, energije za pogon energetskih postrojenja, gubitka energije u transportu i distribuciji, te iskorištavanja pojedinih oblika energije za opskrbu neposrednih potrošača, odnosno industrije, prometa i opće potrošnje. Grafička interpretacija energetske bilance uporabom Sankey dijagrama može poslužiti kao dodatak numeričkom prikazu energetske bilance kako bi se osigurala osnovna svrha energetske bilance ili u pojedinim slučajevima može i samostalno omogućiti postizanje osnovne svrhe energetske bilance. To se postiže tako da se uz svaki pojedini energetski tok na Sankey dijagramu doda informacija o količini energije. Za razliku od numeričkog načina prikaza, grafički prikaz energetske bilance omogućuje jednostavno praćenje tijeka energije od njezine pojave do konačnog iskorištenja. Kao nedostatak grafičkog prikaza energetske bilance pomoću Sankey dijagrama u odnosu na numerički prikaz može se navesti povećana potreba za prostorom potrebnim za prikazivanje energetske bilance, kao i nemogućnost podjele jednog Sankey dijagrama na više odvojenih dijelova.

## 6. Literatura

- [1] Udovičić, Božo. Energetika. Zagreb: Školska knjiga, 1993.
- [2] Goić, Ranko. Opća energetika. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje.
- [3] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva i Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP). Prilagodba i nadogradnja strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske, Zelena knjiga. 2008.
- [4] Međunarodna energetska agencija (IEA) u suradnji sa Statističkim uredom Europskih zajednica (Eurostat). Energy Statistics Manual // *Priručnik za energetske statistiku*. Pariz: OECD/IEA, 2005.
- [5] Pugar, Jasmina; Petanjek, Mirjana; Elezović, Mustafa. Energetska statistika u 2010. Zagreb: Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, 2011.