

New York 1957. — W. C. Griffin, Emulsions, u djelu Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical technology *1965. — H. Bennet, J. L. Bishop Jr., M. F. Wilfinghoff, Practical emulsions, New York 1968. — S. Kiesskalt, Homogenisiermaschinen i. J. Stauf, Emulsionen, u djelu Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, München-Berlin *1970.

Ž. Viličić

ENERGIJA I ENERGETIKA. Energija je sposobnost obavljanja rada. Ona se pojavljuje u prirodi u različitim oblicima. Energija se ne može proizvesti ni poništiti (potrošiti), ona može jedino u toku svoje transformacije ili za vrijeme rada promijeniti svoj oblik. Energetika je nauka koja se bavi izučavanjem energije, njenih izvora i svega što je s time u vezi.

OSNOVNI OBLICI ENERGIJE

Svi oblici energije mogu se svrstati u dvije osnovne grupe: u nagomilanu ili sakupljenu energiju u nekom prostoru ili tijelu, i u prijelaznu energiju koja se pojavljuje u slučaju kad nagomilana energija prelazi iz jednog u drugi oblik ili kad nagomilana energija prelazi s jednog na drugo tijelo. Nagomilana energija može se u određenom obliku održati po volji dugo, dok je kratkotrajnost pojave karakteristika prijelazne energije.

Nagomilani oblici energije jesu: potencijalna, kinetička i unutarnja energija.

Potencijalna energija. Za podizanje tijela mase m (u kg) s razine h_0 (u m) na razinu h_1 (u m), potrebno je obaviti rad W_p (u J)

$$W_p = mg(h_1 - h_0), \quad (1)$$

gdje je g ubrzanje Zemljine teže ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Podizanjem mase obavljeni rad nije izgubljen, jer se on iz podignute mase može ponovno dobiti, ako se dopusti da se tijelo djelovanjem Zemljine teže opet spusti na razinu h_0 . Taj je rad nagomilan u podignutom tijelu kao potencijalna energija ili energija položaja. Ta je energija zapravo posljedica međusobne privlačnosti Zemljine mase i mase podignutog tijela, a ona je ovisna o međusobnom položaju tih dviju masa. Brojčana vrijednost potencijalne energije ovisna je, prema (1), o izboru osnovne razine h_0 , koja se može po volji odabrati, pa se za istu masu mogu dobiti različite vrijednosti potencijalne energije. Ta neodređenost potencijalne energije ne smeta jer se pri rješavanju tehničkih problema uvažavaju samo razlike potencijalne energije. Stoga je potrebno da se u toku proračuna ostane kod iste osnovne razine h_0 . Tada je rezultat neovisan o izboru h_0 , jer se radi o razlici energija. Ubrzanje Zemljine teže nije konstantno, već ovisi o udaljenosti od površine Zemlje i o geografskom položaju. Međutim, pri proračunu tehničkih procesa koji se odvijaju na površini Zemlje ili blizu nje, dobiju se dovoljno točni rezultati ako se ubrzanje smatra konstantnim i ako se računa s već navedenom vrijednošću.

Kinetička energija. Za ubrzanje nekog tijela mase m od brzine v_0 na brzinu v_1 , mora se uložiti rad

$$W_k = \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_0^2). \quad (2)$$

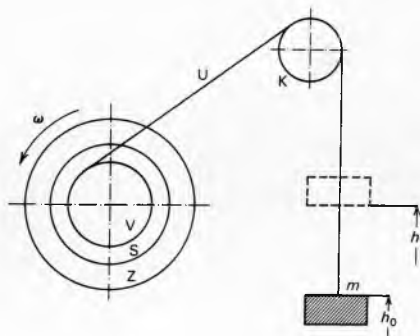
Taj se rad može opet vratiti iz mase u gibanju ako se tijelo uspori na početnu brzinu v_0 . Može se smatrati da je taj rad nagomilan u tijelu u obliku kinetičke energije. Brojčana je vrijednost i kinetičke energije relativna jer je ovisna o koordinatnom sustavu u kojem je definirana brzina tijela. Stoga treba u istom proračunu sve kinetičke energije odrediti u odnosu na isti koordinatni sustav, najčešće s obzirom na mirujuću površinu Zemlje.

Unutarnja energija. Potencijalna i kinetička energija mogu se nagomilati ne samo u tijelima kao cjelini već i u najmanjim elementarnim česticama tijela. Tako se npr. molekule plinova nalaze u stalnom gibanju. Među njima djeluju privlačne i odbojne sile koje pokazuju postojanje potencijalnih energija. Gibanjem molekula te se potencijalne energije transformiraju u kinetičke energije molekula, a nakon sudara s drugim molekulama ponovno u potencijalnu energiju. Molekule krutih tijela nižu se oko svojih srednjih položaja, pa se i u krutim tijelima stalno transformira potencijalna energija u kinetičku i obrnuto. Zbroj je tih energija, kad nema vanjskih utjecaja, konstantan. I među atomima i unutar jezgara atoma djeluju sile, pa je to također znak da postoji poseban oblik energije, koji se po iznosu mijenja kako se mijenjaju spojevi među atomima, odnosno kad dolazi do promjene sastava jezgre. Naročito velike energije nagomilane su u jezgrama atoma.

Svi ti oblici energije, bilo da se radi o energiji na razini molekula, na razini atoma ili na razini jezgara, čine unutarnju energiju tvari.

Unutarnja energija na razini molekula mijenja se dovodeњem ili odvođenjem topline, jer se na taj način povećavaju, odnosno smanjuju brzine kretanja molekula, pa se takva energija naziva unutarnja kalorička energija. Unutarnja energija na razini atoma je kemijska energija, jer se mijenja promjenom kemijskog spoja (npr. izgaranjem). Pri tome treba razlikovati kemijske promjene pri kojima se smanjuje kemijska energija, pa se ta promjena manifestira u povećanju unutarnje kaloričke energije, i kemijske promjene koje mogu nastati samo kad se tvari dovodi određena količina energije. Unutarnja energija na razini jezgara zove se nuklearna energija. Treba, međutim, razlikovati, nuklearnu energiju spajanja jezgara (energija fuzije) od nuklearne energije razbijanja jezgara (energija fisije). I sada treba razlikovati slučajeve kad se promjenama u jezgrama smanjuje unutarnja energija, pa se razlika pojavljuje najčešće u obliku topline, od slučajeva kad je potrebno dovoditi energiju da bi se ostvarila promjena u jezgrama. Za tehničko korištenje kemijskom i nuklearnom energijom interesantni su slučajevi, kad se nastalim promjenama smanjuje kemijska, odnosno nuklearna energija tvari. V. članke: Atom, TE 1, str. 456; Atomska jezgra, TE 1, str. 479; Nuklearna energija.

Prijelazni oblici energije. Mehanički rad ili mehanička energija jedan je od prijelaznih oblika energije. Taj se oblik energije pojavljuje, npr., prilikom pretvaranja kinetičke energije zamašnjaka u potencijalnu energiju utega (sl. 1). U zamašnjaku Z



Sl. 1. Primjer pretvaranja kinetičke energije u potencijalnu. m Uteg mase m , ω kutna brzina zamašnjaka, h_0 i h_1 razine

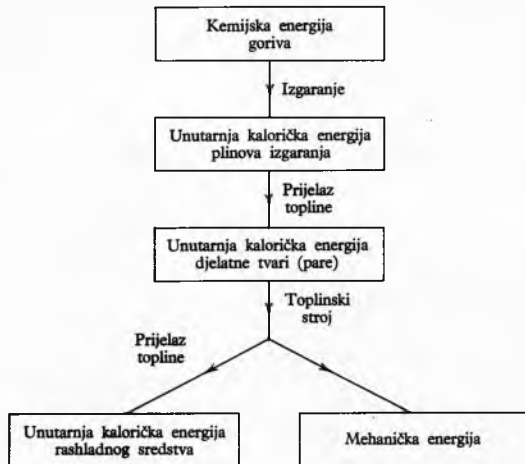
nagomilana je kinetička energija $W_k = \frac{1}{2} \mathcal{J} \omega^2$, gdje je \mathcal{J} moment tromosti, a ω kutna brzina zamašnjaka. Vitlo V, na koje je pričvršćeno uže U, može se pomoću spojke S priključiti na zamašnjak Z. Tada će se vitlo vrtjeti zajedno sa zamašnjakom, pa će preko užeta i koloturnika K podići uteg mase m od razine h_0 na razinu h_1 . Pri dizanju utega obavlja se u svakom trenutku mehanički rad koji je jednak povećanju potencijalne energije utega, izveden na račun smanjenja kinetičke energije zamašnjaka. Smanjenjem kutne brzine zamašnjaka od ω_0 na ω_1 omogućeno je podizanje utega od razine h_0 na razinu h_1 , pa se energetska transformacija može prikazati relacijom

$$\frac{1}{2} \mathcal{J} (\omega_0^2 - \omega_1^2) = mg(h_1 - h_0). \quad (3)$$

Kinetička energija transformirana je u tom slučaju u potencijalnu energiju, ali je ta transformacija izvršena posredstvom mehaničke energije (mehaničkog rada), jer je kinetička energija najprije transformirana u mehaničku energiju koja je korištena za podizanje utega, pa je na taj način postepeno pretvarana u potencijalnu energiju. Prema tome je mehanička energija prijelazna energija koja se ne može nagomilati, nego se iskorištava istovremeno s njezinom pojavom.

I električna energija je prijelazna energija. Može se, naime, zamisliti da je vitlo (v. sl. 1) spojeno s električnim motorom umjesto sa zamašnjakom, pa u tom slučaju motor preuzima električnu energiju iz mreže. U električnom motoru električna se energija transformira u mehaničku energiju koja pokreće vitlo, a ono preko užeta podiže uteg. Električna energija proizvodi se u električnoj transformaciji iz mehaničke energije u momentu korištenja.

Toplina je također prijelazna energija, jer je toplina energija koja prelazi npr. od plinova izgaranja na djelatnu tvar (u parnim kotlovima), od plinova izgaranja na zrak u prostorijama (grijanje prostorija izgaranjem goriva u sobnoj peći), od djelatne tvari na rashladnu vodu (u kondenzatoru parne turbine) itd. U svim slučajevima smanjuje se unutarnja kalorička energija tvari od koje prelazi toplina, a povećava se unutarnja kalorička energija tvari na koju prelazi toplina. Kao ilustracija može poslužiti shema na sl. 2, na kojoj je prikazana transformacija kemijske u mehaničku



Sl. 2. Shema transformacije energije u postrojenju za transformaciju kemijske energije u mehaničku

energiju. U tom se procesu dva puta pojavljuje toplina kao prijelazna energija: jednom, prilikom prijelaza toplote od plinova izgaranja na vodu i vodenu paru, i drugi put, prilikom prijelaza toplote od ekspanzirane pare, npr. u parnoj turbini, na rashladnu vodu u kondenzatoru pare. Zbog prijelaza toplote smanjuje se

unutarnja kalorička energija plinova izgaranja, odnosno ekspanzirane pare, a povećava se unutarnja kalorička energija vode i vodene pare, odnosno rashladne vode.

SNAGA I JEDINICE ZA SNAGU I ENERGIJU

Snaga (P) je definirana kao diferencijalni kvocijent energije i vremena, pa je

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (4)$$

Prema tome, snaga odgovara brzini iskorištavanja energije ili brzini transformacije energije iz jednog u drugi oblik. Snaga se, osim toga, može shvatiti kao energija u jedinici vremena, ako se promatra dovoljno kratki vremenski interval u kojem se vrijednost energije može smatrati konstantnom.

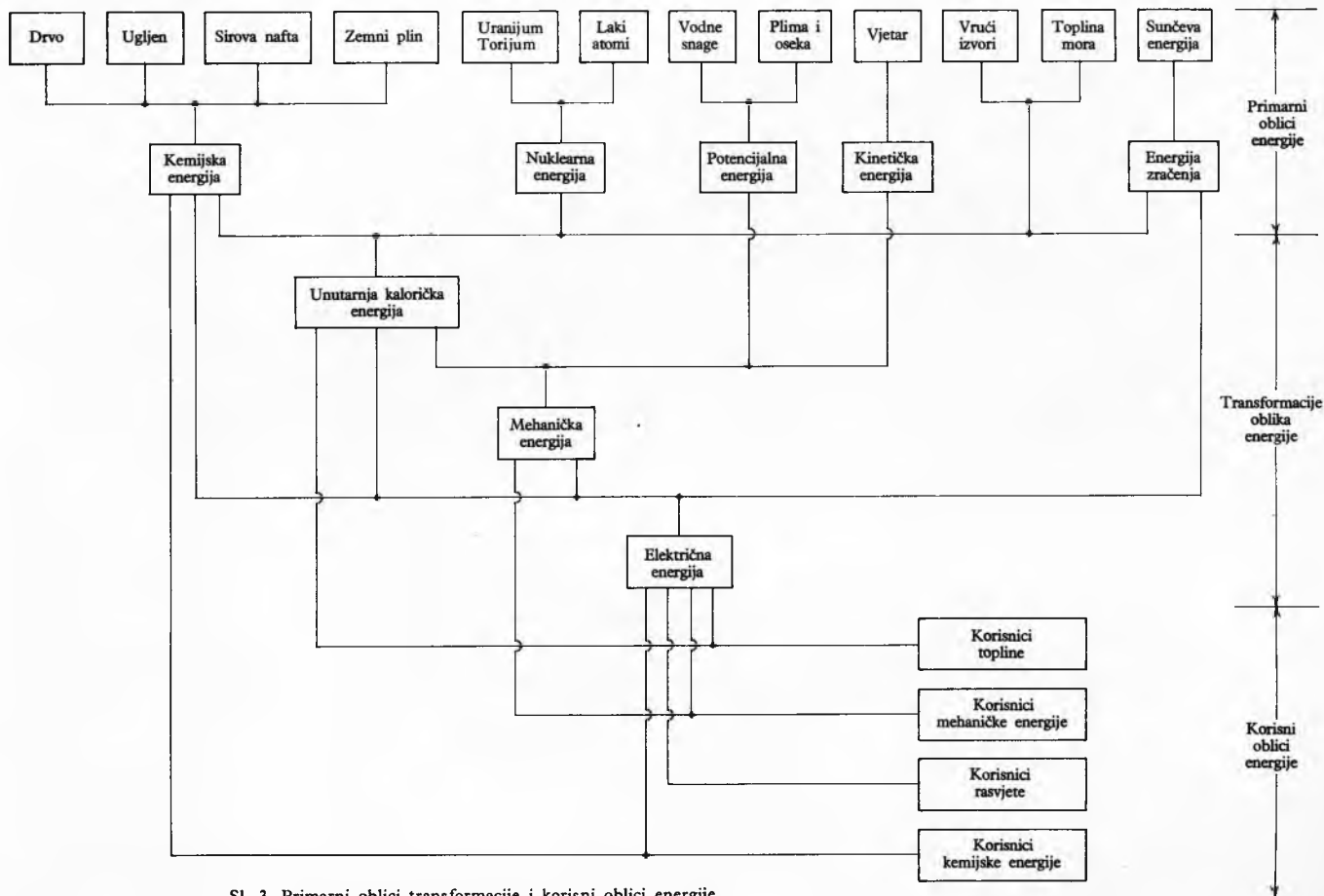
U tabl. 1 i 2 prikazani su međusobni odnosi najčešće upotrebljivanih jedinica mjere za energiju i snagu.

Joule J (džul), odnosno *vatsekunda* Ws pripada Međunarodnom sustavu jedinica (SI), a *kilopondmetar* kpm Tehničkom sustavu jedinica. *Kilovatsat* ne pripada ni jednom sustavu jedinica, jer ni u jednom sustavu 1 sat (h) nije među osnovnim jedinicama. *Kilokalorija* je višekratnik jedne od osnovnih jedinica (kalorija, cal), koja je u prošlosti uvedena u termodinamici. *Konjska snaga-sat* KSh je izvedena jedinica iz kpm, jer je 1 KS = 75 kpm/s. Jedinica *tona ekvivalentnog ugljena* upotrebljava se za velike količine energije i odgovara količini energije koju ima 1 tona ugljena ogrjevne moći 7000 kcal/kg. V. članak *Jedinice*.

OBLICI ENERGIJE

Različiti oblici energije mogu se, osim prema već spomenutoj podjeli, klasificirati u primarne, transformirane i korisne oblike energije (sl. 3).

Pod primarnim oblicima energije razumiju se nosioci energije u obliku u kakvom se nalaze ili pojavljuju u prirodi. Samo se neki od primarnih oblika energije mogu iskorištavati u svojem prirodnom obliku. Najčešće se primarni oblici energije iskorišta-



Sl. 3. Primarni oblici transformacije i korisni oblici energije

vaju tek nakon transformacije u pogodniji oblik. Transformacija se obavlja bilo stoga što primjena energije u primarnom obliku nije moguća, bilo što je njezino iskorištavanje, u transformiranom obliku tehnički pogodnije i ekonomičnije, bilo što njezin transport u primarnom obliku nije moguć. Svi se primarni i transformirani oblici energije pretvaraju konačno u jedan od oblika korisne energije u postrojenjima i uređajima korisnika energije. Korisni su oblici energije: toplina, mehanička energija, svjetlo i kemijska energija.

oblik energije. I pored toga, normalno se smatra da se drvo i fosilna goriva mogu neposredno iskoristiti, jer se mogu staviti na raspolaganje korisnicima u svom prirodnom obliku, a korisnici će u svojim ložištima omogućiti izgaranje i transformaciju kemijske energije u toplinu. U drugim slučajevima potrebna je transformacija u posebnim postrojenjima u onaj oblik koji se može iskoristiti.

S obzirom na njihovu obnovljivost primarni se oblici energije mogu podijeliti u dvije grupe: u primarne oblike energije koji

Tablica 1
ODNOSI MEĐU JEDINICAMA MJERE ZA ENERGIJU

| Naziv jedinice | Simbol jedinice | J | kWh | kpm | KSh | kcal | tona ekvivalentnog ugljena |
|----------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| joule (džul) = vatssekunda | J | 1 | $2,778 \cdot 10^{-7}$ | 0,1020 | $3,777 \cdot 10^{-7}$ | $2,388 \cdot 10^{-4}$ | $3,412 \cdot 10^{-11}$ |
| kilovatsat | kWh | $3,6 \cdot 10^6$ | 1 | $3,671 \cdot 10^5$ | 1,3596 | 859,8 | $1,228 \cdot 10^{-4}$ |
| kilopondmetar | kpm | 9,807 | $2,742 \cdot 10^{-4}$ | 1 | $3,704 \cdot 10^{-6}$ | $2,342 \cdot 10^{-3}$ | $3,346 \cdot 10^{-10}$ |
| konjska snaga-sat | KSh | $2,648 \cdot 10^6$ | 0,7355 | $2,70 \cdot 10^5$ | 1 | 632,4 | $9,035 \cdot 10^{-4}$ |
| kilokalorija | kcal | $4,187 \cdot 10^3$ | $1,163 \cdot 10^{-3}$ | $4,269 \cdot 10^2$ | $1,581 \cdot 10^{-3}$ | 1 | $1,429 \cdot 10^{-7}$ |
| tona ekvivalentnog ugljena | t | $2,931 \cdot 10^{10}$ | $8,142 \cdot 10^1$ | $2,989 \cdot 10^9$ | $1,170 \cdot 10^4$ | $7,00 \cdot 10^6$ | 1 |

Primjeri upotrebe tablice: 1 kpm = 9,807 J; 1 kcal = $1,163 \cdot 10^{-3}$ kWh

Tablica 2
ODNOSI MEĐU JEDINICAMA MJERE ZA SNAGU

| Naziv jedinice | Simbol jedinice | W | kW | kpm/s | KS | kcal/h |
|-------------------------|-----------------|-------|-----------------------|--------|------------------------|--------|
| vats | W | 1 | 0,001 | 0,102 | $1,3596 \cdot 10^{-3}$ | 0,8598 |
| kilovats | kW | 1 000 | 1 | 102 | 1,3596 | 859,8 |
| kilopondmetar u sekundi | kpm/s | 9,807 | $9,807 \cdot 10^{-3}$ | 1 | $1,333 \cdot 10^{-2}$ | 8,432 |
| konjska snaga | KS | 735,5 | 0,7355 | 75 | 1 | 632,4 |
| kilokalorija na sat | kcal/h | 1,163 | $1,163 \cdot 10^{-3}$ | 0,1186 | $1,581 \cdot 10^{-3}$ | 1 |

Primjeri upotrebe tablice: 1 kW = 1,3596 KS; 1 kcal/h = $1,163 \cdot 10^{-3}$ kW

Primarni oblici energije mogu se podijeliti prema učestalosti njihove primjene, prema fizikalnim svojstvima nosilaca energije i prema njihovoj obnovljivosti.

Prema učestalosti primjene primarni se oblici energije dijele na konvencionalne i nekonvencionalne oblike energije.

Među konvencionalne primarne oblike energije, tj. među oblike koji se danas najčešće i obično primjenjuju ubrajaju se: drvo, ugljen, sirova nafta, zemni plin, vodne snage (potencijalna energija vodotoka), nuklearna energija (nuklearna goriva: uran i torijum) i vrući izvori (toplina koja se pojavljuje na površini). Prva četiri primarna oblika energije nazivaju se goriva, a ugljen, sirova nafta i zemni plin osim toga i fosilna goriva (sl. 4).

Među nekonvencionalne primarne oblike energije ubrajaju se: ulja iz uljnih škriljevaca i bituminoznog pijeska, kinetička energija vjetra, potencijalna energija plime i oseke, toplina unutrašnjosti Zemlje koja se ne pojavljuje na površini, Sunčeva energija (njezino neposredno iskorištavanje), unutarnja kalorička energija mora (i korištenje razlikom temperature na površini mora i u većim dubinama) i energija fuzija lakih atoma.

Prema fizikalnim svojstvima nosilaca (v. sl. 3) mogu se primarni oblici energije podijeliti na nosioce kemijske energije (drvo, ugljen, sirova nafta, ulja iz uljnih škriljevaca i bituminoznog pijeska i zemni plin), na nosioce nuklearne energije (nuklearna goriva, laki atomi koji služe za fuziju), na nosioce potencijalne energije (vodne snage, energija plime i oseke), na nosioce kinetičke energije (vjetar), na nosioce unutarnje kaloričke energije (vrući izvori, unutarnja energija mora) i na nosioce energije zračenja (Sunčeva energija).

Od primarnih oblika energije mogu se samo vrući izvori neposredno iskoristiti, npr. za grijanje prostorija, jer je dovoljno vrelu vodu pustiti da struji kroz radijatore smještene u prostorijama koje se želi zagrijati. U svim drugim slučajevima potrebno je primarni oblik energije transformirati u neki drugi pogodniji

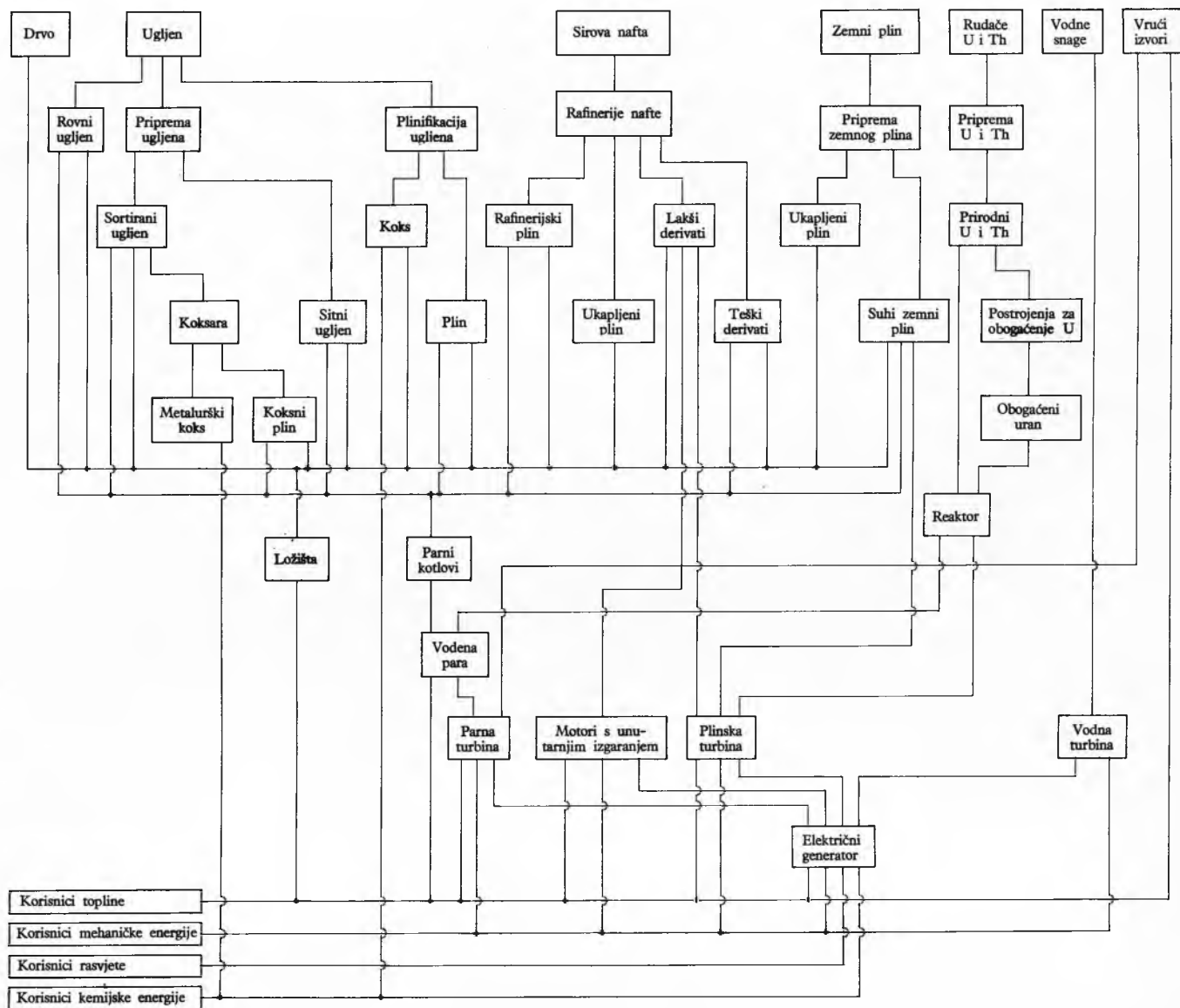
se prirodno obnavljaju i primarne oblike energije koji se ne obnavljaju.

U prvu se grupu ubrajaju: zračenje Sunca koje se može neposredno iskoristiti, vodne snage, energija vjetra, energija plime i oseke, kao i toplina mora. U drugu grupu idu: fosilna i nuklearna goriva, unutarnja toplina Zemlje koja se pojavljuje i koja se ne pojavljuje na površini, i laki atomi koji su potrebni za fuziju.

Primarni oblici energije koji se obnavljaju ne mogu se tokom vremena istrošiti iako je moguće da dođe do potpunog iskorištenja raspoloživih obnovljivih primarnih oblika energije. To se događa, npr., kad se na nekom vodotoku izgradi toliko hidroelektrana da one mogu iskoristiti ukupnu potencijalnu energiju vodotoka. U tim hidroelektranama može se, dakle, u određenom vremenskom razdoblju iskoristavati samo ograničena količina potencijalne energije, ali trajanje tog iskorištavanja nije vremenski ograničeno. Nasuprot tome količina energije koja je, npr., nagomilana u ugljenu, makako ona bila velika, ipak je ograničena, pa će jednom te rezerve biti iscrpljene.

Između primarnih oblika energije koji se obnavljaju i onih koji se ne obnavljaju postoje razlike u pogledu konstantnosti, mogućnosti uskladištenja i mogućnosti transporta.

Potencijalne mogućnosti oblika energije koji se obnavljaju mijenjaju se s vremenom, što znači da je njihova snaga funkcija vremena. Te promjene mogu biti vrlo brze (npr. snaga vjetra ovisi o trećoj potenciji brzine, a brzina se može znatno promijeniti i tokom nekoliko minuta), brze (npr. snaga plime i oseke proporcionalna je koti razine mora, a maksimalna i minimalna kota postižu se najčešće unutar 12 sati; nadalje intenzitet zračenja Sunca ovisi o dobi dana i o naoblačenju), polagane (snaga vode je proporcionalna količini vode koja protječe vodotokom, a najčešće se može smatrati da se količina vode ne mijenja tokom dana), vrlo polagane (snaga topline mora ovisi o razlici temperatura na površini i u većim dubinama, a temperature se mijenjaju s promjenom godišnjih doba).



Sl. 4. Konvencionalni primarni oblici energije, transformacije, postrojenja za transformaciju i korisni oblici energije

Većinu oblika energije koji se obnavljaju nije moguće akumulirati (energiju vjetrova, plime i oseke kao i Sunčevu energiju), pa je takve oblike energije potrebno iskoristiti u času kad se pojavljuju. Akumuliranje je vode u vodotocima doduše moguće, ali normalno samo u ograničenim količinama. Zbog promjenljivosti snage, redovno nije moguće takvim primarnim oblicima energije zadovoljiti potrebe korisnika, jer se one vremenski ne poklapaju s mogućnostima iskorištenja, pa su potrebni dodatni primarni oblici energije za usklađivanje potreba i proizvodnje.

Nasuprot tome primarni oblici energije koji se ne obnavljaju mogu se upotrijebiti prema potrebama a da ne dođe do gubitaka, što znači da se može, po potrebi, ostvariti i konstantnost snage. Usklađivanje onih oblika energije, koji se u svom primarnom obliku mogu transportirati (drvo, fosilna i nuklearna goriva), moguće je bez većih poteškoća.

Nijedan od primarnih oblika energije koji se obnavljaju, međutim, nije moguće transportirati u prirodnom obliku. Transport njihove energije moguć je, prema današnjem stanju tehnike, samo u obliku električne energije.

Transformacija oblika energije (v. sl. 4). Kemijska energija *drveta* i *fosilnih goriva* najčešće se transformira u unutarnju kaloričku energiju, a moguća je i neposredna transformacija u električnu energiju (gorivne ćelije, v. sl. 5), dok se u nekim slučajevima, nakon određene pripreme, primjenjuje i kao kemijska energija (metalurški koks).

Izgaranje je proces kemijske transformacije u unutarnju kaloričku energiju. Ta se energija može neposredno iskoristiti za grijanje prostorija, kuhanje, pripremu tople vode, za tehnološke procese kad su potrebne visoke temperature (keramička, cementna industrija i sl.). Tada su nosioči energije plinovi izgaranja. Postrojenja i uređaji za neposredno iskorištenje unutarnje kaloričke energije nazivaju se ložišta. Unutarnja energija se tada predaje kao toplina okolnom zraku, vodi i grijanim materijalima u tehnološkim procesima. Osim toga u parnim kotlovima unutarnja kalorička energija plinova izgaranja prijelazom topline predaje se vodi, odnosno vodenoj pari, koja sada postaje nosilac energije. Tako zagrijana para može se upotrijebiti za grijanje prostorija i za tehnološke procese za koje su potrebne relativno niske temperature (do par stotina °C), ali i za pogon parnih turbina u kojima se unutarnja energija pare transformira u mehaničku energiju. Unutarnja kalorička energija plinova izgaranja može se i neposredno transformirati, i bez posredstva vodene pare, u mehaničku energiju u plinskim turbinama i u motorima s unutarnjim izgaranjem.

U parnim kotlovima većeg učina danas se redovno ne upotrebljava ugljen u onom obliku kakav dolazi iz rudnika (rovni ugljen), jer ga prije loženja i tako treba samljeti u ugljenu prašinu. Ugljen koji će se upotrijebiti u druge svrhe (loženje u kotlovima malog učina, loženje u pojedinačnim ložištima u domaćinstvima, za koksiranje itd.) mora imati određene dimenzije, pa je potrebno

izvršiti sortiranje ugljena. U nekim se slučajevima iz ugljena proizvode plinovi različitim postupcima.

Za metaluršku industriju od vrlo velike važnosti je proizvodnja metalurškog koksa, što je jedna od mogućih transformacija ugljena (koksiranje), za koju se, međutim, može upotrijebiti samo ugljen određenih svojstava. Prilikom koksiranja proizvodi se kao nus-proizvod kokсни plin, koji služi kao gorivo. V. članak *Ugljen*.

Sirova nafta redovno se ne upotrebljava u svom prirodnom obliku, već se podvrgava u osnovi postupku destilacije (u rafinerijama), da bi se odijelili pojedini derivati, koji se mogu podijeliti u četiri osnovne grupe: rafinerijski plin, ukapljeni plin, lakši i teški derivati (v. *Nafta*). Danas se normalno rafinerijski i ukapljeni plin upotrebljavaju kao gorivo u ložištima, lakši derivati u ložištima (posebno lako ložno ulje za domaćinstva), za pogon motora s unutarnjim izgaranjem (benzinski i dizelski motori) i za pogon plinskih turbina, dok se teški derivati koriste u ložištima i parnim kotlovima.

Iz *zemnog plina* najčešće se postupkom degazoliranja odvajaju teži ugljikovodici (nekoliko postotaka od zemnog plina), dok se preostali »suhi« zemni plin upotrebljava u ložištima, parnim kotlovima i plinskim turbinama (v. *Zemni plin*).

Nuklearna energija, prema današnjem stanju tehnike, transformira se u unutarnju kaloričku energiju vode i vodene pare, a zatim u mehaničku i električnu energiju pomoću parnih turbina i električnih generatora (v. sl. 3). Reaktori preuzimaju, dakle, funkciju parnih kotlova. U neposrednoj budućnosti očekuje se izgradnja reaktora, u kojima će se mjesto vodene pare zagrijavati plinovi (helij), pa će se kao stroj za transformaciju u mehaničku energiju primijeniti plinska turbina. Uran kao nuklearno gorivo može se upotrijebiti u svojem prirodnom obliku (prirodna smjesa izotopa ^{235}U i ^{238}U) i kao obogaćeni uran (s povećanim postotkom ^{235}U), dok će se torijum primijeniti u svojem prirodnom obliku.

Ako dode do uspješnog tehničkog rješenja kontrolirane nuklearne fuzije, vjerojatno će se iskoristiti iste transformacije oblika energije kao i kod nuklearne fisije (v. *Nuklearna energija* i *Nuklearno gorivo*).

Za iskorištenje potencijalne energije *vode* i potencijalne energije *plime i oseke* dolazi u obzir samo transformacija u mehaničku energiju pomoću vodnih turbina, a zatim u električnu energiju. To vrijedi i za primjenu kinetičke energije vjeta i topline mora,

s tom razlikom što treba upotrijebiti vjetrenjače, odnosno parne turbine.

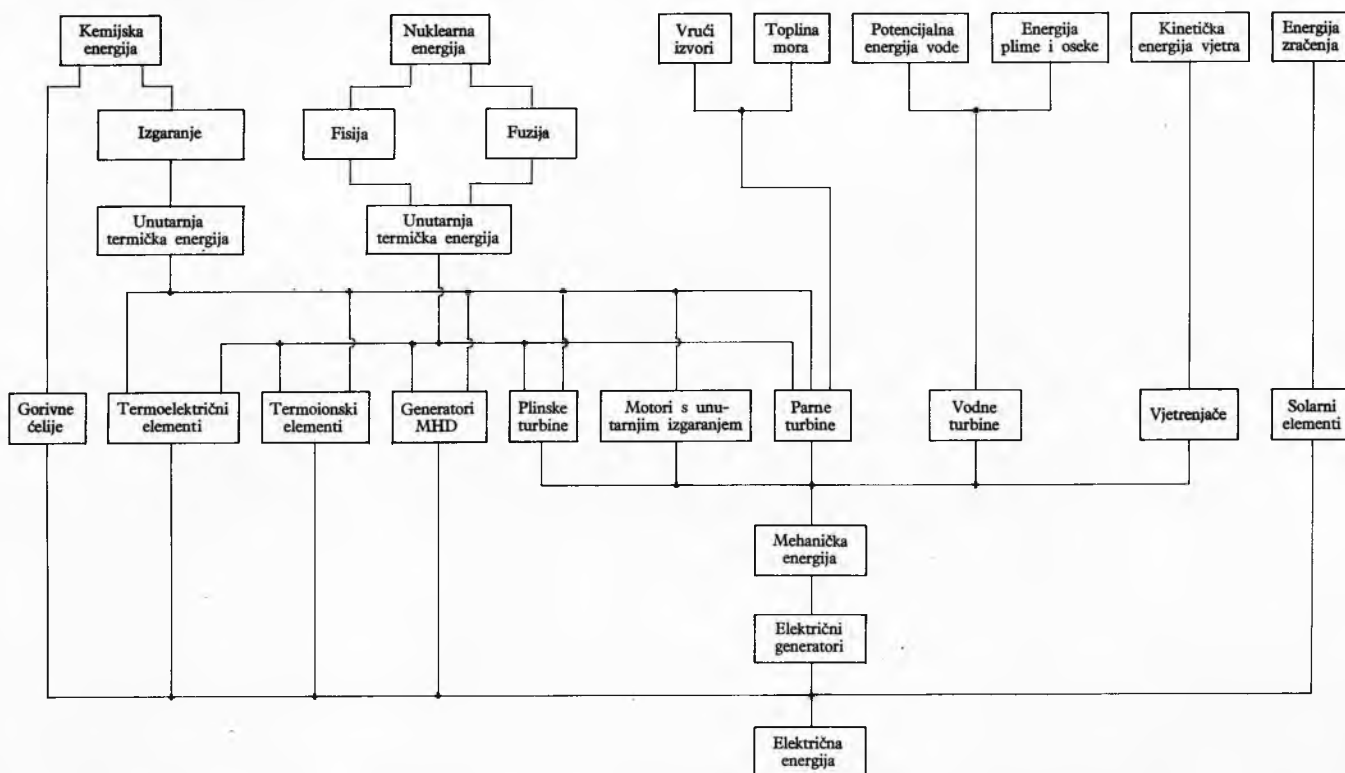
Energija *Sunčevog zračenja* može se upotrijebiti transformirana u toplinu (koncentracija Sunčevog zračenja za specijalne metalurške postupke, za grijanje i sl.) ili za neposrednu transformaciju u električnu energiju pomoću solarnih poluvodičkih elemenata.

Mogućnosti transformacije primarnih oblika energije u unutarnju kaloričku energiju, mehaničku, odnosno električnu energiju, prikazane su na sl. 3, bez osvrta na postupke i uređaje koji su pri tome potrebni. Pokazano je također da je moguće neposredno transformirati kemijsku i unutarnju kaloričku energiju u električnu energiju. Na sl. 5 prikazane su sve danas poznate mogućnosti transformacije primarnih oblika energija u električnu energiju uz upotrijebljene uređaje. Treba razlikovati dva tipa transformacija: transformacije u električnu energiju *posredstvom mehaničke energije* (parne, plinske i vodne turbine, motori s unutarnjim izgaranjem, vjetrenjače), što je danas normalni postupak za osiguranje proizvodnje većih količina električne energije, i transformacije u električnu energiju *bez posredstva mehaničke energije*. Druga grupa transformacija danas je zapravo još u eksperimentalnoj fazi i primjenjuje se samo u specijalnim slučajevima, kad su potrebne male količine električne energije (npr. na satelitima). S obzirom na polazni oblik energije razlikuju se neposredna transformacija kemijske u električnu energiju (gorivne ćelije), neposredna transformacija unutarnje kaloričke energije u električnu energiju (termoelektrični i termoionski elementi, MHD — tj. magnetohidrodinamski generatori) i neposredna transformacija energije zračenja u električnu energiju (solarni elementi) (v. *Magnetohidrodinamika*, *Solarne baterije*, *Termoionski elementi*, *Termoelementi*).

Kao što se vidi iz sl. 3, 4 i 5 postoji vrlo veliki broj mogućih transformacija oblika energije. Njihova primjena ovisi o obliku energije koji je potreban korisnicima, o mogućnostima transformacije i o ekonomskim posljedicama korištenja pojedinih transformacija.

Korisni oblici energije. Korisnicima je potrebna energija u jednom od korisnih oblika, a to su: toplina, mehanička energija, svjetlosna energija i kemijska energija.

Toplina se može korisnicima dovesti vodenom parom ili vrelom vodom kao nosiocima unutarnje kaloričke energije. Tako



Sl. 5. Moguće transformacije oblika energije u električnu energiju

dovedenu energiju korisnici preuzimaju preko izmjenjivača topline (radijatori i sl.), a koji put miješanjem pare ili vrele vode (npr. u kupkama za bojadisanje u tekstilnoj industriji). Na taj se način može postići samo ograničena temperatura do najviše par stotina °C, što je ovisno o temperaturi nosioca energije. Izgaranjem drveta i fosilnih goriva u ložištima (pojedinačna ložišta u domaćinstvima i poslovnim prostorijama, tehnološke peći i sl.) mogu se postići znatno više temperature uz opskrbu korisnika toplinom. Konačno, električna energija može se u otpornim i indukcijskim pećima transformirati u toplinu.

Mehanička energija može se korisnicima dobavljati na različite načine. Danas se to provodi, uglavnom s pomoću električne energije koja se posredstvom elektromotora kod korisnika pretvara u mehaničku energiju. To je, naravno, ostvarivo samo u slučaju kad se radi o korisnicima koji su s obzirom na smještaj stabilni (industrija, domaćinstva). Znatna dio mehaničke energije potreban je i za transport. Tu dolaze u obzir u prvom redu motori s unutarnjim izgaranjem (cestovni i zračni promet, a djelomično željeznički i brodski promet), dok se za željeznički i brodski promet upotrebljavaju još i parni kotlovi s parnim strojevima i s parnim turbinama. Za željeznički i gradski cestovni promet dolazi u obzir i električna energija.

Stabilni korisnici mogu se i neposredno opskrbiti mehaničkom energijom, koristeći se bilo kojim pogonskim strojem (parnom, plinskom i vodnom turbinom ili motorima s unutarnjim izgaranjem), a bez međutransformacije u električnu energiju. To, međutim, nije pogodno zbog kompliciranog održavanja (vođenje pogona, održavanje strojeva i uređaja, doprema goriva). Osim toga, obično je racionalnije za proizvodnju mehaničke energije upotrijebiti električnu energiju proizvedenu agregatima velike snage i s pomoću električne mreže dovesti je električnim motorima. Kao što je već spomenuto, primjena pogonskih strojeva za proizvodnju mehaničke energije kao konačnog korisnog oblika, normalan je slučaj u prometnim sredstvima, iako i tada ima slučajeva da se mehanička energija transformira u električnu energiju, a zatim ponovno u mehaničku energiju (dizelske električne lokomotive, brodski turboelektrični i brodski dizelsko-električni pogon).

Svjetlosna energija. Za opskrbu potrošača rasvjetom danas dolazi u obzir samo električna energija. U tu grupu mogu se uključiti i potrebe energije za informacijske uređaje (telefon, radio, televizija).

Kemijska energija. Za redukcijske peći (visoke peći za proizvodnju sirovog željeza, lučne peći za proizvodnju feroljuga i karbida, elektrolize aluminijuma i sl.), koje služe za ostvarivanje kemijskih procesa potreban je bilo koks bilo električna energija, ili i koks i električna energija. U novije se vrijeme u visokim pećima koks djelomično zamjenjuje zemnim plinom ili teškim derivatima nafte. Korisni oblik u redukcijskim pećima u prvom je redu kemijska energija, iako se u svim takvim procesima pojavljuje i toplina kao korisni oblik energije.

OGRAIČENJE TRANSFORMACIJA OBLIKA ENERGIJE

S obzirom na mogućnost transformacija oblika energije postoje tri grupe energija:

a) Energija koja se može neograničeno transformirati u druge oblike energije zove se *eksergija*. U tu se grupu ubrajaju: potencijalna, kinetička, mehanička i električna energija. Potpuna transformacija moguća je samo s pomoću povratljivih procesa.

b) Energije koje se mogu samo ograničeno transformirati u druge oblike energije, odnosno u eksergiju, jesu unutarnja kalorička energija i toplina. Ograničenje transformacije posljedica je drugog glavnog stavka termodinamike, a ovisi, osim o obliku energije i o stanju sustava u kojem se provodi transformacija, i o stanju (o tlaku i o temperaturi) okoline.

c) Energija koja se ne može transformirati u drugi oblik energije zove se *anergija*. U tu se grupu ubraja energija akumulirana u okolini, jer se ona ne može transformirati u eksergiju, i energija svih sustava u stanju okoline.

Uvođenjem pojmova eksergije i anergije može se zakon o održavanju energije formulirati: u svim energetske procesima ostaje zbroj eksergije i anergije konstantan. Osim toga vrijedi

da se svaka energija W sastoji od eksergije E i anergije B , pa je

$$W = E + B, \quad (5)$$

uz napomenu da jedan od članova na desnoj strani relacije (5) može imati i vrijednost nula.

S obzirom na energetske transformacije vrijedi: a) u svim nepovratljivim procesima eksergija se pretvara u anergiju, b) samo u povratljivim procesima ostaje eksergija konstantna i c) nemoguće je anergiju pretvoriti u eksergiju.

Budući da su svi realni energetske procesi više ili manje nepovratljivi, to se s transformacijom oblika energije smanjuju zalihe eksergije jer se dio eksergije pretvara u anergiju, pa energija postepeno gubi mogućnost transformacije u druge oblike energije, i to tim više što je više eksergije pretvoreno u anergiju.

Pojmovi eksergija i anergija imaju puno tehničko značenje. Za sve energetske procese (grijanje, hlađenje, transport, obrada materijala i sl.) potrebna je energija. Ali za te procese nije dovoljna bilo kakva energija (5), već eksergija, odnosno takva energija koja se može transformirati u druge oblike energije.

Energetski izvori stvarno su eksergetski izvori. Uobičajeni nazivi kao što su »potrošnja energije«, »gubitak energije« u suprotnosti su sa zakonom o održavanju energije, jer se energija ne može ni potrošiti ni izgubiti. Nasuprot tome, pojmovi »potrošnja eksergije«, »gubitak eksergije« imaju puno značenje jer se eksergija troši i gubi pretvarajući se konačno i nepovratljivo u anergiju. (V. *Termodinamika*.)

ZAJEDNIČKA MJERA ZA ENERGIJU S OBZIROM NA MOGUĆNOST SUPSTITUCIJE

Količine svih oblika energije, bez obzira na to da li se radi o primarnim, transformiranim ili korisnim oblicima energije, mogu se izraziti istim mjernim jedinicama bilo u J, kWh, kcal ili tonama ekvivalentnog ugljena. Osim toga, za sve transformacije oblika energije vrijedi zakon održanja energije, prema kojem je energija dovedena u proces transformacije jednaka energiji koja se odvodi iz procesa, bilo u onom obliku u koji se dovedena energija želi transformirati bilo u nekim drugim oblicima koja se mogu smatrati posljedicom nesavršenosti procesa ili ograničenošću mogućnosti transformacije u željeni oblik.

Omjer između količine energije W_{tr} , koja se u nekom procesu dobiva u željenom obliku i količine energije W_d koja je dovedena u proces, zove se *stupanj djelovanja transformacije*

$$\eta_{tr} = \frac{W_{tr}}{W_d}. \quad (6)$$

Stupanj djelovanja energetske transformacije ovisi s jedne strane o dovedenom i transformiranom obliku energije, a s druge strane o upotrijebljenom procesu za transformaciju (tip procesa, parametri procesa) i o kvaliteti postrojenja u kojem se obavlja transformacija. Stupnjevi djelovanja transformacija međusobno se znatno razlikuju, pa izrada energetske bilance s pomoću koje se uspoređuju ukupne potrebne količine korisnih oblika energije s ukupnim primarnim oblicima energije nije moguća, pa ni uz uvjet da se svakom primarnom obliku energije pridaje neki nepromjenljivi i opći stupanj djelovanja transformacije. Takva bilanca, naime, ne bi vodila računa ni o potrebnim korisnim oblicima energije, pa prema tome ni o potrebnim transformacijama oblika energije, a baš o ta dva faktora ovise potrebne količine i upotrebljivi, primarni oblici energije.

Da se upozori na tu navedenu nemogućnost, istaknut će se samo problem različitih stupnjeva djelovanja, iako se zna da se neke potrebe (npr. u cestovnom i zračnom prometu) mogu zadovoljiti samo određenim oblicima energije.

Tako se, npr., za grijanje prostorija može upotrijebiti ugljen neposredno za loženje u pojedinačnim ložištima, ali i ugljen posredno preko transformacije u električnu energiju. U prvom slučaju, da se dobije korisna količina topline za grijanje prostorija od 1 MJ, potrebno je ~ 2 MJ energije u ugljenu, ako se računa sa stupnjem djelovanja transformacije kemijske energije ugljena u toplinu u sobnoj peći. U drugom slučaju, stupanj djelovanja transformacije kemijske energije ugljena u električnu energiju iznosi $\sim 0,30$, dok je stupanj djelovanja prijenosa i distribucije električne energije $\sim 0,85$, pa je ukupni stupanj djelovanja do

mjesta korištenja 0,255. Prema tome, za grijanje iste prostorije električnom energijom potrebno je nešto manje od 4 MJ energije u ugljenu. Naravno da je grijanje prostorija moguće ostvariti i na drugi način, npr. vrelom vodom iz toplana, loženjem ugljena, ložnog ulja, zemnog plina u kotlovima za centralno grijanje itd. U svakom slučaju postižu se više ili manje različiti stupnjevi djelovanja, pa su za istu količinu korisne energije potrebne različite količine energije u primarnom ili u transformiranom obliku energije.

Do sličnog se zaključka dolazi kad se promatraju transformacije u električnu energiju. U termoelektranama je za proizvodnju 1 kWh električne energije potrebno ~ 3 kWh dovedene energije, dok je u hidroelektranama za istu količinu električne energije, potrebno nešto više od 1,2 kWh potencijalne energije vode. Prema tome, potrebna količina primarnih, odnosno transformiranih oblika energije ne ovisi samo o potrebnoj količini električne energije već i o obliku energije koja se transformira u električnu energiju.

Slično je i s potrebama energije za željeznički transport, jer je stupanj djelovanja parnog stroja (parne lokomotive) znatno niži od stupnja djelovanja dizelskog motora (dizelske lokomotive), a pogotovo od stupnja djelovanja električnog motora (električne lokomotive).

Tehnički napredak, pored toga, znatno utječe na stupnjeve djelovanja, pa je usporedba različitih transformacija ovisna o vremenu. Tako se, npr., u pregledima u kojima se prikazuje iskorištenje oblika energije računa da je 1937 bilo potrebno 800 g ekvivalentnog ugljena (5600 kcal) za proizvodnju 1 kWh električne energije, u 1950 god. 600 g ekvivalentnog ugljena (4200 kcal), u 1960 god. 400 g ekvivalentnog ugljena (2800 kcal), dok se danas može računati sa 350 g ekvivalentnog ugljena (2450 kcal).

Prema tome, nije moguće pronaći neku jedinicu mjere, koja bi omogućila izradu takvih energetske bilanca, a koja bi uključivala sve energetske aspekte iskorištenja oblika energije. Naravno da se te poteškoće ne pojavljuju u fizikalnom smislu, jer je, npr., potencijalna energija vode od 1 MJ fizikalno istovrijedna sa 1 MJ energije u gorivu. Međutim, 1 MJ energije u gorivu iskorišten, npr., za proizvodnju električne energije ne daje ni približno isti efekt kao 1 MJ potencijalne energije vode. Stoga ta dva oblika energije s obzirom na potrebne količine energije nisu međusobno zamjenjiva.

Na slične poteškoće, pa i na nepremostive, nailaze pokušaji da se odredi ukupni stupanj djelovanja iskorištenja energije na nekom području. Pri tome treba postaviti pitanje što je to ukupni stupanj djelovanja iskorištenja energije. Da se dokaže nemogućnost precizne definicije, dovoljno je razmotriti dva karakteristična slučaja.

Kad se razmatra, npr., željeznički transport (analogno vrijedi za sve vrste transporta), može se točno odrediti stupanj djelovanja na osovini pogonskog stroja, odnosno na osovini kotača lokomotive. Međusobnim djelovanjem kotača i tračnica lokomotiva i na nju spojeni vagoni kreću naprijed, ali iskorištena snaga je manja od snage na osovini. Pri kretanju mora se, naime, svladati otpor zraka, a snaga koja je za to potrebna još je manja od snage na obodu kotača. Osim toga treba svladati i sve otpore koji se protivu kretanju vlaka. Zbog čega bi tu snagu trebalo promatrati drukčije od snage na osovini stroja ili na obodu kotača? Ako se tako nastavi, te ako se vlak, nakon što je svladao neki uspon, spusti na istu razinu s koje je pošao, došlo bi se do zaključka da je rad koji je izvršila lokomotiva, odnosno pogonski stroj lokomotive jednak nuli, odnosno da je stupanj djelovanja cijelog procesa jednak nuli.

Drugi primjer odnosi se na upotrebu električne energije za rasvjetu. Od ukupne električne energije predate žarulji sa žarnom niti samo se ~ 10% pojavljuje kao zračenje u vidljivom dijelu spektra, ~ 70% kao zračenje u infracrvenom području spektra, dok se ostatak odvodi u obliku topline. Da li je, međutim, sva energija u vidljivom području spektra iskoristiva? Najveći dio pada na predmete koje nitko ne gleda, pa bi se taj dio energije rasvjete mogao smatrati neiskorištenim. Ali samo dio svjetla koji pada na promatrane predmete dolazi u oko promatrača, pa bi se samo taj dio mogao smatrati konačno korisnim dijelom upotrijebljene energije. Taj je dio, međutim, vrlo malen u odnosu

na emitirano zračenje u vidljivom dijelu spektra. Kao ilustracija neka posluži podatak da je ljudsko oko osjetljivo na snagu zračenja od 10^{-15} W.

I za druge slučajeve dolazi se do sličnih zaključaka, pa ukupni stupanj djelovanja iskorištenja energije nema smisla, i stoga on ne može poslužiti kao osnova ni za energetske ni za ekonomske analize.

REZERVE I ISKORIŠTAVANJE PRIMARNIH OBLIKA ENERGIJE

Kategorizacija rezerva. Kemijski elementi i njihovi spojevi najčešće su raspodijeljeni u Zemljinoj kori u malim količinama, a rjeđe u većim. Samo dovoljna koncentracija neke sirovine ili nosioca energije smatra se rezervom koja dolazi u obzir za iskorištavanje.

Postoji veći broj kriterija za definiranje rezerva sirovina ili nosilaca energije. U ovom prikazu upotrijebit će se kategorizacija rezerva koju je uvela Svjetska konferencija za energiju u najnovijem pregledu energetske rezerva (Survey of Energy Conference, New York 1974). Prema toj kategorizaciji razlikuju se dvije osnovne kategorije rezerva.

U kategoriju I ubrajaju se rezerve za koje se pretpostavlja da postoje na poznatim nalazištima, a koje su određene iskapanjem, rudarskim radovima, bušenjem i detaljnijim istražnim radovima, pa je moguće utvrditi vrstu sirovine ili nosioca energije i debljinu slojeva. Rezerve kategorije I zovu se *poznate rezerve*. U poznate rezerve uključene su i iskoristive rezerve. To je dio poznatih rezerva koje se mogu iskoristiti primjenom današnje tehnologije i uz današnje ekonomske uvjete.

U kategoriju II, *dodatne rezerve*, ubrajaju se sve ostale rezerve za koje se može pretpostaviti da postoje na temelju poznavanja geoloških uvjeta pogodnih za njihovo postojanje, utvrđenih geološkim istraživanjima, a na osnovi sličnosti geoloških prilika s onima na poznatim nalazištima. Zbroj rezerva kategorija I i II zovu se *ukupne rezerve*.

Ugljen se razlikuje prema ogrjevnoj moći, pa se normalno dijeli na *kameni ugljen*, s jedne strane, te *mrki ugljen i lignit*, s druge. Ne postoji, međutim, točno definirana granica između te dvije vrste ugljena. Negdje se u kameni ugljen ubraja ugljen s ogrjevnom moći većom od 20 MJ/kg (4778 kcal/kg), a negdje se kao granica između kamenog ugljena, s jedne, i mrkog ugljena i lignita, s druge strane, navodi ogrjevna moć od 3500 kcal/kg. U ovom pregledu prihvaćena je klasifikacija Svjetske konferencije za energiju koja je načinjena prema podacima dostavljenim od pojedinih zemalja. (V. *Ugljen*.)

U tabl. 3 i 4 navedene su rezerve kamenog ugljena po kontinentima i u evropskim zemljama, a u tabl. 5 i 6 rezerve mrkog ugljena i lignita također po kontinentima i u evropskim zemljama. Podaci o rezervama navedeni su za iskoristive, poznate i ukupne rezerve, i to posebno u stvarnim količinama kamenog ugljena, odnosno mrkog ugljena i lignita, a posebno u količinama ekvivalentnog ugljena.

Najveće rezerve ugljena nalaze se na sjevernoj polukugli i to iznad 30-tog stupnja sjeverne širine na području USA, SSSR i Kine. U te tri zemlje nalazi se ~ 85% svih rezerva ugljena. Prema današnjem stanju istraživanja samo ~ 6% od ukupnih rezerva smatraju se iskoristivim rezervama, a samo ~ 14% poznatim rezervama.

Najveće rezerve kamenog ugljena u Evropi postoje u Zapadnoj Njemačkoj, Velikoj Britaniji i Poljskoj, a mrkog ugljena i lignita u Zapadnoj i Istočnoj Njemačkoj, Jugoslaviji i Poljskoj.

U tabl. 3 do 6 nalaze se i podaci o proizvodnji ugljena u 1972, pa se pokazuje da su rezerve ugljena u odnosu na današnji nivo iskorištenja vrlo velike. Iskoristive rezerve mogu uz nivo proizvodnje iz 1972 osigurati opskrbu ugljena ~ 200 godina, a poznate rezerve nešto manje od 500 godina. Naravno da je trajanje rezerva znatno kraće ako se računa s porastom potrošnje u slijedećim godinama.

Sirova nafta. Ocjene ukupnih rezerva sirove nafte znatno se međusobno razlikuju i iznose između $218,5 \cdot 10^9$ tona (Torrey, P. D. i dr.: World Oil Resources, Sixth World Petroleum Congress

Tablica 3
REZERVE KAMENOG UGLJENA I PROIZVODNJA U 1972 PO KONTINENTIMA

| Kontinent | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Godišnja proizvodnja 10 ⁹ tona |
|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------------------------------------|
| | 10 ⁹ tona ugljena | | | 10 ⁹ tona ekvivalentnog ugljena | | | |
| Afrika | 15,5 | 30,1 | 58,3 | 13,0 | 25,2 | 48,8 | 0,060 |
| Amerika bez USA | 8,0 | 17,7 | 118,1 | 6,6 | 15,1 | 101,2 | 0,019 |
| Azija bez SSSR | 93,4 | 332,5 | 1 096,0 | 91,5 | 325,9 | 1 075,1 | 0,572 |
| Evropa bez SSSR | 58,0 | 188,4 | 458,6 | 54,0 | 175,3 | 426,8 | 0,489 |
| Oceanija | 14,3 | 25,8 | 112,6 | 13,4 | 24,0 | 104,8 | 0,061 |
| SSSR | 82,9 | 165,8 | 3 393,3 | 61,6 | 123,2 | 2 966,5 | 0,462 |
| USA | 158,7 | 317,5 | 2 285,8 | 158,1 | 316,1 | 2 276,3 | 0,517 |
| Svijet | 430,8 | 1 077,8 | 7 522,7 | 398,2 | 1 004,8 | 6 999,5 | 2,180 |

Tablica 4
REZERVE KAMENOG UGLJENA I PROIZVODNJA U 1972 U EVROPSKIM ZEMLJAMA

| Zemlja | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Godišnja proizvodnja 10 ⁹ tona |
|-------------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------------------------------------|
| | 10 ⁹ ton. ugljena | | | 10 ⁹ tona ekvivalentnog ugljena | | | |
| Austrija | — | — | — | — | — | — | — |
| Belgija | 0,13 | 0,25 | 0,25 | 0,13 | 0,25 | 0,25 | 0,010 |
| Bugarska | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,000 |
| Čehoslovačka | 2,49 | 5,54 | 11,57 | 2,49 | 5,54 | 11,57 | 0,029 |
| Danska | — | — | — | — | — | — | — |
| Finska | — | — | — | — | — | — | — |
| Francuska | 0,44 | 1,38 | 1,38 | 0,44 | 1,38 | 1,38 | 0,030 |
| Grčka | — | — | — | — | — | — | — |
| Italija | — | — | — | — | — | — | — |
| Jugoslavija | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,001 |
| Madarska | 0,23 | 0,75 | 0,71 | 0,13 | 0,32 | 0,51 | 0,004 |
| Nizozemska | 1,84 | 3,71 | 3,71 | 1,84 | 3,71 | 3,71 | 0,003 |
| Norveška | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,000 |
| Njemačka, Istočna | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,10 | 0,20 | 0,20 | 0,001 |
| Njemačka, Zapadna | 30,00 | 44,00 | 230,30 | 30,00 | 44,00 | 230,30 | 0,102 |
| Poljska | 17,80 | 32,43 | 45,74 | 14,24 | 25,94 | 36,59 | 0,151 |
| Portugal | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,000 |
| Rumunjska | 0,05 | 0,07 | 0,59 | 0,06 | 0,08 | 0,71 | 0,008 |
| Španjolska | 0,91 | 1,27 | 2,37 | 0,91 | 1,27 | 2,37 | 0,010 |
| Švedska | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,000 |
| Švicarska | — | — | — | — | — | — | — |
| Velika Britanija | 3,87 | 99,88 | 162,81 | 3,87 | 98,88 | 162,81 | 0,139 |

Tablica 5
REZERVE MRKOG UGLJENA I LIGNITA, KAO I PROIZVODNJA U 1972 PO KONTINENTIMA

| Kontinent | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Godišnja proizvodnja 10 ⁹ tona |
|-----------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------------------------------------|
| | 10 ⁹ tona ugljena | | | 10 ⁹ tona ekvivalentnog ugljena | | | |
| Afrika | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,000 |
| Amerika bez USA | 0,5 | 0,6 | 17,6 | 0,3 | 0,4 | 11,1 | 0,003 |
| Azija bez SSSR | 4,0 | 8,0 | 12,1 | 2,1 | 4,2 | 6,4 | 0,014 |
| Evropa bez SSSR | 68,7 | 131,4 | 147,6 | 30,7 | 58,7 | 63,3 | 0,597 |
| Oceanija | 10,2 | 48,9 | 87,1 | 3,2 | 15,4 | 27,4 | 0,024 |
| SSSR | 53,7 | 107,4 | 1 720,3 | 22,2 | 44,5 | 712,7 | 0,180 |
| USA | 23,1 | 46,1 | 638,7 | 14,6 | 29,1 | 403,2 | 0,008 |
| Svijet | 160,3 | 342,6 | 2 623,9 | 73,2 | 152,4 | 1 224,4 | 0,826 |

Tablica 6
REZERVE MRKOG UGLJENA I LIGNITA, KAO I PROIZVODNJA U 1972 U EVROPSKIM ZEMLJAMA

| Zemlja | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Iskoristive rezerve | Poznate rezerve | Ukupne rezerve | Godišnja proizvodnja 10 ⁹ tona |
|-------------------|------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------|----------------------------------------------|
| | 10 ⁹ tona ugljena | | | 10 ⁹ tona ekvivalentnog ugljena | | | |
| Austrija | 0,06 | 0,15 | 0,17 | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,004 |
| Belgija | — | — | — | — | — | — | — |
| Bugarska | 4,36 | 4,36 | 5,20 | 1,56 | 1,56 | 1,8 | 0,028 |
| Čehoslovačka | 3,87 | 8,23 | 9,86 | 1,93 | 4,11 | 4,93 | 0,084 |
| Danska | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,000 |
| Finska | — | — | — | — | — | — | — |
| Francuska | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,002 |
| Grčka | 0,68 | 0,11 | 1,58 | 0,15 | 0,19 | 0,34 | 0,011 |
| Italija | 0,03 | 0,11 | 0,11 | 0,01 | 0,04 | 0,04 | 0,002 |
| Jugoslavija | 16,80 | 17,89 | 21,65 | 6,00 | 6,38 | 7,73 | 0,030 |
| Madarska | 1,45 | 2,90 | 5,68 | 0,60 | 1,20 | 2,35 | 0,023 |
| Nizozemska | — | — | — | — | — | — | — |
| Norveška | — | — | — | — | — | — | — |
| Njemačka, Istočna | 25,20 | 30,00 | 30,00 | 14,99 | 17,85 | 17,85 | 0,246 |
| Njemačka, Zapadna | 9,57 | 55,52 | 55,85 | 2,53 | 14,66 | 14,74 | 0,110 |
| Poljska | 4,84 | 6,45 | 14,86 | 1,76 | 2,35 | 5,41 | 0,038 |
| Portugal | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | — |
| Rumunjska | 1,10 | 3,90 | 3,90 | 0,68 | 2,42 | 2,42 | 0,014 |
| Španjolska | 0,74 | 0,93 | 1,19 | 0,44 | 0,56 | 0,71 | 0,004 |
| Švedska | — | — | — | — | — | — | — |
| Švicarska | — | — | — | — | — | — | — |
| Velika Britanija | — | — | — | — | — | — | — |

Proceedings, Frankfurt am Main 1963) i 1 837,7 · 10⁹ tona (Albers, J. P. i dr.: Summary Petroleum and Selected Mineral Statistics for 120 Countries, Including Offshore Areas, U. S. Department of the Interior, Washington 1973). Stoga je danas nemoguće govoriti o ukupnim rezervama sirove nafte. To je posljedica

pomanjkanja opće prihvaćenih principa za određivanje ukupnih rezerva.

U tabl. 7 navedeni su podaci samo o iskoristivim rezervama po kontinentima, koje su 2...20 puta manje nego navedene ukupne rezerve. U tabl. 8 nalaze se podaci o iskoristivim rez-

Tablica 7
POZNATE ISKORISTIVE REZERVE SIROVE NAFTE (STANJE 1972)
PO KONTINENTIMA

| Kontinent | Iskoristive rezerve | | Proizvodnja | | Trajanje rezerva* godina |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| | sirove nafte 10 ⁹ t | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | sirove nafte 10 ⁹ t | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | |
| Afrika | 12,85 | 18,96 | 0,27 | 0,40 | 47 |
| Amerika bez USA | 9,38 | 13,83 | 0,32 | 0,47 | 29 |
| Azija bez SSSR | 53,97 | 79,65 | 1,02 | 0,51 | 53 |
| Evropa bez SSSR | 1,39 | 2,06 | 0,04 | 0,05 | 39 |
| Oceanija | 0,23 | 0,34 | 0,02 | 0,02 | 15 |
| SSSR | 8,14 | 12,00 | 0,39 | 0,58 | 21 |
| USA | 5,57 | 8,22 | 0,43 | 0,63 | 13 |
| Svijet | 91,53 | 135,06 | 2,49 | 2,66 | 37 |

* Trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972.

Tablica 8
POZNATE ISKORISTIVE REZERVE SIROVE NAFTE (STANJE U 1972)
U ZEMLJAMA S NAJVEĆIM REZERVAMA (IZNAD 500 · 10⁹ TONA)

| Zemlja | Iskoristive rezerve 10 ⁹ t | Proizvodnja 10 ⁹ t | Trajanje rezerva* godina |
|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Saudijska Arabija | 18 727 | 300,7 | 62 |
| Kuvait | 10 188 | 151,0 | 67 |
| Iran | 8 870 | 255,4 | 35 |
| SSSR | 8 138 | 394,0 | 21 |
| Venezuela | 6 093 | 168,3 | 36 |
| Alžir | 5 977 | 51,6 | 116 |
| USA | 5 569 | 436,2 | 13 |
| Irak | 4 437 | 72,1 | 62 |
| Libija | 4 012 | 107,1 | 37 |
| Ujedinjeni Arapski Emirati | 3 033 | 54,9 | 55 |
| Kina | 1 726 | 29,0 | 60 |
| Indonezija | 1 456 | 53,9 | 27 |
| Nigerija | 1 155 | 84,7 | 14 |
| Kanada | 1 075 | 69,4 | 15 |
| Sirija | 1 040 | 6,3 | 166 |
| Ekvador | 787 | 3,8 | 209 |
| Egipat | 713 | 11,4 | 62 |
| Oman | 682 | 13,9 | 49 |
| Kongo | 674 | 0,37 | 1 826 |
| Velika Britanija | 504 | 0,08 | 6 295 |

* Trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972.

Tablica 9
POZNATE ISKORISTIVE REZERVE SIROVE NAFTE (STANJE 1972)
U EVROPSKIM ZEMLJAMA

| Zemlja | Iskoristive rezerve | | Proizvodnja | | Trajanje rezerva* godina |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| | sirove nafte 10 ⁹ t | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | sirove nafte 10 ⁹ t | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | |
| Austrija | 26 | 38 | 2,5 | 3,7 | 10 |
| Belgija | — | — | — | — | — |
| Bugarska | 38 | 56 | 0,33 | 0,49 | 113 |
| Čehoslovačka | 1,8 | 2,7 | 0,20 | 0, 0 | 9 |
| Danska | 35 | 52 | 0,18 | 0,27 | 19 |
| Finska | — | — | — | — | — |
| Francuska | 9 | 1 | 1,5 | 2,2 | 6 |
| Grčka | — | — | — | — | — |
| Italija | 7 | 10 | 1,2 | 1,8 | 6 |
| Jugoslavija | 97 | 143 | 3,1 | 4,6 | 31 |
| Mađarska | 131 | 193 | 1,9 | 2,8 | 68 |
| Nizozemska | 37 | 59 | 1,6 | 2,4 | 23 |
| Norveška | 228 | 336 | ... | ... | ... |
| Njemačka, Istočna | 1,5 | 2,2 | 0,06 | 0, 0 | 25 |
| Njemačka, Zapadna | 53 | 78 | 7,1 | 10,5 | 7 |
| Poljska | 8 | 12 | 0,35 | 0,52 | 23 |
| Portugal | — | — | — | — | — |
| Rumunjska | 194 | 286 | 13,7 | 20,2 | 14 |
| Španjolska | 11 | 16 | 0,14 | 0,21 | 78 |
| Švedska | — | — | — | — | — |
| Švicarska | — | — | — | — | — |
| Velika Britanija | 504 | 744 | 0,08 | 0,12 | 6 295 |

* Trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972. U Norveškoj i Velikoj Britaniji otkrivene su velike rezerve, a proizvodnja još nije razvijena.

Tablica 10
POZNATE ISKORISTIVE REZERVE ZEMNOG PLINA (STANJE 1972)
PO KONTINENTIMA

| Kontinent | Iskoristive rezerve | | Proizvodnja | | Trajanje rezerva* godina |
|-----------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| | zemnog plina 10 ¹² m ³ | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | zemnog plina 10 ¹² m ³ | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | |
| Afrika | 5,71 | 7,26 | 0,039 | 0,050 | 147 |
| Amerika bez USA | 4,68 | 5,95 | 0,166 | 0,211 | 28 |
| Azija bez SSSR | 12,24 | 15,57 | 0,151 | 0,192 | 81 |
| Evropa bez SSSR | 4,51 | 5,74 | 0,180 | 0,229 | 25 |
| Oceanija | 0,69 | 0,88 | 0,004 | 0,005 | 186 |
| SSSR | 17,14 | 21,81 | 0,212 | 0,270 | 81 |
| USA | 7,5 | 9,62 | 0,637 | 0,810 | 12 |
| Svijet | 52,53 | 66,83 | 1,389 | 1,767 | 38 |

* Trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972.

Tablica 11
POZNATE ISKORISTIVE REZERVE ZEMNOG PLINA (STANJE 1972)
U ZEMLJAMA S NAJVEĆIM REZERVAMA (IZNAD 300 · 10⁹ m³)

| Zemlja | Iskoristive rezerve 10 ⁹ m ³ | Proizvodnja 10 ⁹ m ³ | Trajanje rezerva* godina |
|----------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| SSSR | 17 136 | 212 | 81 |
| USA | 7 557 | 638 | 12 |
| Iran | 5 664 | 40,5 | 140 |
| Alžir | 2 973 | 3,05 | 974 |
| Kanada | 2 576 | 73,1 | 35 |
| Nizozemska | 1 968 | 58,6 | 34 |
| Saudijska Arabija | 1 540 | 31,2 | 49 |
| Nigerija | 1 249 | 15,7 | 79 |
| Kuvait | 1 090 | 17,1 | 64 |
| Velika Britanija | 870 | 26,0 | 33 |
| Venezuela | 820 | 46,0 | 18 |
| Libija | 779 | 14,1 | 55 |
| Kina | 680 | 21,0 | 32 |
| Irak | 566 | 0,10 | 5 838 |
| Pakistan | 546 | 3,92 | 139 |
| Australija | 534 | 3,38 | 158 |
| Norveška | 433 | ... | ... |
| Ujedinjeni Arapski Emirati | 368 | 11,4 | 32 |
| Njemačka, Zapadna | 350 | 17,7 | 20 |
| Meksiko | 305 | 18,7 | 16 |

* Trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972.

Tablica 12
POZNATE ISKORISTIVE REZERVE ZEMNOG PLINA (STANJE 1972)
U EVROPSKIM ZEMLJAMA

| Zemlja | Iskoristive rezerve | | Proizvodnja | | Trajanje rezerva* godina |
|-------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| | zemnog plina 10 ⁹ m ³ | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | zemnog plina 10 ⁹ m ³ | ekvivalentnog ugljena 10 ⁹ t | |
| Austrija | 16 | 20 | 1,96 | 2,49 | 8 |
| Belgija | — | — | — | — | — |
| Bugarska | 29 | 37 | 0,45 | 0,57 | 64 |
| Čehoslovačka | 15 | 19 | 0,91 | 1,16 | 16 |
| Danska | 51 | 65 | — | — | — |
| Finska | — | — | — | — | — |
| Francuska | 136 | 173 | 10,6 | 13,5 | 13 |
| Grčka | — | — | — | — | — |
| Italija | 166 | 211 | 14,2 | 18,1 | 12 |
| Jugoslavija | 58 | 74 | 1,10 | 1,4 | 53 |
| Mađarska | 85 | 108 | 3,6 | 4,6 | 23 |
| Nizozemska | 1 968 | 2 504 | 58,6 | 74,6 | 34 |
| Norveška | 433 | 551 | ... | ... | ... |
| Njemačka, Istočna | 15 | 19 | 5,4 | 6,9 | 3 |
| Njemačka, Zapadna | 350 | 445 | 17,7 | 22,5 | 20 |
| Poljska | 142 | 181 | 5,8 | 7,4 | 24 |
| Portugal | — | — | — | — | — |
| Rumunjska | 170 | 216 | 33,1 | 42,1 | 5 |
| Španjolska | 15 | 19 | 0,0 | 0,0 | — |
| Švedska | — | — | — | — | — |
| Švicarska | — | — | — | — | — |
| Velika Britanija | 870 | 1 107 | 26,0 | 33,1 | 33 |

* Trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972.

vama u zemljama s najvećim iskoristivim rezervama, a u tabl. 9 analogni podaci za evropske zemlje. Najveće rezerve sirove nafte nalaze se u Aziji (~60%), od čega najveći dio otpada na područje oko Perzijskog zaljeva (~55% svih svjetskih rezerva). U Evropi najveće rezerve postoje u Velikoj Britaniji, Norveškoj, Rumunjskoj, Mađarskoj i Jugoslaviji.

U tabl. 7 do 9 nalaze se i podaci o ostvarenoj proizvodnji sirove nafte i o trajanju rezerva uz nivo proizvodnje u 1972. U Velikoj Britaniji traju rezerve vrlo dugo, a to vrijedi i za Norvešku (za koju ne postoje podaci o proizvodnji), jer su velike rezerve otkrivene u posljednje vrijeme pa proizvodnja još nije razvijena.

Prema podacima u tabl. 7 ukupne iskoristive rezerve sirove nafte u svijetu dovoljne su samo za 37 godina uz nivo proizvodnje u 1972. Trajanje rezerva još je manje, ako se računa s porastom proizvodnje. Dosadašnje iskustvo, međutim, pokazuje da se iskoristive rezerve iz godine u godinu povećavaju, što je posljedica intenzivnog istraživanja. (V. Nafta.)

Zemni plin. Za ukupne rezerve zemnog plina vrijedi sve ono što je rečeno za ukupne rezerve sirove nafte. Ocjene su između $276,1 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ (Linden, H. R.: The Future Development of Energy Supply Systems, Fuel Conference in Commemoration of the Golden Jubilee of the Fuel Society of Japan, Tokio 1972) i $1152,1 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ (citirani rad Albers, J. P. i dr.).

U tabl. 10 navedene su iskoristive rezerve zemnog plina po kontinentima, u tabl. 11 u zemljama s najvećim rezervama, a u tabl. 12 u evropskim zemljama.

Najveće rezerve zemnog plina postoje u SSSR-u (oko 1/3 svih iskoristivih rezerva), dok najveće rezerve u Evropi imaju Nizozemska, Velika Britanija i Norveška.

Trajanje rezerva zemnog plina vrlo je slično trajanju rezerva sirove nafte. (V. Zemni plin.)

Ulje iz uljnih škrljevaca i bituminoznog pijeska. Važan potencijalni energetski izvor predstavljaju spojevi ugljika i vodika koji nisu tekući, a nalaze se u škrljencima i pijesku bogatim organskim materijama. To su tzv. uljni škrljevci i bituminozni pijesak. Razlikuju se od sirove nafte jer su vrlo gusti ili kruti, pa se ne mogu eksploatirati metodama koje se primjenjuju pri eksploataciji sirove nafte. Organski spojevi u uljnim škrljencima slični vosku, a spojevi dobiveni iz bituminoznog pijeska odgovaraju teškom bitumenu. Najčešće se uljni škrljevci i bituminozni pijesak nalaze znatno bliže površini nego sirova nafta, i to u slojevima slično ugljenu.

Sadržaj ulja iznosi od nekoliko stotinka m^3/t škrljevaca, odnosno pijeska, do $0,6 \text{ m}^3/\text{t}$ u bogatim nalazištima. Danas se smatra da je ekonomična eksploatacija samo onih rezerva koje sadrže najmanje $0,1 \text{ m}^3$ ulja po toni škrljevca, odnosno pijeska.

Do sada su u vrlo malom opsegu upotrebljavani uljni škrljevci i bituminozni pijesak za proizvodnju ulja, jer je bilo ekonomičnije izravno eksploatirati sirovu naftu i zemni plin. U Kanadi je u pogonu od 1967 postrojenje za proizvodnju sirove nafte iz bituminoznog pijeska (godišnja proizvodnja oko $3 \cdot 10^6$ tona). U istu svrhu primjenjuje se bituminozni pijesak u Albaniji, SSSR-u i Rumunjskoj. Uljni škrljevci služili su za proizvodnju sintetičke sirove nafte ranije nego bituminozni pijesak. U Škotskoj i Estoniji eksploatirali su se uljni škrljevci već polovinom XIX stoljeća.

Danas se ne može načiniti točniji pregled rezerva ulja u škrljencima i pijesku, jer do sada u većini zemalja nije se detaljnije istraživalo.

U tabl. 13 navedene su poznate i moguće rezerve ulja u uljnim škrljencima i bituminoznom pijesku po kontinentima. Moguće rezerve treba dodati poznatim rezervama. One su određene na osnovi geoloških predviđanja na određenim područjima. U tabl. 14 nalaze se podaci o iskoristivim rezervama ulja iz škrljevaca i pijeska u zemljama s najvećim poznatim rezervama. Prema nekim najnovijim procjenama rezerve su ulja u škrljencima i pijesku i 20 puta veće od onih navedenih u tabl. 13 (Culbertson, W. C. i dr.: Oil Shale, U. S. Mineral Resources, U. S. Government Printing Office, Washington 1973).

Tablica 13

POZNATE I DODATNE MOGUĆE REZERVE ULJA U ULJNIM ŠKRLJENCIMA I BITUMINOZNOBOM PIJESKU PREMA SADRŽAJU ULJA (U LITRAMA) U KG ŠKRLJEVCA, ODNOSNO PIJESKA

| Kontinent | Poznate rezerve ulja | | Moguće rezerve ulja | |
|-------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| | sadržaja 0,1 ... 0,4 l/kg 10 ⁹ t | sadržaja 0,04 ... 0,1 l/kg 10 ⁹ t | sadržaja 0,1 ... 0,4 l/kg 10 ⁹ t | sadržaja 0,04 ... 0,1 l/kg 10 ⁹ t |
| Afrika | 15,5 | — | * | * |
| Amerika, Južna | — | 124,0 | * | 497,0 |
| Amerika, Sjeverna | 60,6 | 232,0 | 50,8 | 246,0 |
| Azija | 14,0 | 2,2 | 0,3 | 575,0 |
| Evropa | 10,9 | 0,9 | 15,5 | 31,1 |
| Oceanija | — | 0,2 | * | * |
| Svijet | 101,0 | 359,3 | 66,6 | 1 349,1 |

* Ne postoje podaci

Tablica 14

ISKORISTIVE REZERVE ULJA U ULJNIM ŠKRLJENCIMA I BITUMINOZNOBOM PIJESKU U ZEMLJAMA S NAJVEĆIM POZNATIM REZERVAMA

| Zemlja | Iskoristive rezerve ulja 10 ⁶ tona |
|-------------------|--------------------------------------------------|
| Kolumbija | 155 400 |
| USA | 147 175 |
| Kanada | 75 111 |
| Kina | 21 000 |
| SSSR | 3 383 |
| Zair | 1 550 |
| Italija | 1 087 |
| Švedska | 880 |
| Brazil | 497 |
| Njemačka, Zapadna | 311 |
| Francuska | 237 |
| Madagaskar | 235 |
| Novi Zeland | 224 |
| Burma-Tajland | 217 |
| Angola | 200 |
| Jugoslavija | 128 |
| Luksemburg | 109 |
| Albanija | 60 |
| Argentina | 45 |

Interesantno je napomenuti da su poznate rezerve ulja u škrljencima i pijesku s relativno visokim sadržajem ulja veće nego danas poznate rezerve sirove nafte.

Treset je ostatak biljaka u prvoj fazi karbonizacije.

Ukupne rezerve treseta danas se ocjenjuju sa $211 \cdot 10^9$ tona, odnosno $\sim 60 \cdot 10^9$ tona ekvivalentnog ugljena. Najveće rezerve nalaze se u Sovjetskom Savezu (skoro 60% svjetskih rezerva), Finskoj i Poljskoj.

Svjetska proizvodnja treseta iznosi danas $\sim 195 \cdot 10^6$ tona, od čega se samo jedna trećina primjenjuje kao gorivo, dok se ostatak upotrebljava u poljoprivredi kao gnojivo jer je treset znatno porozan i sadrži $\sim 2\%$ dušika. Od ukupne svjetske proizvodnje treseta više od 95% proizvodi se u SSSR-u, dok se praktički sve ostalo proizvodi u Irskoj, gdje on služi isključivo kao gorivo.

Drvo i biljni otpaci. Do početka ovog stoljeća drvo, biljni otpaci i životinjske izmetine (neindustrijski izvori energije) predstavljali su dominantni energetski izvor u svijetu. Od početka ovog stoljeća upotrebljavana su uglavnom fosilna goriva u najvećem dijelu Evrope i Sjeverne Amerike, ali to ne vrijedi za ostala područja u svijetu. Ocijenjeno je (United Nations, Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. I, The Worlds Requirements for Energy, New York 1956) da je u 1950 oko 15% ukupno iskorištene energije u svijetu dobiveno od neindustrijskih izvora energije (nisu uključeni SSSR i Kina); udio tih izvora energije u ukupno iskorištenim primarnim oblicima energije iznosio je:

| | |
|-------------------|-----|
| Afrika | 51% |
| Amerika, Srednja | 35% |
| Amerika, Južna | 45% |
| Amerika, Sjeverna | 3% |
| Evropa | 7% |
| Oceanija | 13% |

U 1967, međutim, računa se da se samo 4% ukupne energije pokriva iskorištavanjem neindustrijskih izvora energije, i pored toga što skoro polovina čovječanstva ovisi o tim oblicima energije.

Vodne snage su jedini od obnovljivih energetskih izvora koji se danas iskorištavaju u većem opsegu.

Oko $400 \cdot 10^{12}$ m³ vode isparava se godišnje iz mora djelovanjem topline Sunca. Najveći dio te vode u obliku kiše ili snijega pada natrag u more, ali $\sim 100 \cdot 10^{12}$ m³ pada na kopno. Od toga $63 \cdot 10^{12}$ m³ ponovno se isparava, a samo $\sim 37 \cdot 10^{12}$ m³ protječe vodotocima u more. Kontinenti imaju prosječnu nadmorsku visinu ~ 800 m, pa ukupna energija svih vodotoka iznosi približno $80 \cdot 10^3$ TWh godišnje. Samo mali dio od te energije može se iskoristiti, jer praktično iskorištenje ovisi o topografiji uzduž vodotoka (mogućnost izgradnje brana, kanala i tunela), jer su protoci vrlo promjenljivi tokom godine, pogotovo na višim nadmorskim visinama (potoci, bujice), jer se ne računa s iskorištenjem svih voda koje se pojavljuju u vodotocima (premalom iskorištenje postrojenja) i jer postoje gubici pri transformaciji potencijalne energije vode u električnu energiju. Uzevši u obzir sva ta ograničenja, a računajući s izgradnjom instalacija za prosječni godišnji protok, ocjenjuje se da je moguće proizvesti u hidroelektranama $\sim 12,5 \cdot 10^3$ TWh godišnje, odnosno $\sim 16\%$ od ukupne energije vodotoka.

U tabl. 15 navedeni su podaci o iskoristivim vodnim snagama po kontinentima uz pretpostavku da su hidroelektrane izgrađene za iskorištenje prosječnog godišnjeg protoka. Treba napomenuti da u navedenim podacima nisu obuhvaćene sve vodne snage, jer neka područja u Aziji, Africi i Južnoj Americi (npr. područje Amazone) nisu dovoljno istražena. Ukupno iskorištenje vodnih snaga u svijetu iznosi tek $\sim 13\%$ (stanje 1972), iako su vodne snage u Evropi u znatnoj mjeri već iskorištene (više od 50%).

U tabl. 16 nalaze se podaci o vodnim snagama u Evropi i o njihovom iskorištenju. Veći broj zemalja praktički je iskoristio

sve svoje vodne snage i pored toga što su njihove vodne snage relativno velike (Francuska, Italija, Švicarska). (V. *Elektrane*, TE 3, str. 549.)

Nuklearna goriva. Među nuklearna goriva ubrajaju se uran i torijum. U termičkim reaktorima, kakvi se danas grade, služi kao gorivo prirodni ili obogaćeni uran (uran s većim sadržajem izotopa ²³⁵U nego u prirodnom uranu). U termičkim reaktorima iskorištava se tek $\sim 1\%$ nuklearne energije prirodnog urana. U oplodnim reaktorima, međutim, za koje se očekuje da će se već krajem slijedećeg decenija komercijalno upotrebljavati, moći će se — prema današnjim procjenama — iskoristiti 60% nuklearne energije prirodnog urana. Torijum će se u prvom redu upotrebljavati u oplodnim generatorima, iako će se izvjesne količine torijuma moći primijeniti i u visokotemperaturnim termičkim reaktorima.

Rezerve urana najčešće se dijele u tri grupe, a prema proizvodnoj cijeni urana. U prvu se grupu ubrajaju rezerve po proizvodnoj cijeni do 26 US \$ po kg elementarnog urana, u drugu grupu po cijeni između 26 i 39 US \$ po kg, a u treću grupu uran po cijeni između 39 i 77 US \$ po kg. Normalno, nedostaju podaci za treću grupu. U tabl. 17 nalaze se podaci o sigurnim i dodatnim rezervama urana u zemljama za koje se podaci objavljuju. Osim toga se u spomenutoj tablici nalaze podaci o količini energije u uranu ako se upotrijebi u termičkim i oplodnim reaktorima uz primjenu sigurnih rezerva urana koje idu u prvu grupu (do 26 US \$ po kg). Usporedbe radi, navodi se podatak da u sigurnim rezervama urana prve grupe ($\sim 1000 \cdot 10^3$ tona) ima toliko energije koliko bi se moglo proizvesti 1000 godina iskorištavanjem svih vodnih snaga u svijetu. Uzevši u obzir sigurne i dodatne rezerve urana iz prve dvije grupe, rezerve postaju četiri puta veće.

Cijena urana ima znatnog utjecaja na ekonomičnost termičkih reaktora, iako u cijeni goriva u nuklearnim elektranama uran sudjeluje s manje od 30%. U oplodnim reaktorima, međutim, u cijeni goriva uran sudjeluje tek sa 0,3%, pa će biti opravdana upotreba urana znatno viših proizvodnih cijena nego u termičkim reaktorima. U tom će slučaju biti opravdana i primjena urana po cijeni i do 200 US \$/kg (uz tu proizvodnu cijenu rezerve urana prema procjeni iznose i stotine milijuna tona), pa i do 500 US \$/kg (tada rezerve iznose i tisuće milijuna tona).

Ocjenjuje se, prema starijim podacima, da rezerve urana u SSSR-u, Kini i istočnoevropskim zemljama iznose između 100 i 370 tisuća tona.

Rezerve torijuma su znatno manje poznate, jer je danas upotreba torijuma vrlo ograničena (za plinske mrežice, za legure dijelova aviona), a na njegovu primjenu u oplodnim reaktorima trebat će čekati još dva-tri decenija. Današnje poznavanje rezerva torijuma posljedica je istraživanja drugih metala (titana, cirkonijuma). U tabl. 18 nalaze se podaci o sigurnim i dodatnim rezervama torijuma razvrstanim u dvije grupe prema proizvodnim troškovima. (V. *Nuklearna energija, Nuklearno gorivo, Plutonijum, Separacija izotopa, Torijum, Uran*.)

Energija plime i oseke. Između iskorištavanja energije plime i oseke, i energije vodotoka postoji sličnost u toliko što se u jednom i drugom slučaju primjenjuje potencijalna energija vode za proizvodnju električne energije pomoću vodnih turbina i električnih generatora. Ipak, između njih postoje i znatne razlike. Plima i oseka mijenjaju se periodički tokom dana s dvije plime i dvije oseke tokom 24 sata pa je nemoguće postići proizvodnju s stalnom snagom i bez prekida pogona. Sva postrojenja i uređaji koji dolaze u dodir s vodom moraju biti od materijala koji je otporniji prema koroziji morske vode. Konačno, pad vode znatno je manji nego u većini hidroelektrana.

Amplitude plime vrlo su različite, a najveće su u relativno plitkim zaljevima s uskim otvorom prema pučini. Maksimalna amplituda plime iznosi ~ 11 m. Ukupna energija plime i oseke iznosi $\sim 26 \cdot 10^9$ TWh godišnje. Otprilike jedna trećina te energije utroši se u morima male dubine. Srednja amplituda plime na širokim oceanima iznosi manje od 1 m, pa je stoga samo u malom broju morskih zaljeva ekonomski opravdano iskorištavanje energije plime i oseke. Zbog toga se ocjenjuje da se samo 2% od ukupne energije plime i oseke može praktički iskoristiti. Radi iskorištavanja te energije potrebno je pregraditi neki zaljev, da

Tablica 15

ISKORISTIVE VODNE SNAGE I OSTVARENA PROIZVODNJA U 1972 U HIDROELEKTRANAMA PO KONTINENTIMA

| Kontinent | Iskoristive vodne snage TWh/god. | Ostvarena proizvodnja TWh/god. | Iskorištenje vodnih snaga % |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Afrika | 2 019,9 | 30,17 | 1,5 |
| Amerika (bez USA) | 2 423,3 | 287,96 | 11,9 |
| Azija (bez SSSR) | 2 638,2 | 198,43 | 7,5 |
| Evropa (bez SSSR) | 722,4 | 382,32 | 52,9 |
| Oceanija | 202,1 | 28,90 | 14,3 |
| SSSR | 1 095,0 | 123,00 | 11,2 |
| USA | 701,5 | 256,78 | 36,6 |
| Svijet | 9 802,4 | 1 307,56 | 13,3 |

Tablica 16

ISKORISTIVE VODNE SNAGE I OSTVARENA PROIZVODNJA U HIDROELEKTRANAMA (1972) U EVROPSKIM ZEMLJAMA

| Zemlja | Iskoristive vodne snage GWh/god. | Ostvarena proizvodnja GWh/god. | Iskorištenje vodnih snaga % |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Austrija | 43 900 | 19 900 | 45,3 |
| Belgija | 428 | 205 | 47,9 |
| Bugarska | 10 252 | 2 170 | 21,1 |
| Čehoslovačka | 12 000 | 2 684 | 22,4 |
| Danska | 25 | 24 | 96,0 |
| Finska | 18 000 | 11 100 | 61,7 |
| Francuska | 63 000 | 54 000 | 85,7 |
| Grčka | 15 600 | 2 646 | 17,0 |
| Italija | 50 600 | 44 400 | 87,7 |
| Jugoslavija | 63 600 | 20 800 | 32,7 |
| Mađarska | 4 610 | 94 | 2,0 |
| Nizozemska | — | — | — |
| Norveška | 121 000 | 66 900 | 55,3 |
| Njemačka, Istočna | * | 1 217 | * |
| Njemačka, Zapadna | 21 844 | 14 673 | 67,2 |
| Poljska | 12 080 | 1 919 | 15,9 |
| Portugal | 17 764 | 7 789 | 43,8 |
| Rumunjska | 21 400 | 7 700 | 36,0 |
| Španjolska | 67 490 | 32 923 | 48,5 |
| Švedska | 100 300 | 54 700 | 54,5 |
| Švicarska | 32 000 | 29 488 | 92,2 |
| Velika Britanija | 4 181 | 4 088 | 97,8 |

bi se u njemu voda akumulirala za vrijeme plime i zatim ispuštala za vrijeme oseke. Iskoristiva količina energije proporcionalna je kvadratu amplitude i prvog potenciji površine rezervoara. Zbog toga ne postoji praktički interes da se iskoristi taj primarni oblik energije kad je amplituda plime manja od 2 m.

Danas su izgrađena dva postrojenja koja iskorištavaju energiju plime i oseke: La Rance u Francuskoj (snaga 240 MW, godišnja proizvodnja ~ 600 GWh) i Kislaja Guba na Barentsovom moru (eksperimentalno postrojenje male snage). (V. *Elektrane*, TE 3, str. 558.)

Geotermička energija. Postupno raspadanje radioaktivnih elemenata u Zemljinoj kori izvor je najvećeg dijela unutarnje kaloričke energije Zemlje. Ukupna energija ocjenjuje se sa 10^{27} kcal. Budući da se radioaktivni elementi najvećim dijelom nalaze u granitnim stijenama, pojava topline je veća na kopnu nego pod morem i u mladim nego u starijim stijenama.

Širenje topline prema površini obavlja se s temperaturnim gradijentom ~ $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ za prvih 100 km od površine Zemlje. U većim dubinama termički gradijent je manji. Temperatura u središtu Zemlje iznosi ~ 4000°C . Srednja količina topline koja se provođenjem pojavljuje na površini iznosi $1,3 \text{ kcal}/\text{m}^2$ i danu. Ocjenjuje se da će biti potrebno 100 milijuna godina da se energija koja je akumulirana do dubine od 100 km pojavi na površini djelovanjem provođenja topline.

Budući da uz današnju tehniku bušenja dubina ~ 10 km predstavlja gornju granicu, to je samo energija akumulirana do te dubine interesantna za određivanje rezerva geotermičke energije. Ta količina energije iznosi ~ $300 \cdot 10^{21}$ kcal od čega se

jedna trećina nalazi u stijenama ispod kopna. Ta je energija za više od 5000 puta veća od energije svih rezerva ugljena u svijetu, i za više od 6 milijuna puta veća od godišnjeg iskorištenja energije u svijetu.

Za iskorištavanje energije akumulirane u Zemljinoj kori danas ne postoji tehničko rješenje. Za sada se mogu iskorištavati samo hidrogeotermički energetske izvori, tj. energija što je nosi vruća voda koja se pojavljuje na površini Zemlje bilo prirodno bilo kao posljedica bušenja. Uzimajući u obzir granicu bušenja (~ 10 km), ocjenjuje se da se na taj način može iskoristiti energija od $2 \cdot 10^{18}$ kcal, što je tek 0,007% od energije akumulirane u stijenama.

Najveći dio tih vrućih izvora ima nisku temperaturu, pa se oni ne mogu iskoristiti ni za proizvodnju vodene pare ni za proizvodnju električne energije, ali mogu poslužiti za grijanje prostorija i za slične svrhe. Ocjenjuje se da se samo 4% od svih hidrogeotermičkih izvora može iskoristiti za proizvodnju električne energije. Tom količinom energije bilo bi ipak moguće proizvesti ~ 100 puta više električne energije nego što se danas u svijetu proizvodi.

Danas se hidrogeotermička energija upotrebljava za proizvodnju električne energije u Italiji (godišnja proizvodnja ~ 2600 GWh), u New Zealandu ~ 1150 GWh, u SSSR-u (snaga 40 MW) i na Islandu (~ 11 GWh), dok su u gradnji postrojenja u Japanu, USA i Meksiku. (V. *Elektrane*, TE 3, str. 574.)

Neposredno korištenje Sunčevim zračenjem. U usporedbi s drugim izvorima energije, Sunčevo zračenje predstavlja energetske izvor male gustoće, pa je i to razlog zašto do danas taj izvor nije

Tablica 17
REZERVE URANA (KOLIČINE ELEMENTARNOG URANA) PO NIŽIM I VIŠIM PROIZVODNIM TROŠKOVIMA

| Zemlja | Rezerve nižih proizvodnih troškova | | | | Rezerve viših proizvodnih troškova | | | | Godišnja proizvodnja 10^3 t |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Maksimalni troškovi US \$/kg | Sigurne rezerve 10^3 t | Moguća proizvodnja električne energije | | Dodatne rezerve 10^3 t | Maksimalni troškovi US \$/kg | Sigurne rezerve 10^3 t | Dodatne rezerve 10^3 t | |
| | | | u termičkim reaktorima 10^6 GWh | u oplodnim reaktorima 10^6 GWh | | | | | |
| Nigerija | 26 | 40,0 | 9,59 | 575 | 20,4 | 39 | 10,2 | 10,2 | 0,87 |
| Zair | 26 | 1,8 | 0,43 | 26 | 1,7 | — | — | — | — |
| Angola | — | — | — | — | — | 39 | — | 12,8 | — |
| Gabon | 26 | 20,4 | 4,90 | 294 | 5,1 | 39 | — | 5,1 | 0,50 |
| Srednjoafrička Republika | 26 | 8,1 | 1,94 | 116 | 8,1 | — | — | — | — |
| Južna Afrika | 25 | 202,0 | 41,21 | 2 473 | 8,0 | 36 | 62,0 | 26,0 | 3,08 |
| Afrika | | 272,3 | 58,07 | 3 484 | 43,3 | | 72,2 | 54,1 | 4,45 |
| Japan | 39 | 3,1 | 0,74 | 44 | — | 52 | — | 0,9 | 0,01 |
| Indija | — | — | — | — | — | 77 | 33,2 | 28,3 | — |
| Turska | 25 | 0,8 | 0,18 | 11 | — | 39 | 1,9 | — | — |
| Azija | | 3,9 | 0,92 | 55 | — | | 35,1 | 29,2 | 0,01 |
| Francuska | 20 | 34,9 | 8,36 | 502 | 19,6 | 38 | 10,2 | 20,4 | 1,39 |
| Italija | 25 | 1,1 | 0,28 | 17 | — | 38 | — | 22,9 | — |
| Španjolska | 25 | 7,3 | 1,74 | 104 | — | — | — | — | 0,11 |
| Portugal | 26 | 7,4 | 1,77 | 106 | 5,9 | 39 | — | 10,2 | 0,08 |
| Jugoslavija | 26 | 6,0 | 1,45 | 87 | 10,2 | — | — | — | — |
| Švedska | — | — | — | — | — | 39 | 269,8 | 38,5 | 0,01 |
| Finska | — | — | — | — | — | 51 | 1,9 | — | — |
| Evropa | | 56,7 | 13,60 | 816 | 35,7 | | 281,9 | 92,0 | 1,59 |
| USA | 26 | 329,3 | 79,02 | 4 741 | 539,8 | 38 | 401,0 | 771,1 | 10,59 |
| Kanada | 25 | 185,8 | 44,59 | 2 675 | 190,4 | 38 | 121,8 | 218,9 | 4,01 |
| Meksiko | 25 | 1,1 | 0,28 | 17 | 1,8 | 25 | 0,6 | * | — |
| Sjeverna Amerika | | 516,2 | 123,89 | 7 433 | 732,0 | | 523,4 | 990,0 | 14,60 |
| Brazil | 25 | 1,9 | 0,45 | 27 | 1,9 | 38 | 0,9 | 1,7 | * |
| Kolumbija | — | — | — | — | — | 38 | — | 51,0 | * |
| Argentina | 25 | 12,6 | 3,04 | 182 | 7,8 | 38 | 6,9 | 11,2 | 0,04 |
| Južna Amerika | | 14,5 | 3,49 | 209 | 9,7 | | 7,8 | 63,9 | 0,04 |
| Australija | 25 | 120,9 | 29,03 | 1 742 | * | * | 39,1 | * | — |
| Ukupno | | 984,5 | 229,00 | 13 739 | 820,7 | | 959,5 | 1229,2 | 20,69 |

* Ne postoje podaci

Tablica 18
REZERVE TORIJUMA (KOLIČINE ELEMENTARNOG TORIJUMA) PO NIŽIM I VIŠIM PROIZVODNIM TROŠKOVIMA

| Zemlja | Rezerve nižih proizvodnih troškova | | | | Rezerve viših proizvodnih troškova | | | Godišnja proizvodnja 10 ³ t |
|------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| | Maksimalni troškovi US \$/kg | Sigurne rezerve 10 ³ t | Proizvodnja električne energije u oplodnim reaktorima 10 ⁶ GWh | Dodatne rezerve 10 ³ t | Maksimalni troškovi US \$/kg | Sigurne rezerve 10 ³ t | Dodatne rezerve 10 ³ t | |
| Madagaskar | — | — | — | — | * | 2,0 | — | — |
| Malavi | — | — | — | — | * | — | 8,8 | — |
| Egipat | — | — | — | — | * | 14,7 | 279,8 | — |
| Južna Afrika | — | — | — | — | * | 20,4 | * | — |
| ostale zemlje | — | — | — | — | * | 17,2 | 30,8 | — |
| Afrika | | — | — | — | | 54,3 | 319,4 | — |
| Indija | — | — | — | — | * | 302,4 | * | * |
| Turska | — | — | — | — | * | 4,0 | * | * |
| Azija | | — | — | — | | 306,4 | | |
| Norveška | 22 | 132,0 | 1 890 | — | 34 | — | 132,0 | — |
| SSSR | — | — | — | — | * | 80,0 | 80,0 | — |
| USA | 25 | 51,6 | 774 | 267,4 | — | — | — | — |
| Kanada | 25 | 79,8 | 1 146 | 79,8 | — | — | — | 0,056 |
| Sjeverna Amerika | | 131,4 | 1 920 | 347,2 | — | — | — | 0,056 |
| Brazil | 25 | 58,4 | 836 | 1 059,1 | — | — | — | 0,359 |
| Urugvaj | — | — | — | — | * | 0,7 | 1,5 | — |
| Južna Amerika | | 58,4 | 836 | 1 059,1 | | 0,7 | 1,5 | 0,359 |
| Australija | — | — | — | — | * | 6,2 | 10,5 | 0,229 |
| Ukupno | | 321,8 | 4 646 | 1 406,3 | | 447,6 | 543,4 | 0,641 |

* Ne postoje podaci

iskorišten osim za isparavanje vode u solanama i za grijanje vode u stanovima (u nekim područjima). Naravno, da u širem smislu energija Sunčevog zračenja ne obuhvaća samo neposredno zračenje nego i njezino indirektno djelovanje koje se očituje kao pojava vjetra i unutarnja kalorička energija mora.

Dotok energije Sunčevog zračenja naziva se *solarna konstanta*, a ona iznosi 1 400 W/m² pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca uz upadni kut od 90°, a bez djelovanja atmosfere apsorbacije. Pri prolazu kroz atmosferu dio te energije troši se u složenim procesima, a dijelom se reflektira i reemitira u svemir. Tu energiju treba odbiti od ukupnog dotoka da se dobije dio Sunčeve energije apsorbirane na površini Zemlje. Dio reflektirane energije mijenja se sa stanjem oblačnosti, s promjenama na površini Zemlje (sniježni pokrivač) i sl. Omjer između reflektirane energije i ukupnog dotoka zove se *albedo*, koji za Zemlju u prosjeku iznosi 0,34. Prema tome, ukupni dotok Sunčeve energije iznosi 920 W/m², odnosno 117 · 10⁹ MW, uzevši u obzir projekciju površine Zemlje (127,4 · 10⁶ km²). Zbog rotacije Zemlje dotok Sunčeve energije raspodjeljuje se po cijeloj površini Zemlje (510,1 · 10⁶ km²), pa je prosječni dotok energije na površinu Zemlje 230 W/m², odnosno 5,52 kWh/m²/dan, odnosno 2015 kWh/m²/godina. To su naravno prosječne vrijednosti, dok stvarne vrijednosti ovise o geografskoj širini, o dobi dana i o pojavi oblaka. Energija Sunčevog zračenja koja dopire do površine Zemlje iznosi ~ 10⁹ TWh (milijardu milijarda kWh), a to je ~ 20 000 puta više nego što danas iznosi godišnje iskorištenje svih primarnih oblika energije u svijetu.

Budući da je Sunčeva energija raspoloživa samo dio dana, a osim toga ovisna i o stanju oblačnosti, postrojenja koja se koriste tim primarnim oblikom energije mogu raditi samo u ritmu dnevnog ciklusa (pogon za vrijeme dana, a obustava za vrijeme noći i za vrijeme oblačnih razdoblja), što se normalno ne poklapa s ritmom upotrebe energije. Stoga je nužno ili predvidjeti dodatna postrojenja, koja bi bila u pogonu kad je energija Sunčevog zračenja nedovoljna za zadovoljenje potreba, ili osigurati

akumuliranje energije, bilo kao unutarnje kalorične energije bilo kao kemijske energije, koja bi se iskorištavala za vrijeme noći i za vrijeme oblačnih razdoblja.

Zbog svega toga treba očekivati da će se Sunčevo zračenje kao izvor energije više iskorištavati u područjima manjih geografskih širina s malim brojem oblačnih dana, nego u područjima velikih geografskih širina gdje je nebo često zadržano gustim oblacima. U područjima s mnogo oblačnih dana bit će potrebna dodatna postrojenja na bazi drugih primarnih oblika energije da se izbjegne potreba akumuliranja vrlo velikih količina Sunčeve energije.

U budućnosti se može očekivati raznovrsno iskorištenje Sunčevog zračenja od primjene njegove energije za grijanje vode za domaćinstva i grijanje prostorija sve do iskorištenja njegove energije za proizvodnju velikih količina električne energije. Prvi način iskorištenja već je danas u punom razvoju, dok su za praktičku realizaciju drugog načina potrebni još znatni napor da bi se pronašla tehnička rješenja koja će i ekonomski opravdati takve zahvate. (V. *Solarne baterije.*)

Energija vjetra. Premda je energija vjetra u prošlosti dugo služila kao pogonsko sredstvo za plovidbu i kao izvor energije u domaćinstvu i poljoprivredi, danas njezina primjena nema praktičnog značenja.

Upotreba energije vjetra nepogodna je iz dva razloga: zbog male gustoće energije i zbog vrlo brzih i čestih promjena snage. Ako se, npr., postrojenje dimenzionira za rad pri maksimalnoj brzini vjetra od 10 m/s (što odgovara 5. stupnju Beaufortove skale), maksimalna iskoristiva snaga vjetra iznosi 0,37 kW/m², dok se na električnom generatoru dobiva maksimalno tek ~ 0,2 kW/m² zbog gubitaka u zračnoj turbini i generatoru. Budući da je snaga vjetra proporcionalna trećoj potenciji brzine, sa smanjenjem brzine naglo se smanjuje snaga.

Ocjenjuje se da ukupna prosječna snaga vjetra iznad kopna iznosi ~ 75 · 10¹² MW, ali se samo mali dio te energije može praktički iskoristiti, jer zračne turbine treba dimenzionirati za

znatno manje brzine vjetra od maksimalnih, da se postigne koliko-toliko povoljno iskorištenje postrojenja, i jer se tornjevi sa zračnim turbinama mogu graditi samo do ograničene visine. Ocjene o iskorištenosti snage vjetra su $1 \cdot 10^6$ do $20 \cdot 10^6$ MW, što ovisi o pretpostavljenoj visini tornjeva za smještanje zračnih turbina i minimalnoj brzini vjetra koja se još može iskoristiti.

Prvo eksperimentalno postrojenje velike snage (1,25 MW) izgrađeno je u SAD i bilo je u pogonu od 1941 do 1945. Ono je konstruirano na osnovi iskustava na postrojenjima manjih snaga koja su bila izgrađena u SSSR-u, Francuskoj i Njemačkoj. Nakon 1945 na razvoju zračnih turbina rađeno je u Danskoj, Francuskoj i Mađarskoj.

U jednoj novijoj studiji (Congressional Record, U. S., February 9, 1972) pokazano je da je na površini od 900 000 km² (Great Plains, SAD) moguće postići snagu od $189 \cdot 10^3$ MW sa godišnjom proizvodnjom od 500 TWh. Svako postrojenje imalo bi instaliranu snagu od 3,2 MW sa zračnom turbinom promjera 65 m na stupu visine 300 m. Snaga postrojenja je odabrana za iskorištenje maksimalne snage vjetra od 17 m/s, a za proizvodnju predviđene količine energije bilo bi potrebno izgraditi ~ 60 000 takvih postrojenja. Slične studije izrađene su u Velikoj Britaniji, Danskoj, Njemačkoj, Francuskoj i SSSR-u.

Zbog brzih promjena brzine vjetra kao i zbog nepredvidivosti tih promjena, samo mali dio ukupnih potreba električne energije može se zadovoljiti izgradnjom postrojenja koja primjenjuju energiju vjetra, jer se samo u tom slučaju mogu drugi tipovi postrojenja prilagoditi brzim promjenama opterećenja. Ocjenjuje se da bi u zemljama, koje imaju znatno razvijenu električnu mrežu, mogla postrojenja koja iskorištavaju energiju vjetra pokrivati do 10% od ukupno potrebne električne energije. Naravno da je i u ovom slučaju moguće predvidjeti izgradnju postrojenja za akumuliranje energije.

Troškovi za izgradnju postrojenja za akumuliranje energije ili postrojenja za dopunu, koja su potrebna u slučaju ako je udio energije proizvedene iskorištenjem energije vjetra znatan u ukupnoj proizvodnji električne energije, mogu biti znatno veći od troškova za izgradnju postrojenja sa zračnim turbinama. Stoga se gube sve prednosti što ih donosi iskorištenje energije vjetra i to baš zbog spomenutih karakteristika energije vjetra. (V. *Elektrane*, TE 3, str. 574 i *Vjetrenjače*.)

Iskorištenje unutarnje kaloričke energije mora. U pojedinim dijelovima oceana postoje znatne razlike temperature između vode na površini i one u većim dubinama. Temperaturni gradijent iznosi u tropskim krajevima između 16 i 22 °C na 1 000 m.

Da se ta razlika temperatura iskoristi za proizvodnju električne energije, voda se sa površine dovodi u prostor niskog tlaka gdje ona isparava, a tako proizvedena para odvodi se u parnu turbinu, u kojoj ekspandira da bi se kondenzirala u kondenzatoru hladnom vodom iz dubine. Kao djelatna tvar koja struji kroz turbinu mogu se upotrijebiti amonijak, propan ili freon, koji isparavaju pri temperaturi morske vode s površine. Dimenzije turbine znatno su veće nego turbine koje se upotrebljavaju u termoelekttranama, jer se radi o vrlo niskim tlakovima i o vrlo niskom stupnju djelovanja, budući da je razlika temperatura između kojih se odvija termodinamički proces malena.

Ocjenjuje se da bi se primjenom unutarnje kaloričke energije mora, u područjima gdje se pojavljuje razlika temperatura od 20 °C, moglo proizvesti ~ $600 \cdot 10^3$ TWh, a to je oko 100 puta više nego što iznosi današnja godišnja proizvodnja električne energije u svijetu. Budući da se ta energija može iskorištavati samo u malom broju zona (potrebna je dovoljna dubina u blizini obale), te budući da je potrošnja električne energije u tropskim i subtropskim područjima malena, ne može se očekivati u budućnosti veća primjena tog primarnog oblika energije.

Nuklearna fuzija. Prema današnjem saznanju očekuje se da će se prva generacija fuzijskih reaktora koristiti ciklusom deuterijum-tricijum, za koji će se kao gorivo upotrijebiti deuterijum i izotop litijuma Li-6, koji se pogodan neutronom raspada na tricijum i helijum. U daljoj budućnosti računa se primjenom samo deuterijuma kao nuklearnog fuzijskog goriva.

Deuterijum je izotop vodika koji se nalazi u prirodi, a prirodni vodik sadrži 0,015% deuterijuma koji se može ekonomski podnoš-

ljivo odijeliti u obliku teške vode (D₂O) destilacijom, elektrolizom i kemijskim postupcima. Budući da se danas teška voda primjenjuje kao moderator u nekim tipovima termičkih reaktora, ona se proizvodi u više zemalja. S druge strane, jer je voda sirovina za proizvodnju deuterijuma, on predstavlja praktički neiscrpan izvor energije.

U prirodnom litijumu nalazi se 7,42% izotopa ⁶Li. U fuzijskim reaktorima može se upotrijebiti ili prirodni litijum ili litijum obogaćen izotopom ⁶Li. Litijum je element koji je relativno rijedak u prirodi. Sadržaj litijuma u Zemljinj korzi iznosi u prosjeku 30 dijelova na milijun, a u morskoj vodi 0,13 dijelova na milijun (sadržaj urana u morskoj vodi iznosi 0,003 dijelova na milijun). Ima, međutim, minerala koji sadrže od 0,5 do 10% litijuma. Današnja potrošnja litijuma iznosi manje od 4 000 tona godišnje, a rezerve u rudačama bogatim litijumom danas se ocjenjuju sa $4,5 \cdot 10^6$ tona (bez rezerve u SSSR-u i Kini, koje se ocjenjuju sa $0,5 \cdot 10^6$ tona). Sigurno je, međutim, da su rezerve još i veće jer zbog male potrošnje ni istraživanja rezerva litijuma nisu intenzivna.

Sadržaj energije fuzije u deuterijumu i litijumu toliko je velik da predstavlja praktički neizmjerne energetske izvor, kojim se mogu zadovoljiti i najambiciozniji planovi razvoja korištenja energijom. Tona deuterijuma predstavlja energiju ~ 65,9 TWh, a tona ⁶Li ~ 99,4 TWh. Prema tome ~ 100 tona ⁶Li (što odgovara 1 340 tona prirodnog litijuma) može zamijeniti godišnju proizvodnju u svim hidroelektranama koje se mogu u svijetu izgraditi. Budući da voda sadrži 34 g deuterijuma u toni vode, za dobivanje 1 kg deuterijuma potrebno je »preradi« oko 29,4 tona vode.

Ako se danas računa samo s poznatim rezervama litijuma (~ $5 \cdot 10^6$ tona), onda samo te rezerve predstavljaju energiju ~ $37 \cdot 10^6$ TWh, a to je više nego energija svih sigurnih rezerva urana i torijuma korištenih u oplodnim reaktorima. Naravno, kad dođe do povećanja potrošnje litijuma, istraživanja će se intenzivirati, pa će se i rezerve povećati. Samo rezerve litijuma u moru predstavljaju rezervu energije od $1,36 \cdot 10^{12}$ TWh, što je ~ 10 puta više nego sve rezerve energije iz svih izvora u svijetu.

Količina deuterijuma u oceanima još je veća (~ $52 \cdot 12^{12}$ tona), pa deuterijum predstavlja energiju fuzije više od $3 \cdot 10^{15}$ TWh, što je praktički neizmjerne veliki izvor energije.

RAZVOJ ISKORIŠTAVANJA PRIMARNIH OBLIKA ENERGIJE

Upotreba ugljena kao goriva započela je početkom naše ere najprije u Kini, a upotrebljavao se vjerojatno i u Rimskom Carstvu. U XI st. služio je ugljen kao gorivo najprije u Evropi, a mnogo kasnije u Sjevernoj Americi, a u najnovije vrijeme tek u ostalim dijelovima svijeta. U hladnijim područjima gdje je potrebno grijanje za vrijeme zime, kao i u najvećem dijelu svijeta, upotrebljavalo se *drovo* kao energetske gorivo. To je dovelo do brzog uništenja šuma, pogotovo u Kini, u ravninama sjeverne Evrope i u najvećem dijelu istočnog dijela Sjedinjenih Američkih Država. Nakon 1200 upotreba ugljena naglo je rasla u Engleskoj, Škotskoj i kontinentalnoj Evropi. To je posljedica povećanja proizvodnje cigle, stakla i željeza. Oko 1550 Engleska je bila daleko najveći proizvođač ugljena s godišnjom proizvodnjom ~ $200 \cdot 10^3$ tona. Ugljen se tada upotrebljavao umjesto drva i za grijanje prostorija zbog uništenja šuma i stvaranja gradskih aglomeracija. U XVIII st. industrijska je revolucija dovela do brzog razvoja proizvodnje ugljena, pogotovo u Engleskoj.

Do polovine XVIII st. eksploatirana su samo nalazišta ugljena koja su se nalazila na površini ili neposredno uz Zemljinu površinu. S povećanjem potrošnje sve se više prelazi na eksploataciju slojeva u većim dubinama, jer iskorištenje slojeva na maloj dubini nije bilo sigurno zbog opasnosti od urušavanja. Tek u posljednjih 30...40 godina razvila se površinska eksploatacija, zahvaljujući razvoju strojeva za površinsko otkopavanje. Do 1925 u tri zemlje — SAD, Velika Britanija i Njemačka — proizvodilo se 80% od ukupne svjetske proizvodnje ugljena i lignita. U 1971 u 8 zemalja proizvedeno je više od 100 milijuna tona, a u dalje 23 zemlje više od 10 milijuna tona. Proizvodnja ugljena u toj 31 zemlji predstavlja 98% svjetske proizvodnje ugljena.

Moderna eksploatacija *sirove nafte* počinje 1859 kad je uspješno izbušena prva bušotina u Pensilvaniji (SAD). Kroz slijedećih 25...30 godina sirova nafta, odnosno njezini derivati služili su samo za grijanje i rasvjetu (petroleji). Nakon 1900 dolazi do vrlo brzog porasta potrošnje derivata nafte. To je u prvom redu posljedica razvoja motora s unutarnjim izgaranjem i njihove upotrebe u prometu i industriji. Činjenica da su transport i upotreba tekućih i plinovitih goriva u odnosu na kruta goriva jednostavniji i udobniji, znatno je djelovala na zamjenu ugljena derivatima nafte i zemnim plinom.

U prvim danima razvoja petrolejske industrije, *zemni plin* je izgarao na bakljama, jer nije bila razvijena ni tehnika transporta zemnog plina do potrošačkih centara, a niti je plin iskorištavan za utiskavanje u bušotine da bi se povećalo iskorištenje nalazišta sirove nafte. Tek je kasnije započelo iskorištenje zemnog plina, kako iz nalazišta sirove nafte tako i iz posebnih bušotina.

Iskorištavanjem *energije vodotoka* započelo se već u rimsko doba kad je prvi put upotrijebljeno mlinsko kolo za pogon mlinova za mljevenje žita i za druge svrhe. Kasnije je izvedba poboljšavana, pa je sredinom XVIII st. upotrebljavana otvorena vodna turbina. Prije početka ere električne energije (krajem XIX st.), primjena energije vodnih snaga bila je prostorno ograničena na obale rijeka jer se mehanička energija proizvedena u postrojenjima uz rijeke ne može prenositi na iole veće udaljenosti. Tek kad je omogućena transformacija mehaničke u *električnu energiju* i kad je ostvaren prijenos električne energije na veće udaljenosti, to je prostorno ograničenje nestalo i omogućilo je nagli

razvoj korištenja vodnih snaga i izgradnju hidroelektrana, pogotovo u Evropi, SAD i Japanu. Poslije 1910 naglo se povećava iskorištavanje vodnih snaga, pa se u 1925 ~ 40% električne energije proizvodi u hidroelektranama. Danas je udio hidroelektrana znatno manji i iznosi ~ 20%, iako je proizvodnja u hidroelektranama u odnosu na 1915 porasla za 15 puta.

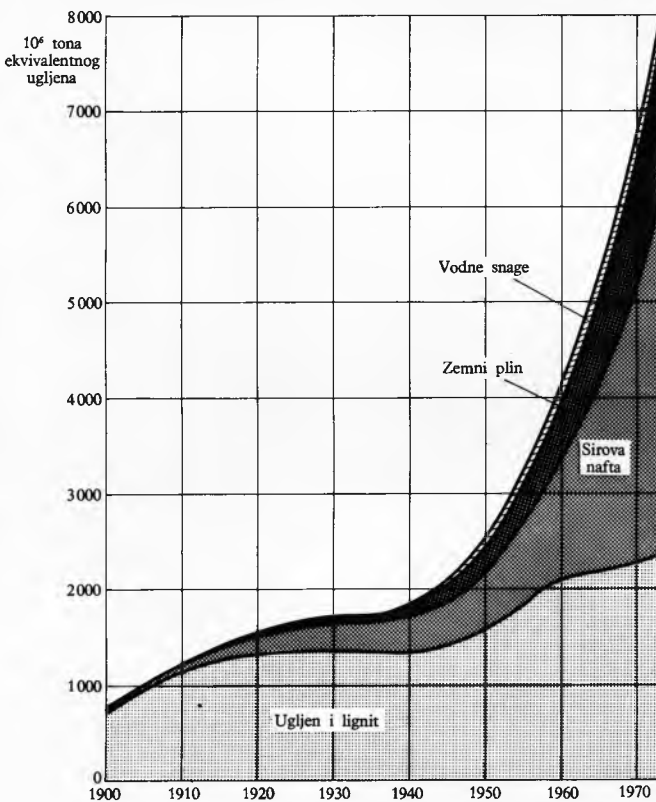
Iskorištavanje minerala koji sadržavaju uran započelo je početkom stoljeća, a uran se upotrebljavao za bojadisanje stakla i kasnije za proizvodnju radijuma. Tek nakon 1940, nakon otkrića nuklearne energije, počinje razvoj proizvodnje urana. Praktična upotreba *nuklearne energije* kao energetskog izvora počinje u pedesetim godinama ovog stoljeća (1953 podmornica Nautilus s nuklearnim pogonom; 1954 prva nuklearna elektrana Obinsk, SSSR, snage 5 MW; 1956 prva nuklearna elektrana veće snage 4×50 MW Calder Hall u Velikoj Britaniji).

Struktura primarnih oblika energije. Početkom ovog stoljeća ugljen i lignit predstavljali su primarni oblik energije koji se najviše upotrebljavao (u svijetu 94,3%, a u Evropi 99,5%) od svih tada iskorištavanih primarnih oblika energije (sl. 6 do 9). Tada je ugljen služio za željeznički i brodski transport, za industrijske pogone i za grijanje prostorija. Kasnije se upotreba ugljena proširila još i na proizvodnju gradskog plina. Danas se, međutim, za transport primjenjuju skoro isključivo tekuća goriva uz upotrebu električne energije u željezničkom transportu. Proizvodnja plina iz ugljena skoro je potpuno napuštena, dok se za grijanje prostorija sve manje upotrebljava ugljen i lignit. Danas ugljen uglavnom služi za proizvodnju koksa, a u posljednjim

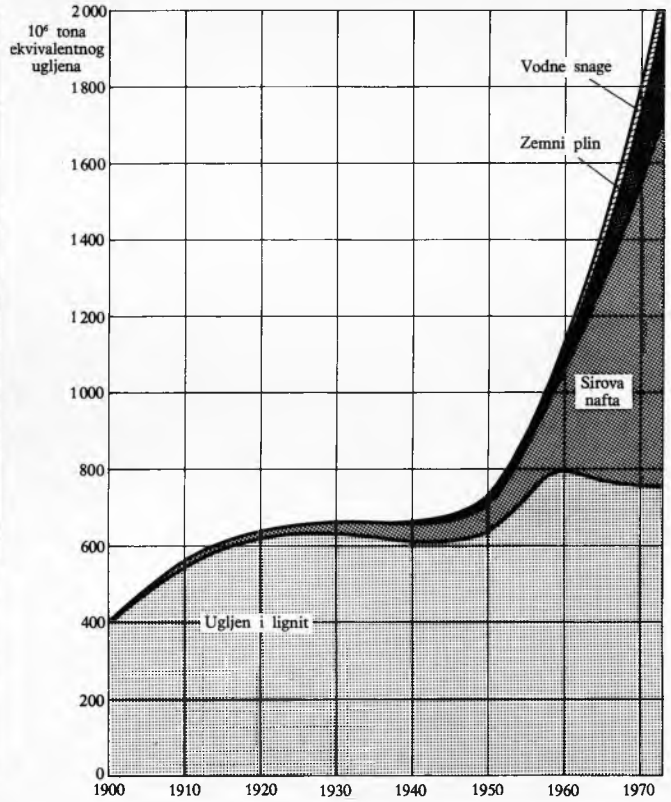
godinama ponovno se povećava interes za proizvodnju plinovitih i tekućih goriva iz ugljena, ali uz nastojanje da se proizvede metan, kojim se zamjenjuje zemni plin, a ne plinovi niske ogrjevne moći.

Takav razvoj doveo je do potpune promjene strukture upotrijebljenih primarnih oblika energije, pa se danas u svijetu manje od jedne trećine energetskih potreba pokriva ugljenom i lignitom (sl. 7), a u Evropi nešto više od jedne trećine (sl. 9). Sirova nafta predstavlja glavni primarni oblik energije, jer se derivatima sirove nafte zadovoljava ~ 45% potreba. U posljednjim godinama naglo raste upotreba zemnog plina, pa se energijom tog goriva danas pokriva više od 20% potreba u svijetu, a oko 15% potreba u Evropi. Energijom vodotoka zadovoljava se tek mali dio potreba.

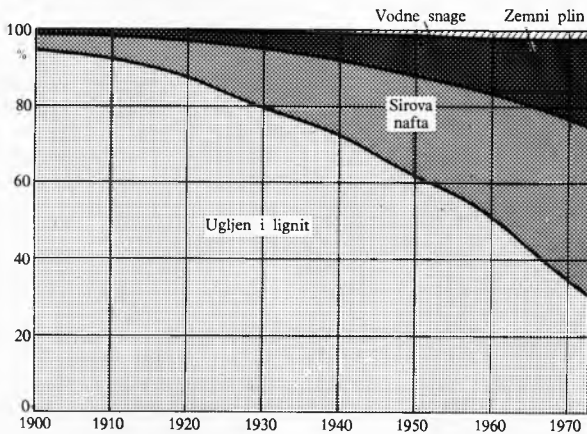
Potrošnja sirove nafte i zemnog plina danas je još uvijek u porastu, ali bez njihove supstitucije drugim primarnim oblicima energije, rezerve sirove nafte i zemnog plina bit će iscrpljene najkasnije negdje u prvim decenijama slijedećeg stoljeća. Sigurno je, međutim, da će rezerve ugljena trajati znatno dulje, ali nije nemoguće da se i te rezerve iscrpe ranije nego što se obično misli, ako se nastavi porast iskorištenja energije ostvaren kroz posljednja dva decenija i ako se ugljen bude morao upotrebljavati za supstituciju derivata sirove nafte i zemnog plina. Brzina iscrpljenja



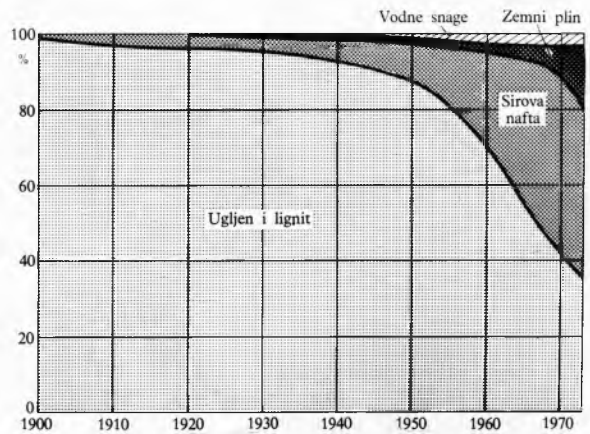
Sl. 6. Iskorištenje primarnih oblika energije u svijetu



Sl. 8. Iskorištenje primarnih oblika energije u Evropi



Sl. 7. Struktura iskorisćenih primarnih oblika energije u svijetu



Sl. 9. Struktura iskorisćenih primarnih oblika energije u Evropi

rezerva ugljena ovisit će u najvećoj mjeri o mogućnosti ekonomične upotrebe plodnih reaktora i o povoljnom rješenju iskorištenja ulja iz uljnih škrljevac i bituminoznog pijeska.

LIT.: E. Ayres, Ch. A. Scarlott, Energy sources — The wealth of the world, New York-Toronto-London 1952. — P. C. Putnam, Energy in the future, New York 1953. — P. Ailleret, Énergie — les besoins d'énergie, Paris 1963. — Perspectives énergétiques mondiale, rapport général, Symposium sur le rôle futur du charbon dans les économie nationales et mondiales, Varsovie 1970; Genève 1970. — United Nations, World energy supplies 1961-1970, New York 1972. — Isti, World energy supplies 1968-1971, New York 1973. — M. Brezinić, Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti, Zagreb 1971. — The US National Committee of the World Energy Conference, Survey of the energy resources 1974, New York 1974.

H. Požar

ENZIMI (fermenti), biokatalizatori, tvari biološkog porijekla (tj. proizvedene u živim stanicama) koje ubrzavaju kemijske reakcije potrebne za održavanje životnih funkcija. Enzimi ne djeluju samo u živim organizmima (*in vivo*) nego i izvan njih, npr. u laboratorijskim posudama (*in vitro* — u staklu). Oni se stoga industrijski proizvode i upotrebljavaju kao izvanredno efektivni katalizatori.

Tvari koje organizmi primaju iz sredine u kojoj žive, kao izvor energije i kao materijal za izgradnju vlastitog tkiva, kemijski su razmjerno postojane; u laboratorijskim se uvjetima mogu razgraditi i prinuditi na reakcije s drugim tvarima samo oštrim zahtavima (povišenjem temperature i/ili tlaka, djelovanjem jakih kiselina i lužina, itd.); u organizmima te se iste tvari rastvaraju i reagiraju pod vrlo blagim uvjetima (na temperaturi tijela, pod normalnim tlakom, u razrijeđenim otopinama, u neutralnoj ili gotovo neutralnoj sredini, itd.) zahvaljujući enzimima koji te reakcije ubrzavaju i do desetak triliona puta.

Ime *enzim* napravljeno je prema grčkom *ἐν ζύμῃ* en zýmē, u *kvasu*, a ime *ferment* prema latinskom fermentum, *kvás*. Oba ta imena podsjećaju na najstariji poznati enzimski «preparat», kvas ili kiselo tijesto, koje se već u antikom Egiptu upotrebljavalo u proizvodnji kruha. Drugi, već u starom vijeku, poznati enzimski preparati jesu sirilo (iz sluznice želuca preživača), koje se u proizvodnji sira upotrebljava za grušanje mlijeka, i slad, dobiven od proklijalih zrna žita i upotrebljavan u proizvodnji piva.

Enzime su prvi nešto podrobnije ispitivali neki kemičari u prvoj polovici XIX st. Oni su se bavili nekim tada slabo definiranim tvarima koje su zvali fermenti i za koje su znali da izazivaju biološke reakcije, napose one najbolje poznate u njihovo vrijeme: alkoholno vrenje uz pomoć kvasca i razgradnju bjelancevina i škroba u probavnom traktu životinja. Tako je Leuchs 1831 ispitivao faktor u sliki koji hidrolizira škrob i nazvao ga ptijalin (ptyalin), Schwann 1836 faktor, nazvan pepsin, koji u želucu cijepa bjelancevine. Već 1814 K. G. S. Kirchoff je pokazao da se škrob s pomoću pšeničnog ekstrakta može pregraditi u šećer, a Apayen i Persoz su 1834 var istih svojstava izdvojili iz slada i nazvali je *dijastaza*. Liebig je 1837 otkrio agens koji (pri razgradnji amigdalina) katalitičkim djelovanjem hidrolitski otcjepljuje glukozu; taj je agens nazvao emulzin. Cagniard-Latour i Kützing su 1838 našli da alkoholno vrenje uzrokuje živi organizmi. Onda su organizme koji izazivaju biokemijske reakcije počeli nazivati «organiziranim fermentima» i razlikovati ih od «neorganiziranih fermentata» kao što su ptijalin, pepsin i dijastaza. Pasteur je 1857 postavio «vitalističku» teoriju alkoholnog vrenja, prema kojoj je ono vezano uz metaboličnu djelatnost žive stanice; toj je teoriji Liebig 1870 suprotstavio teoriju o čisto kemijskom djelovanju fermenta pri alkoholnom vrenju, nakon što je već 1839 tumačio djelovanje emulzina kao katalizu. (Već je Berzelius 1836 alkoholno vrenje ustroio među katalitičke reakcije.) Da bi izbjegao svadu oko organiziranih i neorganiziranih fermentata, Kühne je 1878 za topljive fermente upotrijebio naziv «enzimi». Otkako su 1897 E. i H. Buchner pokazali da sok iscijeđen iz zdrobljenih kvasčevih gljivica izaziva alkoholno vrenje jer sadrži otopljen enzim «zimazu», nije više opravdano razlikovati (organizirane) fermente od enzima, te se danas nazivi «enzim» i «ferment» upotrebljavaju kao sinonimi. (Donedavno se u francuskom jeziku i naziv «diastase» upotrebljavao kao sinonim za «enzim».)

Kao najvažniji koraci u daljem razvoju enzimologije mogu se navesti ovi: E. Fischer uveo je pojam specifičnosti enzima i za tumačenje specifičnosti stvorio koncepciju «brave i ključa» (1894). Pojam «koenzima» uveo je Bertrand 1897. L. Michaelis i M. L. Menten iznijeli su 1913 teoriju o načinu djelovanja enzima preko kompleksa sa supstratom. Prvi enzim (ureazu) u kristaliziranom, ali ne i čistom stanju pripremio je Sumner 1926, malo kasnije (1932/33) Northrup i suradnici publicirali su svoje klasične radove o izolaciji proteolitičkih enzima. 1935/36 otkrila je veza između vitamina i koenzima. Bergmann i Fruton preciziraju 1941 teoriju aktivnog područja enzima. Phillips, North, Blake i suradnici prvi su 1956 jednom enzim — lizozimu — odredili tercijarnu strukturu, tj. način na koji su skupčani polipeptidni lanci njegove globularne molekule; uskoro poslije toga objašnjena je i veza između strukture i funkcije tog enzima. 1969 pošlo je za rukom dvjema nezavisnim grupama istraživača izvesti prvu totalnu sintezu jednog enzima (ribonukleaze): Denkwalteru i Hirschmannu jednom, a Gutteu i Merrifieldu drugom metodom.

Dosad je otkriveno ~1500 vrsta enzima (a ima ih vjerojatno mnogo više); svi su poznati enzimi globularne bjelancevine (v. *Bjelancevine*, TE 2, str 56) molekulske težine od 12 000 do više stotina tisuća. Svi enzimi molekulske težine veće od ~80 000 kojima je struktura određena sastavljeni su od više identičnih jedinica manje molekulske težine. Takav se sastav naziva *kvartarnom strukturom*.

Jednom tipu enzima katalitičko je djelovanje uvjetovano samo strukturom bjelancevine od koje su isključivo sastavljeni — to su *čisti enzimi*; drugi, *složeni enzimi*, sadrže, osim bjelancevinaste (proteinske) komponente, i niskomolekularnu neproteinsku komponentu, zvanu *koenzim* ili *prostetska grupa enzima*. Jednim se složenim enzimima neproteinska komponenta, koenzim, može od proteinske komponente, apoenzima, lako odvojiti (npr. dijalizom); razdvojeni dijelovi nemaju katalitičko djelovanje, ali se spajanjem apoenzima s koenzimom može opet dobiti aktivni

cjeloviti enzim (holoenzim). Drugi složeni enzimi predstavljaju konjugirane (složene) bjelancevine (proteide) koje tek kad se razgrade oslobađaju sastojke koji potječu od velikog proteinskog dijela i sastojke male molekulske težine, prostetske grupe enzima. Proteinski dio enzima se od prostetske grupe enzima u tom slučaju ne može odvojiti bez definitivnog gubitka enzimske aktivnosti. Među enzime ove posljednje vrste idu i enzimi u kojima se nalaze atomi metala vezani s proteinom (*metaloproteinski enzimi*).

Mnogi autori smatraju da je nemoguće razlikovati koenzim od prostetske grupe enzima na temelju čvrstine kojom je neproteinski dio enzima vezan s proteinskim, budući da tu nema oštre granice. Ti autori izraze «koenzim» i «prostetska grupa enzima» smatraju pravim sinonimima. I u ovom članku, kad to ne može izazvati zabunu, upotrijebljen je radi kratkoće izraz «koenzim» umjesto «koenzim ili prostetska grupa enzima». Dalje je naveden i drugi način na koji se može razlikovati koenzim od prostetske grupe enzima.

Enzimima je svojstvena, pored velike *aktivnosti*, tj. sposobnosti da prisutni i u vrlo malim količinama snažno katalitički djeluju, također *specifičnost* djelovanja, tj. svojstvo da katalitički djeluju samo na reakcije određene vrste, po pravilu čak samo kad u tim reakcijama sudjeluju određeni spojevi (kaže se da djeluju samo na određeni *supstrat*). Zbog toga što se u živim organizmima može istodobno odvijati vrlo velik broj različitih reakcija među različitim spojevima, i broj je različitih enzima vrlo velik. (Ocjenuje se da u jednoj stanici može biti i do 2000 vrsta enzima.) Koenzima (prostetskih grupa), međutim, ima mnogo manje vrsta nego enzima, jer isti koenzim može biti sastojak većeg broja različitih enzima.

Osim koenzima ili prostetskih grupa, koji su sastojci enzima, često je za uspješno katalitičko djelovanje enzima potrebno prisustvo nekih drugih tvari, koje nisu sastojci enzima; te se tvari nazivaju *aktivatorima*. Neki su aktivatori potrebni zbog toga što organizam ponekad ne proizvodi aktivne enzime, nego «prethodnike» enzima, proenzime ili zimogene, tvari takva sastava da predstavljaju u neku ruku enzime u kojima je aktivnost «maskirana»; ti aktivatori mehanizmom «demaskiranja» pretvaraju proenzim u aktivni enzim. Drugi tip aktivatora djeluje mehanizmom deinhibicije, tj. time što uklanja tvari koje ometaju djelovanje enzima (inhibitore, o njima v. dalje). Neki su enzimi aktivni samo u prisutnosti metalnih iona.

Tvari koje su potrebne da bi određeni protein mogao djelovati kao enzim, dakle koenzimi (odn. prostetske grupe enzima), aktivatori i metali (kao ioni u mediju ili kao sastojci enzima) nazivaju se ponekad *kofaktorima* enzima. (Neki autori upotrebljavaju izraz «kofaktor» kao sinonim za «koenzim».)

Enzimska kinetika. Prisutnost nekog enzima ispoljava se time što se određena reakcija koja se u odsutnosti enzima odvija neizmjerljivo sporo, tj. praktički nikako, ubrzava toliko da joj brzina postaje mjerljiva. Brzina reakcije postignuta djelovanjem enzima mjerja je za njegovu aktivnost, a budući da je pod povoljnim uvjetima proporcionalna količini prisutnog enzima, ona može biti i mjerja za tu količinu. Odatle važnost zakonitosti koje upravljaju brzinom reakcijâ kataliziranih enzimima — enzimske kinetike.

Kemijska reakcija nastaje kad se molekule reaktanata uspješno sudare, tj. kad prosječna energija sudara nadmašuje energetsku barijeru koja određenu reakciju sprečava. Reakcija je to brza što se u jedinici vremena više molekula sudara i što je od ukupnog broja sudara veći broj uspješan. Budući da prisutnost katalizatora ne može povećati ukupni broj sudara među molekulama reaktanata, djelovanje se katalizatora pripisuje tome što oni povećavaju broj uspješnih sudara smanjujući energiju (energiju aktivacije) kojom se moraju sudariti molekule reaktanata da bi reakcija potekla. Prema Arrheniusu (v. *Kemijska kinetika i kataliza*) ovisnost je brzine reakcije o energiji aktivacije eksponencijalna, stoga već malo smanjenje energije aktivacije katalizatorima jako ubrzava reakciju. Povećavanje brzine reakcije enzimima (od praktički nula do velikih vrijednosti) postiže se sniženjem energije aktivacije na 1/3 do 1/2 osnovne vrijednosti.

Enzimi ubrzavaju pretvorbu reaktanata (supstrata) u produkte reakcije (S → P), tj. smanjuju energiju aktivacije, zbog toga što se u prisutnosti enzima ta pretvorba ne ostvaruje izravno, nego se molekule supstrata S povezuju s molekulom enzima E u kompleks enzim-supstrat ES, koji se nakon vrlo kratkog vremena raspada na slobodni enzim i produkte reakcije: E + S → ES → → P + E (sl. 1). Tako regenerirana molekula enzima može se odmah povezati s drugom molekulom supstrata i katalizirati njezin prijelaz u molekulu (molekule) produkta(a). Time se tumači velika aktivnost enzima, tj. pojava da neobično male količine enzima mogu djelovati na velike količine supstrata u kratkom vremenu.

Prema zakonu o djelovanju masa (v. *Kemijska kinetika*), brzina je reakcije proporcionalna koncentraciji reaktanata. U reverzibilnoj reakciji enzima sa supstratom, E + S ⇌ ES, brzina je asocijacije