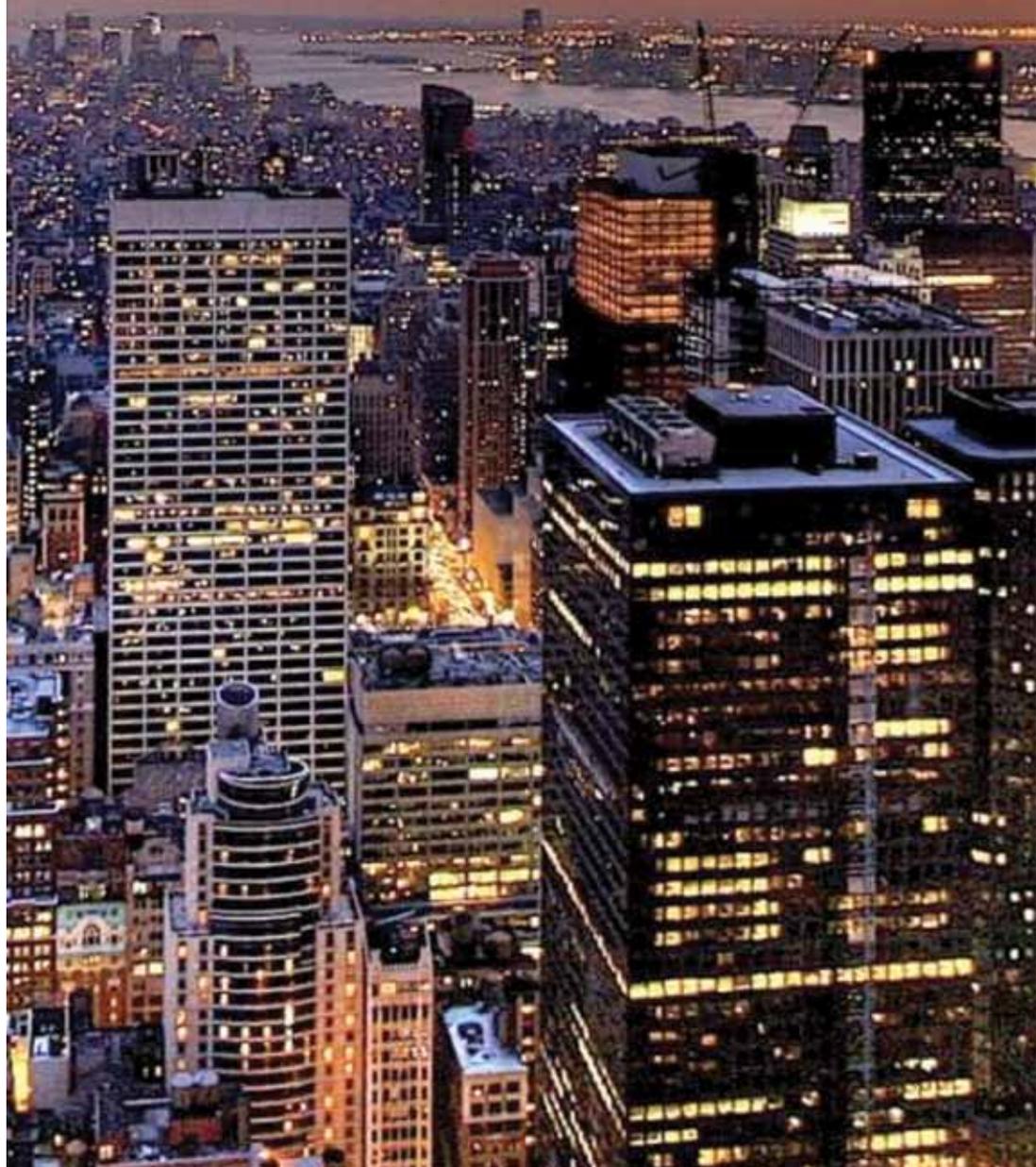


ENERGIJA ZA ČLOVEŠTVO

Današnja energetska realnost

► Rafael Mihalič* in Mišo Alkalaj**



Pogosto slišimo argument zagovornikov 'sodobnih' OVE, da je proizvodnja električne energije na podlagi premoga stara že več kot sto let in da je torej 'čas za napredek'. Z enako površnim argumentom bi lahko rekli, da je raba energije vetra (ŽIT 2004/8, str. 12) stara že 2000 let, saj je Heron iz Aleksandrije na začetku našega štetja izumil prvi stroj (orgle), ki ga je poganjal veter.

PRVO PARNO TURBINO ZA PRIDOBIVANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE je leta 1884 razvil sir Charles Parsons (ŽIT 1995/6, str. 12). Njena učinkovitost je bila 1,6 %. Povprečni izkoristek danes obratujočih premogovnih elektrarn – približno polovica med njimi je starejša od 30 let – je 33 %, nove termoelektrarne brez težav dosegajo izkoristek 40–45 %, rekorder med njimi pa je 3. blok elektrarne Nordjylland na Danskem z izkoristkom 47 %. Če bi danes obratujoče premogovne elektrarne delovale z učinkovitostjo Parsonsove elektrarne izpred dobrih 130 let, bi proizvedle le dobro dvajsetino oziroma približno 5 % tiste elektrike, ki jo proizvedejo sicer. Vendar pa ni napredovala samo tehnologija izkoriščanja energentov,

ampak tudi tehnologija odkrivanja in uporabe njihovih virov.

► VODA

Med desetimi po nazivni moči največjimi elektrarnami na svetu je (na 6. mestu) samo ena jedrska (ŽIT 2001/12, str. 12) – Kašivazaki-Kariva na Japonskem, vse druge so hidroelektrarne. Po nazivni moči je z 22.500 MW največja med njimi Tri soteske na kitajski reki Jangce (ŽIT 2000/12, str. 29), največjo proizvodnjo v enem letu pa je lani dosegla hidroelektrarna Itaipu (ŽIT 2001/8, str. 21) na reki Paraná med Paragvajem in Brazilijo – 103,09 TWh, kar je 6,8-krat toliko, kot je bila vsa poraba Slovenije v letu 2015.

* Prof. dr. Rafael Mihalič je predstojnik Katedre za elektroenergetske sisteme in naprave ter vodja Laboratorija za preskrbo z električno energijo (LPEE) na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

** Mišo Alkalaj je vodja Centra za mrežno infrastrukturo na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani.

➤ Jez največje hidroelektrarne na svetu, imenovane Tri soteske, je dolg 2039 in visok 185 metrov. Nazivna moč elektrarne je 22.500 MW.



V letu 2014 je bila globalna proizvodnja v hidroelektrarnah 16,8 % vse električne energije, kar je pomemben prispevek v elektroenergetske sisteme. Čeprav jih poklicni okoljevarstveniki ne priznavajo kot trajnostne vire, so hidroelektrarne dejansko zelo trajne: gonilniki v dovolj čisti vodi zdržijo do 50 let, podobna je tudi življenjska doba generatorjev, jezovi pa lahko zdržijo 200 let in še dlje. Poleg tega hidroelektrarne zelo učinkovito pretvarjajo energijo vode v vrtenje generatorjev, saj npr. sodobne Francisove turbine dosegajo izkoristek do 96 %. Med svojim obratovanjem ne izpuščajo nobenih škodljivih snovi, a jim naravovarstveniki zamerijo veliko porabo energije za gradnjo (beton, jeklo ...) in zalitje ozemlja za jezom.

Mar glede na zgoraj zapisano ne bi bilo idealno, če bi celotno človeško preskrbo z elektriko zagotovili s hidroelektrarnami? Žal to ne gre. Prva težava je v tem, da je primernih rek malo, predvsem v razvitem svetu pa so večinoma že izkoriščene. Poleg

tega vsaka uporaba energije rečne vode to neizogibno upočasní in s tem dvigne nivo vode pred jezom, torej poplavi teren. Če gre za prej nenaseljeno območje, kot je npr. ozemlje, kjer je danes 1350 km² veliko akumulacijsko jezero hidroelektrarne Itaipu, to niti ni tako hudo. A za potrebe 1048 km² velikega akumulacijskega jezera na reki Jangce pred jezom elektrarne Tri soteske so Kitajci preselili 1,24 milijona ljudi. V državi z avtoritarnim režimom in zelo nizko ceno nepremičnin se tak poseg še nekako izide, v Evropi pa o tem nima smisla niti razmišljati. Nekaj uporabnih vodnih virov je še v manj razvitem svetu, kjer dandanes gradijo vse večje hidroelektrarne: Baihetan (nazivna moč 16.000 MW), Wudongde (8700 MW), Lianghekou (3000 MW), Changheba in Dagangshan (po 2600 MW), vse na Kitajskem; Belo Monte (11.233 MW) in Jirau (3750 MW) v Braziliji; Ethiopian Renaissance (6000 MW) v Etiopiji; TaSang (7110 MW) v Mjanmaru itd. Ampak tudi v manj razvitih

državah bodo uporabne vodne vire prej ali slej izkoristili. Pomanjkljivost številnih rek v Južni Ameriki, Aziji in Afriki, ki sicer imajo primeren padec in količino vode, je, da nosijo veliko blata, ki se odlaga v akumulacijskih jezerih ter jih lahko že v nekaj desetletjih zapolni in s tem hidroelektrarno naredi precej manj uporabno. Ob današnji tehnologiji dosega proizvodnja elektrike na podlagi vodnih virov vrednost 100 : 1 ali več. Faktor EroEI (angl. Energy Received over Energy Invested), ki pomeni razmerje med pridobljeno količino in energijo, vloženo v pridobivanje (ŽIT 2017/4, str. 20). Energijo vode lahko izkoriščajo tudi bibavične elektrarne z ERoEI od 15 : 1 do 116 : 1, vendar bi vse, ki že obratujejo, in tiste, ki so še na stopnji načrtovanja ali so samo predlagane, skupno proizvedle le okoli 10 % današnje energije iz hidroelektrarn, kar za preskrbo človeštva ne more biti bistven prispevek.

► PREMOG

Dandanes je premog najpomembnejši energent za proizvodnjo električne energije. Leta 2014 so premo govne elektrarne proizvedle 39 % vse elektrike na svetu. Leta 2016 je bila svetovna poraba premoga nekaj manj kot osem milijard ton, od česar ga je šlo približno 14 % za izdelavo koksa. V obdobju 2005–2015 je poraba premoga naraščala s povprečno stopnjo 2,1 % na leto.

Po podatkih združenja World Coal Association so z današnjo tehnologijo dostopne svetovne zaloge premoga konec leta 2016 dosegle 900 milijard ton. Če torej predpostavimo, da bi svetovna poraba premoga po letu 2016 naraščala z enako pov-

prečno stopnjo kot v letih 2005–2015, novih zalog ali tehnologij pa ne bi odkrili, bi nam že znani skladi premoga zadostovali za nadaljnjih

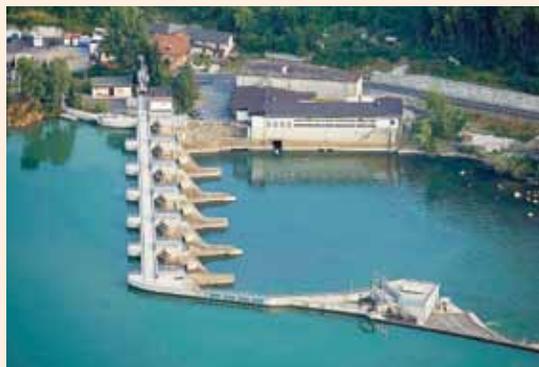
Hidroelektrarne v Sloveniji

Vse slovenske hidroelektrarne skupaj proizvedejo od 25 do 40 % potrebne električne energije, kar je precej nad svetovnim povprečjem. Proizvodnja zelo niha zaradi izrazito hudourniškega značaja Save in Soče. A po mnenju strokovnjakov naša država tudi z izkoriščanjem vseh uporabnih vodnih virov ter optimizacijo vseh naprav ne more trajno zagotavljati bistveno več kot 1/3 potrebne električne energije iz hidroelektrarn.

Največ tovrstnih objektov je na treh rekah:

- Drava: Dravske elektrarne Maribor (HE Dravograd, HE Vuzenica, HE Vuhred, HE Ožbalt, HE Fala, HE Mariborski otok, HE Zlatoličje, HE Formin) ter številne male HE na Dravi in njenih pritokih,
- Sava: Savske elektrarne Ljubljana (HE Vrhovno, HE Moste, HE Mavčiče, HE Medvode, HE Boštanj, HE Krško, HE Brežice, HE Blanca) in številne male HE,
- Soča: Soške elektrarne Nova Gorica (HE Doblar, HE Plave, HE Solkan, HE Avče) in številne male HE.

Na Dravi proizvedemo okrog 2/3 vse hidroenergije v Sloveniji.



◆ Pretočna hidroelektrarna Zlatoličje na Dravi je začela delovati leta 1969. Prostornina zbiralnika za 33 m visokim jezom je 4,5 milijona m³ in kapaciteta preliva 530 m³/s. Voda poganja dve Kaplanovi turbini, nazivna moč generatorjev je 2 × 74 MVA in največja moč elektrarne 126 MW. Po količini proizvedene energije (577 GWh na leto) je to naša največja hidroelektrarna. (Vir: www.hse-invest.si)

60 let. Seveda so to le zaloge, ki jih je danes mogoče izkoriščati in so vse na kopnem. A morja pokrivajo 72 % Zemljinega površja in tudi pod morskim dnom je mogoče najti premog. Ko so leta 2014 opravili prve raziskave zalog premoga pod Severnim morjem, so jih ocenili na 3 –23 milijard ton (že najnižja vrednost pomeni 3,4-kratno količino vseh preostalih zalog na kopnem). Premog izpod morskega dna bi bil seveda dražji, a če upoštevamo le najnižjo oceno možnih rezerv v Severnem morju ter preostale kopenske zaloge, bi ob rasti porabe 2,1 % na leto skupaj zadostovale za nadaljnjih 120 let. Ker pa večina morskega dna sploh še ni raziskana in ker tudi vseh zalog na kopnem najbrž ne poznamo, za zdaj ni mogoče oceniti, za koliko časa nam je še ostalo premoga. A vsekakor ga je dovolj vsaj za 200 let.

ERoEI premoga za proizvodnjo elektrike je odvisen od tehnologije in sega od 27 : 1 na Kitajskem do 80 : 1 v ZDA.

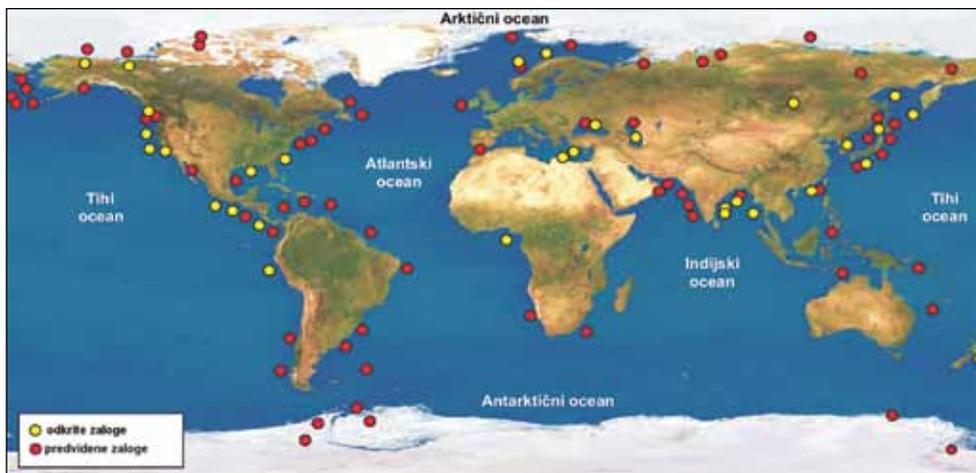
zgorevanju oddaja samo ogljikov dioksid in vodo. Z metanom je mogoče v kombiniranem ciklu proizvajati električno energijo z več kot 60-odstotno učinkovitostjo. Za ceno elektroenergetskega omrežja ga je mogoče razpeljati do končnih porabnikov, ki z njim s skoraj 100-odstotno učinkovitostjo proizvajajo toploto za industrijske in gospodinj-ske namene. Na trgu je že množica osebnih avtomobilov, avtobusov in tovornjakov (ŽIT 1991/7–8, str. 44), ki za pogon uporabljajo stisnjeni naravni plin – CNG (angl. Compressed Natural Gas). Na utekočinjeni metan pa letijo celo že eksperimentalna potniška letala, kot je npr. TU-155.

V 90. letih prejšnjega stoletja je bilo videti, da je velika večina klasičnih plinskih polj prešla vrhunec proizvodnje, kar pomeni, da so izčrpali več kot polovico plina v polju. A to je povečalo zanimanje za zaloge naravnega plina v globokih skrilavcih (ŽIT 2013/10, str. 44) in razvoj novih tehnologij, ki so omogočile njihovo izkoriščanje. V ZDA, kjer hidravličnemu lomljenju (ŽIT 2015/11, str. 24) za pridobivanje metana niso postavljali pretiranih zakonskih ovir,

▶ NARAVNI PLIN

Metan je tako rekoč idealen vir za energetske potrebe človeštva. Pri

☺ Svetovne zaloge hidrometana (vir: Volker Krey in sod., 2009)



so se maloprodajne cene zaradi vse večje ponudbe po letu 2008 znižale za 16–30 % (sezonsko se spremenjajo), cene za industrijo pa celo do 66 %. Zaradi večje (in ugodnejše) ponudbe naravnega plina so postale komercialno zanimive plinske elektrarne, s čimer se je povečala ponudba električne energije, ki se je tudi pocenila (za industrijske porabnike do 50 %). Po današnjih ocenah imajo v ZDA za več kot 90 let že znanih zalog plina, preostali svet pa najbrž še za dlje, saj ga izkoriščajo bistveno manj. Ob tem niti ne izkoriščamo plina iz velikanskih zalog hidrometana na morskem dnu, ki jih je najti skoraj po vsem svetu. Prvo poskusno črpanje so začeli že leta 2012 na Aljaski, največji projekt prav zdaj poteka na Japonskem, z japonsko pomočjo pa svoje zaloge začenjajo izkoriščati tudi v Indiji. Kitajska je na začetku maja objavila, da je v Južnokorejskem morju uspešno izvedla prvo vrtino za črpanje hidrometana.

Po ocenah geološke uprave ZDA (USGS) je energetska vrednost za zdaj znanih zalog hidrometana dvakrat večja kot vseh drugih fosilnih goriv na svetu! Naravni plin ima danes EROI od 20 : 1 (Kanada) do 67 : 1 (ZDA).

Ob upoštevanju sedanje rasti porabe ima človeštvo naravnega pli-

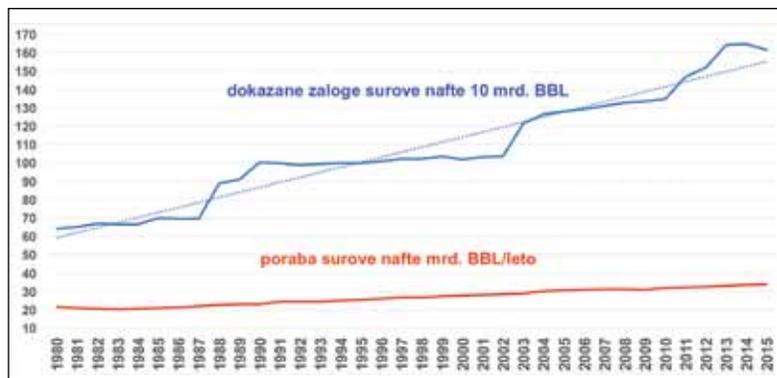
na vsaj za 200 let, a verjetno še za veliko več.

► SUROVA NAFTA

Surova nafta za človeštvo pomeni veliko več kot zgolj energent, saj iz nje pridobivamo surovine za umetne mase, topila, maziva, fitofarmaceutvske izdelke, gnojila in še kaj; z zadnjim tekočim destilatoma (bitumnom) asfaltiramo ceste in druge površine. Na dnu potem ostane praktično čisti ogljik, ki ga kot t. i. petrokoks uporabljamo v predelavi železove rude, izdelavi cementa (ŽIT 2001/6, str. 12) ipd.

Naftni derivati zagotavljajo le 4 % globalne proizvodnje električne energije, pa še to samo na odročnih lokacijah, kjer ni smiselno graditi drugih elektrarn ali jih povezati v obsežnejše električno omrežje. Kljub temu so ključni za večino transporta, delovne stroje ipd.

Črpanju surove nafte že dolgo časa napovedujejo upadanje in konec, a slednjega za zdaj še ni videti. V letih 1980–2015 je človeška poraba surove nafte narasla za dobrih 56 %, obenem pa so dokazane rezerve narasle za kar 152 %! Seveda ne moremo pričakovati, da bomo v nedogled odkrivali nove zaloge



⊕ Gibanje porabe in dokazanih zalog surove nafte v milijardah sodčkov; 1 naftni sodček (angl. BBL) ≈ 159 l. (Vir: Index Mundi)

z enakim tempom (ŽIT 1991/1, str. 65; ŽIT 1996/12, str. 44). Celo če predpostavimo, da bodo dokazane rezerve surove nafte ostale na ravni iz leta 2015, poraba pa bo naraščala s povprečno stopnjo rasti v letih 1980–2015, tj. 1,3 % na leto, bi že dandanes dokazane zaloge zadostovale še za 36 let. To velja celo ob upoštevanju samo *dokazanih* rezerv (dejansko se načrpa 90 %), ne pa tudi ob upoštevanju t. i. verjetnih (50 %) in možnih rezerv (10 %).

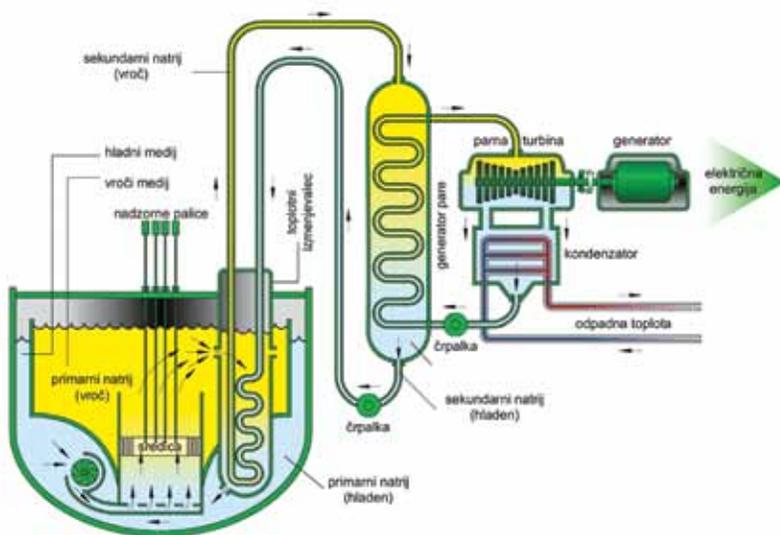
Prav tako nismo upoštevali zalog surove nafte v naftnih skrilavcih (angl. shale oil), ki jih sploh še nismo začeli resneje izkoriščati (ŽIT 1991/7–8, str. 75). Ob danes znanih zalogah in današnji tehnologiji je mogoče iz naftnih skrilavcev pridobiti še vsaj 345 milijard sodčkov. To pomeni, da imamo samo v dandanes dokazanih ter z zdajšnjimi tehnologijami dostopnih zalogah in ob letni rasti porabe 1,3 % surove nafte vsaj še za 43 let. Seveda se bo z zmanjševanjem zalog dražila, saj jo bomo vse več prisiljeni črpati iz težje dostopnih virov. A pretekle izkušnje

nas učijo, da na ceno bistveno bolj vplivajo špekulacije na surovinskih trgih kakor stroški črpanja. Npr. surova nafta iz naftnih skrilavcev je sicer že pri črpanju zaradi zahtevnejšega postopka za približno 25–30 % dražja od konvencionalne. A to nas, končnih porabnikov, ne bi smelo preveč skrbeti, saj cena surovine pomeni le približno desetino tistega, kar plačamo pri točenju goriva na bencinskem servisu.

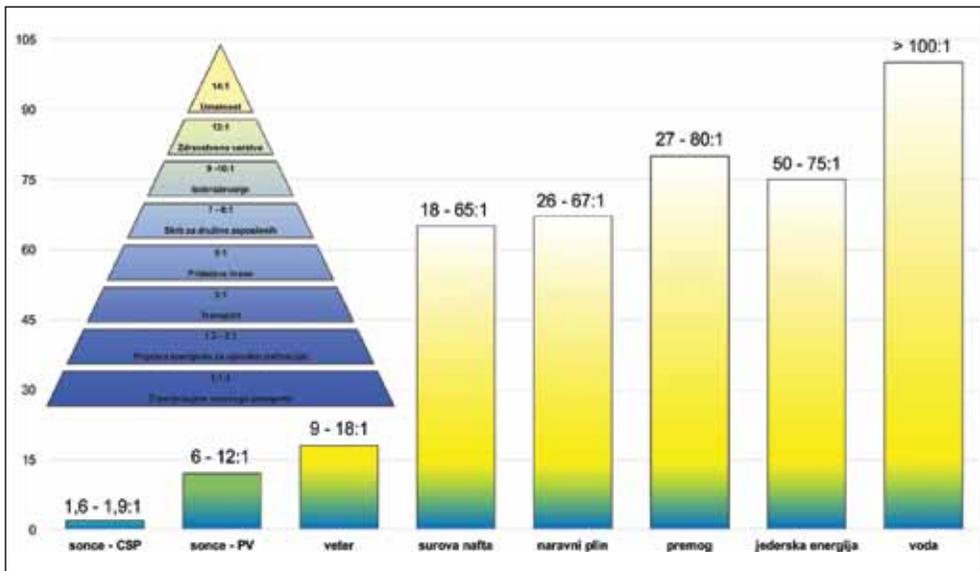
Naftnih derivatov za potrebe človeštva torej še vsaj naslednjih 50 let ne bo zmanjkalo. ERoEI energije naftnih derivatov je močno odvisen od sestave izvorne surove nafte, obsega črpališč, tehnologije ipd., zato lahko dosega vrednosti od 18 : 1 v ZDA (leta 2006) do 45 : 1 v Mehiki (leta 2009).

▶ JEDRSKA ENERGIJA

Leta 2014 je bilo na svetu v jedrskih elektrarnah proizvedeno 11 % električne energije. Velika večina obratujočih deluje po načelu cepljenja jeder izotopa ^{235}U (ŽIT 1998/6,



⇒ Shema delovanja 'hitrega' reaktorja s hlajenjem na tekoči natrij



str. 10), ki ga je v naravnem uranu 0,72 % (samo približno 1 % energije pa prispeva cepljenje jeder ^{238}U , ki pomeni večino naravnega urana). Ob sodobnem procesu bogatenja urana v centrifugah (oz. izkoriščanju naravnega urana v redkih in dragih težkovodnih reaktorjih) ima takšna proizvodnja energije EROEI od 50 : 1 do 75 : 1. Ob današnji stopnji porabe (58.000 ton urana na leto) in tehnologiji bi dandanes znane rezerve zadostovale še za 90 let.

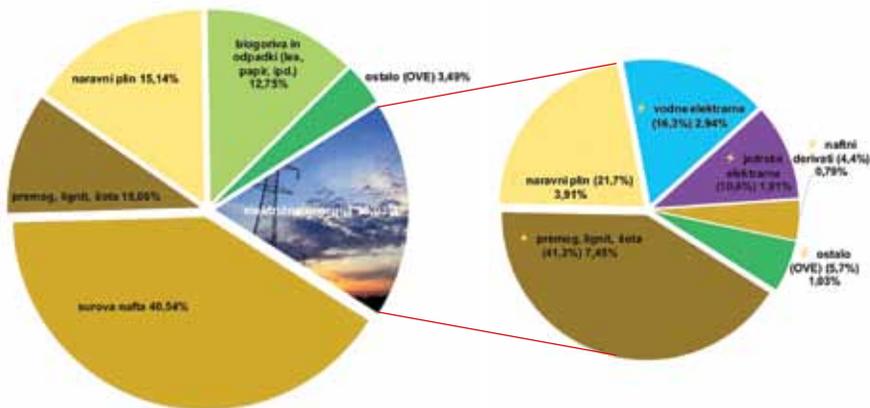
A današnji rudniki urana izkoriščajo bodisi rudo z višjo vsebnostjo ali pa takšno, ki jo je lahko prečistiti, kar zagotavlja ceno okoli 130 USD/kg. Težje dostopnega ali izločljivega urana je še veliko več – in če smo se pripravljani sprijazniti z višjo ceno, se uporabne zaloge s tem bistveno povečajo. V ceni električne energije iz jedrskih elektrarn pomenijo stroški urana zelo majhen del (pod 3 %).

Vendar danes večinska tehnologija ne zagotavlja posebno dobrega izkoristka urana. Znamo že tudi

bolje. Poenostavljeno povedano: če reaktor lahko vzdržuje cepljenje pri višjih hitrostih sproščenih nevtronov, se bo znatni del teh ujel v jedrih ^{238}U , ki transmutira v plutonij ^{239}Pu (ta ima podobne cepilne lastnosti kot ^{235}U). Gorivne palice bodo v takem reaktorju oddajale takó energijo iz cepljenja jeder ^{235}U kot tudi iz cepljenja ^{239}Pu , ki nastaja iz ^{238}U . Ker bo dejansko 'zgorelo' približno 60 % vsega urana, to pomeni, da tak 'hitri' reaktor (angl. FBR – Fast Breeder Reactor) iz kilograma naravnega urana proizvede kar 83-krat več energije kot tisti, ki izkoriščajo bolj ali manj samo ^{235}U . Ustrezno manj je tudi radioaktivnih odpadkov (ŽIT 1998/5, str. 10).

Proizvodnja električne energije v 'hitrih' reaktorjih ima EROEI > 1200 : 1. To ni znanstvena fantastika: dva taka energetska reaktorja (BN600 in BN800) s hlajenjem na tekoči natrij delujeta v Rusiji, v ZDA in drugje pa že razvijajo še učinkovitejše 'hitre' reaktorje s hlajenjem na tekočo sol.

✪ EROEI energentov, ki jih že uporabljamo, v primerjavi s piramido dejavnosti (levo zgoraj)



↻ Vsi energetski viri človeštva v letu 2012; najbolj subvencionirani OVE so prispevali le 4,52 %.

▶ REALNOST, NE POLITIČNE FANTAZIJE – KDAJ?

Še enkrat se spomnimo nauka iz stave Simon : Ehrlich (ŽIT 2017/4, str. 26): človeška civilizacija je bila ob upoštevanju *takrat* znanih virov vedno pred propadom in vedno znova so jo 'rešile' nove tehnologije. Energentov, ki danes zagotavljajo več kot 90 % energije za potrebe človeštva, nam vsaj še naslednjih 50 let ne bo zmanjkalo. In če nam v naslednjih 50 letih ne uspe odkriti nič novega na področju energetike, kar bi zagotavljalo našo prihodnjo oskrbo – potem si res zaslužimo, da propademo.

A na nove tehnologije lahko stavimo le, dokler vzdržujemo tako družbo, ki zmore energetske oskrbovati višje oblike dejavnosti, kot so znanost in razvoj tehnologije. Če bi se danes zaradi neutemeljenih strahov odpovedali družbi z dovolj visokim EROEI, bi to zanesljivo pomenilo propad naše civilizacije.

Žal se zdi, da vsaj v EU taki logiki še nismo prav blizu. Na začetku letošnjega februarja je vrsta medijev ponosno poročala, da je bilo skoraj 90 % novih elektroenergetskih virov v letu 2016 obnovljivih. Natančneje, celotna EU je v letu 2016 zgradila

za 24,5 GW novih elektrarn, od tega 21,1 GW (86 %) vetrnih, sončnih in vodnih ter elektrarn na biomaso. Očitno se nekaterim še vedno zdi hvalevredno, da je EU v letu 2016 veliko večino novih energetskih zmogljivosti zgradila na najdražji mogoči način ter da so te – z izjemo vodnih virov – tudi najmanj učinkovite in najbolj nezanesljive. To nas pripelje še korak bliže stanju, ki smo ga napovedali že v prvem delu te serije prispevkov na temo energetike (ŽIT 2017/3, str. 24), da namreč prihaja čas, ko bomo lahko stabilnost elektroenergetskega omrežja vzdrževali le še z dragimi ukrepi t. i. pametnih omrežij in imeli ustrezno dražjo elektriko. A tudi to lahko reši probleme vključevanja subvencioniranih OVE le do določenega deleža, potem pa sledijo razpadi EES in redukcije. Dokler se lahko politiki v medijih hvalijo, da je povečanje deleža dragih in nezanesljivih virov energije uspeh, ni upanja, da bi se izognili energetski revščini.

▶ IN PRIHODNOST?

Če smo se kaj naučili iz stave Simon : Erlich, potem vemo, da na podlagi današnjega znanja ne moremo

znanstveno utemeljeno napovedati, koliko energije bodo naši zanamci potrebovali čez 50 let, niti kako jo bodo znali pridobivati. A nekatere tehnologije, ki obetajo še bistveno obilnejšo preskrbo človeštva z energijo, imamo že danes, nekatere pa uspešno razvijamo.

Plutonij

V 'hitrem' reaktorju lahko na obod reaktorske sredice zložimo dodatne gorivne palice, da uran ^{238}U ujame še preostale nevtrone in transmutira v plutonij ^{239}Pu . Te palice občasno odstranimo iz reaktorja in izločimo plutonij, ostanek pa spet predelamo v gorivne palice. Ne gre za novo tehnologijo, saj že od konca druge svetovne vojne tako proizvajajo plutonij (žal samo) za jedrske bombe. Seveda bi lahko s takšno metodo proizvajali plutonij kot reaktorsko gorivo. Za zdaj ni znano, da bi kje na svetu obratoval energetski reaktor na plutonij. Razlog je najbrž predvsem v tem, da jedrske sile (ki edine lahko proizvajajo plutonij) verjetno ne želijo obsežnejšega prometa z gorivom, ki ga je mogoče uporabiti za jedrsko bombo. A taka proizvodnja energije je izvedljiva že z današnjo tehnologijo in bi v povezavi z generacijo ^{239}Pu v 'hitrih' reaktorjih imela EROI > 2000 : 1.



Torij

Torija je na Zemlji 3,3-krat toliko kot urana. Ob absorpciji nevtrona se pretvori v uranov izotop ^{233}U , ki ima kot gorivo podobne lastnosti kot ^{235}U . Za energetske potrebe je – kolikor danes vemo – najučinkovitejša tehnologija s tekočim torijevim fluoridom – LFTR (angl. Liquid Fluoride Thorium Reactor), ki ni nova. Prvi tak reaktor so namreč razvili že v 50. letih prejšnjega stoletja v laboratoriju Oak Ridge v ZDA kot možni vir energije za prvo ameriško jedrsko podmornico Nautilus (ŽIT 1998/2, str. 44; ŽIT 2001/12, str. 12). LFTR je izgubil tekmo z Westinghousovim lankovodnim reaktorjem LWR (angl. Light-Water Reactor) predvsem zato, ker so

🔥🔥 Največji na svetu: zgoraj je japonska jedrska elektrarna Kašivazaki-Kariva (nazivna moč 7965 MW) in spodaj tajvanska premogovna elektrarna Tajčung (nazivna moč 5500 MW). (Vir: lenergeek.com, wikimedia.org)





Edina slovenska jedrska elektrarna v Krškem je bila zgrajena leta 1981. Reaktor je tlačnovodnega tipa, kot gorivo pa uporablja obogateni uran. Njena nazivna moč na pragu je 696 MW, termična moč reaktorja okrog 2000 MW in letna proizvodnja 5500 GWh, kar je 35 % vse pri nas proizvedene energije oziroma okoli 42 % porabe Slovenije. Pol elektrike iz JEK pripada Hrvaški. (Vir: www.sloveniatimes.com)

takrat gorivne palice za lahkovodne reaktorje že industrijsko proizvajali, torijev fluorid kot gorivo pa je bil samo laboratorijski izdelek. Pozneje je zanimanje za torij precej zamrlo, saj ni praktično uporaben material za izdelavo jedrskih bomb (ŽIT 1995/7–8; tematska priloga *Izdelava prvih atomskih bomb*). Zato so raziskave torija kot materiala za proizvodnjo energije 'pavzirale' skoraj 40 let.

Danes razvijajo LFTR na Japonskem in Kitajskem, v Avstraliji in ZDA (ter najbrž še kje). Glede na uporabljeno tehnologijo bi lahko imel LFTR teoretični faktor EROEI od 1666 : 1 do 8333 : 1.

Fuzija

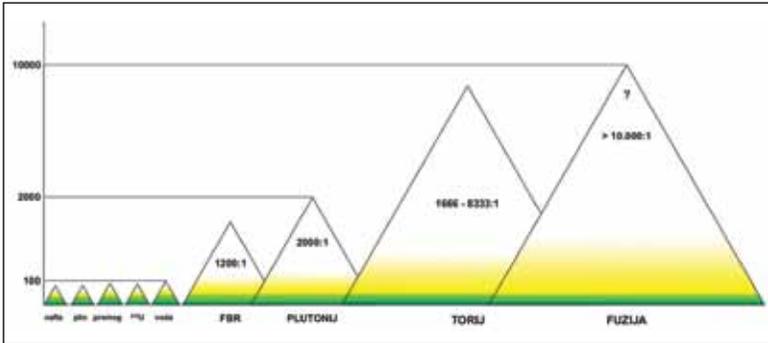
Lewis L. Strauss, od leta 1953 predsednik ameriške komisije za jedrsko energijo, je v govoru pred Združenjem znanstvenih piscev 16. septembra 1954 med drugim dejal: »Naši otroci bodo lahko v svojih domovih uporabljali elektriko, ki bo prepoceni, da bi se jo splašalo meriti.« Nasprotniki jedrske energije se še danes norčujejo na njegov račun, češ da je zgrešeno napovedoval takšno pocenitev energije iz fisijskih reaktorjev. A to ni bilo res: Lewis Strauss je namreč govoril na splošno o pričakovanem napredku znanosti, saj je imel kot nekdani

mornariški oficir dostop do podatkov o ameriških jedrskih poskusih s fuzijskimi eksplozijami, ki so vedno znova presenetile z obsegom sproščene energije. Če znamo na Zemlji sprožiti energetski vir, ki 'poganja' naše Sonce, potem res ne more biti daleč do tehnologije, ki bi nam omogočila izkoriščanje tega velikanskega vira za proizvodno elektrike. A žal ni šlo tako hitro naprej.

Težava je v tem, da zlivanje lahkih jeder npr. devterija zahteva temperaturo več 100 milijonov K in/ali podoben pritisk, kot vlada v središču Sonca – tega pa ne more zdržati noben material. Še največ uspeha so dosegli z napravami tokamak, ki tok plazme z magnetnim poljem zadržujejo v obliki torusa. V preteklem stoletju je znanstvenikom uspeli plazmo zadrževati le nekaj tisočink sekunde.

Drugačen pristop – stelarator – ki bi poleg magnetizma za zadrževanje plazme izkoriščal še dinamiko toka plazme, je že leta 1951 predlagal Lyman Spitzer z univerze Princeton. Dve leti pozneje so sicer izdelali prvo takšno napravo, vendar pa stelaratorji v prejšnjem stoletju nikoli niso presegli uspehov tokamakov.

Šele 21. stoletje in bistveno povečanje natančnosti pri simulaciji obnašanja plazme sta prinesli novo upanje: stelaratorja Wendelstein 7-X na Inštitutu Maxa Plancka v Nemčiji in HSX (angl. Helically Symmetric Experiment) na univerzi Wisconsin–Madison v ZDA obetata zadrževanje plazme, primerne za zlivanje jeder, za celih 30 minut! Seveda to še ni zagotovilo, da bomo že kmalu dobivali energijo iz fuzije, a res presenetljiv napredek v zadnjih letih nam vsaj daje upanje, da je to mogoče. In če bomo kdaj res pridobivali energijo iz



☞ EROEI energentov, ki jih že uporabljamo, v primerjavi z možnimi energenti v prihodnosti

zlivanja lahkih jeder, je bomo imeli dovolj za naslednjih 3,5 milijarde let, kolikor naj bi še zdržalo naše Sonce.

► ČLOVEŠTVU

NE BO ZMANJKALO ENERGIJE

Objektivno ni razloga za strah, da bi naša civilizacija propadla zaradi pomanjkanja česar koli. A to ne pomeni, da se po svoji neumnosti ne bomo pokončali sami, ker se bomo na podlagi nekakšnih iracionalnih predsodkov odpovedali uporabi vseh možnih sredstev za nadaljnji razvoj. Žal je kaj takega precej verjetno, saj so na podoben način propadle skoraj vse pretekle civilizacije. V našem primeru je poglobitveni del poti v iracionalnost naklonjenost politikov vsakovrstnim prerokom katastrof, ki človeštvo vedno znova strašijo s pretiranimi, če ne kar izmišljenimi nevarnostmi. Čeprav s svojim tehničnim znanjem ne bi prišli niti skozi srednjo šolo, imajo pri izvoljenih predstavnikih ljudstva bistveno več vpliva kot strokovnjaki, ki so tem tematikam posvetili vse svoje življenje. In že to je prvi korak v družbo nesmiselnih odločitev; kajti politiki jim še naprej verjamejo, čeprav se nobena njihova napoved katastrofe ni uresničila.

Niti znanstvenega niti tehničnega razloga ni, da bi se nam bilo treba

na kratki, srednji ali dolgi rok bati pomanjkanja energije. Te nam bo zmanjkalo samo, če se bomo zaradi nekakšnega nerazumnega strahu pred izmišljeno nevarnostjo sami odpovedali dostopnim virom in tehnologijam. Si bomo res raje takoj odrezali roke, ker se bojimo, da bi si jih umazali – kot je o politično vse bolj vplivni ideologiji okoljskih prerokov apokalipse slikovito zapisal francoski filozof Pascal Bruckner?

VIRI IN LITERATURA

- Obširen seznam uporabljene literature in virov je zainteresiranim na voljo v uredništvu.

SPLETNI NASLOVI

- en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_hydroelectric_power_stations
seznam največjih hidroelektrarn na svetu
- www.worldenergy.org/data/resources/resource/coal/
svetovne zaloge premoga
- en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_natural_gas_proven_reserves
svetovne zaloge naravnega plina
- www.worldatlas.com/articles/the-worlds-largest-oil-reserves-by-country.html
svetovne zaloge surove nafte
- tinyurl.com/j3urhgj
podatki o vseh delujočih jedrskih elektrarnah na svetu
- en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power
o jedrski energiji