

OPSKRBA ENERGIJOM U BUDUĆNOSTI

RAZVOJ ISKORIŠTENJA PRIMARNIH OBLIKA ENERGIJE U 20. STOLJEĆU

U 19. stoljeću najveći dio energetske potrebe zadovoljen je izgaranjem drveta, poljoprivrednih otpadaka i životinjskih izmetina, koji se nazivaju neindustrijskim ili nekonvencionalnim gorivima. Prema jednoj procjeni (Putman), u 1860. godini njihov je udio u opskrbi energijom u svijetu iznosio nešto manje od 75%, a u 1900. godini nešto manje od 40%. S razvojem tehnologije i povećanjem životnog standarda neindustrijska goriva se sve više zamjenjuju industrijskim. Tako, prema procjeni Ujedinjenih naroda, u 1950. godini udio nekomercijalnih goriva pada na 15%, a u 1967. godini čak na 4%. I pored toga su za gotovo polovicu stanovništva neindustrijska goriva praktički jedini energetske izvor.

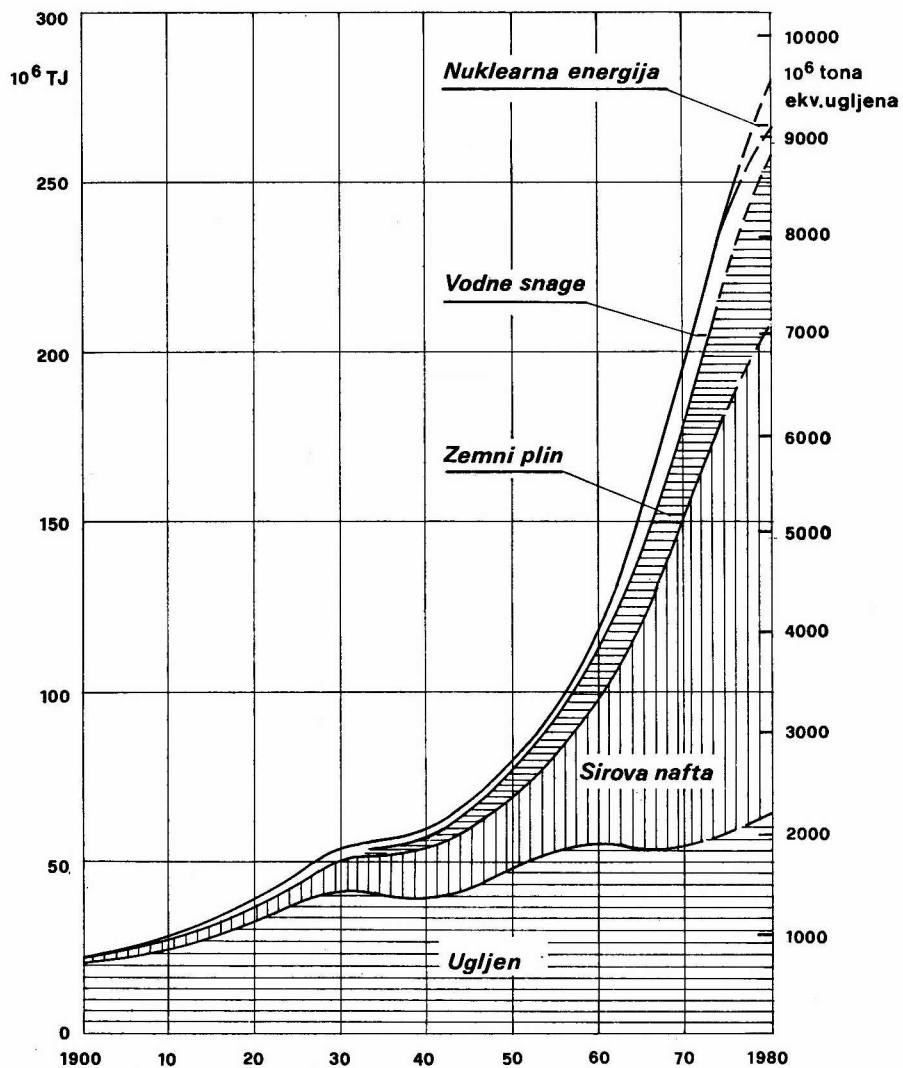
U 20. stoljeću ostvaren je ogroman razvoj (sl. 1) upotrebe industrijskih primarnih energetske oblika (ugljen, sirova nafta, zemni plin i vodne snage). Taj je razvoj posljedica s jedne strane zamjene neindustrijskih goriva, a s druge strane povećanja industrijske proizvodnje, transporta i životnog standarda. Prosječni godišnji porast upotrebe primarnih oblika energije iznosio je u pojedinim razdobljima 20. stoljeća:

1900—1925.	2,85%
1925—1950.	2,30%
1950—1960.	4,02%
1960—1970.	5,48%
1970—1985.	4,59% (prognoza)

Tempo porasta sve se više povećavao, jer se i razvoj industrijalizacije u razvijenim zemljama ubrzavao, a mnoge nerazvijene zemlje počele su se industrijalizirati uz istodobno povišenje životnog standarda. Prema današnjim procjenama teško se može očekivati nastavak takve tendencije porasta, ali uz današnja shvaćanja i nastojanja može se računati s godišnjom stopom porasta od oko 4,5% godišnje, što znači udvostručenje potrebne energije u 15 godina.

Na taj porast utjecat će i povećanje broja stanovnika, ali i povećanje potrošnje oblika energije po stanovniku. Iskorištena primarna energija po stanovniku u svijetu iznosila je:

1900.	14,0 GJ/stanovnik
1925.	22,9 GJ/stanovnik
1950.	32,2 GJ/stanovnik
1960.	39,6 GJ/stanovnik
1970.	55,3 GJ/stanovnik
1985.	80,6 GJ/stanovnik (prognoza)



Sl. 1

Prema tome godišnji je porast upotrebe energije po stanovniku:

1920—1925.	1,99%
1925—1950.	1,37%
1950—1960.	2,09%
1960—1970.	3,40%
1970—1985.	2,54% (prognoza)

Dakle, računa se da će u neposrednoj budućnosti svaki stanovnik udvostručiti upotrebu energije kroz oko 27 godina.

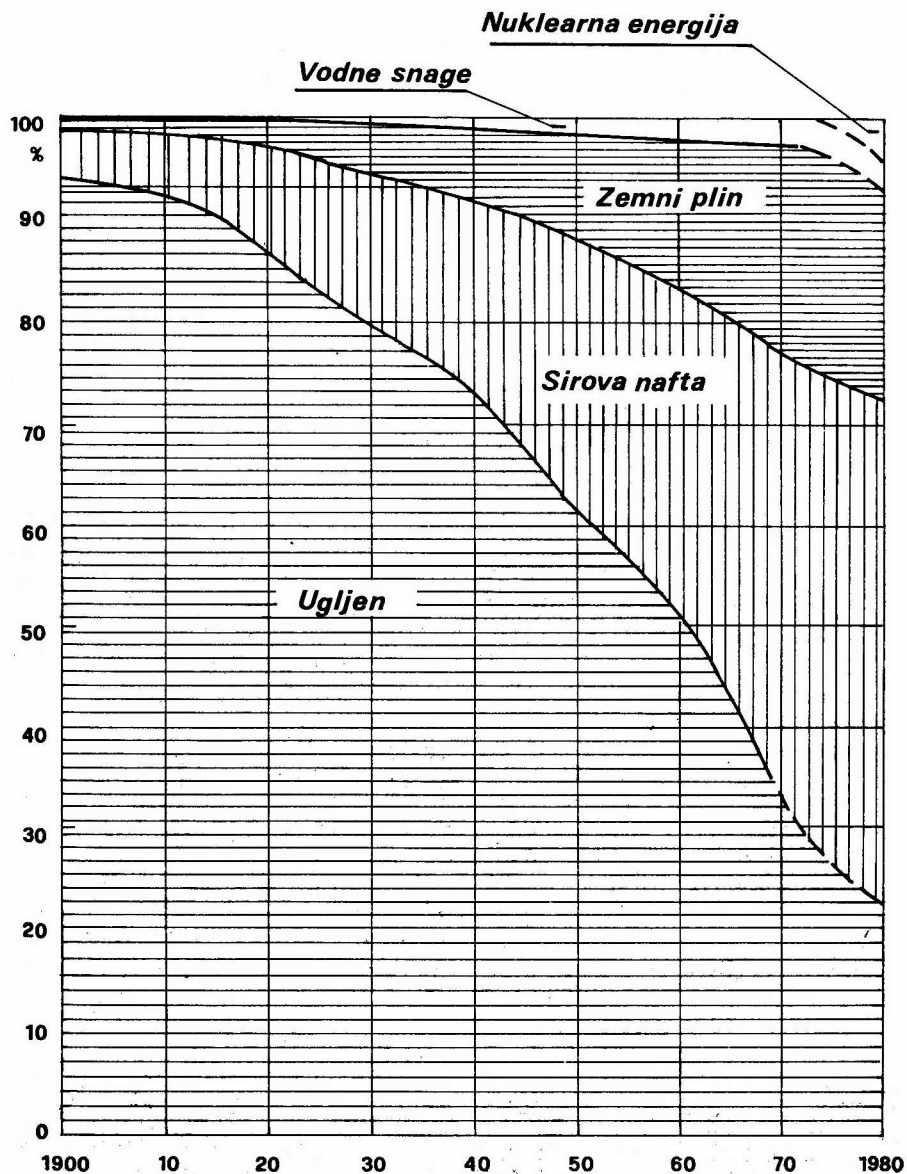
Struktura utrošenih industrijskih primarnih oblika energije znatno se izmijenila tijekom ovog stoljeća.

Početak stoljeća gotovo 95% svih potreba za energijom pokriveno je ugljenom (sl. 2). I pored toga što se eksploatacija više nego udvostručila, udio ugljena je krajem sedmog desetljeća spao na oko jednu trećinu od svih iskorištenih primarnih oblika energije. To se dogodilo unatoč znatnom razvoju eksploatacije nalazišta ugljena koja su neposredno ispod površine tla (dnevni kopovi). Tokom slijedećih desetak godina treba očekivati dalje opadanje udjela ugljena u opskrbi energijom, iako će proizvodnja ugljena postepeno rasti. Naglo povećanje proizvodnje ugljena nije moguće, naime, ostvariti jer je potrebno dugo vrijeme za otvaranje novih i proširenje postojećih rudnika i jer je teško osigurati radnu snagu za podzemne radove. U daljoj budućnosti vjerojatno treba računati s povećanjem sudjelovanja ugljena u opskrbi energijom, pogotovu ako se nađe pogodno tehničko rješenje za plinifikaciju ugljena na samom nalazištu.

Tokom ovog stoljeća sirova nafta je postepeno postala glavni primarni oblik energije. Njezin udio porastao je od 4% u 1900. godini na više od 40% početkom osmog desetljeća. Takav razvoj uvjetovale su s jedne strane relativno niske cijene sve do početka ovog desetljeća, a s druge strane razvoj cestovnog i zračnog prometa, koji je tražio kvalitetna goriva, pa su se na tržištu pojavile znatne količine težih naftnih derivata koji su iz mnogih područja upotrebe istisnuli ugljen (grijanje, proizvodnja električne energije, brodski i željeznički transport). U neposrednoj budućnosti može se očekivati dalji rast udjela sirove nafte, unatoč današnjim visokim cijenama, jer je nemoguća brza preorijentacija na druge oblike energije, i jer je u mnogo slučajeva takva preorijentacija i nemoguća. Takav zaključak vrijedi usprkos naporima koji se čine za smanjenje potrošnje naftnih derivata, i za zamjenu sirove nafte uljem iz uljnih škriljevaca i bituminoznog pijeska.

Zemni plin je sve do otprilike kraja šestog desetljeća iskorištavan praktički samo u SAD (1958. godine u SAD utrošeno je 91% od ukupne potrošnje zemnog plina u svijetu, a u 1971. godini 57%). Kasnije je potrošnja povećana u SSSR-u i Evropi zahvaljujući otkriću nalazišta u Centralnoj Aziji i Nizozemskoj, te dobavi iz Alžira i Libije. Danas se zemnim plinom pokriva oko 20% potreba za ener-

gijom u svijetu. U neposrednoj budućnosti može se očekivati dalje povećanje udjela zemnog plina zbog izgradnje novih transkontinentalnih plinovoda te radi smanjenja zagađivanja okolice što se postiže upotrebom zemnog plina u velikim gradovima. Taj proces plinifi-



Sl. 2

kacije bit će još intenzivniji ako se ostvari ekonomični postupak za plinifikaciju ugljena u samim slojevima.

Vodne snage jesu samo mali postotak od ukupno iskorištenih primarnih oblika energije. One sudjeluju tek s 2% u ukupnoj opskrbi energijom. Razvijene zemlje danas su praktički iskoristile sve svoje vodne snage, ali još postoje velike mogućnosti u industrijski nerazvijenim područjima Afrike, Azije i Južne Amerike. Unatoč tome udio vodnih snaga u opskrbi energijom neće nikada biti znatan, jer su mogućnosti i upotreba ograničeni.

U sedmom desetljeću pojavljuje se novi energetska izvor: nuklearna energija. Do kraja desetljeća može se računati da će taj izvor zadovoljavati 3 do 4% ukupnih energetskih potreba.

REZERVE KONVENCIONALNIH PRIMARNIH OBLIKA ENERGIJE

Kemijski elementi i njihovi spojevi najčešće su fino raspodijeljeni u zemljinoj kori, ali se samo dovoljna koncentracija neke sirovine ili nosioca energije smatra kao rezerva koja se može iskoristiti.

Postoji veći broj kriterija za definiranje rezerva sirovina ili nosioca energije. U ovom prikazu koristit će se kategorizacija rezerva, koju je uvela Svjetska konferencija za energiju u najnovijem pregledu energetskih rezerva (Survey of Energy Resources 1974. US National Committee of the World Energy Conference, New York 1974). Prema toj kategorizaciji razlikuju se dvije kategorije rezerva. Kategorija I obuhvaća rezerve za koje se pretpostavlja da postoje na poznatim nalazištima, a koje su određene iskopavanjem, rudarskim radovima, bušenjem i detaljnijim istražnim radovima, pa je moguće utvrditi vrstu sirovine ili nosioca energije, te debljinu slojeva. Rezerve kategorije I nazvane su 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) spadaju sve ostale rezerve za koje se može pretpostaviti da postoje na temelju poznavanja geoloških uvjeta pogodnih za njihovo postojanje, utvrđenih geološkim istraživanjima, a na osnovu sličnosti geoloških prilika s onima na poznatim nalazištima. Zbroj rezerva kategorija I i II nazvan je ukupne rezerve.

Ugljen i lignit

Ugljen se razlikuje prema ogrjevnoj moći, pa se normalno dijeli na kameni ugljen i na mrki ugljen i lignit. Ne postoji međutim točno definirana granica između tih dviju vrsta 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 te mrkog ugljena i lignita s druge strane navodi ogrjevna moć od 3500 kcal/kg. U ovom pregledu prihvaćena je klasifikacija Svjetske konferencije za energiju, načinjena prema podacima koji su dostavile pojedine zemlje.

U tabl. 1. i 2. nalaze se podaci o iskoristivim, poznatim i ukupnim rezervama kamenog ugljena te mrkog ugljena i lignita po kontinentima. Podaci o rezervama navedeni su posebno u stvarnim količinama ugljena i lignita, a posebno u količinama ekvivalentnog ugljena od 7000 kcal/kg.

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 naime oko 85% svih rezerva ugljena. Prema današnjem stanju istraživanja samo oko 6% od ukupnih rezerva smatra se iskoristivim rezervama, a samo oko 14% poznatim rezervama.

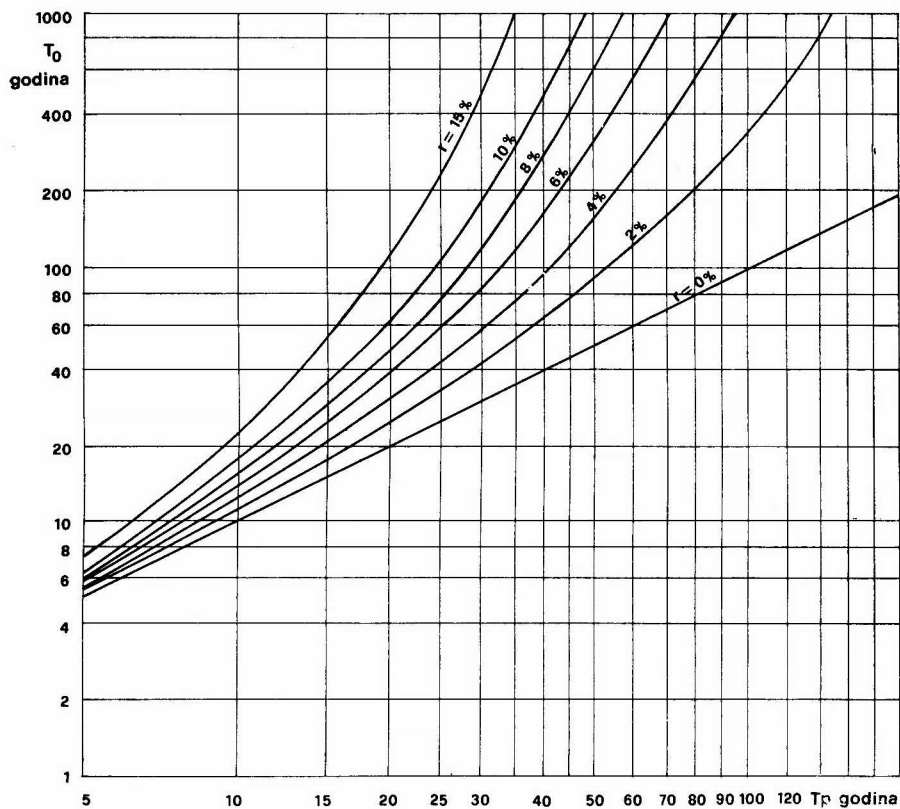
Najveće rezerve kamenog ugljena u Evropi postoje u SR Njemačkoj, Velikoj Britaniji i Poljskoj, a mrkog ugljena i lignita u SRNj i Njemačkoj D. Republici, Jugoslaviji i Poljskoj.

U tabl. 1. i 2. postoje i podaci o proizvodnji u 1972. godini. Tako se vidi da je proizvedeno 2,18.10⁹ tona kamenog ugljena i 0,83.10⁹ tona mrkog ugljena i lignita. Uz nepromijenjenu godišnju proizvodnju poznate rezerve kamenog ugljena dovoljne su za 494 godine, a one mrkog ugljena i lignita za 413 godina.

Ovdje je nužno nešto reći o trajanju rezervi. Ako se poznate rezerve nekog nosioca energije podijele s današnjom potrošnjom odnosno proizvodnjom, dobiva se tzv. stacionarno trajanje rezervi. To je broj godina trajanja rezervi uz pretpostavku konstantne potrošnje odnosno proizvodnje. Normalno se, međutim, računa s porastom potrošnje zbog privrednog i industrijskog razvoja. Kad se računa s porastom potrošnje, dolazi se do znatno kraćeg trajanja rezerva. Na sl. 3. vidi se odnos između stacionarnog trajanja rezervi T_0 i stvarnog trajanja rezervi T_p u ovisnosti o konstantnoj godišnjoj stopi porasta potrošnje (r). Da se ukaže na utjecaj porasta potrošnja na trajanje rezerva navedimo podatke o stvarnom trajanju rezerva za stacionarno trajanje rezerve od $T_0 = 200$ godina. Stvarno trajanje rezerva iznosi:

Za $r = 2\%$	$T_p = 81$ godina
4%	57 godina
6%	43 godine
8%	36 godina
10%	32 godine
15%	24 godine

Prema tome, podatak o stacionarnom trajanju rezerva ne kazuje mnogo i može dovesti do pogrešnih zaključaka ako se pravilno ne interpretira.



Sl. 3

Sirova nafta

Ocjene ukupnih rezerva sirove nafte znatno se međusobno razlikuju i kreću se između $218,5 \cdot 10^9$ tona (Torrey, P. D. i dr.: World Oil Resources, Sixth World Petroleum Congress Proceedings, Frankfurt-am Main 1963) do $1837,7 \cdot 10^9$ 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). Zbog toga je danas nemoguće govoriti o ukupnim rezervama sirove nafte. To je posljedica pomanjkanja opće prihvaćenih principa za određivanje ukupnih rezerva.

U tabl. 3. navedeni su podaci samo o iskoristivim rezervama po kontinentima, koje su 2 do 20 puta manje nego navedene ukupne rezerve. U tabl. 4. nalaze se podaci o iskoristivim rezervama u zemljama s najvećim iskoristivim rezervama. Najveće rezerve sirove

nafte nalaze se u Aziji (oko 60%) od čega najveći dio otpada na područje oko Perzijskog zaljeva (oko 55% svih svjetskih rezerva). U Evropi najveće rezerve postoje u Vel. Britaniji, Norveškoj, Rumunjskoj, Mađarskoj i Jugoslaviji.

U tabl. 3. i 4. nalaze se i podaci o ostvarenoj proizvodnji sirove nafte te o trajanju rezervi uz nivo proizvodnje u 1972. godini. U Vel. Britaniji je trajanje rezerva 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. 3. ukupne iskoristive rezerve sirove nafte u svijetu dovoljne su samo za 37 godina uz nivo proizvodnje u 1972. godini. 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.

Zemni plin

Za ukupne rezerve zemnog plina vrijedi sve ono što je rečeno za ukupne rezerve sirove nafte. Ocjene se kreću 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 Society of Japan, Tokio 1972) i $1152,1 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ (citirani rad Albers, J. P. i dr.).

U tabl. 5. navedene su iskoristive rezerve zemnog plina po kontinentima, a u tabl. 6 u zemljama s najvećim rezervama.

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

Trajanje rezerva zemnog plina vrlo je slično trajanju rezerva sirove nafte.

Vodne snage

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

Oko $400 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ vode isparava godišnje iz mora i s površine tla djelovanjem topline sunca. Najveći dio te vode u obliku kiše ili snijega pada natrag u more, ali oko $100 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ pada na kopno. Od toga $63 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ ponovno isparava, a samo oko $37 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$ protječe vodotocima u more. Kontinenti imaju prosječnu nadmorsku visinu oko 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 korištenje ovisi o topografiji uzduž vodotoka (mogućnost izgradnje brana, kanala i tunela), jer su protoci vrlo promjenljivi tokom godine pogotovu na višim nadmorskim visinama (potoci, bu-

jice), zato što se ne računa s iskorištenjem svih voda koje se pojavljuju u vodotocima (pre malo 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 u hidroelektranama moguće proizvesti oko $12,5 \cdot 10^8$ TWh godišnje odnosno oko 16% od ukupne energije vodotoka.

U tabl. 7. 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 oko 13% (stanje 1972. godine), iako su vodne snage u Evropi u znatnoj mjeri već iskorištene (preko 50%).

Nuklearna goriva

Među nuklearna goriva ubrajaju se uran i torij. U termičkim reaktorima, kakvi se danas grade, iskorištava se prirodni ili obogaćeni uran (uran s većim sadržajem izotopa U-235 nego u prirodnom uranu). U termičkim reaktorima koristi se tek oko 1% nuklearne energije prirodnog urana. U oplodnim reaktorima, međutim, za koje se očekuje da će se krajem slijedećeg desetljeća moći komercijalno graditi, moći će se — prema današnjim procjenama — koristiti 60% nuklearne energije prirodnog urana. Torij će se u prvom redu iskorištavati u oplodnim generatorima, iako će se određene količine torija moći iskoristiti i u visokotemperaturnim termičkim reaktorima.

Rezerve urana najčešće se dijele u tri grupe, a prema proizvodnoj cijeni urana. U prvu grupu spadaju rezerve po proizvodnoj cijeni do 26 \$ po kg elementarnog urana, a u drugu grupu po cijeni između 26 i 39 \$ po kg, a u treću grupu uran po cijeni između 39 i 77 \$ po kg. Normalno nedostaju podaci za treću grupu. U tabl. 8. nalaze se podaci o sigurnim i dodatnim rezervama urana u zemljama za koje se podaci objavljuju. Osim toga u spomenutoj tablici nalaze se podaci o količini energije koja se može dobiti raspadanjem urana u termičkim i oplodnim reaktorima iskorištavanjem sigurnih i dodatnih rezerva urana. Usporedbe radi navedimo podatak da u sigurnim rezervama urana koje spadaju u prvu grupu (oko $1000 \cdot 10^3$ tona) ima toliko energije koliko bi se moglo proizvesti kroz oko 1000 godina korištenja 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 opravdano iskorištavati uran znatno viših proizvodnih cijena nego u termičkim reaktorima. U tom slučaju ima opravdanja upotrijebiti uran i do 200 \$/kg (uz toliku proizvodnu cijenu ocjenjuje se da rezerve urana iznose i stotine milijuna tona), pa i do 500 \$/kg (tada rezerve iznose i hiljade 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 torija su znatno manje poznate, jer je danas upotreba torija vrlo ograničena (za plinske mrežice, za legure dijelova aviona), a na iskorištenje u oplodnim reaktorima trebat će čekati dva-tri desetljeća. Današnje poznavanje rezerva torija posljedica je istraživanja drugih metala (titana, cirkonija). U tabl. 9. nalaze se podaci o sigurnim i dodatnim rezervama torija razvrstanim u dvije grupe prema proizvodnim troškovima.

NEKONVENCIONALNI OBLICI ENERGIJE

Osim dosada iskorištavanih konvencionalnih oblika energije, postoji još cijeli niz oblika od kojih će neki vjerojatno u budućnosti postati osnova za opskrbu energijom. Razmotrimo te mogućnosti.

Ulje iz uljnih škriljevaca i bituminoznog pijeska

Važan potencijalni energetski izvor jesu spojevi ugljika i vodika, koji nisu tekući, a koji se nalaze u škriljevcima i pijesku bogatom organskim materijama, i nazivaju se uljnim škriljevcima i bituminoznim pijeskom. Ovi spojevi se razlikuju od sirove nafte, jer su oni vrlo gusti ili kruti, pa ih se ne može eksploatirati metodama kojima se eksploatiraju rezerve sirove nafte. Organski spojevi u uljnim škriljevcima sličje vosku, a spojevi dobiveni od bituminoznog pijeska odgovaraju teškom bitumenu. Najčešće se uljni škriljevci i bituminozni pijesak nalaze znatno bliže površini nego sirova nafta i to u slojevima slično ugljenu.

Sadržaj ulja kreće se od nekoliko stotinka m³ po toni škriljevaca odnosno pijeska, do 0,6 m³/t u bogatim nalazištima. Danas se smatra da je ekonomična eksploatacija samo onih rezerva koje sadrže najmanje 0,1 m³ ulja po toni škriljevca odnosno pijeska.

Do sada su u vrlo malom opsegu eksploatirani uljni škriljevci i bituminozni pijesak za proizvodnju ulja, jer je bilo ekonomičnije koristiti sirovu naftu i zemni plin. U Kanadi je od 1967. godine u pogonu postrojenje za proizvodnju sintetičke sirove nafte iz bituminoznog pijeska (godišnja proizvodnja oko 3.10⁶ tona). U istu svrhu

iskorištava se bituminozni pijesak u Albaniji, SSSR-u i Rumunjskoj.

Danas se ne može načiniti točniji pregled rezerva ulja u škriljevcima i pijesku, jer dosada u većini zemalja nisu vršena detaljnija istraživanja.

U tabl. 10. navedene su poznate i moguće rezerve ulja u uljnim škriljevcima i bituminoznom pijesku po kontinentima. Moguće rezerve treba dodati poznatim rezervama. One su određene na osnovu geoloških predviđanja na određenim područjima. U tabl. 11. nalaze se podaci o iskoristivim rezervama ulja iz škriljevaca i pijeska u zemljama s najvećim poznatim rezervama. Prema nekim najnovijim procjenama rezerve su ulja u škriljevcima i pijesku i 20 puta veće od onih navedenih u tabl. 10. (Culbertson, W. C. i dr.: Oil Shale, U. S. Mineral Resources, U. S. Government Printing Office, Washington 1973).

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

Geotermička energija

Prirodno raspadanje radioaktivnih elemenata (u prvom redu urana, torija i kalija), koji se nalaze u svim stijenama, proizvodi ogromnu termičku energiju ($4 \cdot 10^{18}$ TJ, $1,4 \cdot 10^{20}$ t ekv. ugljena). Difuzija unutrašnje topline vrlo je polagana i izaziva srednji temperaturni gradijent od 10°C po km i to za prvih 100 km od površine. Energija koja se provođenjem dovodi na površinu ima vrlo malu gustoću ($5,4 \text{ kJ/m}^2$ dnevno).

Kad u unutrašnjosti Zemlje voda dođe u dodir s vrućim stijenama, ugrije se na temperaturu od nekoliko stotina $^{\circ}\text{C}$. Ako je stijenje propusno, ugrijava će se voda pojaviti na površini kao vruća voda ili para. U nepropusnim stijenama zagrijana voda ostaje zatvorena, a pojaviti će se na površini samo kroz umjetno stvorenu bušotinu. Drugo stijenje toliko je nepropusno da do njega ne može ni stići voda s površine. Ono se može iskoristiti kao energetski izvor samo upuštanjem vode i odvođenjem vodene pare kroz bušotine izvedene na pogodnim mjestima. U nekim slučajevima bit će vjerojatno potrebno podzemne stijene razbiti eksplozivom, ili na neki drugi pogodan način, da se osigura dovoljna površina za prijelaz topline.

Budući da je uz današnju tehnologiju, dubina bušenja ograničena do 10 km ispod površine tla, samo geotermička energija u stijenama do te dubine dolazi u obzir za iskorištavanje. Ukupna energija u tim stijenama iznosi $1,2 \cdot 10^{15}$ J ($4,1 \cdot 10^{16}$ t ekv. ugljena). Ta je energija oko 5000 puta veća od energije u ukupnim svjetskim rezervama ugljena, što osigurava opskrbu energijom dugo godina u budućnosti.

U neposrednoj budućnosti i do časa kad bude ostvarena tehnologija, koja će omogućiti iskorištavanje energije vrućih stijena, bit će moguće upotrijebiti samo hidrogeotermičku energiju (prirodne vruće izvore) kao energetska izvor. Takve energije, međutim, ima mnogo manje. Računa li se s iskorištavanjem do dubine do 3 km, rezerve su hidrogeotermičke energije $8,10^9$ J ($2,7 \cdot 10^{11}$ t ekv. ugljena), a do dubine od 10 km oko 5 puta više. To je tek 3% odnosno oko 15% od ukupnih svjetskih rezerva ugljena.

Veliki dio vrućih izvora ima, međutim, preniske temperature za proizvodnju vodene pare potrebne za proizvodnju električne energije, pa se mogu upotrijebiti samo za grijanje prostorija i slične namjene. Procjenjuje se da samo 4% od ukupne hidrogeotermičke energije može osigurati proizvodnju vodene pare s karakteristikama pogodnim za pogon parnih turbina. Računa li se sa stupnjem djelovanja od 25% pri transformaciji energije pare u električnu energiju (niski tlak i niska temperatura!), moglo bi se tom energijom proizvesti nešto manje od 500 TWh godišnje, a to je tek deseti dio današnje svjetske proizvodnje električne energije.

Danas se hidrogeotermička energija za proizvodnju električne energije iskorištava u Italiji (godišnja proizvodnja oko 2600 GWh), u Novom Zelandu (oko 1150 GWh godišnje), u SSSR-u (snaga 40 MW), na Islandu, a u gradnji su postrojenja u Japanu, SAD i Meksiku.

Energija plime i oseke

Plima i oseka su posljedice djelovanja Sunca i Mjeseca na vode u oceanima. Amplituda i frekvencija plime i oseke različite su na pojedinim obalama. Na Atlantskoj obali zapadne Evrope vremenski je razmak između dviju plima 12 sati i 25 minuta, na Tahitima točno 12 sati, a na obalama Indokine zabilježena je samo jedna plima u 24 sata. Amplituda plime u Sredozemnom i Baltičkom moru iznosi samo nekoliko decimetara, u Atlantskom, Indijskom i Tihom oceanu prosječno 6 do 8 metara, a na pojedinim mjestima obale u zapadnoj Francuskoj i u jugozapadnom dijelu Velike Britanije, pa i na drugim obalama, dostiže i preko 12 m.

Amplituda plime nije uvijek jednaka; ona se mijenja u dosta širokim granicama ovisno o međusobnom položaju Sunca, Mjeseca i Zemlje. Vrlo visoka plima pojavljuje se za vrijeme proljetnog i jesenskog ekvinocija, visoka plima jedan ili dva dana nakon mladog i punog mjeseca, a niska plima jedan ili dva dana nakon prve i druge četvrtine mjeseca.

Za energetska iskorištavanje plime i oseke potrebno je odabrati pogodno mjesto na obali, na kojem se pojavljuju velike amplitude plime i na kojem postoji mogućnost — izgradnjom pregrade — izolirati dio morske površine radi stvaranja akumulacijskog bazena. Najjednostavniji se način iskorištavanja plime i oseke postiže ugrad-

njom turbina koje rade samo u jednom smjeru strujanja vode (npr. za vrijeme pražnjenja akumulacijskog bazena tj. za vrijeme oseke). Tada se u pregradu ugrađuje i zapornica, koja se otvara npr. za vrijeme punjenja bazena tj. za vrijeme plime. Da se produlji trajanje pogona, postavljaju se turbine koje rade u oba smjera strujanja vode: iz bazena i u bazen.

Kakav god se, međutim, odabere način iskorištavanja energije plime i oseke, ne može se ostvariti kontinuirani pogon (pogon se mora obustaviti kad su razlike razina male), a niti konstantna snaga (razlika razina se mijenja!). To pokazuje da se energija plime i oseke ne može iskorištavati izolirano, bez suradnje s drugim postrojenjima za proizvodnju električne energije.

Ukupna energija plime i oseke procjenjuje se na 26.10^9 TWh ($3,2.10^9$ t ekv. ugljena) godišnje. Trećina te energije gubi se u plitkim morima. Srednja amplituda plime na oceanskim širinama manja je od jednog metra, a iskorištavanje je ekonomski opravdano samo u zaljevima s dovoljno velikom amplitudom. Proizvodnja električne energije, naime proporcionalna je kvadratu amplitude i prvoj potenciji površine pregrađenog zaljeva, a troškovi izgradnje najviše ovise o širini ulaza u zaljev, odnosno o duljini pregrade. Danas se smatra da je neekonomično iskorištavanje plime i oseke s amplitudom manjom od 2 m. Zbog svega toga računa se da je samo 2% iskorištivo od ukupne energije plime i oseke i to je 520 TWh godišnje, što odgovara jednoj desetini današnje godišnje proizvodnje električne energije u svijetu.

Danas su izgrađene samo dvije elektrane na plimu i oseku (La Rance u Francuskoj i Kislaja Guba u SSSR-u).

Energija vjetra

Energija vjetra pojavljuje se u obliku kinetičke energije. Ona je proporcionalna masi zraka u jedinici vremena i kvadratu brzine strujanja. Budući da je masa zraka u jedinici vremena proporcionalna brzini, snaga vjetra je proporcionalna trećoj potenciji brzine, a budući da se brzina vjetra brzo mijenja, još brže će se mijenjati snaga vjetra.

Iskorištenje energije vjetra nepogodno je ne samo zbog vrlo brzih promjena snage i nego i zbog male gustoće energije. Ako npr. dimenzioniramo postrojenje za maksimalnu brzinu vjetra od 10 m/s (što odgovara 5. stupnju Beaufortove skale), maksimalna iskoristiva snaga vjetra iznosi $0,37 \text{ kW/m}^2$, a na priključnicama generatora dobiva se maksimalno tek oko $0,2 \text{ kW/m}^2$ zbog gubitaka u zračnoj turbini i generatoru.

Smatra se da je ukupna energija vjetra $2,6 \cdot 10^{12}$ TWh ($3,2 \cdot 10^{17}$ t ekv. ugljena) godišnje, ali kad se računa sa strujanjem i do najviših dijelova atmosfere. Iskoristiva energija mnogo je manja, jer se tornjevi kao nosioci vjetrenjača mogu izgraditi do ograničene visine. Zbog toga se računa da iskoristivi dio iznosi između $1 \cdot 10^4$ TWh ($1,2 \cdot 10^9$ t ekv. ugljena) i $2 \cdot 10^5$ TWh ($2,5 \cdot 10^{10}$ t ekv. ugljena) godišnje. Računajući sa iskorištavanjem kroz 100 godina, iskoristivom energijom vjetra može se zamijeniti od 1,5 do 30% ukupnih rezerva ugljena. Razlike u procjeni iskoristive energije nastaju zbog različitih pretpostavka o visini tornjeva i o minimalnoj korisnoj brzini vjetra.

U posljednje vrijeme, zbog poskupljenja sirove nafte, ponovno je porastao interes za iskorištavanje energije vjetra. U jednoj novijoj studiji predložena je izgradnja oko 60000 tornjeva visine 300 m na površini od 90000 km² (Great Plains, SAD). Na svakom tornju postavila bi se zračna turbina promjera 65 m, kojom bi se postigla snaga od 3,2 MW, pri brzini vjetra od 17 m/s, i godišnja proizvodnja od 8,5 GWh/god. Maksimalna snaga iznosi oko 190000 MW, a postignuta snaga ovisi o brzini vjetra koja se vrlo brzo mijenja. Brzina vjetra može se i u vremenu kraćem od jednog sata promijeniti između optimalne i minimalne vrijednosti.

Zbog vrlo brzih promjena snage i zbog nepredvidivosti tih promjena udio elektrana sa zračnim turbinama ne može biti veći od 10% u snazi svih elektrana elektroenergetskog sistema, jer će se tada ostale elektrane moći prilagoditi brzim promjenama opterećenja, koje su posljedica promjene u elektranama sa zračnim turbinama. Moguće je, međutim, povećati udio tih elektrana, ako se osigura akumuliranje energije. Električni akumulatori nisu pogodni zbog vrlo malog kapaciteta. U brdovitim predjelima akumuliranje je moguće pomoću pumpno-akumulacijskih postrojenja, ali je i tada akumulirana energija ograničena na relativno male iznose. Danas se proučavaju druge metode. Viškom električne energije komprimira se zrak, koji se sprema u nadzemne ili podzemne rezervoare. Taj se zrak u pogodnom času upotrebljava za pogon plinskih turbina. Višak se električne energije može iskoristiti za elektrolizu vode. Tako dobiveni vodik može poslužiti kao gorivo ili tako dobivenim vodikom i kisikom proizvodi se električna energija u gorivim ćelijama. Spremanjem vodika odnosno vodika i kisika u rezervoare postiže se vremenska neovisnost između proizvodnje električne energije u elektroenergetskom sistemu i upotrebe energije kod potrošača.

Troškovi za uskladištenje energije ili za dopunske elektrane drugih tipova kad je udio elektrana sa zračnim turbinama visok, mogu biti veći od troškova za izgradnju postrojenja za iskorištavanje energije vjetra. Tada najvjerojatnije nestaju sve ekonomske prednosti upotrebe energije vjetra kao primarnog energetskog izvora.

Neposredno iskorištavanje Sunčeva zračenja

Dotok energije Sunčevim zračenjem naziva se solarna konstanta, koja je 1400 W/m^2 pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca, uz upadni kut od 90° zanemarujući djelovanje atmosferske apsorpcije. Pri prolazu kroz atmosferu dio se energije troši u složenim procesima, a dio se reflektira i reemitira u svemir. Tu energiju treba odbiti od ukupnog dotoka da se dođe do onog dijela apsorbiranog na površini Zemlje. Od ukupnog dotoka energije 66% dopire do površine zemlje, pa dotok iznosi prosječno 920 W/m^2 . Reflektirana energija mijenja se, naime, sa stanjem oblačnosti i s promjenama na površini (sniježni pokrivač i sl.). Uzevši u obzir projekciju površine zemlje ($127,6 \cdot 10^6 \text{ km}^2$), dotok energije do površine zemlje iznosi $117,10^9 \text{ MW}$. Zbog rotacije Zemlje ta se energija raspodjeljuje po cijeloj površini Zemlje ($510,1 \cdot 10^6 \text{ km}^2$), pa je prosječni dotok energije 230 W/m^2 , odnosno $5,52 \text{ kWh/m}^2$ dnevno. To su naravno prosječne vrijednosti, a stvarne ovise o geografskoj širini, o dobi dana i o pojavi oblaka.

Budući da je Sunčeva energija raspoloživa samo kroz dio dana, a osim toga ovisna o stanju oblačnosti, postrojenja u kojima se vrši pretvorba energije zračenja u pogodniji energetski oblik mogu raditi samo u ritmu dnevnog ciklusa (pogon danju, a prekid pogona noću i u oblačnim danima), što se normalno ne poklapa s ritmom potražnje energije. Zbog toga je nužno ili izgraditi dodatna postrojenja, koja bi bila u pogonu kad je energija Sunčeva zračenja nedovoljna za zadovoljenje potreba, ili u bilo kojem obliku osigurati akumuliranje energije, kojom bi se opskrbljivali potrošači u toku noći i u oblačnim danima. To će svakako povećati troškove iskorištavanja Sunčeva zračenja. Da se izbjegnu te poteškoće, pomišlja se na ugradnju solarnih elemenata na umjetne satelite u kojima bi se vršila dalja pretvorba energije (mikro-valovi) koja bi se zračila prema Zemlji.

Zbog svega toga valja očekivati da će se Sunčevo zračenje, kao energetski izvor, više upotrebljavati u područjima manjih geografskih širina s malim brojem oblačnih dana. U područjima s mnogo oblačnih dana, bit će, naime, potrebna dodatna postrojenja na bazi drugih primarnih oblika energija da se izbjegne akumuliranje vrlo velikih količina energije.

U usporedbi s većinom drugih oblika energije, Sunčevo zračenje je energetski izvor male gustoće i to je razlog što on do danas nije iskorištavan u većoj mjeri osim u solanama, za specijalne metalurške postupke, a samo u nekim područjima i za pripremu tople vode za kućanstvo.

U budućnosti valja bez sumnje očekivati veću različitost u iskorištavanju Sunčeva zračenja: od malih instalacija za grijanje stanova i pripremu tople vode za kućanstva i industriju do postrojenja velikih snaga za proizvodnju električne energije. Male instalacije već danas postoje i nije potreban veliki razvoj da se njihova upotreba

znatno proširi. Nasuprot tome iskorištavanje Sunčeva zračenja za proizvodnju električne energije u velikim količinama traži i veliki napor da se dokaže tehnička izvodivost i ekonomska opravdanost.

Energija unutrašnje kaloričke energije mora

Dovođenjem tople vode s površina mora u prostor dovoljno niskog tlaka, voda će ispariti, pa se tako dobivena para može iskoristiti za pogon parne turbine, ako je kondenzator hlađen vodom iz većih dubina, koja ima nižu temperaturu. U turbini se, dakle, iskorištava razlika između temperatura na površini i u dubini mora, odnosno razlika između tlakova koji odgovaraju tim temperaturama. Da bi takav proces bio tehnički izvediv, potrebno je da razlika temperatura iznosi 16 do 20° C. Ta razlika temperatura pojavljuje se samo u tropskim i suptropskim područjima.

Prvo i jedino takvo postrojenje snage 22 kW izgrađeno je 1919. godine na Kubi. Ono je pokazalo tehničku mogućnost iskorištavanja toga energetskog izvora, ali nije našlo praktičnu primjenu zbog visokih troškova izgradnje.

Procijenjeno je da bi se u takvim postrojenjima moglo proizvesti $600 \cdot 10^3$ TWh električne energije, a to je oko 100 puta više nego današnja svjetska proizvodnja električne energije. Budući da se ta energija može praktički iskorištavati samo u malom broju područja (potrebna je dovoljna dubina blizu obale), te budući da je potrošnja električne energije u tropskim i suptropskim područjima malena, ne može se u bližoj budućnosti očekivati veće iskorištenje tog primarnog oblika energije.

Fuzija lakih atoma

Spajanjem lakih atoma kao i pri raspadanju teških atoma, pojavljuje se defekt mase, pa se razlika mase pojavljuje kao toplinska energija.

Da se dođe do spajanja (fuzije) jezgara, potrebno je da jezgre imaju dovoljno veliku kinetičku energiju, da bi se svladale odbojne sile među jezgrama koje su pozitivno nabijene. Veliku energiju imaju atomi pri visokim temperaturama, pa će njihova kinetička energija biti tim veća što je temperatura viša. Prema tome, da bi se atomi spojili, potrebno je postići vrlo visoke temperature (reda 10^6 K) i dovoljnu gustoću plinova da se osigura dovoljan broj spajanja u jedinici vremena. Osnovna je poteškoća dovođenje tako ugrijanih plinova (plazme) na tako visoke temperature i njihovo vođenje da ne bi došli u dodir sa stijenkama, jer nema nijednog materijala koji bi i približno mogao podnijeti takvo ugrijavanje.

Dosadašnja nastojanja da se dođe do kontrolirane fuzije nisu uspjela, iako je prije više od dvadeset godina (1952. godine) uspjelo ostvariti nekontrolirano spajanje lakih atoma (termonuklearna bomba).

Danas se smatra da će se u fuzijskim reaktorima prve generacije upotrijebiti spajanje deuterija i tricija kao energetskog izvora. Za taj proces potrebni su izotop litija (Li-6) i deuterij kao gorivo. U reakciji između Li-6 i neutrona nastaju naime tricij i helij. U daljoj budućnosti, ako bude potrebno, dolazi u obzir spajanje atoma deuterija.

U prirodnom litiju ima 7,42% Li-6, a u fuzijski reaktor moći će se dovoditi prirodni litij ili litij obogaćen izotopom Li-6.

Litij je element koji je relativno rijedak u stijenama (30 dijelova na milijun), a petnaesti je element po koncentraciji u morskoj vodi, u kojoj ga ima 0,13 dijelova na milijun (urana ima samo 0,003 dijelova na milijun). Dobiva se od različitih minerala pegmatita (lepidolit, petalit, enkriptit) koji sadrže 0,3 do 10% litija. Potražnja litija danas je vrlo slaba (oko 3500 t/god), a poznate su svjetske rezerve od $5 \cdot 10^6$ t. Stanje je slično kao s rezervama torija, jer su poznate rezerve za današnju razinu potrošnje dovoljne i za tisuću godina. Zbog toga dosadašnja istraživanja nisu bila intenzivna. Osim toga udio troškova za gorivo u ukupnim troškovima proizvodnje električne energije pomoću oplodnih i fuzijskih reaktora tako je mali, da će biti podnosivi i znatno viši proizvodni troškovi torija i litija od današnjih. Na kraju, rezerve su litija u slanim močvarama i moru praktički neiscrpne.

Deuterij je vodikov izotop, koji čini 0,015% prirodnog vodika. Može se ekonomično odijeliti od vode kao »teška voda« (D₂O) destilacijom, elektrolizom i kemijskom zamjenom. Budući da se teška voda upotrebljava kao moderator u termičkim reaktorima, ona se danas proizvodi u većem opsegu (Kanada, SAD, SSSR). Ona je, dakle, sirovina za proizvodnju deuterija, pa su njegove rezerve ogromne.

Energija fuzije, iskorištavajući Li-6 i deuterij, predstavlja praktički neizmjerni energetski izvor. Tona Li-6 ima energiju 99,4 TWh ($12 \cdot 10^6$ t ekv. ugljena), a tona deuterija 65,9 TWh ($8,1 \cdot 10^6$ t ekv. ugljena).

Ako se računa sa stupnjem djelovanja koji se postiže u današnjim modernim termoelektranama (40 %), za današnju godišnju svjetsku proizvodnju električne energije bilo bi dovoljno oko 150 t Li-6 ili 230 t deuterija. Valja, međutim, očekivati bolji stupanj djelovanja fuzijskih reaktora nego današnjih termičkih procesa.

Računa li se samo s danas poznatim rezervama litija ($5 \cdot 10^6$ t), rezerve Li-6 iznose $0,37 \cdot 10^6$ t a energije $37 \cdot 10^6$ TWh ($4,5 \cdot 10^{12}$ t ekv. ugljena), a to je nešto više od polovice energije u ukupnim rezervama ugljena. U moru se nalazi oko $13 \cdot 10^9$ tona Li-6, što odgovara energiji od $13 \cdot 10^{12}$ TWh ($1,6 \cdot 10^{17}$ t ekv. ugljena). Iz litija se, dakle,

može dobiti oko 20000 puta više energije nego iz ukupnih rezerva ugljena odnosno toliko energije koliko iznosi energija Sunčeva zračenja koja dopire do površine Zemlje kroz 1300 godina.

U toni vode nalazi se 34 g deuterija. Za dobivanje 1 tone deuterija treba, dakle, »preraditi« $29,4 \cdot 10^3$ tona vode, pa se u morima nalazi oko $52,10^{12}$ t deuterija, što odgovara energiji od $3,4 \cdot 10^{15}$ TWh. Energija spajanja deuterija 2500 puta je veća od energije Li-6, a to je neizmjerni izvor energije koji bi mogao zamijeniti Sunčevo zračenje kroz više od 3 milijuna godina.

ZAKLJUČAK

Prema svemu izloženom u budućnosti neće biti nestašice primarnih energetskih oblika energije. Postoje naime još znatne rezerve konvencionalnih oblika energije, a pogotovo su znatne rezerve ugljena i lignita. Rezerve sirove nafte i zemnog plina veće su od onih koje se danas iskazuju kao iskoristive rezerve. To pokazuje novootkrivene rezerve sirove nafte (Škotska, Norveška) i zemnog plina (Nizozemska, Norveška). Neiskorištene vodne snage još su vrlo velike u zemljama u razvoju, a pogotovo u nerazvijenim zemljama. Znatne rezerve tekućih goriva predstavljaju uljni škriljevci i bituminozni pijesak, pa je vjerojatno da će ulje od takvih minerala u neposrednoj budućnosti zamijeniti derivate sirove nafte. Ta zamjena bit će to brža i temeljitija što se brže budu podizale cijene sirove nafte. Pogodniji način iskorištavanja plinovitih goriva usmjerava istraživanja na plinifikaciju ugljena. Najpovoljnije je rješenje plinifikacija ugljena u samim slojevima, a bez opsežnih rudarskih radova. Danas se mnogo radi na tom području kao i na proizvodnji sintetičkog metana, kojim bi se zamijenio prirodni zemni plin. Takvo rješenje bitno bi izmijenilo strukturu potrošnje, a ugljen bi našao novo područje iskorištavanja.

S druge strane smatra se da ne bi trebalo forsirati potrošnju goriva, jer se njihovim izgaranjem povećava sadržaj ugljičnog dioksida u atmosferi. Danas nije moguće utvrditi do koje je dopuštene granice moguće povećati koncentraciju ugljičnog dioksida a da ne dođe do ireverzibilnih promjena u atmosferi i na površini Zemlje (povišenje temperature, otapanje ledene kape na polovima). Zbog toga se smatra da je korisno primijeniti one energetske transformacije u kojima nema izgaranja pa ni proizvodnje ugljičnog dioksida. To su u prvom redu po značenju nuklearna energija i neposredno iskorištavanje Sunčeva zračenja. Po tehničkom razvoju nuklearna energija ima danas najveće značenje. Upotreba termičkih reaktora s malim faktorom konverzije ima relativno mali vremenski domet, jer je iskorištavanje nuklearne energije vrlo maleno (oko 1%), pa će brzo biti iscrpljene rezerve jeftinog urana. Sasvim druga se slika o rezervama nuklearne energije dobiva kad se uzme u obzir iskori-

štavanje urana i torija u oplodnim reaktorima u kojima je faktor konverzije veći od 1, što znači da se proizvodi više nuklearnog goriva nego što se troši. Između tih dvaju tipova reaktora danas se razvijaju visokotemperaturni tipovi termičkih reaktora, koji imaju povoljan faktor konverzije (veći od 1), ali za koje nije potrebno tako koncentrirano nuklearno gorivo (visoko-obogaćeni uran ili plutonij) kao za oplodne reaktore.

Danas se pojavljuje dilema o tome da li treba dopustiti komercijalno iskorištavanje oplodnih reaktora. Ta dilema nije posljedica tehnoloških poteškoća koje se pojavljuju u pogonu eksperimentalnih oplodnih reaktora (poteškoće s tekućim natrijem). Ona je u prvom redu, kako se čini, uzrokovana opasnošću od diverzija, jer se u oplodnom reaktoru nalazi nuklearno gorivo u takvoj koncentraciji od kojeg se bez većih teškoća može načiniti nuklearna bomba. Iskustvo pokazuje naime da se gotovo nikakvim mjerama osiguranja ne mogu spriječiti dobro organizirane diverzije.

U tom smislu interesantan je prijedlog američke Administracije za energetska istraživanja i razvitak (Energy Research and Development Administration). Plan daje prednost istraživanju za ekonomičnu proizvodnju električne energije Sunčevom energijom pred istraživanjem za osposobljavanje oplodnih reaktora i za nuklearnu fuziju. To međutim ne znači da se predlaže obustava eksperimentalnog pogona već izgrađenih oplodnih reaktora. Smatra se naime da bi zbog toga što se ne zna kad će biti moguće u velikom opsegu iskorištavati Sunčevo zračenje i kad će se ostvariti nuklearna fuzija bilo nerazumno i previše riskantno obustaviti istraživački program oplodnih reaktora. Treba, dakle, nastaviti istraživanje oplodnih reaktora, ali s odlukom za komercijalni pogon mora se sačekati dok se ne ispita pogonska sigurnost, utjecaj na okolicu i zaštita goriva. Spomenuta Administracija predlaže da se u razdoblju od 1985. godine razvijaju postojeći sistemi na bazi fosilnih i nuklearnih goriva uključujući današnje termičke reaktore i visokotemperaturne reaktore hladene plinom. U tom razdoblju trebalo bi znatno intenzivirati istraživanje iskorištavanja Sunčeva zračenja. U drugom razdoblju od 1985. do 2000. godine prijedlog daje prednost proizvodnji sintetičkih goriva na bazi ugljena, proizvodnji tekućih goriva na bazi uljnih škrljjevac, ekspanziji iskorištavanja geotermičkih energetskih izvora, te razvoju grijanja i hlađenja stanova i poslovnih prostorija pomoću Sunčeva zračenja. U trećem razdoblju, nakon 2000. godine, trebalo bi očekivati znatan razvitak komercijalnog iskorištavanja Sunčeva zračenja u velikom opsegu, energetsko iskorištenje spajanja lakih atoma i komercijalnu izgradnju oplodnih reaktora s brzim neutronima.

Takvi rezultati osiguravaju kako smo vidjeli, opskrbu i povećanog broja stanovništva energijom do u daleku budućnost.

Opasnost za ovu našu civilizaciju u uvjetima stalnog rasta ne treba očekivati, dakle, u pomanjkanju energije, već u pomanjkanju hrane

i u nepovrativim promjenama u okolici. Neki problemi proizvodnje hrane i zaštite okolice mogu se rješavati povećanim količinama energije, pa problem opskrbe energijom dobiva još veće značenje.

L I T E R A T U R A

AYRES, E. — Ch. A. SCARLOTT: Energy Sources — The Wealth of the World. McGraw-Hill Book Co, New York — Toronto — London 1952.

PUTNAM, P. X.: Energy in the Future, D. van Nostrand Co, New York — Toronto — London, 1963.

Survey of Energy Resources 1974. The US National Committee of the World Energy Conference, New York 1974.

LEWIS, R.: Energy plan, New Scientist, 25 July 1975, str. 227.

Tabl. 1. Rezerve kamenog ugljena i proizvodnja u 1972. godini po kontinentima

	iskoristive rezerve		poznate rezerve		ukupne rezerve		iskoristive rezerve		poznate rezerve		ukupne rezerve		godišnja proizvodnja 10 ⁶ tona
	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona	
Afrika	15,5	30,1	58,3	13,0	25,2	48,8							0,060
Amerika bez SAD	8,0	17,7	118,1	6,6	15,1	101,2							0,019
Azija bez SSSR-a	93,4	332,5	1096,0	91,5	325,9	1075,1							0,572
Evropa bez SSSR-a	58,0	188,4	458,6	54,0	175,3	426,8							0,489
Oceanija	14,3	35,8	112,6	13,4	24,0	104,8							0,061
SSSR	82,9	165,8	3993,3	61,6	123,2	2966,5							0,462
SAD	158,7	317,5	2285,8	158,1	316,1	2276,3							0,517
svijet	430,8	1077,8	8122,7	398,2	1004,8	6998,5							2,180

Tabl. 2. Rezerve mrkog ugljena i lignita te proizvodnja u 1972. godini po kontinentima

	iskoristive rezerve		poznate rezerve		ukupne rezerve		iskoristive rezerve		poznate rezerve		ukupne rezerve		godišnja proizvodnja 10 ⁶ tona
	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona ugljena	10 ⁶ tona	
Afrika	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,3							0,000
Amerika bez SAD	0,5	0,6	17,6	0,3	0,4	11,1							0,003
Azija bez SSSR-a	4,0	8,0	12,1	2,1	4,2	6,4							0,014
Evropa bez SSSR-a	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	1720,3	22,2	44,5	712,7							0,180
SAD	23,1	46,1	638,7	14,6	29,1	403,2							0,008
svijet	160,3	342,6	2623,9	73,2	152,4	1224,4							0,826

Tabl. 3. Iskoristive poznate rezerve sirove nafte (stanje 1972) po kontinentima

	iskoristive rezerve		proizvodnja		trajanje rezerva godina ¹
	10 ⁶ tona sirove nafte	10 ⁶ tona ekv. ugljena	10 ⁶ tona sir. nafte	10 ⁶ tona ekv. ugljena	
Afrika	12,85	18,96	0,27	0,40	47
Amerika bez SAD	9,38	13,83	0,32	0,47	29
Azija bez SSSR-a	53,97	79,65	1,02	1,51	53
Evropa bez SSSR-a	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
SAD	5,57	8,22	0,43	0,63	13
svijet	91,53	135,06	2,49	3,67	37

¹ trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972. godini

Tabl. 4. Iskoristive poznate rezerve sirove nafte (stanje u 1972. god.) u zemljama s najvećim rezervama (iznad 500.10⁶ tona)

	iskoristive rezerve 10 ⁶ tona sir. nafta	proizvodnja 1972. 10 ⁶ tona sir. nafta	trajanje rezerva godina
Saudijska Arabija	18727	300,7	62
Kuvait	10180	151,0	67
Iran	8870	255,4	35
SSSR	8138	294,0	21
Venezuela	6093	168,3	36
Alžir	5977	51,6	116
SAD	5569	436,2	13
Irak	4437	72,1	62
Libija	4012	107,1	37
Ujedinjeni Arap. Emirati	3033	54,9	55
Kina	1726	29,0	60
Indonezija	1466	53,9	27
Nigerija	1155	84,7	14
Kanada	1075	69,4	15
Siriya	1040	6,3	166
Ekvador	787	3,8	209
Egipat	713	11,4	62
Oman	682	13,9	49
Kongo	674	0,37	1826
Velika Britanija	504	0,08	6295

Napomena: trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972. godini

Tabl. 5. Poznate iskoristive rezerve zemnog plina (stanje 1972. godine) po kontinentima

	iskoristive rezerve		produkcija		trajanje rezerva godina ¹
	10 ¹² m ³ zem. plina	10 ⁹ tona ekv. ugljena	10 ¹² m ³ zem. plina	10 ⁹ tona ekv. ugljena	
Afrika	5,71	7,26	0,039	0,050	147
Amerika bez SAD	4,68	5,95	0,166	0,211	28
Azija bez SSSR-a	12,24	15,57	0,180	0,229	81
Evropa bez SSSR-a	4,51	5,74	0,180	0,229	25
Oceanija	0,69	0,88	0,004	0,005	186
SSSR	17,14	21,31	0,212	0,270	81
SAD	7,56	9,62	0,637	0,180	12
svijet	52,53	66,83	1,389	1,767	38

¹ trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972. godini

Tabl. 6. Poznate iskoristive rezerve zemnog plina (stanje 1972. god.) u zemljama s najvećim rezervama (iznad 300.10⁹ m³)

	iskoristive rezerve 10 ⁹ m ³ zem. plina	produkcija 1972. 10 ⁹ m ³ zem. plina	rezerva trajanje godina ¹
SSSR	17136	212	81
SAD	7557	638	12
Iran	5664	40,5	140
Alžir	2973	3,05	974
Kanada	2576	73,1	35
Nizozemska	1968	58,6	34
Saudijska Arabija	1540	31,2	49
Nigerija	1249	15,7	79
Kuvajt	1090	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	5838
Pakistan	546	3,92	139
Australija	534	3,38	158
Norveška	433
Ujedinjeni Arapski Emirati	368	11,4	32
Njemačka SR	350	17,7	20
Meksiko	305	18,7	16

¹ trajanje rezerva uz proizvodnju u 1972. godini

Tabl. 7. Iskoristive vodne snage i ostvarena proizvodnja u 1972. u hidroelektranama po kontinentima

	iskoristive vodne snage TWh/god	ostvarena proizvodnja TWh/god	korištenje vodnih snaga %
Afrika	2019,9	30,17	1,5
Amerika (bez SAD)	2423,3	287,96	11,9
Azija (bez SSSR-a)	2638,2	198,43	7,5
Evropa (bez SSSR-a)	722,4	382,32	52,9
Oceanija	202,1	28,90	14,3
SSSR	1095,0	123,00	11,2
SAD	701,5	256,78	36,6
svijet	9802,4	1307,56	13,3

Tabl. 8. Rezerve urana (elementarni uran) u zemljama za koje se objavljuju podaci i moguća proizvodnja električne energije tim rezervama

REZERVE URANA	10 ³ tona		
Rezerve s proizvodnim troškovima do 26 dolara/kg			
sigurne rezerve	984,5		
dodatne rezerve	820,7		
Rezerve s proizvodnim troškovima od 26 do 39 dolara/kg			
sigurne rezerve	959,5		
dodatne rezerve	1229,2		
Ukupne rezerve do 39 dolara/kg	3993,9		
Godišnja proizvodnja (1972. godina)	20,7		
MOGUĆA PROIZVODNJA ELEKT. ENERGIJE			
	termič. reaktori 10 ⁶ GWh	oplodni reaktori 10 ⁶ GWh	ukupno 10 ⁶ GWh
S rezervama s proizvodnim troškovima do 26 dolara/kg			
sigurne rezerve	229	13739	13968
dodatne rezerve	191	11453	11644
S rezervama s proizvodnim troškovima od 26 do 39 dolara/kg			
sigurne rezerve	223	13390	13613
dodatne rezerve	286	17154	17440
Sveukupno	929	55736	56665

Tabl. 9. Rezerve torija (elementarni torij) u zemljama za koje se objavljuju podaci i moguća proizvodnja električne energije tim rezervama

REZERVE TORIJA		10 ⁸ tona
Rezerve s proizvodnim troškovima do 26 dolara/kg		
sigurne rezerve		321,8
dodatne rezerve		1406,3
Rezerve s proizvodnim troškovima od 26 do 39 dolara/kg		
sigurne rezerve		447,6
dodatne rezerve		543,4
Ukupne rezerve do 39 dolara/kg		2719,1
Godišnja proizvodnja (1972. godine)		0,644
MOGUĆA PROIZVODNJA ELEKT. ENERGIJE		10 ⁶ GWh
S rezervama s proizvodnim troškovima do 26 dolara/kg		
sigurne rezerve		4616
dodatne rezerve		20172
S rezervama s proizvodnim troškovima od 26 do 39 dolara/kg		
sigurne rezerve		6420
dodatne rezerve		7795
Sveukupno		39003

Tabl. 10. Poznate i dodatne moguće rezerve ulja u uljnim škriljevcima i bituminoznom pijesku prema sadržaju ulja (u litrama) u kg škriljevca odnosno pijeska

	poznate rezerve ulja		moguće rezerve ulja	
	10 ⁸ tona sadržaj 0,1—0,4 1/kg	10 ⁸ tona sadržaj 0,04—0,1 1/kg	10 ⁸ tona sadržaj 0,1—0,4 1/kg	10 ⁸ tona sadržaj 0,04—0,1 1/kg
Afrika	15,5	—
Amerika Južna	—	124,0	...	497,0
Amerika Sjeverna	60,0	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	1349,1

... ne postoje podaci

Tabl. 11. Iskoristive rezerve ulja u uljnim škriljevcima i bituminoznom pijesku u zemljama s najvećim poznatim rezervama

	iskoristive rezerve ulja 10 ⁶ tona
Kolumbija	155400
SAD	147175
Kanada	75110
Kina	21000
SSSR	3388
Zaire	1550
Italija	1087
Švedska	880
Braziliya	495
Njemačka SR	311
Francuska	237
Madagaskar	235
Novi Zeland	224
Burma—Tajland	217
Angola	200
Jugoslavija	128
Luksemburg	109
Albanija	60
Argentina	45