

Marijan Kalea

ELEKTRIČNA ENERGIJA

Izdavač
Kigen d.o.o. Zagreb

Za izdavača
Nenad Lihtar

Urednik
Vera Vujović

Recenzenti
Akademik Božo Udovičić
Prof. emeritus Zijad Haznadar
Dr. sc. Mladen Zeljko
Josip Moser, dipl. ing

Lektorica
Vera Vujović

Grafički urednik
Igor Gorkič
PAR.nas dizajn

Oblikovanje naslovnice
Sandra Ilievski

Tisk
GZH d.o.o.

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 649184.

Ni jedan dio ove knjige ne smije se umnožavati
bez prethodne suglasnosti Izdavača i Autora.

ISBN 953-6970-39-1

Marijan Kalea

ELEKTRIČNA ENERGIJA

Kljen

Zagreb, studeni 2007.

*Svojim milim unučicama
Luciji i Petri,
posvećujem.*

Predgovor

Zgottovljujući svoju prvu knjigu „Prijenos električne energije, što je to?“, mnoge sam stvari morao staviti *na stranu*. Nisu se uklapale u koncept te knjige, nego u neki širi koncept. Tako je narastala moja spoznaja kako je taj širi koncept zapravo *električna energija*, fenomen kojim sam se bavio cijelogra profesionalnog života, još od vremena svog školovanja. Dakako, neke dodirne stvari iz prve knjige morao sam ponovo opisati i u ovoj knjizi jer naprosto pripadaju ovamo, a iznesene su u drugačijem kontekstu.

Električna energija dolazi iz utičnice – dio javnosti tako poima tu doista najdemokratskije dostupnu energiju suvremenog svijeta. Ova knjiga namijenjena je onima koje zanima što je *iza* utičnice; čitateljima zainteresiranim za poimanje električne energije, njezino stvaranje i dopremu do kuća u kojima živimo, tvornica i ustanova gdje radimo. To je skup izabralih poglavljaja kojima se nastoji uputiti *u osnove* tog vrlo složenog područja u što širem kontekstu. Od širokog prostornog zahvata (to je svijet, ali naglašenje Europa i Hrvatska), preko vremenskog zahvata (to je posljednjih stotinjak godina, ali naglašenje nekoliko posljednjih desetljeća, a donekle i predstojećih nekoliko desetljeća), do, dakako, smještaja proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, opskrbe te korištenja električnom energijom, u ukupnu energetiku.

Poglavlja u knjizi iznesena su u najgrubljim potezima, rekao bih skicama, jer iza svakog od tih poglavljaja stoji barem jedan kolegij i odgovarajući udžbenik za pojedine predmete koji se izučavaju u okviru studija elektroenergetike.

Međutim, knjiga može poslužiti i studentima elektrotehnike/elektroenergetike, kao šira dopuna udžbenicima, te novinarima, političarima i – u krajnjoj liniji – svim energetičarima kojima električna energija nije uža specijalnost, ali bi htjeli biti načelno informirani i o njoj. Konačno, mogu je koristiti i *elektroprivrednici*, kojima bavljenje uzom specijalnošću – tehničkom, ekonomskom i pravnom – nije dalo vremena za općenitija i sustavnija sagledavanja fenomena kojim se zapravo svakodnevno bave: električnoj energiji.

Zahvaljujem se recenzentima ove knjige, koji su svaki sa svoje strane dali niz korisnih savjeta i sugestija: akademiku Boži Uđovičiću, doktoru znanosti Zijadu Haznadaru, profesoru emeritusu Sveučilišta u Zagrebu i akademiku Akademije nauka Bosne i Hercegovine, doktoru znanosti Mladenu Željku i diplomiranom inženjeru Josipu Moseru. Nastojao sam uzeti u obzir njihove savjete, onako kako sam znao i umio.

Zahvaljujem i *Kigenu*, osobito njegovu direktoru Nenadu Lihtaru i urednici teksta Veri Vujović, kao i grafičkom uredniku Igoru Gorkiću, koji su se pobrinuli da knjiga izadeolično uređena i opremljena.

U Osijeku, srpanj 2007. godine

M. Kalea

Sadržaj

1. Oblici energije	11
2. Iskazivanje (elektro)energetskih veličina.	25
3. Energetika svijeta početkom trećeg tisućljeća.	59
4. Povijesni put korištenja električnom energijom.	75
5. Električna energija	95
6. Proizvodnja električne energije – elektrane.	117
7. Prijenos i distribucija električne energije – mreže	161
8. Elektroenergetski sustavi i njihovo povezivanje	193
9. Snaga i energija u elektroenergetskom sustavu.	215
10. Gubici i vlastita potrošnja električne energije	241
11. Godišnja elektroenergetska bilanca	253
12. Pogon i održavanje elektroenergetskog sustava	259
13. Razvoj i izgradnja elektroenergetskog sustava	273
14. Utjecaj elektroenergetike na okoliš	283
15. Razborito korištenje električnom energijom	297
16. Kvaliteta električne energije	309
17. Zaštita zdravlja i imovine pri korištenju električnom energijom	317
18. Organiziranje elektroenergetskog gospodarstva – elektroprivrede	327
19. Direktive Europske Unije o električnoj energiji	337
20. Zakonodavno uređenje elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj	355
21. Cijene električne energije.	377
22. Povijest elektrifikacije u Hrvatskoj	405
23. Električna energija u predstojećem razdoblju	439
Kazalo pojmova	453
Literatura	461
Životopis autora	465

Oblici energije

Energija je presudni čimbenik opstanka ljudske vrste, poput zraka, hrane i vode...

Do pred kraj 19. stoljeća, energija tada raspoloživih prirodnih izvora energije morala se dopremati na mjesto korištenja (drvo, ugljen, nafta), ili se mjesto njihova pridobivanja moralo slagati s mjestom njihova korištenja (vodne snage, vjetar). Tek krajem 19. stoljeća dolazi do početaka korištenja električnom energijom i primjene električnog prijenosa energije na daljinu. To je omogućilo iskorištanje prirodnih izvora energije na najpovoljnijem mjestu, pretvorbom u električni oblik a potom prijenos u tom obliku do mjesta korištenja, koje se više nije moralo slagati s mjestom najpovoljnijeg pridobivanja prirodnih oblika. Budući da električni oblik energije nije prikladan za neposredno korištenje – čak ga nije moguće izravno koristiti, na mjestu toga korištenja ona se mora preobraziti u koristan oblik: svjetlo, toplinu, mehanički ili kemijski oblik.

Sredinom prošlog stoljeća na svjetsku energetsku pozornicu dolazi nuklearna fisij-ska energija, čije iskorištanje je toliko napredovalo upravo zahvaljujući posrednoj pretvorbi u električni oblik. Koncem prošlog stoljeća svijet se okreće i nekonvencionalnim obnovljivim izvorima energije, pod prijetnjom nestajanja zaliha konvencionalnih goriva i prijetnjom pretjerana zagrijavanja Zemljine atmosfere korištenjem fosilnim gorivima. Dijelu tih nekonvencionalnih izvora (osobito dijelu onih nestalnih: vjetar, mali vodotoci) također bi bilo neprihvatljivo korištenje bez prethodne pretvorbe u električni oblik.

Naglasimo: izvorno energija je u tvarima – u Zemlji i njezinu bližem okolišu (ugljen, nafta, prirodni plin, nuklearno gorivo, vodne i zračne mase, tvari iz skupa nekonvencionalnih izvora energije), u energetskoj aktivnosti materije Sunca te u gravitacijskom djelovanju masa Zemlje, Sunca i Mjeseca. Da bismo je iskoristili, moramo te tvari steći, prikupiti, pridobiti i dovesti ih energetskim uređajima ili te uređaje izložiti njihovu djelovanju. To je predmet opskrbe energijom, a otkrivanje tih tvari i smišljanje tih uređaja, povijest je energetike.

Energija je sposobnost obavljanja rada. Ishodište joj je u materiji. Ne dade se ni iz čega stvoriti niti uništiti. Čovjek je svjestan njezine prisutnosti kada se zbivaju pretvorbe njezina oblika. Tada se nešto mijenja: kreće se, zagrijava ili hlađi, svijetli ili zvuči, mijenja položaj, oblik, stanje, sastav... U tim i takvim primjerima, energija prelazi iz jednog prostora u drugi, s jedne materije na drugu, u istom ili promijenjenom svom obliku.

Svi energetski procesi, kojima smišljeno upravlja čovjek ili ih je smišljeno uspostavio, zbivaju se tako da se energija sadržana u nekom izvoru energije, tokom jedne ili više pretvorba (preobrazba, promjena, transformacija, konverzija) njezina oblika, usmjeri nekoj potrebnoj svrsi. Pri tome se dio početne energije pretvoriti u drugi oblik, usmjeri na drugo mjesto ili se – prirodnim razlozima, ne dade iskoristiti. Iskorištena, pak energija ne nestaje tim iskorištanjem, ona se u konačnici pretvoriti u oblik iz kojeg se više ne može, ili ne želi, preobražavati u druge oblike.

Proizvodnja, potrošnja i gubici energije

Ono što uobičajeno zovemo *proizvodnjom* nekog oblika energije, zapravo je:

- *pridobivanje* nekog prirodnog oblika energije (kažemo: proizvodnja ugljena, na primjer, a svjesni smo kako je to ustvari pridobivanje davno „*proizvedenog*“ ugljena) ili
- *pretvorba* nekog energetskog oblika u drugi (npr. kada energiju sadržanu u gorivu preobražavamo u električnu energiju, koji se proces zbiva u termoelektrani, govorimo o proizvodnji električne energije).

Ono što najčešće zovemo *potrošnjom* energije, zapravo je iskorištenje većeg ili manjeg dijela energije uložene u energetski proces, po obliku–mjestu–svrsi radi kojih je proces i uspostavljen.

Ono što (nespretno izabrano, ali uobičajeno) zovemo *gubicima* energije, dio je uložene energije u energetski proces koji nije iskorišten na poželjan način. Bolje bi bilo govoriti o neiskorištenoj energiji, umjesto o gubicima; energija se ne gubi nego njezin dio nije pretvoren u željeni, koristan oblik, već u neki drugi, neželjeni oblik. Gubici su, dakle, razlika između privredne energije i iskorištene energije u nekom razdoblju – nekog oblika energije ili svih oblika energije, na nekom promatranom prostoru (primjerice: na teritoriju neke zemlje ili području djelovanja nekog energetskog poduzeća).

Omjer između dijela energije koji je nekim energetskim procesom ostvaren kao koristan i ukupne energije uložene u taj proces jest *stupanj djelovanja* tog procesa (stupanj iskorištenja, korisnost, vrsnoća, djelotvornost). Uvjetovan je vrstom energetske preobrazbe (određena se preobrazba može učiniti manje ili više potpuno, ali nikad posve do kraja), vrijednošću energetskih veličina koje su primijenjene i uvjetima pri preobrazbi (ista preobrazba može se izvesti u različitim uvjetima) te kakvoćom uređaja u kojem se ta preobrazba obavlja.

Prijenos energije je transport nekog energetskog oblika na potrebnu – ponekad i vrlo veliku – udaljenost, a *distribucija* energije je raspodjela do svakog korisnika. I u tim aktivnostima, opet se dio energije, prirodnim razlozima, gubi. (Ovdje ne pretpostavljamo moguće druge razloge izgubljenoj energiji: nemar, nerazumno rasipanje energije, krađu...)

Vlastita potrošnja oblika energije u samom energetskom gospodarstvu (i ono koristi energiju za rasvjetu, za zagrijavanje, klimatiziranje i ventiliranje, za svakovrstan mehanički rad, moguće u kemijske svrhe, za uredska pomagala...) ne predaje se na korištenje kupcima-potrošačima¹, nego se utroši prije te predaje.

Neposredno potrošena energija je ona energija koja se iz energetskog gospodarstva predaje na korištenje. Korištenje energijom je konačna pretvorba nekog neposredno iskorištenog oblika energije u *korisnu energiju*, koja se odvija kod kupaca-potrošača. I ta pretvorba, opet se odvija uz neizbjježne gubitke energije.

Dodajmo još i to, kako – do kraja precizno gledano – u okviru energetike treba govoriti o neposrednoj *energetskoj* potrošnji oblika energije jer ima i *neenergetske potrošnje*; primjerice: potrošnja ugljena u karbokemiji, nafte u petrokemiji ili prirodnog plina za proizvodnju umjetnih gnojiva. Dakle, dio se prirodnih oblika energije ne iskoristi u energetsko, nego u neenergetske svrhe, kao kemijska sirovina. U energetskim bilancama, taj dio posebno se iskazuje i odbija od ukupnih utrošenih količina oblika energije, kako bi se dobila energetska potrošnja.

¹ U knjizi će se najčešće koristiti sintagma *kupac-potrošač*. Naime korisnik energije je kupac te energije (u komercijalnom smislu) a ujedno i njezin potrošač (u energetskom smislu); stoga se takav dvojni naziv činio najprikladnijim. Razlikovati treba potrošača (to je osoba ili pravni subjekt) od trošila (to je uređaj kojim se ostvaruje korištenje energijom).

Energija po fizičkim oblicima

Poznajemo energiju vezanu uz unutarnju strukturu materije: uz atomske jezgre, atome i molekule. To je unutarnja energija. Bliže nam je poimanje energije vezane uz vanjsko stanje mase u cjelini: uz njezin položaj prema čemu, odnosno uz njezino gibanje u odnosu na što.

Energija koju sadrži materija na razini atomskih jezgara (nukleona) je *nuklearna energija*. Moguće ju je iskoristiti izazivanjem raspada jezgara nekih atoma (npr. atoma uranova izotopa, urana-235); to je energija nuklearnog raspada (*fisije*). Ako bi se iskorištavala pri spajanju jezgara nekih atoma (npr. vodikovih izotopa: deuterija i tricija), bila bi to energija nuklearnog spajanja (*fuzije*).

Energija koju sadrži materija na razini atoma je *kemijska energija*. Može se iskoristiti ako se uspostavi takav kemijski proces pri kojem se oslobađa energija (takav je npr. proces izgaranja, kada se atomi ugljika i vodika iz goriva spajaju s atomima kisika iz zraka). Ima i takvih kemijskih procesa koji se mogu zbiti samo ako se energija dovodi procesu, oni se – dakako – ne mogu koristiti za opskrbu energijom, u takvim se procesima energija troši.

Energija, sadržana u materiji na razini molekula, naziva se *unutarnja toplinska energija*. Mijenja se dovođenjem ili odvođenjem topline. Koristi se tako da se toplina s jednog nositelja odvodi i usmjerava prema drugome. U konačnici, mnogi energetski procesi završavaju upravo tako da se poveća unutarnja toplinska energija okoline.

Tijelo u cjelini, ako je ono u mirovanju u gravitacijskom polju Zemlje, u odnosu na neku nižu razinu od svoje, sadrži *potencijalnu energiju*. Može se iskoristiti omogućavanjem kretanja tog tijela sa svoje na tu nižu razinu. Primjerice: ako vodna masa iz jezera nad morem prostruji kroz turbinu elektrane postavljenu uz razinu mora.

Ako je tijelo u odnosu na svoju okolinu u kretanju, onda u odnosu na tu okolinu tijelo sadrži *kinetičku energiju*. Usporavanjem ili potpunim zaustavljanjem tog tijela može se djelomično ili potpuno iskoristiti kinetička energija nagomilana u njemu. Primjer je pogon vjetroelektrane zračnom masom u strujanju (vjetrom).

Energija može biti nagomilana (akumulirana, prikupljena, u nekom tijelu ili prostoru) ili prijelazna energija. Prijelazni oblici energije pojavljuju se kada nagomilana energija mijenja svoj oblik ili svog nositelja (prelazi s jednog na drugo tijelo ili iz jednog u drugi prostor).

Nagomilana energija je: nuklearna energija, kemijska energija, unutarnja toplinska energija, potencijalna i kinetička energija. Može se trajno održati u tom obliku.

Prijelazna energija je: mehanička energija, električna energija, toplina i svjetlo. Ne može se zadržati bez promjene u drugi oblik, njezina je pojava kratkotrajna – u trenutku preobrazbe, odnosno iskorištavanja.

Prirodni oblici energije

Prirodni oblici energije (primarni oblici, pojavnici oblici, izvori energije) su oni što se pridobivaju iz prirode (zahvaćaju iz prirode, iskorištavaju). Oni se uobičajeno razvrstavaju na više načina:

- prema svom fizičkom obliku (na nositelje nuklearne, kemijske, unutarnje toplinske, potencijalne, kinetičke energije i energiju zračenja);

– prema uobičajenosti svoje primjene (na konvencionalne, uobičajene i nekonvencionalne, nove izvore energije);

– prema svojoj obnovljivosti (na neobnovljive i obnovljive izvore).

U *konvencionalne*, dakle s današnjeg stajališta uobičajene, izvore energije ubrajamo: ogrjevno drvo i sva fosilna goriva (ugljen, sirovu naftu i zemni, prirodni plin), vodne snage (korištene u hidroelektranama snage uobičajeno iznad 10 MW) i nuklearna fizijska goriva.

U *nekonvencionalne* izvore energije ubrajamo one čije je korištenje moguće ali se danas još – ili više – u većoj mjeri ne primjenjuju, kao i one kojima danas još nije tehnološki riješen način njihova ekonomičnog iskoriščavanja. To su: energija malih vodotoka (korištene u hidroelektranama snage uobičajeno do 10 MW), biomasa i otpad (biljni i životinjski), bioplín, energija vjetra (eolska energija), energija plime i oseke, te morskih valova, energija Sunčeva zračenja (solarna energija), toplina tla, mora i zraka, unutarnja toplinska energija Zemlje (geotermalna energija) te nuklearna fizijska goriva.

U primjeni je i naziv *alternativni izvori energije*, izvori koji bi trebali predstavljati alternativu, druge mogućnosti za energetsku opskrbu od onih koje su danas naglašeno primjenjivane. Govori se i o *aditivnim izvorima, novim izvorima* ili *eko-izvorima* energije.

Opažamo, dio izvora koje sa stajališta razvijenih društava uvrštavamo u nekonvencionalne izvore energije, u nerazvijenom su svijetu i danas jedini, dakle za njih konvencionalni: sagoriva biomasa, bioplín i otpad (biljni i životinjski). Geotermalnu energiju mogli bismo svrstati u konvencionalne izvore, jer se koristi od davnina, no pravu renesansu svojeg korištenja doživljava tek u novije doba, pa je pripisujemo nekonvencionalnim izvorima. Ogrjevno drvo u srednjem je vijeku bilo jedino gorivo, ali u suvremeno doba korištenje njime na konvencionalni način gotovo je nestalo (ali opet u razvijenom dijelu svijeta); da bi ponovno rasla njegova uporaba, ali na nekonvencionalni način, te ga uvrštavamo – tako korištenog – u biosamu.

Obnovljivost pojedinih izvora energije određujemo uvjetno – u odnosu na ljudsko poimanje vremena. Obnovljivost izvora energije najlakše pojmimo ako kažemo kako je obnovljivi izvor onaj kojeg se dotok svake godine ponavlja, uz stanovita odstupanja. Svi su, naime, izvori energije u konačnici neobnovljivi. Jedino su oni – čija je pojava vezana uz tekuću energetsku aktivnost Sunca (fizijski nuklearni procesi u njegovoj nutrini), odnosno uz kretanje nebeskih tijela, toliko dugovječni da su s današnjeg ljudskog stajališta praktički neiscrpni.

U *obnovljive* (ili neiscrpne) izvore svrstavamo: neposredno iskorištenje Sunčeva zračenja, vodne snage (neovisno o tome u kako velikim se hidroelektranama iskorištavaju), energiju vjetra i morskih valova, toplinu mora (sve je to posredno, preobraženo, Sunčeva energija) te energiju plime i oseke (uvjetovanu kretanjem Zemlje, Mjeseca i Sunca). Energija biomase može se koristiti na obnovljiv način, tako da ukupni utrošak u pojedinom razdoblju bude jednak ili manji od prirasta biomase u tom razdoblju. Otpad je također obnovljiv, njegov se prosječni godišnji dotok obnavlja, čak – eventualno – povećava. Jednako tako je i s bioplínom, nastaje fermentacijom ekskrementa domaćih životinja te organskih otpadaka iz kućanstava, vrtlarstva, voćarstva, poljoprivrede i industrije. Unutarnja toplinska energija Zemlje – točno govoreći – iscrpiva je, no opet prema ljudskom poimanju vremena trajat će do *sudnjeg dana*, pa je svrstavamo u obnovljive izvore.

Ostali su izvori *neobnovljivi* (iscrpivi), moguće je samo njihovo jednokratno iskoriščavanje, to su sva fosilna goriva (ugljen, sirova nafta i prirodni plin) i nuklearna – fizijska i

fuzijska – goriva. Spomenimo kako su fosilna goriva zapravo iz davnina sačuvana energija koju je dozračilo Sunce, fosilizirani biljni i životinjski ostaci iz daleke Zemljine prošlosti. Ogrjevno drvo može se koristiti neobnovljivim načinom, ako se pošumljavanjem ne osigura barem onoliko nove mase koliko se utrošilo iskorištavanjem.

Tablica 1.1. Prirodni oblici energije prema obnovljivosti i konvencionalnosti primjene

Prirodni oblik energije	Obnovljivost		Konvencionalnost	
	Neobnov.	Obnovljiv	Konvenc.	Nekonv.
Ugljen	✓		✓	
Sirova nafta	✓		✓	
Prirodni plin	✓		✓	
Nuklearno fizijsko gorivo	✓		✓	
Vodne snage (<i>velike HE</i>)		✓	✓	
Ogrjevno drvo		✓	✓	
Vodne snage (<i>male HE</i>)		✓		✓
Vrući izvori (geotermalna energija)		✓		✓
Biomasa i otpad		✓		✓
Vjetar		✓		✓
Sunčeva energija		✓		✓
Toplina tla, vode i zraka		✓		✓
Plima i oseka		✓		✓
Morski valovi		✓		✓
Nuklearno fizijsko gorivo	✓			✓

Tablica 1.1. načinjena je s gledišta razvijenih društava, tzv. *nekomercijalna goriva* (sago-goriva biomasa – čak i osušen životinjski ekskrement, bioplín, otpad) u zemljama u razvoju su praktički jedini izvori prirodne energije – za njih su to, dakako, konvencionalni izvori.

Pretvorbeni oblici energije

Do korisnih oblika energije u današnjim energetskim sustavima dolazimo uglavnom preko pretvorbenih (transformiranih) oblika energije, onih koji posreduju između prirodnih i korisnih oblika. Pretvorbeni su oblici: unutarnja toplinska energija, mehanička energija i električna energija. U jedan od tih oblika zahvaćamo prije konačnog iskorištenja energije. Jedino se kemijskom energijom koristimo i bez prethodne preobrazbe oblika (npr. kod korištenja koksom u željezari te korištenja rovnim ugljenom, prirodnim plinom ili nekomercijalnim gorivima kao izvorima topline), doduše i preobrazbom električne energije (kod elektrolize). I toplina vrućih izvora može se koristiti neposredno, jer je zapravo riječ o prirodnom obliku unutarnje toplinske energije.

Pretvorbe se obavljaju stoga što izvorni oblik energije nije pogodan za neposredno korištenje, ili je to čak nemoguće, odnosno što transport energije u svom izvornom obliku nije pogodan, ili je čak nemoguć.

Unutarnja toplinska energija uobičajeni je pretvorbeni oblik energije u koji se pretvara kemijska energija sadržana u gorivu, izgaranjem. Plinovi izgaranja nositelji su unutarnje toplinske energije i mogu se neposredno iskoristiti – za zagrijavanje prostora, kuhanje i pripremu tople vode, u tehnološkim procesima, ili posredno – u parnim kotlovima, gdje se unutarnja toplinska energija predaje vodenoj pari te se u tom obliku dalje koristi za pogon parnih turbina ili opet za zagrijavanje prostora i sanitарne vode ili u tehnološkim procesima. Ako se predaje parnoj turbine, pretvara se u njoj najprije u kinetičku energiju i konačno u mehaničku energiju na osovini turbine. U motorima s unutrašnjim izgaranjem ili plinskim turbinama, unutarnja toplinska energija plinova izgaranja izravno se pretvara u mehaničku energiju. U nuklearnim reaktorima zbiva se nuklearna reakcija koja razvija unutarnju toplinsku energiju nositelja topline kojega se usmjerava na proizvodnju vodene pare; reaktor – dakle – preuzima funkciju parnog kotla.

Mehanička energija je rezultat pretvorbe unutarnje toplinske energije u parnim i plinskih turbinama te u motorima s unutrašnjim izgaranjem. Mehaničku energiju moguće je ostvariti i vodnim ili zračnim turbinama, izravno iz potencijalne ili kinetičke energije vodnih snaga ili vjetra, energije plime i oseke te morskih valova.

Električna energija je nama najzanimljiviji oblik energije a doista je nije lako pojmiti. Da je i električna energija uopće energetski oblik rasudimo po iskustvu o mogućnosti njezine preobrazbe (posredne ili neposredne) iz svih prirodnih oblika energije, te mogućoj preobrazbi u sve korisne oblike energije. Da je riječ o prijelaznom obliku energije rasudimo po tome što se pretvorba u električni oblik zbiva u trenutku njezina korištenja; električni akumulator preobrazi nagomilanu kemijsku energiju u električnu upravo toliko i tada, koliko se i kada ta električna energija preobražava u svjetlo i toplinu žaruljice priključene na taj akumulator. Ako se žaruljica isključi – nema potrošnje, prestaje i pretvorba kemijske u električnu energiju u tom akumulatoru.

Električnim zbivanjima uspostavljaju se električna i magnetska polja, osobita energetski uzbudena stanja prostora (s materijom li bez materije). U tim se prostorima javljaju sile čiji se rad može koristiti, te se električna energija preobražava u mehaničku. Može se također povećati unutarnja toplinska energija materije, pa se električna energija može iskoristiti kao toplina i svjetlo, žaruljama s užarenom niti. Konačno, može se elektrolizom jedna tvar kemijski preobraziti u drugu i time električna energija pretvoriti u kemijsku.

Električna energija danas se može ostvariti iz svih prirodnih (dijelom izravno a većim dijelom neizravno) i svih drugih pretvorbenih oblika energije. Najčešće, to je danas pretvorba mehaničke energije pomoću generatora, ali moguća je i pretvorba kemijske energije u gorivnim celijama, unutarnje toplinske energije termoelementima i magneto-hidrodinamskim generatorima, te pretvorba Sunčeva zračenja fotonaponskim celijama.

Oblici neposredne potrošnje energije

U energetskim bilancama (svjetskim, kontinentalnim i nacionalnim) nije moguće iskazivati energiju prema svojim korisnim oblicima. Kada se jednom energija preda na korištenje iz energetskog gospodarstva, znani su samo oblici *neposredne potrošnje energije* (ogrjevno drvo, kruta fosilna goriva, tekuća goriva, plinovita goriva, električna energija, topli-

na, izravno preuzeti nekonvencionalni oblici energije) u kojima je ta energija preuzeta radi korištenja, ali nije znano u koji se korisni oblik (svjetlo, toplina, mehanički rad, kemijска energija) preobrazila kod svakog od nebrojenih kupaca-potrošača².

Ipak, kupce-potrošače grupiramo u poznate glavne *sektore potrošnje* i prema tim sektorima iskazujemo neposredno potrošenu energiju: industrija–promet–opća potrošnja. Opću potrošnju najčešće i dalje dijelimo na potrošnju u kućanstvima i na ostalu potrošnju (kamo ubrajamo potrošnju poljoprivrede te javnih i privatnih usluga, komunalnu potrošnju, javnu rasvjetu, građevinarstvo i sl.).

Neposredna potrošnja energije je, dakle, energija koja se predala izravno korištenju, bez daljeg posredovanja unutar energetskog gospodarstva, i naziva se još *finalna potrošnja* energije.

Korisni oblici energije

Svakodnevni život i rad upućuju nas na spoznavanje korisnih oblika energije: svjetlo, toplinu, mehanički rad i kemiju energiju.



Slika 1.1. Dnevna soba – svjetlo kao korisni oblik energije

Svjetlo je energetski oblik kojim se koristimo za osiguranje vidljivosti u vrijeme i na mjestima, kada i gdje nije prisutno prirodno Sunčev zračenje (slika 1.1). Danas se gotovo isključivo osigurava pretvorbom električne energije. U energetskim računicama, danas je uobičajeno energiji iskorištenoj u obliku svjetla pridodati i energiju iskorištenu za bavljenje

² Sveukupna neposredna energija koju preuzima prosječno kućanstvo u Njemačkoj (u sadašnje dobu) koristi se za: zagrijavanje (51 posto), pogon automobila (34 posto), pripremu tople vode za sanitarnе potrebe i kuhanje (osam posto), mehanički rad (primjerice za pogon kompresora u frižideru, četiri posto), procesnu toplinu (za grijanje vode u strojevima za pranje rublja ili posuda, dva posto) te za rasvjetu i ostalo (jedan posto).

informacijama (telefon, telegraf, radio, televizija, audio-vizualni uređaji, računala), jer se ta energija ostvaruje isključivo preobrazbom električne energije i jer je riječ o relativno manjem dijelu ukupno iskorištene energije.

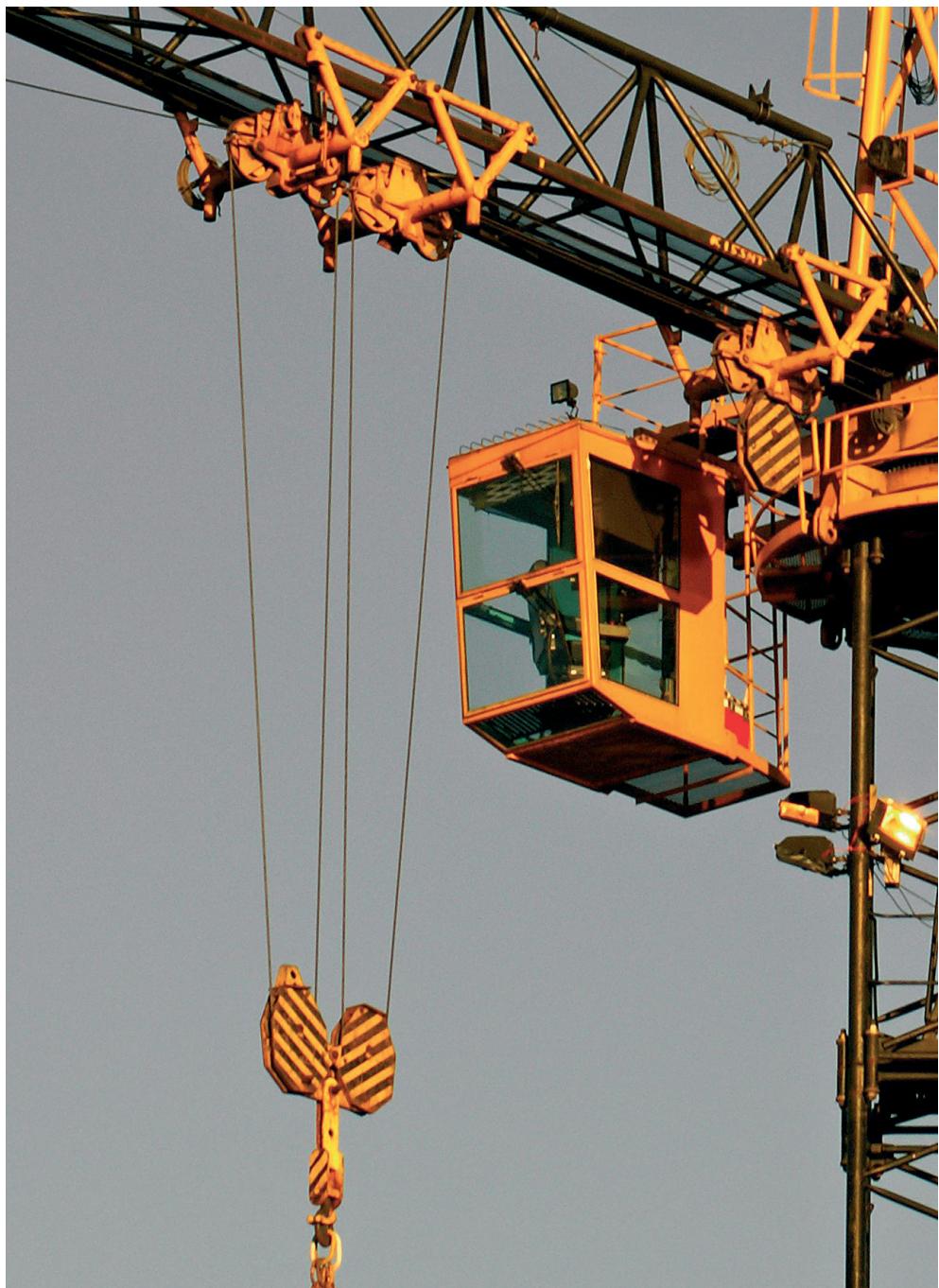
Toplinom se koristimo kako bismo prostore za život i rad učinili primjerenijim čovjeku u hladnim klimatskim razdobljima, da pripremamo jelo i obavljamo higijenske potrebe te u brojnim tehnološkim procesima (npr. pri kovanju, lijevanju, kaljenju, sušenju, pečenju, kemijskim i biološkim procesima koji se odvijaju uz dovođenje topline itd.). Slika 1.2.



Slika 1.2. Električna induktionska peć – toplina kao korisni oblik energije

Mehanički rad vjerojatno najlakše i najtočnije poimamo. To stoga što za njegovo korištenje znamo u primjerima gdje se može koristiti i neposredan rad ljudskih mišića: za premeštanje, podizanje-spuštanje tereta (slika 1.3), transportiranje na neku udaljenost, obradu materijala skidanjem strugotine, savijanjem, kovanjem, presanjem itd. Mehanički se rad koristi i za ventiliranje, tlačenje nekog plina, crpljenje kakve tekućine, mljevenje i drobljenje kakva materijala, valjanje i sabijanje, pri obradi tla i brojnim drugim znanim primjerima u kućanstvu, industriji, obrtu i građevinarstvu, poljoprivredi, prometu...

Kemijskom energijom koristimo se npr. u visokim pećima za proizvodnju sirovog željeza, elektrolučnim pećima za proizvodnju ferolegura i karbida, elektrolitičkim kadama za proizvodnju aluminija (slika 1.4) i sl. U svim tim primjerima uložena energija iskorištena je za formiranje kemijski nove korisne tvari iz prethodno pridobivene drugačije tvari. U kemijsku



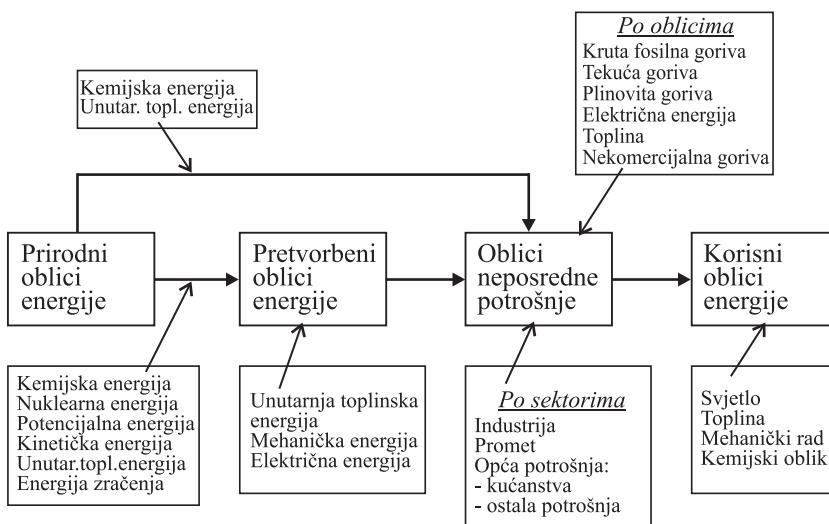
Slika 1.3. Kranska dizalica – mehanički rad kao korisni oblik energije



Slika 1.4. Kada za elektrolizu aluminija – kemijski, kao korisni oblik energije

energiju pretvaramo električnu energiju, kada punimo akumulator, primjerice kada punimo bateriju u našim mobitelima.

Na slici 1.5. prikazan je tijek korištenja energijom, od pridobivanja prirodnih oblika energije, preko pretvorbenih oblika do korištenja neposrednim, odnosno korisnim oblicima energije.



Slika 1.5. Prirodni, pretvorbeni, oblici neposredne potrošnje i korisni oblici energije

Opaske uz bilance električne energije

U nacionalnim, kontinentalnim i svjetskim godišnjim elektroenergetskim bilancama uvriježilo se osobito, svojstveno imenovanje pojmljova, kada je riječ o prirodnim oblicima energije, pretvorbenoj ili neposredno korištenoj električnoj energiji.

Ponajprije, javljaju se prirodni ili pretvorbeni oblici energije koji su *iskorišteni za pretvorbu u električni oblik energije*. To je ukupna energija svih energetskih oblika, koja se privodi elektranama radi proizvodnje električne energije. U ukupnoj dobavi svih oblika energije za pretvorbu u električnu energiju razlikujemo fosilna goriva za termoelektrane, vodne snage za hidroelektrane, nuklearno gorivo za nuklearne elektrane te prirodne oblike energije za elektrane na nekonvencionalne oblike energije. Energetske statistike raznih zemalja pri tome postupaju različito.

Energetska statistika, kakva je uobičajena u Europskoj Uniji i Međunarodnoj agenciji za energiju (IEA), obuhvaća ulazne oblike energije za korištenje u elektranama na sljedeći način:

- za konvencionalna goriva iskorištena u termoelektranama putem količina tih goriva (te su količine mjerljive) i jediničnih energetskih sadržaja tih goriva,
- za vodne snage iskorištene u hidroelektranama primjenjuje se faktor konverzije 3,6 PJ/TWh, dakle, uzima se kao da se izlazna električna energija iskazana primjerice teravatsatima ostvarila pretvorbom vodnih snaga iskazana primjerice petadžulima, bez gubitaka (jer bi prirodno iskorištenu energiju vodnih snaga bilo nemoguće izmjeriti),
- za nuklearna goriva iskorištena u nuklearnim elektranama određuje se njihov energetski sadržaj uz pretpostavku da nuklearne elektrane neprekidno rade uz stupanj djelovanja jednak prosječnom stupnju djelovanja konvencionalnih termoelektrana; uobičajeno se uzima da je to 33 posto,
- za nekonvencionalne izvore energije: (a) uzima se faktor konverzije 3,6 PJ/TWh, dakle opet kao da rade bez gubitaka jer bi prirodnu energiju dozračenu od Sunca, preoblikovanu iz vjetra ili u malim HE bilo nemoguće izmjeriti, (b) za geotermalne elektrane, uzima se kao da je stupanj njihova djelovanja 10 posto i (c) za elektrane na nekomercijalna goriva, uzima se opet količina tih goriva i jedinični energetski sadržaj tih goriva.

U hrvatskoj elektroenergetskoj bilanci, koju izdaje Energetski institut *Hrvoje Požar*, kao ulazna energija vode za pogon hidroelektrana, uzima se ona energija koja proizlazi iz proizvedene električne energije u hidroelektranama uz prosječni stupanj djelovanja kakav se ostvaruje u hrvatskim termoelektranama (oko 10 PJ/TWh). Time je ta bilanca, u brojčanom iskazu ukupne potrošnje prirodnih oblika energije, neosjetljiva na vrlo velike varijacije godišnje proizvodnje u hidroelektranama (godišnja proizvodnja u sadašnjim hrvatskim hidroelektranama varira između 3,5 i 7 TWh), jer razliku izostale proizvodnje hidroelektrana u sušnoj godini nadoknađuje pojačan angažman termoelektrana u takvoj godini.

Kao ulazna energija u termoelektrane-toplane uzima se, dakako, ukupna energija goriva koje je iskorišteno za proizvodnju električne i toplinske energije i ta se energija ne može dijeliti na onu koja je iskorištena za proizvodnju električne energije i na onu koja je iskorištena za proizvodnju toplinske energije. Na izlazu iz termoelektrana-toplana, naravno, mjere se i iskazuju te energije odjelito: električni i toplinski dio proizvodnje. Električni dio te proizvodnje nastavlja svoj tok u bilanci ukupno proizvedene električne energije, a toplinski dio u bilanci toplinske energije.

Brutoproizvodnja električne energije je proizvodnja ostvarena na priključnicama generatora svih elektrana. To je, dakle, energija iskorištena za pretvorbu u električnu energiju, umanjena za gubitke pri toj pretvorbi.

Netoproizvodnja električne energije je brutoproizvodnja umanjena za vlastitu potrošnju električne energije u elektranama.

Vlastita potrošnja električne energije u elektranama sastoji se od pokrivanja potreba za električnom energijom brojnih pomoćnih pogona koji omogućuju normalno funkcioniranje tih elektrana: crpaka, kompresora, ventilatora i sl. Pri tome, vlastita potrošnja u termoelektranama znatno je veća nego u hidroelektranama. Također, u vlastitu potrošnju ubrajamo električnu energiju potrebnu za rasvjetu, za zagrijavanje, hlađenje i ventiliranje, za uredske strojeve i ostalu radnu mehanizaciju, za mehanički rad različitih strojeva u radionicama, za vodoopskrbu i sl.

Ako je riječ o nacionalnoj elektroenergetskoj bilanci (ili bilanci kakva još užeg područja) onda se netoproizvodnji električne energije dodaje i saldo uvoza i izvoza električne energije, jer će i ta električna energija biti predana na korištenje, ali izravno bez pretvorbe, jer je preuzeta u električnom obliku. Time dolazimo do ukupne električne energije raspoložive za korištenje.

Brutopotrošnja električne energije je netopotrošnja (neposredna potrošnja) električne energije uvećana za gubitke u prijenosnoj i distribucijskoj mreži, te za vlastitu potrošnju u elektroprivredi (izuzev vlastite potrošnje u elektranama).

Razlikujemo vlastitu potrošnju električne energije u elektranama te u ostaloj elektroprivredi (dakle prijenosnoj i distribucijskoj mreži – opet za pogon pomoćnih postrojenja u električnim rasklopnim postrojenjima, te za rasvjetu, zagrijavanje, hlađenje i ventiliranje, uredske strojeve i ostalu radnu mehanizaciju, za mehanički rad različitih strojeva u radionicama, za vodoopskrbu i sl.) i vlastitu potrošnju električne energije u cjelokupnom energetskom gospodarstvu. Naime, i ostalo energetsko gospodarstvo (proizvodnja i prerađa ugljena, nafte i plina, proizvodnja svih pretvorbenih neelektričnih oblika energije) rabi električnu energiju za pogon svojih postrojenja koja se ne upućuje krajnjim kupcima-potrošačima električne energije. Može se smatrati kako je ta energija sa stajališta elektroprivrede predana kupcima – neelektroprivrednim energetskim subjektima. Ipak, primjerice, hrvatska elektroenergetska bilanca uzima i tu električnu energiju kao onu koja *nije* predana kupcima-potrošačima.

Ako u promatranoj zemlji ima crpno-akumulacijskih hidroelektrana (CAHE), uz brutopotrošnju dodaje se i potrošnja električne energije za crpljenje vode u tim elektranama (crpni rad tih elektrana), a energija proizvedena u turbinskom radu tih elektrana pribraja se dakako brutoproizvodnji.

Dakle, vrijede relacije, slika 1.6:

Netoproizvodnja električne energije =

= Brutoproizvodnja – Vlastita potrošnja elektrana

Raspoloživa električna energija na razini prijenosne mreže =

= Netoproizvodnja + Uvoz – Izvoz

S druge strane je:

Raspoloživa električna energija na razini prijenosne mreže =

= Brutopotrošnja + Energija za crpljenje u CAHE

Brutopotrošnja električne energije =

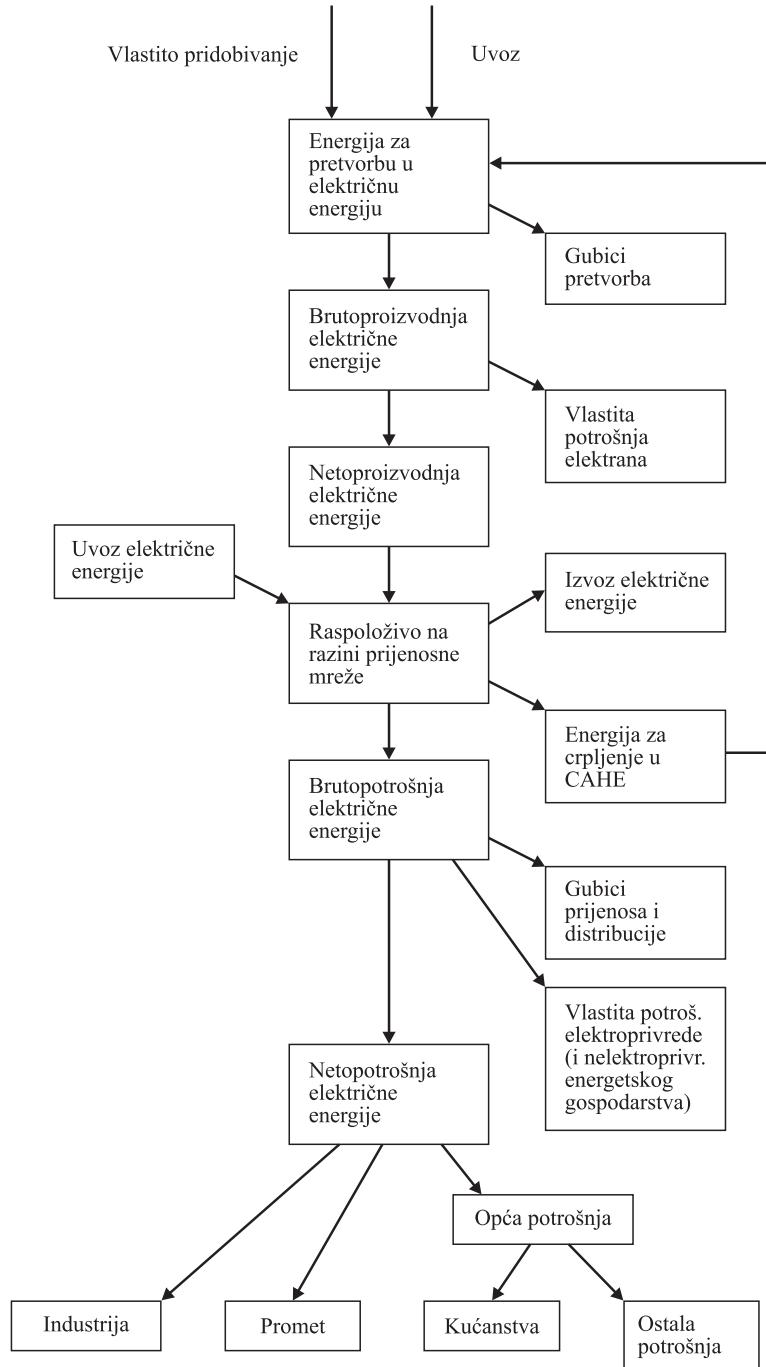
= Netopotrošnja (neposredna potrošnja) +

+ Gubici u prijenosu i distribuciji +

+ Vlastita potrošnja elektroprivrede (izuzev vlastite potrošnje elektrana) +

+ Vlastita potrošnja neelektroprivrednog energetskog gospodarstva (eventualno).

Netopotrošnja električne energije je ono što smo općenito nazvali neposredna potrošnja, dakle ona energija koja se predaje kupcima-potrošačima na korištenje.



Slika 1.6. Tok energije u elektroenergetskoj bilanci

