

IZDAVAČ – PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda, Zagreb

ZA IZDAVAČA

Ivo Čović, dipl. ing.

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije
i informatike

UREĐIVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Mr. sc. Branko Grgić, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split –
Adrijano Fišer, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan Kalea, dipl.
ing., HEP Osijek – Damir Karavidović, dipl. ing., HEP Osijek
– mr. sc. Mladen Mandić, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc.
Vladimir Mikuličić, dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko
Malbaša, dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR – EDITORIAL BOARD

Glavni urednik – Editor-in-chief: dr. sc. Zorko Cvetković, dipl. inž.
Urednik – Editor: Zdenka Jelić, prof.
Lektor: Šime Čagalj, prof.

Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica grada Vukovara 37

Telefoni 6322-641 i 6322-083, telefax 6170-438

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi
300,00 kn, a za poduzeća i ustanove 480,00 kn (za studente 70,00 kn).

Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00 kn.

Za inozemstvo \$ 95 godišnje.

Žiro računi kod ZAP, Zagreb – Hrvatska elektroprivreda (za "Energiju")
broj 30101-604-495

Tisak: TIVA – Tiskara Varaždin

Naklada 1000 primjeraka

Godište 52 (2003)

Zagreb 2003

Br. 4

SADRŽAJ

<i>Sabolić D.</i> : Utjecaj kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila (Izvorni znanstveni članak)	251 – 264
<i>Dvornik D.</i> : Razvoj (de)regulacije i preporuke za tranzicijska gospodarstva (Pregledni članak)	265 – 274
<i>Šegon V. – Domac J.</i> : Biomasa na današnjem tržištu električne energije: prikaz stanja i mogućnosti (Pregledni članak)	275 – 283
<i>Uran V.</i> : Suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima radi proizvodnje toplinske i električne energije (Pregledni članak)	285 – 294
<i>Vujević D.</i> : Superkondenzatori (Pregledni članak)	295 – 303
Iz strane stručne literature	305 – 310

Fotografije na omotu:

DETALJI HIDROELEKTRANA

Časopis je ubilježen u Ministarstvu kulture i prosvjete – Sektor informiranja pod brojem 161 od 12. 11. 1992.

Upute autorima

U "Energiji" smo već tiskali upute o pisanju stručnih i znanstvenih članaka, pa "stari" autori znaju sve o tome kako treba prirediti članak koji će se u njoj objaviti. Cilj je ovog priloga da pomognemo onim autorima koji još nisu objavljivali i da podsjetimo "zaboravljive".

1. Da bi članak bio zanimljiv, mora biti jasan. Rečenice kratke, a izrazi poznati. Pismo: latinica. Pisati valja u trećem licu ne upotrebljavajući pasivne oblike.
2. Članak mora biti neobjavljen. Kad se preda "Energiji", više se ne smije ponuditi nekom drugom uredništvu.
3. Idealno je kad članak nema više od 20 strana. Autori često tvrde da je teško neku problematiku iznijeti na tako malo stranica. U tom slučaju obično "pre-sude" recenzenti.
4. Valja se pridržavati zakonskih standarda i INDOK-propisa. Pri upotrebi jedinica i simbola valja poštovati zakonske mjerne jedinice Međunarodnog sustava jedinica - SI.

Matematički znakovi, grčka slova i indeksi moraju biti jasni i definirani. Fizičke veličine i faktori pišu se kosim velikim i malim slovima latinicom ili grčkim slovima. Mjerne jedinice i ostali opisi pišu se uspravnim slovima.

5. Članak mora biti napisan na formatu A4 u dva primjerka. Napisan mora biti strojem s razmakom između redaka. Na lijevoj strani mora biti 4 cm širok rub za unošenje pogrešaka, uredničkih oznaka i dopuna. Mora imati **naslov** i jasno označene **podnaslove**. Ispod naslova valja napisati prezime, ime i mjesto stanovanja autora, a na kraju članka valja navesti podatke o autoru: znanstvenu titulu, prezime i ime, stručni naziv, naziv ustanove u kojoj radi i punu adresu.

6. Svaki članak mora imati:

– **kratak sažetak**. U njemu se čitatelju daje dovoljno informacija o sadržaju članka. Autor treba navesti nova otkrića i spomenuti temeljna načela na kojima je izveo eksperimente što ih je opisao u članku. Ne smije imati više od 200 riječi.

– **ključne riječi** (key words). To su izrazi koji čitatelju u najkraćem obliku kažu što je sadržaj članka. One pomažu da čitatelj sazna da li mu je članak zanimljiv ili nije.

– **kategorizaciju**. Autor ima pravo predložiti u koju se kategoriju članka po kvaliteti ubraja njegov, u: originalni znanstveni članak, prethodno priopćenje, pregledni članak, stručni ili su to izvještaji sa savjetovanja, vijesti iz svijeta itd.

– **literaturu**. Navodi se na kraju članka onim redom kojim je spomenuta u članku. Kad se u tekstu poziva na literaturu, piše se u uglatoj zagradi samo broj pod kojim je navedena. Podaci moraju biti točni i istiniti.

Naslov članka, kategorizacija, sažetak i ključne riječi moraju biti na jednom papiru. Sažeci se u "Energiji" prevode na engleski i njemački. To čine naši prevodioci.

7. Likovni prikazi (fotografije, crteži, dijagrami) moraju se nalaziti na posebnom listu - svaka slika na svom listu. Moraju biti nacrtane po pravilima tehničkog crtanja i obično 3 puta veće nego što će biti u časopisu. Pritom valja paziti da 3 puta smanjena najmanja brojka ili slovo bude veliko 3 mm - 1,5 mm.

Tako pripremljen rukopis Uredništvo pregleda, daje ga recenzentima na ocjenu i ako je povoljno ocijenjen, tehnički se obradi (lektorira, grafičko-likovno uredi) i pošalje u tiskaru. O tome da li je članak primljen ili odbijen, Uredništvo izvještava autora.

Da bi autori lakše odredili u koju kategoriju prema kvaliteti valja uvrstiti neki članak, dajemo osnovne upute o kategorizaciji članka:

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK (originalan znanstveni rad, originalno znanstveno delo, originalnaja naučnaja rabota, original scientific paper, originalna naučna rabota, Wissenschaftlicher Originalbeitrag) opisuje nove rezultate istraživanja tehnike ili aparata (npr. doktorska disertacija). Ovoj kategoriji pripada i dosad neobjavljeni rad koji pridonosi znanstvenoj spoznaji ili nekom svhvaćanju, a napisan je tako da bilo koji kvalificirani znanstvenik na temelju danih informacija može:

- ponoviti eksperiment i postići opisane rezultate s jednakom točnošću ili unutar granice eksperimentalne pogreške, kako to navodi autor.
- ponoviti autorova zapažanja, proračune ili teorijske izvode i donijeti slična mjerenja.

PRETHODNO PRIOPĆENJE (prethodno sporočilo, prethodno saopštenje, preliminary communication, Vorläufige Mitteilung) sadrži znanstvene spoznaje ili rezultate čiji karakter zahtijeva objavljivanje. Rad obvezatno sadrži jedan podatak novih znanstvenih informacija ili više, ali bez dovoljno pojedinosti koje bi omogućile čitatelju provjeru iznesene informacije na način kako je to prethodno opisano.

PREGLEDNI ČLANAK (pregledno delo, pregledna rabota, review, obzornja rabota, Übersichtarbeit) jest izvješće o nekom posebnom pitanju o kojem je već objavljena informacija, samo je to ovdje skupljeno i raspravljeno. Autor preglednoga članka dužan je dati podatke o svim objavljenim radovima kojima se koristio u svom radu (treba navesti literaturu i svrstati je redom kojim se pojavljuje u tekstu), a po mogućnosti u literaturi navesti radove koji bi pridonijeli razvoju razmatrane problematike.

STRUČNI ČLANAK (strokovno delo, stručna rabota, professional paper, professionalnaja rabota, Fachlicher Beitrag) daje korisne priloge iz područja čija problematika nije vezana za izvorna istraživanja. To znači da rad mora biti novost u određenom području djelatnosti. To se npr. odnosi na naknadno ponavljanje poznatih istraživanja koje predstavlja koristan rad u vezi sa širenjem znanja i prilagođavanja izvornih istraživanja potrebama društva i znanosti.

energija

ČASOPIS

HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

glasilo je energetičara, elektroinženjera i elektrotehničara. Izdaje ga Hrvatska elektroprivreda uz pomoć Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike.

Njime se koriste mnogi znanstvenici i stručnjaci u našoj zemlji, a poznat je i važnijim referalnim centrima u inozemstvu, kao što su:

Engineering Index Inc., New York; Engineering Information Inc. Bibliographic Services Dept, New Jersey; Current Tehnology Index, London; Viniti, Moscow; Revue Générale de l'électricité, Paris; Current Bibliography on Science and Tehnology, Japan Information Centre, Tokyo; itd.

U Energiji se tiskaju izvorni znanstveni članci kao i članci iz prakse, vijesti iz elektroprivrede, zanimljivosti iz svijeta, priopćenja i članci graditelja elektroenergetskih objekata, proizvođača strojeva i materijala. Oglasi su sastavni dio časopisa, a priopćenja su komercijalne naravi.

UREDNIŠTVO

UTJECAJ KVALITETE PLC MEDIJA NA KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 621.3.083.7:651.398.052
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Daje se analiza utjecaja kvalitete električne distribucijske mreže kao prijenosnog medija za komunikacijske signale (PLC, engl. Power Line Carrier) na kapacitet očitavanja u sustavu automatskog očitavanja brojila (AMR, engl. Automatic Meter Reading). Određuje se faktor vremenskog produljenja jednog prosječnog očitavanja brojila u ovisnosti o vjerojatnosti pogriješke u prijenosu poruke, koja je najlakše mjerljiva veličina za opisivanje prijenosnih karakteristika PLC medija. U posljednjem dijelu članka daje se pregled drugih važnih klasičnih primjena s uskopojasnim komuniciranjem kroz PLC medij.

Ključne riječi: PLC, kvaliteta prijenosa, komunikacija, kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila.

Uvod

U zadnjih nekoliko godina intenzivno se radi na primjeni distribucijske mreže i kućnih električnih instalacija kao infrastrukture za širokopojasne komunikacijske usluge. Međutim, davno prije započela je primjena tih sustava za različite druge komunikacijske svrhe s daleko skromnijim zahtjevima u pogledu širine pojasa, ali s ne manje važnim namjenama. U ovome članku bit će riječi o tim područjima primjene komunikacijskih sustava koji u fizičkom sloju imaju elektroenergetsku razvodnu mrežu, PLC (engl. Power Line Carrier). Čitatelj se o njima, kao i o mnogim drugim aspektima komuniciranja PLC-om, može informirati u literaturi [1 – 17].

Automatsko očitavanje brojila je tehnika koja bi mogla dobiti veliku važnost na liberaliziranim tržištima električne energije. Iskustva u deregulaciji elektroenergetskog sektora govore, kao što se uostalom moglo i očekivati, da nije moguće liberalizirati tržište na veliko, i istodobno potpuno zaštititi male potrošače ograničavanjem cijena na malo [15]. Potrošači bi trebali plaćati cijenu električne energije koja odgovara njenoj trenutnoj tržišnoj vrijednosti, a ne stvarnim troškovima uvećanim za razumnu maržu. Trenutne cijene na kratkoročnim tržištima pokazuju iznimno velike fluktuacije tijekom dana, koje su uvjetovane odnosom trenutne ponude i potražnje. U satima vršnih opterećenja nedovoljne zalihe u proizvodnji mogu prouzročiti vrlo veliki porast cijena. Štoviše, na mnogim liberaliziranim tržištima i dugoročne prosječne cijene porasle su u odnosu na ranije regulirane monopolne cijene, što nije samo posljedica efekata ponude i potražnje, nego i manipulacije tržištem od strane pro-

izvođača električne energije. U situaciji znatnog porasta cijena na veliko i ograničenja cijena na malo, u nekim zemljama došlo je do kolapsa tržišta, jer su prodavači energije na malo dovedeni u propast, budući da su bili prisiljeni kupovati na kratkoročnom tržištu po visokim cijenama, a prodavati potrošačima po ograničenim cijenama. Najpoznatiji primjer dogodio se u Kaliforniji.

Jedan od načina stabilizacije tržišta je izlaganje potrošača tržišnim cijenama. Međutim, to ne može biti pravedno učinjeno ako potrošači nemaju mogućnost reagiranja na cjenovne signale. Ako se cijena mijenja u satnim ili polusatnim intervalima, potrošač mora moći dobiti informaciju o trenutnoj cijeni energije, kako bi, ako to želi, mogao prilagođavati svoju potrošnju. Isto tako, njegova potrošnja mora biti mjerena u realnom vremenu, a to znači barem toliko često, koliko iznosi vremenski interval u kojemu se cijena ne mijenja. Neki autori smatraju da bez mjerenja u realnom vremenu nije moguće ostvariti efikasnu konkurenciju na malo-prodajnom nivou [16]. Tu onda dolazimo do potrebe za automatskim očitavanjem brojila, AMR (engl. Automatic Meter Reading). Pitanje je do koje razine će se realizirati automatsko očitavanje. Ono što je zapravo važno je očitavanje čim veće količine isporučenih MWh u realnom vremenu, a ne očitavanje što većeg broja potrošača. Uspostava sustava za automatsko očitavanje brojila na čitavoj populaciji potrošača skup je i dugotrajan proces ulaganja u nadogradnju elektroenergetskog sustava [4]. No, ostaje činjenica da potrošač ne smije biti izložen tržišnim fluktuacijama cijena, ako nema načina reagirati na njih.

Mi ćemo se ovdje baviti jednim tehničkim aspektom velikih sustava za automatsko očitavanje brojila. Za

pretpostaviti je da će budući sustavi koji budu izgrađeni u zadnjem koraku koristiti distribucijsku mrežu kao pristupnu infrastrukturu za ostvarivanje veze s komunikacijskim uređajima pojedinačnih brojila. Prije toga, od centralnog računala do zadnje trafostanice, veza će se vjerojatno ostvarivati drugim telekomunikacijskim sustavima (radio, optika...). Naravno, moguća su odstupanja u ovom ili onom smislu. Premda je problematika kapaciteta očitavanja sustava baziranih upravo na PLC mediju kao zadnjem pristupnom mediju, na kojega je po prirodi stvari vezano svako brojilo, tretirana npr. u [5], tamošnja rasprava je manjkava zbog nedostatka analize utjecaja PLC medija na opće performancije sustava, koje se najbolje očitavaju kroz veličinu sposobnosti očitavanja čim većeg broja brojila u satu, a zbog čega su autori, ustvari, prema vlastitoj konstataciji, dobili "best case" procjenu općeg kapaciteta sustava. Doprinos ovoga rada sastoji se od uračunavanja stvarnog utjecaja transmisijske kvalitete PLC telekomunikacijskog medija i postavljanja fizikalnog ograničenja na opći kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila.

U zadnjem dijelu članaka daje se pregled ostalih najčešćih tradicionalnih primjena i pratećih tehnologija. Više tehničkih informacija o klasičnim i naprednijim sustavima za komuniciranje PLC medijem čitatelj može pronaći u knjizi [14].

1. KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA

Već smo u uvodu napomenuli da provedba koncepta potpuno automatiziranog sustava očitavanja brojila nije jeftina, pogotovu ne ako se ima na umu zahvat do malih pojedinačnih potrošača. Primjerice, elektroenergetsko tržište Velike Britanije bilo je liberalizirano u tri kruga [4]:

- Krug 1: potrošači zahtjeva većeg ili jednakog od 1 MW – 1990.
- Krug 2: potrošači zahtjeva između 100 kW i 1 MW – 1994.
- Krug 3: potrošači zahtjeva manjeg od 100 kW – 1998./99.

Kvalifikacija potrošača u naznačene skupine značila je da oni mogu dobiti status povlaštenog potrošača, tj. da mogu na slobodnom tržištu odabirati dobavljača električne energije. Danas je tržište u Velikoj Britaniji barem teoretski potpuno liberalizirano, a model britanske deregulacije i reregulacije elektroenergetskog sektora preslikavan je s više ili manje varijacija u mnogim zemljama. Ipak, danas se izražavaju sumnje u stvarnu dobrobit od primjene britanskog koncepta [12, 15, 16]. Procjenjuje se da bi trošak po potrošaču iz kategorije drugog kruga u Velikoj Britaniji za uvođenje automatskog očitavanja brojila iznosio oko 2,500 Funti, ili oko jedan posto prosječnog godišnjeg računa za

električnu energiju potrošača sa zahtjevom od 1 MW [4]. Kod potrošača sa zahtjevom za snagom od 100 kW to onda iznosi 10% godišnjeg računa, a za kategoriju malih potrošača ovaj trošak, kada bi bio prevaljen na potrošača, bio bi definitivno prevelik.

Zbog tih, a i zbog tehnoloških razloga, problemu očitavanja brojila pristupat će se u budućnosti vjerojatno tako da će samo brojilo imati funkcije komunikacijskog uređaja tek utoliko što će imati jedinstvenu adresu, koja će ga označavati pojedinačno, i vezati ga za konkretnog davatelja usluge. S obzirom da je brojilo po prirodi stvari lokalni izolirani uređaj, sve ostale funkcije u komunikacijskoj mreži prebacit će se najvjerojatnije na posebna komunikacijska sučelja, što će cijenu i tehničku kompleksnost brojila održati niskom, dok će komunikacijska sučelja moći biti opremljena većom količinom memorije i računarske moći, kako bi mogla odgovoriti zahtjevima složenijih komunikacijskih protokola.

U nastavku dajemo analizu općeg kapaciteta očitavanja velikih sustava za očitavanje brojila, rađenu pretežno na temelju [5], ali s dopunama u analizi koje omogućuju izvođenje općenitog modela i pronalaženje relacije za temeljno ograničenje kapaciteta takvih sustava.

Mak i Radford u [5] vrše analizu sustava u kojemu se veza između računala koje skuplja i obrađuje podatke i svakog pojedinačnog brojila ostvaruje najprije sustavom veza s radijskim repetitorima niske snage emisije, pa prema tomu i malog dometa, a zatim, u zadnjem koraku, PLC medijem. Uočivši jedan pojedinačni spoj između računala i brojila, može se uočiti da se u half-duplex modu dva puta prelazi spojni put koji obuhvaća redom: vezu od računala prema prvom radio repetitoru, eventualno još jednu ili više veza između samih radijskih repetitora, vezu posljednjeg repetitora u nizu i *prijenosnika* (engl. gateway) koji omogućuje komunikaciju preko PLC medija, te vezu prijenosnika i samog brojila, odnosno komunikacijskog sučelja brojila. Čvorovi koji u ovom lancu unose kašnjenja u pravilu znatno veća od same propagacije signala su:

- računalo, kojemu treba određeno vrijeme za dohvat potrebnih podataka iz memorije, njihovo formatiranje i obradu, te po prijemu odziva, vrijeme za obradu prihvaćenog signala, formatiranje i spremanje u bazu podataka
- radiorelejni čvorovi, kojima, ovisno o primijenjenoj tehnologiji i topologiji, treba izvjesno vrijeme da propuste podatkovni niz
- prijenosnik, čije kašnjenje ovisi među ostalim i od količine "inteligencije" prisutne u njemu, odnosno o kompleksnosti njegovih zadaća, a to znači da kašnjenje prijenosnika ovisi i o primijenjenoj filozofiji ostvarivanja pristupa do pojedinačnih brojila
- brojilo ili njegovo komunikacijsko sučelje, koje mora saslušati dolaznu poruku od prijenosnika i izvršiti instrukciju, tj. pripremiti i poslati odgovarajući podatak.

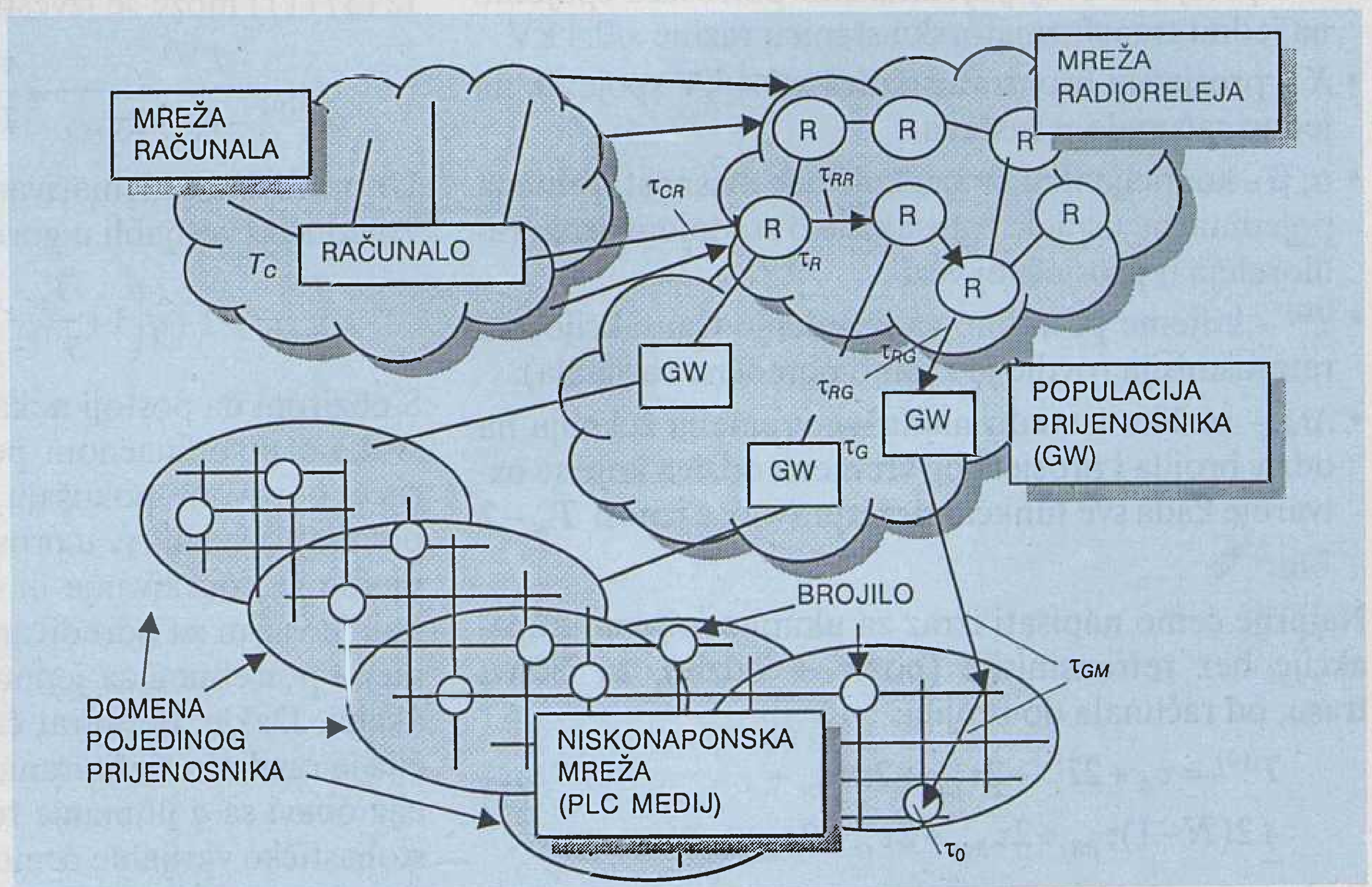
Sumirana ukupna kašnjenja ovih čvorova i propagacije daju minimalno vrijeme odziva sustava pri pojedinačnom očitavanju, i ona su uzeta u obzir u analizi u [5], koja je dakle dala "best case" procjenu općeg kapaciteta. Međutim, stvarna kašnjenja mogu biti u prosjeku mnogo veća zbog potrebe za retransmisijom poruka u slučajevima kada šum i smetnje u komunikacijskom kanalu uzrokuju nekorektan prijam poruke, zbog kojega je potrebno izvršiti njenu retransmisiju, odnosno ponavljanje čitave procedure. Članak [5] zanemaruje utjecaj smetnji čak i u PLC mediju, gdje se on ni u kom slučaju ne smije zaobići [6, 7]. Dapače, u [7] je pokazano da je vjerojatnost potrebe za retransmisijom u distribucijskoj mreži koja je tamo eksperimentalno analizirana, u redu veličine prosječno 15 do 20 postotaka, dočim je u pojedinim slučajevima sustav morao zatražiti retransmisiju i do 70 puta. Razmatranje u ovom članku, koje upravo slijedi, teoretski će obuhvatiti problem utjecaja kvalitete prijenosnog medija na performancije sustava automatskog očitavanja brojila. Analiza utjecaja kvalitete prijenosnog sustava je općenita i neovisna o tome radi li se o radijskom ili PLC mediju, ali je nepobitna činjenica da je radijska mreža u pogledu raspoloživosti mnogo kvalitetnija, tako da će glavni uzrok dodatnog kašnjenja zbog retransmisija biti u smetnjama na PLC mediju, dok se kašnjenje zbog nerasploživosti radijskog medija sigurno zanemarivo u odnosu na ono nastalu PLC-u.

Analiza u [5] počiva na modelu u kojemu su radioreleji zbog zahtjeva male snage razmješteni u pravokutnoj mreži, svakih 0.7 milja, pri čemu takva mreža radioreleja povezuje jedan broj prijenosnika, u svakom slučaju manji ili jednak broju releja, s računalom koje upravlja procesom očitavanja. Rezultati "best case" izračuna pokazuju da se inherentni kapacitet očitavanja kreće u granicama od približno 2,500 do 5,000 brojila po satu i po jednom računalu uz zadane parametre kašnjenja elemenata u procesu i zadane dužine poruka, te sa oko 25 potrošača po distribucijskom transformatoru, zavisno od načina pristupa brojilima. U prvom razmatranom načinu, kojega karakterizira niži kapacitet, računalo upućuje komandu svakom prijenosniku posebno, i očekuje od njega odgovor. U drugome računalo odašilje svima jednu difuznu komandu, nakon čega prijenosnici sukcesivno odgovaraju. U tom primjeru autori rabe ne-realnu pretpostavku da svi paketi odgovora od svih

prijenosnika stižu jedan za drugim, bez ikakve kolizije, kao i bez mrtvih intervala između paketa, što ni u kom slučaju nije moguće, a ni približna situacija nije sasvim lako ostvariva, s obzirom na neminovnost distribucije vremenske reference kroz takvu kompliciranu mrežu radioreleja i prijenosnika. Ovako, pod usvojenim pretpostavkama lako se dobiva kapacitet dvostruko veći nego u slučaju pojedinačnog poziva releja. U stvarnosti taj rezultat može ispasti značajno lošiji zbog toga što je potrebno koristiti neki od protokola za višestruki pristup, pri čemu barem približno poznavanje redoslijeda odziva može pomoći u smanjenju vjerojatnosti kolizije, s tim da je potrebno ili upotrijebiti protokol koji ne zahtijeva vremensku referenciju, ili pak izvesti distribuciju referencije kroz mrežu, pa upotrijebiti protokol koji treba takvu referenciju, a zauzvrat daje veći protok prometa u jedinici vremena uz isti prometni zahtjev. Također, autori u [5] ne spominju mogućnost da pojedini prijenosnici ne uspiju pročitati difuznu poruku, ili da poneki od odgovora prijenosnika ne bude primljen od strane centralnog računala.

U oba spomenuta modela pretpostavlja se da prijenosnici u trenutku prijema zahtjeva za dostavom podataka imaju već pripremljena očitavanja svih brojila u njihovoj domeni, tako da su i prijenosnici čitavo vrijeme zaposleni očitavanjem brojila, što potencijalno može implicirati povećano vrijeme odziva prema ostatku mreže, a o toj pojavi u ovome modelu također nema riječi.

U daljnjoj razradi ovoga problema koristit ćemo iste temeljne fizikalne veličine relevantne za temu, a to su mahom vremena kašnjenja na pojedinim dionicama, te ćemo raspravu dopuniti uračunavanjem nesavršenosti prijenosnih medija. Osnovna arhitektura sustava kojega promatramo dana je na slici 1.



Slika 1. Osnovna arhitektura sustava za automatsko očitavanje brojila s mrežom radijskih repetitora i komunikacijom prijenosnika i brojila preko PLC medija

Oznake koje ćemo koristiti u daljnjoj razradi, a od kojih se neke mogu vidjeti na slici 1, imaju sljedeća značenja:

- T_C – ukupno vrijeme obrade podatka u računalu, uz pretpostavku da je ono isto, bez obzira na to da li se podatak odašilje ili prima
- τ_{CR} – srednje vrijeme propagacije od računala do prvog radioreleja + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_R – vrijeme obrade u radioreleju
- τ_{RR} – srednje vrijeme propagacije između dva susjedna radioreleja u lancu + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_{RG} – srednje vrijeme propagacije od zadnjeg releja u lancu do prijenosnika + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_G – vrijeme obrade u prijenosniku
- τ_{GM} – srednje vrijeme propagacije od prijenosnika do brojila preko PLC medija + vrijeme trajanja binarne riječi informacije
- τ_0 – vrijeme potrebno brojilu da počne odgovarati na primljenu poruku
- T_W – maksimalno vrijeme koje prijenosnik čeka na odziv od prozvanog brojila, prije nego donese odluku o retransmisiji (vrijedi u slučaju ako je ta funkcija pridana prijenosniku)
- N – srednji broj radioreleja potreban za ostvarenje pojedinog spoja
- p – vjerojatnost da će nakon pojedinačnog pokušaja biti potrebna retransmisija
- q, Q – broj retransmisija (q), odnosno statističko očekivanje ili očekivana (srednja) vrijednost te stohastičke varijable (Q)
- K – prosječni broj pojedinačnih potrošača spojenih na jednu transformatorsku stanicu razine $x/0.4$ kV
- X – prosječan broj trafostanica $x/0.4$ kV spojenih na jedno računalo u sustavu
- α, β – koeficijenti u izrazu koji daje ovisnost vremena pojedinačne uspjele transakcije o srednjem broju radioreleja u prosječnoj vezi
- $T^{(i)}$ – vrijeme potrebno za izvođenje transakcije sa i retransmisija (ovdje je i samo pomoćna varijabla)
- Δt_W – razlika između najdužeg vremena čekanja na odziv brojila i prosječnog vremena odziva koje se ostvaruje kada sve funkcionira ispravno, a iznosi $T_W - 2\tau_{GM} - \tau_0$.

Najprije ćemo napisati izraz za ukupno vrijeme transakcije bez retransmisije (poziv + odziv), za čitavu trasu, od računala do brojila:

$$T^{(0)} = \tau_0 + 2T_C + 2\tau_{CR} + 2N\tau_R + 2(N-1)\tau_{RR} + 2\tau_{RG} + 2\tau_G + 2\tau_{GM}. \quad (1)$$

Pod pretpostavkom koja sigurno stoji, da je PLC mnogo lošiji medij od radijske mreže, možemo smatrati da će većina prekida u prijenosu poruka nastati

upravo u PLC mediju, tako da će vrijeme potrebno za transakciju u slučaju jedne retransmisije biti jednako:

$$T^{(1)} = \tau_0 + 4T_C + 4\tau_{CR} + 4N\tau_R + 4(N-1)\tau_{RR} + 4\tau_{RG} + 4\tau_G + 2\tau_{GM} + T_W. \quad (2)$$

U slučaju dviju retransmisija, ukupno vrijeme transakcije iznosi:

$$T^{(2)} = \tau_0 + 6T_C + 6\tau_{CR} + 6N\tau_R + 6(N-1)\tau_{RR} + 6\tau_{RG} + 6\tau_G + 2\tau_{GM} + 2T_W. \quad (3)$$

Ako je vjerojatnost da će nakon bilo kojeg pokušaja prijenosa doći do potrebe za retransmisijom jednaka p , a o toj veličini koja reprezentira kvalitetu prijenosnog medija ćemo kasnije reći nešto više, zatim ako je ishod svakog pokušaja neovisan o ishodima prethodnih pokušaja, te ako je ovaj proces stacionaran unutar promatranog vremenskog intervala, prosječno vrijeme uspješne transakcije uz uzimanje u obzir efekta produljenja zbog najviše dvije retransmisije jednostavno iznosi:

$$\begin{aligned} T &= (1 - p - p^2)T^{(0)} + pT^{(1)} + p^2T^{(2)} = \\ &= (1 - p - p^2)T^{(0)} + p(2T^{(0)} - 2\tau_{GM} - \tau_0 + T_W) + \\ &+ p^2(3T^{(0)} - 4\tau_{GM} - 2\tau_0 + 2T_W) = \\ &= (1 + p + p^2)T^{(0)} + (p + 2p^2)(T_W - 2\tau_{GM} - \tau_0) = \\ &= (1 + p + 2p^2)T^{(0)} + (p + 2p^2) \cdot \Delta t_W. \end{aligned} \quad (4)$$

Ovaj rezultat poslužit će nam samo za usporedbu s općenitim izrazom, kojega ćemo izvesti kasnije. Nastavljajući se na niz jednadžbi od (1) do (3), prijenos sa ukupno q retransmisija trajat će:

$$T^{(q)} = \tau_0 + 2\tau_{GM} + 2(q+1)(T_C + \tau_{CR} + N\tau_R + (N-1)\tau_{RR} + \tau_{RG} + \tau_G) + qT_W. \quad (5)$$

Iz (5) i (1) može se izvesti:

$$\frac{T^{(q)}}{T^{(0)} - \tau_0 - 2\tau_{GM}} = \frac{\tau_0 + 2\tau_{GM} + qT_W}{T^{(0)} - \tau_0 - 2\tau_{GM}} + q + 1. \quad (6)$$

Uz prikladna zanemarivanja opravdana redom veličina vrijednosti varijabli u gornjoj jednadžbi slijedi:

$$\frac{T^{(q)}}{T^{(0)}} \approx 1 + q \left(1 + \frac{T_W}{T^{(0)}} \right) \approx 1 + q. \quad (7)$$

S obzirom da postoji neka vjerojatnost retransmisije u svakom pojedinačnom pokušaju (tj. bez obzira je li riječ o prvom pokušaju, ili bilo kojem ponovnom pokušaju), a koja je u prosjeku jednaka p , u korelaciji s njome je i očekivanje ili srednji broj retransmisija Q , koji je važan za određivanje ukupnog očekivanog vremena potrebnog za jednu kompletnu uspješnu transakciju. Dakle, definirat ćemo stohastičku varijablu q , čija je razdioba definirana vjerojatnošću da se transakcija obavi sa q ili manje retransmisija, a očekivanje te stohastičke varijable ćemo označiti sa Q .

Prosječno vrijeme potrebno za obavljanje uspješne transakcije uz uračunavanje efekta do najviše q retransmisija, te uz uvažavanje (7), iznosi:

$$\begin{aligned}
 T &= T^{(0)} \left(1 - \sum_{i=1}^q p^i \right) + \sum_{i=1}^q p^i T^{(i)} = \\
 &= T^{(0)} \left(1 - \sum_{i=1}^q p^i \right) + T^{(0)} \sum_{i=1}^q (i+1) p^i = \\
 &= T^{(0)} \left(1 + \sum_{i=1}^q i \cdot p^i \right).
 \end{aligned} \quad (8)$$

S obzirom da je u (7) pretpostavljeno da je $T_w \ll T^{(0)}$, što je prihvatljivo, izraz (8) podudara se s jednadžbom (4), gdje je izvedeno vrijeme transmisije s uračunate najviše dvije retransmisije. U (4) se vidi da je ovo zanemarivanje pogotovu opravdano, jer se t_w množi faktorom $(p + 2p^2)$, što je najčešće za red veličine manji faktor od onoga u prvom pribrojniku desne strane (4).

Očekivanje broja retransmisija Q potrebno je izraziti kao funkciju vjerojatnosti p . Da bismo to učinili, moramo definirati stohastičku varijablu q . S obzirom na to da su svi pokušaji transmisije neovisni i da pretpostavljamo da se događaju s vjerojatnošću p , vrijede sljedeće tvrdnje:

- Vjerojatnost da neće biti retransmisije iznosi $1 - p$.
- Tvrdnja da se prijenos ostvario uz jednu retransmisiju ekvivalentna je tvrdnji da je prvi pokušaj bio neuspješan i prva retransmisija uspješna, pa je vjerojatnost takvog događaja jednaka $p(1 - p)$.
- Tvrdnja da se prijenos ostvario uz dvije retransmisije ekvivalentna je tvrdnji da je prvi pokušaj bio neuspješan i da je prva retransmisija bila neuspješna i da je druga retransmisija bila uspješna, pa je vjerojatnost takvog događaja jednaka $p^2(1 - p)$.
- I tako redom ...

Iz ovoga slijedi:

- Vjerojatnost prijenosa sa 0 retransmisija jednaka je $1 - p$.
- Događaj prijenosa s jednom ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom, pa je vjerojatnost jednaka $(1 - p) + p(1 - p)$.
- Događaj prijenosa s dvije ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom ILI prijenos s dvije retransmisije, pa je vjerojatnost jednaka $(1 - p) + p(1 - p) + p^2(1 - p)$.
- I tako redom
- Događaj prijenosa sa q ili manje retransmisija znači da se dogodio prijenos s nula retransmisija ILI prijenos s jednom retransmisijom ILI prijenos s dvije retransmisije ILI prijenos s $(q - 1)$ retransmisija ILI prijenos s q retransmisija, pa je vjerojatnost jednaka:

$$\begin{aligned}
 v(q) &= (1 - p) + (1 - p) \cdot \sum_{i=1}^q p^i = \\
 &= (1 - p) + (1 - p)p \frac{p^q - 1}{p - 1} = 1 - p^{q+1}.
 \end{aligned} \quad (9)$$

- Vjerojatnost da će se prijenos dogoditi s beskonačno ili manje retransmisija jednaka je 1.

Dakle, stohastički proces kojega opisujemo stohastičkom varijablom q je "događaj prijenosa sa q ili manje retransmisija". Bez obzira što je riječ o diskretnoj stohastičkoj varijabli, a kako nama ne treba savršeno precizan rezultat, aproksimirat ćemo varijablu q kontinuiranom varijablom, koja za cjelobrojne vrijednosti q poprima vrijednost funkcije razdiobe kao u (9). Iz toga slijedi gustoća razdiobe:

$$w(q) = -p \cdot p^q \cdot \ln p. \quad (10)$$

Slijedi očekivanje Q prema definiciji:

$$\begin{aligned}
 \tilde{Q} &= \int_0^{\infty} q \cdot w(q) \cdot dq = \frac{-p}{\ln p}; \\
 Q &= [\tilde{Q}].
 \end{aligned} \quad (11)$$

Uglata zagrada [...] označuje operator najbliže cjelobrojne vrijednosti. Kako se iznos p nalazi između 0 i 1, izraz (11) ima uvijek pozitivnu vrijednost. Da bi se izračunala disperzija varijable q , odnosno standardna devijacija kao korijen iz disperzije, treba još izračunati moment drugog reda, odnosno:

$$M_q^2 = \int_0^{\infty} q^2 w(q) \cdot dq = \frac{2p}{\ln^2 p} \quad (12)$$

Standardna devijacija je tada:

$$\sigma_Q = \sqrt{M_{(q)}^{(2)} - Q^2} = \frac{\sqrt{2p - p^2}}{|\ln p|}. \quad (13)$$

Poznavanje očekivanja Q omogućuje nam određivanje faktora produljenja prosječnog vremena potrebnog za očitavanje pojedinog brojila u velikom sustavu, uvrštenjem Q u (8):

$$\frac{T}{T^{(0)}} = f(p) = 1 + \sum_{i=1}^Q i \cdot p^i; \quad (14)$$

gdje je $Q = \left[\frac{-p}{\ln p} \right]$.

U formuli je naznačeno da je omjer $T/T^{(0)}$ funkcija vjerojatnosti p , što možda nije na prvi pogled očito iz same formule. Kao što ćemo vidjeti, taj faktor, koji izravno smanjuje opći kapacitet očitavanja sustava, može poprimiti vrijednosti značajno veće od 1, ali isto tako, za p cca. 0.4, zanemarivo utječe na kapacitet.

1.1. Utjecaj vjerojatnosti retransmisije na vrijeme očitavanja – primjeri

Ovdje treba ponešto reći o realnom redu veličine vrijednosti p u PLC mrežama. Naglasimo još jednom da je p "prosječna" vjerojatnost pojave potrebe za retransmisijom nakon pojedinačnog pokušaja u zadanoj mreži. Pod "prosječnom" se misli na neku efektivnu vjerojatnost, s obzirom da se velika mreža sastoji od mnogo različitih, boljih ili lošijih dijelova. Ovu prosječnu vrijednost, zbog nelinearnog i diskontinuiranog karaktera (14), ustvari nije baš lako izračunati, ali se može dobiti formula za približnu procjenu, što ćemo

elaborirati malo kasnije, dok se točna vrijednost može tražiti prikladnim numeričkim metodama.

Za našu analizu pretpostavit ćemo da se komunikacija PLC medijem odvija digitalnom brzinom od 19.2 kb/s, što predstavlja razumnu vrijednost glede mogućnosti PLC-a, kao i brzina u radijskom dijelu mreže, uz primjenu tehnologije niske zračene snage i malog kapaciteta.

Chan i Donaldson u [6] daju eksperimentalne rezultate mjerenja svojstava digitalnog prijenosa kroz kućnu PLC mrežu industrijske zgrade pod raznolikim pogonskim uvjetima, upravo pri brzini signaliziranja od 19.2 kb/s, tako da ćemo njihove rezultate upotrijebiti kao podatke iz kojih ćemo izračunati približnu realnu vrijednost p kakva bi bila u toj mreži, premda je u [6] riječ o unutarnjem kanalu. Selander u [7] daje također eksperimentalne rezultate opažanja obavljenih na vanjskoj distribucijskoj mreži jedne niskonaponske trafostanice u Švedskoj, u kojima navodi dragocjene podatke o vjerojatnosti retransmisije u dijelovima te mreže, te o ukupnoj efektivnoj vjerojatnosti retransmisije p , a na temelju baze podataka koju generira stvaran živi sustav automatskog očitavanja brojila spojenih na tu trafostanicu. Naš teoretski model i vrijednosti vjerojatnosti retransmisije ekstrahirane iz [6] i [7] omogućit će objašnjenje efekata opaženih u [7], a napose disproporcije između pojedinačnih vrijednosti vjerojatnosti retransmisije, i ukupne efektivne vjerojatnosti p .

Autori u [6] daju nekoliko snimljenih grafova ovisnosti kumulativne vjerojatnosti pojave digitalnih intervala bez ijedne pogreške u prijenosu, odnosno intervala s pogreškama koji se nalaze između potonjih, u ovisnosti o dužini tih sekvencija izraženoj u bitima, i to sve za nekoliko vrijednosti BER-a (engl. Bit Error Rate). Ispada da je vjerojatnost da je potpuno ispravna sekvencija duga x ili manje bitova, gdje je $x < 100$, u svakom slučaju oko 5%, i da je taj postotak slabo ovisan o BER-u, dokle se on kreće u redu veličine oko 0.001. To znači da je oko 5% od svih odsječaka bez pogrešaka dugačkih stotinjak bita ili manje. Ako prihvatimo pretpostavku korištenu i inače u [5], da jedna poruka između brojila i prijenosnika treba sadržavati ukupno 96 bita, što je korektna veličina, znači da možemo računati upravo s podacima o ispravnim sekvencama dugačkim stotinjak bita. Iz [6] se zaključuje, dakle, da je vjerojatnost pojave ispravne sekvencije dužine 100 bita ili manje jednaka približno 5%. S obzirom da je broj ispravnih i neispravnih sekvenci sigurno jednak, efektivna je vjerojatnost da će se u prijenosu 100 bita pokvariti barem jedan bit minimalno jednaka 10%. U stvarnosti je to veća brojka, ali nas u ovom primjeru ne treba zanimati posve točan iznos. No, to još nije procjena p koja nama treba. Naime, kod procesa prozivanja i odgovora vrše se očito dvije transmisije paketa podataka kroz komunikacijski medij. Ako je vjerojatnost pogreške pri jednom prijenosu jednaka p^* , a to je onih 10%, vjerojatnost da će do po-

greške doći bilo u jednom ili drugom smjeru iznosi $1 - (1-p^*)(1-p^*) = 2p^*-p^{*2}$. Ako je p^* maloga iznosa, onda to iznosi približno $2p^*$. To, međutim, u slučaju PLC medija ne mora biti zadovoljeno. Za našu procjenu dovoljno je uzeti da je vjerojatnost p jednaka $2p^*$, tj. cca. 20%. No, ne bi nas trebala čuditi niti dvostruko veća vrijednost u mreži ovakve kvalitete. Dakako, kod vrlo loših dijelova mreže vjerojatnosti retransmisije mogu biti i bitno veće.

To nam potvrđuju i rezultati promatranja živog sustava očitavanja u [7]. Selander konstatira da u pojedinačnim dijelovima obuhvaćene mreže koja napaja oko 70 korisnika relativna frekvencija ponovljenih prijenosa, koji su zabilježeni u bazi podataka u računalu koje vodi proces, obično u rangju 15 do 25%, s tim da je ova veličina podložna sezonskim i dnevnim promjenama, te da ovisi o dijelu mreže koji se promatra. Tu prostornu varijaciju autor u [7] zaobilazi aritmetičkim usrednjavanjem p za sva domaćinstva, što ipak, kao što ćemo demonstrirati, može biti vrlo pogrešno. Naime, premda je prosjek pojedinačnih vrijednosti p u spomenutom redu veličine, ukupno izračunat p , dobiven dijeljenjem ukupnog broja registriranih retransmisija s ukupnim brojem uspješnih i neuspješnih pokušaja prema svim kućanstvima, ispada oko 70%, što se nikako ne može dobiti jednostavnim aritmetičkim uprosječivanjem. Autor u [7] ne nudi objašnjenje ovog nesuglasja u podacima, već samo konstatira da je bilo slučajeva kada je u lošijim dijelovima mreže za jedan uspješan prijenos učinjeno i do 70 retransmisija.

Naš izračun će pokazati zbog čega nastaju ovakve razlike u statističkim osobinama pojedinačnih dijelova mreže i ukupne mreže.

Sada, kada imamo određeni dojam o realnom redu veličine p , možemo načiniti tablicu koja će zorno prikazati o čemu se ovdje radi. U tablici 1 dajemo prikaz ovisnosti veličina p , Q , σ_Q , $Q + \sigma_Q$, $Q + 2\sigma_Q$ i faktora definiranog jednadžbom (14).

Iz tablice se vidi da se za p manji od 0.42 utjecaj retransmisija na prosječno vrijeme transakcije može u osnovi zanemariti. Međutim, porastom p ta se situacija dramatično pogoršava. Ako je ukupna efektivna vrijednost p jednaka 0.7, kao npr. u [7], tada je vrijeme potrebno za očitavanje cijele populacije brojila 2.68 puta dulje nego što bi bilo kada ne bi postojale pogreške u transmisiji. Treba reći da PLC mreža razmatrana u [7] spada u red prosječno kvalitetnih distribucijskih mreža, tako da je ova opća vjerojatnost sasvim realna, dok je u našim domaćim uvjetima sigurno još lošija. Pojava velikog broja retransmisija u pojedinim lošijim dijelovima sustava, poput 70 retransmisija registriranih u [7], može se objasniti činjenicom da standardna devijacija varijable q raste zajedno s njenim očekivanjem Q , odnosno, u krajnjoj liniji, sa p . Tako je sasvim vjerojatno da ponekad može doći do broja retransmisija nekoliko puta većeg od očekivanja, a u apsolutnom smislu se situacija pogoršava

Tablica 1. Utjecaj vjerojatnosti pojedinačne retransmisije p na prosječno vrijeme pojedinačne transakcije u velikom sustavu automatskog očitavanja brojila. Q je zaokružen na najbližu cijelu vrijednost, a $Q + \sigma_Q$ i $Q + 2\sigma_Q$ zaokruženi su na prvu višu cjelobrojnu vrijednost.

p	.01	.05	.1	.2	.3	.42	.45	.5	.6	.7	.8	.9	.95	.98	.99	.999
$-p / (\ln p)$	.002	.02	.04	.124	.25	.48	.56	.72	1.17	1.96	3.56	8.54	18.5	48.5	98.5	998.5
Q	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	4	9	19	49	99	999
σ_Q	.031	.1	.19	.37	.59	.94	1.05	1.25	1.79	2.67	4.4	9.4	19.5	49.5	99.5	999.5
$Q + \sigma_Q$	0	0	0	0	1	2	2	2	3	5	8	18	38	98	198	1998
$Q + 2\sigma_Q$	0	0	0	1	2	3	3	4	5	8	13	28	58	148	298	2998
$T/T^{(0)}$ (3.2-15)	1	1	1	1	1	1	1.45	1.5	1.6	2.68	6.25	24.8	101.4	648	2617	263978

kako Q raste, što se zorno vidi iz gornje tablice. Ipak, u ocjeni performancije sustava mjerodavna je očekivana vrijednost Q , jer se podjednako često mogu događati i znatno manji brojevi retransmisija od očekivanja.

S obzirom da se uvjeti na PLC mediju mijenjaju u vremenu, za opći izračun kapaciteta očitavanja potrebno je dobiti podatak o vrijednosti p u najlošijem satu i najlošijem danu.

1.2. Odnos pojedinačnih vjerojatnosti retransmisije i skupne vjerojatnosti

Koje je podrijetlo neusklađenosti parametara p na dijelovima mreže i na čitavoj mreži [7], objasnit ćemo odmah na primjeru:

Pretpostavimo da imamo sustav od 50 brojila, koja se mogu grupirati u 5 grupa s različitim prosječnim vjerojatnostima p , i da se unutar svake grupe pojedinačne vjerojatnosti na pojedinačnim kanalima dovoljno malo razlikuju, da ih možemo objediniti kao aritmetičke sredine karakteristične za svaku od tih grupa. Neka te vrijednosti budu:

$$p_1 = 0.1 \quad p_2 = 0.2 \quad p_3 = 0.7 \quad p_4 = 0.9 \quad p_5 = 0.5.$$

Kada bismo jednostavno usrednjili ovih pet vrijednosti, dobili bismo da je p za čitavu mrežu jednak 0.48, a to je daleko od istine. Naime, vrijeme potrebno za posluživanje svake pojedine grupe razmjerno je s njenom vrijednošću izračunatom prema (14), pa mi zapravo možemo usrednjiti faktor vremenskog produljenja (14) za ovih pet grupa, s obzirom da smo odabrali jednako brojne grupe, i tek onda iz takvog prosječnog faktora inverznom operacijom od (14) ekstrahirati stvarnu efektivno valjanu vrijednost p za čitavu promatranu mrežu. Slijedi relacija za p :

$$1 + \sum_{i=1}^Q i \cdot p^i = \frac{1}{5} \left[5 + \sum_{j=1}^5 \left(\sum_{k=1}^{Q_j} k \cdot p_j^k \right) \right] = 6.2. \quad (15)$$

Korištenjem (14) u par iteracija izračunavamo da to odgovara vrijednosti $p = 0.797$, a to je 66% lošije od aritmetičke sredine. Definirajmo sada radi lakšeg pisanja varijablu γ_i kao:

$$\gamma_i = 1 + \sum_{j=1}^{Q_i} j \cdot p_j^j; \quad i = 1, 2, \dots, \Gamma. \quad (16)$$

Neka je Γ ukupan broj grupa s međusobno različitim prosječnim vjerojatnostima p_i , pri čemu u svakoj grupi ima b_i brojila. U našem primjeru $\Gamma = 5$. Procijenimo srednju ukupnu vjerojatnost p za čitavu mrežu kao:

$$p \approx \frac{\sum_{i=1}^{\Gamma} b_i \gamma_i p_i}{\sum_{i=1}^{\Gamma} b_i \gamma_i} \quad (17)$$

Računajući tako dobivamo u gornjem primjeru da je ukupno $p = 0.82$, što je ipak znatno bliže.

Promotrimo sada još drastičniji primjer: Neka je populacija od 50 brojila podijeljena u dvije grupe, od kojih prva ima 45 brojila s $p_1 = 0.1$, a druga sadrži 5 brojila s vjerojatnošću $p_2 = 0.98$. Dakle, prva grupa sadrži 45 brojila koja komuniciraju s računalom preko kanala pristojne kvalitete, a druga sadrži samo 5 brojila koja se koriste izrazito lošim PLC kanalima. Aritmetička srednja vrijednost za p bila bi jednaka $(45 \times 0.1 + 5 \times 0.98)/50 = 0.188$, a to je vrijednost koja još uvijek ne izaziva značajno usporenje procesa očitavanja. No, to nije dobra procjena. Izračunajmo sada sljedeće:

$$1 + \sum_{i=1}^Q i \cdot p^i = \frac{1}{50} (45 \cdot \gamma_1 + 5 \cdot \gamma_2) = 65.7 \quad (18)$$

Ovo je račun po uzoru na (15), koji daje najtočniji rezultat. Prema (14) približna vrijednost za p je oko 0.94. Izračunajmo sada vrijednost prema (17). Ona iznosi: $p = 0.97$, što je dosta dobra procjena u odnosu na najbolju, naime na 0.94. Problem s inverznim korištenjem (14) je taj što funkcija ima mnoge diskontinuitete zbog zaokruživanja Q na cjelobrojne vrijednosti, tako da inverzna funkcija nije definirana na čitavom skupu pozitivnih realnih brojeva većih od 1.

Iz ovih primjera, namjerno odabranih tako da budu drastični, vidi se da oni najnekvalitetniji dijelovi mreže, makar brojčano bili posve u manjini, zapravo degradiraju opću performanciju čitavog sustava. Time je objašnjen neobičan fenomen disproporcije pojedinačnih učestalosti retransmisija i opće učestalosti p na razini čitave mreže promatrane u [7].

1.3. Fizikalno ograničenje kapaciteta očitavanja

Sada konačno možemo prijeći na određivanje prirodnog ograničenja na kapacitet velikog sustava za automatsko očitavanje brojila.

Definirajmo u skladu s (1) sljedeće veličine:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2(\tau_R + \tau_{RR}) \\ \beta &= 2T_C + 2\tau_G + \tau_0 + 2\tau_{CR} + \\ &\quad + 2\tau_{RG} + 2\tau_{GM} - 2\tau_{RR}. \end{aligned} \quad (19)$$

Uz takvu notaciju može se napisati:

$$T^{(0)} = \alpha \cdot N + \beta. \quad (20)$$

S obzirom da srednje vrijeme pojedine transakcije ovisi o $T^{(0)}$ i o vjerojatnosti p , iz toga proizlazi da je u osnovi srednje vrijeme transakcije linearna funkcija srednjeg broja telekomunikacijskih čvorova, u ovom slučaju radijskih repetitora, u danoj mreži, na putu od računala do brojila. Faktor α daje čisti doprinos kašnjenja koja su u svezi s radijskim relejima, dok faktor β predstavlja pretežito fiksna kašnjenja, neovisna o N , koja su posljedica zadržavanja u obradi podataka u računalu i prijenosniku, te na dionicama između tih elemenata i njima najbližih radioreleja. Isto tako, ovome broju doprinosi i vrijeme odziva brojila i trajanje transakcije između brojila i prijenosnika. Konkretni iznosi svih vremenskih veličina iz (19) ovise o primijenjenim uređajima, tj. njihovoj tehnologiji, a to pak ovisi o načinu pristupa brojilima, odnosno o konkretnom scenariju sekvencijalnog zahvaćanja podataka pohranjenih u njima.

Očekivana ili srednja vrijednost broja N na putu od računala do PLC prijenosnika ovisi o konkretnoj topološkoj organizaciji radijskog dijela mreže. Važan parametar je očekivana udaljenost između susjednih radioreleja, koja se uz primjenu relativno jeftinih uređaja male snage i u urbanim uvjetima može procijeniti na oko 2 km, ili čak i manje.

Općenita situacija nacrtana je na slici 1. Broj prijenosnika može biti manji od broja releja jer poneki radioreleji mogu imati samo ulogu tranzitiranja podataka, ukoliko na lokaciji gdje su smješteni nema pogodnog mjesta ili potrebe za instaliranje prijenosnika. Pretpostavimo da su radioreleji u osnovi konfigurirani u zvjezdasto - lančastu strukturu, odnosno da se iz jednog centra, u kojemu se nalazi pojedinačno računalo, koje je dio računarske mreže za automatsko očitavanje brojila, zvjezdasto unutar čitave domene toga računala šire lanci radioreleja, na koje su spojeni prijenosnici. To je logično pretpostaviti jer pristupanje svakom pojedinom brojilu nije slučajno, već sekvencijalno, tako da je zadaća relejne mreže samo u osiguravanju dosega do pojedinih prijenosnika koji opslužuju svoje PLC domene. Prema današnjem stanju tehnologije [13], domena PLC medija može se protezati par stotina metara od prijenosnika, tako da njihova gustoća mora biti barem u rangu 500 - 1000 m, ako ne i češće.

Izračunat ćemo očekivani broj radioreleja N za svaki pojedini lanac koji sadrži M radioreleja, i to za četiri različita slučaja:

- kada je na svaki relej spojen jedan prijenosnik
- kada je broj prijenosnika za ζ puta manji od broja radioreleja M i kada su oni jednoliko razmješteni na taj način da ni na koji relej nije spojen više nego li jedan prijenosnik
- najnepovoljniji slučaj razmještaja, ako ni na koji relej nije spojen više nego li jedan prijenosnik
- najnepovoljniji slučaj razmještaja, ako se na svaki radiorelej može spojiti C prijenosnika.

Kada je broj prijenosnika jednak broju releja, imamo trivijalnu situaciju, jer je vjerojatnost da će neki prijenosnik biti prosjeren baš kroz m -ti radiorelej (m poprima iznose između 1 i M) jednaka točno $1/M$, tako da očekivanje diskretne stohastičke varijable m iznosi po definiciji:

$$N = \sum_{i=1}^M \frac{m}{M} = \frac{1+M}{2}. \quad (21)$$

Ako se na lanac od M radioreleja spaja ukupno M / ζ prijenosnika, pri čemu je M djeljivo sa ζ , ako je njihov raspored jednolik i ako je na zadnji, M -ti relej u nizu uvijek spojen prijenosnik (u protivnom bi taj relej bio nepotreban), tada je vjerojatnost da je neki prijenosnik spojen s računalom preko m radioreleja jednaka:

$$v(m) = \begin{cases} m/M & \text{za } m \text{ djeljivo sa } \zeta \\ (m-1)/M & \text{za } (m-1) \text{ djeljivo sa } \zeta \\ (m-2)/M & \text{za } (m-2) \text{ djeljivo sa } \zeta \\ \vdots & \\ (m-(\zeta-1))/M & \text{za } (m-(\zeta-1)) \text{ djeljivo sa } \zeta \end{cases} \quad (22)$$

Time je definirana stohastička varijabla m . S obzirom da nam nije nužna savršeno točna procjena, možemo ovu diskretnu varijablu zamijeniti kontinuiranom, koja za cjelobrojne vrijednosti varijable poprima vrijednosti razdiobe jednake onima definiranim u gornjoj jednadžbi. Tada je gustoća razdiobe dv/dm u svakom od slučajeva navedenih u (22) evidentno jednaka $1/M$, pa opet izlazi očekivanje identično kao u izrazu (21), što je uostalom i logično.

Najgori slučaj, pod pretpostavkom da ni na koji relej nije spojeno više nego li jedan prijenosnik, nastupa kada su svi prijenosnici grupirani na strani lanca releja suprotnoj strani na kojoj je računalo, i to tako da su svi spojeni na susjedne radioreleje, pa je njihova prosječna udaljenost od računala izražena brojem N sigurno najveća moguća. U ovome primjeru ne trebamo pretpostaviti da je ukupan broj radioreleja djeljiv s ukupnim brojem prijenosnika u nizu. Ako je ukupni broj prijenosnika jednak G , pri čemu je on manji ili jednak od M , očekivanje N u najnepovoljnijem slučaju lako se dobiva uporabom gore danih razmatranja, i iznosi:

$$N = (M - G) + 0.5 \cdot (1 + G). \quad (23)$$

Ako se na svaki relej spaja C prijenosnika, očekivanja N za jednolike razdiobe se ne mijenjaju, ali se pogoršava očekivanje u najnepovoljnijem slučaju, koje postaje:

$$N = (M - G/C) + 0.5 \cdot (1 + G/C). \quad (24)$$

S obzirom na stohastičku raspodjelu uređaja u teritorijalno i brojčano vrlo velikim sustavima, normalno je pretpostaviti da je prostorna razdioba prijenosnika u odnosu na prostornu razdiobu radioreleja približno jednolika, tako da prosječan broj N na razini sustava biva približno jednak polovici broja releja u prosječno dugom lancu releja, ili preciznije $(1 + M)/2$. Sada je samo problem odrediti koliko ukupno releja ima u prosječnom lancu.

Taj broj se, naravno, ne može odrediti egzaktno, ali se može načiniti realna procjena s obzirom na očekivanu topologiju komunikacijske mreže. Recimo npr. da je prosječna udaljenost između trafostanica 110/x kV oko 10 km, te da se na svakih par trafostanica, a ovisno o gustoći naseljenosti područja to može biti i na svaku trafostanicu, smješta po jedno komunikacijsko računalo, koje opslužuje prijenosnike smještene u niskonaponskim trafostanicama koje su spojene na njih. Neka je mreža organizirana tako da se radio veze šire zrakasto od 110/x kV stanica s računalima. U gradu će radioreleji zbog loših propagacijskih uvjeta morati biti smješteni gušće nego li u ruralnoj sredini, ali će i računala zbog gustoće populacije morati biti smještena gušće, tako da možemo otprilike reći da će između dva susjedna računala biti razmješteno približno jednako radioreleja. Uzmimo gradsku situaciju. Neka je udaljenost između 110/x kV trafostanica prosječno 10 km, i neka je prosječan doseg jedne radio veze npr. 1 km. Računalo u toj trafostanici mora zrakastim nizom releja dosegnuti do polovice udaljenosti prema slijedećoj trafostanici, a to je oko 5 km, ili oko 5 radioreleja. Radi sigurnosti možemo uzeti i dvostruko više, tako da se čini da bi realno očekivani broj releja, N , na putu od računala do prijenosnika mogao biti manji ili jednak od 5. S obzirom na kratkoću kašnjenja u relejima, koji u mreži u pravilu ne bi trebali obavljati nikakvu obradu niti komutaciju, to nije preveliki broj, i transmisija kroz radio mrežu u manjoj će mjeri doprinijeti ukupnom vremenu odziva, nego li čvorovi koji vrše zahvate nad podacima i koji operiraju s bazama podataka.

Pretpostavimo da jedno računalo očitava sva brojila spojena na X niskonaponskih trafostanica, od kojih svaka u prosjeku napaja K potrošača. Ako vrijeme transakcije s nula retransmisija pišemo prema (20), onda vrijedi nejednakost:

$$X \cdot (\alpha \cdot N + \beta) \leq \frac{\theta}{f \cdot K \cdot \left(1 + \sum_{i=1}^q i \cdot p^i\right)}. \quad (25)$$

Od novih veličina, ovdje je θ interval očitavanja u sekundama, a f je bezdimenzijski faktor koji znači da se

računalu ostavlja θ/f sekundi vremena za dovršenje čitavog ciklusa, jer svako pojedino računalo u sustavu ima i druge zadatke koje treba stići obaviti. Npr, u velikim sustavima radit će paralelno više računala, koja će periodički morati pripremiti ažuriranu bazu podataka i odgovoriti na zahtjev nadređenog računala, te je dostaviti. Nadalje, postoji i potreba za drugim vidovima komunikacije, u okviru "energy management" koncepta. Osim toga, postojanje slobodnog intervala povećava pouzdanost očitavanja zbog mogućnosti vremenske diverzifikacije očitavanja, te dopušta određenu elastičnost u održavanju. Razumno je tražiti da se čitav postupak dovrši za npr. 1/2 ili 1/3 ciklusa očitavanja, pa bi u tim slučajevima broj f iznosio 2 ili 3. Interval očitavanja za pojedinačne potrošače odgovara intervalu u kojemu se mijenja cijena na kratkoročnom tržištu, premda i to može ovisiti o količini inteligencije ugrađene u samo brojilo, odnosno njegovo komunikacijsko sučelje. Uzet ćemo nekakvu razumnu vrijednost od jednoga sata.

Iz prethodne formule vidi se da je umnožak broja trafostanica po jednom računalu X i prosječnog vremena izvođenja jedne transakcije koja uspije od prve ($T^{(0)}$) ograničen odozgo faktorom koji ovisi o odabranim veličinama θ i f , te o prosječnoj vjerojatnosti pojedinačne retransmisije, dakle o kvaliteti prijenosnog medija. Pošto je PLC mnogo lošiji medij od radijskog, upravo njegova kvaliteta, izražena vrijednošću p , odlučujuće smanjuje opći kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila. Za sustav je povoljno da jedno računalo može obuhvatiti čim više trafostanica, tj. čim više pojedinačnih korisnika, zbog toga što je onda mreža računala jednostavnija, manja je početna investicija, i manja je cijena najma ili izgradnje telekomunikacijskih kapaciteta koji će povezati mrežu teritorijalno disperziranih računala znatno većim kapacitetom od onoga potrebnog u radiorelejnem sustavu koji opslužuje sama brojila.

Sada ćemo zbog usporedbe razmotriti dva primjera.

Scenarij A:

Računalo proziva svako brojilo ponaosob u sekvenciji, pa radioreleji i prijenosnici ne moraju u sebi nositi nikakve kompliciranije funkcije od transparentnog prijenosa podataka, tako da su njihova inherentna kašnjenja vrlo mala. Duljina poruke u oba smjera je jednaka i iznosi 96 bita, a brzina signaliziranja je 19.2 kb/s. Prosječna vjerojatnost pojedinačne retransmisije izračunata u smislu ovoga izlaganja neka je 0.7. Iz tih pretpostavki slijede neke od tipičnih vrijednosti, dok druge dajemo paušalno, u skladu s realno utemeljenim procjenama prema današnjem stanju tehnike:

$$T_P = 96/19200 = 5 \text{ ms (trajanje poruke)}$$

$$\tau_R = 20 \text{ ms}$$

$$\tau_{GM} = 5 \text{ ms}$$

$$\tau_{RG} = 5 \text{ ms}$$

$$\tau_{RR} = 5 \text{ ms}$$

$$\tau_{CR} = 5 \text{ ms}$$

$$\tau_0 = 100 \text{ ms}$$

$$T_C = 1 \text{ s}$$

$$\tau_G = 50 \text{ ms.}$$

Slijedi da je $\alpha = 0.05$ s i $\beta = 2.22$ s. Ako je $N = 5$, $\theta = 1$ sat i $f = 3$, ispada da je:

$$X \leq 3600 / (3 \cdot 100 \cdot 2.68 \cdot 2.47) = 1.8.$$

To znači da jedno računalo stigne obraditi približno 2 prosječne trafostanice ili 200 potrošača u satu, pri čemu mu tijekom jednog sata ostaje oko 38 slobodnih minuta.

Scenarij B:

Računalo proziva jedan po jedan prijenosnik, a svaki prijenosnik ima već spremljene podatke svih svojih brojila, tako da je duljina down-link poruke jednaka 96 bita, a duljina up-link poruke je jednaka $96 + K \times 32$ bita, ako pretpostavimo da je kao u [5] 32 bita dovoljno za pohranu pojedinačnog podatka iz brojila. Prijenosnik sada sadrži složene funkcije, pa mu je vrijeme odziva veće. Kvaliteta radiomreže je gotovo savršena, pa je $p = \text{cca. } 0$. U računu prema (3.2-25) umjesto $K = 100$ uvrstit će se broj 1, jer računalo ne pristupa pojedinačno do svih brojila, nego samo do prijenosnika. Važne veličine su:

$$T_{Pd} = 5 \text{ ms (trajanje down-link poruke)}$$

$$T_{Pu} = \text{cca. } 170 \text{ ms (trajanje up-link poruke)}$$

$$\tau_{Rd} = 25 \text{ ms (down link)}$$

$$\tau_{Ru} = 190 \text{ ms (up-link)}$$

$$\tau_{RR} = \tau_{CR} = 20 \text{ ms (samo vrijeme propagacije)}$$

$$\tau_{GG} = 0.5 \text{ s (čekanje na odziv prijenosnika)}$$

$$T_C = 1 \text{ s}$$

$$\tau_{RG} = 5 \text{ ms.}$$

Sada će izrazi za α i β doživjeti malu modifikaciju zbog nepostojanja veličina koje se odnose na vezu prijenosnika i brojila, te zbog nesimetrije up i down linka:

$$\alpha = \tau_{Rd} + \tau_{Ru} + 2 \tau_{RR} = 0.255 \text{ s}$$

$$\beta = 2 T_C + \tau_{GG} + 2 \tau_{CR} + 2 \tau_{RG} - 2 \tau_{RR} = 2.51 \text{ s.}$$

Uz $N = 5$ slijedi:

$$X \leq 3600 / (3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3.3) = 317.$$

Dakle, na ovaj način jedno računalo može stići obraditi 317 prijenosnika s po 100 podređenih brojila, tj. ukupno 31700 brojila svakih sat vremena, s tim da mu u tom intervalu ostaje slobodno 40 minuta. Ispada da je uz ovu strategiju kapacitet očitavanja 150 puta veći, ne računajući ipak ograničenu kvalitetu radijskog sustava, koja taj broj ponešto smanjuje. Čitatelj će primijetiti da uz ovakvu strategiju očitavanja možemo odrediti i faktor za radio mrežu, poznajemo li njezinu vrijednost p , i to posve neovisno od određivanja faktora PLC medija. Ukupno vremensko produljenje obrade dobije se umnoškom tako određenih faktora. Jasno, numerički primjer je odabran tako da bude drastičan. U stvarnosti je potrebno računavati konkretne poznate podatke o parametrima kašnjenja.

Jedino još treba provjeriti stiže li prijenosnik prikupiti sve podatke za dvadeset minuta. Ako se 100 brojila očitava 20 minuta, znači da je prosječno vrijeme raspoloživo za očitavanje pojedinog brojila 12 s, što je barem 10 do 20 puta više od potrebnoga uz računata

tipična kašnjenja u PLC mreži, te uz tipično vrijeme odziva brojila i vrijeme obrade u prijenosnika. To znači da sustav može uspješno raditi uz vjerojatnosti pojedinačne retransmisije u PLC mreži do oko $p = 0.9$.

Jasno, ova dva primjera dana su s uračunatim tipičnim rangom fizikalnih veličina koje su u igri, i to samo radi usporedbe dviju mogućih strategija pristupa. Te strategije nisu jedine moguće, a tipična vremena kašnjenja ovise o primijenjenoj tehnologiji, digitalnoj brzini, itd, pa su i ona podložna promjenama. No, iz primjera se vidi koji je glavni pravac djelovanja, odnosno koji su glavni uzroci sporosti sustava. To su vremena obrade u računalu i, u scenariju B, u prijenosniku, odnosno općenito fiksno kašnjenje. Zbog toga kašnjenja u scenariju B je ispalo da nekvaliteta PLC medija ne čini glavni problem, jer i uz visoku vjerojatnost pojedinačne retransmisije prijenosnik stiže kolektirati sve potrebne informacije. Tehnološki napredak dovest će do smanjenja vrijednosti β , i time do približno proporcionalnog povećanja kapaciteta očitavanja po jednom računalu.

1.4. Zaključak o analizi utjecaja kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila

Iz prethodnih razmatranja zaključujemo sljedeće:

- U općoj analizi prosječnog vremena potrebnog za očitavanje jednog brojila u velikom sustavu automatskog očitavanja brojila ne može se zanemariti utjecaj šuma i interferencija na PLC mediju.
- Porastom vjerojatnosti pojedinačne retransmisije drastično se povećava prosječno vrijeme očitavanja brojila, ali za $p < 0.42$ utjecaj te vjerojatnosti može se zanemariti.
- Očekivani broj retransmisija i disperzija broja retransmisija rapidno rastu sa p , tako da je ponekad u stvarnim PLC mrežama moguće da za dohvat jednog podatka očitavanja brojila bude potreban vrlo velik broj retransmisija.
- Najlošiji dijelovi PLC mreže najviše utječu na opću performanciju čitave PLC. Vjerojatnosti pojedinačne retransmisije u dijelovima mreže s različitim kvalitetama ne mogu se linearno usrednjavati, već se mora vrednovati doprinos faktoru svakoga od tih dijelova, a upravo zbog toga najlošiji dijelovi mreže imaju najveći utjecaj na zajednička svojstva.

Kapacitet očitavanja sustava obratno je razmjern faktoru mreže. Stoga je poželjno načiniti takvu strategiju očitavanja svakog pojedinog brojila koja će minimizirati vremenski udio PLC medija u ukupnom telekomunikacijskom prometu mreže.

2. OSTALE KLASIČNE PRIMJENE

Ovdje ćemo se spomenuti i nekih područja u kojima je PLC više ili manje uspješno primjenjivan i kroz protekle godine, premda s relativno ili čak vrlo malim ka-

pacitetima. Naravno da je prijenos informacija distribucijskom energetskom mrežom najprije zaživio u industriji i elektroprivredi. Štoviše, elektroprivreda već preko pola stoljeća koristi i visokonaponske vodove za prijenos u pravilu manjeg broja analognih, ili u novije vrijeme digitalnih, komunikacijskih kanala.

U Europi je CENELEC-ovim standardom EN50065 [9] fiksirano frekvencijsko područje rada namijenjeno PLC komunikacijama, koje ne ostavlja dovoljno prostora za razvoj širokopojasnih komunikacija. Ovom normom dijeli se područje od 3 kHz do 148.5 kHz u nekoliko podpojaseva:

- 3 – 9 kHz – rezervirano za distribuciju
- 9 – 95 kHz – rezervirano za distribuciju i njene licencirane partnere (A band)
- 95 – 125 kHz – rezervirano za korisnike (B band – bez protokola)
- 125 – 140 kHz – rezervirano za korisnike (C band – protokol CSMA, engl. Carrier Sense Multiple Access)
- 140 – 148.5 kHz – rezervirano za korisnike (D band – bez protokola).

Dozvoljene razine emitiranog signala, izražene u dBV, na priključnici specificirane su za područja označena slovima, i iznose:

- A band: linearni pad od 134 dB μ V na 9 kHz do 120 dB μ V na 95 kHz
- B, C i D band: 122 dB μ V.

Dakle, u većem dijelu ovoga područja dozvoljeni napon na stezaljkama emitirajućeg uređaja kreće se oko 1V. Korištenje područja iznad 148.5 kHz zabranjeno je zbog AM radiodifuzije. U Americi i Japanu dopušteno je korištenje spektra do oko 500 kHz, ali se u zadnje vrijeme pojavljuju sumnje, posebice u Kanadi, da emisije na oko 180 kHz mogu ometati zrakoplovne navigacijske sustave, tako da bi i u tim zemljama uskoro moglo doći do reduciranja pojasa slobodnog za PLC sustave.

Postoji nekoliko područja tradicionalne primjene PLC-a, odnosno onih područja koja se tek otvaraju, a u kojima će PLC kao medij sigurno odigrati značajnu ulogu:

- kućna automatizacija i "smart home" koncept
- industrijska automatika i upravljanje procesima
- potrošačka elektronika (npr. baby-alarmi i slični uređaji)
- sigurnosni sustavi, nadzor objekata
- "energy management":
 - AMR – automatsko očitavanje brojila
 - kontrola i upravljanje tarifama za obračun energije
 - daljinsko upravljanje trošilima, "demand side management"
- usluge s dodanom vrijednošću (VAS, engl. Value Added Services) – čitav spektar novih usluga koje

distributeri električne energije mogu pružati svojim korisnicima, od nekih navedenih u gornjoj natuknici, pa do – eventualno – usluga koje zahtijevaju širokopojasni prijenos.

Kada je riječ o tradicionalnim primjenama, od kojih su najvažnije industrijske aplikacije i kućna automacija, te o nekima koje će podupirati koncept "energy managementa", korisno je definirati set važnih parametara, na koje si treba odgovoriti svaki planer sustava prije nego li odabere neko rješenje s PLC prijenosom signala, a s obzirom na poznate teškoće vezane za taj medij. Newbury i Morris u [1] daju temeljnu listu takvih parametara i razmatraju ih u slučajevima triju spomenutih vrsta sustava s PLC komunikacijom. Definicije parametara prema [1] su:

- Doseg – fizička veličina površine koju treba pokriti telekomunikacijskim sustavom.
- Vrijeme odziva – kašnjenje prigodom prijenosa informacije između dva komunicirajuća čvora u mreži, koje ovisi o vremenu propagacije, broju međučvorova, primijenjenom protokolu, vrsti komutacije, itd...; a odozgo je ograničeno minimalnim zahtjevom konkretnog sustava.
- Najlošije vrijeme odziva – najveće kašnjenje, za razliku od tipičnog, koje je još podnošljivo u danoj aplikaciji, a može imati podrijetlo u različitim uzrocima, npr. u retransmisijama zbog šuma.
- Posljedice gubitka veze – ponašanje sustava u slučaju prekida komunikacije među čvorovima.
- Posljedice gubitka čvora – ponašanje sustava u slučaju gubitka jednog ili više čvorova.
- Sigurnost podataka – potrebno je znati je li nužno obaviti zaštitu podataka od trećih osoba, i kakve to ima implikacije na dizajn sustava.

Evo sada i okvirne analize triju različitih sustava, također prema [1]:

a. Kućna automatizacija

- Doseg – unutar kuće ili zgrade.
- Vrijeme odziva – prihvatljivo do reda veličine sekunde, a neki uređaji toleriraju i znatno više.
- Najlošije vrijeme odziva – duža vremena odziva mogu biti iritantna za korisnika, ali bi u pravilu bila bez većih posljedica.
- Posljedice gubitka veze – također neugoda za korisnika, ali bez ozbiljnijih konzekvenci.
- Posljedice gubitka čvora – isto kao i u slučaju gubitka veze.
- Sigurnost podataka – potrebna je jedino ako u kući ili zgradi postoji sustav nadzora i osiguranja.

b. Industrijska automatika

- Doseg – vjerojatno lokalni, unutar jednog pogona u poduzeću, dok se veze između više takvih cjelina u npr. tvorničkom krugu ostvaruju kvalitetnijim telekomunikacijskim medijem, tako da se može

očekivati pokrivanje terena s gabaritima u redu veličine stotinjak metara.

- Vrijeme odziva – zavisi od vrste automatskog pogona koji se upravlja u realnom vremenu; ni u kom slučaju vrijeme odziva iznad 1 sekunde ne bi bilo prihvatljivo.
- Najlošije vrijeme odziva – opet, ovisi o tome kakav proces se vodi automatski, ali je posve neprihvatljivo da bude znatno iznad 1 s.
- Posljedice gubitka veze – u mnogim automatskim procesima mogu biti vrlo ozbiljne, pa je poželjno da postoji neka vrsta linijske zaštite ili diversity-a, što npr. kod PLC-a nije teško postići, te da postoje algoritmi koji u slučaju prekida telekomunikacijskih veza mogu na miran način prekinuti kontrolirani proces.
- Posljedice gubitka čvora – također mogu biti vrlo ozbiljne, tako da je poželjno da se proces u slučaju gubitka čvora može mirno ugasiti. Mreža mora stalno nadzirati stanje ispravnosti čvorova.
- Sigurnost podataka – nije osobito važna, osim ako se računa s mogućnošću sabotaza.

c. Automatsko očitavanje brojila

- Doseg – može biti vrlo velik, ali u kontekstu PLC-a najčešće će se raditi o vezi lokalne trafostanice x/0.4 kV s pojedinačnim brojilima, tako da se radi o populacijama male ili srednje brojnosti (npr. u USA-u tipično 10 do 20 brojila po trafostanici, u Europi dva do tri puta više; hrvatski prosjek: oko 100 korisnika po lokalnoj trafostanici [10]. Takva mala lokalna mreža najčešće biva dijelom mnogo veće strukture, s kojom je povezana drugim telekomunikacijskim medijem, naime optikom ili radio vezom.
- Vrijeme odziva – elektroprivredne tvrtke očitavat će svoja brojila barem jednom u pola sata. Ostale aplikacije tolerirat će ponekad i veće vrijeme odziva.
- Najlošije vrijeme odziva – ovisi o veličini populacije koju obrađuje jedan sustav, tj. jedno računalo. Svejedno, kašnjenje unutar jednog ciklusa očitavanja nema nikakvih posljedica, a niti gubitak jednog očitavanja za pojedinačno brojilo i potrošača ne može imati teže posljedice.
- Posljedice gubitka veze – ovise o vremenu trajanja prekida, ali u principu ne mogu biti teške iz dva razloga: (a) podaci iz brojila se samo čitaju, odnosno brojilo ne prima nikakve naredbe za izvršenje bilo kakve akcije od sustava za očitavanje; (b) gubitak podataka o potrošnji kroz nekoliko sati, pa i dana, u principu se može nadomjestiti interpolacijom, s obzirom na ujednačeni obrazac ponašanja svakog pojedinog korisnika.
- Posljedice gubitka čvora – isto kao u slučaju gubitka veze.
- Sigurnost podataka – važna zbog toga što su vrijednosti očitavane na brojilima direktno razmjerne

novčanim vrijednostima, tako da je u najmanju ruku potrebno spriječiti falsificiranje podataka.

Sada ćemo u najkraćem spomenuti danas ustaljene standarde koji omogućuju korištenje PLC-a kao prijenosnog komunikacijskog medija. Radi se o tvorničkim standardima koji su komercijalno najbolje uspjeli, tj. koji se najviše koriste.

2.1. X-10

Tehnologija X-10 pojavila se tijekom sedamdesetih godina, i danas se može smatrati da je najraširenija PLC tehnologija. Do danas su razvijene stotine uređaja kompatibilnih sa X-10, s milijunima isporučenih sustava.

X-10 u trenucima prolaska mrežnog napona kroz nulu emitira pulseve frekvencije 120 kHz, trajanja 1 ms. Binarni znakovi kodirani su bifazno: ako je na početku periode (pozitivan prolaz kroz nulu) emitiran puls od 120 kHz, a jednu poluperiodu kasnije (negativan prolaz kroz nulu) nije emitirano ništa, odaslan je binarni znak "1". Ako na početku periode nije emitirano ništa, a jednu poluperiodu kasnije bude odaslan 120 kHz puls, radi se o binarnoj nuli. Zbog smanjenja utjecaja šuma svaki binarni simbol, "0" ili "1", odašilje se dvaput uzastopce, u dvije susjedne periode mrežnog napona. To je ujedno i jedina mjera poduzeta protiv utjecaja smetnji, a X-10 protokol uopće ne predviđa potvrdu prijema informacije, tako da je sustav baziran na X-10 zapravo dosta osjetljiv na šum, što mu je najveća mana.

Dakle, za emitiranje informacije od jednog bita potrebne su dvije pune periode mrežnog signala, odnosno 33.33 ms u Americi i Japanu, tj. 40 ms u Europi. U tim slučajevima, maksimalne efektivne brzine signaliziranja su 30 b/s, odnosno 25 b/s.

Temeljna X-10 poruka sadrži 13 signala, a sastoji se od 4 signala preambule, 4 bita kućnog koda, 4 bita koda jedinice/funkcije i jednog bita koji indicira odnose li se prethodna 4 bita na jedinicu ili funkciju. Preambula sadrži tri početna bursta od 120 kHz u tri uzastopne periode i jednu periodu bez ikakve emisije, tako da preambula traje ukupno koliko i dva bita, odnosno osnovna X-10 poruka zapravo traje kao 11 bita, tj. 366.66 ms na mreži 60 Hz, te 440 ms na 50 Hz.

Informacija potrebna za aktiviranje X-10 uređaja sadržana je u dvije 11-bitne poruke, od kojih se svaka emitira dvostruko, zbog daljnjeg povećanja imunosti na šum. S obzirom da prijatelj može reagirati na poruku čim je primi prvi puta, minimalno vrijeme transmisije komande iznosi 22 bita, odnosno 0.73 s na mreži 60 Hz i 0.88 s na 50 Hz.

Adresno polje X-10 sustava omogućuje adresiranje najviše 256 uređaja. Postoje i novije verzije X-10 protokola s većim kapacitetom prijenosa, ali one nisu toliko raširene u uporabi. Unatoč vrlo malom kapacitetu, X-10 je zbog svoje krajnje jednostavnosti našao veliku

primjenu, naročito u Sjedinjenim Američkim Državama, u području upravljanja jednostavnim procesima kakvi se odvijaju u kućama.

X-10 predstavlja minimalni standard komuniciranja uopće, i on sigurno ne eksploatira niti djelić stvarnih mogućnosti PLC medija, makar se radilo i samo o EN 50065 pojasu. U principu, X-10 sustavi kompatibilni su s EN 50065, osim utoliko što je njihov nosioc smješten u C-pojasu, koji je namijenjen za CSMA tehnologiju, ali je načelno moguće bez velikih problema izvršiti korekciju frekvencije nosioca, koja bi trebala biti unutar A-pojasa.

2.2. CEBus

CEBus je otvoreni standard usklađen s OSI modelom za sustave kućne automatizacije uveden od strane američke asocijacije EIA (engl. Electronic Industry Association). Zbog slojevitosti i razvijenosti CEBus protokola, kao i zbog mogućnosti decentralizacije inteligentnog dijela sustava, CEBus je našao primjenu i u mnogim drugim poljima, osim onoga kojemu je prvotno bio namijenjen. Kao što ćemo vidjeti, CEBus nije kompatibilan s CENELEC-ovom normom za signaliziranje na niskonaponskim mrežama.

Na sučelju prema prijenosnom mediju CEBus koristi varijantu sporog FH sustava raspršenja spektra (FH, engl. Frequency Hopping), u kojemu se tijekom trajanja jednog simbola frekvencija mijenja kontinuirano od 100 kHz do 400 kHz, ili obratno. Veličina signala je 4 V od vrha do vrha, odnosno 1.41 V efektivno. Osnovna vremenska jedinica je "trajanje jediničnog simbola", a iznosi 114 s u preambuli, odnosno 100 s u podatkovnom paketu. Simbol "1" traje jednu jedinicu, "0" traje dvije jedinice, kraj okvira traje 8 jedinica u preambuli, odnosno 3 u podatkovnom paketu, a kraj podatkovnog paketa traje 4 jedinice. Preambula se kodira i modulira načinom NRZ-ASK (engl. Non Return to Zero – Amplitude Shift Keying), a podatkovni paket se kodira načinom FRK (engl. Frequency Reversing Keying).

CEBus uključuje funkcije detekcije pogrješaka u prijenosu, automatske retransmisije, potvrde ispravnog prijma, odbijanja dvaput pristiglog paketa, autorizacijske procedure za sprječavanje neovlaštenog korištenja, te kriptiranja za zaštitu tajnosti. Maksimalan broj uređaja u jednom sustavu (veličina adresnog polja) je 65536. Razvijena su sučelja za komunikaciju različitim medijima: PLC-om, bakrenim paricama (4 parice), koaksijalnim kabelima (2 kabela), radijskim medijem i infracrvenim zrakama. Razmatra se razvoj sučelja za optička vlakna. Standard je donijela EIA pod imenom IS-60. Više o decentraliziranim sustavima na tragu "smart home" koncepta može se vidjeti u [11].

Time, naravno, nisu iscrpljene sve tehnologije komuniciranja PLC-om koje su danas komercijalno dostupne.

LITERATURA

- [1] J. E. NEWBURY, K. J. MORRIS: "Power Line Carrier Systems For Industrial Control Applications", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999.
- [2] J. NEWBURY, W. MILLER: "Potential Communication Services Using Power Line Carriers and Broadband Integrated Services Digital Network", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999.
- [3] M. H. SHWEHDI, A. Z. KHAN: "A Power line Data Communication Interface Using Spread Spectrum Technology in Home Automation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 3, July 1996.
- [4] J. NEWBURY, W. MILLER: "Multiprotocol Routing for Automatic Remote Meter Reading Using Power Line Carrier Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 1, Jan. 2001.
- [5] S. MAK, D. RADFORD: "Design Considerations for Implementation of Large Scale Automatic Meter Reading Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 1, Jan. 1995.
- [6] M. H. L. CHAN, R. W. DONALDSON: "Attenuation of Communication Signals on Residential and Commercial Intrabuilding Power-Distribution Circuits", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-28, No.4, Nov. 1986.
- [7] L. SELANDER: "Powerline Communications: Channel Properties and Communication Strategies", PhD Thesis, Lund University, Sweden, 1999, <http://www.enersearch.se/knowledgebase/publications/theses/pow-line.html>
- [8] P. K. van der GRACHT, R. W. DONALDSON: "Communication Using Pseudonoise Modulation on Electric Power Distribution Circuits", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-33, No. 9, Sept. 1985.
- [9] CENELEC, Standard EN50065.
- [10] Z. A. BUKHALA et al: "Radio Frequency Signal Transmission on Medium Voltage Power Distribution Lines", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, Jan. 1999.
- [11] D. RADFORD: "Spread Spectrum Data Leap Through AC Power Wiring", IEEE Spectrum, Vol. 33, No. 11, Nov. 1996.
- [12] T. MacGREGOR: "Electricity Restructuring in Britain: Not a Model to Follow", IEEE Spectrum, Vol. 38, No. 6, June 2001.
- [13] K. DOSTERT: "High Speed Data Transmission over Power Lines Using", Multi-Carrier (OFDM) Techniques, Frequenz, Vol. 54 (2000), No. 11-12.
- [14] K. DOSTERT: "Powerline Communications", Prentice Hall PTR, 2001.
- [15] D. SABOLIĆ: "Načela i praksa deregulacije", Energija, br. 5/2002, Zagreb, 2002.
- [16] A. E. KAHN: "How to Make Deregulation Work (interview, Eds. W. Sweet, E.A. Bretz)", IEEE Spectrum, Jan. 2002.
- [17] D. SABOLIĆ: "Influence of the Transmission Medium Quality on the Automatic Meter Reading System Capacity", bit će objavljeno u IEEE Transactions on Power Delivery u 2003. god.

INFLUENCE OF PLC MEDIA QUALITY ON THE CAPACITY OF AUTOMATIC METER READING SYSTEM

Electric distribution network quality influence as transmission media for communication signals (PLC-Power Line Carrier) on the capacity of automatic meter reading system (AMR – Automatic Meter Reading) is analyzed. The factor of time prolongation for one average meter reading depending on failure probability in transmission message, i.e. the easiest measurable value for transmission characteristics of PLC media, is determined. The final part of the paper brings a review on other important classical examples of narrow-range communication through PLC media.

EINFLUSS DER QUALITÄT DER STROMVERSORGUNGSNETZE ALS FERNMELDETRÄGER (PLC), AUF DIE AUFNAHMEFÄHIGKEIT DES SYSTEMS DER AUTOMATISCHEN ABLESUNG VON ZÄHLGERÄTEN

Dargestellt ist die Untersuchung des Einflusses der Qualität der Stromversorgungsnetze als Fernmeldeträger (Englisch: PLC=Power Line Carrier) auf die Aufnahmefähigkeit von Daten im System der automatischen Ablesung von Zählgeräten (Englisch: AMR=Automatic Meter Reading).

Die Kennzahl der Dauerverlängerung einer durchschnittlichen Zählerablesung wird in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit des Fehlers in der Übertragung der Nachricht bestimmt. Die genannte Kennzahl stellt die leichtest messbare Grösse der Übertragungseigenschaften von PLC dar. Zuletzt wird im Artikel eine Übersicht anderer wichtiger klassischer Beispiele der Schmalbandübertragungen von Meldungen mittels PLC gegeben.

Naslov pisca:

Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
HEP Prijenos d.o.o.
Prijenosno područje Zagreb
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 10 – 02.

ISPRAVAK ČLANKA I PORUKA AUTORIMA

Zbog pogreške u nazivu autora članka "Model i organizacija službe vođenja distribucijske mreže Hrvatske", objavljenog u "Energiji" broj 1 u veljači 2003, molimo vas da uvažite ovaj ispravak:

1. Na stranici 35. piše: Boris Krstulja – Vitomir Komin, Rijeka, a trebalo bi pisati:

Boris Krstulja – mr. sc. Vitomir Komen, Rijeka

2. Na stranici 43. piše:

Naslov pisaca:

Boris Krstulja, dipl. ing.

Viktor Komin, dipl. ing.

Rukovoditelj odjela za
upravljanje

HEP Distribucija d.o.o.

Ulica Viktora Cara Emina 2

51000 Rijeka, Hrvatska

a trebalo bi pisati:

Naslov pisaca:

Boris Krstulja, dipl. ing.

mr. sc. Vitomir Komen, dipl. ing.

HEP Distribucija d.o.o.

DP Elektroprimorje Rijeka

Ulica Viktora Cara Emina 2

51000 Rijeka, Hrvatska

Koristimo se prigodom da autorima skrenemo pozornost na teške uvjete u kojima djeluje naše uredništvo. Kako za tu "boljku" zasad nema lijeka, molimo autore da, prije nego što pošalju članak za tisak, provjere jesu li dali sve potrebne podatke: ime i prezime, adresu, akademsku titulu te položaj u tvrtki u kojoj rade.

Dovoljno je uzeti bilo koji primjerak "Energije" i pogledati što piše ispod naslova članka, a što na kraju (naslov pisca).

Točnim i pravodobnim podacima pomogli biste nam da izbjegnemo nepotrebne pogreške.

Urednica

RAZVOJ (DE)REGULACIJE I PREPORUKE ZA TRANZICIJSKA GOSPODARSTVA

Mr. sc. Darko D v o r n i k, Zagreb

UDK 338.24:620.9
PREGLEDNI ČLANAK

Ne postoje univerzalna pravila za rješavanje problema neefikasne tržišne regulacije. Imajući na umu da primarni cilj regulacije nije regulatorna agencija *per se* već konkurentno tržište, moguće je uz prilagodbu niza elemenata šireg regulatornog okvira osigurati bolje performanse u sektoru, što je posebice bitno u početnom stadiju djelovanja regulatorne agencije.

U članku se daje povijesni pregled razvoja i (de)regulacije elektroenergetskog i telekomunikacijskog tržišta. Potom se diskutira o ekonomskim aspektima monopolističkog uređivanja u ove dvije industrije, te se obrazlažu razlozi ponovne re-regulacije tržišta ovih industrija. Naposljetku se prikazuju temeljna načela uspješne (de)regulacije i odgovarajući paket preporuka za tranzicijske zemlje.

Ključne riječi: (de)regulacija, tranzicijska gospodarstva.

1. UVOD

Ne tako davno, postojalo je uvriježeno mišljenje da tržišta javnih usluga (poput elektroenergetskog, telekomunikacijskog, usluge plina, vodovoda i sl.) ne može efikasno posluživati više od jednog poslovnog subjekta jer njihova utrka za maksimalnim profitom ne bi dovela do maksimiranja probitaka za korisnike usluga. U tom smislu, kao korektiv manjkavosti (nesavršenosti) tržišta uvedena je ekonomska regulacija cijena s ciljem da se zadovolji javni interes. Tako su u svijetu do prije nekoliko desetljeća na području pružanja javnih usluga prevladavale takve organizacije u kojima je država bila i vlasnik i operater usluga.

Proces liberalizacije i deregulacije tržišta kojeg su započele mnoge zemlje u svijetu prije otprilike dva desetljeća, omogućio je snižavanje ulaznih barijera i dovođenje privatnog kapitala, s glavnim ciljem stvaranja konkurentnije tržišne okoline. Države su se postupno odmicale od uloge vlasništva i upravljanja, a kretale su se prema kreiranju smjernica politike u sektoru i regulaciji. U samom upravljanju i vođenju ove tranzicije, mnoga novoformljena gospodarstva poput tranzicijskih, nastojala su čim prije uspostaviti efikasnu regulatornu okolinu. Naime, spor i neefikasan razvoj regulatornih agencija mogao bi uzrokovati još veći jaz između njih i razvijenih zemalja. Osim toga, jedna od pretpostavki ulaska u Europsku uniju, sastoji se u implementaciji odgovarajućih smjernica EU-a i, naravno, njihova provedba u praksi.

U tom svjetlu razmatranja, efikasna regulacija u tranzicijskim zemljama u velikoj mjeri ovisi o: suzdržavanju uplitanja državnog aparata u rad regulatorne agencije, o dosljednoj i nepristranoj primjeni zakona, stabilnosti

i učinkovitosti pravosudnog sustava, dostatnoj količini administrativnog know-how-a, kvaliteti ljudskih resursa, pouzdanosti i kvaliteti postojećih općih i regulatornih propisa kojima upravlja država itd. U svim ovim aspektima oskudjevaju tranzicijska gospodarstva.

U tranzicijskom procesu pretvorbe monopolnih tržišta u potpuno konkurentna, nužna je "vidljiva ruka" regulatora ovog tržišta. U tom smislu, podsjetimo se djela Adama Smitha iz 18. st. pod naslovom "Bogatstvo naroda" koje je predstavljalo revoluciju ekonomske misli i udarilo temelje moderne mikroekonomike. Naime, Adam Smith je bio žestoki protivnik državnog uplitanja u industrijske i trgovačke poslove, a nadaleko je bila poznata i Smithova glasovita izreka da svakoga pojedinca u promicanju vlastitog interesa "vodi nevidljiva ruka, da promiče cilj koji uopće nije namjeravao postići, a na dobrobit zajednice". Moderna svjetska iskustva i preporuke Svjetske trgovinske organizacije (WTO) nam ukazuju da je neka tržišta potrebno u određenoj mjeri regulirati kako bi osigurali maksimalne efekte tržišne konkurencije.

Iz toga proizlazi i glavna uloga regulatora tržišta, koja se očituje u promicanju interesa krajnjih korisnika usluga, tj. svojih građana.

Cilj ovog članka je objasniti važnost i ulogu efikasne regulacije na tržištima električne energije i telekomunikacija, njen razvoj i trendove, te sistematizirati određena općeprihvaćena i primjenljiva načela, a predstavljaju "najbolja iskustva", koja omogućavaju uspješno uspostavljanje regulatornih okvira koji dovode do maksimalnih probitaka za državu, odnosno krajnje korisnike usluga.

Članak je strukturiran na način kako slijedi: Prvo poglavlje je uvod. U drugom poglavlju prikazan je povi-

jesni razvoj regulacije u oba sektora. Različite tržišne strukture i njihove performanse prikazani su u poglavlju 3. U poglavlju 4 objašnjena je uloga regulacije i standardne strukture nezavisnog regulatora u praksi. Načela efikasnog regulatornog procesa i određene specifičnosti za tranzicijske zemlje prikazani su u 5. poglavlju.

2. POVIJESNI PREGLED RAZVOJA REGULACIJE TRŽIŠTA "JAVNIH USLUGA"

2.1. Načelo javnog dobra

U mnogim zemljama svijeta prije gotovo jednog stoljeća, pojavila se posebna kategorija subjekata pod nazivom "poslovni subjekti s javnim interesom". Status poslovnih subjekata s javnim interesom predstavlja jednu vrstu kuće u kojoj polovica ima striktno državne funkcije, a drugi dio, privatne funkcije s nejasnom granicom između [1]. Najpoznatije takve industrije su industrije: električne energije, telekomunikacija, plina, vode, te ponekad i usluge javnog transporta.

Posebna klasifikacija takvih industrija je temeljena primarno na ekonomskim i tehnolojskim karakteristikama, premda preciznije značenje treba tražiti u zakonima određene zemlje.

Tamo gdje se potražnja za robom ili uslugama smatra zajedničkom potrebom za većinu javnosti, a uvjeti ponude su takvi da se javnosti ne bi mogao osigurati prihvatljivi nivo usluge po prihvatljivoj cijeni, država to područje regulira kako bi osigurala te uvjete. Premda ponudbeni uvjeti takvih subjekata ne moraju biti monopolno uređeni, povijesno gledano dolazilo je do zlouporabe monopolnog položaja na tržištu, što je ponukalo države da reguliraju ovo područje.

Država regulira pojedine industrije i poslove već od najranijih vremena. Građanski zakoni Engleske i drugih zemalja prepoznati su pod nazivom "common callings" (javno dobro) gdje se zahtijevaju posebne odgovornosti ako se dobavljači ne otvore služenju javnosti. U svojoj raspravi "*De Portibus Maris*" i "*De Jure Maris*" oko 1670 g. Lord Matthew Hale je opisao zakonitost posla "od važnosti za javni interes". On je naznačio da kad su kapaciteti poput trajekta, skela, dizalica, zajedničkih prometala i gostionica uslužni javnosti, imali ili ne koncesiju za obavljanje poslova od strane države, oni postaju dodirnuti javnim utjecajem, te prestaju biti isključivo "juris privati" [1].

U djelu "Bogatstvo naroda" i Adam Smith je naslutio da se neke djelatnosti ne mogu razmatrati u okviru *laissez-faire* prijedloga.

Laissez faire [2] je francuski izraz kojim se ističe zahtjev da se iz gospodarskog života ukloni svako miješanje države i prepusti samostalnim ekonomskim subjektima da nesmetano posluju prema svojim nakanama te u skladu s djelovanjem nesputanih ekonomskih zakona, neograničene konkurencije proizvođača i kupaca, privatnog vlasništva i inicijative poduzetnika. Potpuniji

naziv je *laissez faire - laissez passer*, što u slobodnom prijevodu znači: ostavite ljudima da rade što hoće, pustite da stvari teku same od sebe. Približno isti smisao ima i krilatica: *le monde va du lui même* (svijet se sam snalazi), kojom se katkad gornji izraz proširuje. No, najčešće se, osobito u novije vrijeme, pojavljuje samo skraćeni naziv – *laissez faire*. Premda je suštinski to načelo zastupao već A. Serra, prvi je krilaticu *laissez nous faire* upotrijebio francuski trgovac M. Legendre u Lyonu (1680) u svom odgovoru J. B. Colbertu. Autorstvo se ipak najčešće pripisuje francuskom ekonomistu V. Gournayju, preteči fiziokrata, koji je taj izraz prvi uveo u ekonomsku teoriju. Prihvatili su ga zatim fiziokrati, poglavito J. Turgot, kao bojni poklič protiv merkantilističke politike. Doktrinu je najdosljednije i najpotpunije razvio A. Smith u Bogatstvu naroda, premda pritom nije upotrijebio taj izraz. Otada l. f. postaje sinonim dobro organiziranoga kapitalističkoga gospodarstva i najbolje moguće ekonomske politike. Drži se da se tako najbolje usklađuju pojedinačni i opći interesi. Doktrina se u vladajućoj teoriji zastupa i brani uglavnom sve do velike ekonomske krize (1929.–33.), premda se uočava da je u praksi često drugačije i da takvo privređivanje prate povremene ekonomske krize s opasnim poremećajima i žrtvama. Između dva svjetska rata pozornost privlače ekonomisti (E. H. Chamberlin, J. Robinson i dr.) koji ukazuju na monopolističku konkurenciju, a u isto vrijeme stasaju i djeluju pobornici državne intervencije, na čelu s J. M. Keynesom. Poslije II. svj. rata široko je prihvaćena kejnzijanska ekonomija, pa se u gospodarskoj praksi stvara svojevrsno mješovito gospodarstvo, kombinacija djelovanja tržišnih mehanizama i regulative državne ekonomske politike. U novije vrijeme, pod utjecajem informatičke revolucije visokorazvijeni svijet vraća se gospodarstvu potpunijeg *laissez faire* poslovanja.

U SAD-u su tijekom 19. st. mnoge države regulirale privatno vodene kanale, mostove, željeznice. Pravo države da regulira je po prvi put pravno dokazano na Vrhovnom sudu SAD-a u najpoznatijem slučaju *Munn protiv Illinois* 1877 g. *Munn* je bio jedan od devetorice vlasnika četrnaest dizala za žito u Čikagu. On nije posjedovao, a ni zahtijevao franšizu za svoj rad. Farmeri sa zapada države koji su transportirali svoje brašno prema Čikagu kako bi ga utovarili na brodove te transportirali na udaljena tržišta morali su koristiti ta dizala. Po dogovoru vlasnici dizala postavili su vrlo visoke cijene. Vlada države je intervenirala i postavila gornju granicu cijene usluga. Naime, *Munn* je izazvao državu da regulira to područje. U svojoj odluci Vrhovni sud je izrekao da je *Munn* stajao na samom ulazu gospodarstva te da je naplaćivao namete od svakog tko bi prošao tuda. Kao obrazloženje odluci nabrojani su Engleski građanski zakon, citiran je Lord Hale, a država je po prvi put utemeljila ono što se prepoznaje kao princip javnog dobra:

"Kad, dakle, netko posveti svoje imanje korištenju u kojem javnost ima interes, on, u biti, dozvoljava javnosti in-

teres u korištenju toga, te se mora podvrći kontroli javnosti za opće dobro, do opsega koristi koje je tako proizveo" [1].

Vrhovni sud je primijetio da pravo na regulaciju "nije izvedeno iz Ustava Illinoisa ili njegovog Statuta, već je tako po činjenicama" [1].

Amerika devetnaestog stoljeća približila se, kao i bilo koja druga ekonomija, čistom laissez-faire društvu, sustavu koji je britanski povjesničar Thomas Carlyle nazvao "anarhija i policajac". Ta je filozofija omogućila ljudima veliku osobnu slobodu da slijede svoje ekonomske težnje i da ostvare stoljeće brzog materijalnog napretka. No, kritičari su vidjeli mnogo napuklina u laissez-faire idili. Povjesničari su zabilježili periodične krize, ekstreme siromaštva i nejednakosti, duboko ukorijenjenu rasnu diskriminaciju i trovanje vode, zemlje i zraka zagađivanjem.

Početak 1890-ih SAD su postupno napuštale vjerovanje da ona "država upravlja najbolje koja upravlja najmanje". Ustavne ovlasti široko su tumačene i korištene da se osigura "javni interes" i "politiku" ekonomskog sustava. Godine je 1887. osnovana savezna Međudržavna trgovačka komisija (ICC) da bi se regulirao željeznički promet preko državnih granica. Zatim slijedi Shermanov antitrustovski zakon i ostali zakoni usmjereni protiv monopolističkih kombinacija "ograničavanja trgovine".

Tijekom 1930-ih godina čitav skup industrija došao je pod ekonomsko reguliranje, u skladu s kojim država određuje cijene, uvjete izlaska i ulaska i standarde sigurnosti. U tu skupinu prvenstveno spadaju industrije električne energije, telefoni, plin, cjevovodi, zrakoplovna poduzeća, teglenički i vodni promet, kamionski prijevoz, financijska tržišta te nafta.

Uz reguliranje cijena i standarda poslovanja, država je pokušavala zaštititi zdravlje i sigurnost putem sve jačeg socijalnog osiguranja.

Zadnje je desetljeće posvećivalo veću brigu za osiguranje da probici od reguliranja budu veći od troškova. Povratak laissez-faire eri nije vjerojatan. Ljudi su prihvatili ograničenja država koja su mijenjala istinsku narav kapitalizma.

2.2. Povijesni aspekt razvoja regulacije elektroenergetskog i telekomunikacijskog sektora

Države reguliraju određene industrije na različite načine kako bi postigle različite ciljeve. Kao što smo prethodno spomenuli, nekoliko industrija ima poseban tretman zbog njihovog jedinstvenog značenja za društvo. Pojedine države nazivaju te industrije "područjima od javnog (državnog) interesa" [1].

Telekomunikacije

Sve donedavno telekomunikacije su u većini zemalja bile tretirane kao usluge od općeg javnog dobra, is-

ključivo upravljane od strane države, tipično kroz PTT organizacije (Pošta, Telegraf, Telefon), tj. državno regulirane monopolne operatore, ili kroz ministarstva nadležna za poštu i telekomunikacije.

Povijesni odnosi vlada nacionalnih država s razvojem telekomunikacijske (tj. telefon i telegraf) industrije dovele su do različitih razvojnih putova koji su rezultirali u većini zemalja u uspostavljanju državnih PTT organizacija.

Neke države su smatrale telegraf i telefon specijalno važnim za sigurnost i obranu zemlje. Neke druge smatrale su je produženom rukom socijalne uloge države. Drugima se činilo najzgodnijim da pripoje telekomunikacijski sustav poštanskom sustavu ili jednostavno da imitiraju ono što su napravile susjedne zemlje.

Tradicionalna ideja koja je prevladavala jest ta da su telekomunikacije *prirodan monopol*. Pokušaji drugih da na bilo koji način pruže bilo kakvu telekomunikacijsku uslugu gotovo uvijek su završavali neuspjehom.

Većina država smatrala je mogućnosti novih telekomunikacijskih usluga primarno kroz socijalnu ulogu države, a ne kao usluge koje bi trebala nuditi privatna poduzeća na konkurentnim tržištima.

U SAD-u su 1844. i 1876. g. izumljeni telegraf i telefon. Razvoj telegrafa i telefona primarno je išao u pravcu zadovoljenja poslovnih i državnih potreba, a ne za širu javnost. No, ubrzo već u samom početku 20. st. telekomunikacijska industrija je prepoznata kao specijalno poslovno područje s javnim interesom i tako postala subjektom državne regulacije.

Kako su telekomunikacijske aktivnosti bivale sve više integrirane u rad kompanija, državnih službi i većine ostalih organizacija, kao i u ekonomsko i socijalno ponašanje pojedinaca, postojala je sve veća spoznaja da produktivnost ukupnog gospodarstva ovisi i o efikasnom telekomunikacijskom sustavu. Telekomunikacije moraju biti prilagodljive i spremne na različite tipove potražnje i nove tehnološke izazove.

Telekomunikacijski sustavi ubrzano postaju elektroničkom infrastrukturom za prijenos svih oblika informacija – glas, grafika, video, muzika. Te informacije su temelji za računalnu, bankarsku, televizijsku i ostale industrije.

Danas se telekomunikacije prepoznaju kao integralni dio gospodarskog i socijalnog razvoja u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju. Same po sebi telekomunikacije ne mogu garantirati razvitak. Ali bez njih, razvitak u mnogim drugim područjima bio bi uvelike ograničen, skuplji i u nekim slučajevima nemoguć.

Elektroenergetski sektor

Kratki pregled povijesnog razvitka

Elektroenergetski sektor egzistira više od 100 godina. Tijekom jednog stoljeća ovaj sektor je iskusio mnoge

valove promjena i regulatornih pristupa, što je potaknuto tehničko-tehnološkim i gospodarskim razvojem. Ključne evolutivne faze prema [4] su:

1870-ih – 1920-ih:

Karakteristična je fragmentacija industrije i privatni oblik vlasništva. U mnogim dijelovima Europe nije bilo regulacije, a razvoj se usmjeravao na područja s velikom potrošnjom (npr. tvornice automobila).

1920-ih – II. svjetski rat:

Države uviđaju električnu energiju kao potrebu. Javlja se javne investicije, ali je industrija i dalje fragmentirana.

Drugi svjetski rat – 1960-ih:

Sektor je smatran prirodnim monopolom. Neke države su konsolidirale i nacionalizirale elektroenergetski sektor; neke su primijenile ekonomsku regulaciju.

1970-ih

Naftna kriza. Promjene na svjetskim tržištima nafte dovode do usmjerenja prema nuklearnoj energiji. Identifikacija ekonomija vertikalne integracije između proizvodnje, prijenosa i distribucije.

1980-ih – 1990-ih

Jeftinija koordinacija procesa zbog pada cijena informatičko komunikacijske opreme. Troškovne promjene u proizvodnji električne energije – razvoj kombiniranih plinskih turbina. Proces reformi u sektoru obuhvaćaju razvitak konkurencije u proizvodnji i dobavi.

Regulatorna reforma elektroenergetskog sektora uključuje kompleksno međudjelovanje različitih faktora.

industrija snažno horizontalno i vertikalno integrirana. Uspješnost reforme uvelike će zavisiti od početnih uvjeta i pozicija.

3. MONOPOL (NE)SAVRŠENA KONKURENCIJA

U današnjoj ekonomiji savršeno konkurentna tržišta su vrlo željen i rijetko ostvaren ideal. Podsjetimo se da su savršeno konkurentna tržišta ona na kojem je svako poduzeće odveć malo da bi utjecalo na tržišnu cijenu. Savršeno konkurentna tržišta ne generiraju ni viškove ni manjkove, jer optimalno alociraju resurse.

Vodeći se tom definicijom, lako je spoznati da je danas u svijetu malo tržišta savršeno konkurentno. Još do prije dva desetljeća monopolna tržišna struktura u elektroenergetskoj i telekomunikacijskoj industriji smatrana je optimalnom (savršenom) tržišnom strukturom iz nekoliko razloga [5]:

1. Zbog postojanja proizvodnje velikih razmjera i opadajućih troškova ove industrije imaju vrlo malo prodavatelja tih usluga. U tim uvjetima velika poduzeća imaju ekonomiju obuhvata¹ i ekonomiju opsega². Dakle veća poduzeća imaju troškovnu prednost nad manjim poduzećima.
2. Obje industrije su smatrane vitalnim za nacionalni (sigurnosni) interes, stoga su od država postavljene "zapreke ulasku" novim konkurentima putem zakonskih ograničenja i propisa.

Povijesno gledano, javne usluge, kao što su telefon ili poduzeća za proizvodnju električne energije, gledani su kao prirodni monopol. Dakle, razlozi se očituju u tome

Tablica 1. Različite vrste nesavršene konkurencije i osnovne osobine različitih tržišnih struktura, [5]

Struktura	Broj proizvođača i stupanj diferencijacije proizvoda	Dio ekonomije u kojem prevladava	Stupanj u kojemu poduzeće nadzire cijenu	Metode prodaje
Savršena konkurencija	Mnogo proizvođača Identični proizvodi	Financijska tržišta i neki poljopr. proizvodi	Nikakav	Tržišna razmjena ili aukcija
Nesavršena konkurencija (Monopolistička konkurencija) (mnogo diferenciranih prodavatelja)	Mnogo proizvođača: mnogo stvarnih ili prividnih razlika u proizvodu	maloprodaja (benzin, osobna računala)	Neki	Oglašavanje i suparništvo u kvaliteti; upravljane cijene
Oligopol	Mali broj proizvođača: mala ili nikakva razlika u proizvodu Mali broj proizvođača: određena diferencijacija proizvoda	Čelik, kemikalije Auto, zrakoplov...		
Monopol	Samo jedan proizvođač; proizvod bez bliskih supstituta	električna energija, mjesni telefon, plinska infrastruktura ("prirodni monopoli")	Znatan, ali obično reguliran	Oglašavanje i promidžba usluga

Postoji dinamična međuzavisnost između restrukturiranja, promjena u vlasništvu, promjena u regulatornim institucijama i uvođenja konkurencije. Restrukturiranje i promjena vlasništva i regulatorne institucije su preduvjet za uvođenje konkurencije, posebno ako je

¹ To su ekonomije proizvodnje mnogih dobara ili usluga. Ekonomije obuhvata postoje ako je jeftinije proizvoditi dobra X i Y zajedno nego odvojeno (economies of scope).

² Povećanje proizvodnosti ili smanjenja prosječnih troškova proizvodnje, koja proizlaze iz povećanja svih faktora proizvodnje i istoj proporciji (economies of scale).

da su takva poduzeća imala visoke fiksne troškove i relativno niske troškove osiguranja dodatnog telefona ili kilovat sata električne energije. Osim toga, postojanje bi dvostrukih mreža za električnu struju ili telefonskih kabela bilo ekonomski neisplativo. Teško da ima smisla uvoditi dva ista skupa telefonskih žica u kuću.

Osim gore navedenih osnovnih ograničenja ulasku novih konkurenata na tržište monopolist ima prednosti zbog:

- kontrole esencijalnih resursa (npr. radio frekvencije, pravo prolaza, lokalna petlja...)
- koristi od vertikalne ekonomije (npr. proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije se odvija u istom poduzeću)
- kontrolu nad standardima i razvojem (patenti, intelektualna prava...)
- čestih unakrsnih subvencija cijena usluga.

U današnjem pogledu razmatranja monopola u spomenutim industrijama, monopol je ekstremni oblik nesavršene konkurencije. Nesavršena konkurencija prevladava u industriji kad god pojedinačni prodavatelji imaju određeni nadzor nad cijenom njihova proizvoda.

Kako je praksa u proteklom stoljeću pokazala, monopolna tržišna struktura u industrijama elektroenergetike i telekomunikacija pokazala se štetnom iz više razloga:

- Cijene usluga i proizvoda su visoke
- Ponuda usluga i/ili proizvoda je nedovoljna
- Kvaliteta usluga nije na zadovoljavajućoj razini
- Niža je produktivnost rada zbog prevelikog zapošljavanja radne snage
- Slabija ponuda usluga i/ili proizvoda
- Interna organizacija je neefikasna i niža je ukupna produktivnost poduzeća
- Rente kapitala i rada su precijenjeni
- Profiti su viši negoli u konkurentnom okruženju.

3.1. Zašto regulirati ova tržišta?

Tradicionalno je ekonomsko stajalište o reguliranju normativno: regulatorne bi se mjere trebale poduzimati da se isprave glavni nedostaci tržišta. Država bi posebno trebala regulirati industriju u ekstremnom slučaju prirodnog monopola. Ona to čini jer prirodni monopolist koji ima veliku troškovnu prednost ispred svojih potencijalnih konkurenata i neelastičnu potražnju na cijenu, dobiti velike monopolske profite i stvoriti velike ekonomske nejednakosti.

U početku se reguliranje opravdavalo sa sumnjivih stajališta da je ono nužno za sprječavanje nesmiljene konkurencije i državnog interesa. Upravo je konkurencija s povećanom efikasnošću i niskim cijenama točno ono što postiže svaki efikasni tržišni sustav.

Proces re-regulacije ovih tržišta bio je potaknut od mnogobrojnih čimbenika uključujući:

- Povećanu spoznaju i pozitivna iskustva da liberalizirana tržišta imaju više stope rasta, da su inovativnija te bolje poslužuju svoje korisnike,
- Potrebu da se privuče kapital iz privatnog sektora potreban za proširenje i nadogradnju infrastrukture te uvođenje novih i inovativnijih usluga,
- Razvoj međunarodne trgovine uslugama koje se u povećanoj mjeri pružaju od transnacionalnih i globalnih davatelja usluga.

4. ULOGA REGULACIJE

U procesu tranzicije tržišta od monopola prema konkurentnim tržišnim strukturama regulacija je nužna da se promovira javni interes iz nekoliko razloga:

- Kontrolirati zlouporabu dominantne tržišne snage
Posebice kad se radi o "incumbent" operateru, tj. bivšem monopolistu. Korisnici se moraju zaštititi od zlouporabe velike tržišne snage, a ona se tipično reflektira kroz: visoke cijene i insuficijenciji ponude, nisku kvalitetu usluge i pouzdanost, sporije vrijeme popravka kvarova, manjkavost u uvođenju novih usluga, netočnim i nekonzistentnim računima za obavljanu uslugu i sl. Osim korisnika i novi tržišni igrači također moraju biti zaštićeni od ovih operatera.
- Stimulirati tržišnu konkurenciju
To znači akciju na nekoliko frontova. Prvo, novi igrači trebaju pristup oskudnim resursima koji su inicijalno bili pod kontrolom "incumbent" operatera (npr. pravo prolaza, frekv. spektar, numeracija). Drugo, efikasni razvoj konkurencije dovodi nove igrače u situaciju da usluge ponude i korisnicima "incumbent" operatera, te bi oni trebali imati mogućnost korištenja postojeće infrastrukture po troškovno utemeljenoj cijeni. Tako pitanje interkonekcije (međuspajanja) ima centralnu ulogu u zdravom razvitku konkurencije.
Treće, potrebna je kontinuirana budnost regulatora nad antikonkurentskim praksama, posebno "incumbent" operatera (npr. uvjeti prodaje, interkonekcija, unakrsne subvencije, unakrsne vlasničke strukture i sl.) ali to vrijedi i za nove igrače.
- Stvoriti povoljnu investicijsku klimu
Države trebaju pronaći načine da privuku privatne investicije u elektroenergetski i telekomunikacijski sektor radi poboljšanja javnih usluga. Investitori moraju biti sigurni u pravila igre na čemu počivaju njihova ulaganja. Posebice moraju biti osigurani od *de facto* izvlaštenja ili umanjenja zajamčenih prava kroz državne intervencije (npr. nove obveze glede usluga, porezi i sl.).
- Premostiti razvojni jaz
Dugoročni cilj razvitka ovih djelatnosti treba biti usmjeren ka određenim pokazateljima uspješnih, tj. razvijenih zemalja. To uključuje i osiguranje pristupa usluzi u ruralnim područjima kao i u siro-

mašnim područjima zemlje. Pitanje univerzalne usluge je pitanje u koji se može uključiti i država sa svojim financijskim sredstvima kako bi osigurala određeni oblik usluge svim svojim građanima.

4.1. Struktura nezavisnog regulatora

Nezavisan regulator u prvom redu mora biti objektivan i nezavisan čimbenik u primjeni regulacijskih instrumenata i specifične legislative bez pokušaja utjecaja bilo koje zainteresirane strane.

Prema [7] nezavisnost se dodatno može učvrstiti ako je:

- Regulator organizacijski odvojen od Vlade. U pravilu je regulator državno upravno tijelo "sui generis" kojeg imenuje država, te koje u pravilu ima zakonsku autonomiju u donošenju odluka, što dovodi do povećane percepcije neutralnosti s gledišta investitora.
- Članovi regulacijske komisije koji donose odluke su postavljeni od strane parlamenta ili nekog drugog vrhovnog tijela civilne vlasti.
- Regulator upravljani od strane kolegija (tj. komisije) koja broji nekoliko članova, a ne od strane jedne osobe (npr. generalni direktor). Poželjno je da broj članova komisije bude veći tim više ako se radi o manje stabilnim gospodarstvima, kako bi se umanjio utjecaj zainteresiranih strana i ojačalo povjerenje investitora. Osim toga takva praksa potiče načelo demokracije u odlučivanju i podiže kredibilitet takvih odluka.
- Regulator podnosi izvješće tijelu koje ne donosi političke odluke u sektoru.
- Davatelji usluga imaju pravo žalbe ili spora protiv odluke regulatora pred najmanje jednim tijelom, s tim da u zadnjem stupnju to mora biti sud. U Republici Hrvatskoj to je Upravni sud RH. U praksi sud ne ulazi u meritum odluke, već reagira ako je pogrešno primijenjeno materijalno pravo ili kada je povrijeđena procedura upravnog postupka.
- Regulator ima autonomiju u vođenju personalne politike. Time se mogu privući kvalitetni stručnjaci čija primanja nisu u okvirima državnih tijela, te se stimulira njihova nepristranost.
- Način financiranja u potpunosti ili djelomice neovisan je o državnom budžetu (npr. od naknade za licence, godišnjih naknada operatera i sl.). Time se povećava percipirana neutralnost od države (Vlade) što povećava kredibilitet i percipiranu neutralnost u donošenju odluka.

Važno je istaknuti da nije cilj imati nezavisnog regulatora *per se*, već efektivni regulatorni okvir koji će tržište učiniti konkurentnijim, stimulirati tehnološku difuziju i povećati efikasnost, istodobno osiguravajući probitke za korisnike.

Ono što sa sigurnošću možemo zaključiti jest da je nužno osigurati određeni stupanj nezavisnosti koji je

potreban da regulatorno tijelo implementira svoju regulatornu snagu bez ikakvih utjecaja sa strane.

U nekim državama, odvajanje operatora od državne administracije stvara oportunitet da se zadrže visokokvalificirani i nekorumpirani zaposlenici s konkurentnim osobnim dohocima. Konačno, mora biti jasno da "nezavisnost" regulatora ne znači nezavisnost od zakona i državne politike. Mandat nezavisnog regulatora mora biti jasno definiran u nacionalnom zakonodavstvu. Regulatori moraju biti odgovorni zakonodavnom tijelu ili nekom drugom državnim tijelu. Takva odgovornost uključuje mehanizme, poput primjerice godišnjih izvješća, u kojima regulator mora na transparentni način demonstrirati svoj mandat.

U zemljama s nestabilnim političkim, pravnim i ekonomskim okruženjem (zemlje u tranziciji) uspostavljanjem nezavisnog regulatora i odvajanjem od državne uprave i operatora postavlja se kao *conditio sine qua non* uspješne regulacije i privlačenja stranih investicija u gospodarstvo.

Takvi regulatori moraju biti pod povećalom javnosti i gotovo dvostruko "nezavisni" kako bi sa svojom strukturom, odlukama i aktivnostima dobili povjerenje javnosti i potencijalnih stranih ulagača.

Razdvajanje regulatora od tržišnih igrača stimulira pouzdanost u tržište i promovira usklađenost s međunarodnim trgovinskim obvezama. Razdvajanje od utjecaja države povećava percipiranu neutralnost i izoliranost od političkih ili operativnih pritisaka.

Hrvatska je u telekomunikacijskom sektoru tek od prije nekoliko godina zakonski oformila regulatora u telekomunikacijama (NN 68/01) – Vijeće za telekomunikacije, te isto i za energetske sektor – Vijeće za regulaciju energetske djelatnosti (NN 68/01).

5. NAČELA REGULATORNOG PROCESA I EFIKASNE REGULACIJE U TRANZICIJSKIM GOSPODARSTVIMA

5.1 Regulatorni proces

Ovisno o zakonskim okvirima regulatori koriste razne oblike "regulatornih instrumenata" poput: regulativa, odluka, naredbi, dekreta, pravila, smjernica, rezolucija i obavijesti.

Donošenje regulatornih odluka predstavlja težak zadatak. Zainteresirane strane mogu žestoko lobirati i utjecati na konačni rezultat regulativnih odluka. U većini slučajeva jedna strana će biti zadovoljna s odlukama, dok druga neće. Odlučni regulatori nužno stvaraju pobjednike i gubitnike u pojedinim situacijama. Neodlučni regulatori često da bi izbjegli uvrijediti pojedinu stranu pokušavaju prolongirati odluke ili kreiraju nedjelotvorne kompromise. Takva neodlučnost i kompromisi mogu štetiti razvoju sektora i nacionalnog gospodarstva, a u krajnjem slučaju nikome ne pomažu.

Principi efikasnog regulatornog donošenja odluka prema [10] uključuju:

- Transparentnost
- Profesionalizam
- Efikasnost
- Nezavisnost.

Zakoni pojedinih zemalja postavljaju smjernice i ograničenja na regulatorni proces donošenja odluka. Procedure i pravila variraju od zemlje do zemlje te od zakonodavstva do zakonodavstva. Ali postoje zajednički trendovi. Dva temeljna pravila koji se zapažaju u većini zemalja prema [10] su:

- 1) Osigurati svim zainteresiranim stranama mogućnost da izlože svoj stav prije donošenja konačne odluke koja može utjecati na njih. Ovo pravilo je ponekad opisano latinskom maksimom "*audi alteram partem*" ili "čuj drugu stranu". Primjena ovog pravila promovira transparentno donošenje odluka.
- 2) "Nemoj biti sudac u svom slučaju". Ovo pravilo je utemeljeno u drugoj latinskoj maksimi "*nemo iudex in sua causa debet esse*". Naime, regulatori bi trebali izbjegavati pristranost u bilo kojem pogledu.

Iako ova pravila ne pokrivaju sve aspekte efikasnog donošenja odluka, ona ipak promoviraju kredibilitet i nepristranost u donošenju odluka.

5.2. Elementi uspješnih regulatornih strategija u tranzicijskim ekonomijama

Mjere za ojačavanje regulatorne okoline mogu sadržavati niz aktivnosti poput: etabliranja specijalizirane agencije za regulaciju tržišta, uspostavljanja regulatornog tijela prije procesa privatizacije, osiguranja financijske i administrativne autonomije, zapošljavanja kompetentnog osoblja, uspostavljanja procesa podneska zahtjeva, postavljanja jasnih granica i veza s drugim institucijama, te davanja regulatornoj agenciji autoriteta za provedbu svojih odluka.

U tranzicijskim ekonomijama, pored gore navedenih mjera, bit će potrebno uvesti i neke druge mjere kako bi se čvrsto izgradio robustan regulatorni okvir. Naime, kod zemalja u tranziciji koje u načelu obilježava neefikasna državna uprava, česte promjene vlasti, te veća ili manja korupcija, postoje ograničena administrativna i stručna znanja.

Stoga u takvim zemljama izgradnja robustnog regulatornog okvira mora sadržavati između ostalog i sljedeće:

- *Reduciranje potrebe za odlukama regulatora*
- *Ojačavanje uloge regulatorne agencije kao arbitra*
- *Podizanje kredibiliteta regulatorne agencije*
- *Efikasno korištenje resursa.*

5.2.1. Reduciranje potrebe za odlukama regulatora

Želja za provođenjem reformi i operativni planovi očekuju od regulatorne agencije da učini mnogo stvari

odjednom. Pragmatični pristup je taj da se reduciraju regulatorna uplitanja u tržište, posebno na početku.

Uspostava regulatornih pravila prije reguliranja

Preporuka je da se prava i obveze individualnih operatera ili grupe operatera propišu kroz licence, ugovore ili zakone. Tako propisana pravila igre su transparentna i ojačavaju povjerenje investitora. Jedan od ograničavajućih faktora u liberalizaciji tržišta vezano je uz efikasno rješavanje pitanja interkonekcije. Dosadašnja praksa u svijetu je pokazala da pitanje interkonekcije ima presudni utjecaj na novog igrača. Preporuka je da se detaljno propišu pravila i okvir efikasnog rješavanja ovog pitanja, po mogućnosti prije liberalizacije tržišta.

Nametnuti razumne obveze operaterima

Nametanje teških i neostvarivih uvjeta operaterima u neku ruku može se smatrati dobrim za državu, ali u praksi dugoročno ne daje dobre rezultate. Primjerice, nametanje vrlo uskih rokova izgradnje i puštanja u rad mreže koja idu ispod komercijalne isplativosti investicija (primjerice kao uvjet za privatizaciju) dovodi do povećanog rizika za te kompanije. U tom slučaju takve kompanije mogu tražiti i specijalne privilegije (npr. produženi ekskluzivitet za određene vrste pružanja usluga), što dovodi do kasnijeg mukotrpnog pregovaranja oko promjena tih uvjeta, budući da takve obveze nisu povoljne za razvoj tržišta na dugi rok. Regulator prvenstveno mora djelovati u pravnim okvirima nacionalnog zakonodavstva, tj. tretman svih igrača na tržištu mora biti u skladu s njenim pozitivnim zakonskim propisima

Pojednostavniti proceduru dobivanja licenci

Određene vrste usluga se moraju licencirati, uz prijavu nadležnom tijelu. I zakonodavstvo Europske unije određuje maksimalno pojednostavljenje prilikom dobivanja licenci ili koncesija, posebice ukoliko se ne radi o ograničenim resursima (poput npr. radiofrekvencijskog spektra). Na iznenađenje, mnoge zemlje koje su prihvatile prokonkurentna pravila u svojim zakonodavstvima od početka imaju zahtjev da se licenciraju svi novi igrači. Takva praksa predstavlja pretjerani angažman regulatora i stvaraju se umjetni uvjeti za pritiske, korupciju i ostale zakulisne igre. Nema potrebe ograničavati broj ulagača ukoliko za to ne postoje tehnički opravdani razlozi.

Rano izvršiti rebalans cijena

Ukoliko se zadaća rebalansa ostavi u rukama novoprivatiziranih kompanija, to dovodi do poteškoća za regulatora i razvoj tržišta. Primjer je to Argentine, koja nije uspjela rebalansirati cijene prije privatizacije, što je u kombinaciji sa slabošću institucija rezultiralo šestogodišnjim konfliktom regulatorne agencije, reguliranih kompanija, vlade, opozicije, udruženja potrošača i cijelom plejadom sudskih postupaka. Lekcija je naučena: Novi val privatizacije u elektroenergetskom i plinskom sektoru dogodio se nakon rebalansa cijena.

Uganda je 1998 g. uspješno napravila rebalans cijena u telekomunikacijskom sektoru i liberalizirala je tržište prije uvođenja drugog nacionalnog operatera, što je dovelo do visokog nivoa stranih investicija.

Reducirati regulaciju na konkurentnim tržištima

Jedan od temeljnih rezona regulacije jest taj da treba regulirati one operatere koji bi mogli zbog svoje znatnije tržišne snage blokirati daljnji razvoj tržišta. Međutim, kako tržište postaje kompetitivnije regulatori moraju sukladno tome reducirati uplitanje u tržišne mehanizme, te jednostavno propisati opće uvjete poslovanja i pustiti tržištu da se samoregulira.

Trend promatranja telekomunikacijskih i elektroenergetskih usluga kao usluga s kojima se može trgovati, postala je subjektom komercijalnih i trgovačkih pravila, prvenstveno na regionalnom nivou (EU) i kroz međunarodne dogovore (WTO).

5.2.2. Ojačati ulogu regulatorne agencije kao arbitra

Jedno od glavnih zadaća regulatora odnosi se na njegovu poziciju da može efikasno presuditi između dva ili više utjecajnih igrača.

Ubrzati konkurenciju

Brzo otvaranje tržišta, osim što dovodi do ubrzanja svih probitaka od liberalizacijske reforme, olakšava posao i regulatorima. Nije više pitanje da li imati konkurenciju (tradicionalni argumenti za ekskluzivitet, makar i privremeni više ne stoje), već koliko je brzo uvesti na tržište. Otvaranje tržišta za konkurenciju u infrastrukturnoj domeni, dovodi do značajnih poboljšanja performansi postojećih operatera. Više igrača na tržištu osigurava regulatoru alternativne izvore informacija (npr. o troškovima), reducira se rizik da regulator bude u odnosima s jednim operaterom, te se umanjuje korištenje političke i ekonomske snage dominantnog operatera. Otvaranje tržišta najjednostavnije je na početku procesa reformi (npr. prije ili usporedo s privatizacijom), kada velika nezadovoljena potražnja omogućava postojećem i novom igraču da raste i osvaja tržište.

Zaštititi interese potrošača

Širi aspekt djelovanja regulatora jest zaštita interesa potrošača, tj. građana. U razvijenom svijetu regulatorne agencije ne djeluju samo u uskim zakonskim okvirima, već i u adekvatnom političkom okruženju promovirajući udruženja potrošača koja brane interese krajnjih korisnika i promoviraju širi javni interes.

5.2.3. Ojačati kredibilitet regulatora

Treći skup elemenata koji doprinosi razvoju robustnog regulatornog okvira u situacijama nestabilnih i nejakih državnih institucija odnosi se na ojačavanje kredibiliteta regulatora. Nekoliko je čimbenika bitno uključujući: odgovarajuće propise u okvirima nadležnosti

regulatorne agencije, autonomiju u odlučivanju, pristup informacijama, utvrđene i jasne rokove žalbe, ojačavanje mogućnosti izvršenja odluka, stručnost kadra i nemogućnost smjenjivanja članova, osim zakonski predviđenim razlozima. Uz te, postoje još i dodatne mjere:

Primijeniti transparentan regulatorni proces

Transparentnost u donošenju odluka ojačava kredibilitet agencije i legitimitet odluka. Takav princip dovodi do povećanja povjerenja investitora. Jedan značajan element transparentnosti su javne konzultacije o glavnim regulatornim pitanjima, što pomaže u edukaciji regulatornom tijelu i zaniteresiranim stranama o konkretnim faktima i omogućava sagledavanje alternativnih odluka. Korištenje konzultativnih dokumenata ima prednosti administrativne jednostavnosti, širokog pristupa i brzog prikazivanja odluka.

Iskoristiti javnu potporu

Održivost regulatorne agencije uvelike ovisi o povjerenju javnosti i njenoj potpori. Tako se agencije ne bave samo arbitriranjem između nekih usko specijaliziranih tehničkih pitanja, već i o pitanjima koja se odnose na krajnje korisnike. Kako je to riješeno ovisi od zemlje do zemlje, ali neki primjeri uključuju pitanja: ispravnosti računa i naplate, ponovno razmatranje uvjeta poslovanja operatera, kvalitetu usluge, geografsko pokrivanje, te pristup univerzalnoj usluzi.

Pridržavanje međunarodno potpisanih ugovora

Države mogu poduzeti formalne korake ka dostizanju određenih ciljeva koji su izvan dosega nacionalnog zakonodavstva. Države koje su primjerice potpisale ugovor o pristupanju Svjetskoj trgovinskoj organizaciji (WTO) imaju određene obvezujuće terminske rokove u implementaciji reformskih planova pomoću zajednički dogovorenih regulatornih principa i pravila.

Pozajmice i krediti od multilateralnih organizacija (npr. Svjetska Banka) često uključuju posebne formalne uvjete koje država mora usvojiti kako bi se reducirao regulatorni rizik.

5.2.4. Efikasno korištenje resursa

Četvrta razina odnosi se na efikasno korištenje resursa. U tom smislu, potrebne su različite vještine, budući da se fokus regulatornih aktivnosti odnosi na tri polja: odnosi između operatera i države (licenciranje), odnosi među operaterima (interkonekcija) i odnosi između operatera i korisnika (cijene, pritužbe).

Oslanjanje isključivo na unutarnje vještine i znanja s vremenskog aspekta, nije najbolji način dobivanja i raspolaganja širokog spektra potrebitih kompetencija.

Outsourcing nekih regulatornih funkcija

Mogući je outsourcing nekih regulatornih funkcija privremeno ili stalno, dok se ne uspostavi određena kompetencija unutar regulatornog tijela. Neki primjeri

su: odnosi sa pritužbama korisnika (npr. ugovor s udruženjima potrošača), tarifna pravila (npr. ugovor s revizorskim kućama), nadzor nad tehničkom kontrolom ispunjenja uvjeta iz dobivenih licenci i sl. No, konačne odluke su uvijek u rukama regulatora.

Primijeniti alternativne načine rješavanja sporova

Sporovi i konflikti naglo rastu između "incumbent" operatera i novih, između novih operatera, i između operatera i regulatora. Sami resursi regulatora, administracije i sudstva mogu brzo biti prenapučeni kompleksnošću i povećanim brojem slučajeva. Postoji široki niz alternativnih načina da se izbjegnu sporovi što uključuje pregovaranje, posredovanje i arbitražu, što je preporučljivo iskoristiti u ovim slučajevima.

Iskoristiti znanje operatera

U većini zemalja najveća koncentracija znanja iz telekomunikacijske i elektroenergetske industrije nalaze se u samim kompanijama koje pružaju te usluge. Ova informacijska asimetrija dovodi regulatora u lošiju poziciju, ali je preporuka iskoristiti znanja iz industrije u korist regulatora. Primjerice, takve kompanije se mogu obvezati da dostavljaju u određenim vremenskim intervalima detaljne prijedloge revidiranja svojih cijena, ako je to propisano u Zakonu. Regulator proučava prijedlog te uz eventualnu pomoć konzultanata oko nekih specifičnih stvari odobrava ili ne taj prijedlog.

Multisektorske agencije

Mnoge siromašne zemlje si ne mogu priuštiti financijske i ljudske resurse za odvojenu regulatornu agenciju za svaki sektor. Polazeći od toga da regulacija infrastrukturnih gospodarskih djelatnosti (kao npr. električna energija, plin, voda i promet) imaju mnogo toga zajedničkoga (ali i bitnih različitosti) moguće je oformiti jednu multisektoralnu agenciju za sve navedene djelatnosti. Takva agencija može zaposliti kvalitetniji ključni kadar nego li to možda može svaka agencija zasebno. Također, manje je vjerojatno da će takva agencija biti pod utjecajem jednog operatera ili jednog nadležnog Ministarstva.

6. ZAKLJUČAK

Unatoč značajnoj društvenoj ulozi regulacije elektroenergetskog i telekomunikacijskog sektora koja se očituje u promoviranju interesa korisnika (potrošača) i poticanju konkurencije na tržištu, praksa je pokazala da se regulatorne agencije često susreću s nedostatkom resursa, te s izazovima raznih interesa u paketu s različitim lobiranjima i širenjem krivih informacija.

Navedeno se posebice odnosi na tranzicijske zemlje. Naime, u tranzicijskom procesu pretvorbe načina funkcioniranja gospodarstva i cjelokupne države, novouspostavljene državne uprave ne obiluju kritičnom masom znanja potrebnim za efikasno "upravljanje" ovim tržištima.

Premda ne postoje univerzalni recepti koji će omogućiti uspješnu primjenu regulatornih pravila, elementi navedeni u ovom članku zasigurno bi trebali povećati *output* regulacije.

Za svaku pojedinu zemlju bilo bi potrebno sistematizirano razložiti svaki element u skladu s njenim specifičnostima.

Pozitivna svjetska iskustva (de)regulacije ovih tržišta, te značajni popratni efekti provedenih reformi poput: povećanja zaposlenosti, produktivnosti, investicija, pada cijena usluga i poboljšanja kvalitete trebali bi postati zamašnjak u efikasnoj regulaciji ovog sektora kao i djelomičnoj nadoknadi propuštenih društveno socijalnih probitaka od relativno kasne liberalizacije ove industrije.

Kako je Hrvatska na samom začetku regulacije obaju tržišta, jednim dijelom je u prednosti jer može naučiti na iskustvima drugih zemalja u svijetu, a istodobno je i pred velikim izazovom i pritiskom, jer je potrebno što prije nadoknaditi propuštene društvene, socijalne i gospodarske probitke.

LITERATURA

- [1] W. H. MELODY: "Telecom reform: Principles, Policies and Regulatory practices", Technical University of Denmark, Lyngby, 1997.
- [2] Ekonomski leksikon, LZ "M. Krleža", Masmmedia, Zagreb, 1995.
- [3] D. DVORNIK: "Efikasno upravljanje regulatornom reformom telekom tržišta", Tržište, Vol. XIII, br. 1/2 2001, str. 59-68.
- [4] OECD "Electricity reform-An IEA Handbook", OECD/IEA, 1999.
- [5] P. A. SAMUELSON, W. D. NORDHAUS: "Ekonomija", 15. izdanje, prijevod na hrvatski jezik, naklada Mate, Zagreb, 2000.
- [6] D. SABOLIĆ: "Načela i praksa deregulacije", Energija, Vol. 51, No. 5, Zagreb, listopad 2002.
- [7] OECD "Telecommunications Regulations: Institutional Structures and Responsibilities", OECD, Paris, 2000.
- [8] Zakon o Telekomunikacijama RH, Narodne Novine, br. 76/99, 128/99, 68/01, Zagreb
- [9] Zakon o regulaciji energetske djelatnosti, Narodne Novine, br. 68/2001 i 109/2001, Zagreb
- [10] J. OLIVER et al.: "Telecommunications Regulation Handbook", World Bank, USA, 2000.

(DE)REGULATION DEVELOPMENT AND RECOMMENDATIONS FOR COUNTRIES IN TRANSITION

There are no common rules for resolving problems of inefficient market regulation. Having in mind that the regulation goal is not regulatory agency *per se* but a competitive market, it is possible by adaptation of many elements of the regulatory frame to realize better performances of the sector, which is extremely important at the beginning of the regulatory agency work.

In the paper historical aspect of development and (de)regulation of electric power and telecommunication market is given. Economic aspects of monopoly arrangements in those two industries are discussed and reasons for new market regulation of these industries are given. At the end basic principles of successful (de)regulation are given as well as corresponding recommendation package for transient countries.

DE)REGULIRUNGSENTWICKLUNG UND VORSCHLÄGE FÜR WIRTSCHAFTEN IN ÜBERGANGSPHASE

Es bestehen keine allgemein gültige Regeln für die Lösung von Fragen einer unwirksamen Marktregelung. Den konkreten Markt -und nicht etwa die regelnde Geschäftsstelle an sich- als primäres Ziel im Auge haltend, ist es möglich, unter Anpassung einer Reihe von Grundsätzen des breiteren Regelungsrahmens, bessere Vorstellungen zu schaffen. Das ist in den Tätigkeitanfängen der Regulierungsgeschäftsstelle von besonderer Bedeutung.

Im Artikel wird die Übersicht der geschichtlichen Entwicklung und der (De-)Regulierung des Marktes der Stromver-

sorgung und des Fernmeldewesens dargestellt. Danach setzt man sich mit wirtschaftlichen Sichtpunkten der monopolistischen regelung dieser Wirtschaftszweige auseinander und man erklärt die Gründe derer erneuten Marktregelung. Endlich werden Grundregeln einer erfolgreichen (De-)Regulierung und ein dementsprechender Ratsschlagesatz für Länder in Übergangspphase dargelegt.

Naslov pisca:

Mr. sc. Darko Dvornik, dipl. ing.
Vijeće za telekomunikacije
Jurišićeva 13
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2003 - 04 - 17.

LITERATURA

[1] W. H. MELLOY: "Telecom reform: Principles and Regulatory practices", Technical University of Denmark, Lyngby, 1997.
[2] Ekonomski leksikon, I.2, M.B.A. Zagreb, Marenčević, 2000.
[3] D. DVORNIK: "Telekomunikacijska regulacija u Hrvatskoj", Glasnik, Vol. XIII, No. 12, 2001, str. 25-28.
[4] OECD: "Electricity reform in IEA Handbook", OECD, IEA, 1999.
[5] P. A. SAMUELSON, W. D. NORDHAUS: "Economics", 15. izdanje, prevod na hrvatski jezik, naklada Mate Jurišić, 2000.
[6] D. ZABOVIĆ: "Nacrti i praksa deregulacije", Energija, Vol. 31, No. 2, Zagreb, lipanj 2002.
[7] OECD: "Telecommunications Regulatory Institutions - Structures and Responsibilities", OECD, Paris, 2000.
[8] Zakon o Telekomunikacijama RH, Narodne Novine, Br. 58/99, 58/01, 68/01, Zagreb.
[9] Zakon o regulaciji energetske djelatnosti, Narodne Novine, Br. 68/00 i 109/2001, Zagreb.
[10] J. OLIVER et al.: "Telecommunications Regulation Handbook", World Bank, USA, 2000.

DE)REGULATION DEVELOPMENT AND RECOMMENDATIONS FOR COUNTRIES IN TRANSITION

There are no common rules for resolving problems of inefficient market regulation. Having in mind that the regulation goal is not regulatory agency per se but a competitive market, it is possible by adjustment of many elements of the regulator's frame to realize better performances of the sector, which is extremely important at the beginning of the regulatory agency work.

BIOMASA NA DANAŠNJEM TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE: PRIKAZ STANJA I MOGUĆNOSTI

Mr. sc. Velimir Š e g o n – mr. sc. Julije D o m a c, Zagreb

UDK 620.95:621.311
PREGLEDNI ČLANAK

U članku su prikazane tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase, udio biomase u proizvodnji električne energije za zemlje OECD-a i Europsku uniju te stanje i mogućnosti korištenja biomase u Hrvatskoj. Dan je pregled projekata rasplinjavanja biomase kao jedne od tehnologija od kojih se u budućnosti najviše očekuje. Zaključeno je da su stvarna uloga biomase i mogućnosti njenog korištenja nedovoljno poznati i često pogrešno interpretirani.

Ključne riječi: biomasa, električna energija, energetska politika, obnovljivi izvori, tržište.

1. UVOD

Nakon godina korištenja energije fosilnih goriva globalna se slika mijenja, a obnovljivi izvori se sve više smatraju jednim od ključnih čimbenika budućih strategija razvitka. Među ostalim obnovljivim izvorima, u bližoj se budućnosti od biomase očekuje naročito značajan doprinos. U 1995. godini u zemljama Europske unije iz biomase je ukupno proizvedeno više od 1700 PJ energije, odnosno 59,5 % od svih obnovljivih izvora. Službeni izvori Europske unije procjenjuju da će se do 2010. godine ta proizvodnja još povećati za oko 3700 PJ, odnosno ukupno porasti na oko 5500 PJ, čime bi udio biomase u odnosu na ostale obnovljive izvore iznosio čak 73 % [1].

Osim velikih hidroelektrana, obnovljivi izvori nisu u prošlosti igrali značajniju ulogu u proizvodnji električne energije. Bitan doprinos promjeni sadašnjeg stanja, osim problema globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena, imat će i razvitak tehnologije. Na primjer, poboljšanja na avionskim motorima u civilnom i ratnom zrakoplovstvu te razvitak rasplinjavanja ugljena učinili su mogućim ekonomski isplativu proizvodnju električne energije rasplinjavanjem biomase uz korištenje plinskih turbina. Isto tako, gorive ćelije razvijene za programe istraživanja svemira otvorile su vrata korištenju vodika kao nezagađujućeg goriva.

U velikom broju razvijenih zemalja prisutan je, a u nekima je i u velikoj mjeri uznapredovao, trend deregulacije tržišta električne energije i restrukturirajućih promjena u svim dijelovima elektroenergetskog sustava. Sličan je proces započeo i u Hrvatskoj te se procjenjuje da će njegove posljedice imati važan učinak na buduću proizvodnju električne energije iz novih

obnovljivih izvora. Razvitkom procesa tranzicije pojačavat će se i potreba za ekonomski konkurentnom, niskom cijenom električne energije, ali i za primjenom ekološki prihvatljivih tehnologija i goriva. Iako su ova dva zahtjeva naizgled u suprotnosti, takav je trend već vidljiv u brojnim zemljama kao što su Nizozemska, Finska, Švedska, Velika Britanija i SAD. Osim strukturnih promjena, ključan utjecaj očekuje se od promjene zakonodavnog okruženja. U Hrvatskoj su ovi zakoni tek doneseni, a podzakonska regulativa je u izradi, ali se posljedice i utjecaj sličnih zakona na elektroprivrede i male proizvođače električne energije u razvijenim zemljama već mogu uočiti. Poznate mjere kao što su "Zelena etiketa" (obveza proizvođača da određenu količinu električne energije proizvede iz obnovljivih izvora, pri čemu potrošači mogu sami izabrati dobavljača), "Fond za javnu dobrobit" (sredstva koja se izdvajaju iz cijene električne energije, a služe za poticanje proizvodnje i izgradnju postrojenja za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora), ali i ekološki porezi (porez na energiju, porez na emisiju CO₂, SO₂ i NO_x) izrazito mijenjaju odnose na tržištu goriva za proizvodnju električne energije i omogućavaju znatno povećanje konkurentnosti svih obnovljivih izvora.

Hrvatska još uvijek traži pravu strategiju korištenja obnovljivih izvora. Iako postoji nekoliko energetskih scenarija, za sada nema odluke o poticajnim mjerama za obnovljive izvore. Trenutačno je u tijeku određivanje optimalnog udjela obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije i njihovo vrednovanje "cost-benefit" analizom. Sudjelujući u tom procesu, ali i uviđajući donekle krivu percepciju biomase u stručnim krugovima i javnosti, autori su smatrali da podatke iz ovog članka vrijedi objaviti.

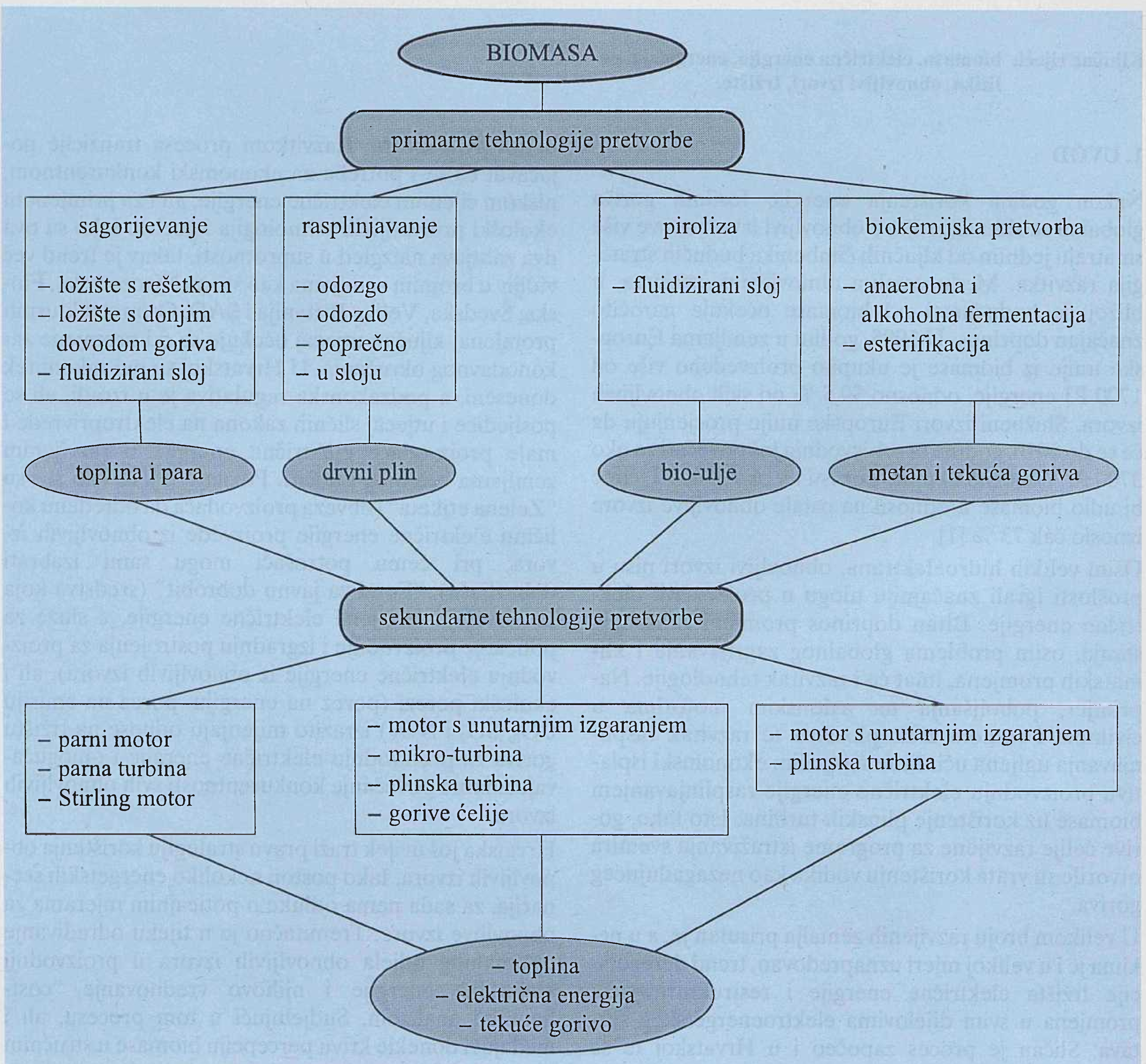
2. TEHNOLOGIJE ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ BIOMASE

Biomasa je moguće pretvoriti u razne oblike korisne energije: toplinu, električnu energiju te tekuća goriva za uporabu u prijevozu (slika 1). Tehnologije pretvorbe biomase mogu se podijeliti na primarne (konačni proizvod je toplina odnosno para te tekuća i plinovita goriva) i sekundarne (konačni proizvod je električna energija, toplina za kućanstva/industriju te goriva za korištenje u prijevozu).

Dokazano komercijalno isplativ i daleko najznačajniji način proizvodnje električne energije iz biomase je pretvorba u kogeneracijskim postrojenjima (istodobna proizvodnja toplinske i električne energije), za što postoji velik broj primjera u raznim zemljama. Kao tipični primjer mogućnosti za uspješnu kogeneraciju na biomasi može se uzeti drvna industrija – drvno-

prerađivačka poduzeća imaju potrebu za toplinom (sušenje drva, grijanje prostorija) i električnom energijom, a preradom drva nastaje dovoljna količina drvnog otpada koji služi kao gorivo.

Spaljivanjem biomase (izgaranje na rešetki, različite izvedbe izgaranja u fluidiziranom sloju) dobiva se korisna energija u obliku topline ili pare koja se u parnoj turbini ili motoru može pretvoriti u električnu energiju. Iako se para iz biomase može proizvesti s vrlo visokim stupnjem efikasnosti, pretvorba u električnu energiju je puno manje efikasna. Efikasnost varira od 5 do 10% za postrojenja snage do 1 MW_e, 10 do 25% za postrojenja od 1 do 5 MW_e te 15 do 30% za postrojenja snage veće od 5 MW_e. Tehnologija parnih turbina se smatra tehnički zreloom i dokazanom, ali i relativno skupom. Povećanjem efikasnosti i smanjenjem investicijskih troškova to bi se moglo i promijeniti, no zbog već postignute tehničke zrelosti zasad se ne vide



Slika 1. Primarne i sekundarne tehnologije pretvorbe biomase

značajnije mogućnosti. Iako su takva postrojenja prilično male snage, najčešće ispod 20 MW_e, te zahtijevaju relativno visoke investicijske troškove, ipak je moguće proizvesti električnu energiju koja je cijenom konkurentna tamo gdje su na raspolaganju dovoljne količine jeftine biomase. Višu efikasnost i niže investicijske troškove je moguće postići u sustavima koji će koristiti plinske turbine. Trenutačno se najviše razvijaju sustavi integriranog rasplinjavanja biomase i plinske turbine (BIG/GT, engl. *Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine*) [2].

Rasplinjavanje je termokemijski proces pri kojem se sirovina (ugljik) djelomično oksidira zagrijavanjem do temperature od 1200°C kako bi se proizveo stabilni gorivi plin. Postoji nekoliko načina rasplinjavanja, dobiveni gorivi plin sastoji se od ugljičnog monoksida, vodika i metana, a goriva mu je vrijednost relativno niska i iznosi između 4 i 6 MJ/Nm³. Od tehnologije rasplinjavanja za proizvodnju električne energije se dosta očekuje već u skoroj budućnosti te do sada postoje mnogi primjeri istraživačkih i razvojnih projekata rasplinjavanja biomase. Jedina do danas komercijalno prihvaćena tehnologija je rasplinjavanje u cirkulirajućem fluidiziranom sloju (CFB, engl. *Circulating Fluidized Bed*).

Prvo komercijalno postrojenje za rasplinjavanje biomase pušteno je u pogon 1998. godine u Lahti, Finska. Energija se iz dobivenog plina proizvodi u sklopu kogeneracijskog postrojenja ukupne snage 160 MW_e i 250 MW_{th} od čega se rasplinjavanjem pokriva 15%. Drugi značajni primjeri su projekt Zeltweg BioCo-Comb u Austriji, kapaciteta 10 MW_{th}, dovršen 1998. godine te projekt Amergas BV u Nizozemskoj kapaciteta 83 MW_{th}, odnosno godišnje proizvodnje električne energije 205 GWh koji kao gorivo koristi otpadno drvo, smanjujući tako godišnju potrošnju ugljena za 70 000 tona uz izbjegnutu emisiju CO₂ od 170 000 tona [3].

Integrirano rasplinjavanje u kombiniranom ciklusu (IGCC, engl. *Integrated Gasification Combined Cycles Plants*) predstavlja trenutačno najperspektivniju tehnologiju rasplinjavanja. U Europi su u pogonu tri IGCC postrojenja i to ARBRE kraj Yorka u Sjevernoj Engleskoj, Värnamo u istoimenom gradu u Južnoj Švedskoj te Bioelettrica SpA Energy Farm kraj Pise u Italiji.

Postrojenje u Värnamu je kapaciteta 6 MW_e i 9 MW_{th} i toplinu predaje u gradski sustav područnog grijanja. To je prvo IGCC postrojenje koje koristi biomasu, a razvijeno je u suradnji Sydkraft AB i Foster Wheeler International. Projekt je započeo 1991. godine, u pogonu je od 1996. godine te je do danas stečeno znatno pogonsko iskustvo. Pogonom je pokazano da je pri kapacitetu od 60 MW_e IGCC tehnologija profitabilnija od spaljivanja u cirkulirajućem fluidiziranom sloju i to s prodajnom cijenom električne energije od 0,033 eura/kWh uz cijenu biomase od 6 eura/MWh.

Tablica 1 daje pregled efikasnosti i ukupnih investicijskih troškova za tipične tehnologije pretvorbe bio-

mase u električnu energiju. Potrebno je napomenuti da su navedeni podaci samo orijentacijski te široki raspon investicijskih troškova ukazuje na njihovu nesigurnost. Postoji relativno veliko neslaganje između procijenjenih troškova objavljenih u raznim publikacijama i troškova stvarnih projekata.

Tablica 1. Pregled tehnologija za proizvodnju električne energije iz biomase [4]

Tehnologija	Efikasnost (%)	Investicijski troškovi (\$/kW _e)
Motor s unutarnjim izgaranjem	25-30	800-1200
Parna turbina	15-35	1700-4800
Plinski motor	10-25	700-2000 ¹
Stirling motor	20-30	1000-4800
Indirektno pogonjena plinska turbina	15-24	3000-6100
Direktno pogonjena tlačna plinska turbina	25-30	1200-1600
Mikro-turbina	20-30	1000-1300

3. BIOMASA U SVJETSKOJ PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

3.1. Izvor podataka i metodologija

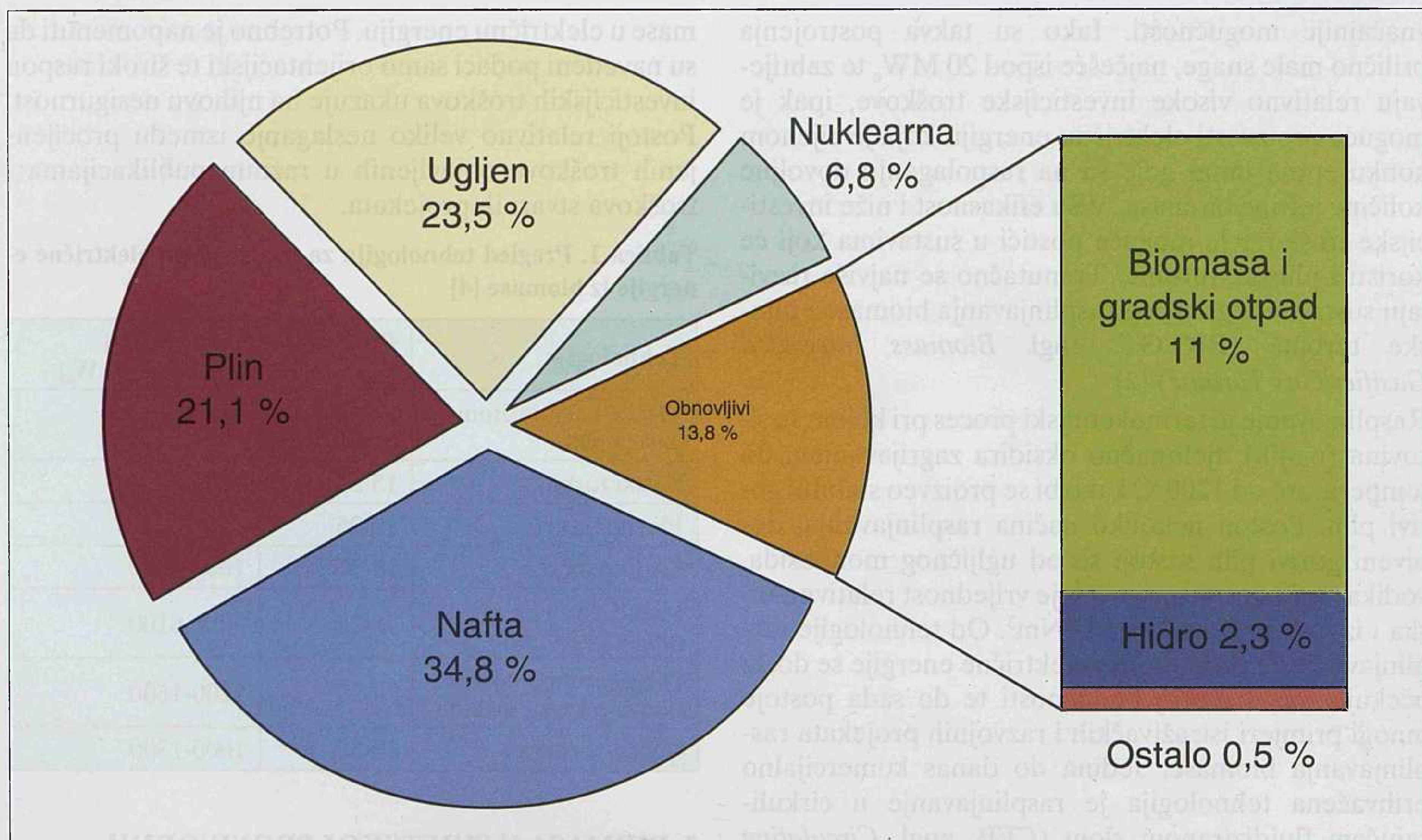
Izvor podataka prikazanih u ovom poglavlju je publikacija Međunarodne energetske agencije zemalja članica OECD-a (IEA, engl. *International Energy Agency*) *Renewables Information 2002 with 2000 data* te pripadajuća brošura *Renewables in Global Energy Supply, an IEA Fact Sheet*. Podaci su prikupljeni upotrebom standardiziranog upitnika o obnovljivim izvorima energije i otpadu (engl. *Renewables and Waste Questionnaire*) koji je zajednički razvijen i proveden u kolovozu 2000. godine od strane IEA, Eurostat-a, Odjela za statistiku Europske unije te Odjela za statistiku Ekonomske komisije za Europu Ujedinjenih Naroda. U obnovljive izvore energije, prema IEA, svrstavaju se:

1. obnovljiva goriva i zapaljivi otpad, što uključuje krutu, tekuću i plinovitu biomasu te biorazgradivi dio gradskog otpada
2. vodne snage, uključene su sve hidroelektrane neovisno o veličini
3. geotermalna energija
4. solarna energija
5. energija vjetra
6. energija valova, plime i oseke.

3.2. Biomasa u svjetskoj potrošnji energije

U ukupnoj svjetskoj potrošnji energije za 2000. godinu (TPES, engl. *Total Primary Energy Supply*) udio obnovljivih izvora iznosi 13,8 %, slika 2. Najveći udio od

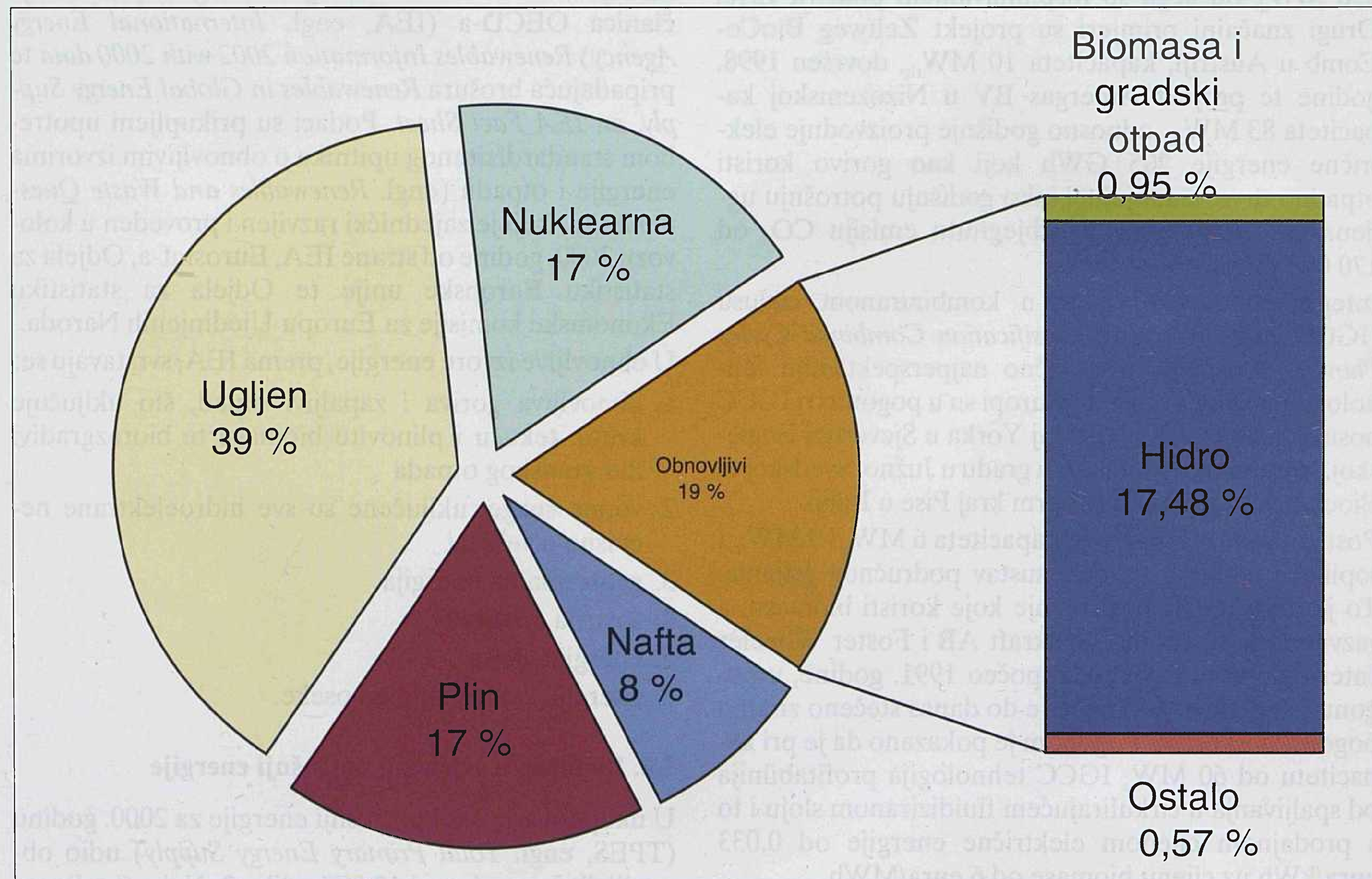
¹ Investicijski troškovi samo za parni motor



Slika 2. Udio energenata u ukupnoj svjetskoj potrošnji energije (TPES) za 2000. godinu [5]

obnovljivih izvora ima biomasa i gradski otpad (11%), vodne snage imaju udio od 2,3%, dok svi ostali obnovljivi izvori zajedno predstavljaju 0,5%. U svjetskoj

proizvodnji električne energije za 2000. godinu udio obnovljivih izvora iznosi 19%, slika 3. Najveći udio od obnovljivih izvora imaju hidroelektrane s 17,48% (uk-



Slika 3. Udio energenata u svjetskoj proizvodnji električne energije za 2000. godinu [5]

ljučene su i velike hidroelektrane), biomasa i gradski otpad imaju udio od 0,95 %, a svi ostali obnovljivi izvori zajedno imaju udio od 0,57 %.

3.3. Udio obnovljivih izvora u zemljama OECD-a

Zemlje OECD-a čine danas skupinu od 30 najrazvijenijih zemalja svijeta², a sama organizacija je kroz svoje autonomne agencije na području energetike – IEA (engl. *International Energy Agency*) i NEA (engl. *Nuclear Energy Agency*) aktivno uključena u kreiranje trendova i ukupne promjene na svjetskim energetske tržištima.

razgradivi dio, a biomasa predstavlja zbroj krute, tekuće i plinovite biomase.

Ako se iz razmatranja isključe hidroelektrane, struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u 2000. godini u zemljama OECDa bila je sljedeća (slika 4):

- biomasa: 50,06 %
- geotermalna: 17,27 %
- gradski otpad: 16,58 %
- vjetar: 15,18 %
- solarna: 0,59 %
- valova, plime i oseke: 0,32 %.

Tablica 2. Proizvodnja električne energije i udio obnovljivih izvora u zemljama OECD-a [5]

	1990.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.
Ukupna proizvodnja električne energije (TWh) ³	7560,0	8507,8	8744,4	8871,0	9090,9	9310,8	9628,3
Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (TWh) ⁴	1291,8	1453,5	1494,4	1531,2	1495,8	1493,2	1505,7
Udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije (%)	17,1	17,1	17,1	17,3	16,5	16,0	15,6

Tablica 3. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u zemljama OECD-a (GWh)⁵ [5]

	1990.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.
Hidroelektrane (od kojih akumulacijske)	1216377 (43280)	1361583 (58633)	1402273 (63262)	1429525 (62291)	1394878 (64655)	1380741 (64041)	1385682 (70332)
Geotermalna	29189	29686	31530	31073	32040	33018	32878
Solarna	681	924	1013	1024	1074	1070	1128
Valovi, plima i oseka	597	607	579	602	622	612	605
Vjetar	3838	7353	8389	10722	14442	19130	28897
Gradski otpad	0	25048	27814	29652	32581	31364	31554
Biomasa	66173	86948	86051	90864	84771	91292	95292

Tablica 2 navodi ukupnu proizvodnju električne energije u TWh i udio obnovljivih izvora u zemljama OECD-a po godinama. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana nije uključena u bilancu proizvedene energije, a pod obnovljive izvore ne spadaju industrijski otpad i neobnovljivi gradski otpad.

Tablica 3 navodi proizvodnju električne energije u GWh iz obnovljivih izvora. Proizvodnja iz solarnih fotovoltaike i solarnih termalnih postrojenja zbrojena je, gradski otpad uključuje samo obnovljivi, odnosno bio-

² Australija, Austrija, Belgija, Češka, Danska, Finska, Francuska, Grčka, Kanada, Irska, Island, Italija, Japan, Koreja, Luksemburg, Mađarska, Meksiko, Nizozemska, Njemačka, Norveška, Novi Zeland, Poljska, Portugal, Slovačka, Španjolska, Švedska, Švicarska, Turska, Velika Britanija, SAD.

³ Ne uključuje proizvodnju iz akumulacijskih hidroelektrana

⁴ Ne uključuje industrijski otpad, neobnovljivi gradski otpad te akumulacijske hidroelektrane

⁵ Prikazan je zbroj proizvodnje kogeneracijskih postrojenja i elektrana

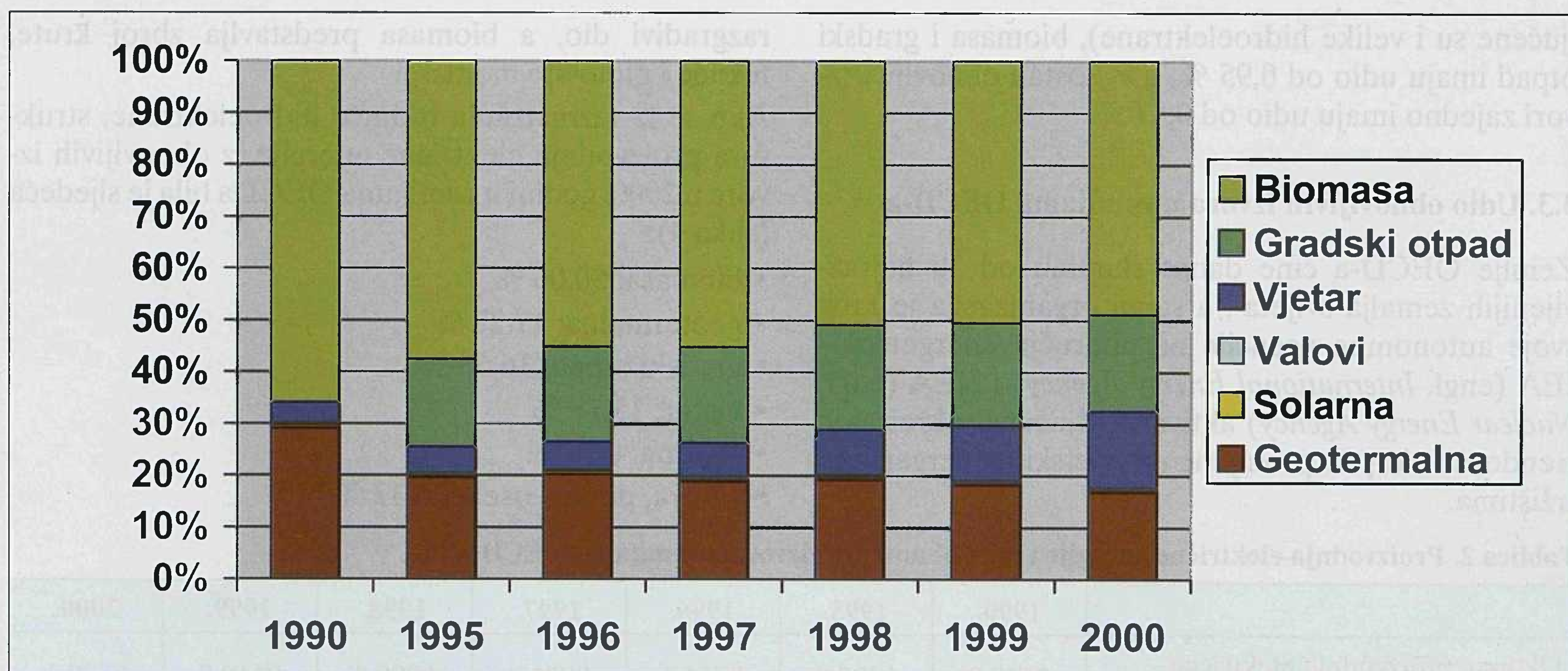
3.4. Udio obnovljivih izvora u zemljama Europske unije

Tablica 4 navodi ukupnu proizvodnju električne energije u TWh i udio obnovljivih izvora u zemljama Europske unije po godinama. Proizvodnja iz akumulacijskih hidroelektrana nije uključena u bilancu proizvedene energije, a pod obnovljive izvore ne spadaju industrijski otpad i neobnovljivi gradski otpad.

Tablica 5 navodi proizvodnju električne energije u GWh iz obnovljivih izvora. Proizvodnja iz solarnih fotovoltaike i solarnih termalnih postrojenja zbrojena je, gradski otpad uključuje samo obnovljivi, odnosno bio-razgradivi dio, a biomasa predstavlja zbroj krute, tekuće i plinovite biomase.

Ako se iz razmatranja isključe hidroelektrane, struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u 2000. godini u zemljama Europske unije bila je sljedeća (slika 6):

- biomasa: 40,90 %
- vjetar: 35,69 %



Slika 4. Struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u zemljama OECD-a, uz isključenje hidroelektrana [5]

Tablica 4. Proizvodnja električne energije i udio obnovljivih izvora u EU [5]

	1990.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.
Ukupna proizvodnja električne energije (TWh) ⁶	2141,7	2313,5	2394,0	2412,1	2473,6	2507,9	2572,3
Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora (TWh) ⁷	281,26	324,93	324,48	339,32	354,57	354,73	382,07
Udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije (%)	13,1	14,0	13,6	14,1	14,3	14,1	14,9

Tablica 5. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora u EU (GWh)⁸ [5]

	1990.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.
Hidroelektrane (od kojih akumulacijske)	276067 (16144)	309983 (18289)	311496 (21105)	315772 (18591)	326766 (21457)	328027 (24207)	345543 (26968)
Geotermalna	3226	3478	3811	3956	4272	4483	4785
Solarna	13	38	41	49	72	74	109
Valovi, plima i oseka	571	568	547	570	590	580	573
Vjetar	772	4071	4884	7364	11288	14209	22660
Gradski otpad	0	6483	7570	8909	10561	8338	9401
Biomasa	11591	18598	17234	21291	22481	23230	25971

- gradski otpad: 14,80 %
- geotermalna: 7,60 %
- solarna: 0,59 %
- valova, plime i oseke: 0,32 %.

4. STANJE I MOGUĆNOSTI U HRVATSKOJ

Republika Hrvatska, kao zemlja s velikim šumskim potencijalom (44% kopnenog šumskog teritorija), značajnom ulogom poljoprivrede te brojnim drvno-

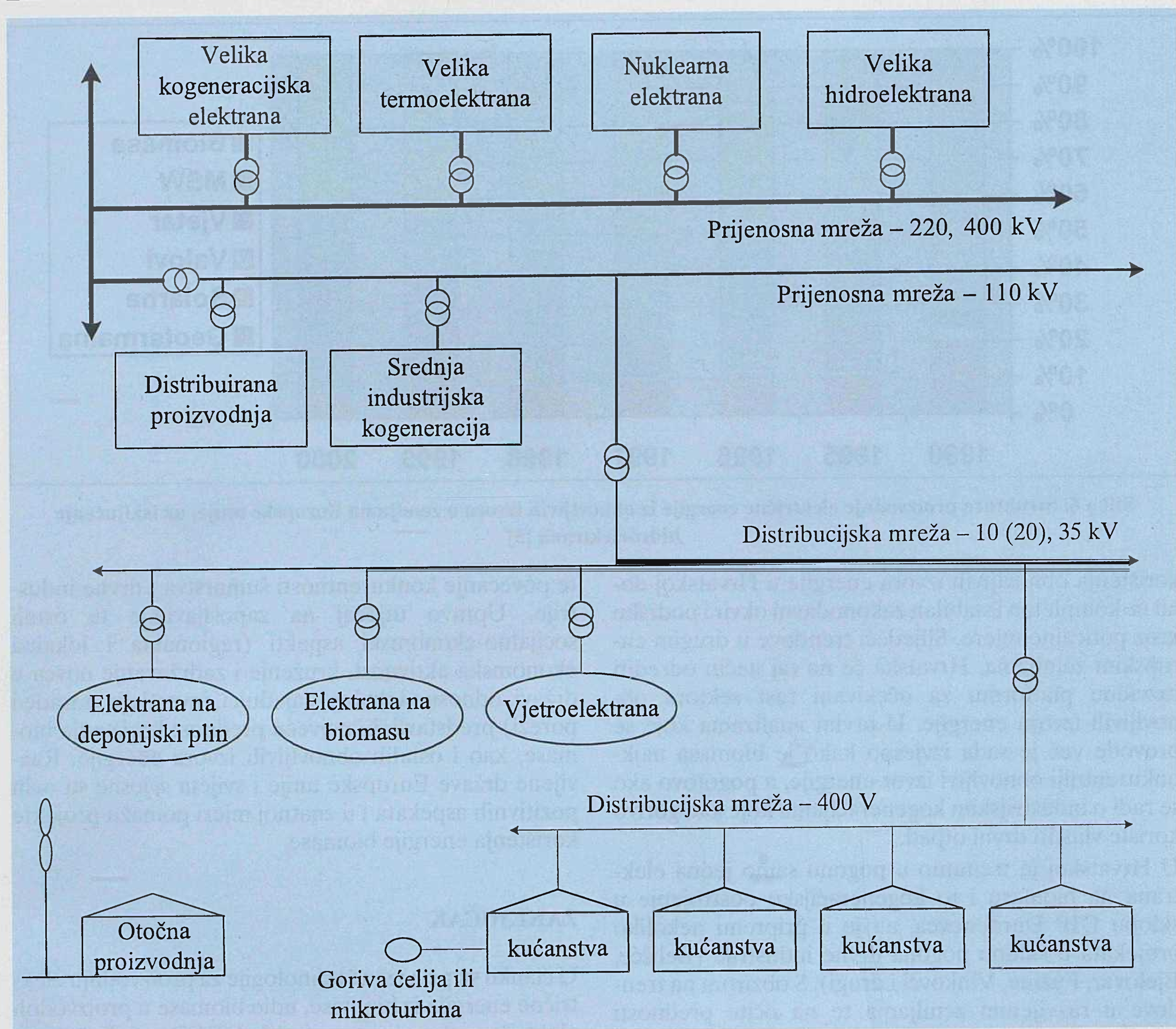
⁶ Ne uključuje proizvodnju iz akumulacijskih hidroelektrana

⁷ Ne uključuje industrijski otpad, neobnovljivi gradski otpad te akumulacijske hidroelektrane

⁸ Prikazan je zbroj proizvodnje kogeneracijskih postrojenja i elektrana

prerađivačkim pogonima, ima na raspolaganju velike količine biomase različitog podrijetla koje se mogu koristiti za proizvodnju energije. U Hrvatskoj osim toga postoji i duga tradicija korištenja biomase, posebno ogrjevnog drva i ostatka iz drvno-prerađivačke industrije. Prema različitim scenarijima (razvoj poljoprivrede i šumarstva, uvođenje novih tehnologija i mehanizama podrške i sl.) očekuje se da će tehnički potencijal biomase u 2030. godini iznositi između 50 i 80 PJ [6]. Dosad se koristila svega manja količina raspoložive biomase (12,24 PJ u 2001. godini) i to većinom na energetske neefikasan način za grijanje kućanstava, a biomasa nije zauzimala značajnije mjesto u energetskej politici [7].

Pri razmatranju uloge biomase u energetskej sektoru potrebno je posebno promatrati elektroenergetski i

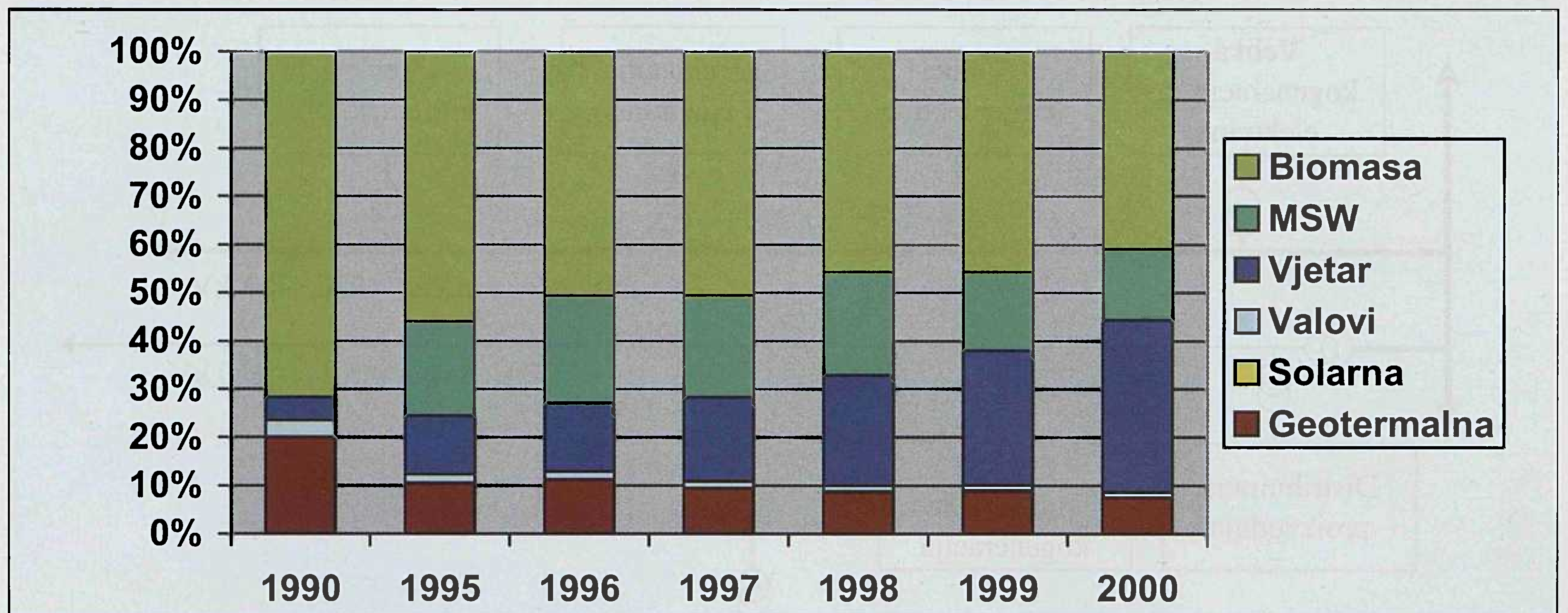


Slika 5. Prikaz mogućih proizvođača električne energije iz biomase

sektor tekućih goriva te toplinarstvo. Osnovna uloga elektroenergetskog sustava je neprekidna isporuka potrebnih količina električne energije, određene kvalitete i uz prihvatljive ekonomske uvjete dobave. O radu i razvitku elektroenergetskog sustava ovisi korištenje prirodnih resursa, razvitak gospodarstva te unaprjeđenje životnog standarda ljudi. Kako se u proizvodnji električne energije i općem razvitku mogu iskoristavati različiti primarni izvori energije, planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava predstavlja vrlo specifično područje. Za proizvodnju električne energije iz biomase u Hrvatskoj moguće je predvidjeti nekoliko scenarija razvitka. Treba odmah naglasiti da se od biomase ne očekuje presudna ni osobito značajna uloga u hrvatskom elektroenergetskom sustavu, barem ne u bližoj budućnosti. Električnu energiju iz biomase mogu proizvoditi nezavisni proizvođači, podjednako privatni poduzetnici i lokalne zajednice (tzv. autonomna proizvodnja), ali uvođenjem određenih tržišno-zakonskih mehanizama, što je u već u tijeku, i elektrane HEP-a (slika 5).

Sadašnjom energetsom strategijom se predviđa da će tijekom idućih desetljeća znatnije porasti ovisnost Hrvatske o uvozu energije od sadašnjeg uvoza na razini 50% do očekivanog uvoza u 2030. godini od preko 70% [8]. Takva energetska budućnost ne samo što je vrlo nepovoljna sa stanovišta uvozno-izvozne bilance zemlje, već je jednako tako nepovoljna i politički, zbog sve veće ovisnosti o uvozu energije i energenata.

Promjene na tržištima umreženih energetskih sustava u Republici Hrvatskoj, kojima je obuhvaćeno restrukturiranje, privatizacija i promjene u cjelokupnom energetskom sektoru, imaju znatan utjecaj na mogućnosti uvođenja i povećanog korištenja obnovljivih izvora energije. Nakon usvajanja Zakona o energiji i tri zakona o tržištima (električna energija, plin, nafta i naftni derivati) i Zakona o regulaciji energetskih djelatnosti, predstoji zahtjevan posao donošenja brojnih podzakonskih akata koji će precizno urediti sve instrumente državne politike što se tiče obnovljivih izvora energije. Od stupanja na snagu i uz punu primjenu novog zakonodavstva s pratećim podzakonskim aktima projekti



Slika 6. Struktura proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u zemljama Europske unije, uz isključenje hidroelektrana [5]

korištenja obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj dobit će kompletan i stabilan zakonodavni okvir i podršku kroz poticajne mjere. Slijedeći trendove u drugim europskim zemljama, Hrvatska će na taj način odrediti razvidnu platformu za očekivani rast sektora obnovljivih izvora energije. U prvim analizama koje se provode već je sada izvjesno kako je biomasa najkonkurentniji obnovljivi izvor energije, a pogotovo ako se radi o industrijskim kogeneracijama koje kao gorivo koriste vlastiti drveni otpad.

U Hrvatskoj je trenutno u pogonu samo jedna elektrana na biomasu i to kogeneracijsko postrojenje u sklopu DIP Đurđenovca, ali je u pripremi nekoliko projekata u sklopu pogona drvne industrije (Belišće, Bjelovar, Fužine, Vinkovci i drugi). S obzirom na trendove u razvijenim zemljama te na očite prednosti takvih postrojenja (znatno veća energetska učinkovitost, manje zagađenje po jedinici proizvedene energije i sl.), od kogeneracijskih se postrojenja očekuje najveći doprinos pri budućoj proizvodnji energije iz biomase u Hrvatskoj. Rezultati provedenih ekonomsko-financijskih analiza ovih projekata pokazuju da je većina projekata prihvatljiva čak i u posve realnom ekonomskom okruženju bez ikakvih značajnijih poticajnih mjera (subvencije, porezi), ali uz osiguran otkup električne energije po prihvatljivim cijenama. Upravo određivanje ove cijene te definiranje uvjeta i načina otkupa jedan je od najvažnijih zadataka u poticanju korištenja energije biomase u Hrvatskoj. Rentabilnost ovih projekata raste s njihovim kapacitetom, odnosno godišnjom proizvodnjom energije, ali je za veće projekte najčešće teško osigurati potrošače toplinske energije, a i opskrba gorivom postaje skuplja i složenija jer se biomasa mora sakupljati i dovoziti s velikog područja.

Smisao projekata korištenja energije biomase je nešto širi od same ekonomske dobiti jer se njima ostvaruju brojni pozitivni učinci kao što su zbrinjavanje otpada, otvaranje novih i zadržavanje postojećih radnih mjesta

te povećanje konkurentnosti šumarstva i drvne industrije. Upravo utjecaj na zapošljavanje te ostali socijalno-ekonomski aspekti (regionalna i lokalna ekonomska aktivnost, kruženje i zadržavanje novca u državi, odnosno lokalnoj zajednici, investicije, zarade i porezi) predstavljaju najveću prednost korištenja biomase, kao i ostalih obnovljivih izvora energije. Razvijene države Europske unije i svijeta svjesne su ovih pozitivnih aspekata i u znatnoj mjeri pomažu projekte korištenja energije biomase.

ZAKLJUČAK

U članku su prikazane tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase, udio biomase u proizvodnji električne energije za zemlje OECD-a i Europsku uniju te stanje i mogućnosti korištenja biomase u Hrvatskoj.

Podaci navedeni u trećem poglavlju jasno pokazuju da u razvijenim zemljama, uz isključenje hidroelektrana, biomasa ima najveći udio u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora. U 2000. godini u zemljama OECD-a udio biomase (50,06%) je veći od udjela svih ostalih obnovljivih izvora zajedno, dok u Europskoj uniji biomasa (40,90%) i vjetar (35,69%) pokrivaju više od tri četvrtine svih obnovljivih izvora. Potrebno je napomenuti da su zemlje s razvijenim programom vjetroelektrana (Njemačka, Danska,...) najprije razvile program korištenja biomase za proizvodnju električne energije (u 1995. godini u Europskoj uniji biomasa je pokrivala 55,96% obnovljivih izvora, a vjetar 12,25%) što nameće zaključak da bi i Hrvatska trebala krenuti u tom smjeru.

Na temelju dosadašnjih rezultata od pokretanja 1997. godine, program BIOEN je pokazao da bi se proizvodnjom energije iz biomase i gradskog otpada moglo do 2020. godine osigurati znatan dio ukupne potrošnje primarne energije za što Hrvatska ima realne mo-

gućnosti (po uzoru na Austriju, Finsku i Dansku). Taj bi se cilj trebao ostvariti pokretanjem demonstracijskih projekata, stvaranjem tržišta i uvjeta za povećano korištenje energije biomase (zakonodavno okruženje, porezi, tarife, subvencije...), uključivanjem industrije i gospodarstva, obrazovanjem te poticanjem istraživanja i međunarodne suradnje.

Iz svega navedenog može se zaključiti da je biomasa najvažniji obnovljivi izvor u Hrvatskoj, iako je to često nedovoljno poznato i pogrešno interpretirano.

LITERATURA

- [1] EC 1997. White paper for a Community Strategy and Action Plan. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. Document (95)682.
<http://europa.eu.int/en/comm/dg17/whitepap.htm>
- [2] N. EL BASSAM: 1998. "Energy Plant Species". James & James Ltd. London.
- [3] A. BAUEN: (2000). "Sustainable heat and electricity supply from gasification based biomass fuel cycles. The case of Sweden and the UK". In: Proceedings of World Renewable Energy Congress VI, Elsevier, London: p. 1381-1384.
- [4] R. E. H. SIMS: 2002. "The Brilliance of Bioenergy". James & James, London.
- [5] OECD/IEA. 2002. IEA Statistics: Renewables Information 2002 with 2000. data. IEA, Paris.
- [6] J. DOMAC et al.: 2001. "BIOEN – Program korištenja energije biomase i otpada: Nove spoznaje i provedba". Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb.
- [7] B. VUK et al.: 2002. "Energija u Hrvatskoj 2001. Godišnji energetski pregled". Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, Zagreb.
- [8] G. GRANIĆ, D. PEŠUT, B. JELAVIĆ, N. JANDRILOVIĆ, H. PETRIĆ, J. DOMAC, et al.: 2002. "Hrvatska u 21. stoljeću – energetika". Ured za strategiju razvitka Republike Hrvatske, Zagreb.

BIOMASS ON TODAY'S ELECTRIC ENERGY MARKET: REVIEW AND POSSIBILITIES

In the paper technologies for electric energy production from biomass are given as well as biomass share in the electric energy production of OECD countries, European Union and possibilities of biomass usage in Croatia. A review on biomass gasification projects as one of the most promising technologies in the future is also given. It is concluded that the role and possibilities of biomass usage are often unknown and wrongly interpreted.

BIOMASSE AM HEUTIGEN STROMMARKT: LAGE- UND MÖGLICHKEITENBERICHT

Im Artikel sind Verfahren der Stromerzeugung aus Biomasse, Anteil der Biomasse in der Stromerzeugung der OECD und EU Länder, und die Lage der Biomasse in Kroatien dargestellt. Eine Übersicht der Entwürfe der Biomassevergasung, als jenes Verfahren von dem man in der Zukunft am meisten erwartet. Man ist zum Abschluss gekommen, daß die eigentliche Rolle der Biomasse und die Möglichkeiten ihrer Nutzung zu wenig bekannt und des öfteren falsch ausgelegt

Naslov pisaca:

Mr. sc. Velimir Šegon, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

mr. sc. Julije Domac, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 04 – 01.



SUIZGARANJE SEKUNDARNOG GORIVA S FOSILNIM GORIVIMA RADI PROIZVODNJE TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Vedran U r a n, Rijeka

UDK 620.91:622.99
PREGLEDNI ČLANAK

Od pojave naftnih kriza u postojećim se kogeneracijskim sustavima pojedinih industrijski razvijenih zemalja jedna količina fosilnih goriva počela zamjenjivati količinama otpada različitog podrijetla. Pri tome su razvijene različite tehnologije suizgaranja tog otpada ili sekundarnog goriva s fosilnim gorivima. U radu su opisane koncepcije izravnog i neizravnog suizgaranja, njihove prednosti i nedostaci te pregled tehno-ekonomskih i ekoloških karakteristika tih koncepcija. Isto tako su prikazane mogućnosti primjene odabranih koncepcija suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima u Hrvatskoj.

Ključne riječi: fosilna goriva, sekundarno gorivo, suizgaranje.

1. UVOD

Naftne krize i sve strože ekološke mjere rezultirale su naglim razvojem tehnologija proizvodnje energije iz sekundarnih goriva u industrijski razvijenim zemljama. U ta se sekundarna goriva ubrajaju biomasa, biootpad te gradski i industrijski otpad. Takva se goriva danas najviše podvrgavaju procesima izgaranja, rasplinjavanja, rastvaranja te procesu pirolize. Tako tretirana sekundarna goriva u postojećim energetske sustavima na fosilna goriva količinski zamjenjuju jedan dio fosilnih goriva, isključivo ugljena i prirodnog plina. Najvažniji kriteriji za kvalitetno iskorištavanje navedenih tipova sekundarnih goriva u energetske svrhe odnosi se na njihovo pažljivo odabiranje i pripremu za miješanje s fosilnim gorivima te loženje.

Najviše su interesa za korištenje sekundarnih goriva radi suizgaranja s fosilnim gorivima iskazale zemlje čije su energetske politike usmjerene sve manjoj ovisnosti o uvozu fosilnih goriva te sve manjem emitiranju stakleničnih plinova u atmosferu, posebno ugljičnog dioksida (CO₂). Te zemlje su Finska, Švedska, Nizozemska, te sve više Austrija i Njemačka. Zemlje u kojima energetski temelj čine isključivo fosilna goriva nešto su slabije zainteresirane za tehnologiju suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima. No, u svim je zemljama Europske unije težnja sve većeg korištenja sekundarnih goriva, osobito zbrinjavanja otpada različitog podrijetla (industrijski i gradski otpad). Tako su primjerice u Njemačkoj instalirane 42 energane na gradski i industrijski otpad.

Cilj je ovog rada opisati različite tehnologije suizgaranja sekundarnih goriva (biomase/otpada) s fosilnim gorivima (ugljenom, prirodnim plinom) te navesti prednosti i nedostatke korištenja takvih

tehnologija. Također će se utvrditi mogućnosti instaliranja energetske sustava sa suizgaranjem različitih goriva u Republici Hrvatskoj.

2. ENERGETSKI SUSTAVI ZA SUIZGARANJE SEKUNDARNIH I FOSILNIH GORIVA

Razvijeno je nekoliko načina suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima. Ti načini su:

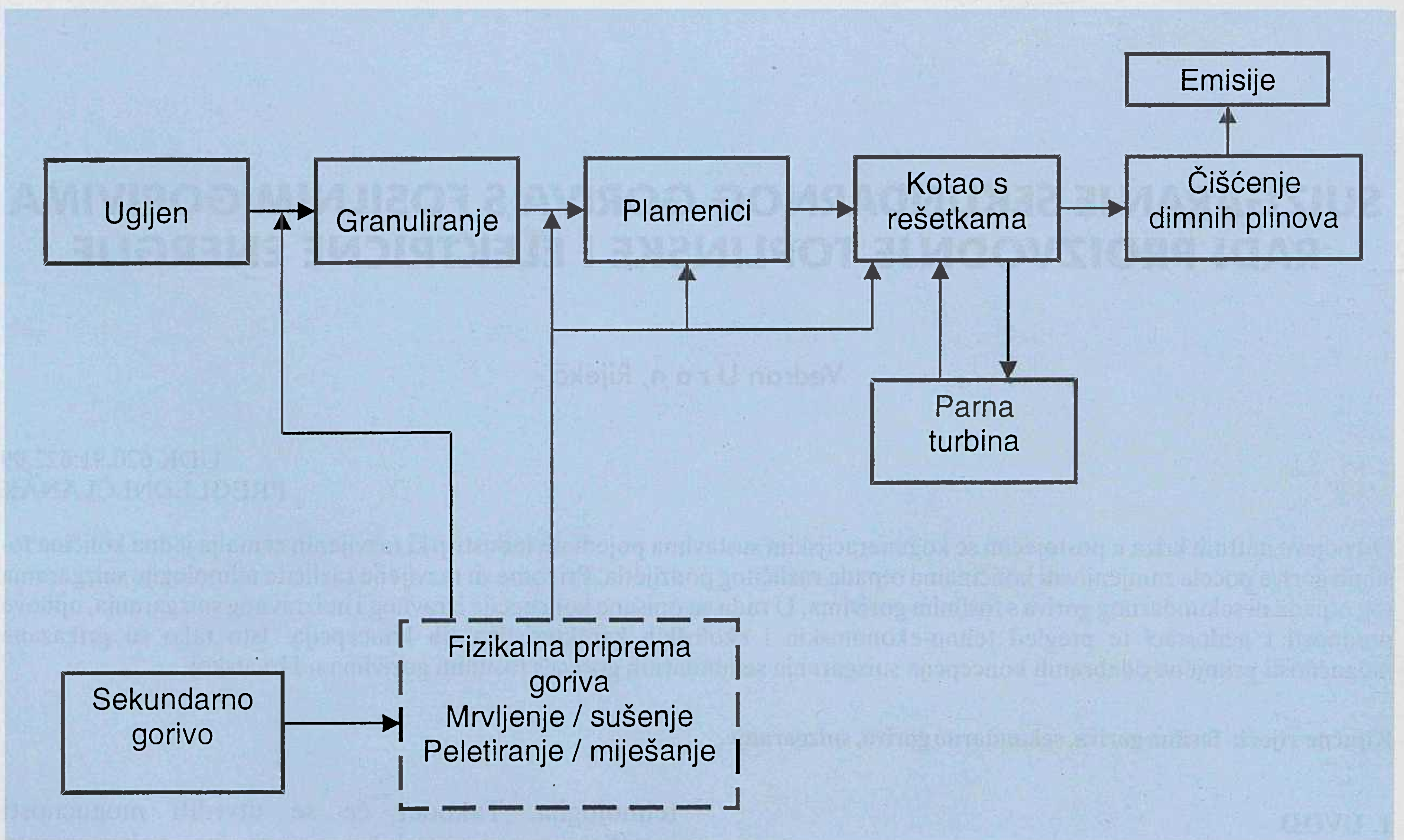
- izravno suizgaranje sekundarnih goriva s fosilnim gorivima,
- neizravno suizgaranje sekundarnih goriva s fosilnim gorivima.

Za različite načine suizgaranja sekundarnih i fosilnih goriva razvijeno je niz tipskih sustava za loženje. No, sve ovisi o kvaliteti goriva koji ulaze u sustav za loženje te njegovoj pripremi. Isto tako treba obratiti pozornost na kvalitetu izgaranja te tretiranju pepela i šljake koji nastaju nakon suizgaranja sekundarnih i fosilnih goriva.

2.1. Izravno suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima

Shema energetske sustava s različitim putovima izravnog suizgaranja sekundarnih goriva i ugljena prikazana je na slici 1 iz koje je vidljivo da se prethodno tretirana sekundarna goriva miješaju s ugljenom:

- prije njihovog zajedničkog granuliranja,
- nakon granuliranja ugljena,
- u plameniku,
- u parnom kotlu s rešetkastim ložištem,
- istodobnim izgaranjem dovodom u plamenik i nabačivanjem na rešetku.



Slika 1.

Sekundarna goriva je prije miješanja s ugljenom potrebno usitniti, osušiti, peletirati te u različitim oblicima kvalitetno izmiješati prije nego li dođu u dodir s ugljenom. Važno je odrediti donju ogrjevnu vrijednost sekundarnog goriva koja ne smije biti puno manja od donje ogrjevne vrijednosti smeđeg ugljena kako se ne bi naglo smanjio kapacitet postojećeg energetskeg postrojenja. Stoga je procijenjeno da je s ovakvim načinom suizgaranja sekundarnim gorivom moguće zamijeniti do 10% ukupne količine ugljena.

Svojstva ugljena i sekundarnog goriva te proces njihovog izravnog izgaranja utječu na kvalitetu dimnih plinova te rastvaranje pepela, šljake i ostalih nečistoća koje se talože na pojedinim dijelovima sustava za loženje goriva. Razina nečistoća preduvjet su učinkovitosti rada energetskeg sustava za suizgaranje ugljena i sekundarnog goriva.

2.2. Neizravno suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima

Razvijena je tehnologija neizravnog suizgaranja sekundarnih goriva, i s ugljenom, i s prirodnim plinom. Prednosti ovakvog načina suizgaranja u odnosu na izravno suizgaranje odnose se na mogućnosti suizgaranja većih količina sekundarnog goriva s fosilnim gorivima. Pri tom spektar sekundarnog goriva za suizgaranje po obliku i kvaliteti može biti širi nego što je to kod izravnog suizgaranja s fosilnim gorivima. Rezultat ovakvog suizgaranja rezultira nastajanjem ekološki prihvatljivijih dimnih plinova te kvalitetnijeg pepela.

Nekoliko je koncepcija neizravnog suizgaranja sekundarnog goriva i ugljena.

a) *Odvojeno smanjivanje kontaminenata, sušenje te pohranjivanje (i izgaranje) sekundarnog goriva i ugljena u sustavu za loženje*

Kod ove se koncepcije sekundarno gorivo usitnjava i suši u posebnoj opremi. Tako predtretirano gorivo može biti:

- izmiješano s granuliranim ugljenom nakon čega se dobivena mješavina goriva odvodi u sustav za loženje, ili
- posebno transportirano u plamenike namijenjene za sekundarna goriva.

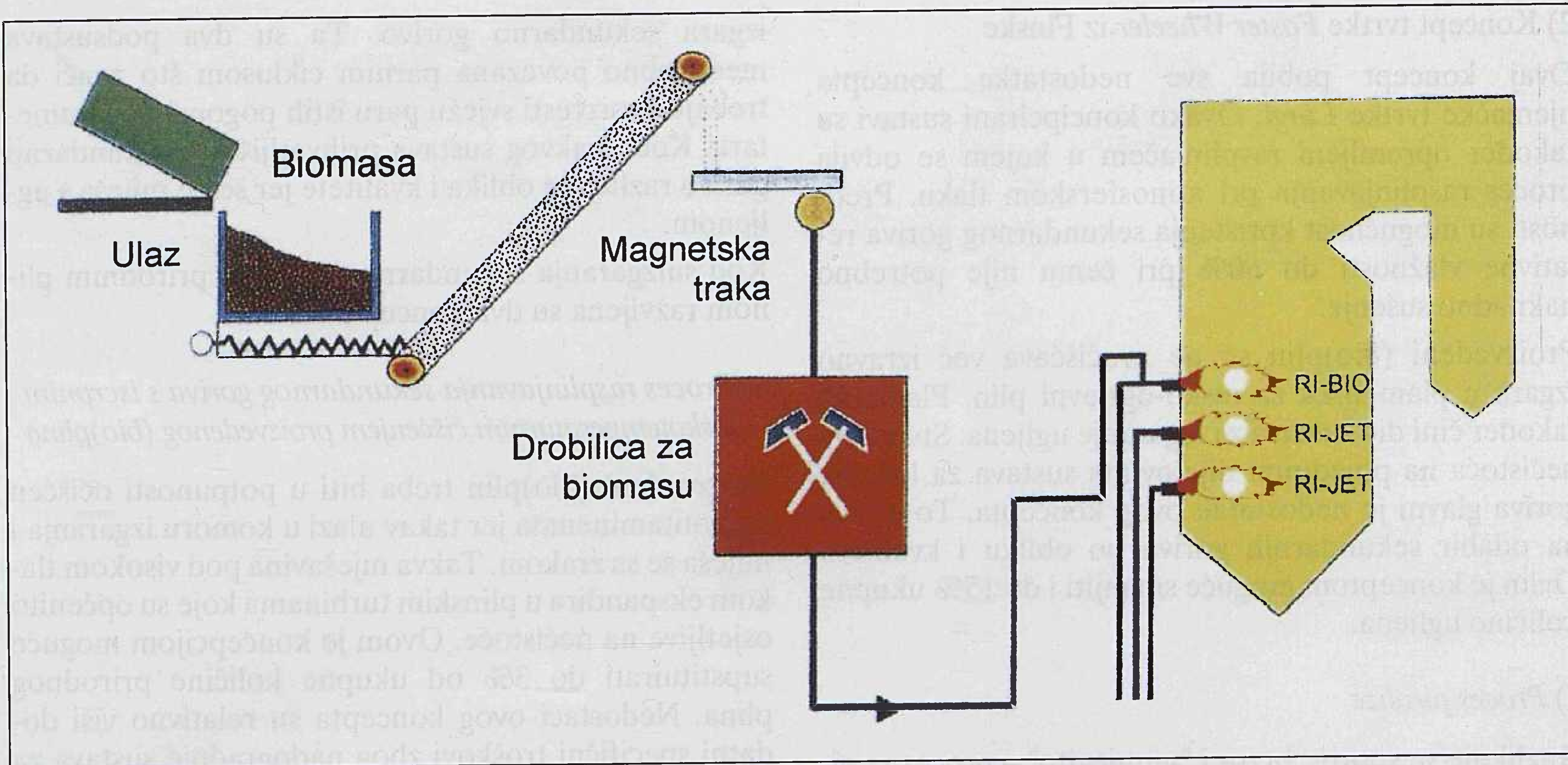
U ovako koncepciranim sustavima uočena je velika osjetljivost na kontaminente sekundarnog goriva što za uzrok ima stvaranje nečistoća na pojedinim dijelovima ložišta i cijevima generatora pare. Finska tvrtka *Fortum* razvila je alternativni koncept po kojem se izbjegavaju navedeni nedostaci (slika 2). S takvim je konceptom sekundarnim gorivom moguće zamijeniti 5-30% ukupne količine ugljena.

b) *Raplinjavanje sekundarnog goriva (sa/bez dodatnog niskotemperaturnog čišćenja proizvedenog bio-plina)*

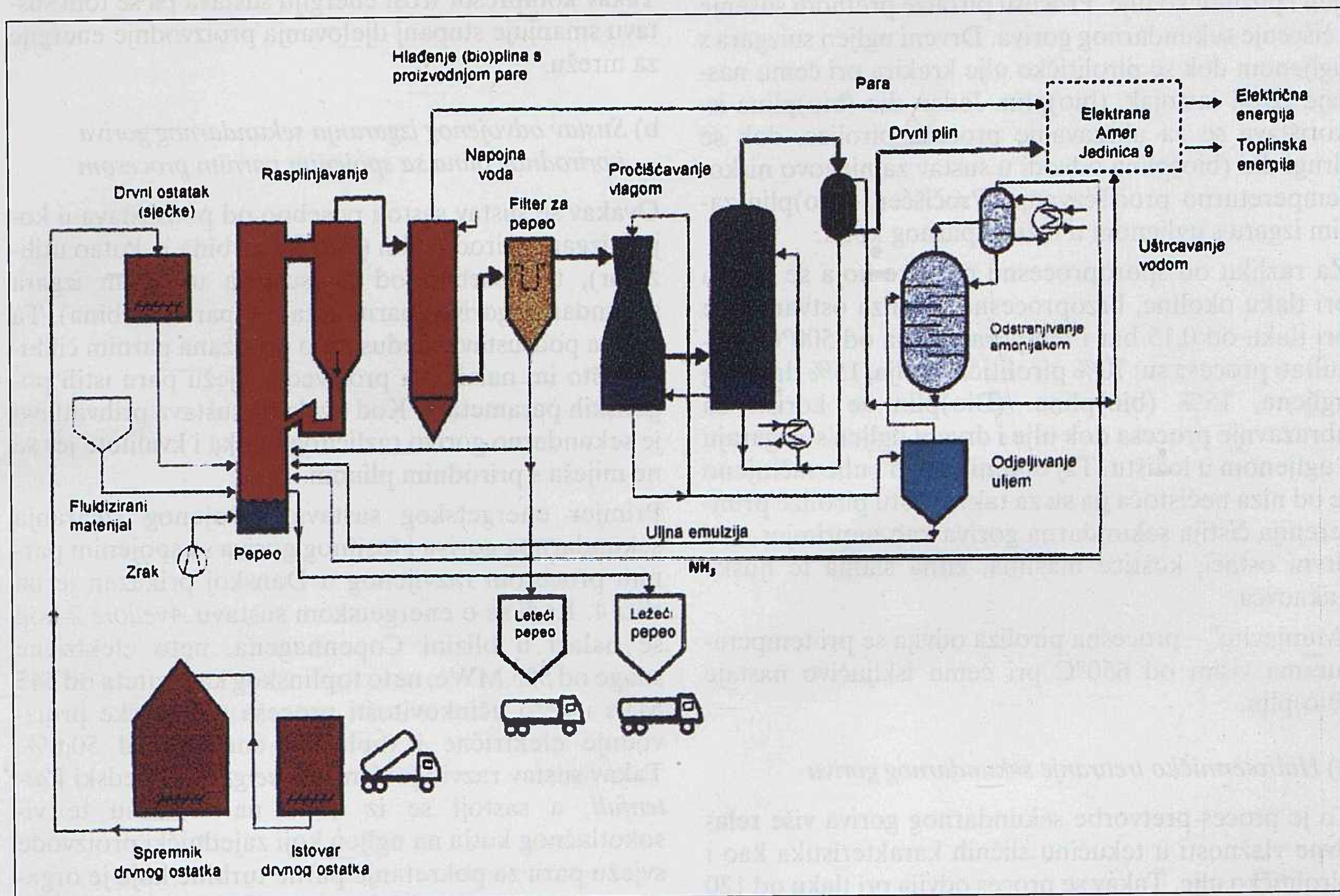
Razvijena su dva koncepta: jedno je tvrtke *Lurgi* iz Njemačke, a drugo tvrtke *Foster Wheeler* iz Finske.

1) Koncept tvrtke *Lurgi* iz Njemačke

Koncept kakav je prikazan na slici 3 funkcionira na osnovi rasplinjavanja sekundarnog goriva pri tlaku oko-



Slika 2.



Slika 3.

line i temperaturi od 850°C. Prije ulaska u rasplinjač to je gorivo potrebno odstraniti od nečistoća, osušiti ga do 20% relativne vlažnosti, te ga usitniti do mjere koja zadovoljava uvjete rasplinjavanja.

Proizvedeni (bio)plin potrebno je podvrći niskotemperaturnom čišćenju. Onečišćenja se skupljaju i talože u vrećastom filteru i skruberu. Pročišćeni (bio)plin ulazi

u posebno oblikovane plamenike koji su dio parnog kotla na ugljen.

Ovakvim se načinom korištenja sekundarnog goriva zamjenjuje do 5% ukupne količine ugljena. Nedostaci ove koncepcije odnose se na relativno visoke specifične dodatne troškove i relativno niski stupanj iskorištenja pretvorbe sekundarnog goriva u korisnu energiju.

2) Koncept tvrtke *Foster Wheeler* iz Finske

Ovaj koncept pobija sve nedostatke koncepta njemačke tvrtke *Lurgi*. Ovako koncipirani sustavi su također opremljeni rasplinjačem u kojem se odvija proces rasplinjavanja pri atmosferskom tlaku. Prednosti su mogućnost korištenja sekundarnog goriva relativne vlažnosti do 60% pri čemu nije potrebno naknadno sušenje.

Proizvedeni (bio)plin se ne pročišćava već izravno izgara u plameniku za nisko-ogrjevni plin. Plamenik također čini dio sustava za izgaranje ugljena. Stvaranje nečistoća na pojedinim dijelovima sustava za loženje goriva glavni je nedostatak ovog koncepta. To utječe na odabir sekundarnih goriva po obliku i kvaliteti. Ovim je konceptom moguće smanjiti i do 15% ukupne količine ugljena.

c) *Proces pirolize*

Razlikuje se sporo-, brzo- i "munjevito" – procesna piroliza. Proizvodi sporoprocene pirolize su drveni ugljen i pirolitičko ulje. Procesu pirolize prethodi sušenje i čišćenje sekundarnog goriva. Drveni ugljen suizgara s ugljenom dok se pirolitičko ulje krekira pri čemu nastaje čistiji sastojak, (bio)plin. Jedan dio (bio)plina iskorištava se za ubrzavanje procesa pirolize, dok se drugi dio (bio)plina odvodi u sustav za njegovo niskotemperaturno pročišćavanje. Pročišćeni (bio)plin zatim izgara s ugljenom u ložištu parnog kotla.

Za razliku od sporoprocene pirolize koja se odvija pri tlaku okoline, brzoprocena piroliza ostvaruje se pri tlaku od 0,15 bar i temperaturama od 500°C. Rezultati procesa su: 70% pirolitičkog ulja, 15% drvenog ugljena, 15% (bio)plina. (Bio)plin se koristi za ubrzavanje procesa dok ulje i drveni ugljen suizgaraju s ugljenom u ložištu. Taj drveni ugljen i ulje sačinjeno je od niza nečistoća pa su za takvu vrstu pirolize primjerenija čistija sekundarna goriva kao naprimjer čisti drveni ostaci, koštice maslina, žitna slama te ljuške kakaovca.

"Munjevito" – procesna piroliza odvija se pri temperaturama višim od 650°C pri čemu isključivo nastaje (bio)plin.

d) *Hidrotermičko tretiranje sekundarnog goriva*

To je proces pretvorbe sekundarnog goriva više relativne vlažnosti u tekućinu sličnih karakteristika kao i pirolitičko ulje. Takav se proces odvija pri tlaku od 120 do 180 bara te temperaturi od 300°C i 350°C. Medij koji se koristi za pretvorbu sekundarnog goriva jest vrela voda. Ovaj proces još nije dovoljno istražen pa i nema širu praktičnu primjenu.

e) *Sustav odvojenog izgaranja sekundarnog goriva i ugljena sa spojenim parnim procesom*

Ovakav se sustav sastoji posebno od podsustava u kojem izgara ugljen, te posebno od podsustava u kojem

izgara sekundarno gorivo. Ta su dva podsustava međusobno povezana parnim ciklusom što znači da trebaju proizvesti svježju paru istih pogonskih parametara. Kod ovakvog sustava prihvatljivo je sekundarno gorivo različitog oblika i kvalitete jer se ne miješa s ugljenom.

Kod suizgaranja sekundarnog goriva s prirodnim plinom razvijena su dva koncepta.

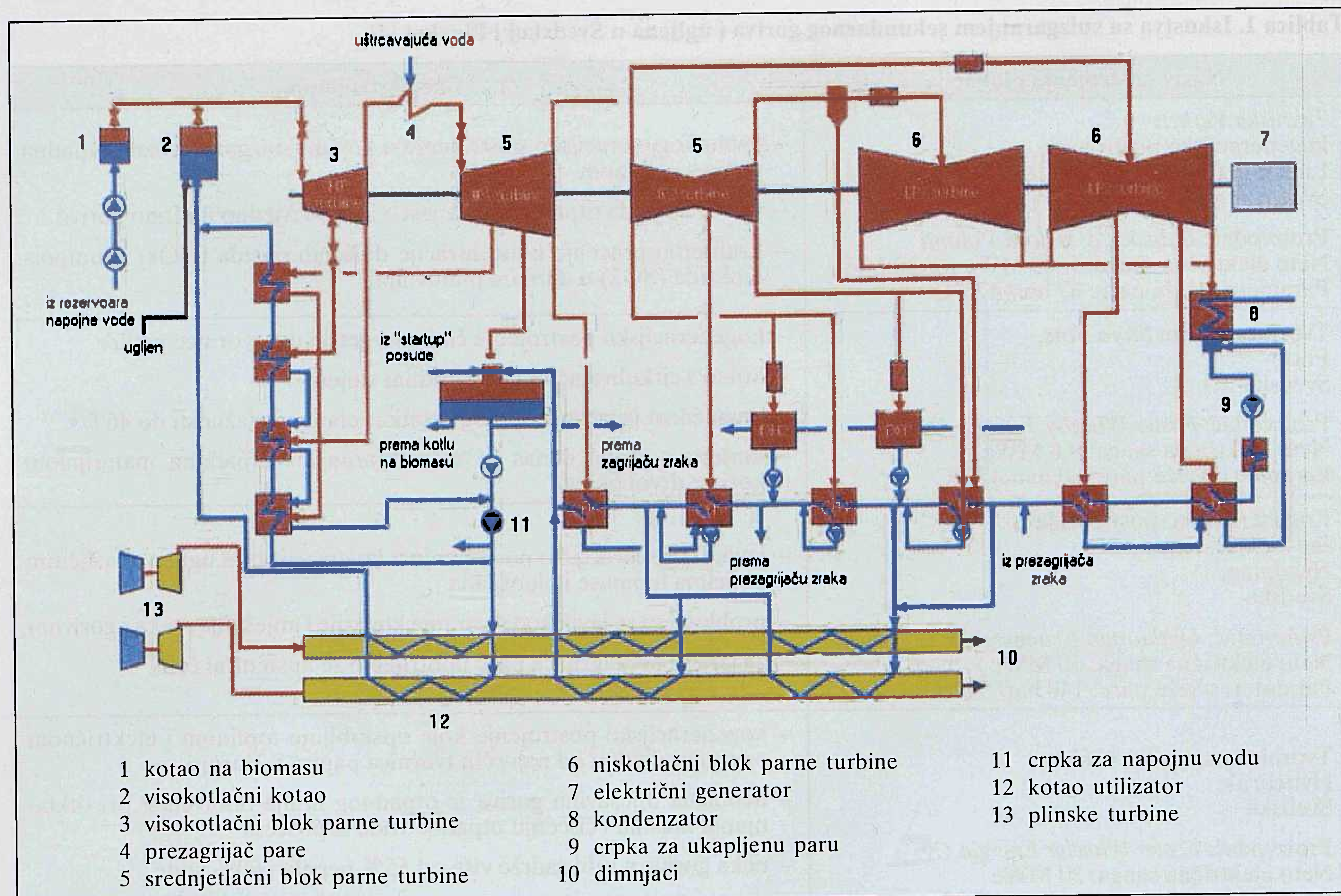
a) *Proces rasplinjavanja sekundarnog goriva s iscrpnim niskotemperaturnim čišćenjem proizvedenog (bio)plina*

Proizvedeni (bio)plin treba biti u potpunosti očišćen od kontaminata jer takav ulazi u komoru izgaranja i miješa se sa zrakom. Takva mješavina pod visokom tlakom ekspandira u plinskim turbinama koje su općenito osjetljive na nečistoće. Ovom je koncepcijom moguće supstituirati do 3% od ukupne količine prirodnog plina. Nedostaci ovog koncepta su relativno viši dodatni specifični troškovi zbog nadogradnje sustava za čišćenje (bio)plina i kompresora dimnih plinova. Takav kompresor troši energiju sustava pa se tom sustavu smanjuje stupanj djelovanja proizvodnje energije za mrežu.

b) *Sustav odvojenog izgaranja sekundarnog goriva i prirodnog plina sa spojenim parnim procesom*

Ovakav se sustav sastoji posebno od podsustava u kojem izgara prirodni plin (plinska turbina + kotao utilizator), te posebno od podsustava u kojem izgara sekundarno gorivo (parni kotao + parna turbina). Ta su dva podsustava međusobno povezana parnim ciklusom što im nalaže da proizvedu svježju paru istih pogonskih parametara. Kod ovakvog sustava prihvatljivo je sekundarno gorivo različitog oblika i kvalitete jer se ne miješa s prirodnim plinom.

Primjer energetskeg sustava odvojenog izgaranja sekundarnog goriva i fosilnog goriva sa spojenim parnim procesom razvijenog u Danskoj prikazan je na slici 4. Radi se o energetskeg sustavu *Avedore 2* koji se nalazi u blizini Copenhagena, neto električne snage od 535 MWe, neto toplinskog kapaciteta od 545 MJ/s i neto učinkovitosti procesa zajedničke proizvodnje električne i toplinske energije od 50,6%. Takav sustav razvio je danski *Energi E2* i švedski *Vattenfall*, a sastoji se iz kotla na biomasu te visokotlačnog kotla na ugljen koji zajednički proizvode svježju paru za pokretanje parne turbine koja je organizirana u nekoliko blokova, od visokotlačnog, srednjotlačnog i niskotlačnog dijela. Loženjem ugljena i biomase u odvojenim kotlovima dobiva se ugljeni pepeo kao sirovina u cementarama te pepeo iz biomase za potrebe gnojenja zemlje. Za učinkovitije predzagrijavanje napojne vode u ovaj su se energetskeg sustav nadgradile dvije plinskoturbinske jedinice s kotlom utilizatorom. Proizvođač tih jedinica je *Rolls Royce* i njihov stupanj iskoristivosti iznosi 42%, najveći na tržištu plinskih turbina [5].



Slika 4.

U tablici 1. prikazani su primjeri komercijaliziranih postrojenja pogonjenih sekundarnim i fosilnim gorivima u Švedskoj i Finskoj.

3. TEHNOEKONOMSKA I EKOLOŠKA POZADINA

U tablici 2. navedeni su podaci o učinkovitosti proizvodnje električne energije u ovisnosti o količinskom udjelu sekundarnog goriva u procesu suizgaranja s ugljenom te podaci o specifičnim troškovima za različite koncepcije suizgaranja. Podaci o učinkovitosti proizvodnje električne energije u ovisnosti o energetsom udjelu sekundarnog goriva u procesu suizgaranja s prirodnim plinom te podaci o specifičnim troškovima za različite koncepcije suizgaranja prikazane su u tablici 3. Usporedbe radi, učinkovitost proizvodnje električne energije u energetsom postrojenju na ugljen neto izlazne električne snage od 600 MWe jednaka 40%. Učinkovitost proizvodnje električne energije u energetsom postrojenju na prirodni plin neto izlazne električne snage 335 MWe jednaka je 55% [3].

Tehnološke prepreke koje se javljaju kod suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima sljedeće su:

1. Ograničene količine sekundarnih goriva koje zamjenjuju količine fosilnih goriva iz razloga kako se ne bi smanjio kapacitet energetske postrojenja. Pri tome treba voditi računa o donjoj ogrjevnoj vrijednosti sekundarnih goriva koja bi trebala biti

neznatno manja od donje ogrjevne vrijednosti smeđeg ugljena.

2. Ukoliko se radi o biootpadu kao sekundarnom gorivu tada ono treba imati što manju relativnu vlažnost kako bi se mogao kvalitetno usitniti i zatim izmiješati s ugljenom po istoj mjeri granulacije. Biootpad je često mekan i vlaknast, a ugljen tvrd.
3. Sekundarno gorivo s relativno velikom količinom vlage pri izgaranju utječe na umanjivanje učinkovitosti pojedinih dijelova sustava kao što su ventilatori dimnih plinova, mehanizam za odstranjivanje pepela te oprema za pročišćavanje dimnih plinova. Nastale nečistoće iz biootpada negativno djeluju na desumporizaciju dimnih plinova, usporavanju katalitičkih procesa pri izgaranju biootpada, te potiču kondenziranje katrana i stvaranje štetnih emisija teških metala.
4. Razna zaprljanja i nečistoće na dijelovima sustava kao što su plamenici, zidovi peći i prezagrijači nastaju zbog pojave taljenja pepela usred temperatura nižih od 900°C. Tako topljeni pepeo sastoji se od velikog udjela alkaličnih metala, kalcija i željeza.
5. Korozija se na prezagrijačima pojavljuje zbog stvaranja sumpora i klora prilikom izgaranja sekundarnih goriva.
6. Pojava erozije na dijelovima za loženje i izgaranje goriva rezultat je relativnog visokog sadržaja vlage u dimnim plinovima te visokog sadržaja pepela.

Tablica 1. Iskustva sa suizgaranjem sekundarnog goriva i ugljena u Švedskoj i Finskoj [4]

Naziv postrojenja i lokacija	Značajke postrojenja
<p><i>Tekniska Verken</i> kogeneracijsko postrojenje, Linköping, Švedska</p> <p>Proizvođač: <i>Babcock & Wilcox Volund</i> Neto električna snaga: 1x40 MWe i 2x30 MWe Parametri svježe pare: 67 bar/ 475°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> – javno kogeneracijsko postrojenje u kojem suizgara uvozna otpadna guma s ugljenom – utvrđeno je da otpadna guma jest visoko-vrijedno i jeftino gorivo – kvalitetno praćenje koncentracije dušičnih oksida (NOx) i sumpordioksida (SO₂) u dimnim plinovima
<p>Tvornica papira <i>Stora Fors</i>, Fors, Švedska</p> <p>Proizvođač: <i>Foster Wheeler Energia Oy</i> Neto električna snaga: 9,6 MWe Parametri svježe pare: 60 bar/ 475°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> – kogeneracijsko postrojenje čini energetska dio tvornice papire – kotao s cirkulirajućim fluidiziranim slojem – mogućnost izgaranja drvnog ostatka relativne vlažnosti do 46% – umjesto ugljena danas se za suizgaranje s otpadnim materijalom koriste drveni peleti
<p>Kogeneracijsko postrojenje <i>Indbäcksverket</i>, Nyköping, Švedska</p> <p>Proizvođač: <i>Outkumpo Ecoenergy</i> Neto električna snaga: 70 MWe Parametri svježe pare: 140 bar/ 540°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> – javno kogeneracijsko postrojenje u kojem suizgara ugljen s različitim oblicima biomase i biootpada – problemi su se javili kod stvaranja korozije i miješanja zraka s gorivom – za izradu prezagrijača pare upotrijebio se austenitni čelik
<p>Tvornica papira <i>Stora Hylte</i>, Hyltebruk, Švedska</p> <p>Proizvođač: <i>Foster Wheeler Energia Oy</i> Neto električna snaga: 30 MWe Parametri svježe pare: 64 bar/ 450°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> – kogeneracijsko postrojenje koje opskrbljuje toplinom i električnom energijom jednu od najvećih tvornica papira u Europi – neobična mješavina goriva iz otpadnog mulja dobivenog pri otklancjanju mastila i čišćenju otpadne vode iz procesa – neka goriva u sebi sadrže više od 55% pepela i 60% vode – kotao s cirkulirajućim fluidiziranim slojem na čijim se cjevovodima svojedobno pojavila erozija
<p>Kogeneracijsko postrojenje <i>Kymijärvi</i>, Lahti, Finska</p> <p>Proizvođač: <i>Foster Wheeler Energia Oy</i> Neto električna snaga: 200 MWe</p>	<ul style="list-style-type: none"> – na postojeće kogeneracijsko postrojenje na ugljen nadogradnja dijela u kojem se proizvodi (bio)plin iz rasplinjača biomase s fluidiziranim slojem – sekundarno gorivo predstavljaju mješavine otpadne plastike, papira, kartona, drva u različitim masenim omjerima vlažnosti do 55% – nadograđena jedinica testirana je te dobiveni rezultati pokazuju da ona funkcionira ispravno
<p>Kogeneracijsko postrojenje <i>Rauhalati</i>, Jyväskylä, Finska (→ sliku 5)</p> <p>Proizvođač: <i>Kvaerner Pulping Ltd.</i> Neto električna snaga: 87 MWe Parametri svježe pare: 136 bar/ 533°C</p>	<ul style="list-style-type: none"> – kogeneracijsko postrojenje proizvodi električnu energiju, toplinu za industriju te za daljinsko grijanje iz treseta, ugljena i drva različitog podrijetla – kotao je ispunjen mjehuričastim fluidiziranim slojem – ovim su postrojenjem postignute niske emisije štetnih plinova, visoka učinkovitost te siguran i pouzdan rad

Tablica 2. Učinkovitost proizvodnje električne energije i specifični troškovi u ovisnosti o različitim koncepcijama suizgaranja sekundarnog goriva i ugljena [3]

	Učinkovitost proizvodnje električne energije sa sekundarnim gorivom (%)		Specifični troškovi za dodatnu opremu suizgaranja sekundarnog goriva s ugljenom (Euro/kWe)	
	10	40	10	40
Energetski udio sekundarnog goriva u suizgaranju s ugljenom	10	40	10	40
1. izravno suizgaranje	39,5	39,5	40	25
2. odvojeni sustavi za pripremu goriva	38	38	500	285
3. rasplinjavanje sekundarnog goriva	38	38	455	300
4. brzi proces pirolize	36	36	935	935
5. hidrotermičko tretiranje sekundarnog goriva	35,5	35,5	620	490
6. odvojena priprema i izgaranje goriva sa integriranim parnim ciklusom	38,5	38,5	940	575

Tablica 3. Učinkovitost proizvodnje električne energije i specifični troškovi u ovisnosti o različitim koncepcijama suizgaranja sekundarnog goriva i prirodnog plina [3]

	Učinkovitost proizvodnje električne energije sa sekundarnim gorivom (%)			Specifični troškovi za dodatnu opremu suizgaranja sekundarnog goriva s prirodnim plinom (Euro/kWe)		
	5	10	20	5	10	20
Energetski udio sekundarnog goriva u suizgaranju s prirodnim plinom	5	10	20	5	10	20
rasplinjavanje sekundarnog goriva	44,5	44,5	44,5	1 500	1 340	1 185

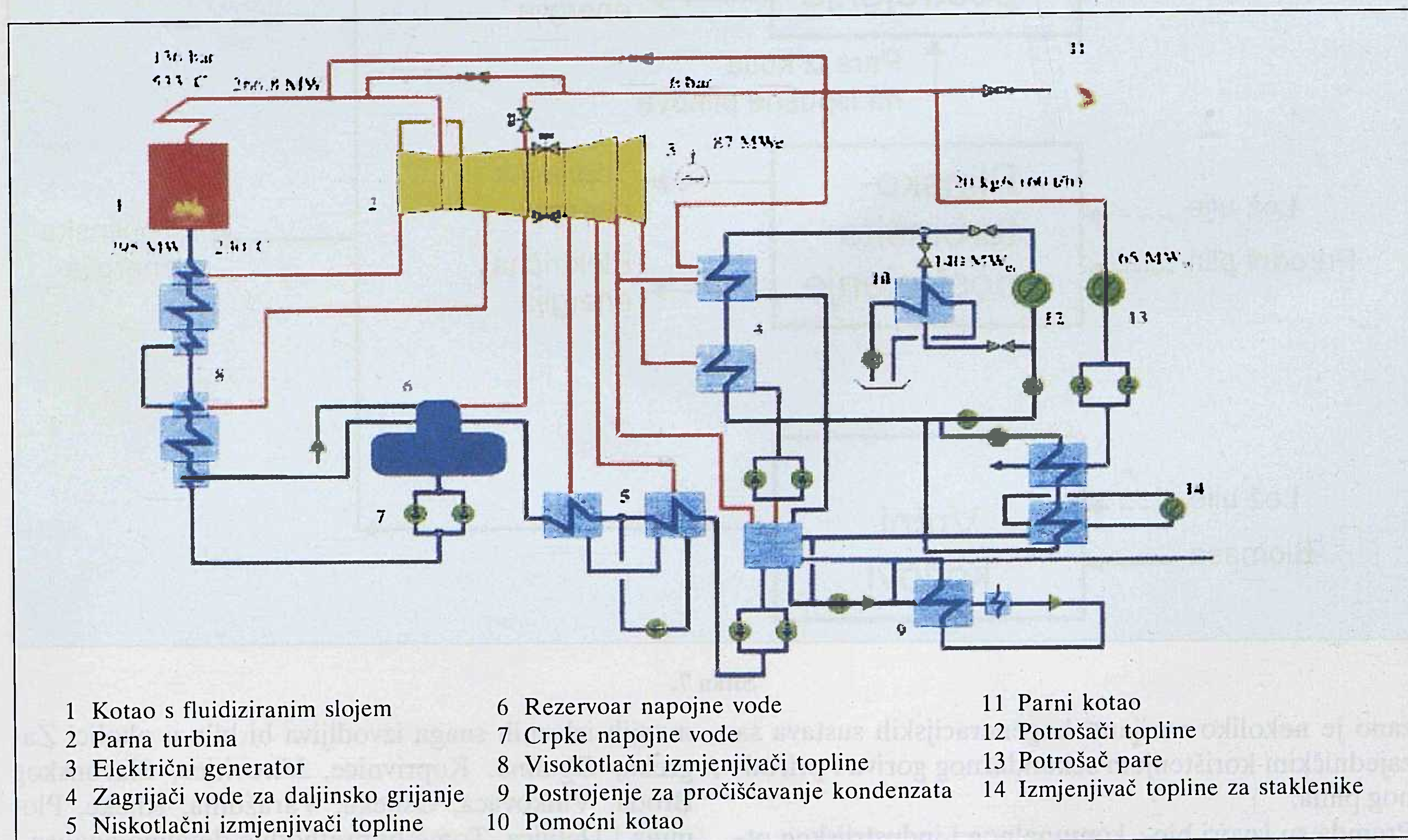
7. (Bio)plin nastao rasplinjavanjem sekundarnog goriva treba biti naknadno pažljivo pročišćen od kontaminanata. To je iz razloga što je plinska turbina općenito jako osjetljiva na kvalitetu plina. Osjetljiva je i komora izgaranja u kojoj je potrebno regulirati emisije dušičnih oksida (NO_x) uštrcavanjem vode ili pare.

Kod korištenja sekundarnog goriva važno je odrediti kemijski sastav sekundarnog goriva te njegovo podrijetlo radi utvrđivanja kvalitete popratnih produkata nastalih u procesu suizgaranja, a to su pepeo i gips (nastao odsumporavanjem dimnih plinova). Utvrđivanje kvalitete pepela i gipsa vrlo je bitno jer one predstavljaju sirovinu u industriji cementa i betona. Kvaliteta pepela i gipsa trebala bi biti u skladu s ekološkim normama koje je postavila Europska unija. Tim se normama izjednačava kvaliteta pepela nastalog izgaranjem ugljena s kvalitetom pepela nastalih suizgaranjem sekundarnog goriva i ugljena do 10% ukupne količine zamijenjenog ugljena sekundarnim gorivom [3].

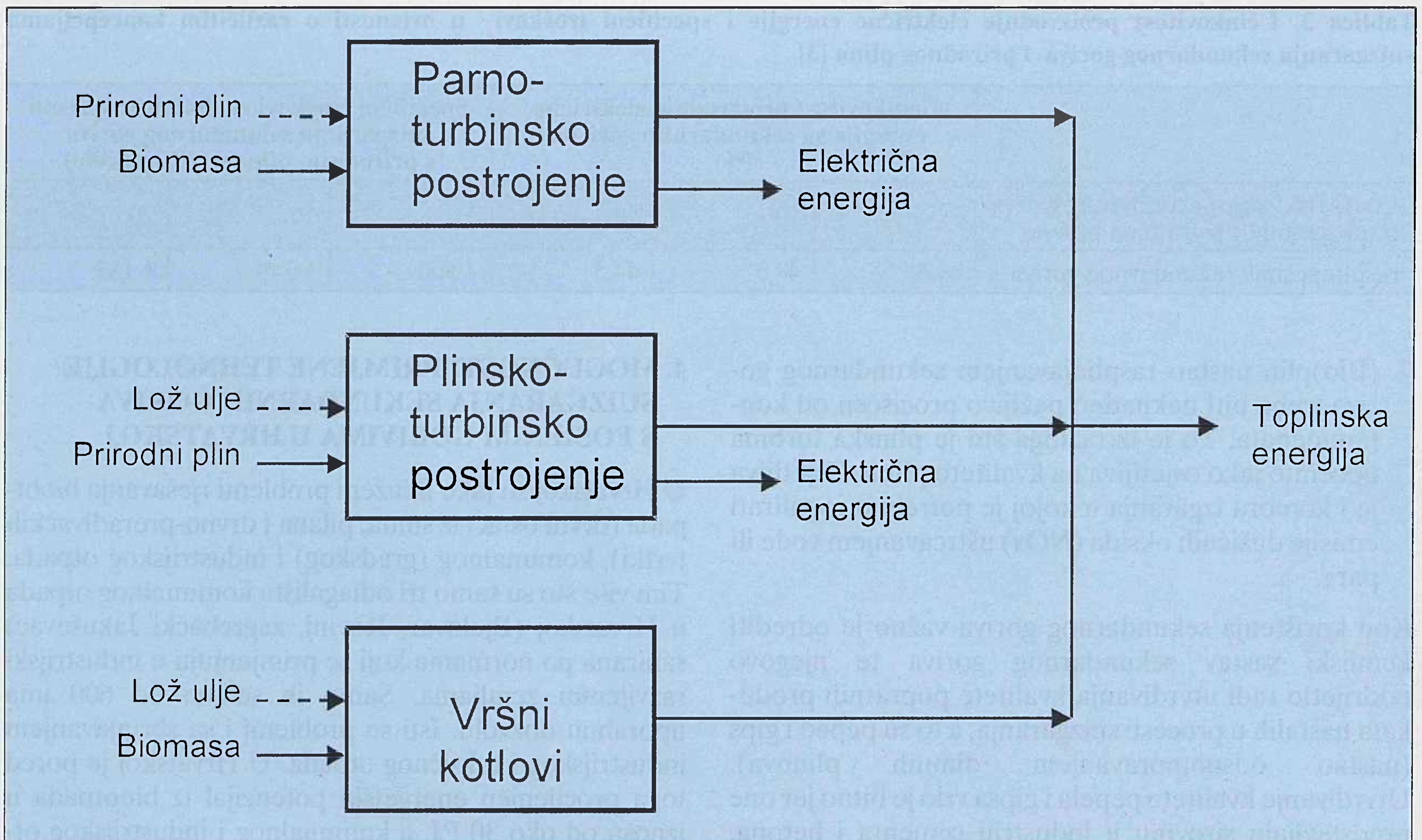
4. MOGUĆNOSTI PRIMJENE TEHNOLOGIJE SUIZGARANJA SEKUNDARNIH GORIVA S FOSILNIM GORIVIMA U HRVATSKOJ

U Hrvatskoj su jako izraženi problemi rješavanja biootpada (drvni ostaci iz šuma, pilana i drvno-prerađivačkih tvrtki), komunalnog (gradskog) i industrijskog otpada. Tim više što su samo tri odlagališta komunalnog otpada u Hrvatskoj (Bjelovar, Rovinj, zagrebački Jakuševac) sanirana po normama koji se primjenjuju u industrijski razvijenim zemljama. Samo ih sedam od 600 ima uporabnu dozvolu. Isti su problemi i sa zbrinjavanjem industrijskog i toksičnog otpada. U Hrvatskoj je pored toga procijenjen energetska potencijal iz biootpada u iznosu od oko 30 PJ, a komunalnog i industrijskog otpada u iznosu od 15 PJ [6].

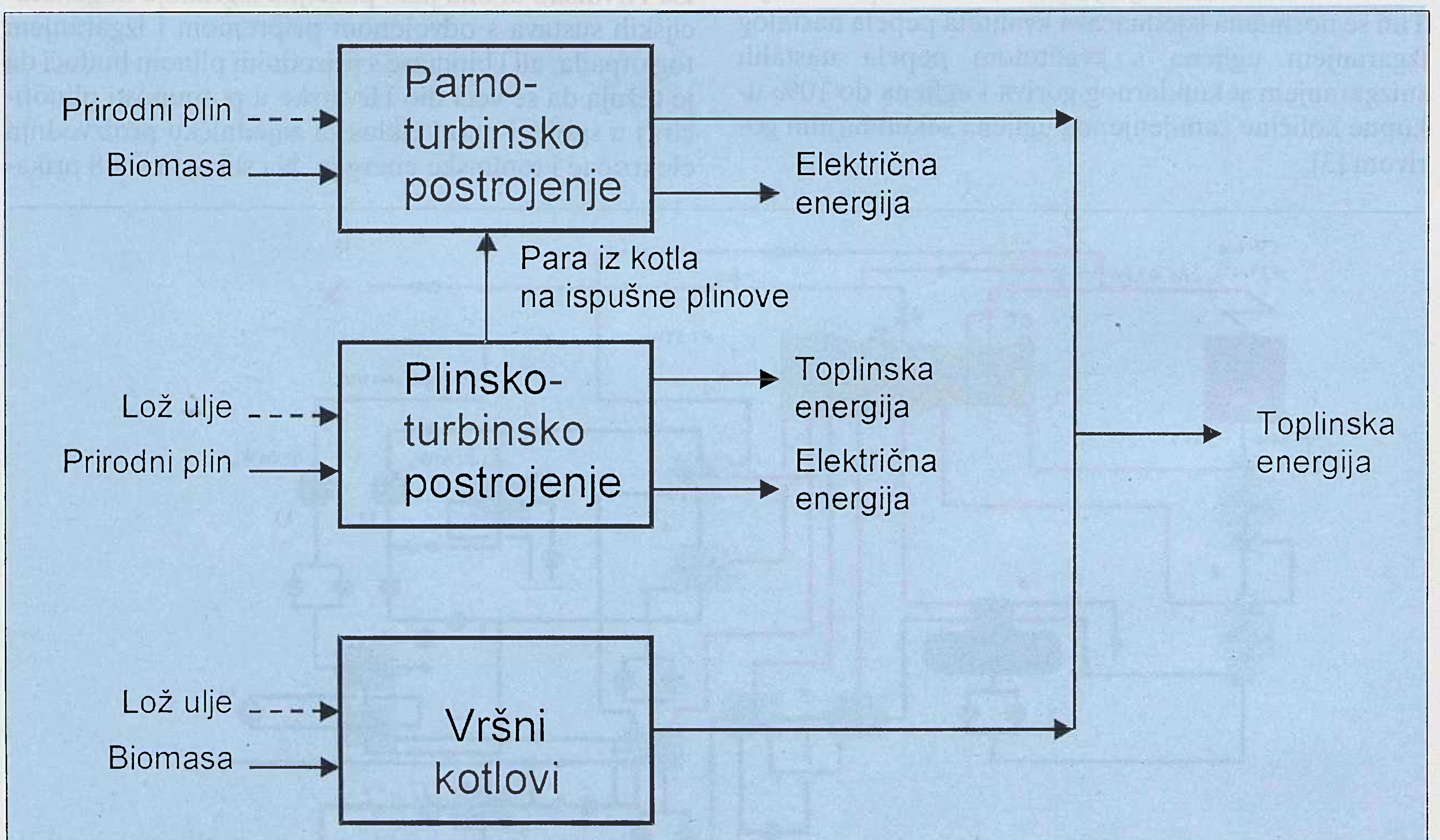
Za Hrvatsku bi bila jako poželjna izgradnja kogeneracijskih sustava s odvojenom pripremom i izgaranjem tog otpada, ali i biomase s prirodnim plinom budući da je težnja da se veći dio Hrvatske u potpunosti plinoficira) u spojeni parni ciklus za zajedničku proizvodnju električne i toplinske energije. Na slikama 6 – 8 prika-



Slika 5.



Slika 6.

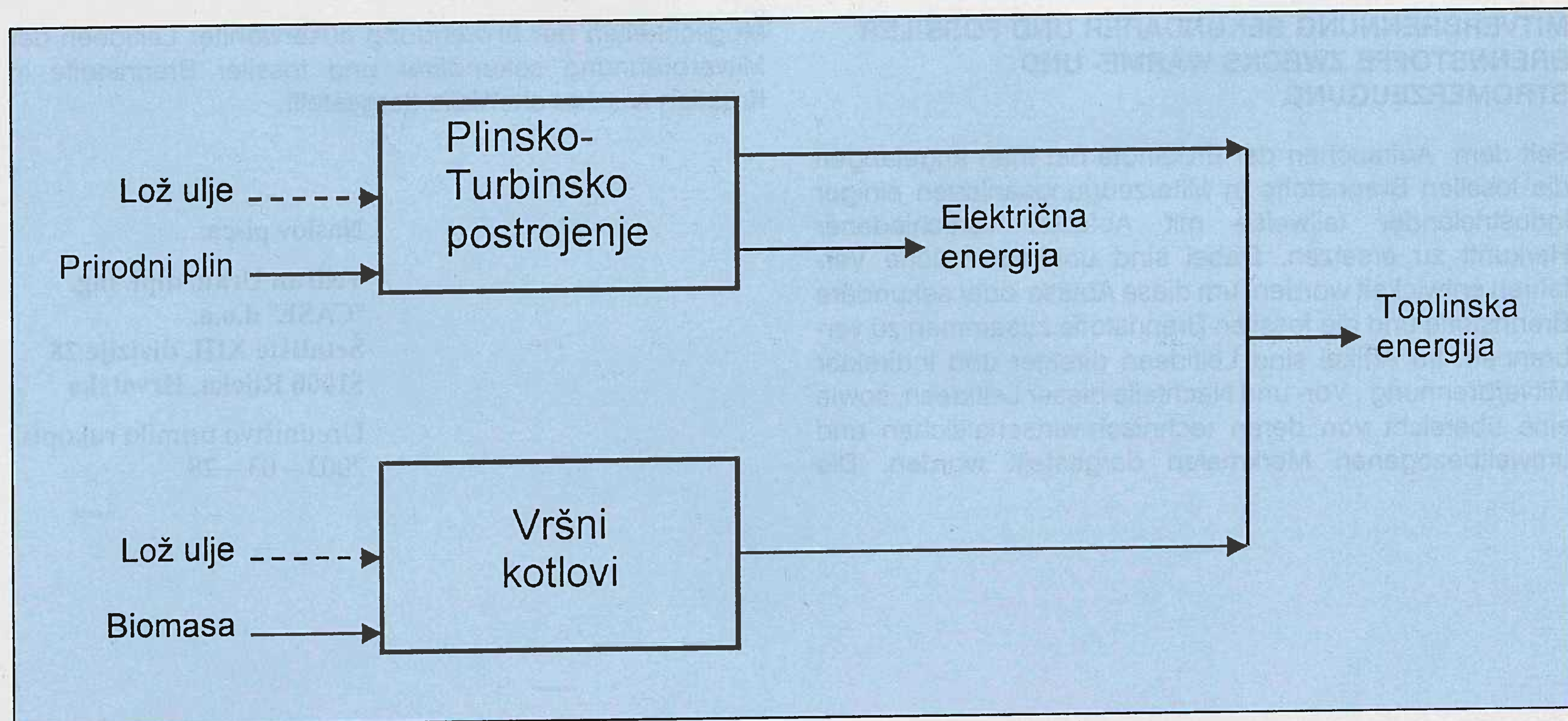


Slika 7.

zано je nekoliko varijanti kogeneracijskih sustava sa zajedničkim korištenjem sekundarnog goriva i prirodnog plina.

Premda su izvori bio-, komunalnog i industrijskog otpada po Hrvatskoj raštrkani u manjim količinama, izgradnja kogeneracijskih sustava ili termoelektrana

manjih izlaznih snaga izvodljiva bi bila u okolici Zagreba, Ogulina, Koprivnice, Virovitice, Slavonskog Broda, Vinkovaca, Osijeka, Varaždina, Rijeke, Plomina i Delnica. Tome bi prethodile detaljne analize i studije predizvodljivosti takvih energetske sustava. U slučaju ostvarivanja tih projekata, Hrvatska bi se na



Slika 8.

učinkovit način rješavala nagomilanog otpada, bila bi manje ovisna o uvoznim fosilnim gorivima, emisije štetnih plinova bile bi smanjene te bi se više utjecalo na razvoj industrije cementa i betona.

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane razne tehnologije suizgaranja sekundarnih goriva s fosilnim gorivima. U razvoj tih tehnologija ulažu one zemlje čija se energetska politika temelji na što učinkovitijem rješavanju otpada različitog podrijetla, smanjivanju ovisnosti o uvoznim fosilnim gorivima te smanjenu emisija stakleničnih plinova u atmosferu. Premda te tehnologije imaju nedostatke, ne znači da su i nerješivi. U otklanjanju tih nedostataka sudjeluje niz tvrtki iz različitih industrijski razvijenih zemalja s ciljem razvijanja poboljšanih koncepcija. Ti su nedostaci najviše izraženi kod izgaranja sekundarnih goriva pri čemu bi trebalo smanjiti emisije štetnih plinova te poboljšati kvalitetu pepela i gipsa. Kolika je uspješnost rada sustava u kojima sekundarno gorivo suizgara s fosilnim gorivom vidljivo je na primjerima u Švedskoj i Finskoj.

U slučaju Hrvatske u kojoj su jako izraženi problemi rješavanja otpada različitog podrijetla iz predloženih varijanti energetske sustava (slike 6 – 8) zaključuje se da bi one mogle biti implementirane u energetske sektor Hrvatske ukoliko se pored novog Zakona o energiji donese i Zakon o reguliranju potreba te pogodnostima spaljivanja otpada u koji spada i biomasa, te Zakon o oporezivanju stakleničnih plinova. Projektiranje izloženih varijanti energetske sustava bi tad bilo primamljivo u mehanizmima trgovanja energijom (*Emission Trading*) i zajedničkog ulaganja (*Joint Implementation*) između dvaju subjekata, npr. vlada pojedinih zemalja kojima je interes pridonijeti smanjenju ispuštenih štetnih emisija u atmosferu.

LITERATURA

- [1] M. RADETZKI, "The economics of biomass in industrialized countries: an overview", »Energy Policy«, Vol.25, No.6, United Kingdom, 1997., pp. 545-554
- [2] V. URAN, "Projekcija razvoja energetskog sektora u svijetu i Hrvatskoj do 2020. godine", Energija 51(2002)1, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb, str. 3-8
- [3] R. VAN REE, et al., "Operational experiences of (in)direct co-combustion in coal and gas fired power plants in Europe", Power-Gen Europe, Brussels, Belgium 29-31 May, 2001.
- [4] "European Co-combustion of Coal, Biomass and Wastes", Final Report – Project DIS-0506-95-UK, European Commission – DGXVII
- [5] Internet stranica: www.rolls-royce.com
- [6] J. DOMAC, et. al., *BIOEN* – "Program korištenja biomase i otpada, prethodni rezultati i buduće aktivnosti", Energetski institut »Hrvoje Požar«, Zagreb, travanj, 1998.
- [7] ...Zakon o energiji, Klasa 310-02/01-01/01, 19. srpnja 2001., Zagreb

COMBUSTION OF SECODARY AND FOSSIL FUEL FOR THE PRODUCTION OF HEAT AND ELECTRIC ENERGY

After the oil crisis some of the existing cogeneration plants in developed industrial countries changed a certain quantity of fossil fuels for waste from different sources. Thereby different combustion technologies of waste or secondary fuel together with fossil fuels are developed. In the work a concept of direct and indirect combustion is described together with their advantages and disadvantages, as well as a review on technical-economic and ecological characteristics of those concepts. Application possibilities of chosen secondary and fossil fuel combustion concepts for Croatia are also given.

MITVERBRENNUNG SEKUNDÄRER UND FOSSILER BRENNSTOFFE ZWECKS WÄRME- UND STROMERZEUGUNG

Seit dem Auftauchen der Erdölnöte hat man angefangen die fossilen Brennstoffe in Miterzeugungsanlagen einiger Industrieländer teilweise mit Abfällen verschiedener Herkunft zu ersetzen. Dabei sind unterschiedliche Verfahren entwickelt worden, um diese Abfälle oder sekundäre Brennstoffe und die fossilen Brennstoffe zusammen zu verbrennen. Im Artikel sind Leitideen direkter und indirekter Mitverbrennung, Vor- und Nachteile dieser Leitideen, sowie eine Übersicht von deren technisch-wirtschaftlichen und umweltbezogenen Merkmalen dargestellt worden. Die

Möglichkeiten der Anwendung auserwählter Leitideen der Mitverbrennung sekundärer und fossiler Brennstoffe in Kroatien wurden ebenfalls dargestellt.

Naslov pisca:

Vedran Uran, dipl. ing.
"CASE" d.o.o.
Šetalište XIII. divizije 28
51000 Rijeka, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2003 – 03 – 28.

LITERATURA

[1] M. RADETSKI, "The economics of biomass in industrialized countries: an overview", Energy Policy, Vol. 25, No. 6, United Kingdom, 1997, pp. 542-554.

[2] V. URAN, "Projektirana razvoja energetske sektora u svijetu i Hrvatskoj do 2020. godine", Hrvatska Elektroenergetika, Zagreb, str. 3-8.

[3] R. VAN RIE, et al., "Operational experiences of indirect co-combustion in coal and gas fired power plants in Europe", Power Gen Europe, Brussels, Belgium, 29-31 May, 2001.

[4] "European Co-combustion of Coal, Biomass and Waste", Final Report - Project DIS-1996-ES-UK, European Commission - DG XVII.

[5] Internet stranica: www.rolle.com

[6] J. DOMAC, et al., RIKVA - "Program korištenja biomase i otpada, postrobnim rezultat i budućim aktivnostima", Energetski institut Hrvatske, Zagreb, travanj, 1998.

[7] Zakon o energiji, Klasa 310-02/01-01/K, 10. srpnja 2001. Zagreb.

SUPERKONDENZATORI

Dr. sc. Dušan V u j e v i ć, Zagreb

UDK 621.319.5:621.39
PREGLEDNI ČLANAK

Superkondenzatori, ultrakondenzatori ili elektrokemijski kondenzatori su nazivi za kondenzatore čiji kapaciteti dostižu, do sada nezamislivih, stotine pa i tisuće farada. Rabe se u mnogim uređajima i sustavima kao što su: hibridna električna i druga vozila, uređaji za napajanje pri kratkotrajnom nestanku napona električne mreže, dlanovnici (palmtop computer), mobiteli, digitalne kamere itd., za pohranu električne energije.

Ključne riječi: superkondenzator, ultrakondenzator, elektrokemijski dvoslojni kondenzator, dvoslojni kondenzator.

1. UVOD

Radi uštede i racionalne potrošnje energija se, kad je ima više od trenutačnih potreba, pohranjuje. To se čini i radi napajanja nekih nepokretnih i većine prenosivih električnih uređaja i aparata. Električna energija može se pohraniti: izravno, mehanički, elektrokemijski, termički i termokemijski.

Relativno male količine energije izravno se pohranjuju kondenzatorima, a one veće, čak reda veličine MJ ili deset MJ, superkondenzatorima ili sustavom sa supravodljivim svitkom (SMES- superconducting magnetic energy storage). SMES se rabi kratkotrajno, u slučaju propada napona mreže.

Više se energije već godinama pohranjuje mehanički, reverzibilnim elektranama na vodu ili, nešto rjeđe, na stlačeni zrak. U potonjima se za spremnike zraka rabe i napuštena rudarska okna.

Mehanički se energija sve češće pohranjuje i zamašnjacima, koji se motorgeneratorima zavrte na više tisuća ili desetaka tisuća okretaja u minuti. Ti zamašnjaci zatim mogu davati električnu energiju goneći generator, tijekom nekoliko desetaka sekunda. Sklop sa zamašnjakom naziva se i mehaničkom baterijom te se rabi u satelitima, zrakoplovima, svemirskim vozilima, automobilima itd. (Web stranice NASA-e). Učinkovitost zamašnjaka je višestruko veća od baterija i iznosi oko 80 %, a procjenjuje se na trajnost od približno 15 godina, bez posebnog održavanja. Međutim, cijene sustava sa zamašnjakom su trenutačno, a jamačno bit će i idućih nekoliko godina, višestruko veće od onih baterija.

Suvremeni zamašnjaci nisu čelični, posebice oni za veći broj okretaja u minuti, nego od kompozitnih materijala (grafitna vlakna-epoksidna smola, titan i njegove slitine itd.). U vozilima se, radi sprječavanja giroskop-

skog efekta, rabi sustav od dva zamašnjaka koji se okreću u suprotnim smjerovima istim brojem okretaja u minuti. Gubici zbog trenja smanjuju se posebnim magnetskim ležajevima, čak i supravodljivim, te stavljanjem sustava zamašnjaka u vakuumiranu komoru.

Razne baterije (akumulatori) su primjer elektrokemijske pohrane energije koji se koriste već desetljećima. U skupinu elektrokemijske pohrane energije spadaju i gorive ćelije (elementi) kojih ima više vrsta. One zapravo stvaraju električnu energiju s učinkovitošću 40 % i toplinu s ukupnom učinkovitošću 80 % bez zagađivanja okoliša. Npr. ako rabe vodik kao gorivo i zrak, nusproizvod je voda.

Pod termičkom pohranom podrazumijevaju se postupci kad se energija pohranjuje grijanjem, taljenjem ili pretvorbom u paru neke tvari. Najčešći je primjer ove pohrane zagrijavanje, npr. vode, električnom energijom, koja se pri hlađenju predaje korisniku. Termokemijska pohrana postiže se reverzibilnim kemijskim procesima koji apsorbiraju, odnosno predaju toplinu.

Od svih navedenih načina pohrane energije ovdje će biti riječi samo o izravnom pohranjivanju električne energije superkondenzatorima. Pritom će težište biti na njihovom ustroju i osnovnim značajkama, bez niza podrobnosti iz prospekata i tehničkih uputa pojedinih proizvođača.

2. KONDENZATORI

Kondenzatorom nazivamo sustav od dvije međusobno izolirane metalne elektrode (obloga), različita oblika. Dielektrik (izolator), koji razdava obloge, može biti plinovit, npr. zrak, ili krut (keramika, papir, tinjac itd.). Kapacitet kondenzatora izravno je razmjern die-

lektričkoj stalnici (permitivnosti) i djelatnoj površini elektroda, a obrnuto razmjernan razmaku među njima. Dakle, što je površina elektroda veća, a razmak između njih manji, kapacitet je, uz zadani dielektrik, veći. Kondenzator služi za pohranu električnosti (naboja), odnosno električne energije, kad se oblozi priključe na prikladan izvor. Pohrana naboja ne mijenja strukturu elektroda i dielektrika, pa je životna dob većine kondenzatora jako duga.

Prvi, tzv. elektrostatski, kondenzator jamačno je bila Leidenska boca (1745. god.), sa staklom kao dielektrikom. Kasnije su se proizvodili, i još se proizvode, kondenzatori s različitim vrstama dielektrika, čiji su kapaciteti od reda veličine pikofarada do više stotina mikrofara. Neke tvrtke zadnjih godina proizvode i kondenzatore kapaciteta reda veličine milifarada. Iz toga se može zaključiti da je *farad* (simbol: F) najveća mjerna jedinica u elektrotehnici, jer se tijekom 250 godina nije uspjelo načiniti kondenzator većeg kapaciteta od prije spomenutih.

Kapacitet od jednog farada može se predočiti npr. pločastim kondenzatorom sa zrakom kao dielektrikom, čiji je razmak između ploča 1 mm, a površina svake od ploča 113 km². Suvremene izvedbe kondenzatora imaju dielektrike debljine nekoliko mikrometara. Uz debljinu dielektrika od 10 mikrometara i pretpostavljenu relativnu dielektričnu stalnicu 10, kapacitet od 1 F postigao bi se površinom obloga od 0,11 km². Ako bi njegovi oblozi bili debljine samo 0,1 mm, obujam takovog kondenzatora, uračunavši i izolaciju, bio bi približno 12 m³.

Izboj ili pražnjenje kondenzatora, pri kratkom spoju elektroda, traje vrlo kratko (reda veličine milisekunde ili čak mikrosekunde), ali je snaga impulsa vrlo velika. S druge strane, unatoč velikoj razlici potencijala (napona) između elektroda, pohranjena je energija zbog malog kapaciteta prilično mala. Naime, pohranjena energija je: $W = U^2C/2$, gdje je U napon u voltima, a C kapacitet u faradima.

Posljednih godina više tvrtki nudi kondenzatore čiji su kapaciteti reda veličine deset, stotinu, pa i tisuću farada, a njihove dimenzije su, u usporedbi s klasičnim kondenzatorima višestruko manjeg kapaciteta, vrlo male. Ti se kondenzatori nazivaju: superkondenzatorima, ultrakondenzatorima, kondenzatorima snage, zlatnim kondenzatorima ili dvoslojnim kondenzatorima.

Stručni naziv "elektrokemijski dvoslojni kondenzator" (engleski: EDLC- electrochemical double layer capacitor) ili kraće "elektrokemijski kondenzator" (engleski: EC-electrochemical capacitor) najbolje opisuje način pohrane električne energije u njima.

Treba napomenuti da to nisu, već desetljećima poznati, elektrolitski kondenzatori, u kojima se pod utjecajem napona izvora, kemijskom reakcijom, stvara oksidni (npr. Al₂O₃) dielektrički sloj debljine reda veličine mikrometra.

Dakle, iz navedenog slijedi da se danas kondenzatori mogu podijeliti na: elektrostatske, elektrolitske i elektrokemijske. Valja spomenuti i posebnu vrstu kondenzatora, tzv. feroelektričke kondenzatore, koji se za sada ograničeno rabe kao pojedinačni elementi, a više kao tzv. FRAM (Ferroelectric RAM) memorije. Oni su naziv dobili po karakteristici (naboj u ovisnosti o električnom polju) dielektrika (keramika) u njima, koja je slična onoj kod feromagnetika, tj. pokazuje histerezu.

3. SUPERKONDENZATORI

Razvoj elektrokemijskog dvoslojnog kondenzatora (EDK) počeo je krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća, jamačno, kao što obično biva, u vojne svrhe, npr. za izbacivanje projektila elektromagnetskom energijom [1]. Kasnije je razvoj bio potaknut radom na hibridnom električnom vozilu (HEV). Naime, vozila koje se napajaju električnom energijom samo iz baterija imaju najveći domet od, približno, 160 km između dva nabijanja baterije, a samo nabijanje dugo traje.

HEV uz usavršeni klasični motor s unutarnjim izgaranjem ima električni generator ili motorgenerator, bateriju ili gorivu ćeliju i EDK, a neke izvedbe još i zamašnjak. Cilj je bio smanjiti potrošnju goriva i zagađenje okoliša do 40 % u usporedbi sa sadašnjim vozilima, uz domet od 450 km do 1000 km s jednim spremnikom goriva. U razmatranju su različite inačice HEV-a. Jedna od njih predviđa motor s unutarnjim izgaranjem snage 20 % do 25 % manje od one najveće potrebne za pojedinu vrstu vozila. Razlika u potrebnoj snazi za vožnju s većim opterećenjem, npr. na uzbrdici, dobivala bi se iz baterija, a pri ubrzanju iz EDK-a. Pri jednolikoj vožnji i kočenju nabijali bi se se baterija i EDK, a i toplina u rashladnom sustavu rabila bi se za proizvodnju električne energije. Svim spomenutim sustavima upravlja elektronički sklop.

EDK se, prema pokusima i saznanjima američke svemirske agencije NASA (Web stranice tvrtke Tavrma) pokazao kao vrlo prikladan za pokretanje (startanje) motora većih vozila (autobusi, teretna vozila, tenkovi, lokomotive itd.) i pri vrlo niskim temperaturama. EDK za te svrhe imaju 50 % manje obujme od uobičajenih baterija (akumulatora).

Osim već spomenutih evo još nekih, od mnogobrojnih značajki i primjena EDK:

Značajke

1) električne

- velika jedinična snaga
- brzo nabijanje velikim strujama
- velike struje izbijanja
- otporan na suprotni polaritet
- dugačka životna dob

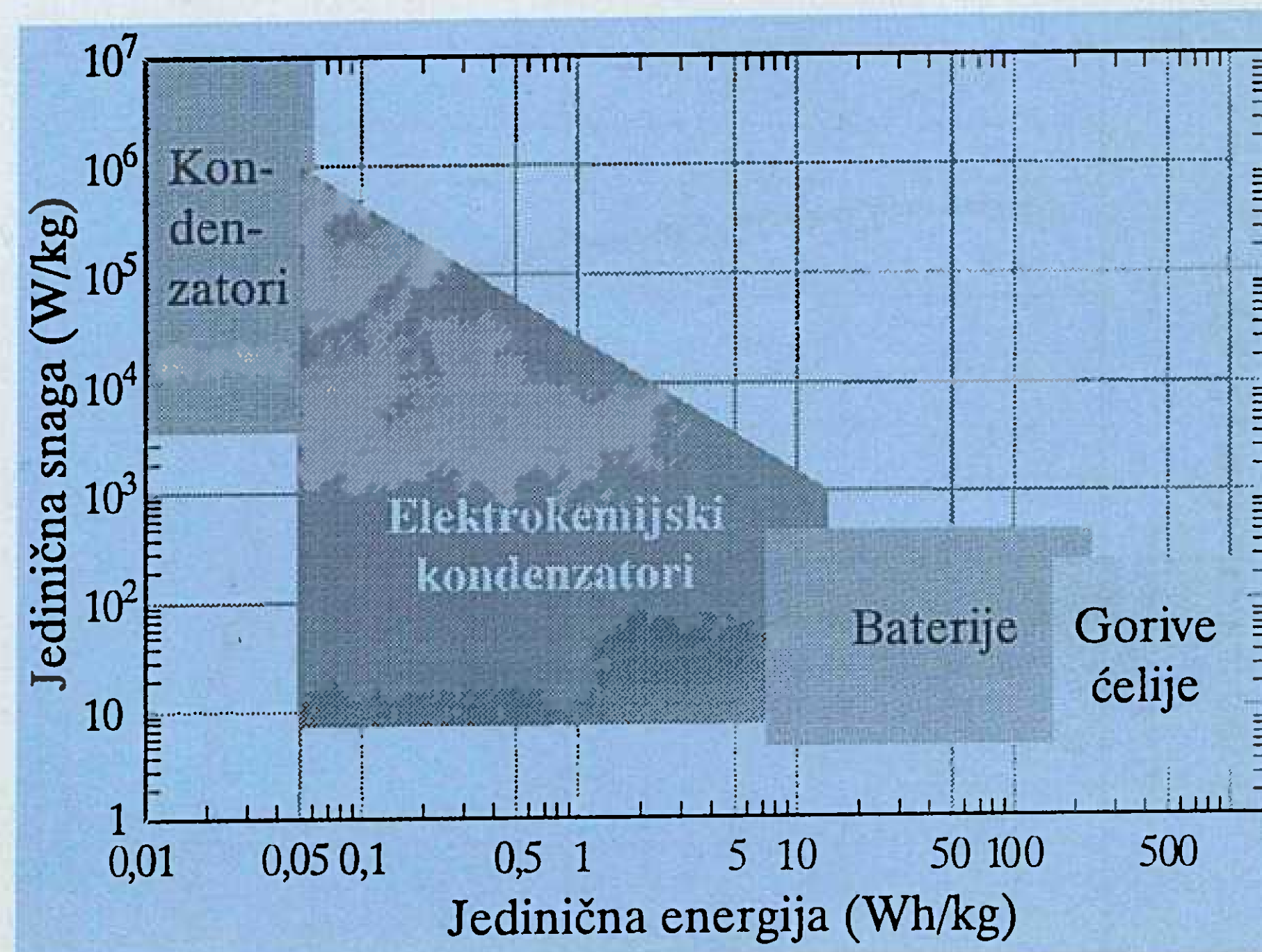
- široki raspon radne temperature (od -30°C do preko 60°C)
- 2) fizičke
- mala masa
 - ne sadrži teške metale, npr. kadmij, nikal, olovo (stoga manje zagađuje okoliš)
 - neosjetljiv na udarce i vibracije
 - ne treba održavanje.

Primjene

- sustavi za uporabu Sunčeve energije
- vjetroelektrane
- robotika
- medicinska oprema
- telekomunikacije i radiokomunikacije (sklopovi čija je vršna snaga kratkotrajno destak puta veća od prosječne, npr. pri odašiljanju)
- sustavi za kratkotrajno napajanje pri nestanku električne energije iz mreže, tzv. UPS (uninterruptible power supply)
- sustavi za poboljšanje kakvoće električne energije
- računalna i foto oprema, kao što su memorije, prenosiva računala, digitalne kamere itd. (npr. u digitalnim kamerama sa zumom, kombinacija EDK-baterija tri i više puta produljuje vijek trajanja baterije prosječne kakvoće)
- igračke.

Planira se uporaba EDK i u energetske postrojenjima. Npr. umjesto sadašnjih načina aktiviranja visokonaponskih i sredjenaponskih prekidača rabio bi se EDK kapaciteta 1 F do 10 F, obujma do 3 litre, napona 50 V do 100V, struje od 100 A do 300 A, trajanje impulsa od 65 ms i pretpostavljene životne dobi do 20 godina. Umjesto glomaznih klasičnih kondenzatora EDK bi se rabio u sklopovima za poravak valnog oblika napona (tzv. DVR-dynamic voltage restorer) u slučaju propada napona u napojnom vodu osjetljivih većih trošila (reda veličine MVA). Također bi se rabio i u sklopovima za kratkotrajno napajanje većih važnih trošila, tzv. DUPS- dynamic uninterruptible power supplies (Web stranica tvrtke ABB i PSI- Paul Scherrer Institut).

Mjesto EDK-a među načinima za pohranu električne energije najbolje se vidi iz tzv. Ragoneovog dijagrama na sl. 1 [2], koji pokazuje međusobnu ovisnost jedinične snage (W/kg) i jedinične energije (Wh/kg odn. J/kg). EDK popunjavaju prilično široki jaz između baterija i klasičnih kondenzatora (elektrostatskih i elektrolitskih), ne samo značajkama nego i izvedbom. U usporedbi s baterijama imaju dulju životnu dob (procjena više od 20 godina), tj. višestruko veći broj ciklusa nabijanja i izbijanja, manju ovisnost o temperaturi, mali nadomjesni serijski otpor, manju cijenu po jedinici kapaciteta, manji obujam i masu, odn. veću jediničnu snagu te mogućnost da se bez posljedica izbiju u vrlo kratkom vremenu. Tako se npr. EDK-om obujma baterije veličine AA može postići strujni impuls od



Slika 1. Ragoneov dijagram [2]

35 A, a onim kapaciteta 2 700 F, nazivnog napon 2,3 V strujni impuls od 400 A (Web stranica tvrtke Epcos). Najveći je nedostatak EDK-a desetak puta manja gustoća energije od baterija.

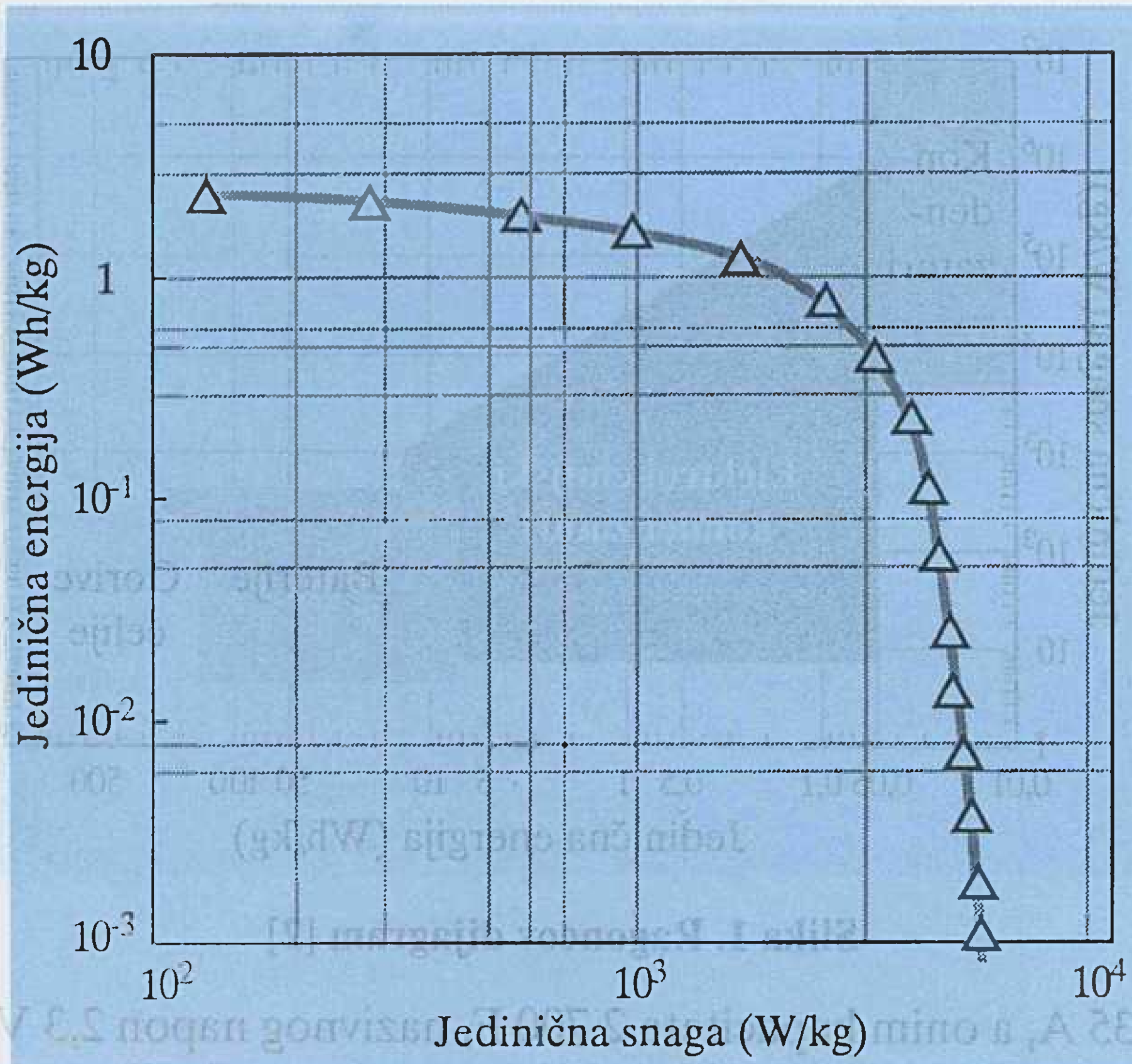
Struja samopražnjenja (leakage current) EDK-a ovisi o izvedbi i, prema dostupnim podacima, reda je veličine od deset mikroampera do miliampera. Napon nabijenog EDK-a ostaje praktički stalan tijekom nekoliko tjedana.

U tablici 1 navedene su usporedbene značajke baterija (olovni akumulator), superkondenzatora i klasičnih kondenzatora, a u tablici 2 neke značajke superkondenzatora (Web stranica tvrtke Siemens Matsushita Components). Na sl. 2 prikazan je Ragoneov dijagram jednog jednoćelijskog EDK-a kapaciteta 800 F, napona 2,5 V najveće jedinične snage 5 kW/kg i jedinične energije 2,5 Wh/kg.

Tablica 1.

Značajke	Baterije	Superkondenzatori	Klasični kondenzatori
Vrijeme nabijanja	1,5 h	0,3 s do 30 s	10^{-3} s do 10^{-6} s
Vrijeme izbijanja	0,3 s do 3 h	0,3 s do 30 s	10^{-3} s do 10^{-6} s
Jedinična energija (Wh/kg)	10 do 100	1 do 10	< 0,1
Jedinična snaga (W/kg)	< 1000	< 10 000	< 100 000
Trajnost (ciklusi nabijanje/izbijanje)	< 1000	> 500 000	> 500 000
Učinkovitost (izbijanje/nabijanje)	0,7 do 0,85	0,85 do 0,98	> 0,95

Valja spomenuti da se jedinični iznosi snage i energije razlikuju od proizvođača do proizvođača EDK-a, jačno ovisno o tehnologiji izrade, namjeni i upo-



Slika 2. Ragoneov dijagram jednog jednočelijskog suprekondenzatora kapaciteta 800 F [7]

trijebljenim sirovinama. Najveća je snaga, pri prilagodbi otpora trošila unutarnjem otporu kondenzatora, $P = U^2/4R$.

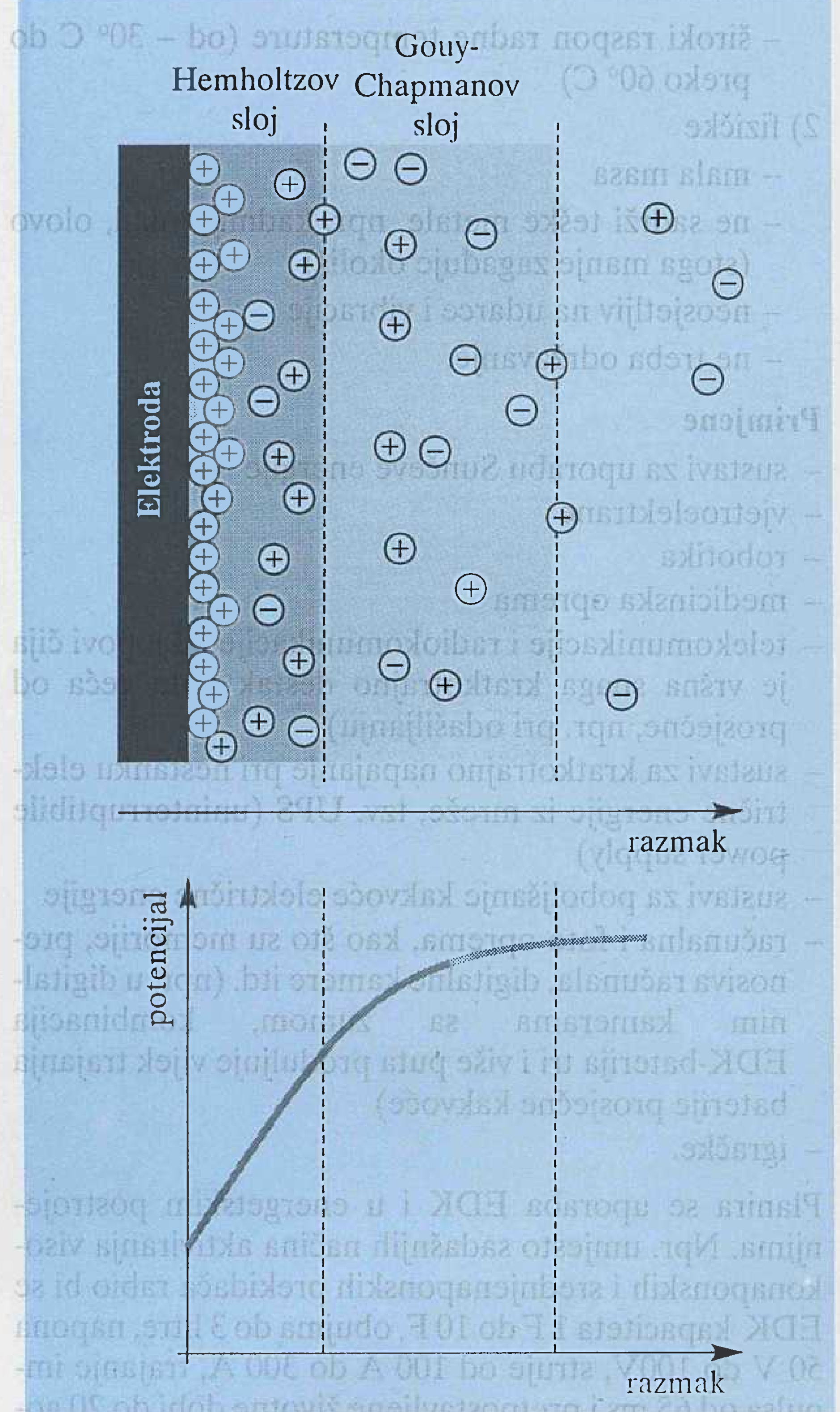
Tablica 2.

Nazivni kapacitet (F)	Nazivni napon (V)	Energija (J)	Jedinična snaga u 6 s (W/kg)	Jedinična snaga u 300 s (W/kg)	Nadomjesni serijski otpor (mΩ)	Dimenzije (mm)
8	2,3	21	347	10	60	29x23,3x 4,2
100	2,3	265	434	13	6	56,7x33x16
2700	2,3	7 142	733	22	0,5	164x62x62

Prema dostupnim informacijama, trenutačne cijene EDK-a, ovisno o izvedbi, nazivnom kapacitetu i naponu, u rasponu su od 2 US \$ do više desetaka US \$ po primjerku, za količine veće od 1000 komada.

4. USTROJ SUPERKONDENZATORA

U načelu, EDK se sastoji od kućišta u kojem se nalaze dvije metalne elektrode (kolektor) za priključak na vanjski izvor, odnosno trošilo. Elektrode se nalaze u prikladnom elektrolitu i razdvojene su tankim separatorom. Pri priključku na električni izvor naboji na elektrodama privlače iz otopine ione suprotna predznaka, te se stvaraju slojevi iona paralelni elektrodama. Ta kombinacija naziva se elektrokemijskim dvoslojem, ili Helmholtzovim slojem (sl. 3) [2, 3], jer je Helmholtz model dvosloja objavio u drugoj polovici 19 stoljeća.

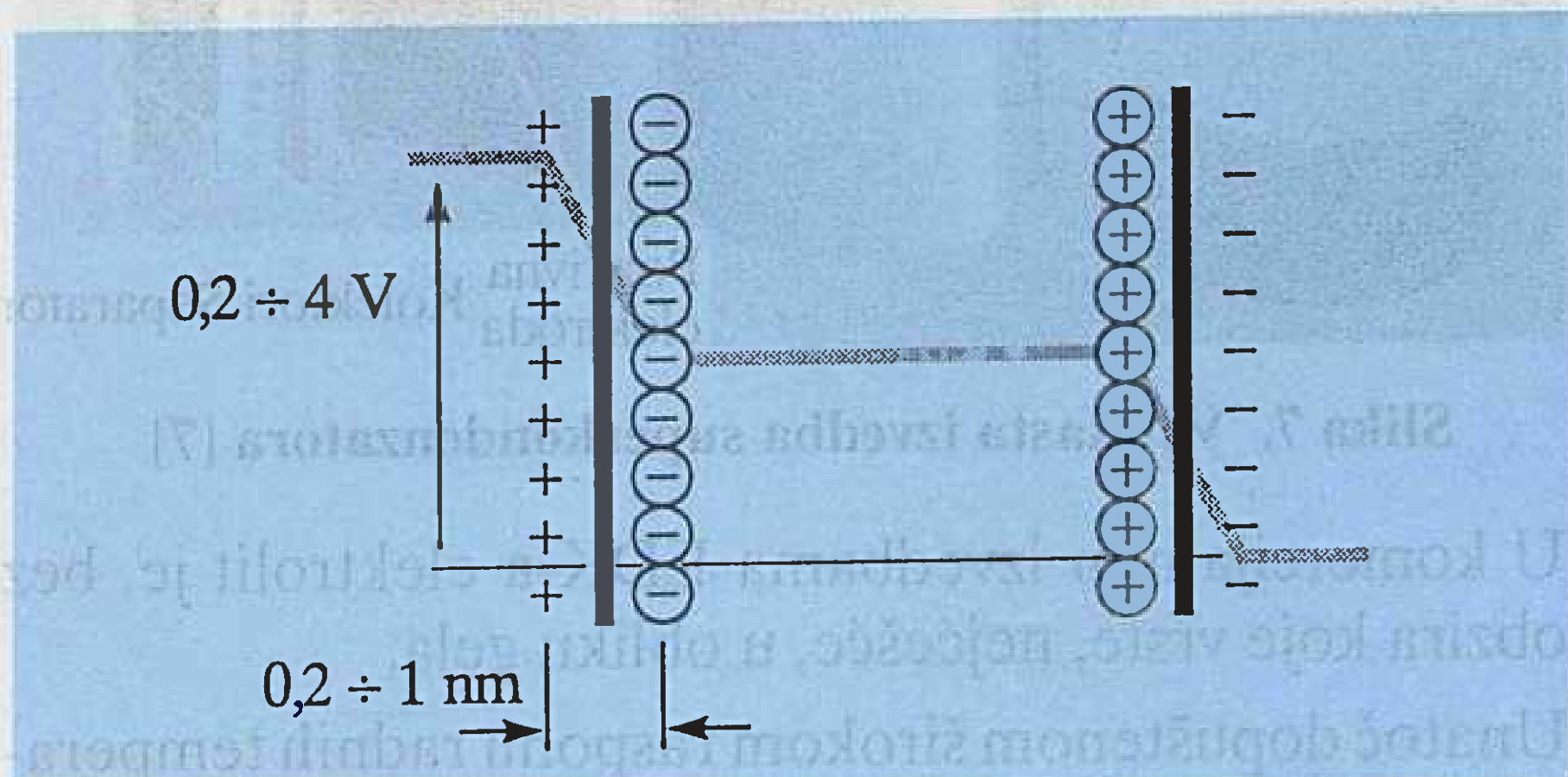


Slika 3. Model dvosloja s Helmholtzovim i Gouy-Chapmanovim slojevima i odgovarajućim potencijalnim dijagramom [7]

Gouy, Chapman i Stern su taj model nadopunili početkom dvadesetog stoljeća, jer se teorijska razmatranja i rezultati pokusa nisu podudarala. Naime, naboj iona, koji se mogu približiti elektrodi samo na određenu udaljenost, nije po veličini jednak naboju elektrode, nego manji. Razlika između ta dva naboja prouzročen je njihovim raspršenjem u tzv. Gouy-Chapmanovom području, tako da je ukupni kapacitet dvosloja zapravo kapacitet serijskog spoja Helmholtzova i Gouy - Chapmanova područja [3]. To vrijedi pri niskim koncentracijama elektrolita. Pri većim koncentracijama elektrolita preostaje samo Helmholtzovo područje. Naime, Stern je svojim, poprilično složenim modelom, pokazao da pri većim koncentracijama elektrolita Gouy-Chapmanovo područje praktički nestaje. Na površini elektrode, pojednostavljeno, nalazi se uvijek sloj adsorbiranih dipolnih molekula otapala (vode), zatim sloj molekula vode hidratiranog iona, pa zatim Helmholtzov sloj iona [3]. Debljina pojedinog dvosloja, koji čini kondenzator, ovisno o koncentraciji elektrolita i veličini iona, reda je

veličine nanometra. Dakle, razmak između "elektroda" dvosloja je i do više tisuća puta manji od onih u suvremenim elektrostatskim i elektrolitskim kondenzatorima, pa se time postižu kapaciteti reda veličine $10 \mu\text{F}/\text{cm}^2$. Valja spomenuti da jakost električnog polja u dvosloju doseže red veličine $10^6 \text{ V}/\text{cm}$, odnosno $10^8 \text{ V}/\text{m}$, koliko i u klasičnim kondenzatorima.

Potencijal se u Helmholtzovom modelu dvosloja jedne elektrode linearno mijenja, zatim je u elektrolitu stalan te se ponovo linearno mijenja u dvosloju druge elektrode (sl. 4). Ukupna razlika potencijala dviju elektroda, odnosno napon kondenzatora, ovisno o elektrolitu, može biti od 1 V do 4 V. Jedna kondenzatorska ćelija superkondenzatora sastoji se od *dva serijski spojena dvoslojna kondenzatora*, pa je ukupni njezin kapacitet polovina kapaciteta dvosloja.



Slika 4. Potencijalni dijagram spoja dvaju dvoslojeva u kondenzatorskoj ćeliji [2]

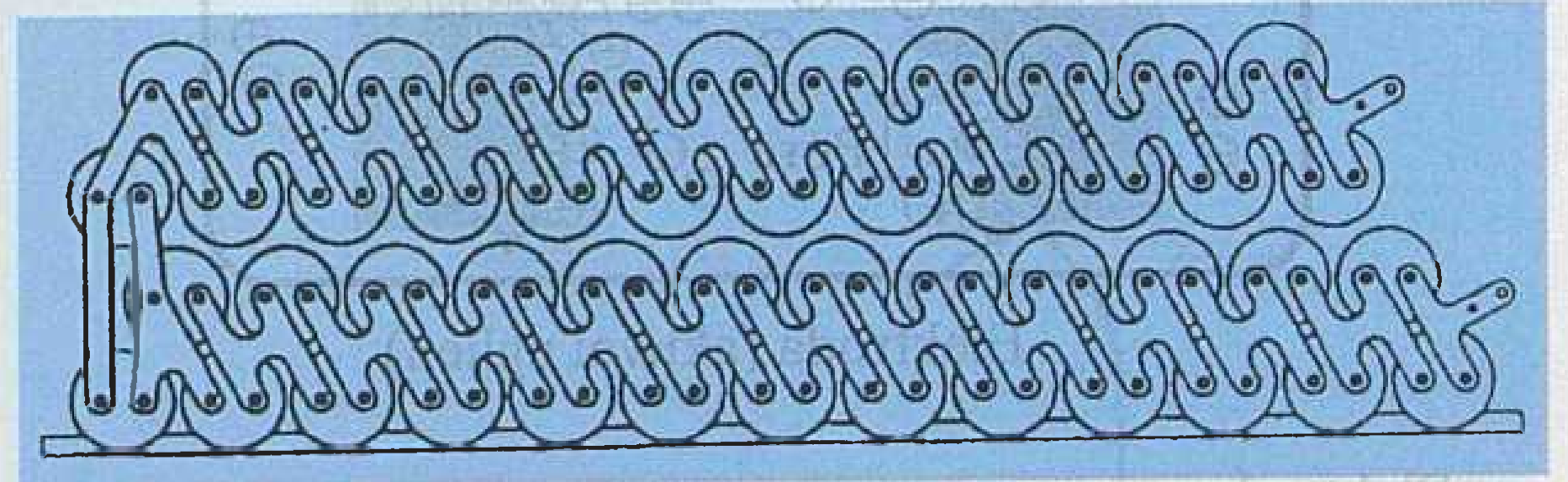
U stvarnosti, radi višestrukog povećanja kapaciteta dvosloja, na elektrode se nanosi tzv. sučelje koje ima stvarnu površinu višestruko veću od geometrijske.

Nazivni naponi kondenzatorskih ćelija, koji su danas na tržištu, obično su 1 V i 2,3 V, pa se za više napone kondenzatorske ćelije moraju spojiti serijski, što smanjuje ukupni kapacitet razmjerno broju ćelija. Ukupni kapacitet paralelno-serijskog spoja je: $C_u = C n_p/n_s$, gdje je C kapacitet pojedine ćelije, n_p broj paralelno, a n_s broj serijski spojenih ćelija. Tako se mogu dobiti EDK različitih kapaciteta, a za napone od 6 V do više stotina volta. Pritom se mora voditi računa o izjednačavanju napona na serijski spojenim kondenzatorima, kako bi se spriječili prenaponi na pojedinim kondenzatorima. To se može postići vrlo malim tolerancijama kapaciteta kondenzatora u serijskom spoju ili, češće, pasivnim ili aktivnim ujednačavanjem napona. Male tolerancije nazivne vrijednosti teško je postići, zbog još uvijek nedovoljne mogućnosti upravljanja veličinama pora sučelja, tako da su tolerancije suvremenih EDK-a približno $\pm 20 \%$.

Pasivno izjednačavanje se postiže otpornicima koji se spajaju paralelno ćelijama, kako se to već desetljećima radi pri serijskom spoju elektrolitskih kondenzatora. Elektroničko izjednačavanje se postiže pomoću komparatora, referentnog izvora napona i sklopke (Web stranica tvrtke Epcos). Komparator uspoređuje napone kondenzatorskih ćelija s referentnim naponom.

Kada je napon ćelije viši, sklopka se zatvara i kondenzator se prazni preko ugrađenog otpornika.

Pri serijskom i paralelnom spajanju EDK-a, otpori spojnih vodiča, kao i njihov induktivitet, trebaju biti što manji. Na sl. 5 prikazan je jedan od načina pravilnog paralelno-serijskog spajanja više EDK-a. Ukupni je otpor paralelno-serijske kombinacije, bez otpora spojnih elementa, $R_u = R n_s/n_p$, gdje je R serijski nadomjesni otpor jedne kondenzatorske ćelije, n_s broj serijski spojenih, a n_p broj paralelno spojenih ćelija.



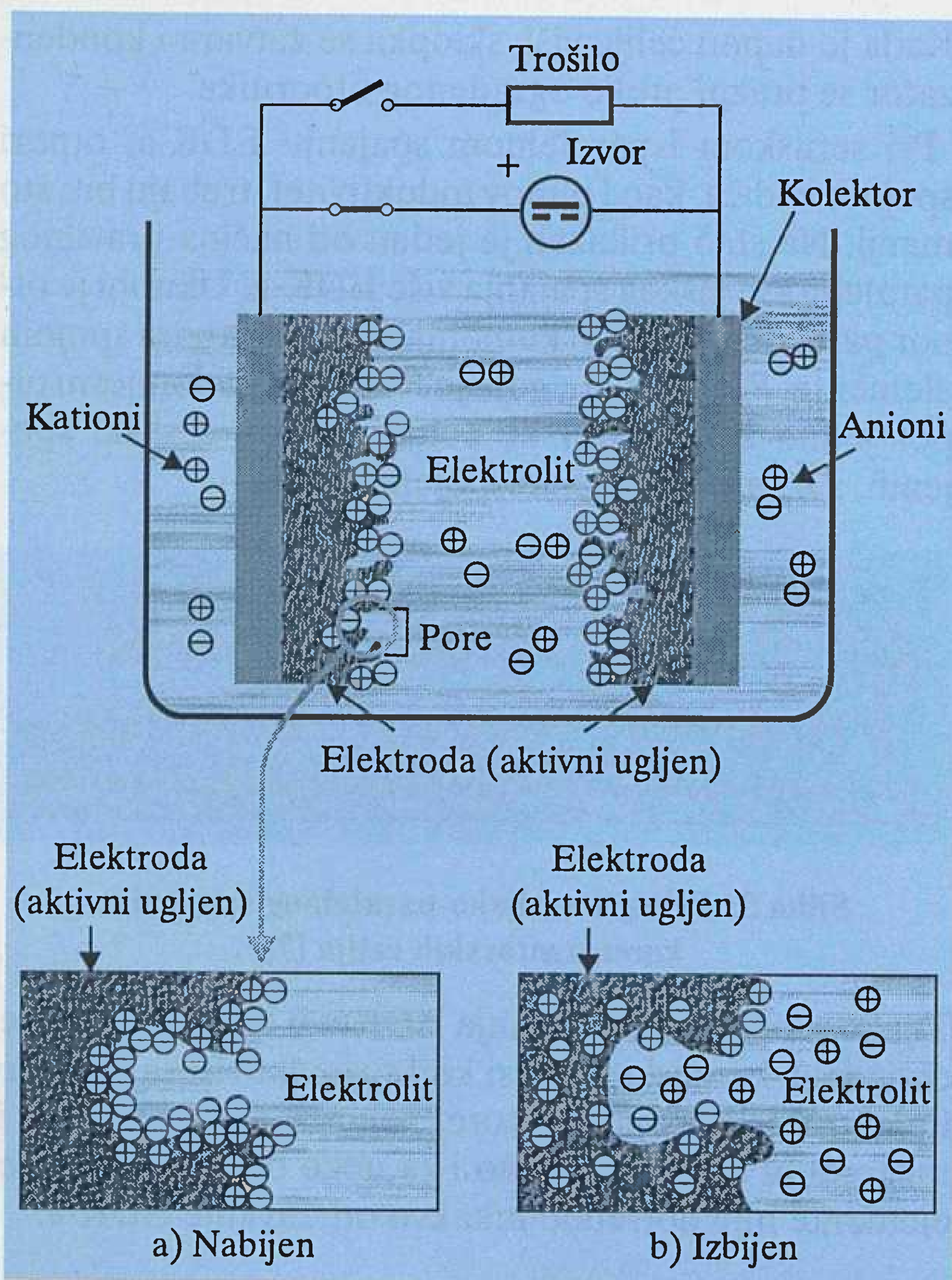
Slika 5. Primjer serijsko-paralelnog spoja više kondenzatorskih ćelija [7]

Tijekom nabijanja i izbijanja EDK-a u elektrolitu se ne događaju kemijski procesi koji su znakoviti za baterije i elektrolitske kondenzatore, nego se samo stvaraju i razgrađuju dvoslojevi. Kao i za neke druge električne elemente nije potrebno nikakvo održavanje EDK-a.

4.1. Materijali za elektrode

Kapacitet EDK-a ne ovisi samo o razmaku "elektroda" dvosloja nego i o njihovim površinama. Stoga se za sučelje elektroda rabe materijali čija je djelatna površina, zbog pora, višestruko veća od njihove geometrijske površine (sl. 6). Pore, ovisno o namjeni, mogu biti promjera manje od 2 nm, od 2 nm do 50 nm te veće od 50 nm. Broj pora procjenjuje se na $10^{11}/\text{cm}^2$ do $10^{13}/\text{cm}^2$. Za sučelja su se prvotno rabila vodljiva keramika [1]. Danas se u tu svrhu najčešće rabe *aktivni ugljen* [2, 4, 5] i tzv. glassy carbon koji se dobiva termičkom obradom organskih polimera. Pokusi se obavljaju i s drugim materijalima. Značajke aktivnog ugljena su: raspoloživost sirovina (crnogorično drvo), niska cijena, velika djelatna površina i uhodana tehnologija proizvodnje. Ostali materijali za sučelja su oksidi RuO_2 i IrO_2 te razni polimeri. Neki od njih su još u postupku ispitivanja. Jedinični kapacitet sučelja s RuO_2 je približno 750 F/g, ali mu je cijena mnogo viša nego ona za aktivni ugljen.

Djelatna je površina običnog ugljenog praška reda veličine $100 \text{ m}^2/\text{g}$, a onog aktivnog, ovisno o tehnologiji proizvodnje, u rasponu je od $1\,000 \text{ m}^2/\text{g}$ do $2\,500 \text{ m}^2/\text{g}$. Zbog toga se aktivni ugljen desetljećima rabi za upijanje tekućina i zadržavanje molekula otrovnih tvari (medicina, razni fitri itd.). Osim u obliku praška, za superkondenzatore izrađuje se u obliku vlakana (carbon nanaotube), pletiva, paste ili tankog filma [5]. Dodaje mu se do 20 % punila (teflon, celuloza itd.) radi lakšeg rada s njime. Debljina sučelja na pojedinoj elektrodi može biti od 10 mikrometara (tanki film) do 100 mik-



Slika 6. Shematski prikaz pora u sučelju [4]

rometara (debeli film). Pri tankom filmu unutarnji otpor određen je elektrolitom, a pri debelom filmu ovisi o poroznom sloju. Sučelja se sve češće izrađuju i od ugljene pjene (carbon foam, carbon aerogel).

Uz prije spomenuti kapacitet od $10 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ i djelatnu površinu, proizlazi da je jedinični kapacitet jednog dvosloja 100 F/g . Kako je ukupni kapacitet ćelije, zbog serijskog spoja dvaju dvoslojeva, polovina kapaciteta jednog dvosloja, proizlazi da je jedinični kapacitet ćelije, uz navedene pretpostavke, jedna četvrtina dvosloja, tj. samo 25 F/g . Volumetrijski kapaciteti su reda veličine stotinu farada po kubičnom centimetru.

4.2. Elektrolit

U EDK-u se mogu rabiti vodeni i organski elektroliti. O vrsti elektrolita ovisi nazivni napon kondenzatorske ćelije. S vodenim elektrolitom taj napon je 1 V , a s organskim $2,3 \text{ V}$, ali se čine pokusi i s onima kojima se može doseći i $3,2 \text{ V}$. Pri naponima višim od $1,2 \text{ V}$, odnosno 4 V , počinju kemijski procesi u elektrolitu kao i u baterijama.

Vodeni elektrolit je obično visoko koncentrirana otopina H_2SO_4 ili KOH , koje se odlikuju velikom vodljivošću (npr. $0,8 \text{ S/cm}$), malim električkim otporom, visokom dielektričkom stalnicom, nezapaljivošću i niskom cijenom.

Organski elektroliti uz viši napon ćelije imaju više-struko manju vodljivost od vodenih ($1,5 \cdot 10^{-2} \text{ S/cm}$), dakle i veliki unutarnji otpor, ali širi raspon radne tem-

perature. Radi sprječavanja ulaska vlage, moraju biti hermetički zatvoreni.

S vodenim elektrolitom postiže se prosječna jedinična energija od $3,5 \text{ Wh/kg}$ djelatne mase, a s organskim elektrolitom i naponom $2,3 \text{ V}$ prosječnu jediničnu energiju od 18 Wh/kg . Te vrijednosti su zamjetno manje od onih u raznim baterijama, ali mnogo veće nego u klasičnim kondenzatorima.



Slika 7. Valjkasta izvedba superkondenzatora [7]

U komercijalnim izvedbama EDK-a elektrolit je, bez obzira koje vrste, najčešće, u obliku gela.

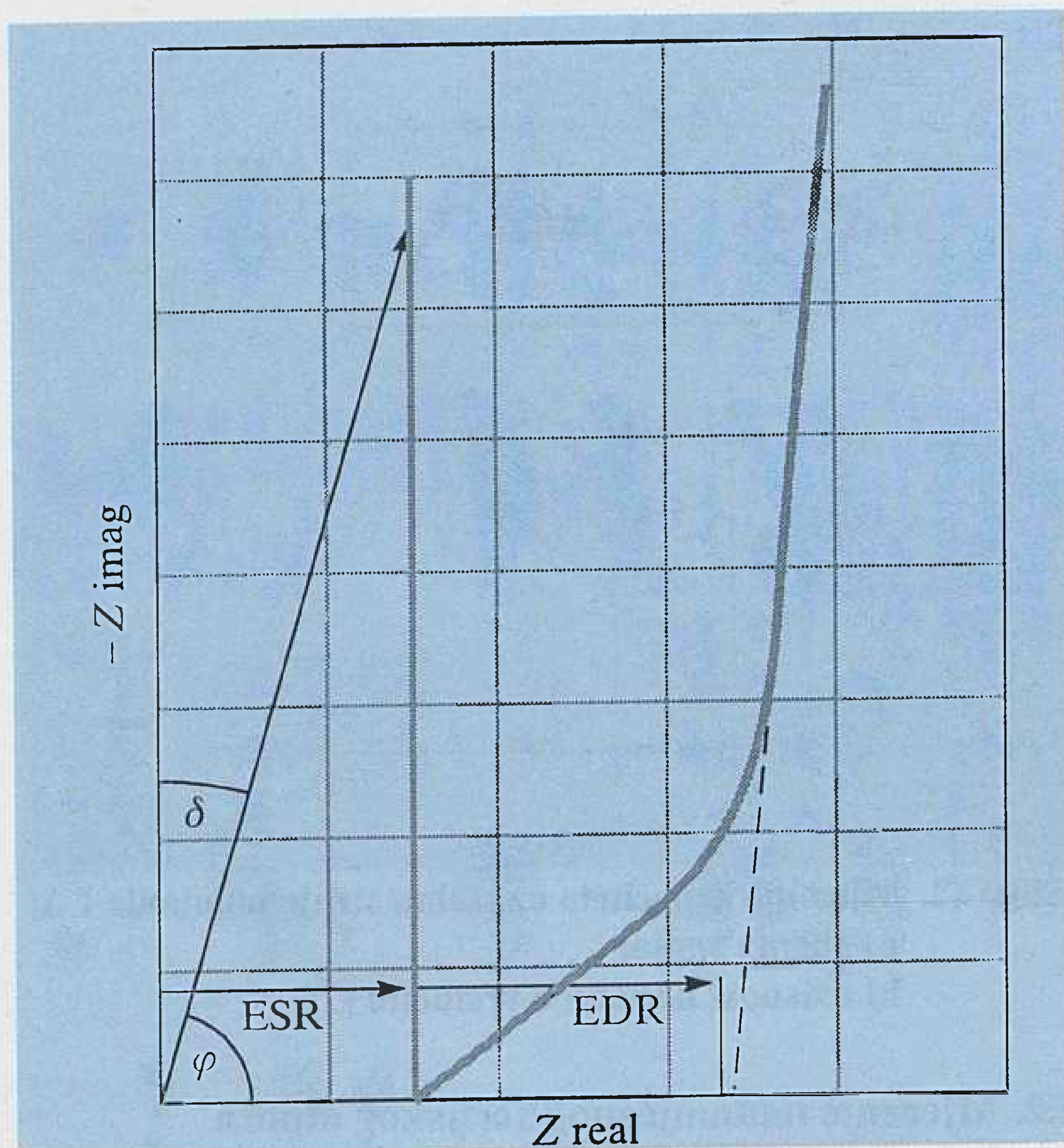
Unatoč dopuštenom širokom rasponu radnih temperatura, povišena temperatura, npr. od $25 \text{ }^\circ\text{C}$ na $65 \text{ }^\circ\text{C}$, može prepoloviti životnu dob superkondenzatora (Web stranice tvrtke Epcos). Osim temperature okoline, na porast temperature utječu i gubici I^2R na serijskom nadomjesnom otporu kondenzatora, posebice pri velikoj učestalosti izbijanja.

4.3. Separator

Da bi se spriječio kratki spoj dviju susjednih kondenzatorskih elektroda rabi se tanki (nekoliko desetaka mikrometara), za ione visokoporozni i električki nevodljivi separator, kako bi otpor kondenzatora bio što manji. Međutim, mora se voditi računa i o njegovoj mehaničkoj stabilnosti. Najčešće su načinjeni od celuloze i ojačani polimerskim vlaknima.

4.4. Impedancija EDK-a

Pojedine značajke EDK-a razlikuju se od onih u klasičnim kondenzatorima, jer je i njegov ustroj različit. Tako se to može zapaziti u impedanciji kad se nacrtaju u tzv. Nyquistovom prikazu (kompleksnoj ravnini). Razlika između elektrostatskog i elektrokemijskog kondenzatora istih nadomjesnih serijskih otpora pri 1 kHz , prikazana je na sl. 8 [2]. Dok je kod elektrostatskog kondenzatora pravac okomit na realnu os, kod EDK-a linija impedancije započinje kutom od 45° (tzv. Warburgovo područje) i zatim se približava vertikali. To znači da je on u tom području frekvencijski ovisan. Ta ovisnost posljedica je raspodjele otpora i kapaciteta u sloju s porama. Idealna pora u sučelju može se prika-

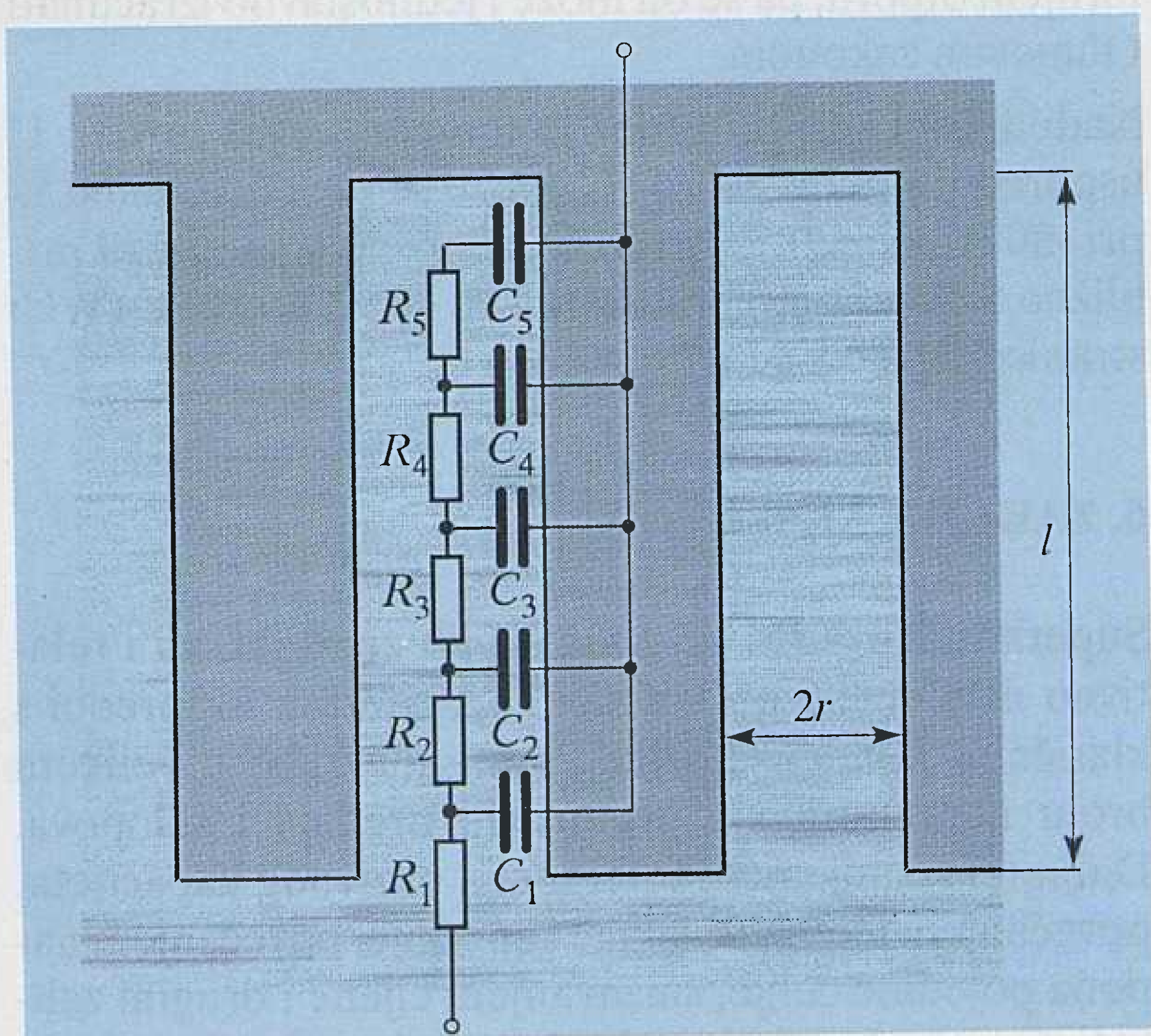


Slika 8. Nyquistov dijagram impedancija elektrostatskog kondenzatora i superkondenzatora (ESR – serijski nadomjesni otpor; EDR – nadomjesni raspodijeljeni otpor [2])

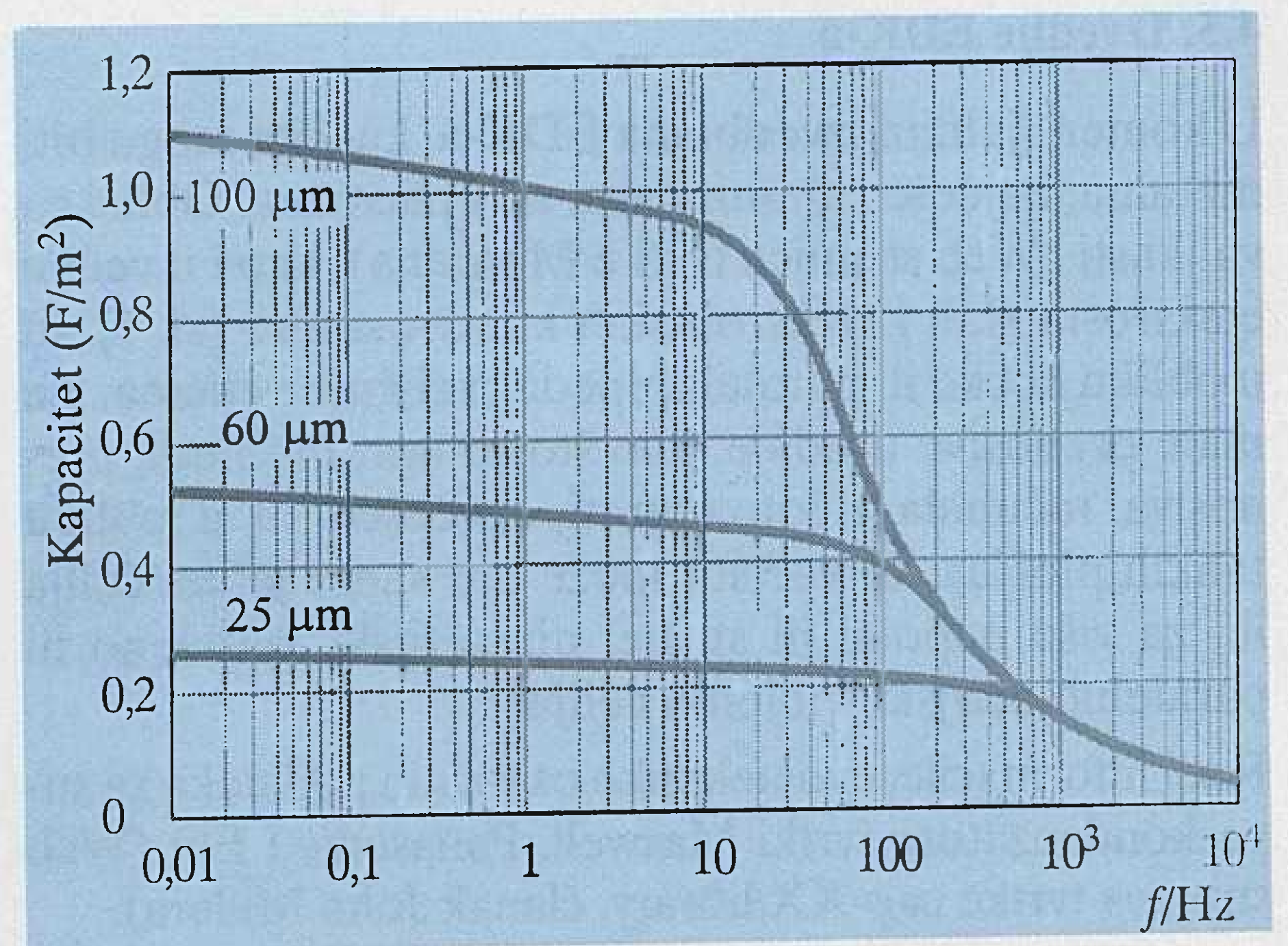
zati kao valjkasta udubina polumjera r i dubine l . Otpor elektrolita i dvoslojnog kapaciteta nadomještava se linijom s raspodijeljenim RC elementima., dok se za materijal sučelja pretpostavlja da ima otpor zanemariv prema otporu elektrolita. (sl. 9) [2]. Kod visokih frekvencija struja pretežito teče kroz R_1 i C_1 u sučelje, pa su otpor i kapacitet dvosloja smanjeni.

Ukupna impedancija zbroj je otpora kontakata, otpora elektrolita i separatora te impedancije elektrode.

Na sl. 10 prikazane su ovisnosti kapaciteta o frekvenciji s debljinom sučelja kao parametrom. Pritom zadana je



Slika 9. Shematski prikaz idealiziranih pora u sučelju [2]

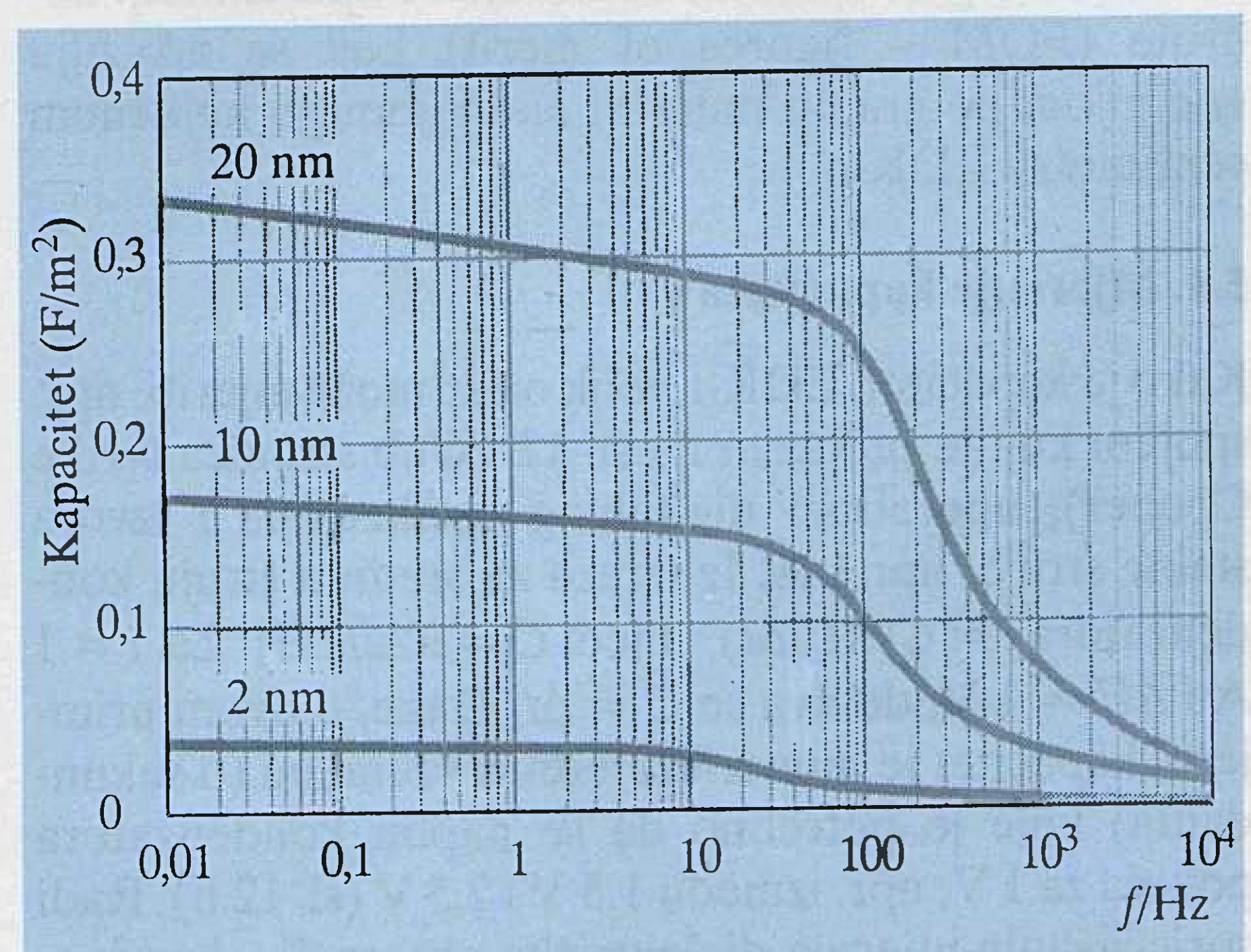


Slika 10. Ovisnost kapaciteta nekog superkondenzatora o frekvenciji s debljinom sučelja kao parametrom [2]

vodljivost elektrolita, promjer valjkastih pora, poroznost sučelja i broj pora po četvornom centimetru. Većom debljinom sučelja postiže se veći kapacitet pri niskim frekvencijama, ali i porast raspodijeljenog otpora, što povećava RC stalnicu.

Frekvencijska ovisnost kapaciteta o promjeru valjkastih pora kao parametrom za danu debljinu sučelja, kapacitetu dvosloja i broju pora po četvornom centimetru prikazana je na sl. 11.

Tzv. nadomjesni serijski otpor (ESR-equivalent serial resistance) prikazuje sve gubitke u kondenzatoru. U superkondenzatorima je taj otpor, ovisno o iznosima kapaciteta, od reda veličine milioma do reda veličine oma, tako da je vremenska stalnica kondenzatora (RC konstanta) reda veličine sekunde. Obično, superkondenzatori čija je svrha osvježavanje memorija imaju relativno mali kapacitet, npr. 0,3 F i nadomjesni serijski otpor reda veličine oma, jer su struje koje superkondenzator daje male. Nadomjesni se otpor redovito iskazuje s ostalim podacima o EDK-u, jer je važan za njegovu uporabu, posebice u impulsnom radu.



Slika 11. Ovisnost kapaciteta nekog superkondenzatora o frekvenciji s veličinom pora sučelja kao parametrom [2]

4.5. Izvedbe EDK-a

U komercijalnim izvedbama EDK-a, kućišta mogu biti metalna, najčešće aluminijska, ali i plastična. Oblici su valjkasti (Web stranica tvrtke Montena), kao i u većini elektrostatskih i elektrolitskih kondenzatora (sl. 7), ili u obliku kocke ili paralelopipeda različitih veličina. Za male prenosive uređaje, kao što su npr. mobiteli, prenosiva računala i fotoaparati, najčešće su u obliku tankih pločica. U kućištu može biti samo jedna ćelija ili, za više napone ili struje, niz serijski, paralelno ili paralelno-serijski spojenih ćelija.

Radi informacije, evo nekoliko osnovnih podataka za superkondenzatore tvrtki Maxwell, Panasonic i Elit (Web stranica tvrtke cap-XX/library, članak John Millera).

Tvrtka Maxwell: model PC7223, $C = 2\,700\text{ F}$, $U = 2,3\text{ V}$, dimenzije $164\text{ mm} \times 62\text{ mm} \times 62\text{ mm}$, masa 830 g ; model PC0323, $C = 100\text{ F}$, $U = 2,3\text{ V}$, dimenzije $33,6\text{ mm} \times 17,1\text{ mm} \times 53\text{ mm}$, masa 34 g .

Tvrtka Panasonic: $C = 800\text{ F}$, $U = 2,3\text{ V}$, valjkasto kućište promjera 55 mm i visine 125 mm , masa 320 g .

Tvrtka Elit: $C = 9,4\text{ F}$, $U = 15\text{ V}$, dimenzije $170\text{ mm} \times 170\text{ mm} \times 50\text{ mm}$, masa $4,8\text{ kg}$.

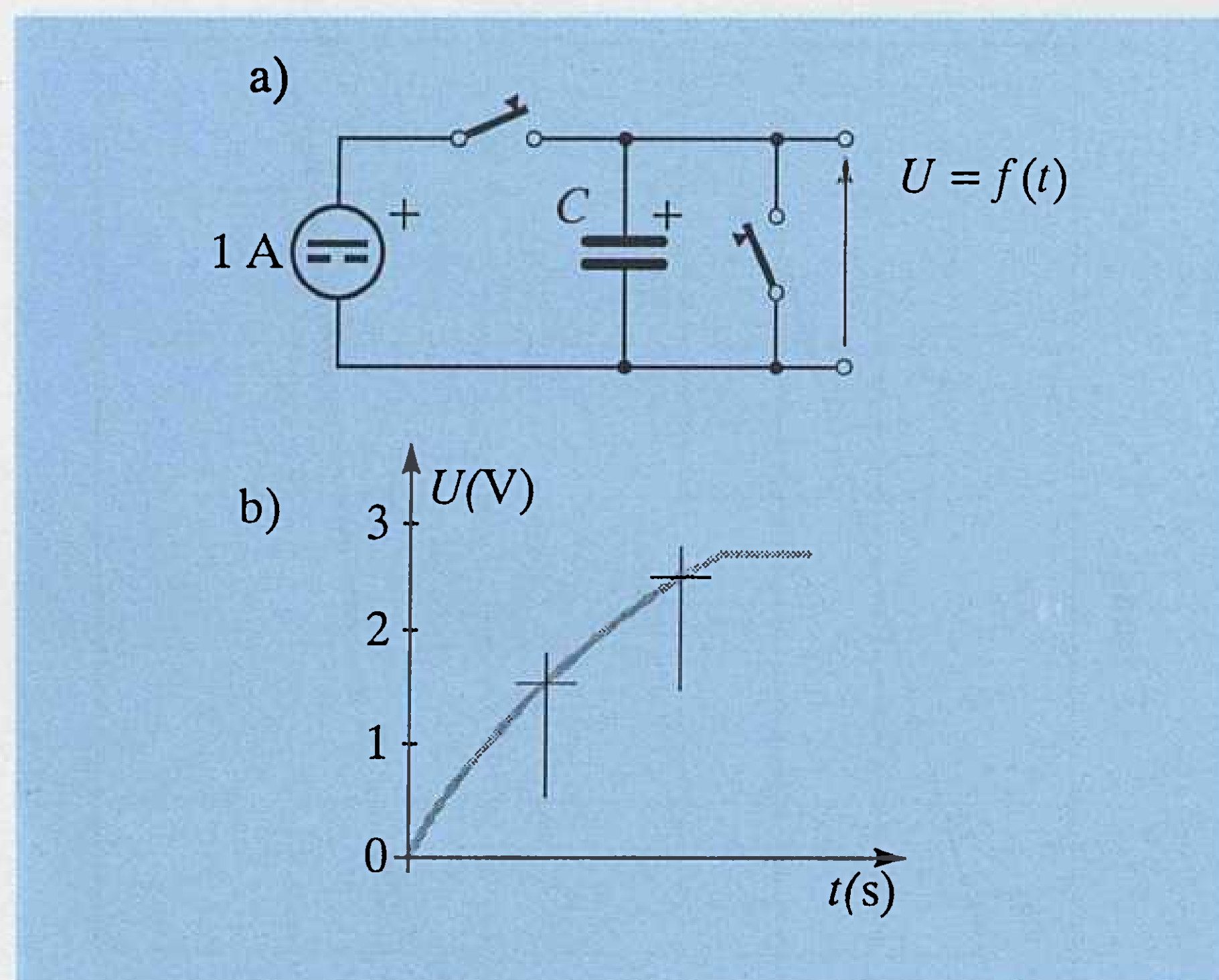
Tvrtka cap-XX: različite vrijednosti kapaciteta u rasponu $C = 0,2\text{ F}$ do $C = 2,8\text{ F}$, $U = 2,25\text{ V}$, dimenzije $39\text{ mm} \times 17\text{ mm} \times$ (od $0,9\text{ mm}$ do $1,9\text{ mm}$), masa $0,9\text{ g}$ do 3 g , $I_{\max} = 30\text{ A}$, ESR od $12\text{ m}\Omega$ do $50\text{ m}\Omega$ (Web stranica tvrtke cap-XX/products).

5. MJERNE METODE

Uobičajene metode za mjerenje značajki klasičnih kondenzatora nisu pogodne za EDK-a, pa se rabe druge, složenije, iz područja elektrokemije. Njih propisuju različite ustanove ovisno o namjeni. U SAD-u, za vojnu namjenu, npr. DOD- Department of Defense - Ministarstvo obrane SAD, a za civilnu, npr. Department of Energy - Ministarstvo za energiju SAD. Radi jednostavnije usporedbe značajki EDK-a različitih izvedbi i proizvođača, definiraju se npr. činitelji dobrote (FOM – figures of merit) koji se iskazuju energijom po gramu mase ili energijom po kubičnom centimetru EDK-a.

5.1. Mjerenje kapaciteta

Kako je kapacitet EDK-a velik on se može mjeriti, npr. spojem koji je prikazan na sl. 12 (Web stranica tvrtke Cooper), uporabom digitalnog osciloskopa i izvora stalne struje, npr. 1 A . Iz izraza za srednju struju kondenzatora $i = C(\Delta U/\Delta t)$, slijedi $C = i(\Delta t/\Delta U)$. Za $i = 1\text{ A}$ i $\Delta U = 1\text{ V}$, dobiva se $C = \Delta t$. Dakle, u ovom primjeru, kapacitet je numerički jednak vremenu (u sekundama) koje je potrebno da se napon kondenzatora poveća za 1 V , npr. između $1,5\text{ V}$ i $2,5\text{ V}$ (sl. 12.b). Radi sprječavanja utjecaja dielektričke absorpcije, kondenzator se prije mjerenja nabije, te mu se zatim stezaljke kratko spoje i tako drže 15 minuta .



Slika 12. Mjerenje kapaciteta uz stalnu struju nabijanja 1 A :
a) shema spoja;
b) ovisnost napona o vremenu [7]

5.2. Mjerenje nadomjesnog serijskog otpora i unutarnjeg otpora EDK-a

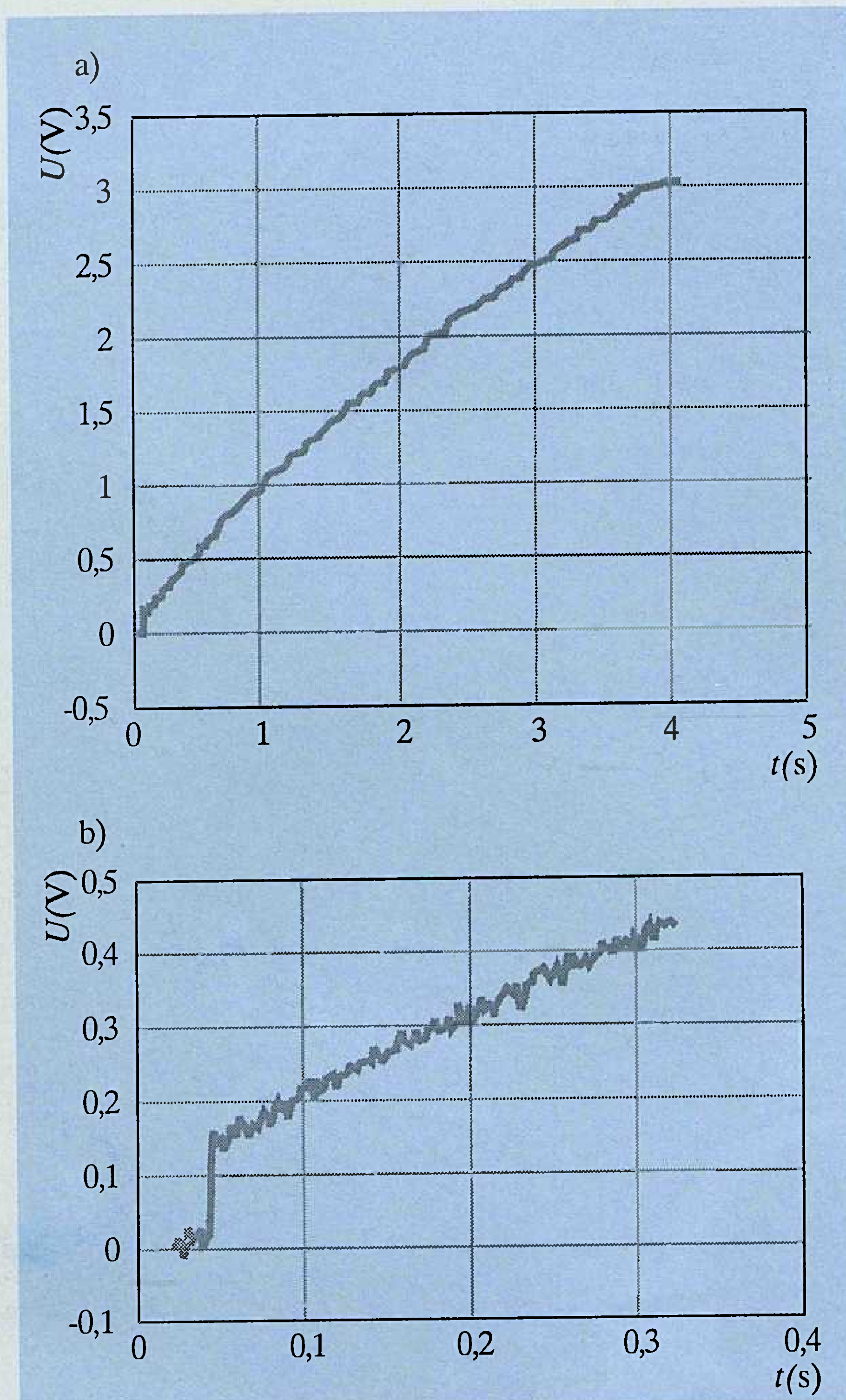
U podacima nekih proizvođača navode se istosmjerni i izmjenični nadomjesni serijski otpor pri frekvenciji 1 kHz . Nadomjesni serijski otpor može se odrediti iz tangensa kuta gubitaka mjerenjem komercijalnim LCR mostovima pri frekvenciji 1 kHz ili UI metodom. Međutim, tzv. unutarnji otpor može se izmjeriti sklopom koji je prikazan na sl. 12.a. Ta metoda nije tako precizna i obnovljiva kao one prije spomenute, ali taj podatak daje informaciju o ponašanju EDK-a pri impulsnim primjenama.

Na sl. 13.a prikazan je oscilogram istovjetan onome na sl. 12.b samo u drugom mjerilu. Na dijagramu se zapaža trenutačni promjena napona kad je potekla struja od 1 A . Ako se početni dio poveća (sl. 13.b) može se kvantitativno odrediti ta promjena napona na unutarnjem otporu, pa se on može i jednostavno izračunati Ohmovim zakonom.

Nadomjesni serijski otpor je temperaturno ovisan. U usporedbi s onim pri $25\text{ }^\circ\text{C}$, može se povećati za 60% pri $-30\text{ }^\circ\text{C}$, za 20% pri $0\text{ }^\circ\text{C}$, odnosno smanjiti za približno 5% pri temperaturama od $40\text{ }^\circ\text{C}$ do $80\text{ }^\circ\text{C}$ (Web stranice tvrtke Epcos).

6. ZAKLJUČAK

Superkondenzatori se, zbog svojih značajki, ali i relativno niže cijene po jedinici kapaciteta u usporedbi s klasičnim kondenzatorima, već sada rabe u velikom broju neprenosivih i prenosivih uređaja i sklopova. Daljnjim smanjenjem tolerancija nazivnog kapaciteta, povećanjem jedinične snage i energije, povećanjem napona pojedine ćelije, snižavanjem cijene i drugim zahvatima, jamačno će se, u budućnosti, područje njihove primjene bitno proširiti.



Slika 13. Mjerenje ESR-a uz stalnu struju nabijanja 1 A:
 a) ovisnost napona o vremenu;
 b) detalj ovisnosti napona o vremenu [7]

Zahvala

Zahvaljujem Ivici Kunštu dipl. ing. koji je uložio mnogo truda za izradu slika u ovom članku.

LITERATURA

- [1] G. L. BULLARD, H. B. SIERRA-ALCAZAR, H. L. LEE, J. L. MORRIS: "Operating Principles of ultracapacitors", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 25, No1, January 1989., str. 102 - 106.
- [2] R. KÖTZ, M. CARLEN: "Principles and applications of electrochemical capacitors", Electrochimica Acta 45, 2000., str. 2483-2498

- [3] R. PODHORSKY: "Elektrokemija", Tehnička enciklopedija Leksikografskog zavoda, Zagreb, svezak. 4. str. 374-379.
- [4] M. ENDO, T. TAKEDA, Y. J. KIM, K. KOSHIBA, K. ISHII: "High power electric double layer capacitor (EDLCs); from operating principle to pore size control in advanced activated carbons", Carbon Science, Vol.1, No. 3&4, January 2001., str. 117-128
- [5] A. CHU, P. BRAATZ: "Comparison of commercial supercapacitors and high-power lithium-ion batteries for power-assist applications in hybrid electric vehicles", Journal of Power Sources 112, 2002., str. 238-246.
- [6] R. H. BAUGHMAN, A. A. ZAKHIDOV, W. A. HEER: "Carbon nanotubes. The route toward applications", Science, Vol. 297, August 2002., str. 787-792.
- [7] Web stranice različitih proizvođača i nepoznatih autora

SUPERCAPACITORS

Supercapacitors, ultracapacitors or electrical-chemical capacitors are the names for capacitors whose capacity reaches, incredibly, hundreds and even thousands Farads. They are used in many appliances and systems like hybrid electric and other vehicles, supply equipment for short-term voltage interruption in electrical network, palmtop computers, mobiles, digital cameras etc. for electric energy accumulation.

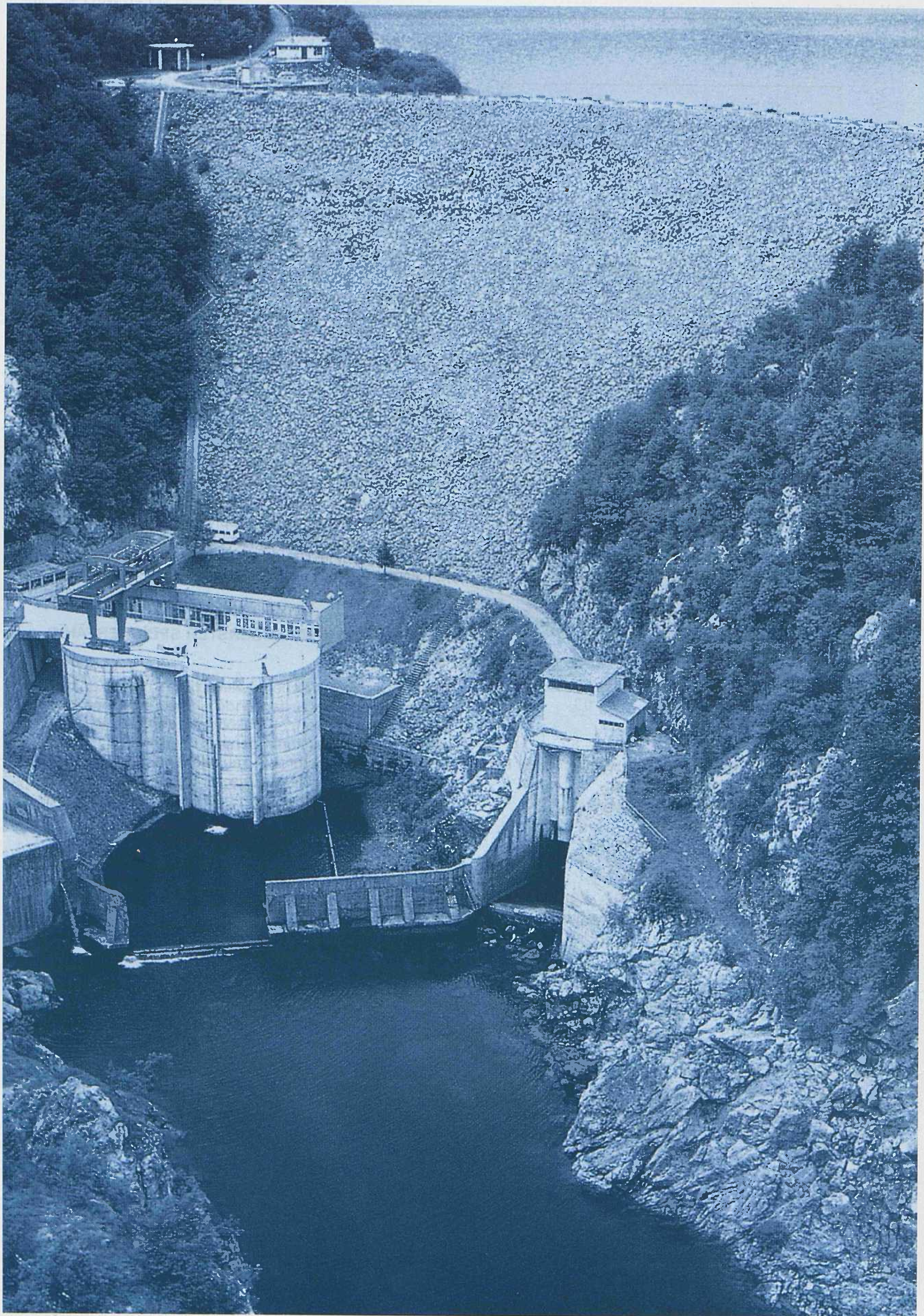
KONDENSATOREN ÄUSSERSTER SPEICHERFÄHIGKEIT

Kondensatoren, welche bisher undenkbare Kapazitäten von hunderten, sogar tausenden Farad erreichen werden Superkondensatoren, Ultrakondensatoren und elektrochemische Kondensatoren genannt. Verwendung finden sie zur Energiespeicherung in zahlreichen Einrichtungen und Anlagen z.B.: hybride elektrische und anderwertige Fahrzeuge, Einspeisungsanlagen beim kurzfristigen Stromausfall, Handtellerrechner, Mobitel, Digitalaufnahmegeräte usw.

Naslov pisca:

Dr. sc. Dušan Vujević, dipl. ing.
 Cankarova 2 a
 10000 Zagreb,
 Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2003 – 03 – 23.



IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

PODMORSKA VEZA ITALIJA – GRČKA

U srpnju 2002. godine ugovorena je izgradnja podmorske veze između Italije i Grčke. Radi se o visokonaponskom podmorskom kabelu za istosmjernu struju prijenosa 500 MW (slika 1.). Ne samo da se tom vezom Grčka povezuje s mrežom zemalja Europske unije, već je to podmorski kabel do sada u svijetu najdublje položen. Istosmjerna veza je prva takve vrste povezivanja Grčke sa zapadnom Europom, a gradi se kao dio transeuropske mreže (TEN) iz Programa Europske komisije. Projekt se financira iz pomoći Europske komisije i zajmova Europske investicijske banke (EIB).

Ukupna dužina kabela napona 400 kV, struje 120 A i snage 500 MW iznosi 204 kilometra. Kopnena sekcija u Italiji koja se proteže od Galantina do obale, u dužini od 43,5 km, jedna je od najdužih i ikad položenih kopnenih veza uljnim kablom visokog napona.

Na većem dijelu trase dužine od 163 km, podmorski kabel leži na dubini od 1000 metara, što predstavlja rekordnu dubinu za energetska kablsku vezu. Izlazak na obalu u Grčkoj je pri Aetosu blizu albanske granice. Dalje se nastavlja nadzemnom vezom dužine 110 km do stanice za konverziju u Arachthosu.

Podmorski dio podijeljen je u tri sekcije: plitka voda duljine 28 km, duboka voda 71 km i ponovo plitka voda duljine 61 km. U sekcijama gdje je voda duboka do 150 m kabel je položen na 0,6 do 1 m od dna, dok je pri dubini od 1000 m položen na morsko dno.

Priprema polaganja ovog kabela bila je duga i temeljita. Prijenosna snaga i lokacija trase zahtijevale su adekvatnu konstrukciju kabela, što je za proizvođače kabela bio pravi izazov. Isto tako trebalo je odabrati brod za polaganje kabela, naročito za dio gdje je dubina 1000 m. Trebalo je uzeti u obzir niz ograničenja koja su nametala plovidba i ribolov u Otrantu. Osim toga trebalo je svladati niz poteškoća, što je sve uspješno učinjeno i kabel položen.

Power Engineering International, 10/2002.

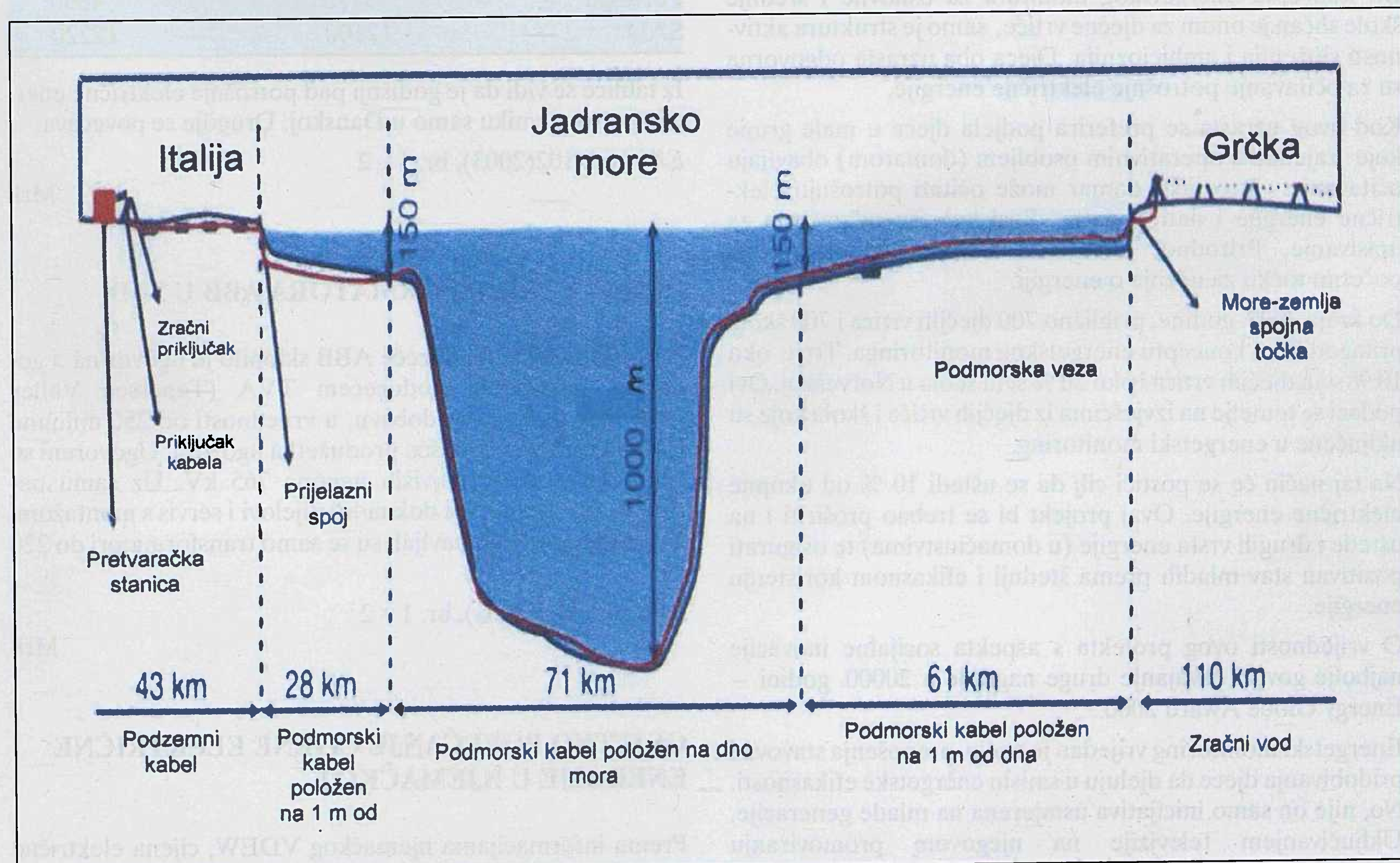
SBK

ENERGETSKI MONITORING I EDUKACIJA DJECE U VRTIĆIMA I ŠKOLAMA

Najnovija istraživanja u Norveškoj pokazuju da uključivanje djece u energetska monitoring daje dvostruke koristi: štednju energije u školi i kod kuće. Naime, u Norveškoj je dobro poznat projekt energetske efikasnosti koji promatra djecu kao šampione energetske efikasnosti i odgovarajuće uporabe energije. Projekt pokazuje, kako se dobro ponašanje prema uporabi energije može naučiti već u ranom djetinjstvu.

Uključivanje djece u energetska monitoring praktičan je i popularan način njihovog motiviranja. Također je koristan način stjecanja opće predodžbe o energiji i okolišu.

Kroz promatranje uporabe energije i raspravljanje o varijantama koje se pojavljuju, djeca nauče da uporaba energije ovisi od različitih faktora. Ona također nauče da je moguće



Slika 1 – Shematski profil trase kabela Italija – Grčka

utjecati na količinu energije koja se koristi. Da bi djeca i prihvatila ove stavove, potrebno ih je poduprijeti i akcijom.

Kroz energetske monitoring, djeca stječu i znanje i pozitivan stav prema efikasnoj uporabi energije. Škole i dječji vrtići, uključeni u ovaj projekt, postigli su stvarnu uštedu energije. Istovremeno djeca i kod kuće primjenjuju nove ideje.

Glavni alat za djelovanje je zidni poster na kojem se prati potrošnja električne energije tijekom godine po vremenskoj jedinici jednog tjedna. Jedanput tjedno u točno određeni dan obavlja se očitavanje potrošnje električne energije i upisuje na poster.

Poster je smješten na vidljivom mjestu kako bi energetske problemi bili uočljivi.

Osim postera projekt je razvio i druge alate, kao što su materijali za tečajeve i pomoć osoblju koje obučava, vježbe za djecu školske dobi, stolne energetske igre i priče o vilama za djecu iz vrtića. Brošure o energetskom monitoringu i pripadajuće aktivnosti dostupne su svakom uzrastu.

Programi aktivnosti podijeljeni su prema uzrastu: za djecu iz vrtića i za školsku djecu do 15 godina.

Djeca u vrtićima pomažu očitati brojilo električne energije jedanput tjedno, te zapišu očitavanja na poster. Nakon toga se razgovara kako su vrijeme i aktivnosti koje su poduzete prethodnog tjedna utjecale na količinu potrošene električne energije. Ona nauče zašto je energetska potrošnja potrebno smanjiti i kako ona sama mogu tome doprinijeti svojim ponašanjem u vrtiću i kod kuće.

Uz poster, tu su i knjige s vilinskim pričama o energiji i niz igara nazvanih "stolne energetske igre" koje se koriste kao pomoć pri učenju. Uz to što shvate kako je aktualno smanjenje potrošnje energije u njihovim vrtićima, ona shvate da ona pomažu i zaštiti prirode i kvaliteti života na Zemlji.

Bit koncepta energetskog monitora za osnovne i srednje škole sličan je onom za dječje vrtiće, samo je struktura aktivnosti složenija i ambicioznija. Djeca oba uzrasta odgovorna su za očitavanje potrošnje električne energije.

Kod ovog uzrasta se preferira podjela djece u male grupe koje zajedno s operativnim osobljem (domarom) obavljaju očitavanje. Isto tako domar može očitati potrošnju električne energije i dati podatke djeci koja su odgovorna za upisivanje. Prirodno, energetske monitoring predstavlja početnu točku za učenje o energiji.

Do kraja 2002. godine, približno 700 dječjih vrtića i 700 škola prilagodilo se konceptu energetskog monitoringa. To je oko 10 % svih dječjih vrtića i oko 20 % svih škola u Norveškoj. Ovi podaci se temelje na izvješćima iz dječjih vrtića i škola koje su uključene u energetske monitoring.

Na taj način će se postići cilj da se uštedi 10 % od ukupne električne energije. Ovaj projekt bi se trebao proširiti i na uštede i drugih vrsta energije (u domaćinstvima) te osigurati pozitivan stav mladih prema štednji i efikasnom korištenju energije.

O vrijednosti ovog projekta s aspekta socijalne inovacije najbolje govori osvajanje druge nagrade u 2000. godini – Energy Globe Award 2000.

Energetske monitoring vrijedan je način prenošenja stavova i pridobivanja djece da djeluju u smislu energetske efikasnosti. No, nije on samo inicijativa usmjerena na mlade generacije. Uključivanjem televizije na njegovom promoviranju omogućeno je i odraslima da se educiraju, kao i otvaranjem web stranica.

Prema saznanjima iz praktične primjene ovog projekta u školama, ono što djeca nauče ima dvostruki efekt. Ona su naučila zašto treba reducirati energetske potrošnju te znaju što se mora učiniti da se to postigne. Još važnije je da djeca znaju da pomažu zaštiti prirode i kvaliteti života na Zemlji. Iz dijagrama u školi djeca nauče razumijevati kako energetska potrošnja varira tijekom godine. Djeca to brzo shvaćaju i kod kuće raspravljaju s roditeljima o problemima prirode i okolišu kao i o budućnosti kao rezultatu štednje energije u domaćinstvima.

Infopoint Energy Efficiency, 1/03. March 2003.

SBK

PORAST POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SVIM ZEMLJAMA

Godišnja potrošnja kWh po stanovniku i godini:

Zemlja	Godina 2000.	Godina 2001.
Norveška	24860	24960
Švedska	15200	15590
Finska	14600	15220
Belgija	7515	7820
Francuska	6950	6970
Austrija	6470	6820
Nizozemska	6375	6480
Danska	6325	6190
Njemačka	6050	6160
V. Britanija	5690	5730
Španjolska	4945	5160
Italija	4830	4950
Portugal	3770	4090
SAD	12100	12220

Iz tablice se vidi da je godišnji pad potrošnje električne energije po stanovniku samo u Danskoj. Drugdje se povećava.

EW, god. 102(2003), br. 1 – 2

Mrk

DOBAVA TRANSFORMATORA ABB U SAD

Europsko elektropoduzeće ABB sklopilo je ugovor na 5 godina s američkim poduzećem TVA (Tennessee Valley Authority u SAD) za dobavu, u vrijednosti od 250 milijuna US dolara, s mogućnošću produžetka ugovora. Ugovoreni su transformatori do najviših napona 765 kV. Uz samu narudžbu ugovoreni su i doknadni dijelovi i servis s montažom. Do godine 1999. dobavljali su se samo transformatori do 220 kV.

EW, god. 102(2003), br. 1 – 2

Mrk

OSJETNO POVEĆANJE CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ

Prema informacijama njemačkog VDEW, cijena električne energije znatno je povećana. Dodatna državna daća potrošača električne energije godine 2003., bez obzira na porez

na dodanu vrijednost, iznositi će 12,6 milijardi eura prema 2,3 milijarde eura u godini 1998., a to znači povećanje oko 5 puta. Najveće su državne daće koje proizlaze iz raznih zaštitnih zakona. Iz priložene tablice može se vidjeti koje će svote država primiti prema kojem od zakona. U usporedbi prema godini 1999. državne su se daće, u svezi s električnom energijom, skoro početverostručile. Izdaci prema zakonu o obnovljivoj energiji povećani su od 0,3 milijarde eura, u godini 1998. na 2,1 milijarde u 2003. godini.

Od države dodatno financijski opterećeni potrošači, po godinama, imaju sve veća davanja. O kojim se vrstama radi, u kojoj se godini radi, može se vidjeti iz priložene tablice. Upada u oči da su ta davanja, u milijardama eura sve veća, što će se naravno, odraziti i na cijenu električne energije.

U tablici su državna davanja (bez poreza na dodanu vrijednost) dana za svaku godinu u milijardama eura.

	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.
Porez		2,9	3,48	4,21	4,95	7,05
Koncesije	2	2	2,1	2,11	2,13	2,14
Porez po zakonu o energiji	0,28	0,26	0,86	1,18	1,68	2,1
Zakon toplina-snaga			0,61	0,49	0,68	0,69
Suma	2,28	5,16	7,05	8,49	9,44	12,58
Povećanje u % prema 1998.		91	209	272	314	452

EW, god. 102 (2003), br. 3

Mrk

VJETROELEKTRANE SNAGE IZNAD 3 MW

Prva vjetroelektrana snage od 3,6 MW stavljena je u pogon od tvrtke CE Wind Energy. Postrojenje je izgrađeno u Castilla la Mancha u Španjolskoj, kao prototip.

Nakon niza test pogona, postrojenje je spojeno s javnom električnom mrežom, gdje je uspješno proizvodilo električnu energiju.

Postrojenje nazvano GE-3,6-MW, posebno je građeno za montažu uz morsku obalu. Odabrana je lokacija 230 km jugoistočno od Madrida.

Nivo 3,6 MW postrojenje predstavlja napredak u takvim vjetroelektranama sa svojom već patentiranom regulacijom snage.

Nakon uspješne test faze, proizvođači namjeravaju godine 2004. postrojenje komercijalno koristiti.

EW, god.102 (2003), br. 3

Mrk

GODINA 2002, VRLO DOBRA GODINA ZA BRANŠU VJETROELEKTRANA

Za branšu iz područja vjetroelektrana godina 2002. bila je naročito dobra. Novo je instalirano 2928 postrojenja sa snagom od 3217 MW. Prema prethodnoj godini, to je povećanje od 22 %. Koncem 2002. godine u Njemačkoj je bilo 13759 postrojenja, ukupno instalirane snage od oko 12000 MW.

To je dovelo do povećanja ukupne proizvodnje od 3 % u godini 2000. na 4,1 %.

EW, god. 102(2003), br. 4

Mrk

MANJI GUBICI PRI PRIJENOSU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Daje se pregled kretanja postotnih gubitaka u prijenosnoj mreži Njemačke u razdoblju od 1950 – 2000. godine. Ostvareni su gubici u prijenosnoj mreži Njemačke u 2000. godini bili 4,3% od potrošnje električne energije. Time je ostvareno upolovljenje postotnih gubitaka u mreži istočne Njemačke, a u mreži zapadne Njemačke gubici su smanjeni za 0,4 postotna poena u odnosu prema stanju 1990. godine.

K tome, u međuregionalnoj mreži Njemačke (to je pretežni dio njemačke mreže 110 kV; u prijenosnu mrežu se tamo ubraja mreža 400 i 220 kV i manji dio mreže 110 kV) gubici su okruglo 1% od isporuke električne energije, u srednjonaponskoj mreži još otprilike 2% i u lokalnoj distribucijskoj mreži okruglo 5% od potrošnje električne energije.

Učinkovitost njemačkih mreža poboljšavana je (za nas posve nedostupnim) visokim investicijama. Od 1990. godine do 2000. godine ulagano je godišnje od 2,5 do 4 milijarde eura (to je u tih deset godina jedan i pol puta godišnji ukupni bruto domaći proizvod Hrvatske! – opaska MK) za dogradnje i rekonstrukcije u mrežama. U tom razdoblju, to je činilo dobru polovinu svih investicija u mreže (66 milijarda eura).

Udjel gubitaka u prijenosnoj mreži u potrošnji električne energije Njemačke (%)

Godina	Zap. Njemačka	Ist. Njemačka	Ukupno Njemačka
1950.	14,1		
1960.	8,3		
1970.	6,4		
1980.	5,4		
1990.	4,7	8,2	
2000.			4,3

www.strom.de/22. 7. 2002.

MK

RAST GOSDPODARSTVA I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Rast gospodarstva u Njemačkoj je u razdoblju od 1991. – 2001. godine bio brži od rasta potrošnje električne energije. Dok je u tom razdoblju realni bruto domaći proizvod rastao po pros-

ječnoj godišnjoj stopi od 1,5% dotle je potrošnja električne energije rasla po prosječnoj godišnjoj stopi od 0,7%. U pedesetim godinama (1950-1960), omjer je bio obrnut: uz rast bruto domaćeg proizvoda od 8,2% ostvarivan je rast potrošnje električne energije od 10%. Od početka osamdesetih godina, taj se omjer obrnuo.

Prosječni godišnji rast u Njemačkoj (%)

Razdoblje	Rast realnog BDP	Rast potrošnje el. energije
1950. – 1960.	+8,2	+10,0
1960. – 1970.	+4,4	+7,4
1970. – 1980.	+2,7	+4,1
1980. – 1990.	+2,3	+1,8
1991. – 2001.*	+1,5	+0,7

*Do 1990. godine samo Zapadna Njemačka, od 1991. godine Njemačka.

www.strom.de/5. 8. 2002.

MK

SVIJET: 17 POSTO ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ HIDROELEKTRANA

U svijetu je 2001. godine udjel električne energije proizvedene u hidroelektranama, te najznačajnije obnovljive energije, bio 17 posto u ukupnoj proizvodnji električne energije. Najveći proizvođač je Kanada s 331 teravatsat električne energije proizvedene u hidroelektranama, slijede Brazil (271) i Kina (257). Najveći udjel hidroelektrana u nacionalnoj proizvodnji električne energije ostvarila je Norveška (99%), slijede Brazil (83%) i Austrija (70%).

Proizvodnja električne energije u hidroelektranama i udjel u nacionalnoj proizvodnji električne energije u 2001. godini

Zemlja	Proizvodnja u HE (TWh)	Udjel (%)
Norveška	121	99
Brazil	271	83
Austrija	44	70
Kanada	331	57
Švedska	79	49
Rusija	176	20
Kina	257	17
Francuska	80	15
Indija	71	13
Japan	90	8
SAD	213	5
Njemačka	26	5
Svijet	2627	17

www.strom.de/24. 3. 2003.

MK

POVEĆANJE UČINKOVITOSTI ELEKTRANA U NJEMAČKOJ

Elektroprivreda Njemačke kontinuirano povećava učinkovitost svojih elektrana; prosječni stupanj djelovanja današnjih termoelektrana na fosilna goriva narastao je na 36%, dok je 1950. godine bio samo 20%. Moderne elektrane na smeđi ugljen, kameni ugljen ili plinsko-parne elektrane ostvaruju stupanj djelovanja veći od 43%. Mogući je stupanj djelovanja plinsko-parnih elektrana do 60%.

Prosječni stupanj djelovanja termoelektrana na fosilna goriva u Njemačkoj (%)

Godina	Zap. Njemačka	Ist. Njemačka	Ukupno Njemačka
1950.	20		
1960.	28		
1970.	33		
1980.	35		
1990.	35	30	34
2000.			36

www.strom.de/14. 10. 2002.

MK

DRŽAVA OPTEREĆUJE SVE VIŠE RAČUN ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU U NJEMAČKOJ

Prosječni mjesečni račun tijekom 2003. godine za električnu energiju za tročlano kućanstvo koje troši godišnje 3500 kWh, predviđa se, iznositi će okruglo 50 eura. To je spram 2002. godine više za oko 6 posto. U tome, neznatno je povećanje koje će ubrati elektroprivreda (proizvodnja, prijenos i distribucija) a većina povećanja odnosi se na davanja koja svojim propisima određuje država. Ta će opterećenja u 2003. godini narasti na udjel od 41% u računu za električnu energiju spomenutog kućanstva.

Mjesečni račun za električnu energiju tročlanog kućanstva koje troši 3500 kWh godišnje u Njemačkoj (euro/mjes.)

Element računa	2002.	2003.
Proizvodnja, prijenos i distribucija	28,29	29,75
Naknada za koncesiju	5,22	5,22
Zaštita spojenog procesa	0,76	0,91
Poticanje obnovljivih izvora	1,02	1,28
Porez na električnu energiju	5,22	5,97
Porez na dodanu vrijednost (16% na zbroj)	6,48	6,91
Mjesečni račun, sveukupno	46,99	50,04

www.strom.de/25. 11. 2002.

MK

TRŽIŠNA UTAKMICA "KOŠTA" RADNIH MJESTA U ELEKTROPRIVREDI NJEMAČKE

Produktivnost njemačke elektroprivrede značajno je povećana, naročito u razdoblju od uvođenja tržišne utakmice. Za gotovo po deset tisuća zaposlenika smanjivao se njihov godišnji broj u njemačkoj elektroprivredi, tako da je produktivnost s oko 2 GWh po zaposleniku godišnje (1991.) porasla na više od 3 GWh po zaposleniku (2001.). Omjer radnika i službenika smanjio se na štetu radnika, dok je početkom devedesetih taj omjer bio 48%:52%, početkom dvijetisućitih taj je omjer 40%:60%.

Broj zaposlenika i omjer radnici: službenici u elektroprivredi Njemačke

Godina	Zaposlenici	Radnici (%)	Službenici (%)
1993.	190450	48	52
1994.	185750	47	53
1996.	171900	45	55
1997.	166300	45	55
1998.	157950	44	56
1999.	148750	44	56
2000.	129800	43	57
2001.	130350	40	60

www.strom.de/5. 11. 2002.

MK

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

	<p>ENERGIJA 1442 UDK 620.91:622.99 PREGLEDNI ČLANAK</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 285 – 294</p> <p style="text-align: center;">SUIZGARANJE SEKUNDARNOG GORIVA S FOSILNIM GORIVIMA RADI PROIZVODNJE TOPLINSKE I ELEKTRIČNE ENERGIJE</p> <p style="text-align: center;"><i>Vedran Uran, dipl. ing.</i> "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska</p> <p>Od pojave naftnih kriza u postojećim se kogeneracijskim sustavima pojedinih industrijski razvijenih zemalja jedna količina fosilnih goriva počela zamjenjivati količinama otpada različitog podrijetla. Pri tome su razvijene različite tehnologije suizgaranja tog otpada ili sekundarnog goriva sa fosilnim gorivima. U radu su opisane koncepcije izravnog i neizravnog suizgaranja, njihove prednosti i nedostaci te pregled tehno-ekonomskih i ekoloških karakteristika tih koncepcija. Isto tako su prikazane mogućnosti primjene odabranih koncepcija suizgaranja sekundarnih goriva sa fosilnim gorivima u Hrvatskoj. (Lit. 7, sl. 8 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;">Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/285 – 294/2003.</p>
	<p>ENERGIJA 1443 UDK 621.319.5:621.39 PREGLEDNI ČLANAK</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 295 – 303</p> <p style="text-align: center;">SUPERKONDENZATORI</p> <p style="text-align: center;"><i>Dr. sc. Dušan Vujević, dipl. ing.</i> Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Hrvatska</p> <p>Superkondenzatori, ultrakondenzatori ili elektrokemijski kondenzatori su nazivi za kondenzatore čiji kapaciteti dostižu, do sada nezamislivih, stotine pa i tisuće farada. Rabe se u mnogim uređajima i sustavima kao što su: hibridna električna i druga vozila, uređaji za napajanje pri kratkotrajnom nestanku napona električne mreže, dlanovnici (palmtop computer), mobiteli, digitalne kamere itd., za pohranu električne energije (Lit. 7, sl. 13 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;">Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/295 – 303/2003.</p>
	<p>ENERGIJA 1444 UDK 620.95:621.311 PREGLEDNI ČLANAK</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 275 – 283</p> <p style="text-align: center;">BIOMASA NA DANAŠNJEM TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE: PRIKAZ STANJA I MOGUĆNOSTI</p> <p style="text-align: center;"><i>Mr. sc. Velimir Šegon, dipl. ing. – mr. sc. Julije Domac, dipl. ing.</i> Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska</p> <p>U članku su prikazane tehnologije za proizvodnju električne energije iz biomase, udio biomase u proizvodnji električne energije za zemlje OECD-a i Europsku uniju te stanje i mogućnosti korištenja biomase u Hrvatskoj. Dan je pregled projekata rasplinjavanja biomase kao jedne od tehnologija od kojih se u budućnosti najviše očekuje. Zaključeno je da su stvarna uloga biomase i mogućnosti njenog korištenja nedovoljno poznati i često pogrešno interpretirani. (Lit. 8, sl. 6 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;">Autori ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/275 – 283/2003.</p>

ENERGIJA 1444

UDK 620.95:621.311

1. Biomasa na današnjem tržištu električne energije: prikaz stanja i mogućnosti
- I. Šegon, V. – Domac, J.
- II. Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Hrvatska

Biomasa
Električna energija
Energetska politika
Obnovljivi izvori
Tržište

ENERGIJA 1443

UDK 621.319.5:621.39

1. Superkondenzatori
- I. Vujević, D.
- II. Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Hrvatska

Superkondenzator
Ultrakondenzator
Elektrokemijski dvoslojni kondenzator
Dvoslojni kondenzator

ENERGIJA 1442

UDK 620.91:622.99

1. Suizgaranje sekundarnog goriva s fosilnim gorivima radi proizvodnje toplinske i električne energije
- I. Uran, V.
- II. "CASE" d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Hrvatska

Fosilna goriva
Sekundarno gorivo
Suizgaranje

Časopis Hrvatske elektroprivrede

Uredništvo i uprava
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Godišnja pretplata 480,00 kn

	<p>ENERGIJA 1445 UDK 338.24:620.9 PREGLEDNI ČLANAK</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 265 – 274</p> <p style="text-align: center;">RAZVOJ (DE)REGULACIJE I PREPORUKE ZA TRANZICIJSKA GOSPODARSTVA</p> <p style="text-align: center;"><i>Mr. sc. Darko Dvornik, dipl. ing.</i> Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Hrvatska</p> <p>Ne postoje univerzalna pravila za rješavanje problema nefikasne tržišne regulacije. Imajući na umu da primarni cilj regulacije nije regulatorna agencija <i>per se</i> već konkurentno tržište, moguće je uz prilagodbu niza elemenata šireg regulatornog okvira ostvariti bolje performanse u sektoru, što je posebice bitno u početnom stadiju djelovanja regulatorne agencije. U članku se daje povijesni pregled razvoja i (de)regulacije električnog i telekomunikacijskog tržišta. Potom se diskutira o ekonomskim aspektima monopolističkog uređivanja u ove dvije industrije, te se obrazlažu razlozi ponovne regulacije tržišta ovih industrija. Naposljetku se prikazuju temeljna načela uspješne (de)regulacije i odgovarajući paket preporuka za tranzicijske zemlje. (Lit. 10, sl. – – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;">Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/265 –274/2003.</p>
	<p>ENERGIJA 1446 UDK 621.3.083.7:651.398.052 IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 251 – 264</p> <p style="text-align: center;">UTJECAJ KVALITETE PLC MEDIJA NA KAPACITET SUSTAVA AUTOMATSKOG OČITAVANJA BROJILA</p> <p style="text-align: center;"><i>Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.</i> HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska</p> <p>Daje se analiza utjecaja kvalitete električne distribucijske mreže kao prijenosnog medija za komunikacijske signale (PLC, engl. Power Line Carrier) na kapacitet očitavanja u sustavu automatskog očitavanja brojila (AMR, engl. Automatic Meter Reading). Određuje se faktor vremenskog produljenja jednog prosječnog očitavanja brojila u ovisnosti o vjerojatnosti pogreške u prijenosu poruke, koja je najlakše mjerljiva veličina za opisivanje prijenosnih karakteristika PLC medija. U posljednjem dijelu članka daje se pregled drugih važnih klasičnih primjena s uskopojasnim komuniciranjem kroz PLC medij. (Lit. 17, sl. 1 – original na hrvatskom jeziku)</p> <p style="text-align: right;">Autor ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/251 –264/2003.</p>

ENERGIJA 1446

UDK 621.3.083.7:651.398.052

1. Utjecaj kvalitete PLC medija na kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila

PLC

Kvaliteta prijenosa

I. Sabolić, D..

Komunikacija

II. HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Hrvatska

Kapacitet sustava automatskog očitavanja brojila

ENERGIJA 1445

UDK 338.24:620.9

1. Razvoj (de)regulacije i preporuke za tranzicijska gospodarstva

(De)regulacija

Tranzicijska gospodarstva

I. Dvornik, D.

II. Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Hrvatska

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

	<p>ENERGIJA 1442 UDK 620.91:622.99 SUBJECT REVIEW</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 285 – 294</p> <p style="text-align: center;">COMBUSTION OF SECODARY AND FOSSIL FUEL FOR THE PRODUCTION OF HEAT AND ELECTRIC ENERGY</p> <p style="text-align: center;"><i>Vedran Uran, B. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">“CASE” d.o.o., Šetalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia</p> <p>After the oil crisis some of the existing cogeneration plants in developed industrial countries changed a certain quantity of fossil fuels for waste from different sources. Thereby different combustion technologies of waste or secondary fuel together with fossil fuels are developed. In the work a concept of direct and indirect combustion is described together with their advantages and disadvantages, as well as a review on technical-economic and ecological characteristics of those concepts. Application possibilities of chosen secondary and fossil fuel combustion concepts for Croatia are also given.</p> <p>(No. of References: 7, Fig.: 8 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;"><i>Author</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/285 – 294/2003.</p>
	<p>ENERGIJA 1443 UDK 621.319.5:621.39 SUBJECT REVIEW</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 295 – 303</p> <p style="text-align: center;">SUPERCAPACITORS</p> <p style="text-align: center;"><i>Dušan Vujević, D. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Croatia</p> <p>Supercapacitors, ultracapacitors or electrical-chemical capacitors are the names for capacitors whose capacity reaches, incredibly, hundreds and even thousands Farads. They are used in many appliances and systems like hybrid electric and other vehicles, supply equipment for short-term voltage interruption in electrical network, palmtop computers, mobiles, digital cameras etc. for electric energy accumulation.</p> <p>(No. of References: 7, Fig.: 13 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;"><i>Author</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/295 – 303/2003.</p>
	<p>ENERGIJA 1444 UDK 620.95:621.311 SUBJECT REVIEW</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 275 – 283</p> <p style="text-align: center;">BIOMASS ON TODAY'S' ELECTRIC ENERGY MARKET: REVIEW AND POSSIBILITIES</p> <p style="text-align: center;"><i>Velimir Šegon, M. Sc. – Julije Domac, M. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">Energetski institut “Hrvoje Požar”, Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Croatia</p> <p>In the paper technologies for electric energy production from biomass are given as well as biomass share in the electric energy production of OECD countries, European Union and possibilities of biomass usage in Croatia. A review on biomass gasification projects as one of the most promising technologies in the future is also given. It is concluded that the role and possibilities of biomass usage are often unknown and wrongly interpreted.</p> <p>(No. of References: 8, Fig.: 6 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;"><i>Authors</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/275 – 283/2003.</p>

ENERGIJA 1444

UDK 620.95:621.311

1. Biomass on Today's Electric Energy Market: Review and Possibilities
- I. Šegon, V. – Domac, J.
- II. Energetski institut "Hrvoje Požar", Savska cesta 163, 10000 Zagreb, Croatia

Biomass
Electric Energy
Electric Energy Market
Renewable Energy Sources
Market

ENERGIJA 1443

UDK 621.319.5:621.39

1. Supercapacitors
- I. Vujević, D.
- II. Cankarova 2a, 10000 Zagreb, Croatia

Supercapacitor
Ultracapacitor
Electrical-chemical Double-layer Capacitor
Double-layer Capacitor

ENERGIJA 1442

UDK 620.91:622.99

1. Combustion of Secondary and Fossil Fuel for the Production of Heat and Electric Energy
- I. Uran, V.
- II. "CASE" d.o.o., Štalište XIII. divizije 28, 51000 Rijeka, Croatia

Fossil Fuels
Secondary Fuel
Combustion

Review of electricity of Croatia

Editorial and advertisements offices:
Zagreb, Ulica grada Vukovara 37
Subscription rate for 6 numbers p.a. USD 95

	<p>ENERGIJA 1445 UDK 338.24:620.9 SUBJECT REVIEW</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 265 – 274</p> <p style="text-align: center;">(DE)REGULATION DEVELOPMENT AND RECOMMENDATIONS FOR COUNTRIES IN TRANSITION</p> <p style="text-align: center;"><i>Darko Dvornik, M. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Croatia</p> <p>There are no common rules for resolving problems of inefficient market regulation. Having in mind that the regulation goal is not regulatory agency <i>per se</i> but a competitive market, it is possible by adaptation of many elements of the regulatory frame to realize better performances of the sector, which is extremely important at the beginning of the regulatory agency work. In the paper historical aspect of development and (de)regulation of electric power and telecommunication market is given. Economic aspects of monopoly arrangements in those two industries are discussed and reasons for new market regulation of these industries are given. At the end basic principles of successful (de)regulation are given as well as corresponding recommendation package for transient countries.</p> <p>(No. of References: 10, Fig.: -- original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;"><i>Author</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/265 – 274/2003.</p>
	<p>ENERGIJA 1446 UDK 621.3.083.7:651.398.052 ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER</p> <p style="text-align: center;">ENERGIJA 52/2003/4, 251 – 264</p> <p style="text-align: center;">INFLUENCE OF PLC MEDIA QUALITY ON THE CAPACITY OF AUTOMATIC METER READING SYSTEM</p> <p style="text-align: center;"><i>Dubravko Sabolić, M. Sc.</i></p> <p style="text-align: center;">HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia</p> <p>Electric distribution network quality influence as transmission media for communication signals (PLC-Power Line Carrier) on the capacity of automatic meter reading system (AMR – Automatic Meter Reading) is analyzed. The factor of time prolongation for one average meter reading depending on failure probability in transmission message, i.e. the easiest measurable value for transmission characteristics of PLC media, is determined. The final part of the paper brings a review on other important classical examples of narrow-range communication through PLC media.</p> <p>(No. of References: 17, Fig.: 1 – original in Croatian)</p> <p style="text-align: right;"><i>Author</i> ISSN 0013-7448 ENJAAC 52/4/251 – 264/2003.</p>

ENERGIJA 1446

UDK 621.3.083.7:651.398.052

1. Influence of PLC Media Quality On the Automatic Meter Reading System Capacity

*PLC
Transmission Quality
Communication*

I. *Sabolić, D.*

*Automatic Meter Reading System
Quality*

- II. HEP Prijenos d.o.o., Prijenosno područje Zagreb, Ulica grada Vukovara 37, 10000 Zagreb, Croatia

ENERGIJA 1445

UDK 338.24:620.9

1. (De)Regulation Development and Recommendations for Countries in Transition

*(De)regulation
Transition Economies*

I. *Dvornik, D.*

- II. Vijeće za telekomunikacije, Jurišićeva 13, 10000 Zagreb, Croatia