

Energetika

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

ENERGETIKA

Sadržaj

1. Povijest korištenja energije.....	3
2. Pokazatelji potrošnje energije.....	11
Podjela oblika energije.....	11
Obnovljivi i neobnovljivi oblici energije.....	13
Pokazatelji potrošnje energije.....	13
Potrošnja energije u Hrvatskoj	21
Ekonomski pokazatelji. Energetski intenzitet.....	23
Opskrbljenost vlastitim izvorima energije.....	26
3. Fosilna goriva.....	32
Nafta.....	32
Zalihe nafte.....	33
Temeljni naftni proizvodi.....	42
Prerada nafte.....	45
Prirodni plin.....	49
Zalihe prirodnog plina.....	49
Nekonvencionalni plin.....	52
Transport prirodnog plina plinovodima.....	55
Ukapljeni prirodni plin.....	57
Ugljen.....	59
4. Izgaranje.....	64
Sastav krutih i tekućih goriva.....	65
Sastav plinovitih goriva.....	65
Stehiometrijski odnosi u procesu izgaranja.....	67
Stehiometrijske jednadžbe izgaranja krutih i kapljevutih goriva.....	67
Stehiometrijske jednadžbe izgaranja plinovitih goriva.....	69
Volumen dimnih plinova.....	70
Literatura.....	76

1 Povijest korištenja Energije

Povijest čovječanstva vezana je uz korištenje energije. U onom trenutku kad je čovjek počeo kontrolirati prirodne sile počinje i korištenje energije. Sasvim sigurno je vatra bila jedna od prekretnica u razvoju čovjeka (slika 1.).



Slika 1. Praljudi koriste vatru

„Nakon analize 141 arheološke lokacije, znanstvenici su došli do spoznaje da se vatra počela koristiti prije 300.000 do 400.000 godina. Ljudi su naučili koristiti se vatrom, što je bio prvi korak prema nastanka civilizacije, ali mnogo kasnije nego što se prije vjerovalo.“ (HRT).

Korištenje vatre utjecalo je na prehranbene navike praljudi te im je omogućilo toplinsku obradu hrane. o jednoj interesantnoj činjenici svjedoči sljedeći citat: „ ...No smanjenje kutnjaka između Homo erectusa, čovjeka iz Neandertala i Homo sapiensa ne može biti rezultat samo evolucije lubanje i veličine tijela, ističu znanstvenici. Smanjenje kutnjaka posljedica je ponajprije prilagodbe kuhanoj i obrađenoj hrani što je znatno smanjilo vrijeme hranjenja. Taj je proces počeo s Homo erectusom prije 1,9 milijuna godina.“ (HRT).

Logično je da je čovjek nakon što je naučio koristiti vatru korištenjem imao potrebu i za dovoljnim količinama energenata kojima će tu vatru održavati. Okrenuo se onome što mu je u prirodi bilo najbliže, a to je drvo koje možemo sasvim sigurno označiti kao prvi (kemijski) izvor energije koji je čovjek upotrebljavao.

Asfalt, kao jedan od prirodnih oblika nafte, je prvo fosilno gorivo koji je čovjek koristio, a koristili su ga Sumerani 6000 g pr. Krista. Nastanjivali su Mezopotamiju koja se nalazila na području rijeka Eufrat i Tigris, na mjestu gdje se danas nalaze Irak i Iran, države s velikim nalazištima nafte i prirodnog plina. Gorivo se koriste za proizvodnju cigle, vapna, bakra željeza, a 3000. g. prije Krista i za glaziranje i emajliranje lončarskih proizvoda, za rasvjetu koristile su se biljne i životinjske masti. Razlog korištenja asfalta je njegova laka dostupnost na ili blizu površine zemlje, obzirom da u to vrijeme nisu postojale tehnologije iskorištavanja nafte poznate u današnje vrijeme.

Za Babilonskog carstva (2500. g. do 538. g. pr. Kr.) uočeno je prvo povijesno razdoblje korištenja fosilnog goriva i to sirove nafte i asfalta koji su korišteni u proizvodnji cigle i vapna.

U tom razdoblju (1100 g. pr. Kr.) korištenje ugljena zabilježeno je jedino u tada tehnološki vrlo naprednoj Kini i to za proizvodnju metala, papira, šećera i baruta, a sve u nedostatku drveta kao izvora energije. Koristio se i prirodni plin iz plitkih bušotina.

Iako su se koristila fosilna goriva, drvo je ipak ostalo glavni izvor energije. Potrošnja je bila veća od prirasta. U Indiji su šume gotovo uništene, a zemlja je pretvorena u pustinju. Da bi se nadomjestilo nedostatak drva počinje se u sljedećim stoljećima koristiti životinjski izmet glavni izvor energije (biomasa), što je pak utjecalo na smanjenje plodnosti zemljišta.

Stagnacija tehnološkog razvoja uzrokovanog propašću Babilonskog carstva, te velikim društvenim promjenama poput nastanka kasta u Indiji i pobjede Konfucijeve filozofije u Kini, usporile su iskorištavanje drva i trend potpunog uništenje šuma.

Uočljivo je da su ovi primjeri, iako su se događali kroz dugo povijesno razdoblje, vezani uz središnji euroazijski prostor, odnosno ono što će se mnogo godina kasnije točnije pred kraj stare ere, pa kroz srednji vijek nazvati „Putom svile“ (slika 2.).



Slika 2. „Put svile“- od kraja stare ere pa kroz srednji vijek



Slika 3. Model rimskog vodeničnog kola (oko 50.g.pr.Kr.)

Oko 500. g. pr. Kr. raste potreba za mehaničkom energijom. Rimljani prvi počinju iskorištavati vodne snage pomoću mlinskog kola (slika 3.), a sva ostala mehanička energija, osim energije vjetera kojom se pokreću jedrenjaci, osigurava se radom robova ili domaćih životinja. Za istaknuti je potrebu za velikim količinama mehaničke energije odn. radne snage zbog veličine samog Rimskog carstva, ali i velikog intenziteta prometa i gradnje objekata od kojih su još i danas mnogi u dobrom stanju, a neki i u funkciji (ceste, vodovodi, zgrade itd.). Brodove je pokretao vjetar.

Perzijanci su oko 500. g. pr. Kr. napustili korištenje fosilnih goriva, najvjerojatnije zbog iscrpljivanja lako dostupnih zaliha na površini, na istom području su Arapi 1000. g.n.e. koristili vjetar i vodu kao izvor energije.

U tom razdoblju su nesumnjivo veliku ulogu imali obnovljivi izvori energije jer su se mogli relativno lako koristiti. To razdoblje od 500. pr. Kr. pa kroz ranu novu eru vrijeme je kad su u Grčkoj i starom Rimu djelovali mnogi veliki filozofi, matematičari i fizičari. Veliki grčki znanstvenik Arhimed poznat između ostalog po konstrukciji paraboličnog zrcala koje upotrijebio da bi odbio napad Rimljana na grad Sirakuzu u kojem je živio. pomoću paraboličnih zrcala koncentrirao je sunčeve zrake na rimske drvene brodove koji su se tako zapalili.

Maji u Srednjoj Americi nisu poznavali metale, a osnovni izvor energije i sirovine bilo je drvo. Kad su šume iskrčene njihovo je carstvo propalo.

U Velikoj Britaniji upotrebljavao se ugljen prije dolaska Rimljana, a indijanska plemena u Arizoni koristila su ugljen 200 godina prije dolaska Kolumba,

Početakom 18. tog stoljeća afirmirana je upotreba ugljena i koksa, čime je zamijenjen drveni ugljen i spriječeno daljnje uništavanje šuma. Plin dobiven isplinjavanjem ugljena prvi put je upotrijebljen za rasvjetu u Irskoj 1691. g..

Paralelno s korištenjem fosilnih goriva teklo je i korištenje vodnog potencijala. U to vrijeme fosilna goriva bila su prvenstveno izvor toplinske energije jer nisu postojali toplinski strojevi koji bi pretvarali toplinsku energiju u mehaničku. Vodenička kola davala su mehanički rad potreban za pokretanje mlinova, pilana, kovačnica i ostalih strojeva. U 2. st. pr. Kr izumljeno je vertikalno vodeničko kolo koje je davalo mehanički rad za oblikovanje metalnih predmeta, mljevenje žitarica, itd.

U srednjem vijeku vodni potencijal se značajno iskorištava. Do 15. stoljeća u Francuskoj proizvodnja je postala ovisna o hidroenergetskim izvorima.

Krajem 18. stoljeća velike tvornice za preradu pamuka u Engleskoj pokretane su snagom vodeničnih kola.

Ovakav izvor mehaničke energije bio je izrazito ograničavajući čimbenik razvoja jer su sve tvornice morale biti smještene na izvoru mehaničke energije odn. uz sam vodotok.



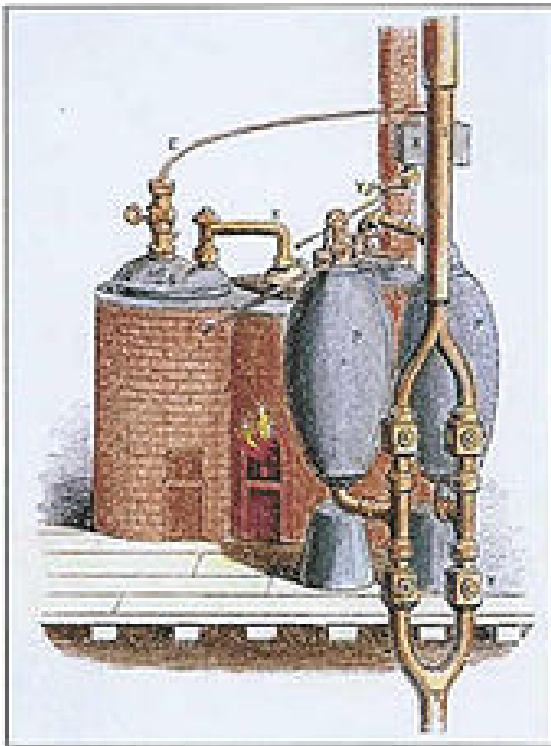
Slika 4. Vodenice u Rastokama na rijeci Korani

I u Hrvatskoj su kroz povijest vodenice bile vrlo zastupljene kao mjesta gdje su se mljele žitarice, pililo drvo. Na slici 4. prikazane su vodenice u selu Rastoke podno Slunja. Osim što se u njima proizvodilo brašno, postoji još jedna interesantna primjena. U nedostaku

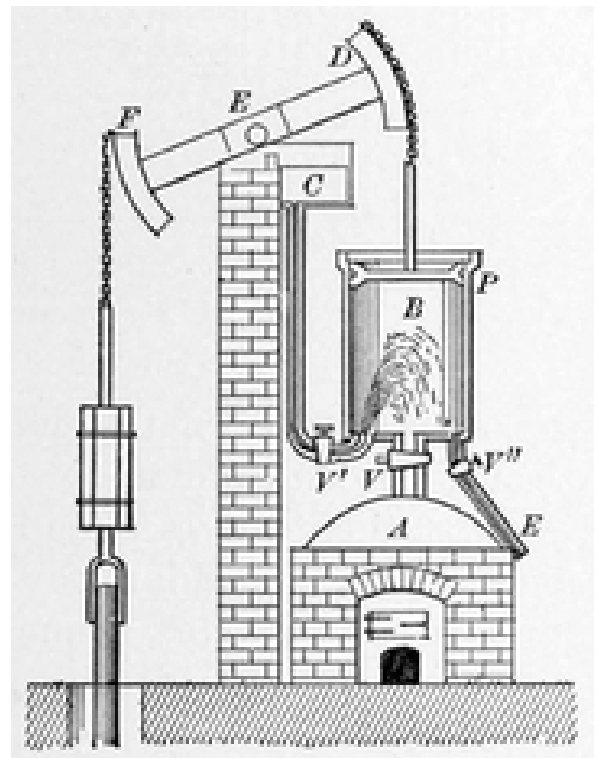
elektromotora vodenično kolo potopljene izvedbe služilo je za pokretanja tadašnje perlice rublja.

Glavni izvor energije u pomorskom prometu je bio u to vrijeme vjetar. Brodovi su plovili da bi otkrili nove teritorije, ali su i održavali redovite veze između kolonija i matičnih kolonijalnih država, omogućujući redoviti transfer robe i tehnologija.

Krajem 17.-tog i početkom 18.-tog stoljeća počinju prvi pokušaji u konstruiranju toplinskog odn. parnog stroja koji će davati mehanički rad. Potreba za takvim strojevima javila se posebno u engleskim rudnicima koji su često bivali poplavljeni vodom što je usporavalo proizvodnju. tako je Thomas Savery izumio parni stroj koji nema klip (slika 5.), s namjerom da se koristi gdje god postoji potreba za mehaničkim radom. Stroj je bio vrlo nepouzdan. Znatno uspješniji bio je Thomas Newcomen koji je patentirao parni stroj s klipom (slika 6.) koji je pokretao pumpe koje su pumpale vodu iz rudnika. Stroj je uspješno radio 30 godina.

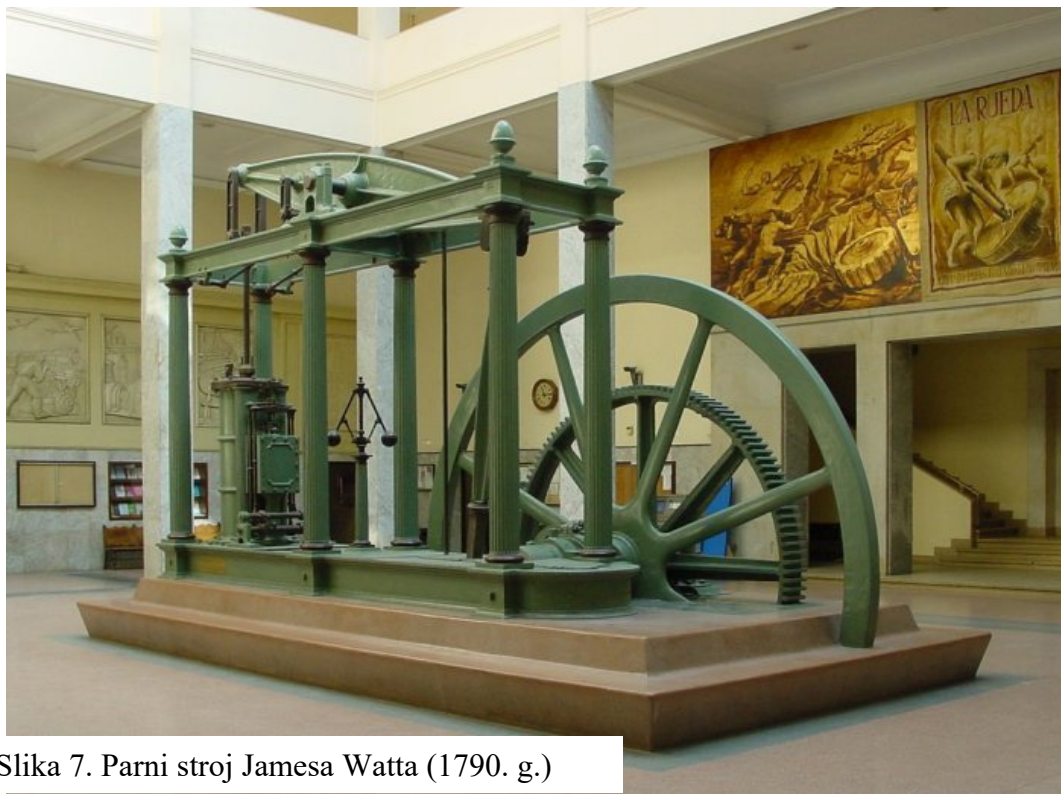


Slika 5. Parni stroj Thomasa Saverya (1698. g.)- nema klip



Slika 6. Parni stroj Thomasa Newcomena (1712. g.)

Sve je to bio uvod u izum parnog stroja koji se pripisuje Jamesu Wattu koji je 1760. započeo eksperimente koji su urodili plodom 30 godina nakon toga kad je konstruiran prvi parni stroj s mogućnošću tehničke primjene koji pretvara toplinsku energiju u mehaničku (slika 7.).



Slika 7. Parni stroj Jamesa Watta (1790. g.)

Taj događaj predstavlja prekretnicu u proizvodnji mehaničkog rada čime je započela 1. industrijska revolucija i početak modernog industrijskog doba. Revolucionarnost tog izuma ogleda se u tome što je sada po prvi puta bilo moguće proizvoditi mehanički rad gdje god je to bilo potrebno. Više nije bilo nužno biti vezan uz vodotoke koji su bili glavni izvor mehaničke energije. Parni stroj omogućio je razvoj industrije, rudarstva a naposljetku i prometa. Dolazi do razvoja željeznica na kopnu, ali i u pomorskom prometu parobrodi počinju istiskivati jedrenjake. Prva lokomotiva izrađena je 1803. upravo za transport ugljena. Kao posljedica izuma parnog stroja počinje vrtoglavi rast proizvodnje i potrošnje ugljena iako su prvi parni strojevi kao izvor energije koristili drvo i drveni ugljen.

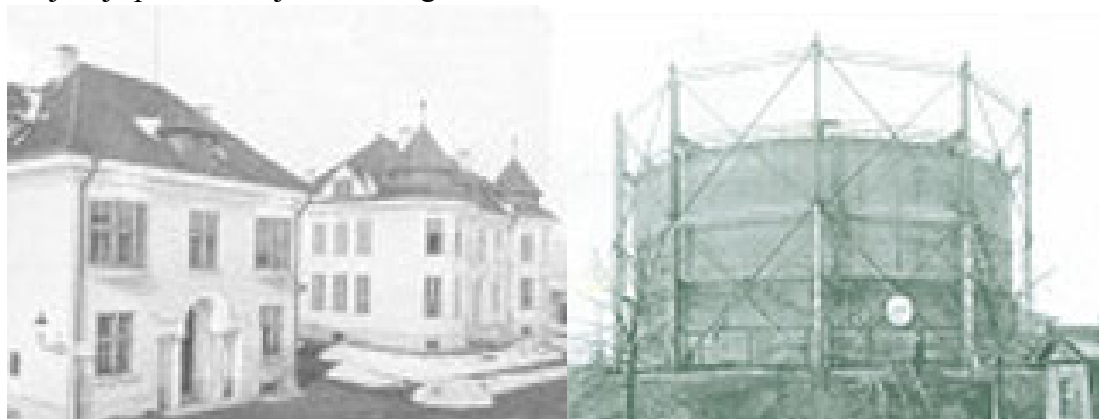
Ugljen se osim toga upotrebljava i za proizvodnju plina. U Londonu već 1812. g. postoji plinska mreža duga 200km koja se opskrbljuje plinom nastalim isplinjavanjem ugljena, mahom za potrebe rasvjete. Proizvodilo se oko 10000m³ plina što je bilo dostatno za 75000 rasvjetnih jedinica.

Što se pak tiče iskorištavanje prirodnog plina, ono je značajnije započelo tek 1884. g. kad se Pittsburg opskrbljuje plinom pomoću plinovoda iz izvora udaljenog 23 km. Plin se je koristio za rasvjetu, grijanje i toplinske procese.

Iako se naši krajevi u to vrijeme nisu nalazili među predvodnicima tehnološke revolucije, ipak su uz određeno vremensko kašnjenje mnogi izumi pronalazili mjesto i primjenu i u nas.

Tako 1862. godine Gradsko zastupstvo (Zagreba) sklapa ugovor o izgradnji tvornice rasvjetnog plina s habsburškim industrijalcem A.L. Riedingerom. Prvi pogoni, koji su koristili postupak suhe destilacije iz drveta, bili su locirani na tadašnjoj periferiji grada, na uglu Gundulićeve i Hebrangove (danas zgrada Elektre). Proizvodi se gradski plin isplinjavanjem ugljena poput onog u Londonu 50-tak godina prije. Ubrzo nakon toga, točnije 31.10.1863. godine puštena su u pogon prva postrojenja za isplinjavanje ugljena omogućivši da na taj način zagrebačke ulice i trgove osvijetli svjetlost 364 plinske svjetiljke. Ubrzo se počinje i s dovođenjem plina u domaćinstva. Domaći dioničari preuzimaju Plinaru 1873. godine. Gradsko zastupstvo 1898. godine donosi odluku o otkupu Plinare koji je realiziran 1900. godine čime Plinara postaje Gradska plinara Zagreb d.o.o. Godine 1911. otvaraju se novi pogoni na današnjoj lokaciji u Radničkoj cesti (slike 8. i 0.) a širenjem grada, širi se i plinska

mreža. U zgradama sa slike 8. još i danas je smještena uprava GPZ-a, a spremnici plina (3) na istoj lokaciji (slika 9.) nesmotreno su uklonjeni iako su predstavljali značajan doprinos industrijskoj spomeničkoj baštini Zagreba.



Slika 8. Zgrade GPZ-a u Radničkoj c. u Zagrebu Slika 9. Spremnik plina u Radničkoj c. u Zagrebu

Govoreći o povijesti plina u Hrvatskoj treba napomenuti da zagrebačka plinara nije najstarija već je to riječka plinara deset godina starija od zagrebačke a i u Splitu se spominje uvođenje plinske rasvjete 1862. godine i s time povezana izgradnja plinare u ulici koja je dobila prikladno ime Plinarska ulica. Uz tu ulicu nalazi se i kulturni Plac (sagrađen 1911.), stadion na kojem je HNK Hajduk igrao utakmice sve do preseljenja na Poljud. U istoj ulici osnovan je i RNK Split 1912. (tada HRŠK Anarh).

Dugo vremena parni stroj jedini je stroj za proizvodnju mehaničke energije. Otkrićem mogućnosti proizvodnje el. energije i proizvodnje mehaničke energije pomoću elektromotora stvari se mijenjaju iako kroz dugi period.

Volta 1799. g. pronalazi galvanski članak, 1834. konstruiran je prvi elektromotor (Jacobi), 1866. prvi elektrogenerator (Siemens, Wheatstone), 1879. žarulja s ugljenom niti (Edison). Kroz 19. stoljeće razvijaju se prve vodne turbine (1837), prva parna turbina napravljena je 1884.

Hrvatski znanstvenik Nikola Tesla zaslužan je za pronalazak trofazne izmjenične struje (1887.) i okretnog magnetskog polja omogućuju jednostavnu pretvorbu mehaničke energije u električnu. Iako je svoje ideje nudio i gradskom poglavarstvu Zagreba, njegovo vizionarstvo nije bilo prepoznato. O ovome svjedoči spomen ploča na Starogradskoj vjećnici u ulici Sv. Ćirila i Metoda u Zagrebu (slika 10.).

Afirmaciju svojih ideja Nikola Tesla doživljava u SAD-u gdje je prema njegovim zamislima 1895. izgrađena prva hidroelektrana veće snage na Nijagari.

Jednak značaj ima gotovo istovremeni događaj, a to je demonstracija prijenosa električne energije žicom na udaljenosti od 175 km na elektrotehničkoj izložbi u Frankfurtu 1891. g.

U ovom slučaju Hrvatska je bila u trendu. Jedna od prvih hidroelektrana u Europi i svijetu izgrađena je na rijeci Krki, iz HE Jaruga opskrbljivao se grad Šibenik, kao obično na početku se ta električna energija koristila za



Slika 10. Spomen ploča Nikoli

rasvjetu gradskih ulica. Novinski članak koji obrađuje taj događaj dan je na slici 11.

Prva hidroelektrana u Europi

JADRANKA KLISOVIĆ

ŠIBENIK - U ponedjeljak se u Šibeniku obilježava 110. obljetnica izgradnje hidroelektrane »Jaruga«, prve HE izgrađene u Europi. Na ideju o gradnji došao je sin poznatoga šibenskog gradonačelnika

V Ante Šupuka, Marko, koji je 1891.g. posjetio izložbu elektrotehnike u Frankfurtu gdje je vidio prijenos veće snage trofazne struje. Otac i sin realizirali su zamisao s inženjerom Vjekoslavom pl. Meichsnerom i tako se rodila prva HE u Europi. Nakon 16 mjeseci gradnje HE Jaruga je proradila 28. kolovoza

1895. u 20 sati. Šibenik je tako postao prvi grad u Europi koji je dobio višefazni izmjenični sustav, koji je preko 11 kilometara dugog dalekovoda do Šibenika i trafostanica opskrbljivao 320 gradskih svjetiljki. Tri dana nakon šibenske u pro-

met je, prema Teslinu patentu, puštena hidroelektrana na slapovima Nijagare u SAD. Šibenska HE Jaruga radila je bez prestanka punih 20 godina, a onda je na istom mjestu sagrađena nova, koja je i danas u funkciji.



Na slapovima Krke HE »Jaruga« radila je 20 godina

Slika 11. Novinski članak o obljetnici gradnje HE Jaruga

U SAD-u (država New York) 1627. g. i 1640. g. u Modeni u Italiji otkriveni su prvi izvori nafte i realizirane prve bušotine koje su se eksploatirale 200 godina. Petrolej dobiven iz te nafte korišten je uglavnom za rasvjetu, kao što je to bilo uobičajeno u prvim primjenama nafte, za uličnu rasvjetu u Genovi i Parmi (1803.g.).

Era moderne naftne industrije počinje 1859. g prvim industrijski iskorištavanjem nafte u Pennsylvaniji (SAD).

Opet je ovdje Hrvatska u trendu, nekoliko crtica preuzetih s web stranice ina.hr svjedoči o tome:

„U međimurskom selu Peklenica, iz bunara dubokog četiri metra na imanju grofa Jurja Festetića, dva muškarca i jedna žena vadili su ručnim vitlom za nadnicu 20-25 mjera nafte na dan. S vremenom je Festetić izbušio više bunara, a naftu je prodavao po okolnim selima. U nedalekoj Selnici otvoreno je 1889. prvo naftno polje, s četiri bušotine. Prvi drveni tornjevi za vađenje nafte postavljeni su u Mikleuški, potom i u Bačindolu kraj Nove Gradiške.“

O povijesti naših rafinerija i sljedeći podaci iz istog izvora:

„Rafinerija nafte Rijeka započela je radom 1883. godine, kao najveći pogon za preradu nafte na kontinentu. S godišnjim preradbenim kapacitetom od 60 tisuća tona, to je i ostala sljedećih desetak godina. Izgrađena je na prigradskom području Ponsal (danas Mlaka), usporedno s

izgradnjom Petrolejske luke. Podmirivala je trećinu potreba za derivatima Austro-Ugarske Monarhije.“

Posebno je značajan sljedeći podatak:

„Za razliku od tipičnih rafinerija toga doba, koje naftu prerađuju manufakturno, sa 10-20 radnika, bez vodstva stručno obrazovane osobe, Rijeka započinje rad sa 300 zaposlenika i s tehničkim direktorom koji je visoko obrazovan kemičar. Time je postala prvi europski pogon za preradu nafte na industrijski način.“

I par riječi o rafineriji nafte Sisak:

„Rafinerija nafte Sisak razvila se iz Shellova skladišnog prostora izgrađenog 1923. na ušću Kupe u Savu. Na istoj lokaciji Shell 1927. izgrađuje kotlovsku destilaciju s dnevnim preradbenim kapacitetom od 170 tona. Sirovina i derivati transportirani su teglenicama Savom i željezničkim cisternama.“

Ovaj kratki pregled povijesti korištenja energije, koji nije gotovo ni dotaknuo 20. stoljeće ukazuje na važnu činjenicu da je energije osnovni preduvjet razvoja. Neke civilizacije su nastajale, opstajale, ali i propadale ovisno o tome kojom količinom energije su raspolagale.

Društvene promjene utjecale su na brzinu razvoja, bez obzira da li su ga usporavale ili ubrzavale.

Obzirom na činjenicu da su ljudi ovisili o najbližim izvorima energije, a često je to bilo drvo, još u davnom razdoblju to je izazivalo velike ekološke probleme pa je tako zabilježeno da se je onečišćenje zraka u gradovima pojavilo se davno prije industrijskog doba, a bilo je uzrokovano prašinom i dimom od izgaranja drva.

Porast sječe drva s razvojem civilizacije u Babilonu, Grčkoj, Libanonu i Italiji dovelo je do pomanjkanja drva, ne prvi i jedini put u povijesti. Pomanjkanje drva prisililo je Grke na pasivno korištenje Sunčeve energije, tako što su gradove prilikom gradnje orijentirali prema Suncu. Rimljani uvoze drvo.

Puno kasnije sječa šuma u 15. i 16. tom stoljeću u Francuskoj, Njemačkoj i Engleskoj opustošila je velika područja što je dovelo do intenzivnijeg korištenja ugljena. Međutim ni to nije riješilo ekološke probleme već ih je na drugi način čak i pogoršalo.

Krajem 18. i početkom 19. st. dim od ugljena guši velike gradove, kemijska industrija truje okoliš, katran od gradskog plina koji se dobiva iz ugljena ispušta se izravno u rijeke. Polovinom 19. st. poznati smog u Londonu ubija stanovnike.

2. Pokazatelji potrošnje energije

Podjela oblika energije

Iz svakodnevnog života znamo da se energije pojavljuje u različitim oblicima. Na plinskom plameniku možemo zagrijavati epruvetu u laboratoriju, kod kuće kuhati čaj. Kad pritisnemo sklopku zasvijetlit će svjetiljka, a kada to ponovimo svjetlo će se ugasiti. Kad žarulja svijetli strujni krug je zatvoren, a kada ne svijetli strujni krug je otvoren. Svatko zna da jednim pokretom može ponovo zatvoriti strujni krug. Kad žarulja svijetli daje svjetlo i toplinsku energiju, a kada ne svijetli znamo da je električna energija „tu negdje“. Kad u automobilu kojeg pokreće motor, zasvijetli crvena žaruljica za gorivo moramo otići na benzinsku pumpu kupiti gorivo. Kad smo kupili gorivo kupili smo neki oblik energije. Još nešto, napunili smo spremnik gorivom, sjeli u automobil koji je sad „pun“ energije, i ništa. Moramo okrenuti ključ, „upaliti“ motor, pa tek tada voziti. Možda na ovaj način nismo do sada razmišljali, a sasvim sigurno da smo cijelo vrijeme govorili o energiji na ovaj način.

Zbog toga je nužno stvari staviti na svoje mjesto i točno definirati sve postojeće oblike energije. U ovoj podjeli zadržavamo se na onome što je vezano uz tehnički pojam energije odn. oblike energije koji su vezani u svakom smislu uz tehničke sustave.

Energija se dijeli na primarne, transformirane i korisne oblike (tablica 1.).

Primarni oblici predstavljaju one oblike energije kakvi se susreću u prirodi. Dijele se na konvencionalne (ogrjevno drvo, ugljen, sirova nafta i prirodni plin, vodne snage, nuklearna goriva i vrući izvori) i nekonvencionalne (uljni škriljavci i bituminozni pijesak - tzv. nekonvencionalni nafta i plin, energija plime i oseke i valova, en. vjetra, Sunčeva energija). Uobičajeno se još prirodni plin, nafta i ugljen nazivaju fosilnim gorivima i to bez obzira bili oni konvencionalnog ili nekonvencionalnog porijekla. Također uočavamo da se u grupi nekonvencionalnih izvora nalaze i obnovljivi izvori energije poput energije Sunca, vjetra, plime i oseke i valova, dok vrući tj. geotermalni izvori, iako obnovljivi, pripadaju grupi konvencionalnih. U modernoj energetici obnovljivi izvori već zauzimaju značajan udio a u budućnosti će se on i povećavati. Dakle primarni oblici predstavljaju oblik kakav nalazimo u prirodi i koji ako govorimo o konvencionalnim izvorima i oni u tom obliku mogu ostati pohranjeni ili neiskorišteni. S nekim vrstama nekonvencionalnih oblika, situacija je društva, jer npr. energiju Sunca ili vjetra možemo osjetiti.

Da bismo iz tih primarnih oblika dobili tehnički iskoristive oblike energije moramo ih podvrgnuti energetske transformacijama. Za svaki oblik primarne energije postoji odgovarajuća transformacija koja ovisi o tome koje je vrste energije pojedini oblik nositelj, ili jednostavno rečeno zašto nešto predstavlja izvor energije.

Tako su fosilna goriva i drvo nositelji kemijske energije jer posjeduju gorive elemente koji će kroz kemijsku reakciju dati drugi oblik energije, uran i torij su npr. nositelji nuklearne energije koji će kroz reakciju fisije dati energiju. Vodne snage, plima i oseka i valovi su nositelji potencijalne energije koji će se u odgovarajućim strojevima-turbinama pretvoriti u mehanički rad, Sunce je nositelj energije zračenja koja će u solarnom kolektoru pretvoriti u toplinu ili u fotonaponskoj ćeliji u električnu energiju, a vjetar je nositelj kinetičke energije će se u rotoru vjetroturbine pretvoriti u mehanički rad.

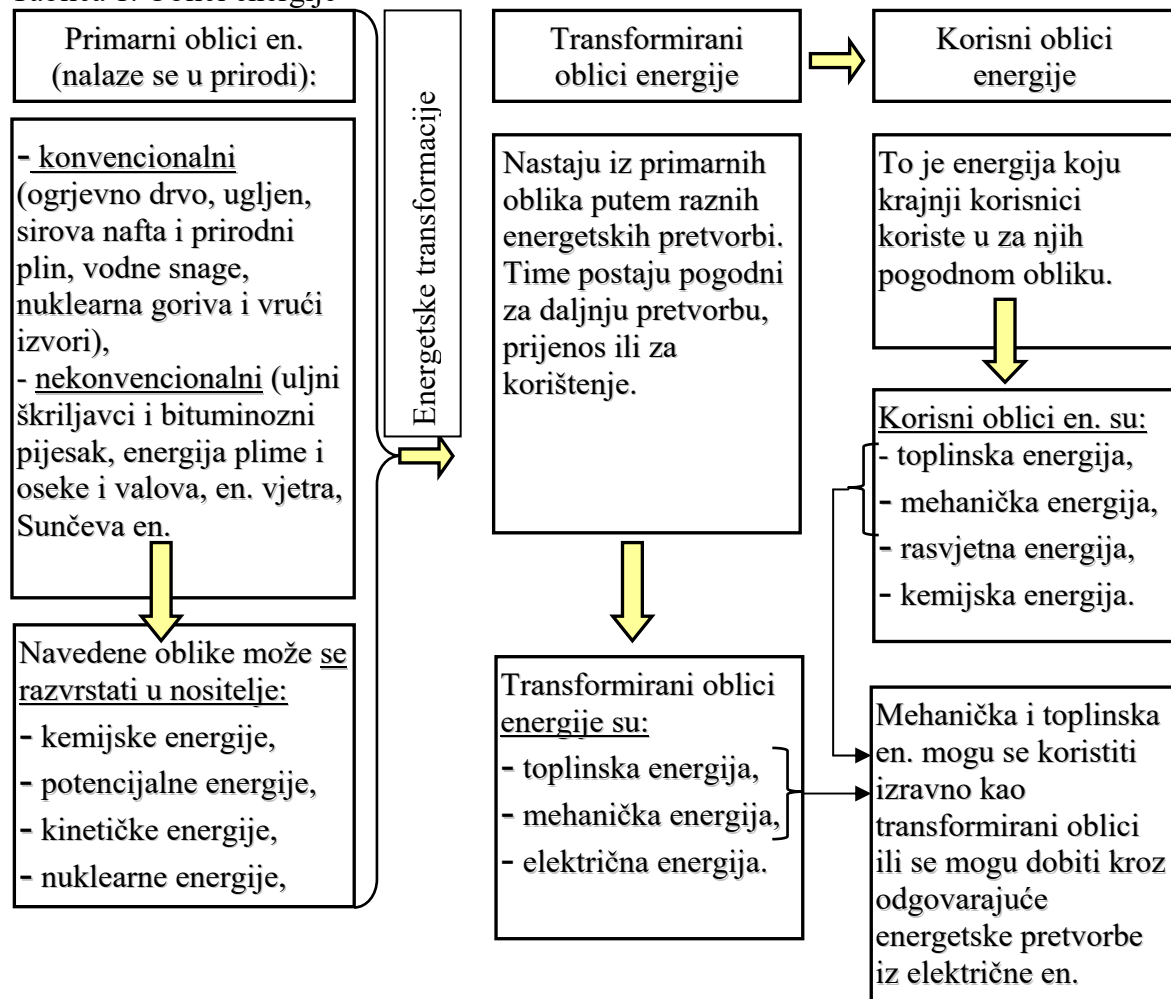
Dakle, kroz odgovarajuće energetske pretvorbe, jednu ili više u nizu, iz primarnih oblika energije nastat će transformirani oblici energije: mehanička, toplinska i električna. To su oblici energije koji se mogu koristiti odmah ili su pogodni za transport na veće ili manje udaljenosti. Treba napomenuti da mehaničku energiju nije moguće transportirati već se može koristiti samo na licu mjesta. Toplinska energija pogodna je za prijenos na manje udaljenosti, a električna na velike udaljenosti zbog čega predstavlja vrlo kvalitetan oblik energije.

Korisni oblici energije su oni oblici energije koji su pogodni za korištenje krajnjim korisnicima. To su mehanička, toplinska, rasvjetna i kemijska. U slučaju toplinske i mehaničke energije treba pojasniti zašto te iste oblike energije imamo i među transformiranim oblicima energije. U transformiranom obliku ti su oblici nastali izravnom pretvorbom iz primarnih oblika. Npr. mehanička energija je dobivena iskorištenjem energije vodotoka na vodeničnom kolu i može se koristiti za pogon mlina, a toplinska energija je dobivena u kotlu termoenergetskog postrojenja pa se može koristiti za potreba industrijskih procesa ili grijanje.

Toplinsku energiju u korisnim oblicima energijom mogli smo dobiti tako što smo električnu energiju kao transformirani oblik u grijaču pretvorili u toplinsku energiju ili u elektromotoru u mehaničku energiju. Time smo iskoristili prednost prijenosa električne energije do korisnika i pretvorbu na mjestu i u oblik koji korisniku (potrošaču) najviše odgovara. Ovu činjenicu koristimo između ostalog u mnogim kućanskim uređajima. Također je toplinsku energiju kao korisni oblik za potrebe grijanja prostora moguće dobiti iz električne energije, iz transformiranog oblika ili izravno iz primarnog oblika (npr. grijanje kuće ili stana prirodnim plinom korištenjem vlastitog izvora toplinske energije-etažno grijanje). Od navedeni načina najnepovoljniji je, energetski i financijski onaj gdje se koristi električna energija jer je već za dobivanje električne energije bila potrebna barem jedna energetska pretvorba, dok ostala dva slučaja tu pretvorbu preskačemo.

Ovdje dolazimo do važne činjenice poznate iz fizike da su sve energetske pretvorbe popraćene energetskim gubicima uslijed nepovrativosti procesa. Opisani oblici energije i smjerovi energetske transformacije prikazani su radi preglednosti u tablici 1.

Tablica 1. Oblici energije



Obnovljivi i neobnovljivi izvori energije

Potrebno se još osvrnuti na jednu uobičajenu podjelu primarnih oblika energije, a to je podjela na neobnovljive i obnovljive izvore energije.

Neobnovljive izvore predstavljaju oni izvori čije su zalihe u prirodi konačne a to se prvenstveno odnosi na fosilna goriva i nuklearnu energiju. Iako im se danas dodjeljuje epitet nečistih pa i opasnih izvora, oni su temelj i prošle i suvremene energetike. Osnovne prednosti su mogućnost njihova skladištenja te sigurni i stabilni rad postrojenja koja proizvode energije iz tih izvora.

Za razliku od neobnovljivih, za obnovljive izvore karakteristična je promjenjiva proizvodnja energije jer su sami izvori takvi po svojoj prirodi, vjetar puše različitom brzinom, Sunce ne zrači istim intenzitetom itd. Osnovna prednost obnovljivih izvora je to što se oni u kružnim ciklusima obnavljaju u prirodi, prvenstveno kao posljedica aktivnosti Sunca. kao posljedica toga pretvorba obnovljivih izvora energije u transformirane znatno manje utječe na okoliš. Obzirom da obnovljivi izvori danas zauzimaju vrlo značajno mjesto u svjetskoj energetici, s trendom porasta korištenja, u nastavku će biti posvećen znatno veći prostor ovom pitanju.

Ova podjela definira pojavne oblicima energije i počiva na fizikalnim i tehničkim principima. Energetika odn. upravljanje energijom predstavljaju znatno kompleksnije područje u kojem moraju biti obuhvaćeni i mnogi drugi čimbenici.

Pokazatelji potrošnje energije

Glavni aspekti energetike su, uz onaj tehnički i tehnološki, ekonomski, društveni i ekološki. Neki će to opisati kao „održivi“ pristup, moderni pridjev koji se koji puta olako pridodaje raznim pojmovima.

Kad govorimo o energetici uz navedene osnovne pojmove usvojene u prethodnoj podjeli, potrebno je uvesti i druge pokazatelje koji će omogućiti sagledavanje ovog problema u cijelosti.

Naučili smo koji oblici energije postoje, a postavimo si sada pitanje koliko mi te energije trošimo i u kojem je ona obliku isporučena nama kao korisnicima. Ima li onih koji troše više ili manje od nas? I još mnogo pitanja.

Što kaže statistika?

Tablica 2., iako iz današnje perspektive izgleda vrlo staro i možda se čini zastarjelom i neupotrebljivom, nudi naprotiv korisne podatke do početka 1990.-ih godina. Tih godina započeli su mnogi procesi na globalnoj, regionalnim i nacionalnim razinama koje su u potpunosti izmijenile sliku svjetskog gospodarstva, a i mnogo šire. Prisjetimo se samo nekih, 1989. g. dolazi do pada Berlinskog zida, Njemačka se ujedinjuje, a nestaje „Željezna zavjesa“, započinje raspad SSSR-a, nastajanje novih država u istočnoj i jugoistočnoj Europi. Hrvatska se u Domovinskom ratu osamostalila nakon raspada bivše države, malo kasnije mirno su se razile Češka i Slovačka, započinje krug proširenja EU itd. Paralelno se događa ekonomska tranzicija iz socijalističkog u kapitalistički sustav. 1990. Irak napada Kuvajt, a SAD intervenira i ostvaruje dodatni utjecaj u tom dijelu svijeta koji će se kasnije pojačati kroz invaziju Iraka.

Po pitanju potrošnje energije 1990. g. je bazična godina za „Kyoto protokol“, temeljni dokument koji je međunarodna zajednica pod okriljem UN-a donijela s ciljem smanjenja emisija CO₂.

Što se sve može vidjeti u tablici 2?

Uočavaju se dvije podjele: podjela potrošnje primarne energije po kategorijama: industrija, promet (komercijalni i nekomercijalni), zgradarstvo (stanovanje i komercijalno) i podjela po karakterističnim pokazateljima razvijenosti zemalja. Ovdje su najrazvijenije zemlje svrstane u grupu OECD (skraćeno od - Organization for Economic Co-Operation and Development, članice su trenutno: Australija, Austrija, Belgija, Kanada, Češka, Danska, Finska, Francuska, Njemačka, Grčka, Island, Mađarska, Irska, Italija, Japan, J. Koreja, Luksemburg, Meksiko, Nizozemska, Novi Zeland, Norveška, Poljska, Portugal, Slovačka, Španjolska, Švedska, Švicarska, Turska, UK, SAD- zemlje bivšeg „Istočnog bloka“ su se priključile kasnije). Drugu grupu čine zemlje tzv. „Istočnog bloka“ koje su nakon 1990. podijeljene na „Istočnu Europu i bivši Sovjetski Savez“. Neke od tih zemalja kasnije se priključuju drugim asocijacijama (OECD) a neke ulaze i u Europsku uniju. Treću grupu čine zemlje u razvoju, bivši blok nesvrstanih, južnoameričke države, ali i Kina, Indija itd.

Tablica 2. Potrošnja primarne energije u Svijetu od 1971.-1992. (izvor World Energy Council-WEC, London, 1995)

Zemlje	Potrošnja primarne energije, EJ/ Udio, %, za godinu								Prosječni godišnji rast 1971-1992, %
	1971.		1980.		1990.		1992.		
	Potrošnja EJ	Udio %	Potrošnja EJ	Udio %	Potrošnja EJ	Udio %	Potrošnja EJ	Udio %	
OECD									
Industrija	50	42	57	40	59	37	60	36	0,8
Zgradarstvo	45	38	54	38	63	39	66	40	1,9
Promet	25	20	31	22	38	24	39	24	2,1
<i>Ukupno</i>	120	100	142	100	160	100	165	100	1,5
Istočna Europa i bivši Sovjetski Savez									
Industrija	26	59	34	55	38	52	32	51	0,9
Zgradarstvo	12	27	20	32	26	36	22	35	3,0
Promet	6	14	8	13	10	12	9	16	2,0
<i>Ukupno</i>	44	100	62	100	73	100	63	100	1,7
Zemlje u razvoju									
Industrija	14	52	25	52	39	52	43	52	5,5
Zgradarstvo	7	26	13	27	23	31	25	30	6,2
Promet	5	22	9	23	13	17	14	18	4,7
<i>Ukupno</i>	27	100	48	100	75	100	82	100	5,5
Svijet									
Industrija	90	47	116	46	136	44	134	43	1,9
Zgradarstvo	64	34	88	35	112	36	113	36	2,8
Promet	37	19	49	19	61	20	63	21	2,6
<i>Ukupno</i>	191	100	253	100	309	100	311	100	2,3

Zemlje OECD-a bilježe konstantni porast potrošnje (stupac potrošnja) u svim kategorijama. Može se uočiti promjena udjela pojedine kategorije potrošnje (stupac %). Npr. 1971. promet ima najmanji, a industrija najveći udio, 1992. promet je povećao svoj udio, a industrija smanjila svoj udio u ukupnoj potrošnji.

Istočna Europa i bivši SSSR maksimum ukupne potrošnje ima 1990. a samo dvije godine kasnije veliki pad uzrokovan prethodno opisanim društveno-političkim promjenama koje su se odrazile na sve segmente gospodarstva uključujući i energetiku. Primijetimo da je ukupna potrošnja u cijelom razdoblju ove grupe zemalja gotovo 2,5 puta manja od potrošnje zemalja OECD-a.

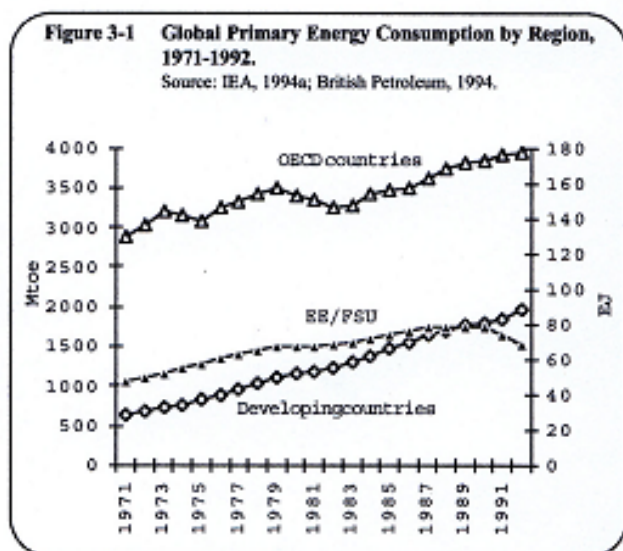
Zemlje u razvoju trošile su 1971. ukupno 5 puta manje energije od zemalja OECD-a, da bi 1992. ta potrošnja bila „svega“ 2 puta manje uz sasvim sigurno 4 do 5 veći broj stanovnika.

Što je uzrok ovakvih trendova? Razvijene zemlje bilježe gotovo stalni rast svojih ekonomija, ekonomske grane izložene su konkurenciji. Iako opseg proizvodnje stalno raste ta se ista roba proizvodi uz sve manji utrošak energije.

Istovremeno, bivši „Istočni blok“ ima plansku privredu, proizvodi se više, ali nema međusobne konkurencije jer nema komunikacije sa Zapadom. Nakon raspada političkog sustava krajem 80-tih i početkom 90.-tih godina prošlog stoljeća dolazi do propasti industrije jer domaći proizvodi ne mogu konkurirati jeftinijoj i boljoj robi sa Zapada.

Među zemljama u razvoju pojavljuju se ekonomije koje će uskoro preuzeti vodstvo u svjetskoj ekonomiji. Prvenstveno se radi o Kini, pa Indiji itd.

Napomena. Ovu tablicu možemo interpretirati i iščitavati i na druge načine i raditi druge usporedbe, što možete pokušati sami. Ona je u svojoj podjeli vrlo gruba, jer sve razvijene zemlje nisu jednako razvijene, niti sve zemlje u razvoju nisu s istom dinamikom razvoja.



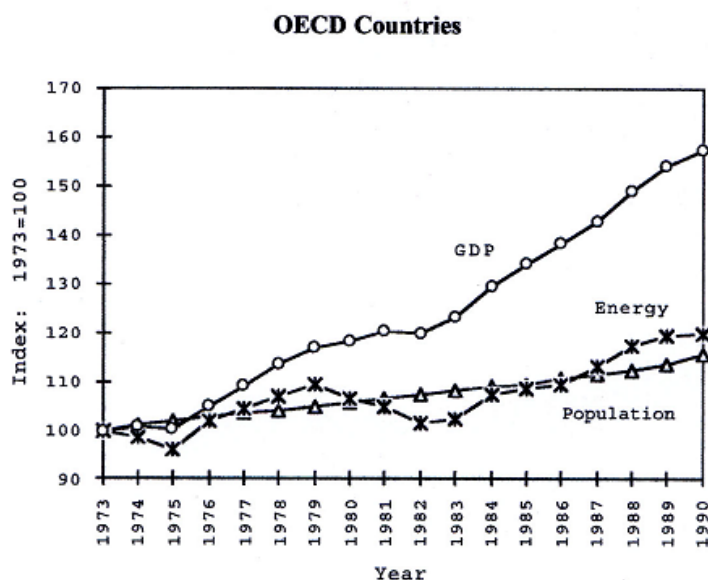
Slika 1. Potrošnja primarne energije 1971.-92.

Podaci o ukupnoj potrošnji primarne energije iz gornje tablice prikazani su grafički na slici 1. Vrlo su dobro uočljivi trendovi pojedinim grupama zemalja. Uočava se i značajni nesrazmjer potrošnje zemalja u razvoju i zemalja OECD-a. Također su uočljiva dva minimuma potrošnje kod zemalja OECD-a. Prvi naftni šok odigrao se 1973.-74. godine (sukob Izraela, Sirije i Egipta) i drugi 1979. (Iranska revolucija na koju se nastavlja iračko-iranski rat). Ta dva naftna šoka nisu se osjetila kod ostalih zemalja s ove slike jer su one raspolagale vlastitim izvorima ili nisu trpile posljedice ratnih sukoba.

Hrvatskoj, kojoj će u nastavku biti posvećena znatno veća pažnja, a i bivšoj državi je ovdje teško naći pravo mjesto. realna pozicija po ekonomskim pokazateljima je bliže slabije razvijenima iz OECD-a. U odnosu na neke političke i ekonomske pokazatelje u usporedbi s bivšim „Istočnim blokom“ vjerojatno bi se našli u znatno povoljnijoj situaciji. Ipak po pitanju konkurentnosti gospodarstva bivša država je u potpunosti imala karakteristike istočnoeuropskih ekonomija zbog čega su sve države nastale njenim raspadom podijelile sudbinu svih tranzicijskih zemalja.

Kroz analizu tablice 2. samo po sebi nametnulo se pitanje ekonomskih pokazatelja pojedinog društva (države) i njihove povezanosti s pokazateljima potrošnje energije. Mjera ekonomske uspješnosti pojedinog društva izražava se ekonomski pokazateljima od kojih ćemo ovdje spomenuti sljedeće:

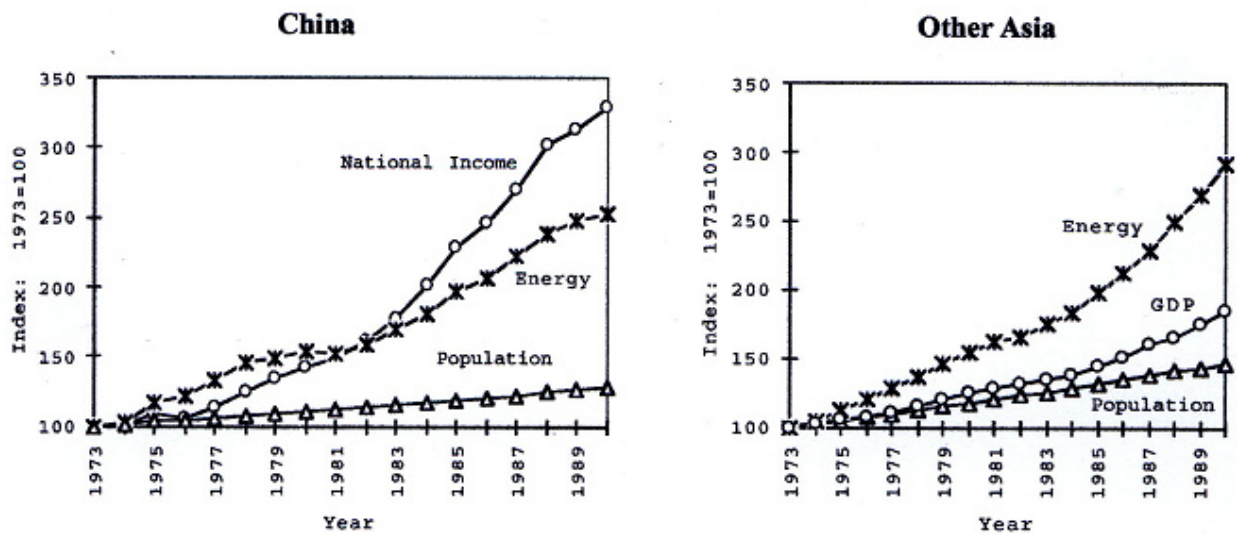
- bruto domaći proizvod (BDP) – (engl. Gross Domestic Product, GDP) je vrijednost finalnih dobara i usluga proizvedenih unutar neke zemlje, *bez obzira tko posjeduje kapital i rad* za proizvodnju tih dobara,
- bruto nacionalni (društveni) proizvod (BNP) – engl. Gross National Product-GNP) je definiran kao ukupna tržišna vrijednost finalnih dobara i usluga proizvedenih u nekoj zemlji tijekom neke godine koje proizvode *domaći faktori* bez obzira nalaze li se “doma” ili u inozemstvu,
- nacionalni dohodak – (national income, NI) je vrijednost bruto nacionalnog proizvoda (GNP), od koje se odbija amortizacija i indirektni porezi (porez na promet i sl.) a dodaju se subvencije koje država plaća javnim poduzećima. Ako se ova veličina podijeli s brojem stanovnika dobiva se „nacionalni dohodak po glavi stanovnika (per capita).



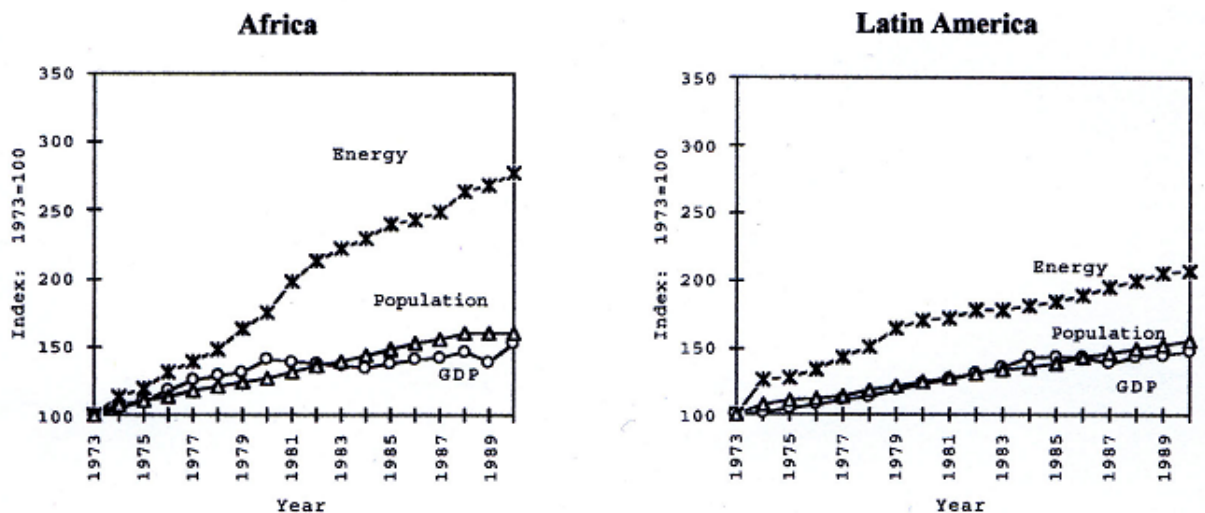
Slika 2. Trendovi BDP, potrošnje energije i prirasta stanovništva za zemlje OECD-a

U grupi zemalja OECD-a (slika 2.) najstrmiji je rast BDP-a (GDP), prirast stanovništva bilježi blagi linearni trend, a potrošnja energije, uz iznimke već spomenutih naftnih šokova, također blagi porast. Obzirom da strmi porast BDP-a ukazuje na sve veći i veći obim svih oblika proizvodnje, a porast energije ne slijedi taj trend, može se zaključiti da se za proizvodnju troši sve manje i manje energije odnosno da se energija troši učinkovitije.

Na slici 3. prikazani su posebno podaci za Kinu i ostatak Azije i uočljive su bitne razlike. Kod Kine porast nacionalnog dohotka i energije imaju gotovo jednako strmi prirast što ukazuje ili na energetska neučinkovitost proizvodnje ili na značajan udio proizvodnje koja troši velike količine energije (proizvodnja čelika, cementa itd.). Istovremeno ostatak Azije bilježi strmi porast potrošnje energije uz relativno blagi porast BDP-a. Ovakav odnos je prisutan i kod afričkih i zemalja Latinske Amerike (slika 4.). To ukazuje na siromaštvo i na činjenicu da je potrošnja energije orijentirana više na povišenje egzistencijalnog minimuma nego stvaranje viška vrijednosti odnosno na proizvodnju roba i usluga koje će donijeti zaradu i povećanje BDP-a.



Slika 3 Trendovi nacionalnog dohotka, potrošnje energije i prirasta stanovništva za Kinu zemlje ostatka Azije



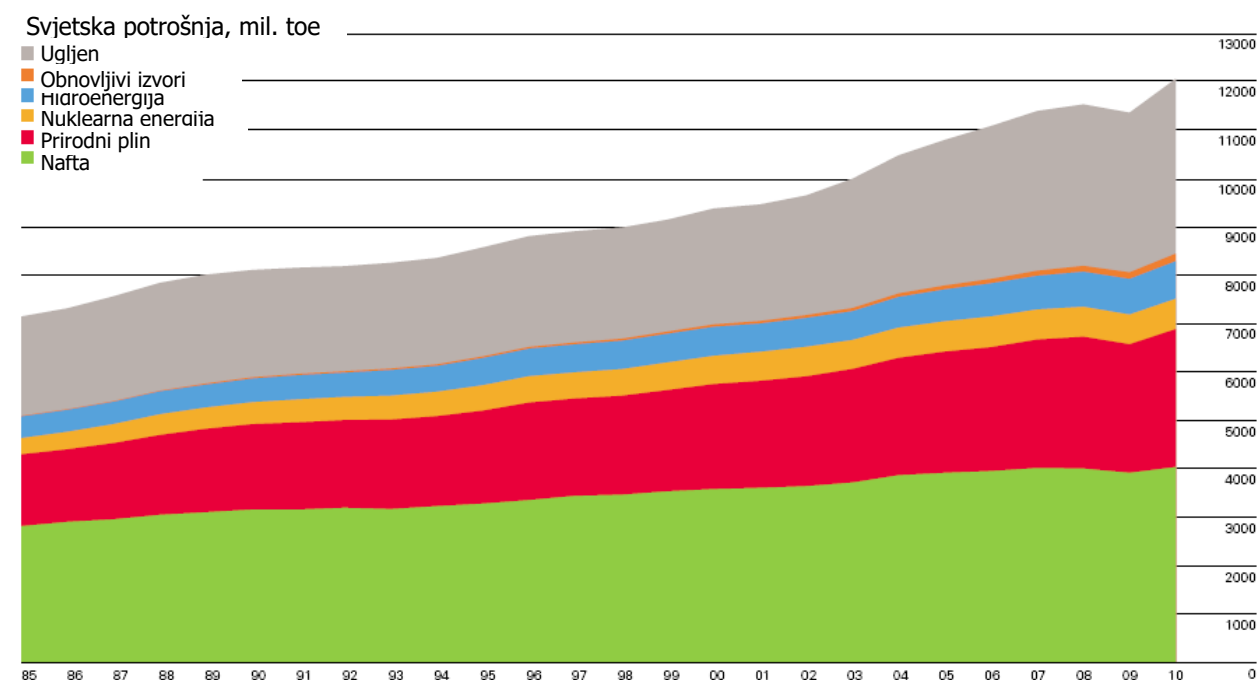
7

Slika 4 Trendovi nacionalnog dohotka, potrošnje energije i prirasta stanovništva za Afriku i Latinsku Ameriku

Trendovi prikazani u prethodnim dijagramima ukazuju na stupnjeve i dinamiku razvoja (ili stagnacije) pojedinih zemalja i grupacija. Nakon 1990. g. zahvaljujući već iznesenima činjenicama dolazi do nove konstelacije odnosa na svjetskoj sceni. Uz SAD na sceni se pojavljuje Kina, u zadnjih deset godina na scenu se vratila i Rusija zauzimajući ulogu bivšeg SSSR-a. Također i Indija zauzima sve veću ulogu, dok se tim zemljama kao predvodnik u Južnoj Americi pridružuje Brazil. Takav razvoj događaja povećao je potražnju za energijom te je sigurnost opskrbe energijom postala jedno od najvažnijih pitanja svake zemlje. Također navedeni pokazatelji potrošnje energije ukazali su na imperativ zauzdanja sve veće i veće emisije stakleničkih plinova što će konačno rezultirati donošenjem „Kyoto protokola“ 1997. g.

Kakva je danas situacija u Svijetu, dvadeset godina kasnije?

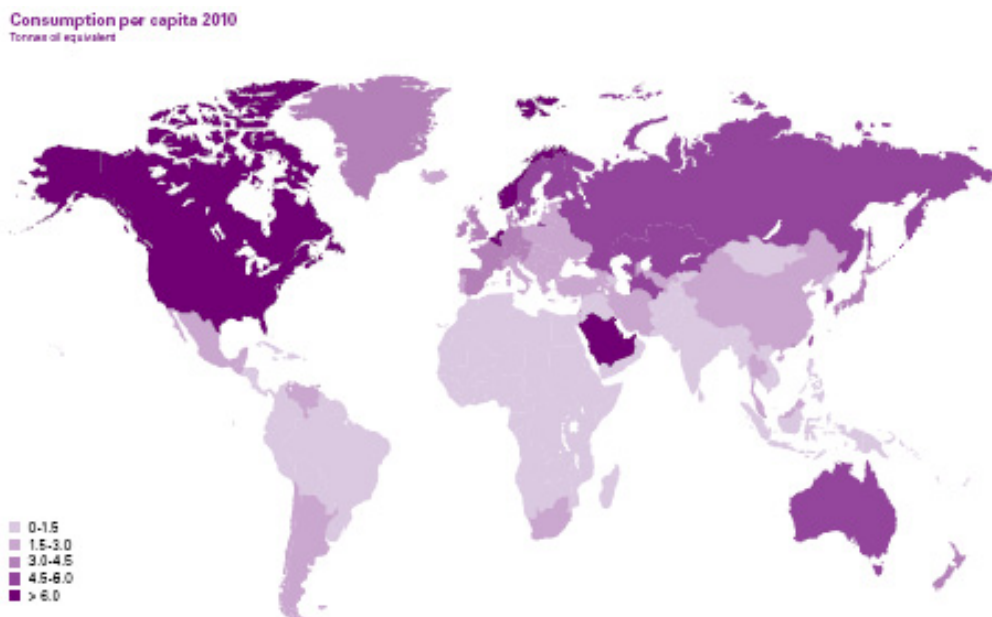
Slika 5. pokazuje udjele pojedinih primarnih energenta od 1985. do 2010. U tom periodu uočljiv je stalni porast potrošnje svih primarnih oblika energije, s iznimkom 2008/09 godine kad je svijetom zavladała recesija. Iako je svjetska ekonomija još uvijek nestabilna, po snažnom porastu potrošnje energije u 2010. to se nikako ne bi moglo reći. Svjetska potrošnja primarne energije rasla je 2010. po stopi 5,6% što je najveći godišnji porast od 1973. (prvi naftni šok). Ukupna potrošnja je povećana sa približno 8000 mil. toe 1985. g. na 12000 mil. toe 2010. dakle 50 %. Potrošnja ugljena najbrže je rasla. Nafta je i dalje najzastupljenije gorivo ali je u 11 uzastopnih godina sukcesivno gubila udio na globalnom tržištu, dok je ugljen kontinuirano povećava udio na globalnom tržištu. Udio prirodnog plina bio je najveći ikad. Ovdje se dolazi do jedne važne činjenice. nafta iako ima najveći udio. Nafta odnosno naftni proizvodi prvenstveno su namijenjeni području transporta i petrokemijskoj industriji kao izvor sirovine. Iz energetike naftu istiskuju ugljen i prirodni plin. Obnovljivi izvori također u zadnjih deset godina zauzimaju sve značajniji udio.



Slika 5. Potrošnja primarnih oblika energije u Svijetu (izvor: British Petroleum Statistical Review of World Energy 2011)

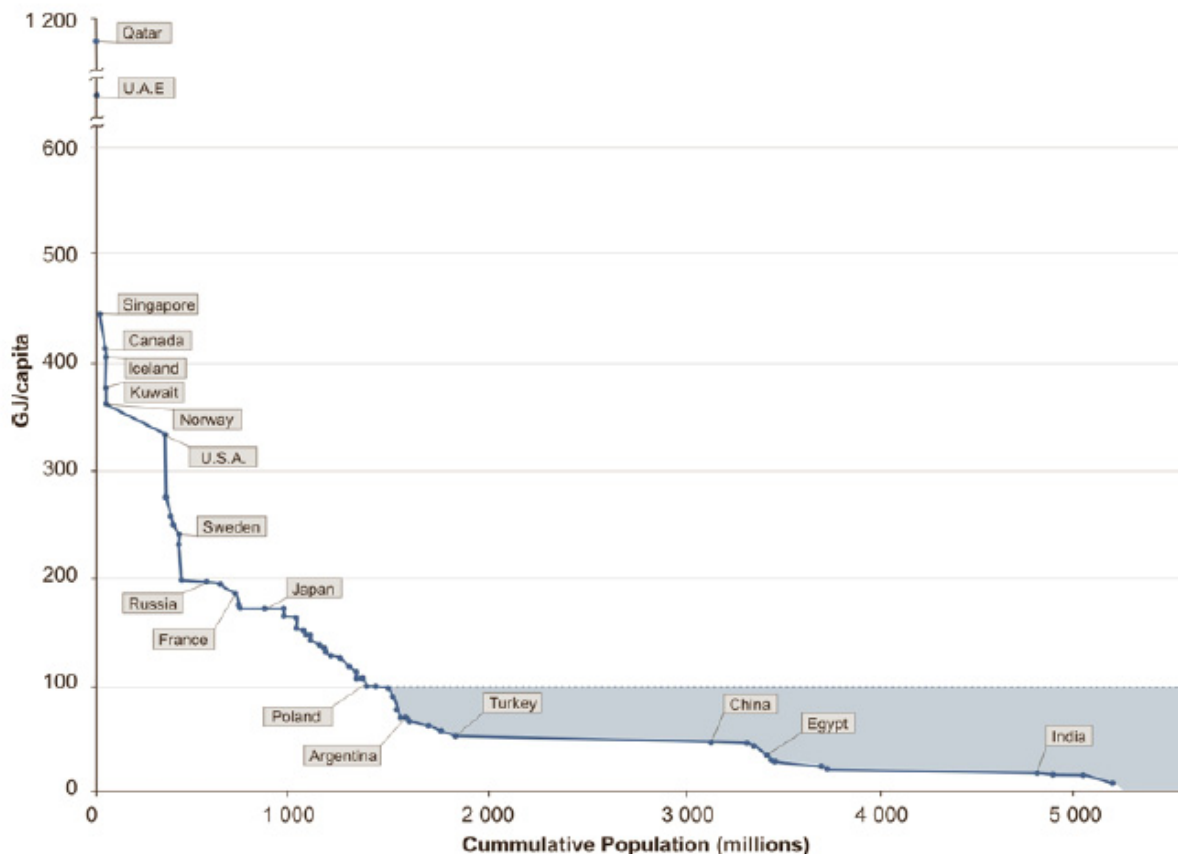
Kad se govori o potrošnji energije onda nije dovoljno reći samo koliko se troši nego i gdje se i koliko troši. Na slici 6. na karti Svijeta različitim bojama označen je intenzitet potrošnje primarne energije i to po glavi stanovnika.

Najtamnije boje ukazuju na najveću potrošnju energije i pripadaju najrazvijenijim zemljama, čime je trend prikazan na slikama 1. do 4. samo nastavljen. Zemlje koje su trošile najviše troše još više, a one koje su trošile malo zadržale su i na dalje taj status. Izdvajaju se Kina i donekle Indija.



Slika 6. Potrošnja energije per capita 2010., toe

Naposljetku, slika 7. i dijagram koji je na njoj prikazan dovodi nas temeljnog pitanja vezanog za budućnost. Na osi apscisa prikazana je kumulativna populacija (statistički pojam kojim se sad nema potrebe baviti, ali svakako ne označava stvarni broj stanovnika). Na osi ordinata prikazana je potrošnja energije po glavi stanovnika. kao referentna zemlja uzeta je Poljska s potrošnjom energije od 100GJ/stanovniku.



Slika 7. Potrošnja energije u ovisnosti o kumulativnoj populaciji (World Energy Council)

Tvrdnja je sljedeća: ako bi zemlje koje troše manje energije od Poljske htjele dostići taj iznos trebalo bi udvostručiti današnju potrošnju energije. Ako bi htjeli dostići potrošnju energije u Rusiji (200GJ/capita) trebalo bi tu potrošnju utrostručiti. Uz to posebno je zabrinjavajuća činjenica 1 milijarda ljudi nema registriranu potrošnju energije.

U tim okvirima potrebno je postaviti sljedeća pitanja:

1. Od kuda namiriti potrebne količine energije (energenata) da bi se omogućilo legitimno pravo svake zemlje na razvoj i povišenje životnog standarda?
2. Kako omogućiti barem minimalne količine energije svim stanovnicima Zemlje?
3. Kako će se povećanje potrošnje energije odraziti na okoliš?
4. Kolika će biti cijena te energije?

A odgovore će dati vrijeme.

Kako bi se pokušala uspostaviti ravnoteža između bogatih i siromašnih u istom izvještaju World Energy Councila (WEC) „Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050“ definiran je održivi „3A kocept“ gdje svaki A znači sljedeće:

- **Accessibility** (dostupnost)- dostupnost minimalne komercijalne energetske usluge (u obliku el. energije, za potrebe stacionarnog korištenja i transporta) po prihvatljivim (za siromašne) i održivim (koje omogućuju održavanje i razvoj cjelokupnog sustava). Ključno je omogućavanje pristupa takvoj usluzi 2 mlrd stanovnika bez bilo kakve pouzdane komercijalne energetske opskrbe.
- **Availability** (raspoloživost)- raspoloživost dugotrajne, kontinuirane opskrbe kao i kratkoročne usluge. Nedostatak energije može uništiti razvoj, pa je potrebna diverzifikacija energetske izvora. Ključno je razmatranje svih energetske opcija.
- **Acceptability** (prihvatljivost)-prihvatljivost se odnosi na javno mnijenje i okoliš.

Potrošnja energije u Hrvatskoj

Potrošnja energije u Hrvatskoj, poput potrošnje energije u ostalim zemljama, ovisna je o globalnim i nacionalnim utjecajima. U prethodnom poglavlju opisani su trendovi potrošnje energije u zadnjim desetljećima prošlog stoljeća kao i događaji koji su nastali kao posljedica pada Berlinskog zida. Hrvatska nije ostala imuna na te događaje, ali se okolnosti uvjetovane tranzicijom planskog u tržišno gospodarstvo koje je zadesilo zemlje „Istočnog bloka“, dodatno nepovoljno razvijaju zbog Hrvatskoj nametnutog rata u kojem je uz ogromne ljudske i materijalne žrtve stekla samostalnost.

Osim izravnih i neizravnih šteta hrvatski proizvođači izgubili su tržišta republika bivše države uz istovremenu nemogućnost uključivanja u nove gospodarske tokove. To je uzrokovalo propasti, do tada tradicionalnih gospodarskih, prvenstveno proizvodnih grana i potpuno restrukturiranje gospodarstva uz postupnu dominaciju sektora usluga i trgovine. Takvi trendovi morali su se odraziti i na potrošnju energije što je vidljivo iz podatka koji se iznose u nastavku. Za razliku od podjele potrošnje energije na industriju, transport i zgradarstvo koju smo vidjeli u prethodnom poglavlju, ovdje je primijenjena druga metodologija.

Potrošnja energije dijeli se na:

- opću potrošnju, koju čini zbroj potrošnje energije u kućanstvima, šumarstvu, poljoprivredi i graditeljstvu,
- potrošnju u industriji i
- potrošnju u prometu.

Zbrajanjem ove tri kategorije dobiva se *neposredna potrošnja energije*. Ako se neposrednoj potrošnji energije pribroje *neenergetska potrošnja* i kategorija *ostalo* dobiva se *ukupna potrošnja energije*. Neenergetska potrošnja predstavlja potrošnju energenta u neenergetske svrhe odn. energent se koristi kao sirovina za daljnje proizvode, prvenstveno se to odnosi na petrokemijsku industriju. U kategoriju *ostalo* spadaju: gubici transporta i distribucije, potrošnja energije za pogon energetskih postrojenja i gubici transformacije. Podaci za navedene kategorije potrošnje prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Potrošnja energije u Republici Hrvatskoj po kategorijama od 1988. do 2011. (Izvor: Energija u Hrvatskoj, više godišta)

	Potrošnja energije, PJ/Udio, % u godini																	
	1988.		1990.		1992.		1994.		1999.		2004.		2007.		2009.		2011.	
	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%
Opća	112	26	110	27	77	26	82	27	107	29	121	29	118	28	123	30	127	33
Promet	57	13	59	14	40	13	47	15	65	18	77	19	91	22	90	22	85	22
Industrija	97	23	89	22	54	18	50	16	49	13	57	14	61	15	51	13	47	12
Neenerget.	37	9	29	7	30	10	25	8	28	8	30	7	29	7	25	6	25	6,5
Ostalo	128	29	121	30	97	33	103	34	120	32	127	31	118	28	118	29	100	26
Ukupna	431	100	408	100	298	100	307	100	369	100	412	100	417	100	407	100	384	100

Iz tablice je vidljivo da iznos ukupne potrošnje iz 1988. nije još do 2011. premašen, iako od 1994. pa 2007. postoji trend porasta ukupne potrošnje energije i dosizanja predratne

vrijednosti. I ostale kategorije slijede isti trend s iznimkom potrošnje energije u prometu koja je maksimum dosegla 2007., a unatoč padu u narednim godinama u 2011. po iznosu je daleko iznad 1988. Potrošnja energije u industriji 2011. u odnosu na 1988. prepolovljena je. Potrošnja energije u industriji osim toga ima trend smanjenja udjela u ukupnoj potrošnji, s 23% 1988. na svega 12% u 2011. Istovremeno, udjeli opće i potrošnje energije doživjeli su značajan porast, prva s 26% na 33%, a druga s 13% na 22%. Očekivano, neenergetska potrošnja kao i njen udio bilježe konstantan pad obzirom da je ta kategorija potrošnje vezana uz potrošnju energije u industriji. Sve to zajedno ukazuju na značajnu promjenu strukture potrošnje energije uvjetovanu promjenom strukture gospodarstva koje se od pretežito proizvodnog transformiralo u uslužno.

U tablici 2. prikazana je u istom razdoblju struktura potrošene energije po oblicima.

Tablica 2. Struktura utrošenih primarnih i transformiranih oblika energije od 1988. do 2011. (Izvor: Energija u Hrvatskoj, više godišta)

Vrsta energije		Potrošnja energije u godini, PJ								
		1988.	1990.	1992.	1994.	1999.	2004.	2007.	2009.	2011.
Para i vrela voda		34,52	31,93	21,62	22,06	22,01	23,91	22,66	21,66	21,73
Električna energija		48,61	47,76	34,04	34,50	42,17	49,28	55,32	55,76	56,58
Primarna energija	Plinovita goriva	31,75	30,80	26,34	36,85	36,85	40,25	40,62	42,98	40,90
	Tekuća goriva	111,69	111,48	73,40	81,98	105,67	119,66	128,02	122,59	113,88
	Ogrjevno drvo	19,58	19,08	10,71	10,80	11,66	13,14	11,68	12,97	17,14
	Ugljen	19,99	16,68	5,36	3,89	3,21	9,31	11,92	9,18	8,42
Ukupno pr. energije		183,01	177,96	115,81	122,21	157,39	182,36	192,24	187,72	179,46
Ukupno		266,15	257,74	171,47	178,75	221,57	255,55	270,49	265,46	259,19

Među transformiranim oblicima energije „para i vrela voda“ doživjela je drastičan pad, a vezano uz pad industrijske proizvodnje, jer neke su industrijske grane veliki potrošači tog oblika energije. Za razliku od toga, potrošnje električne energije bilježi značajan porast. Kod primarnih oblika energije plinovita bilježe rast i maksimum potrošnje 2009. uz postupni pad prema 2011. Tekuća goriva dostižu maksimum potrošnje 2007. uz značajan pad prema 2011. Ogrjevno drvo dijeleći sudbinu minimalnih iznosa potrošnje ostalih oblika energije bilježi konstantan rast. Potrošnja ugljena iako znatno manja nego 1988. uz konstantan porast maksimum potrošnje bilježi 2007. a nakon toga značajan pad. Ugljen se koristi isključivo u energetici (TE Plomin) i kao energent u industriji.

Ove nepovoljne trendove u potrošnji energije potvrđuje i sljedeća tablica 3. u kojoj je dan trend potrošnje energije u nekim industrijskim granama u istom vremenskom zahvatu, od 1988. do 2011.

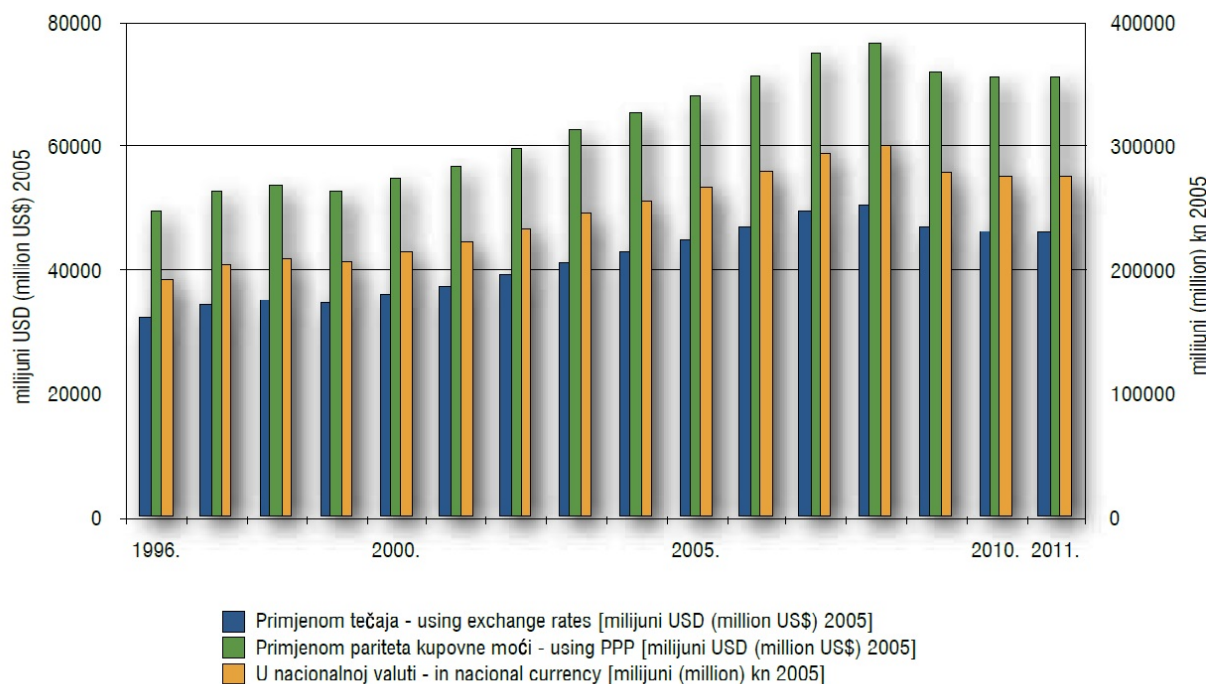
Proizvodnja željeza i čelika te obojenih metala po potrošnji energije spala je tek na približno desetinu utrošene energije u tim granama u 1988., a npr. udio utrošene energije u proizvodnji željeza i čelika s gotovo 19% u 1988. spao je niti 5,5% u 2011. Proizvodnja nemetalnih minerala (vapno, staklo, cement itd.) i proizvodnja građevinskog materijala su po potrošnji energije znatno ispod iznosa iz 1988. ali su po udjelu ili neznatno pali ili ga čak znatno povisili. Ove djelatnosti su djelomično vezane pa bi za detaljniju analizu trebalo usporediti koji proizvodi spadaju u koju kategoriju i to prema „Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti“ (NN 98/94 i NN 58/07). Kemijska industrija kao tradicionalno vrlo zastupljena grana spala je na trećinu predratne potrošnje energije uz gotovo neznatan pad udjela u ukupnoj potrošnji. Sličnu sudbinu dijeli i industrija papira, a tek je prehrambena industrija nakon ratnih minimuma ubilježila blagi porast potrošnje energije uz više nego dvostruko povećanje udjela u ukupnoj potrošnji energije.

Tablica 3. Potrošnja energije u industriji po granama od 1988. do 2011. (Izvor: Energija u Hrvatskoj, više godišta)

Vrsta industrije	Potrošnja energije u industriji, PJ/Udio u ukupnoj industrijskoj potrošnji, % u godini																	
	1988.		1990.		1992.		1994.		1999.		2004.		2007.		2009.		2011.	
	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio	Potrošnja	Udio
	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%	PJ	%
Željezo i čelik	18,2	18,7	17,1	19,2	7,1	13,1	5,2	10,5	2,3	4,6	1,98	3,4	2,68	4,41	2,34	4,58	2,56	5,45
Obojeni metali	5,0	5,1	4,9	5,5	0,3	0,6	0,3	0,6	0,5	1,0	0,68	1,2	0,67	1,10	0,55	1,08	0,59	1,26
Nemetalni i minerali	6,6	6,8	5,9	6,6	3,9	7,2	3,5	7,1	2,9	5,8	3,48	6,0	3,34	5,49	2,37	4,64	2,38	5,07
Kemijska	18,0	18,5	15,2	17,1	12,7	23,4	10,2	20,6	8,4	16,9	11,9	20,7	11,1	18,3	9,20	18,0	7,92	16,9
Građevni materijal	19,7	20,2	16,9	19,0	11,8	21,7	11,1	22,4	15,2	30,6	18,1	31,4	20,3	33,4	16,4	32,1	13,1	27,9
Papir	5,6	5,8	4,8	5,4	2,7	5,0	3,3	6,7	2,9	5,8	2,97	5,15	2,98	4,90	2,77	5,42	2,77	5,90
Prehrambena	9,0	9,2	10,1	11,4	6,6	12,2	7,0	14,1	9,4	19,0	9,46	16,4	9,64	15,9	9,46	18,5	9,67	20,6
Ostalo	15,2	15,6	14,0	15,7	9,2	16,9	9,0	18,1	8,0	16,1	9,05	15,7	10,1	16,6	8,1	15,9	7,96	17,0
Ukupno	97,3	100	88,9	100	54,3	100	49,6	100	49,6	100	57,7	100	60,8	100	51,1	100	47,0	100

Ekonomski pokazatelji. Energetski intenzitet

Uz pokazatelje potrošnje energije nužno je analizirati i ekonomske pokazatelje. Slika 1. prikazuje kretanje bruto domaćeg proizvoda od 1996. do 2011. godine.



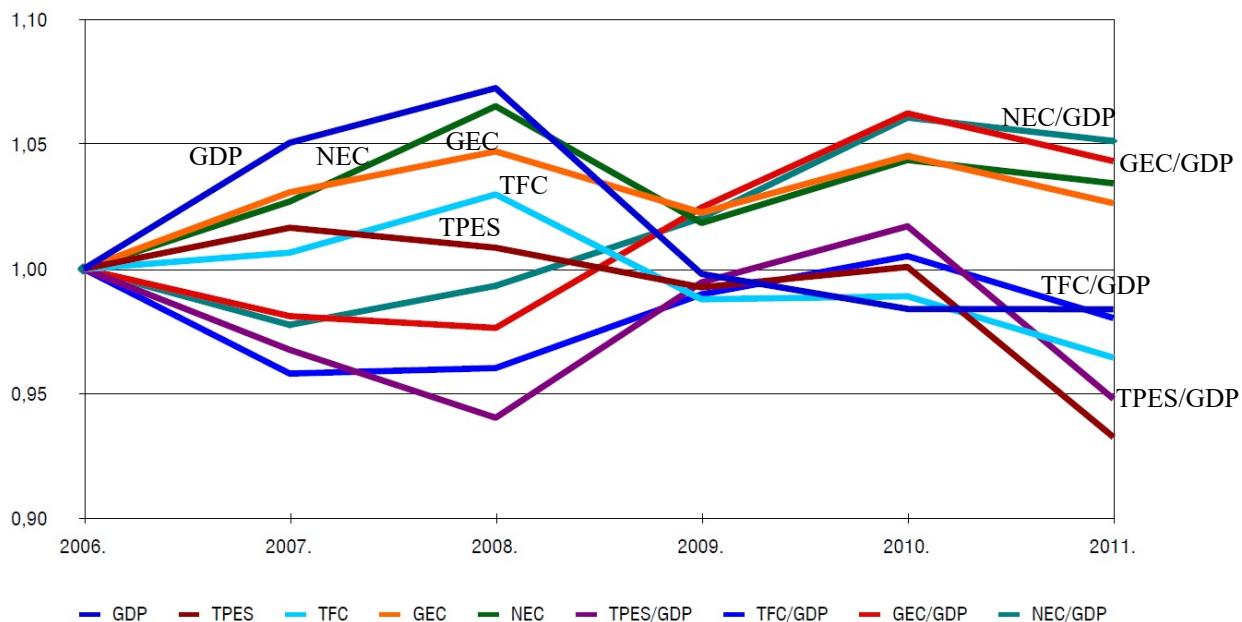
Slika 1. Kretanje bruto domaćeg proizvoda od 1996. do 2011. prema različitim metodama izračuna (Energija u Hrvatskoj 2011. – Državni zavod za statistiku)

Nakon konstantnog rasta i maksimuma BDP-a postignutog 2008. uslijedio je značajan pad u 2009., a nakon toga taj pad se nastavlja, istina s manjim intenzitetom.

Uočljivo je poklapanje trenda smanjenja potrošnje energije i pada bruto domaćeg proizvoda što potvrđuje između potrošnje energije gospodarskih pokazatelja.

Veličina koja dovodi u vezu ova dva pokazatelja naziva se energetski intenzitet (intenzivnost). Ova veličina govori koliko je energije utrošeno po jedinici ostvarenog bruto domaćeg proizvoda. Kretanje tih pokazatelja dano je na slici 2.

Na slici 2. vidljivi su trendovi prikazanih pokazatelja u razdoblju od 2006. do 2011. Ovaj prikaz uzima u obzir petogodišnji period pa je 2006. označena kao polazna tj. njen indeks je 1 (jedan). Do 2008. krivulje GDP-a, NEC-a, TFC-a i GEC-a bilježe porast, a nakon toga slijedi njihov pad u 2009., pa lagani rast u 2010. pa ponovo strmi pad s iznimkom GDP-a koji stalno pada. Te veličine podijeljene s iznosom GDP-a govore o energetsom intenzitetu pojedine kategorije potrošnje kako je navedeno u tumačenju skraćenica. Trendovi su jasno vidljivi. TPES/GDP pada do 2008., u vremenu kad GDP raste, a kad GDP počne padati TPES/GDP počinje rasti. Tek nakon 2010. TPES/GDP počinje padati. Dakle, ekonomija raste (do 2008.), energetski intenzitet pada, ekonomija slabi (nakon 2008.) a TPES/GDP počinje rasti. Nije li to u suprotnosti s razmišljanjem da bi jačanje ekonomije trebalo dovesti do jačanja potrošnje energije? Pokazatelj energetske intenziteta TPES/GDP je razlomak, dakle omjer brojnika i nazivnika. Očito da je smanjenje indeksa u razdoblju do 2008. izazvano rastom brojnika odn. GDP-a tek manje povećanjem ukupne potrošnje energije (TPES). Drugim riječima, rast ekonomije nije uzrokovan razvojem i jačanjem industrijskih grana koje bi dovele do povećane potrošnje energije.



Slika 2. Pokazatelji potrošnje energije i energetskeg intenziteta. Rezultati iskazani kao indeks promjene (2006. – indeks=1) (Energetski institut Hrvoje Požar-EIHP)

gdje skraćenice imaju sljedeća značenja:

GDP – bruto domaći proizvod (engl. Gross Domestic Product),

TPES – ukupna potrošnja primarne energije (engl. Total Primary Energy Supply),

TFC – neposredna potrošnja energije (engl. Total Final Energy Consumption),

GEC – ukupna potrošnja električne energije (engl. Gross Electricity Consumption),

NEC - neto potrošnja električne energije (gubici isključeni) (engl. Net Electricity Consumption).

Dijeljenjem ovih veličina s iznosom bruto domaćeg proizvoda dobivaju se:

TPES/GDP – energetske intenzitet ukupno utrošene energije,

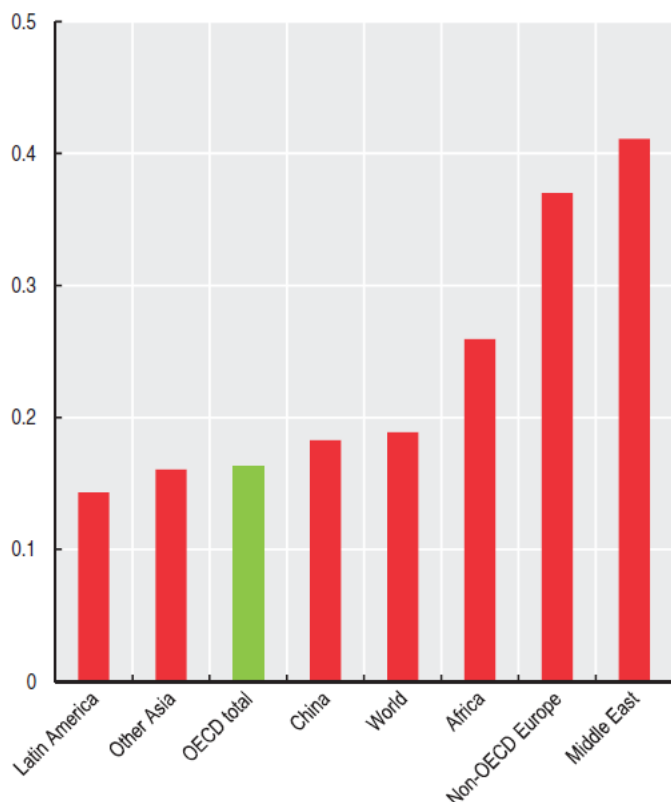
TFC/GDP – energetske intenzitet neposredne potrošnje energije,

GEC/GDP – energetske intenzitet ukupne potrošnje električne energije,

NEC/GDP – energetske intenzitet neto potrošnje električne energije.

Detaljnijom analizom koja uključuje podatke o potrošnje energije u Hrvatskoj koji su prethodno dani u tablicama ukazuje na strukturu potrošnju energije s rastućim udjelom opće i one u prometu, a padom industrijske. To ukazuje na činjenicu da je rad GDP uzrokovan ponajprije rastom potrošnje, a ne proizvodnje. Također i NEC/GDP potvrđuje tu činjenicu jer neto potrošnja električne energije stalno raste uz smanjenje GDP pa taj pokazatelj pokazuje pad za vrijeme rasta GDP-a, a rast za vrijeme pada GDP-a. slično bi se mogla komentirati kretanja i ostala dva pokazatelja energetskeg intenziteta.

Na slici 3. pokazne su vrijednosti energetskeg intenziteta za razne grupe zemalja u 2009. godini gdje se mogu vidjeti odnosi. Bez detaljnije analize strukture gospodarstava tih zemalja nema potrebe komentirati vrijednosti. Procjenom iznosa BDP za Hrvatsku u 2011. (slika 1.) te uz poznatu ukupnu potrošnju energije (TPES) u Hrvatskoj za istu godinu (tablica 1.) energetske intenzitet u Hrvatskoj te godine iznosio je 0,127ten/1000USD2005-PPP.

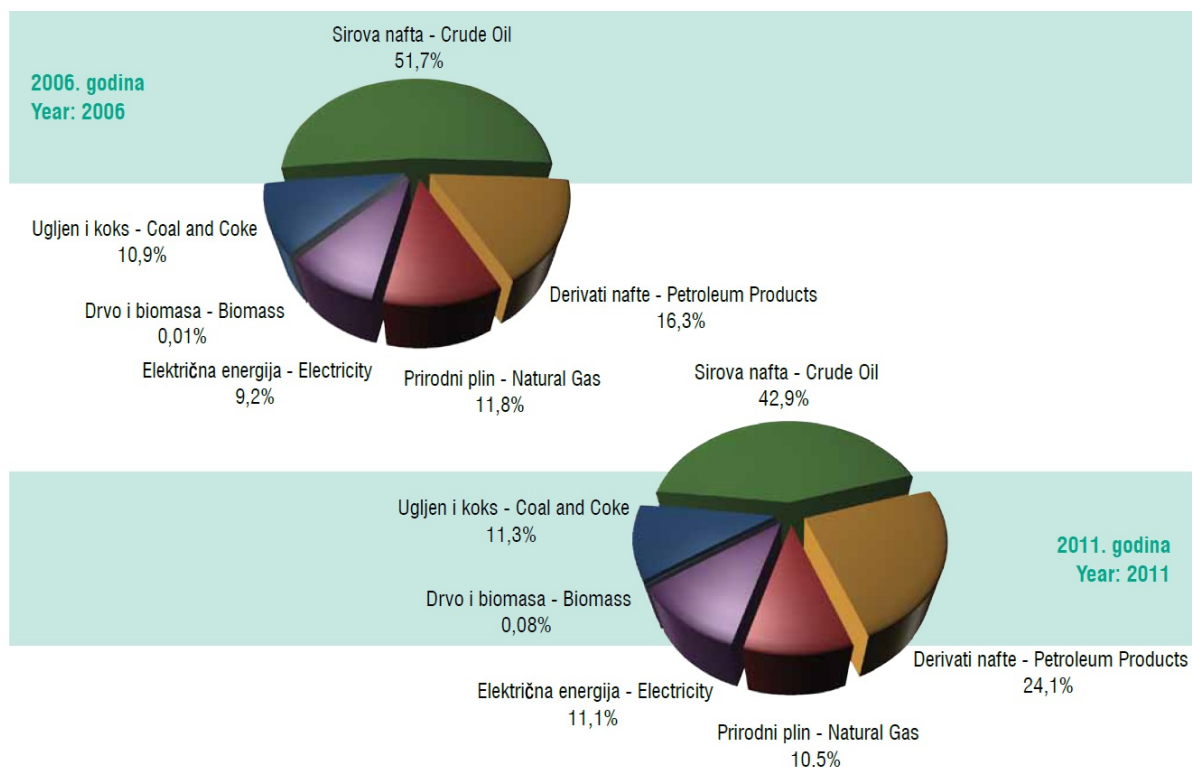


Slika 3. TPES/GDP u ten/1000USD 2005. za različite grupacije. GDP računa metodom pariteta kupovne moći za 2009. (vidjeti sliku 1.) (OECD 2011. in OECD Factbook 2011-2012)

Opskrbljenost vlastitim izvorima energije

Jednako važno pitanje pored ovog kako trošimo energiju je i ono otkuda nam ta energija prvenstveno misleći na njene primarne oblike. Hrvatska je poput mnogih, ne samo europskih, zemalja ovisna o uvozu energenata jer nema dovoljne količine primarne energije. Također uvozi se i električna energija. Dostupnost dovoljnih količina energije uz kontinuiranu dobavu temeljno je pitanje moderne energetike i sažeto je u sintagmi „sigurnost opskrbe“ (engl Security of Supply). Na slici 4. prikazana je struktura primarnih i transformiranih oblika energije uvezenih 2006. i 2011. Interesantno je da je znatno smanjen uvoz sirove nafte, za približno 9% dok je uvoz derivata nafte povećan za gotovo isti iznos što ukazuje na manju preradu sirove nafte u domaćim rafinerijama, a veći uvoz gotovih proizvoda. Također je uočljiv porast udjela uvezene električne energije za nešto manje od 2%, te smanjenje udjela uvezenog prirodnog plina za 1,3%. Dobar uvid u ovisnost Hrvatske o uvoznoj energiji vidljiv je iz slike 5. Vrijednosti u dijagramu predstavljaju omjer vlastite proizvodnje energije i ukupne potrošnje energije (TPES) izražen u postocima. Uočava se sve manji i manji udio opskrbljenosti primarnom energijom iz vlastitih izvora što govori o sve većoj i većoj ovisnosti o uvozu energije. Taj trend nastavit će se i u budućnosti. Primarni oblici služe za energetske transformacije tj. proizvodnju transformiranih oblika energije prvenstveno električne, a potom i toplinske. Sirova nafta koristi se za proizvodnju motornih goriva koja se još dodatno i uvoze za potrebe cestovnog, zračnog i pomorskog transporta. U tu bilancu ulazi i iskorišteni hidropotencijal. Gledajući opet matematički vrijednosti prikazane slikom 5. jedini način da se smanji udio uvozne komponente primarnih oblika energije je povećanje udjela hidroenergije kao i obnovljivih izvora energije (OIE). Ipak upitno je koliko se na taj način može postići obzirom na sve manju proizvodnju domaćih nalazišta prirodnog plina i nafte zbog

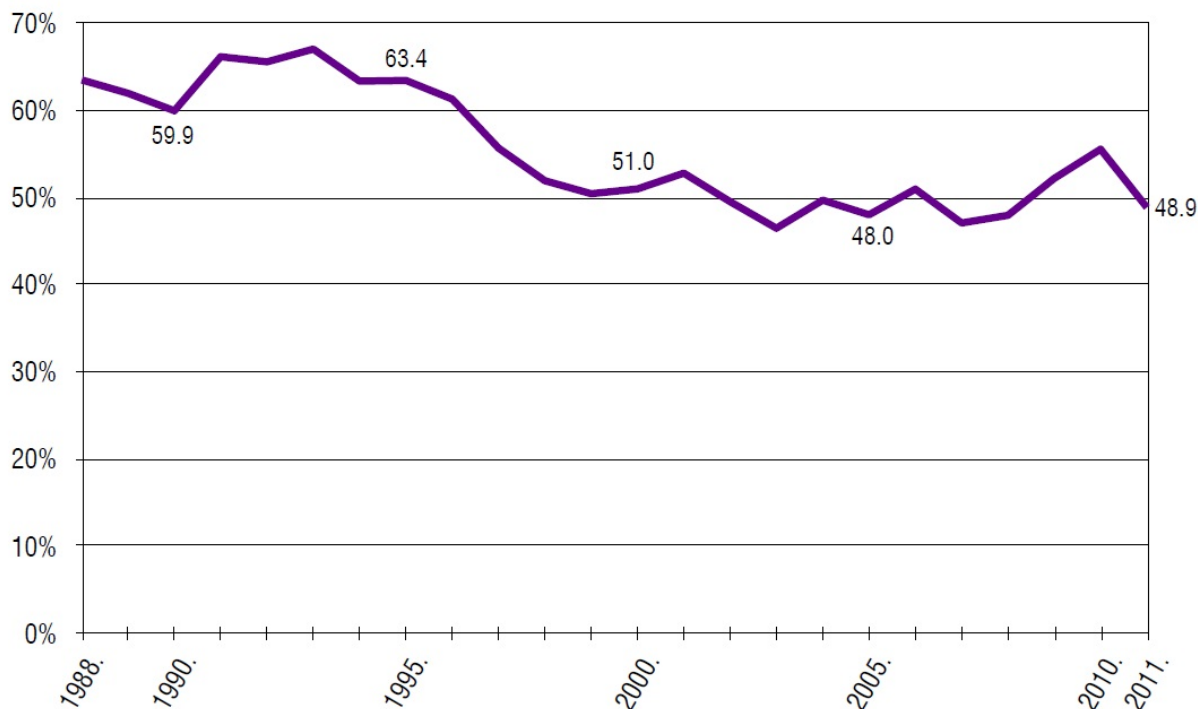
iscrpljenosti zaliha istovremeno imajući u vidu strukturu potrošnje primarne energije danu slikom 6.



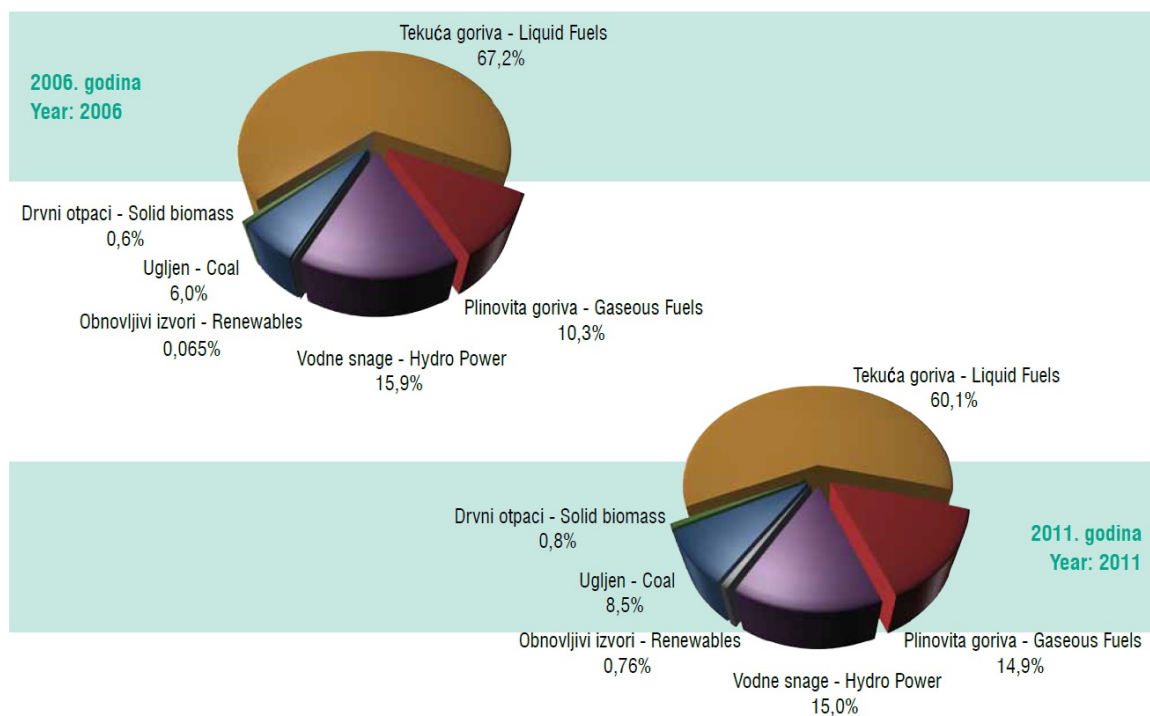
Slika 4. Struktura uvezene energije u Hrvatsku u 2006. i 2011. (Energetski institut Hrvoje Požar-EIHP)

Slika 6. pokazuje strukturu potrošnje primarnih oblika energije u 2006. i 2011. godini gdje se vidi smanjenje udjela tekućih goriva za oko 7% i povećanje udjela plinovitih goriva za oko 4,5%. Vodne snage zadržavaju oko 15% udjela. Važno je napomenuti da udio vodnih snaga ovisi o vremenskim prilikama odn. o količini padalina i raspoloživim količinama vode, dok snaga instaliranih kapaciteta zadržava istu vrijednost dokle god nema izgrađenih novih kapaciteta. OIE se pojavljuju sa skromnih 0,76% udjela u 2011. iako je to deset puta veći udio nego 2006. Iz tog razloga teško je za očekivati scenarij kojim bi se smanjila ovisnost o uvozu energije na temelju povećanja udjela OIE ili se barem ne može očekivati u skoroj budućnosti.

Očito je da je pred Hrvatskom budućnost ovisna o uvozu raznih oblika energije, kako primarnih, tako i transformiranih, pri tome se radi isključivo o električnoj energiji.



Slika 5. Vlastita proizvodnja primarne energije u Hrvatskoj od 1988. do 2011. (Energetski institut Hrvoje Požar-EIHP)

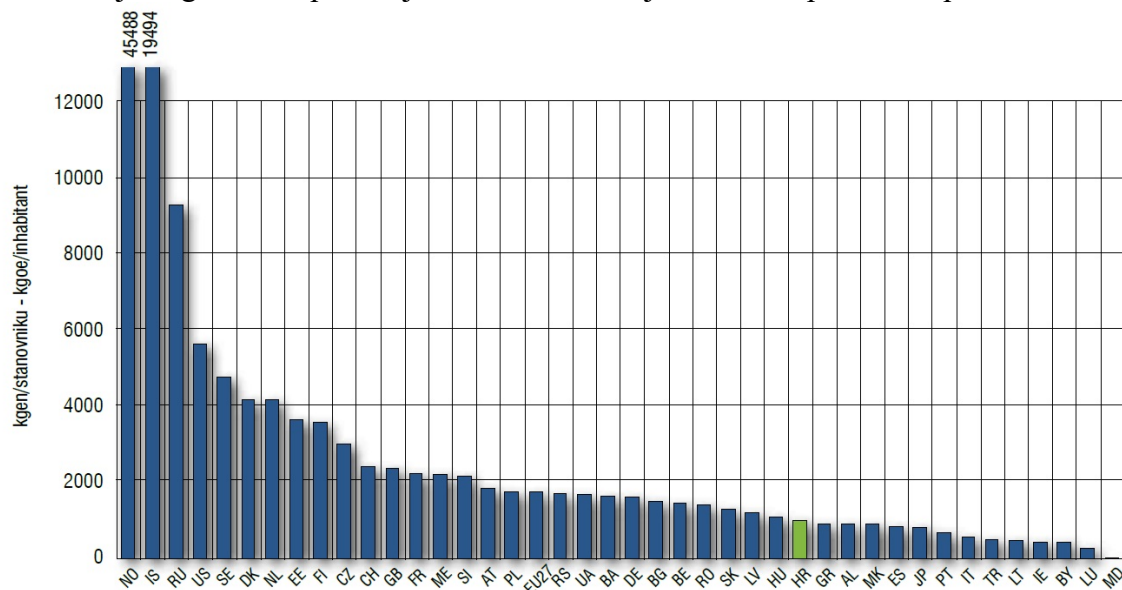


Slika 6. Udjeli pojedinih oblika primarne energije ukupnoj potrošnji primarne energije (Energetski institut Hrvoje Požar-EIHP)

Uspoređujući Hrvatsku s drugim državama uočavaju se relativno nepovoljni pokazatelji (slike 7. i 8.).

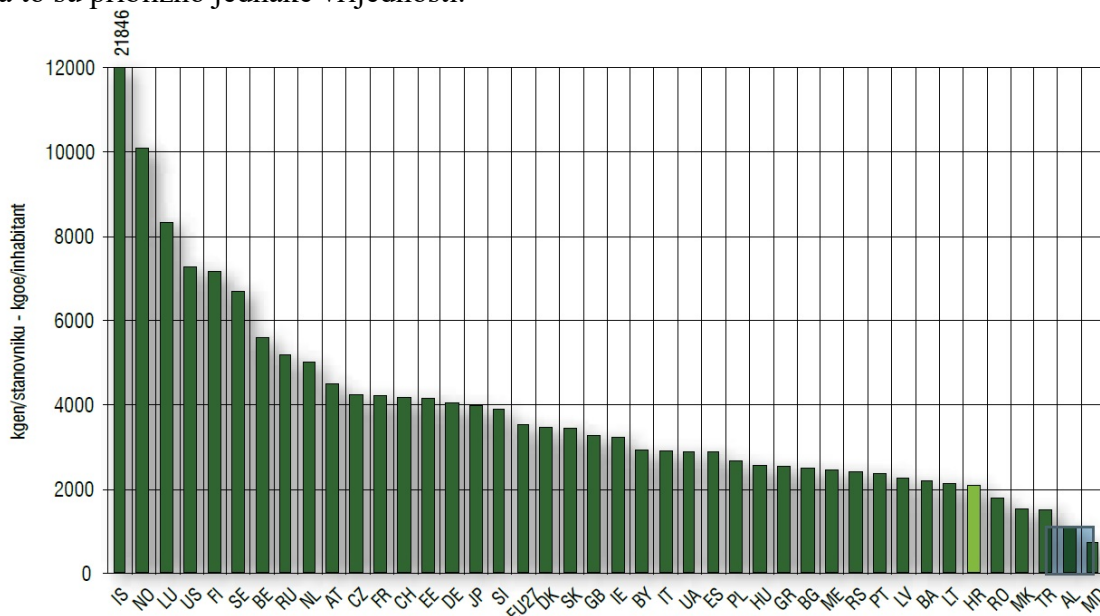
Kao što je već rečeno Hrvatskoj nedostaju vlastiti izvori primarne energije, ali iz slike 7. vidljivo je da ni mnoge države po količini primarne energije po glavi stanovnika nisu u

bitno boljoj poziciji. Temeljno je pitanje da li pojedina država ima dovoljno energije za vlastite potrebe što iz ovog prikaza nije vidljivo. Na slici 7. izrazito odskoču Norveška i Island, zemlje bogate hidropotencijalom, a Norveška još naftom i prirodnim plinom.



Slika 7. Proizvodnja primarne energije po glavi stanovnika u Hrvatskoj i drugim zemljama (Energetski institut Hrvoje Požar-EIHP)

Iako se slobodno može ustvrditi da je energetska infrastruktura u Hrvatskoj vrlo razvijena, ukupna potrošnja energije po glavi stanovnika u Hrvatskoj je u usporedbi s drugim zemljama relativno mala, i za otprilike trećinu niža od EU27 prosjeka. Razlog tome je sasvim sigurno i struktura potrošnje, o čemu je bilo riječi, s pretežitim udjelom neindustrijskih segmenata potrošnje. Opet i ovdje odskoču iste dvije države s naglaskom da je iznos potrošnje manji od proizvodnje kod Norveške što znači da je ona zemlja izvoznica energije. Kod Islanda to su približno jednake vrijednosti.



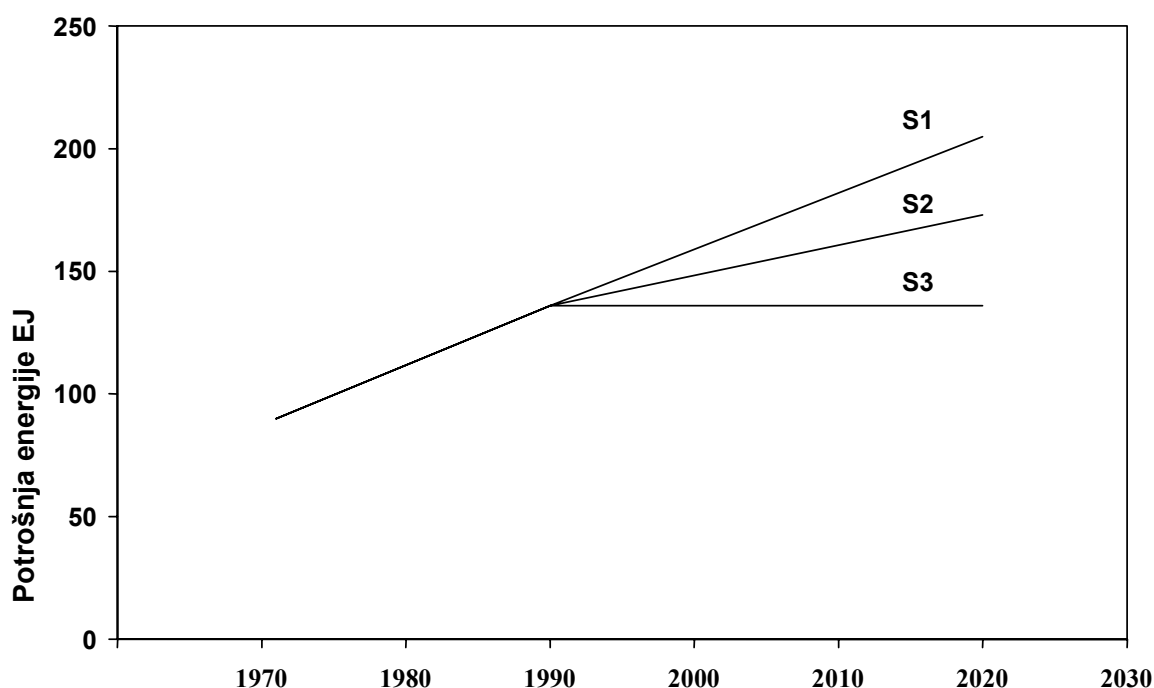
Slika 8. Ukupna potrošnja energije po glavi stanovnika u Hrvatskoj i drugim zemljama (Energetski institut Hrvoje Požar-EIHP)

Analizom podataka potrošnje energije u Hrvatskoj te kratkom usporedbom s drugim državama ukazano je na povijest i trenutno stanje potrošnje energije u Hrvatskoj. Također, temeljem prikazanih podataka uočava se povezanost gospodarskih i trendova potrošnje energije.

Planiranje potrošnje energije izuzetno je važno za prosperitet svake zemlje pa tako i Hrvatske. Za predviđanje trendova potrošnje nije dovoljno poznavati samo nacionalne pokazatelje, već i one globalne i regionalne. Za Hrvatsku se to posebno odnosi na vezanost uz energetske politiku Europske unije, čija je Hrvatska članica, kao i na situaciju u zemljama u okruženju.

Scenariji potrošnje energije

Predviđanje potrošnje energije vrlo je zahtjevan posao kojim se kao što je prethodno rečeno moraju obuhvatiti mnogi utjecajni čimbenici. Trendovi potrošnje energije rade se za dugoročna razdoblja npr. do 2030. ili 2050. za različite scenarije. Na slici 9. prikazano je jedno takvo predviđanje prema World Energy Council - u (WEC).



Slika 9. Trend potrošnje energije u svijetu do 2020. godine prema raznim scenarijima

Scenariji potrošnje energije prikazani na slici 9 su:

S1 scenarij (Business as Usual) predstavlja dosadašnju praksu koja uključuje uvođenje mjera za povećanje energetske učinkovitosti, ali prvenstveno zbog smanjenja troškova proizvodnje kroz smanjenu potrošnju energije. Uloga države u ovom scenariju je pasivna,

S2 scenarij (State of the Art) pretpostavlja aktivno uključivanje države u procesu uvođenja novih, već raspoloživih tehnologija s ciljem smanjenja potrošnje energije i konačno

S3 scenarij (Ecologically Driven) i nadalje pretpostavlja aktivnu ulogu države uz istraživanje i razvoj potpuno novih tehnologija kako u proizvodnji energije tako i u samim tehnološkim procesima.

Općenito, u gornjim scenarijima uočavaju se dvije interesne skupine, jedna su proizvođači i potrošači energije a druga je država. Uloga države se mijenja od potpuno pasivne u S1 scenariju pa do vrlo aktivne u S3 scenariju. U S1 scenariju jedini motiv uštede je

financijski dok je S3 scenarij onaj koji snažno potiče istraživanje i razvoj, ali ujedno i najskuplji i najriskantniji. Na slici 9. vidljiva je i važnost 1990. godine kao referentne godine za provedene analize ali i za mnoge dokumente koji su iz tih razmatranja proizašli poput npr. Kyoto protokola.

WEC je također u najnovijim razmatranjima razvio i 3A koncept koji energiju uvodi kao opću vrijednost koja treba biti svima dostupna kao što bi trebala biti i pitka voda.

Značenja svakog A su.

Accessibility – dostupnost - podrazumijeva dostupnost minimalnoj količine energetske usluge po prihvatljivim i održivim cijenama. Cijena energije mora biti prihvatljiva za siromašne, a istovremeno mora osigurati funkcioniranje, održavanje i razvoj prijenosnog i distribucijskog sustava koji omogućuje tu uslugu. Dvije milijarde ljudi nema pristup pouzdanoj komercijalnoj energetskej usluzi.

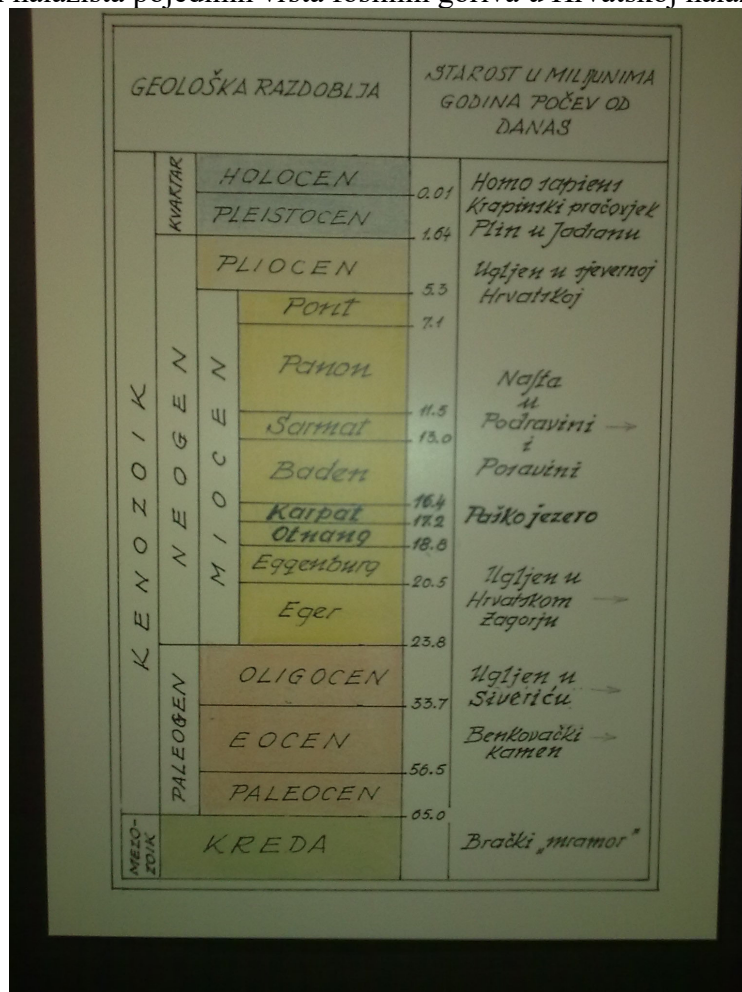
Availability – raspoloživost – odnosi se na dugoročnu kontinuiranu opskrbu energijom kao i na trenutnu kvalitetu usluge. U sebi uključuje sigurnost opskrbe kao preduvjeta ekonomskog razvoja a postiže se diverzifikacijom dobavnih pravaca.

Acceptability-prihvatljivost – posebno važno pitanje vezano uz prihvaćanje stavova javnosti i odgovornosti prema okolišu.

Ovaj koncept potpuno je drukčiji od prethodno opisanih S1, S2 i S3 scenarija jer za razliku od njih potrošnju energije smješta u kontekst razvoja društva i dosizanja ekonomskog prosperiteta kroz postizanje energetske sigurnosti. Taj koncept primjenjiv je jednako na najrazvijenije kao i na nerazvijene zemlje jer su i jedne i druge suočene s vrlo dinamičnom i neizvjesnom situacijom na tržištu energije.

4. Fosilna goriva

U fosilna goriva spadaju kao što je već rečeno u prethodnim poglavljima nafta, prirodni plin i ugljen i predstavljaju jedan od primarnih oblika energije. Sva fosilna goriva nositelji su kemijske energije, pa je osnovna energetska transformacija kojom prelaze u druge oblike energije proces izgaranja o kojim će biti riječi u nastavku. Fosilnim ih nazivamo zbog njihovog porijekla, načina i vremena nastanka. Općenito, starost fosilnih goriva iznosi od nekoliko desetina milijuna godina (ugljen), pa do nekoliko milijuna godina (prirodni plin). Ilustracija starosti nalazišta pojedinih vrsta fosilnih goriva u Hrvatskoj nalazi se na slici 1.



Slika 1. Starost pojedinih oblika fosilnih goriva na području Hrvatske (fotografija plakata iz Hrvatskog prirodoslovnog muzeja u Zagrebu, Demetrova 1-3, Zagreb)

Fosilna goriva okosnica su energetike posebno u periodu koji nazivamo industrijsko doba odn. od izuma parnog stroja pa naovamo. Ona se ne koriste samo kao izvor energije, nego i u neenergetske svrhe tj. kao sirovina za razne kemijske proizvode. U novije vrijeme u nekim segmentima proizvodnje energije istiskuju ih obnovljivi izvori energije, ali bez obzira na tu činjenicu čovječanstvo će još jako dugo ovisiti o preostalim zalihama fosilnih goriva.

Nafta

Nafta je fosilno gorivo čiji su prvi počeci korištenja zabilježeni još u staroj eri u obliku asfalta (vidjeti poglavlje o povijesti korištenja energije). Suvremena povijest nafte seže u 1859. godinu i Pensylvaniju gdje je započela eksploatacija nafte na moderan način.

Zalihe nafte

Cjelokupna povijest eksploatacije nafte obilježena je prognozama kolike su njene zalihe. Po nekim prognozama s početka prošlog stoljeća nafte je već odavno trebalo nestati. Upravo suprotno, svjedoci smo otkrića novih zaliha nafte. Nafta je, uz prirodni plin i vodu, jedan o glavnih geostrateških čimbenika. Ovisnosti čovječanstva o nafti za sada se ne nazire kraj.

Kao što je vidljivo iz podjele oblika energije nafta se nalazi u među konvencionalnim i nekonvencionalnim oblicima primarne energije. Što znači za naftu (kasnije ćemo vidjeti i za prirodni plin) da je konvencionalna? To znači da se ona nalazi u drugim (nekonvencionalnim) formama ili isto takvim geološkim struktura, pa je nije moguće eksploatirati na uobičajeni (konvencionalni) način.

U nekonvencionalnu naftu spadaju teška nafta i bitumen, te naftni pijesci i nafta u škriljancima.

Zalihe konvencionalne nafta dijele se na:

- dokazane i
- potencijalne.

Potencijalne se zalihe konvencionalne nafte dijele na:

- otkrivene nedokazane (zaobiđena nafta u slabije propusnim dijelovima otkrivenih ležišta, a moguće ju je dobiti metodama poboljšanog iscrpka (Improved Oil Recovery) u koje spadaju i metode naprednog iscrpka (Enhanced Oil Recovery-EOR) i
- neotkrivene ali naslućene količine u dubokim i jako dubokim podmorjima i dubokim strukturno složenim ležištima te manjim zamkama u poznatim istražnim bazenima.

Već sam pregled ovih pojmova ukazuje na veliku složenost i stalni razvoj tehnologija za dobivanje nafte - „... Međutim, stručnjaci uključeni u procese istraživanja i proizvodnje nafte svjesni su da se nikada u 150 godišnjem razdoblju nije lako dolazilo do nafte. Naftna je industrija morala, a mora i dalje neprekidno razvijati tehnologije i tehnike kako doći do nafte i plina u sve složenijim geografskim i geološkim uvjetima...“ – citat prof. dr. sc. Josip Sečen s RGN fakulteta u zborniku radova sa 17. foruma „Dan energije u Hrvatskoj (2008.)“. Iz istog izvora preuzete su i prethodne definicije i objašnjenja vezana uz zalihe nafte. Kolike su onda stvarne zalihe nafte?

Tablica 1. Svjetske zalihe konvencionalne nafte za odabrane godine (izvor: BP (British Petroleum) Statistical Review of World Energy 2013.)

	At end 1992 Thousand million barrels	At end 2002 Thousand million barrels	At end 2011 Thousand million barrels	At end 2012			
				Thousand million tonnes	Thousand million barrels	Share of total	R/P ratio
US	31.2	30.7	35.0	4.2	35.0	2.1%	10.7
Canada	39.6	180.4	174.6	28.0	173.9	10.4%	*
Mexico	51.2	17.2	11.4	1.6	11.4	0.7%	10.7
Total North America	122.1	228.3	221.0	33.8	220.2	13.2%	38.7
Argentina	2.0	2.8	2.5	0.3	2.5	0.1%	10.2
Brazil	5.0	9.8	15.0	2.2	15.3	0.9%	19.5
Colombia	3.2	1.6	2.0	0.3	2.2	0.1%	6.4
Ecuador	3.2	5.1	7.2	1.2	8.2	0.5%	44.6
Peru	0.8	1.0	1.2	0.2	1.2	0.1%	31.5
Trinidad & Tobago	0.5	1.1	0.8	0.1	0.8	*	18.8
Venezuela	63.3	77.3	297.6	46.5	297.6	17.8%	*
Other S. & Cent. America	0.6	1.6	0.5	0.1	0.5	*	9.7
Total S. & Cent. America	78.8	100.3	326.9	50.9	328.4	19.7%	*
Azerbajjan	n/a	7.0	7.0	1.0	7.0	0.4%	21.9
Denmark	0.7	1.3	0.8	0.1	0.7	*	9.7
Italy	0.6	0.8	1.4	0.2	1.4	0.1%	33.7
Kazakhstan	n/a	5.4	30.0	3.9	30.0	1.8%	47.4
Norway	9.7	10.4	6.9	0.9	7.5	0.4%	10.7
Romania	1.2	0.5	0.6	0.1	0.6	*	19.1
Russian Federation	n/a	76.1	87.1	11.9	87.2	5.2%	22.4
Turkmenistan	n/a	0.5	0.6	0.1	0.6	*	7.4
United Kingdom	4.6	4.5	3.1	0.4	3.1	0.2%	8.8
Uzbekistan	n/a	0.6	0.6	0.1	0.6	*	24.0
Other Europe & Eurasia	61.3	2.2	2.2	0.3	2.1	0.1%	14.8
Total Europe & Eurasia	78.3	109.3	140.3	19.0	140.8	8.4%	22.4

Tablica 1.-nastavak

	At end 1992 Thousand million barrels	At end 2002 Thousand million barrels	At end 2011 Thousand million barrels	At end 2012			R/P ratio
				Thousand million tonnes	Thousand million barrels	Share of total	
Iran	92.9	130.7	154.6	21.6	157.0	9.4%	*
Iraq	100.0	115.0	143.1	20.2	150.0	9.0%	*
Kuwait	96.5	96.5	101.5	14.0	101.5	6.1%	88.7
Oman	4.7	5.7	5.5	0.7	5.5	0.3%	16.3
Qatar	3.1	27.6	23.9	2.5	23.9	1.4%	33.2
Saudi Arabia	261.2	262.8	265.4	36.5	265.9	15.9%	63.0
Syria	3.0	2.3	2.5	0.3	2.5	0.1%	41.7
United Arab Emirates	98.1	97.8	97.8	13.0	97.8	5.9%	79.1
Yemen	2.0	2.9	3.0	0.4	3.0	0.2%	45.4
Other Middle East	0.1	0.1	0.7	0.1	0.6	*	8.4
Total Middle East	661.6	741.3	797.9	109.3	807.7	48.4%	78.1
Algeria	9.2	11.3	12.2	1.5	12.2	0.7%	20.0
Angola	1.3	8.9	10.5	1.7	12.7	0.8%	19.4
Chad	-	0.9	1.5	0.2	1.5	0.1%	40.7
Republic of Congo (Brazzaville)	0.7	1.5	1.6	0.2	1.6	0.1%	14.8
Egypt	3.4	3.5	4.3	0.6	4.3	0.3%	16.1
Equatorial Guinea	0.3	1.1	1.7	0.2	1.7	0.1%	16.5
Gabon	0.8	2.4	2.0	0.3	2.0	0.1%	22.3
Libya	22.8	36.0	48.0	6.3	48.0	2.9%	86.9
Nigeria	21.0	34.3	37.2	5.0	37.2	2.2%	42.1
South Sudan	-	-	-	0.5	3.5	0.2%	*
Sudan	0.3	0.6	5.0	0.2	1.5	0.1%	50.0
Tunisia	0.5	0.5	0.4	0.1	0.4	*	17.9
Other Africa	0.8	0.6	2.2	0.5	3.7	0.2%	43.0
Total Africa	61.1	101.6	126.6	17.3	130.3	7.8%	37.7
Australia	3.2	4.6	3.9	0.4	3.9	0.2%	23.4
Brunei	1.1	1.1	1.1	0.1	1.1	0.1%	19.0
China	15.2	15.5	17.3	2.4	17.3	1.0%	11.4
India	5.9	5.6	5.7	0.8	5.7	0.3%	17.5
Indonesia	5.6	4.7	3.7	0.5	3.7	0.2%	11.1
Malaysia	5.1	4.5	3.7	0.5	3.7	0.2%	15.6
Thailand	0.2	0.7	0.4	0.1	0.4	*	2.7
Vietnam	0.3	2.8	4.4	0.6	4.4	0.3%	34.5
Other Asia Pacific	0.9	1.1	1.1	0.1	1.1	0.1%	10.5
Total Asia Pacific	37.5	40.6	41.4	5.5	41.5	2.5%	13.6
Total World	1039.3	1321.5	1654.1	235.8	1668.9	100.0%	52.9
of which: OECD	142.7	251.2	238.5	36.0	238.3	14.3%	33.4
Non-OECD	896.6	1070.3	1415.6	199.7	1430.7	85.7%	58.6
OPEC	772.7	903.3	1199.0	169.9	1211.9	72.6%	88.5
Non-OPEC+	207.1	327.9	329.4	48.8	331.0	19.8%	25.8
European Union#	8.3	8.0	6.9	0.9	6.8	0.4%	12.1
Former Soviet Union	59.6	90.3	125.8	17.1	126.0	7.5%	25.2
Canadian oil sands: Total	32.4	174.4	168.6	27.3	167.8		
of which: Under active development	3.0	11.6	25.5	4.2	25.9		
Venezuela: Orinoco Belt	-	-	220.0	35.3	220.0		

*More than 100 years.

#Less than 0.05%.

*Excludes Former Soviet Union.

#Excludes Estonia, Latvia and Lithuania in 1992.

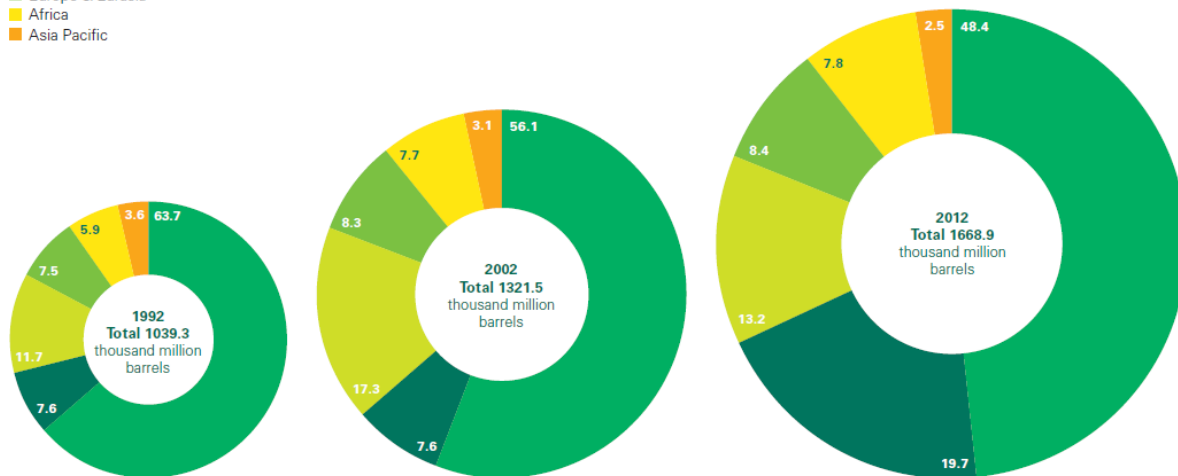
Notes: Proved reserves of oil – Generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known reservoirs under existing economic and operating conditions.**Reserves-to-production (R/P) ratio** – If the reserves remaining at the end of any year are divided by the production in that year, the result is the length of time that those remaining reserves would last if production were to continue at that rate.**Source of data** – The estimates in this table have been compiled using a combination of primary official sources, third-party data from the OPEC Secretariat, *World Oil, Oil & Gas Journal* and an independent estimate of Russian and Chinese reserves based on information in the public domain.

Canadian oil sands 'under active development' are an official estimate. Venezuelan Orinoco Belt reserves are based on the OPEC Secretariat and government announcements.

Reserves include gas condensate and natural gas liquids (NGLs) as well as crude oil.**Shares of total and R/P ratios are calculated using thousand million barrels figures.**

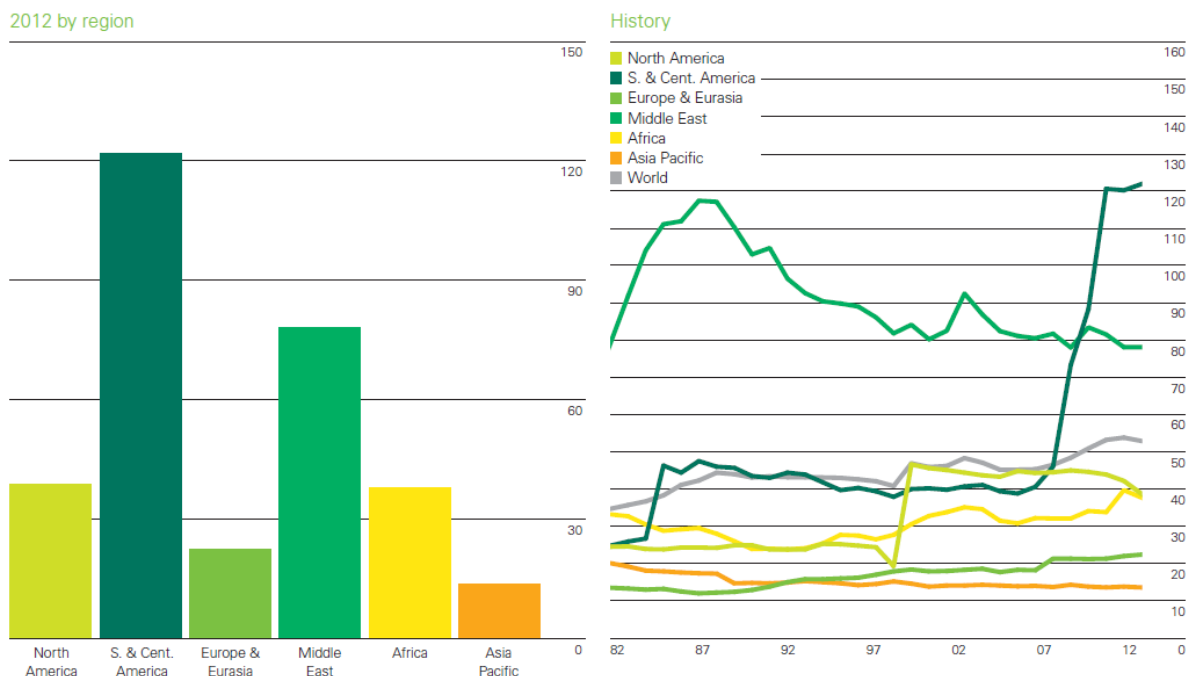
U tablici 1. dan je pregled dokazanih zaliha nafte za pojedine zemlje Svijeta za četiri različite godine. Kod nekih zemalja uočava se „povećanje“ zaliha u novijim godinama. Naravno da se zalihe ne mogu povećati, ali se mogu otkriti nove kako je to opisano u podjeli zaliha konvencionalne nafte. Navedeni brojevi mogu se iščitavati na razne načine. Najvažnija činjenica je da se gotovo polovina svjetskih rezervi nafte nalazi na srednjem istoku pri čemu gotovo 16% ukupnih svjetskih zaliha otpada na Saudijsku Arabiju, a po oko 9% na Iran i Irak. U Europi najviše zaliha posjeduje Rusija, u Južnoj Americi daleko prednjači Venezuela s gotovo 18% dok u Africi prvo mjesto zauzima Nigerija s nešto manje od 3% svjetskih zaliha nafte. Iako su za mnoge zemlje postoci mali to nikako ne znači da su apsolutni brojevi mali. Grafički prikaz udjela pojedinih svjetskih regija u ukupnim zalihama konvencionalne nafte prikazan je slikom 1. Ono što je najvažnija činjenica jest to da se najveće zalihe nafte nalaze u politički nestabilnom okruženju: Posebno se to ističe na Srednjem Istoku gdje su stalno prisutna krizna žarišta povezana s ratni zbivanjima. U Južnoj Americi Venezuela je također stalno prisutna u medijima kao „problematična“ zemlja. Nigerija koja raspolaže velikim naftnim bogatstvom s vremena na vrijeme puni novinske stupce žrtvama nesreća nastalih krađom nafte iz naftovoda.

Energetika



Slika 1. Udio pojedinih svjetskih regija u zalihama konvencionalne nafte s pregledom ukupnih zaliha (izvor: BP Statistical Review of World Energy 2013.)

Važan podatak koji se nalazi u tablici 1. je R(Reserves)/P(Production) omjer (hrvatski Z(Zalihe)/P(Proizvodnja) To je podatak koji govori o trajanju raspoloživih zaliha uz sadašnji intenzitet proizvodnje (eksploatacije). Eksploatacija nafte i prirodnog plina kontinuirani je proces, te ga nije moguće, osim u slučaju nepredviđenih okolnosti, u potpunost zaustavljati. Stoga ovaj podatak ima veliki značaj, a jedino što ga može promijeniti je otkriće novih zaliha. Slika 2. Prikazuje R/P omjer za pojedine svjetske regije za 2012. godinu (stupići) te grafički prikaz za razdoblje od 1982. godine pa naovamo.



Slika 1. R/P omjer pojedinih svjetskih regija (izvor: BP Statistical Review of World Energy 2013.)

Uočava se značajno odskakanje Srednje i južne Amerike gdje bi zalihe trebale potrajati preko 120 godina. U vremenskom prikazu vidljive su skokovite promjene prema većim vrijednostima R/P omjera za Sr. i J. Ameriku 1985. i 2007. , za Sj. Ameriku 1998. dok Bliski

Energetika

Istok nakon maksimuma 1987. u petogodišnjem razdoblju bilježi znatan pad. Jedini razlog takvim trendovima može biti otkriće novih zaliha odn. iscrpljenje pojedinih ležišta ili kombinacija jednog i drugog. Važno je naglasiti da je uvjet opstanka svake naftne kompanije uz proizvodnju, otkrivanje novih ležišta koja uvijek moraju nadomjestiti prestanak rada tj. iscrpljivanje starih ležišta.

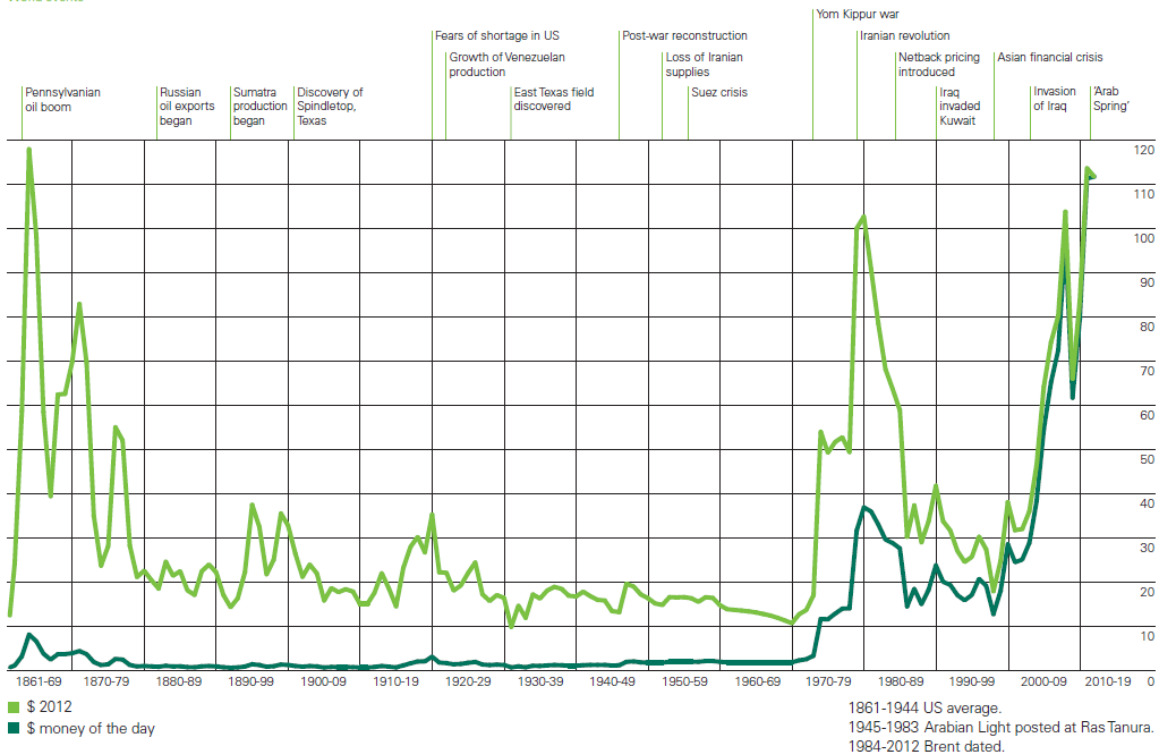
Cijene sirove nafte

Na cijene sirove nafte utječe mnogo čimbenika: tehničko-tehnološki, ekonomski, politički, spekulativni, a možda bi ih se još našlo. Nafta se eksploatira iz različitih ležišta na moru i kopnu, transportira se naftovodima, pomorskim i kopnenim sredstvima transporta. Njena cijena ovisi o ponudi i potražnji na tržištu, o spekulacijama na tržištu, ali možda ponajviše o političkim okolnostima. S već spomenutom činjenicom da su nalazišta nafte većinom u nestabilnim područjima povezani su i česti vojni sukobi većih i manjih razmjera.

Crude oil prices 1861-2012

US dollars per barrel

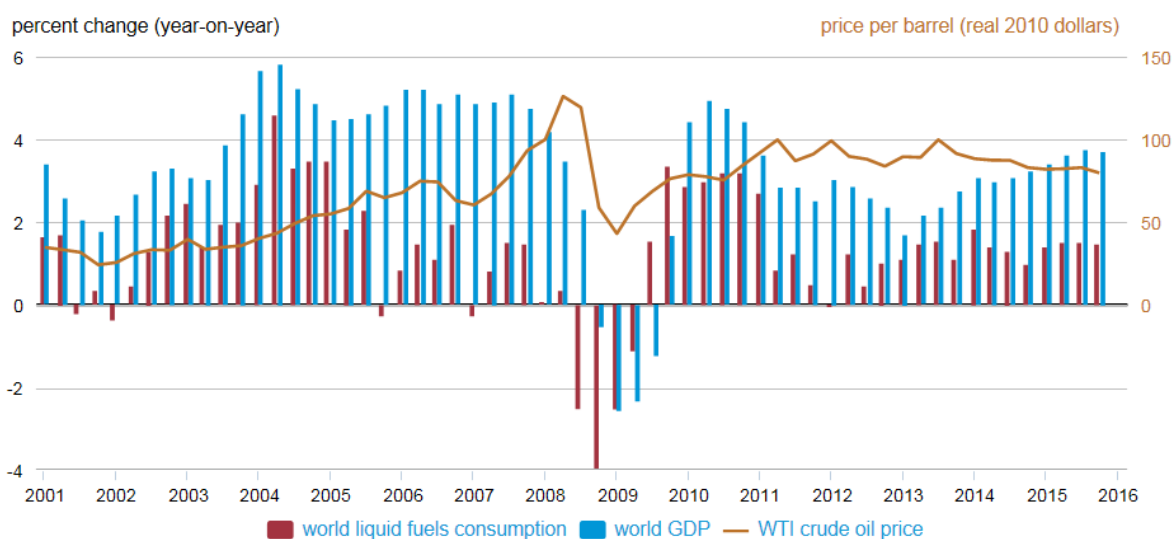
World events



Slika 3. Utjecaj raznih čimbenika na cijenu nafte kroz modernu povijest eksploatacije nafte (izvor: BP Statistical Review of World Energy 2013.)

Slika 3. prikazuje kretanje cijene nafte od početka njene eksploatacije u Pennsylvaniji pa do danas. u periodu do 1920. uočljiv je utjecaj otkrića i ulaska u proizvodnju novih nalazišta, nakon Drugog svjetskog rata sve više do izražaja dolazi utjecaj događaja na Bliskom Istoku. Slika 4. Prikazuje ovisnost i međusobni utjecaj svjetskog bruto domaćeg proizvoda (GDP), potrošnje tekućih goriva i cijena nafte (WTI-West Texas Intermediate). podaci potvrđuju složene odnose na tržištu, uočljiv je pad GDP-a kad rastu cijene nafte, te porast cijene nafte kad raste potrošnja tekućih goriva.

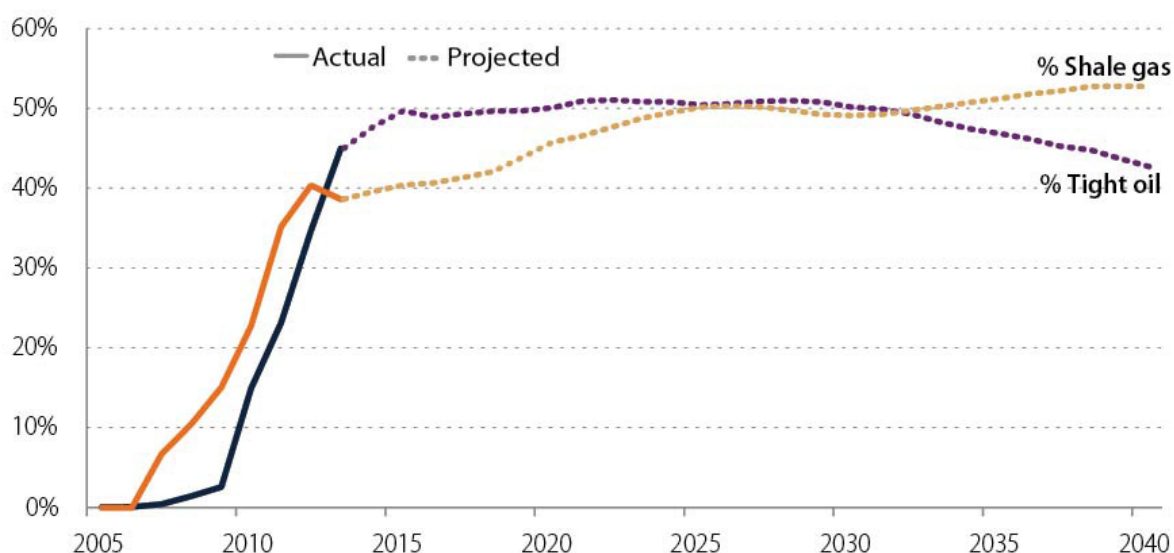
World liquid fuels consumption, world GDP, and WTI crude oil prices



Source: U.S. Energy Information Administration, Thomson Reuters [↗](#)
Updated: Monthly | Last Updated: 2/11/2014

Zalihe nekonvencionalne nafte

„Zalihe nekonvencionalne nafte nekoliko su puta veće od zaliha konvencionalne nafte koje su krajem 2004. iznosile 1,2 trilijuna barela.“ (Halliburton-Unconventional Reserves, 2005.) Isti izvor navodi „... između kanadskih naftnih pijesaka i venezuelske teške nafte nalazi se 434 trilijuna barela nafte“. BP navodi da se 15 milijardi teške nafte nalazi u Ungo formaciji na Aljasci. U već skorij budućnosti proizvodnja nekonvencionalne nafte će sve više rasti. Zahvaljujući tome SAD su treći proizvođač nafte u Svijetu i proizvođač s najvećim porastom proizvodnje (An Overview of Unconventional Oil and Natural Gas: Resources and Federal Actions, Congressional Research Service, 2014.)



Slika 4. Udio proizvedenih količina nekonvencionalne nafte (tight oil-slabopropusne formacije) i prirodnog plina (shale gas - plin iz šejlova - škrljevaca) (Izvor: U.S. Energy Information Administration, Annual Energy Outlook 2014.)

Energetika

Slika 4. pokazuje veliki potencijal nekonvencionalne nafte i prirodnog plina u SAD-u i dugoročnu stabilnost proizvodnje iz tih izvora.

Zalihe nafte u Hrvatskoj

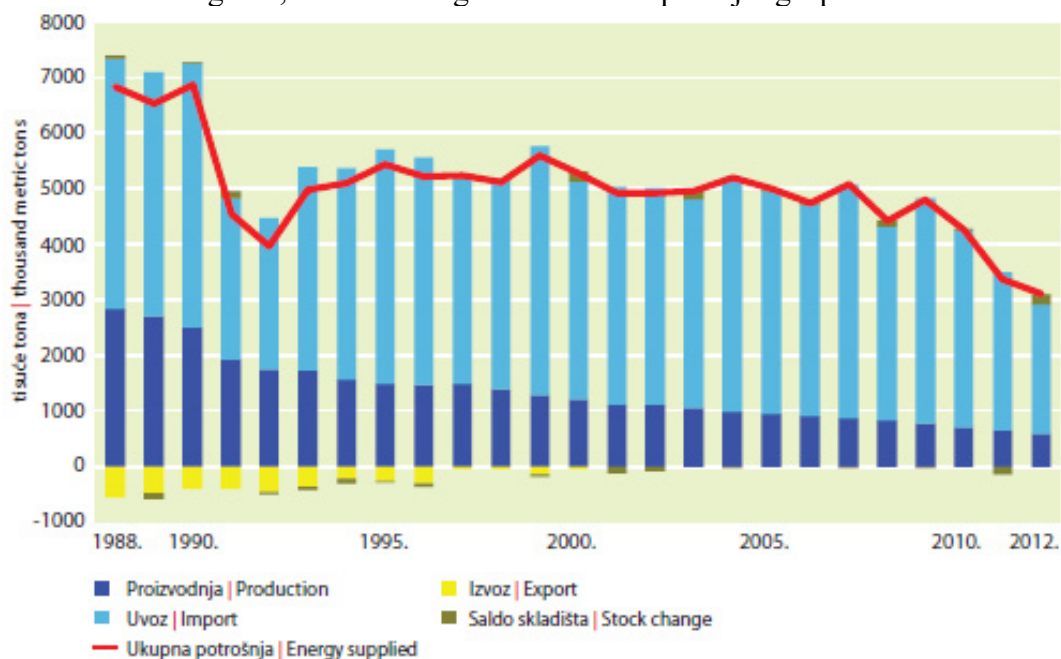
Zalihe konvencionalne nafte u Hrvatskoj prikazane su u tablici 2. preuzetoj iz godišnjaka „Energija u Hrvatskoj 2012.“ Hrvatska posjeduje određene zalihe nafte koje su se u zadnjih nekoliko godina čak i povećale, vjerojatno i zbog primjene EOR postupaka. Potpunu informaciju o pokrivenosti vlastitih potreba Republike Hrvatske za naftom daje slika 5.

Tablica 2. Zalihe nafte i kondenzata i njihova proizvodnja u Hrvatskoj od 2002.-2012.

Nafta i kondenzat Oil and Condensate	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
Rezerve (1 000 m ³) Reserves (1 000 m ³)	10 152,7	10 356,1	11 794,0	9 330,9	9 690,1	11 719,1	11 472,5	10 823,6	10 481,6	11 554,0	11 531,6
Proizvodnja (1 000 t) Production (1 000 t)	1 108,5	1 052,1	1 001,0	946,0	917,4	879,1	835,4	776,2	720,4	664,4	599,9

Izvor | Source: Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva | Ministry of Economy, Labour and Entrepreneurship

Slika 5. pokazuje sve manju vlastitu proizvodnju sirove nafte, nekoliko puta manju u 2012. od one 1988. Uvoz se cijelo to vrijeme zadržavao u približno istom iznosu, osim u ratnim godinama. Posebno je uočljiv trend drastičnog smanjenja ukupne potrošnje nafte od 2009. godine, na iznose daleko ispod predratnih. tome je značajno pridonijela sve manja potrošnja naftnih derivata u energetici, ali sasvim sigurno i stalni nepovoljni gospodarski trendovi.



Slika 5. Raspoloživa sirova nafta u Hrvatskoj (Izvor: EIHP)

Proizvodna postrojenja i transport nafte

Sirova nafta eksploatira se na naftnim poljima koja se mogu nalaziti na kopnu (onshore) ili moru (offshore). Tehnologija eksploatacije nafte na moru ograničena je dubinom mora, ali se te granice sve više pomiču prema sve većim dubinama. Kao i u slučaju nekonvencionalne nafte, tako će i u slučaju eksploatacije u složenim uvjetima, presudni utjecaj imati cijene

Energetika

sirove nafte. Očito je da su one postigle dovoljno visoke iznose da razvoj takvih tehnologija već sada čine isplativim.

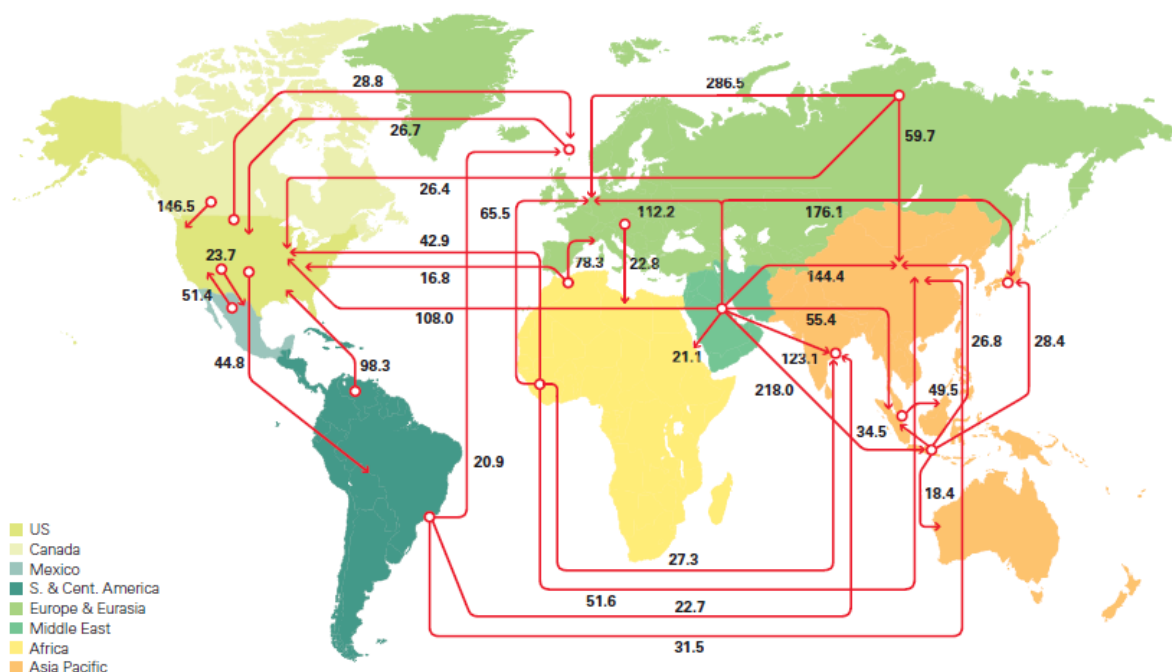
Uz svu složenost pridobivanja sirove nafte, drugo važno pitanje je transport nafte do potrošača odn. postrojenja za preradu koja se nazivaju rafinerije. Nafta se može transportirati kopnenim putem, naftovodima ili pomorskim putem, tankerima.



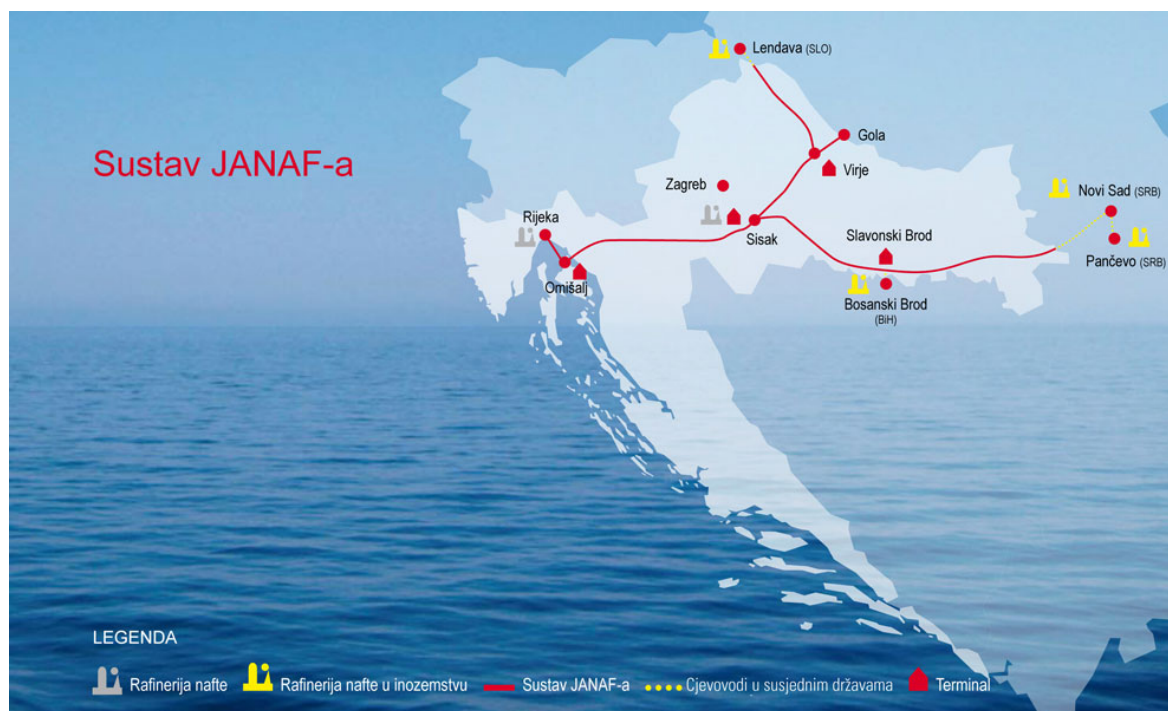
Slika 6. Europski naftovodi (crveno), produktovodi (zeleno) i rafinerije

Slika 6. prikazuje trase europskih naftovoda koji često služe za transport sirove nafte iz terminala u koje dolaze tankeri koji dovoze naftu proizvedenu u zemljama izvoznicama. Nafta se dalje transportira do rafinerija gdje se prerađuje u razne proizvode koji se prema potrebi mogu transportirati produktovodima do odredišta gdje je to potrebno. Slika 7. pokazuje tokove svjetske trgovine sirovom naftom što ukazuje na globalnu dimenziju nafte. Naftom se trguje na burzama i svaki dio Svijeta orijentiran je na jedno tržište na kojem kupuje naftu i eventualno plasira proizvode svojih postrojenja za njenu preradu. Na istoj slici uočavaju se tipična mjesta izvoza kao i mjesta uvoza nafte. Hrvatska je također važan čimbenik regionalnog tržišta naftom zbog svog sustava naftovoda tvrtke „Janaf d.d.“ koja se nalazi u pretežito državnom vlasništvu. Sustav naftovoda prikazan je slikom 8. U sustavu se uz cjevovode nalaze i terminali za skladištenje sirove nafte, a sam sustav služi opskrbi rafinerija hrvatskih u Rijeci i Sisku, te onih u susjednim državama, BIH, Sloveniji, Srbiji, te dalje prema Mađarskoj i Slovačkoj. Ovaj naftovod ima veliki regionalni značaj na sigurnost opskrbe sirovom naftom ovog dijela Srednje i Jugoistočne Europe. Instalirani kapacitet sustava je 20 milijuna tona sirove nafte godišnje.

Major trade movements 2012
Trade flows worldwide (million tonnes)



Slika 7. Glavni svjetski tokovi trgovine naftom (izvor: BP Statistical Review of World Energy 2013.)



Slika 8. Janaf d.d. – sustav naftovoda s pratećim objektima

Svojstva nafte

Što je zapravo nafta? „... kapljevita do polučvrsta prirodna tvar, nalazi se u zemljinoj kori, sastavljena je pretežito od smjese brojnih ugljikovodika, a uvijek sadrži i sumporove spojeve, dušikove i kisikove organske spojeve i u vrlo malim udjelima veći broj teških metala.

Najčešće je smeđe-zelene do smeđe-crne boje, a u reflektiranom svjetlu svi naftni proizvodi opalesciraju zelenim, odn. plavo-zelenim svjetlom.“ (citat iz: Zvonimir Janović: „Naftni i petrokemijski procesi i proizvodi“, Hrvatsko društvo za goriva i maziva, Zagreb, 2005.). Prosječni elementarni sastav nafte prema masenom udjelu dan je u tablici 3. (isti izvor):

Tablica 3. Elementarni sastav nafte

Sastojak	% (maseni)	najveći udio, %
ugljik	84-87	
vodik	11,0-14,0	
sumpor	0,1-3,0	7
dušik	0,1-0,6	3
kisik	0,1-0,6	2
teški metali (oko 40 elemenata V, Ni, Cr, Fe, Al, Si, Ca, Mg, K...)	0,01-0,03	

Sastojci se u nafti ne pojavljuju u elementarnom obliku već u spojevima od kojih su najzastupljeniji:

- n-alkani i izoalkani (parafini),
- cikloalkani (nafteni),
- aromatski ugljikovodici (benzen, alkilbenzeni, naftalen, alkilnaftaleni),
- sumporni spojevi (merkaptani, disulfidi, tioeteri, tiofen),
- dušikovi spojevi (derivati piridina, porfirin),
- kisikovi spojevi (karboksilne kiseline, masne kiseline, naftenske kiseline),
- anorganske nečistoće (NaCl, MgCl₂, teški metali).

Nafta sadrži npr. oko tri tisuće ugljikovodika od kojih se većina nalazi u malim količinama, a neki samo u tragovima. Kvaliteta nafte ovisi o udjelu ugljikovodika, povećanjem njihova udjela raste i njena kvaliteta, a taj udio vezan je uz porijeklo nafte. Udjeli se kreću od 50% u teškoj meksičkoj nafti do 98% u lakoj pensilvanijskoj nafti. Gustoća nafte se obično iskazuje relativno u odnosu na gustoću vode i što je ona veća to je manji udio lako vrijućih sastojaka. Sastav nafte se uobičajeno ne iskazuje prema sastojcima, već prema udjelu triju najvažnijih skupina spojeva:

- parafina (alkana),
- cikloparafina (naftena, cikloalkana),
- aromatskih ugljikovodika.

Poznavanje sastava kao i svojstava od ključne je važnosti za njenu preradu, obzirom da je sirova nafta nepodesna za izravno korištenje. Prvenstveno je razlog tome širok raspon vrelišta spojeva koji čine naftu, od 20°C pa do 700°C. Upravo na toj činjenici temelji se i prerada nafte, odnosno spojevi se različitim postupcima razdvajaju u intervalima njihovih vrelišta, npr. u postupcima atmosferske i vakuumske destilacije. Naftama s većim udjelom neugljikovodika, prije svega sumpora (više od 0,5%) prethodno se moraju ukloniti sumporovi spojevi. Nafta koje se sada prerađuju imaju veću gustoću i veći udio sumpora tj. prerađuje se sve nekvalitetnija nafta.

Postrojenja za preradu nafte nazivaju se rafinerije, a proizvodi nafte o kojima će biti riječi u nastavku, koriste se kao goriva u području kopnenog, zračnog i pomorskog transporta ili kao sirovine za petrokemijsku industriju (proizvodnja temeljena na naftnim i prerađevinama prirodnog plina koja se ne koriste kao goriva ili maziva).

Energetika

Temeljni naftni proizvodi

Motorni benzin

Motorni benzin je smjesa ugljikovodika, a dobiva se miješanjem primarnog benzina i benzina dobivenih katalitičkim krekiranjem, reformacijom i alkilacijom i dr.

Potpunim izgaranjem benzina oslobađa se velika količina topline (egzotermna reakcija) oko 43700 kJ/kg.

Nepotpunim izgaranjem nastaju CO i zaostali ugljikovodici, najviše aromatski ugljikovodici, te NO_x i SO_x. Mjerenje i kontrola koncentracije ovih spojeva predmet su ekotesta prilikom tehničkog pregleda motornih vozila.

Važnu karakteristiku motornih benzina čini oktanski broj (OB). Ta veličina govori o kvaliteti benzina obzirom na jednolikost izgaranja, a ne odnosi se na toplinsku vrijednost benzina. Uobičajene vrijednosti oktanskog broja su od 90 do 105. Njegova vrijednost postiže se kombiniranjem karakteristika komponenti odn. spojeva koji se nalaze u samom gorivu, te dodavanjem određenih spojeva.

Aromatski ugljikovodici imaju visoke vrijednosti OB, ali su otrovni, pa je propisano da udio benzena smije biti do 0,1%, a ukupnih aromatskih ugljikovodika do 35% (nakon 2005.).

Kako bi se postigla tražena vrijednost oktanskog broja benzinu se dodaju odgovarajući spojevi. U prošlosti su to bili olovni alkili. Kako je olovo otrovno, ti su spojevi zamijenjeni metil-*terc*-butil eterom (skraćeno MTBE)

Sumporovi spojevi su nepoželjni u gorivu jer stvaraju sumporove okside koji nepovoljno utječu na okoliš, a smanjuju i djelotvornost katalitičkog konvertera (kolokvijalno katalizatora) koji pospješuje pretvorbu CO u CO₂ i NO_x u NO₂. Udio sumpora u gorivu nakon 2005. smije iznositi najviše 50ppm. U gorivima koja nose oznaku BS-bez sumpora (na benzinskim postajama u hrvatskoj) sadržaj sumpora je do 10ppm (mg/kg).

Zrakoplovni (avionski) benzin

Zrakoplovni (avionski) benzin služi kao gorivo za zrakoplove i helikoptere s klipnim benzinskim motorima. Osnovni zahtjevi za to gorivo su niža vrijednost stiništa (-60°C) (stinište-smanjenje tečljivosti pri nižim temperaturama prilikom čega dolazi do izlučivanja i kristalizacije parafinskih ugljikovodika i prestanka tečenja) i velika kalorična vrijednost.

Zrakoplovno mlazno gorivo (jet fuel)

Zrakoplovno (avionsko) mlazno gorivo (jet fuel) koristi se kao gorivo za mlazne motore, a frakcija je benzina i petroleja iz primarne (atmosferske) destilacije nafte. Uz nisku temperaturu stiništa mora imati veliku kaloričnu vrijednost.

Dieselsko gorivo

Dieselsko gorivo služi za pogon dieselskih motora i smjesa je petrolejske frakcije i frakcije lakog plinskog ulja.

Cetanski broj ukazuje na sklonost zapaljenju, veća vrijednost veća sklonost zapaljenju, a vrijednost mu mora biti veća od 51. Propisan je i sadržaj sumpora ispod 50ppm, a dieselsko gorivo s oznakom BS, poput motornog benzina, sadrži ispod 10ppm sumpora.

Energetika

Loživo ulje

Loživa ulja su skupina visokokaloričnih goriva koja čini smjesa ugljikovodika visokoga vrelišta. Dobivaju se nakon odvajanja benzina i drugih "lakih" sastojaka ili su izravan ostatak pri atmosferskoj ili vakumskoj destilaciji. Razlikujemo dvije vrste loživih ulja:

- *destilacijska loživa ulja odn. plinska loživa ulja (lako i teško)*- manje gustoće i viskoziteta i manje udjela S spojeva za grijanje domaćinstava, škola i sl.,
- *ostatna loživa ulja- lako, srednje i teško*-nastaju frakcioniranjem naftnih destilacijskih ostataka-viskozna su , gusta i tamno obojena. Najpoznatije je teško loživo ulje - mazut ili bunker ulje za pogon velikih brodskih motora i termoenergetskih objekata. Sve više ili čak u potpunosti izlaze iz upotrebe zbog nepovoljnog utjecaja na okoliš.

Maziva mineralna ulja

Maziva mineralna ulja su kapljevit maziva dobivena miješanjem baznih ulja i odgovarajućih dodataka (5 do 20%) radi poboljšanja određenih svojstava.

Bazna mineralna ulja smjesa su viših ugljikovodika dobivenih višestrukim postupcima prerade nafte.

Parafinski vosak

Parafinski vosak je zajednički naziv za:

- čvrsti parafin,
- cerezin,
- vazelin (medicinski i kozmetički)

Bitumen

Bitumen je smolasta, viskozna, tamno obojena tvar, smjesa je pretežito aromatskih heterocikličkih ugljikovodika, nalazi se i u prirodi, a najviše se dobiva obradom rafinerijskih ostataka nafte.

U širem smislu bitumeni su većina organskih tvari u zemljinoj kori; nafta, prirodni plin, bit. ugljen, škriljavci i prirodni asfalt

Postoji više vrsta bitumena koji se razlikuju u svojstvima, a najpoznatiji je *asfaltni bitumen* za proizvodnju asfalta u kombinaciji s agregatima kamena i služi u građevinarstvu.

Motorna goriva i utjecaj na okoliš

Pri nabranju i opisu motornih goriva, posebice motornog benzina i dieselskog goriva navedena su neka ograničenja vezana uz udjele pojedinih sastojaka u tim gorivima, posebice s aspekta njihovog utjecaja na okoliš. Taj utjecaj ispoljava se kroz utjecaj dimnih plinova koji nastaju u procesu izgaranja, temeljnoj energetskej pretvorbi u kojoj goriva kao nositelji kemijske energije kroz različite termodinamičke promjene u odgovarajućim uređajima proizvode prvenstveno mehanički rad. Euro norme govore o dopuštenim emisijama pojedinih sastojaka dimnih plinova. Te norme imaju svoju evoluciju i postupno su dovele do vrlo strogih ograničenja u emisiji. Ispočetka je u Europi u ispušnim plinovima automobilskih motora bila ograničena samo emisija CO, a od 1970. godine ograničena je i emisija HC. Od 1977. ograničena je emisija NO_x samo za Otto motore, a od 1988. ograničena je i količina krutih čestica (PM) kod Diesel motora.

Od 1992. godine pojedine razine dopuštenih emisija štetnih tvari nose naziv Euro.

Aktualnim propisima (prvenstveno misleći na Europsku Uniju) određene su dopuštene granice emisija štetnih tvari i propisane metode ispitivanja sljedećih štetnih sastojaka:

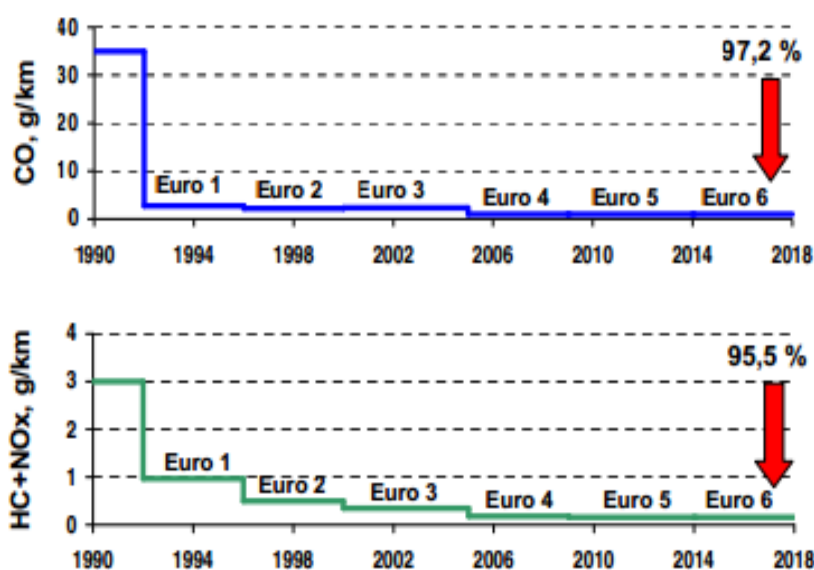
- ugljikovog monoksida (CO),
- ugljikovodika (HC) i
- dušikovih oksida (NO_x).

Kod Diesel motora dodatno je još ograničena i:

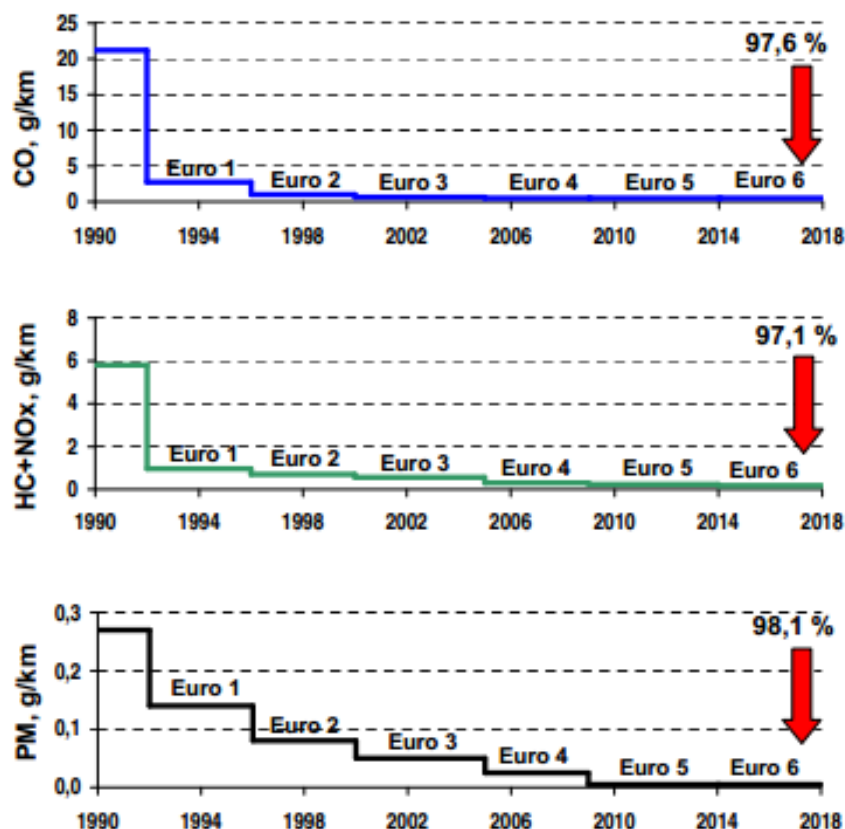
- količina čestica PM (engl. Particulate Matter; najveći dio njih čini čađa),
- neprozirnost ispušnih plinova i nemetanski ugljikovodici (NMHC).

Kod vozila na pogon stlačenim prirodnim plinom ograničena je i količina metana (CH₄) u ispušnim plinovima. Također je ograničena i količina hlapljivih tvari koje vozilo ispušta u okoliš iz spremnika i sustava za gorivo.

Smanjivanje emisija štetnih tvari provodi se kontinuiranim poboljšanjima procesa izgaranja u cilindru motora, pročišćavanjem dimnih plinova nakon što izađu iz motora, poboljšavanjem kvalitete goriva (prvenstveno smanjivanjem sadržaja sumpora), smanjivanjem otpora vožnje i optimiranjem upravljanja radom motora i vozila u cjelini. Slike 9. i 10. grafički prikazuju razvoj normi Euro 1 do Euro 6 za osobna vozila s Otto ili Diesel motorom. Uočljivo je drastično smanjenje dopuštenih emisija svih sastojaka dimnih (ispušnih) plinova. Treba napomenuti da je ograničena i emisija nemetanskih ugljikovodika (NMHC) ali to nije prikazano u ovom grafičkom prikazu.



Slika 9. Emisije pojedinih sastojaka za kategoriju osobnih vozila s Otto motorima od 1990. nadalje (CO-ugljični monoksid, HC-ugljikovodici, NO_x-dušični oksidi)

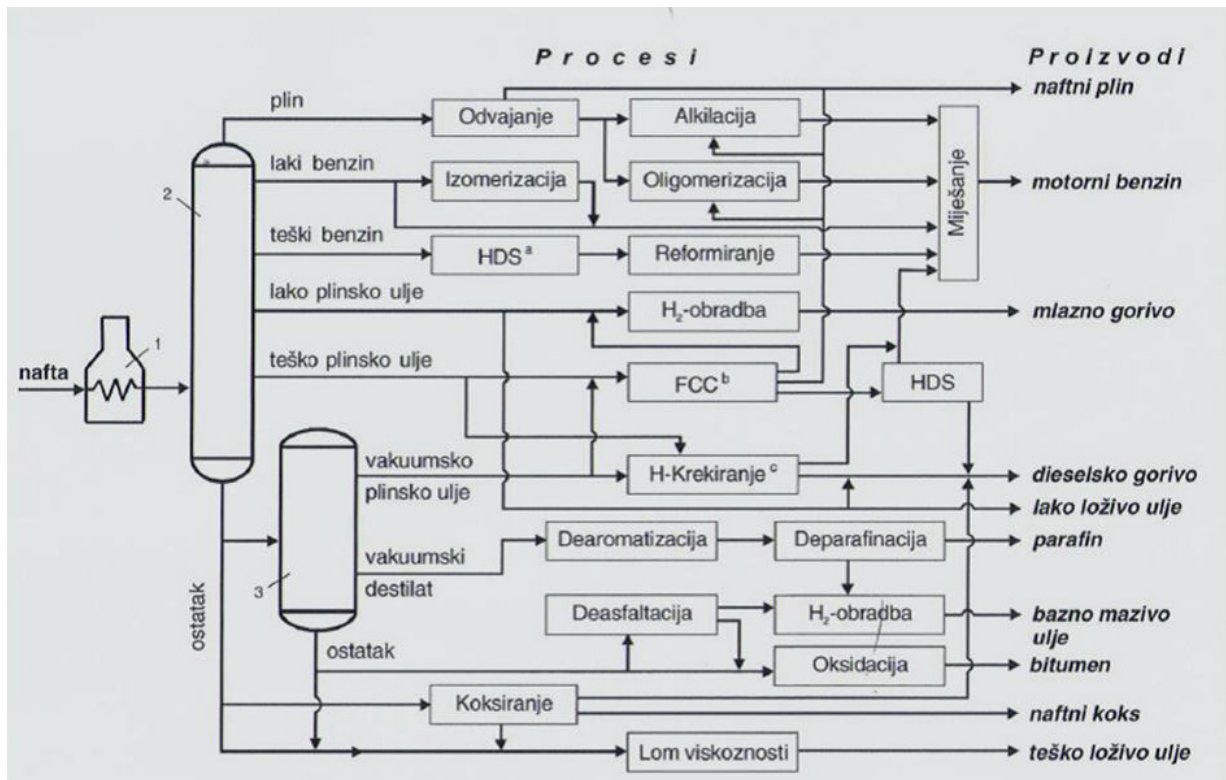


Slika 10. Emisije pojedinih sastojaka za kategoriju osobnih vozila s Diesel motorima od 1990. nadalje (CO-ugljični monoksid, HC-ugljikovodici, NO_x-dušični oksidi, PM-krute čestice (particulate matter) - većinom čađa)

Kao što je to prikazano za kategoriju osobnih vozila, postoje podaci i za sve ostale kategorije vozila. Također su propisani i načini ispitivanja i mjerenja emisija navedenih sastojaka.

Prerada nafte

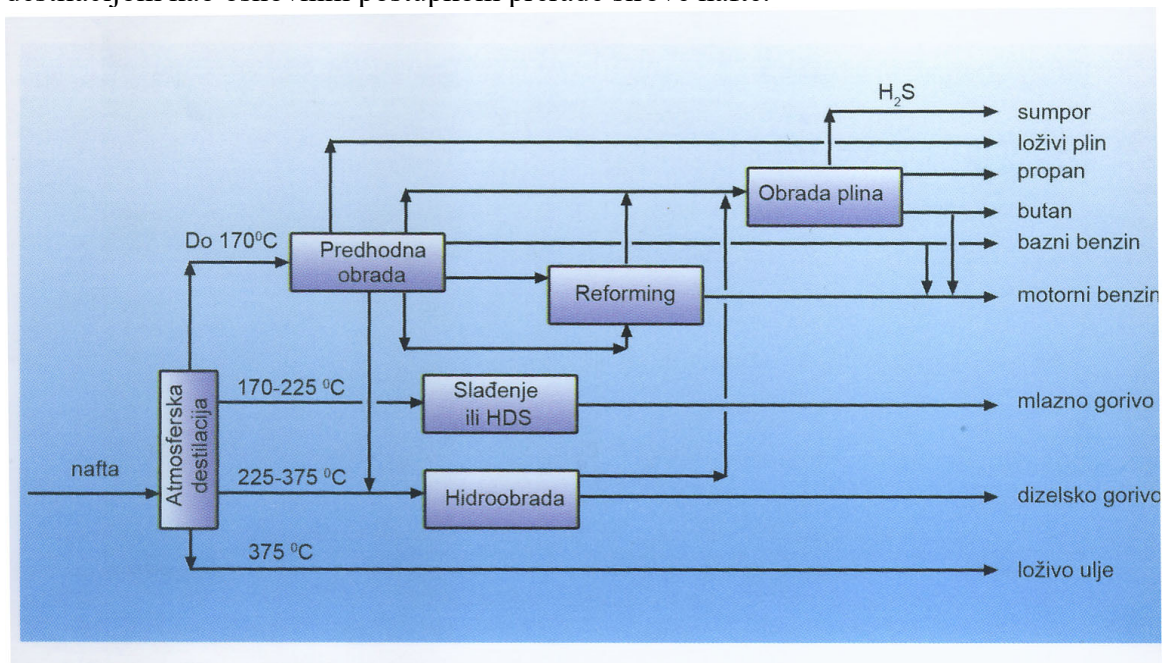
Sirova nafta prerađuje se u rafinerijama. Zbog svojeg složenog sastava nafta se u rafinerijama prerađuje u nizu tehnoloških operacija (slika 11.). Prerada nafte bazira se na principu destilacije odn. razdvajanja frakcije na temelju različitih vrelišta te na ostalim postupcima kojima je cilj što bolje iskorištenje sirovine. Rafinerije se razlikuju po svojoj složenosti tj. kompleksnosti. U svojoj povijesti, a posebno u zadnjih četrdesetak godina rafinerije su snažno modernizirale jer je to bio jedini način opstanka na tržištu. Naime, do početka 70-tih i vremena jeftine i lako dostupne nafte rafinerije su bile razmjerno jednostavne što je imalo za posljedicu veliku količinu neiskorištene sirovine jer se prerada temeljila na atmosferskoj destilaciji (tzv. hydroskiming rafinerije). Prvi korak prema boljem iskorištenju „atmosferskog ostatka“ je uvođenje vakuumske destilacije kojom se prerađuju frakcije s višim vrelištem koje se ne mogu preraditi u postupku atmosferske destilacije. No, ni vakuumska destilacija nije u mogućnosti u potpunost preraditi „atmosferski ostatka.“ Razvija se niz postupaka koji povećavaju iskorištenje sirovine i/ili povisuje kvalitetu proizvoda posebno u pogledu utjecaja motornih goriva na okoliš što je već prethodno objašnjeno.



Slika 11. Temeljni procesi i proizvodi prerade nafte (izvor: Z. Janović: Naftni i petrokemijski procesi i proizvodi, Hrvatsko društvo za goriva i maziva, 2005.). Tumačenje oznaka 1-peć, 2-atmosferska destilacija, 3-vakuumska destilacija, ^ahidrodesulfurizacija, ^bkatalitičko krekiranje, ^chidrokreiranje.

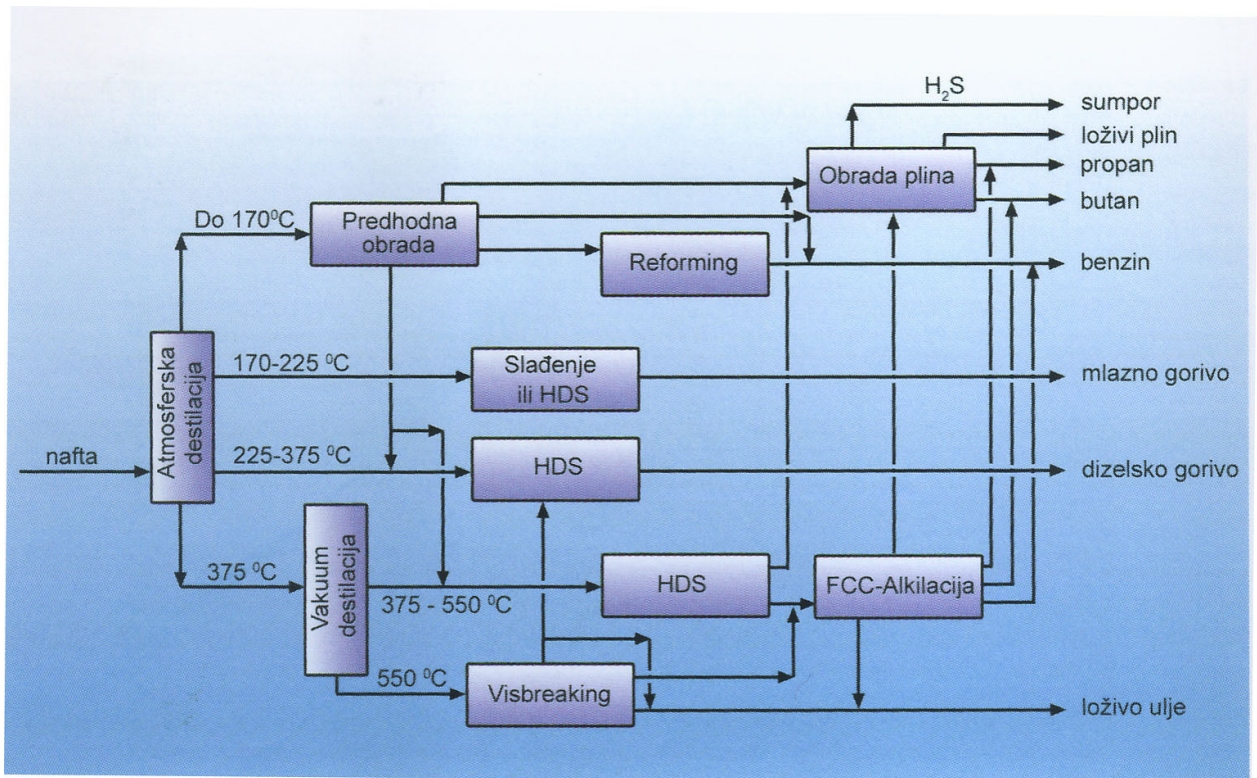
Svaka rafinerija neće imati zastupljene sve navedene postupke. U nastavku je dan primjer nekoliko tipova rafinerija koje se razlikuju po svojoj kompleksnosti. Sheme su preuzete iz knjige E. Cerića: Nafta, procesi i proizvodi, INA Industrija nafte d.d. i Kigen d.o.o., 2006.

Slika 12. prikazuje shemu jednostavne (hydroskimming) rafinerije s atmosferskom destilacijom kao osnovnim postupkom prerade sirove nafte.



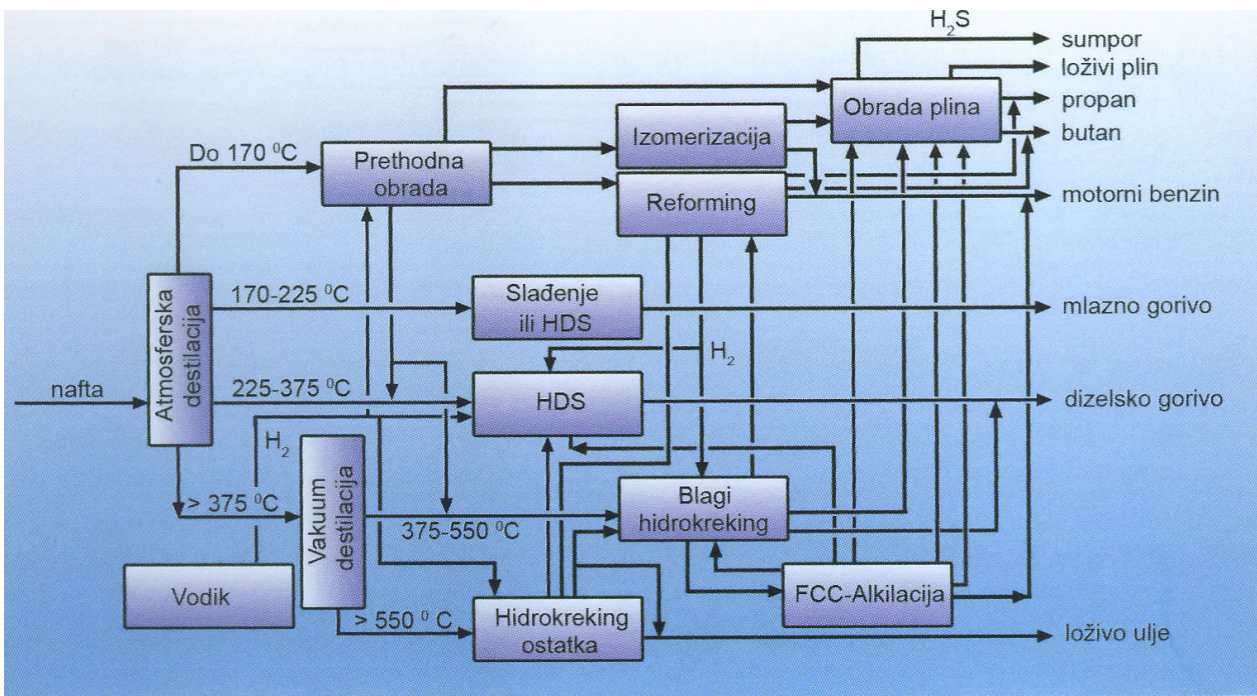
Slika 12. Shema jednostavne (hydroskimming) rafinerije

Slika 13 prikazuje složenije postrojenje prošireno vakuumskom destilacijom i katalitičkim krekingom (FCC). Kreking je postupak cijepanja velikih molekula u male.



Slika 13. Kompleksna rafinerija s katalitičkim krekingom

Slika 14. prikazuje rafineriju duboke konverzije s hidrokrekingom „vakuumskog ostatka“. Uz ove navedeni postoje i drugi tipovi rafinerija



Slika 14. Rafinerija duboke konverzije s hidrokrekingom vakuum ostatka

Tablica 4. Usporedba udjela pojedinih vrsta proizvoda za tipove rafinerija prikazane slikama 12., 13. i 14.

Proizvodi, % maseni	Tip rafinerije		
	jednostavna	kompleksna	duboke konverzije
loživi plin	1,8	4,4	4,1
propan/butan/UNP	1,6	2,9	3,4
bazni benzin	2,0		
motorni benzin	15,9	36,2	30,3
mlazno gorivo	9,8	9,6	9,5
dizelsko gorivo	25,3	27,2	46,1
ulje za loženje	43,3	18,8	5,2
sumpor		0,9	1,4

U tablici 4. dana je usporedba Uočljiv je veliki „atmosferski ostatak“ u vidu ulja za loženje od preko 40% kod rafinerije jednostavnog tipa. Upravo to ukazuje na potrebu uvođenja novih postupaka koji će dovesti do smanjenja tog postotka jer tržišna vrijednost ulja „atmosferskog ostatka“ niža je od tržišne vrijednosti sirovine. Zbog toga je rentabilnost i opstanak takve rafinerije vrlo upitna. Modernizacijom rafinerija i uvođenjem novih postupaka postotak ulja za loženje se bitno smanjuje, pa tako kod rafinerije duboke konverzije pada na 5,2% s time da ga je moguće svesti i na nulu. Modernizacijom rafinerija raste udio proizvedenog propana i butana koji zajedno čine ukapljeni naftni plin (UNP) i bijelih derivata, motornog benzina i dizelskog goriva kojipostizu visoku cijenu na tržištu.

Modernizacija rafinerija zahtijeva velike investicije, ali je uvjet opstanka na tržištu. Istovremeno, potrošnja energije s porastom kompleksnosti odn. složenosti rafinerije raste zbog uvođenja novih postupaka obrade.

Energetika

Prirodni plin

Prirodni plin (ili zemni plin) je najmlađe fosilno gorivo. U prirodi se nalazi većinom samostalno (95% zaliha) ili dolazi zajedno s naftom (naftni ili kaptažni plin). Prva moderna upotreba prirodnog plina vezana je uz američki grad Fredonia, država New York gdje je napravljena prva bušotina za prirodni plin 1821. godine i osnovana tvrtka za rasvjetu prirodnim plinom. U također američkom gradu Philadelphia 1836. osnovana je prva gradska tvrtka za distribuciju prirodnog plina. U to vrijeme prirodni plin se se pretežito koristi za potrebe rasvjete ulica. Izum Roberta Bunsena 1885. godine, poznatog Bunsenovog plamenika označuje prekretnicu u korištenju prirodnog plina koji tako ulazi i u druga područja primjena poput grijanja, kuhanja i sl. Danas je prirodni plin opće prihvaćeni primarni energent koji se koristi u kućanstvima, energetici i industriji. Njegov udio u korištenju fosilnih goriva raste na uštrb nafte, ali ipak ne toliko kao udio ugljena. Prirodni plin Nafta je fosilno gorivo čiji su prvi počeci korištenja zabilježeni još u staroj eri u obliku asfalta (vidjeti poglavlje o povijesti korištenja energije). Suvremena povijest nafte seže u 1859. godinu i Pensylvaniju gdje je započela eksploatacija nafte na moderan način.

Zalihe prirodnog plina

Zalihe konvencionalnog prirodnog plina dijele se kao i one konvencionalne nafte.

Tablica 1. Dokazane zalihe plina u Svijetu (BP Statistical Review of World Energy, June 2014.)

	At end 1993	At end 2003	At end 2012	At end 2013			
	Trillion cubic metres	Trillion cubic metres	Trillion cubic metres	Trillion cubic foot	Trillion cubic metres	Share of total	R/P ratio
US	4.6	5.4	8.7	330.0	9.3	5.0%	13.6
Canada	2.2	1.6	2.0	71.4	2.0	1.1%	13.1
Mexico	2.0	0.4	0.4	12.3	0.3	0.2%	6.1
Total North America	8.8	7.4	11.1	413.7	11.7	6.3%	13.0
Argentina	0.5	0.6	0.3	11.1	0.3	0.2%	8.9
Bolivia	0.1	0.8	0.3	11.2	0.3	0.2%	15.2
Brazil	0.1	0.2	0.5	15.9	0.5	0.2%	21.2
Colombia	0.2	0.1	0.2	5.7	0.2	0.1%	12.8
Peru	0.3	0.2	0.4	15.4	0.4	0.2%	35.7
Trinidad & Tobago	0.2	0.5	0.4	12.4	0.4	0.2%	8.2
Venezuela	3.7	4.2	5.6	196.8	5.6	3.0%	*
Other S. & Cent. America	0.2	0.1	0.1	2.2	0.1	*	24.9
Total S. & Cent. America	5.4	6.8	7.7	270.9	7.7	4.1%	43.5
Azerbaijan	n/a	0.9	0.9	31.0	0.9	0.5%	54.3
Denmark	0.1	0.1	†	1.2	†	*	7.0
Germany	0.2	0.2	0.1	1.7	†	*	5.9
Italy	0.3	0.1	0.1	1.8	0.1	*	7.3
Kazakhstan	n/a	1.3	1.5	53.9	1.5	0.8%	82.5
Netherlands	1.7	1.4	0.9	30.1	0.9	0.5%	12.4
Norway	1.4	2.5	2.1	72.4	2.0	1.1%	18.8
Poland	0.2	0.1	0.1	4.1	0.1	0.1%	27.5
Romania	0.4	0.3	0.1	4.1	0.1	0.1%	10.6
Russian Federation	n/a	30.4	31.0	1103.6	31.3	16.8%	51.7
Turkmenistan	n/a	2.3	17.5	617.3	17.5	9.4%	*
Ukraine	n/a	0.7	0.6	22.7	0.6	0.3%	33.4
United Kingdom	0.6	0.9	0.2	8.6	0.2	0.1%	6.7
Uzbekistan	n/a	1.2	1.1	38.3	1.1	0.6%	19.7
Other Europe & Eurasia	35.6	0.4	0.3	8.8	0.2	0.1%	33.4
Total Europe & Eurasia	40.5	42.7	56.5	1999.5	56.6	30.5%	54.8
Bahrain	0.2	0.1	0.2	6.7	0.2	0.1%	12.1
Iran	20.7	27.6	33.6	1192.9	33.8	18.2%	*
Iraq	3.1	3.2	3.6	126.7	3.6	1.9%	*
Kuwait	1.5	1.6	1.8	63.0	1.8	1.0%	*
Oman	0.2	1.0	0.9	33.5	0.9	0.5%	30.7
Qatar	7.1	25.3	24.9	871.5	24.7	13.3%	*
Saudi Arabia	5.2	6.8	8.2	290.8	8.2	4.4%	79.9
Syria	0.2	0.3	0.3	10.1	0.3	0.2%	63.9
United Arab Emirates	5.8	6.0	6.1	215.1	6.1	3.3%	*
Yemen	0.4	0.5	0.5	16.9	0.5	0.3%	46.3
Other Middle East	†	0.1	0.2	8.1	0.2	0.1%	35.3
Total Middle East	44.4	72.4	80.3	2835.4	80.3	43.2%	*

Energetika

Algeria	3.7	4.5	4.5	159.1	4.5	2.4%	57.3
Egypt	0.6	1.7	2.0	65.2	1.8	1.0%	32.9
Libya	1.3	1.5	1.5	54.7	1.5	0.8%	*
Nigeria	3.7	5.1	5.1	179.4	5.1	2.7%	*
Other Africa	0.7	1.0	1.2	43.3	1.2	0.7%	56.9
Total Africa	10.0	13.9	14.4	501.7	14.2	7.6%	69.5
Australia	1.0	2.4	3.9	129.9	3.7	2.0%	95.8
Bangladesh	0.3	0.4	0.3	9.7	0.3	0.1%	12.6
Brunel	0.4	0.3	0.3	10.2	0.3	0.2%	23.6
China	1.7	1.3	3.3	115.6	3.3	1.8%	28.0
India	0.7	0.9	1.3	47.8	1.4	0.7%	40.2
Indonesia	1.8	2.6	2.9	103.3	2.9	1.6%	41.6
Malaysia	1.8	2.5	1.1	38.5	1.1	0.6%	15.8
Myanmar	0.3	0.4	0.3	10.0	0.3	0.2%	21.6
Pakistan	0.7	0.8	0.6	22.7	0.6	0.3%	16.7
Papua New Guinea	†	†	0.2	5.5	0.2	0.1%	*
Thailand	0.2	0.4	0.3	10.1	0.3	0.2%	6.8
Vietnam	0.1	0.2	0.6	21.8	0.6	0.3%	63.3
Other Asla Pacific	0.3	0.5	0.3	11.5	0.3	0.2%	17.5
Total Asla Pacific	9.3	12.7	15.2	536.6	15.2	8.2%	31.1
Total World	118.4	155.7	185.3	6557.8	185.7	100.0%	55.1
of which: OECD	14.6	15.3	18.7	678.3	19.2	10.3%	16.0
Non-OECD	103.8	140.4	166.6	5879.5	166.5	89.7%	76.7
European Union	3.7	3.2	1.6	55.6	1.6	0.9%	10.7
Former Soviet Union	35.3	36.9	52.8	1869.5	52.9	28.5%	68.2

*More than 100 years.

†Less than 0.05.

*Less than 0.05%.

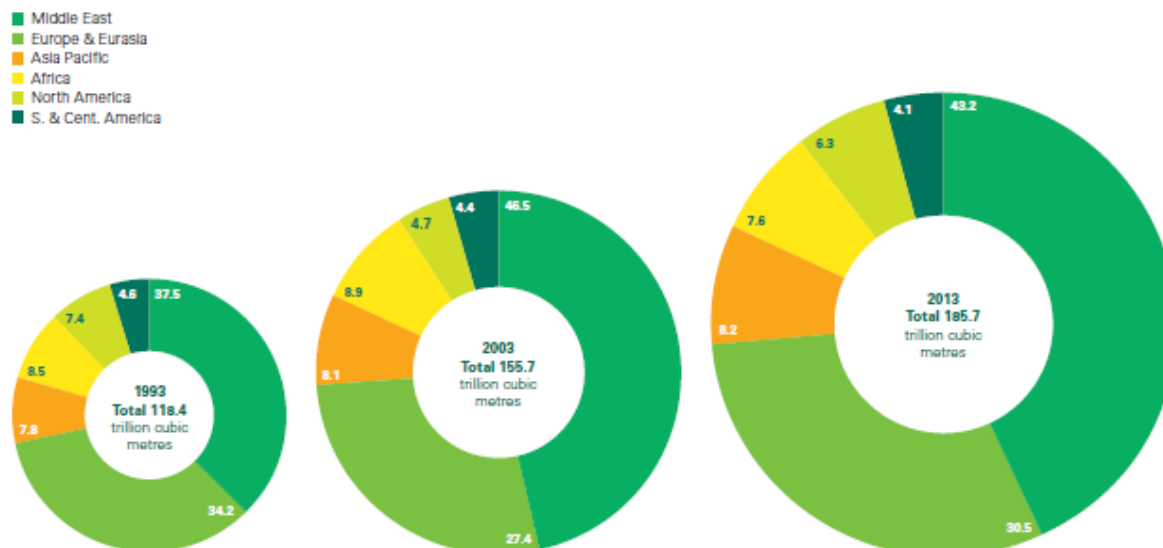
n/a not available.

Notes: Proved reserves of natural gas – Generally taken to be those quantities that geological and engineering information indicates with reasonable certainty can be recovered in the future from known reservoirs under existing economic and operating conditions.

Reserves-to-production (R/P) ratio – If the reserves remaining at the end of any year are divided by the production in that year, the result is the length of time that those remaining reserves would last if production were to continue at that rate.

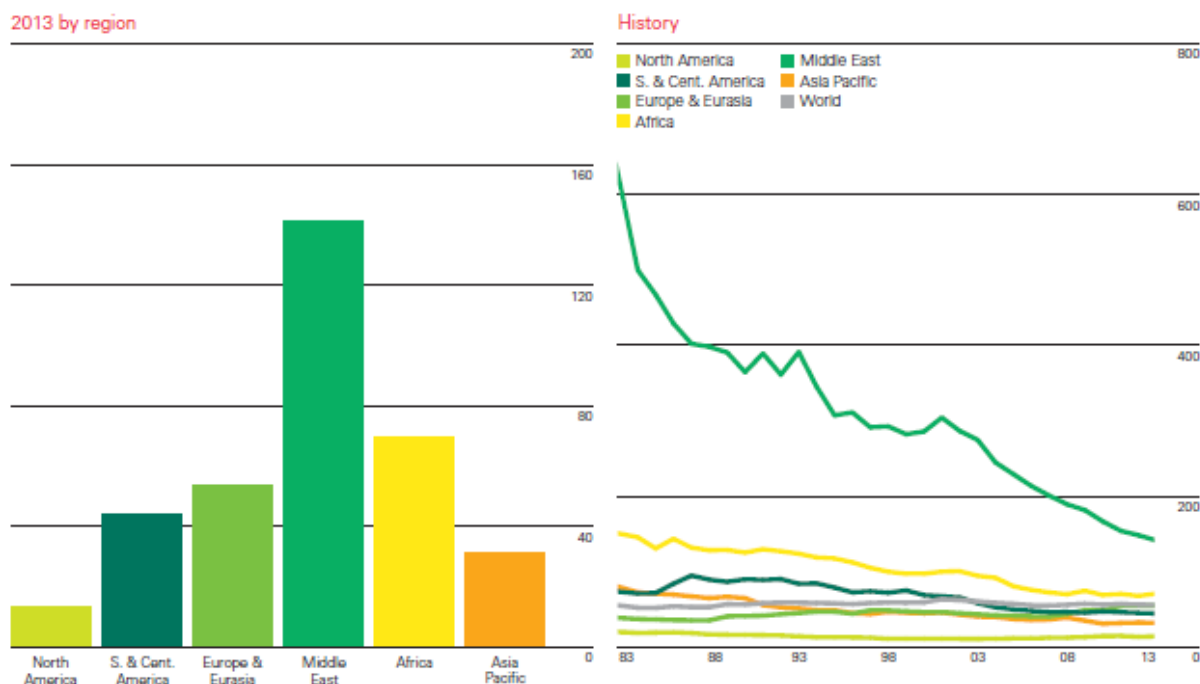
Source of data – The estimates in this table have been compiled using a combination of primary official sources and third-party data from Codiqaz and the OPEC Secretariat.

Raspored zaliha prirodnog plina sličan je kao i kod nafte. Glavne zalihe nalaze se na Srednjem Istoku posebice u Iranu koji posjeduje gotovo petinu svjetskih rezervi i Qatar s nešto više od 13%. U Europi Rusija ostvaruje potpunu dominaciju u zalihamima s gotovo 17%, a zemlje bivšeg SSSR-a, u kojima se i nadalje ne može isključiti snažan ruski utjecaj, gotovo 29%. Iako sve ostale zemlje imaju relativno male postotne udjele u svjetskim rezervama, apsolutni iznosi tih količina nisu zanemarivi pa imaju velik značaj za sigurnost opskrbe tih zemlja ili šire regije. Grafički prikaz udjela zaliha prirodnog plina po regijama dan je slikom 1. Slika 2. pokazuje R/P (Z/P) omjera po regijama kao i povijesni pregled tih vrijednosti. I dalje je uočljiva dominacija Srednjeg Istoka.



Slika 1. Udio pojedinih svjetskih regija u zalihamima prirodnog plina s pregledom ukupnih zaliha (izvor: BP Statistical Rewiev of World Energy 2014.)

Energetika



Slika 2. R/P omjer pojedinih svjetskih regija (izvor: BP Statistical Review of World Energy 2014.)

U tablici 1. i na slici 1. primjećuje se snažan porast zaliha prirodnog plina u SAD-u, dvostruko više nego 1993. isključivo zbog početka eksploatacije nekonvencionalnog plina. Ovo je činjenica koja je znatno utjecala na energetiku daleko izvan granica te zemlje. Sada su SAD sposobne pokriti svoje cjelokupne potrebe za prirodnim plinom te su u potpunosti postale neovisne o uvozu. Rezultat povećane ponude domaćeg plina doveo je do pada njegove cijene na američkom tržištu (slika 3.) čime je u domaćoj energetici postao konkurentan ugljenu.



Slika 3. Cijene prirodnog plina (USD/10⁶Btu, 1kWh=3412Btu) na nekim točkama trgovanja

Na istoj slici vidi se odnos cijena i na ostalim tržištima, u Europi (žuta i zelena linija) i u Japanu koji prirodni plin uvozi isključivo pomorskim putem (LNG), a uvoz je drastično povećan nakon katastrofe u nuklearci Fukushima početkom ožujka 2011. godine.

Nekonvencionalni plin

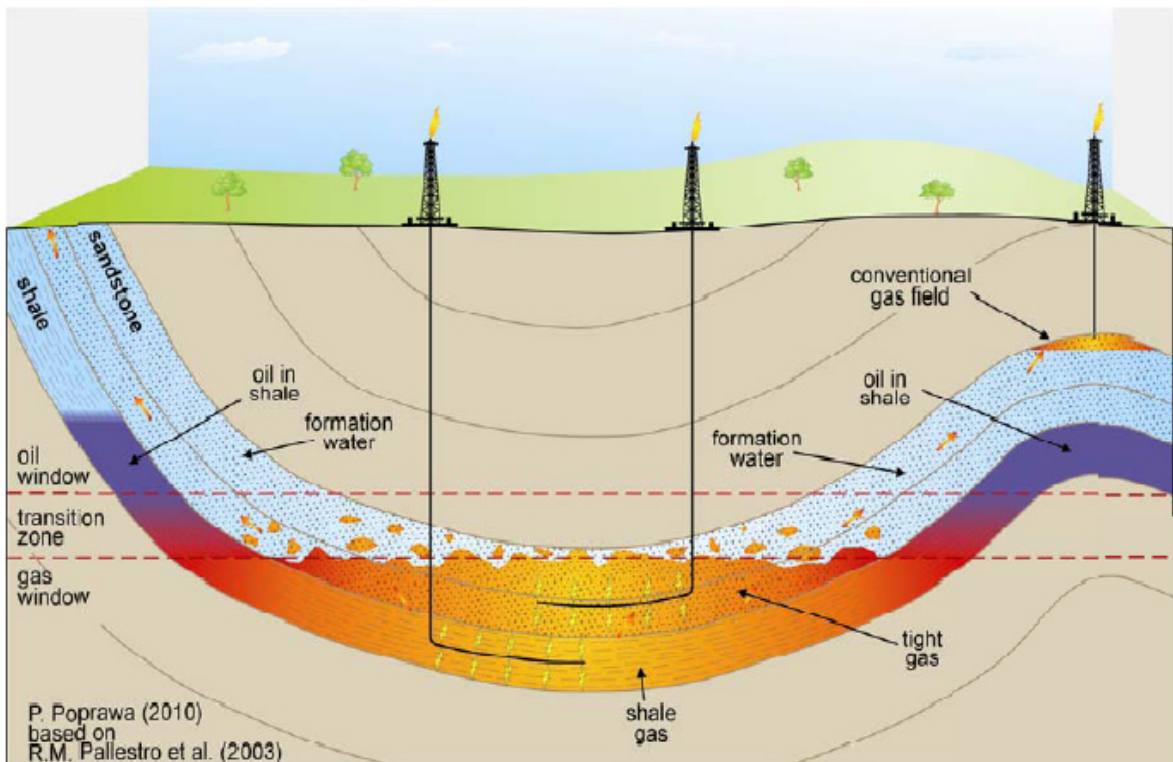
Prema slici 4. iz poglavlja o nafti vidljiv je značajan porast udjela prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta. u sljedećih nekoliko godina taj bi postotak trebao u SAD-u dosegnuti i 50% ukupne proizvodnje u toj zemlji. Tržišne posljedice te činjenice upravo su prokomentirane. Zalihe nekonvencionalnog plina nalaze se u sljedećim geološkim formacijama:

- slabopropusni pješčenjaci (tight gas),
- frakturirani škriljevci (shale gas),
- plin iz ležišta ugljena (coal bed methane),
- metan otopljen u dubokim akviferima i
- ležišta hidrata

U prva dva slučaja radi se o tipovima stijena koje imaju slabu propusnost te je potrebno primijeniti tehnologije horizontalnog bušenja i hidrauličkog frakturiranja kako bi se ta propusnost povećala. Ove tehnologije uključuju korištenje velikih količina vode, pijeska i odgovarajućih kemikalija uz dvojbene tvrdnje o minimalnom utjecaju na okoliš.

Plin iz ležišta ugljena je plin koji je uzročnik nesreća u rudnicima ugljena, a eksploatacija prirodnog plina iz takvih ležišta je složena i skupa.

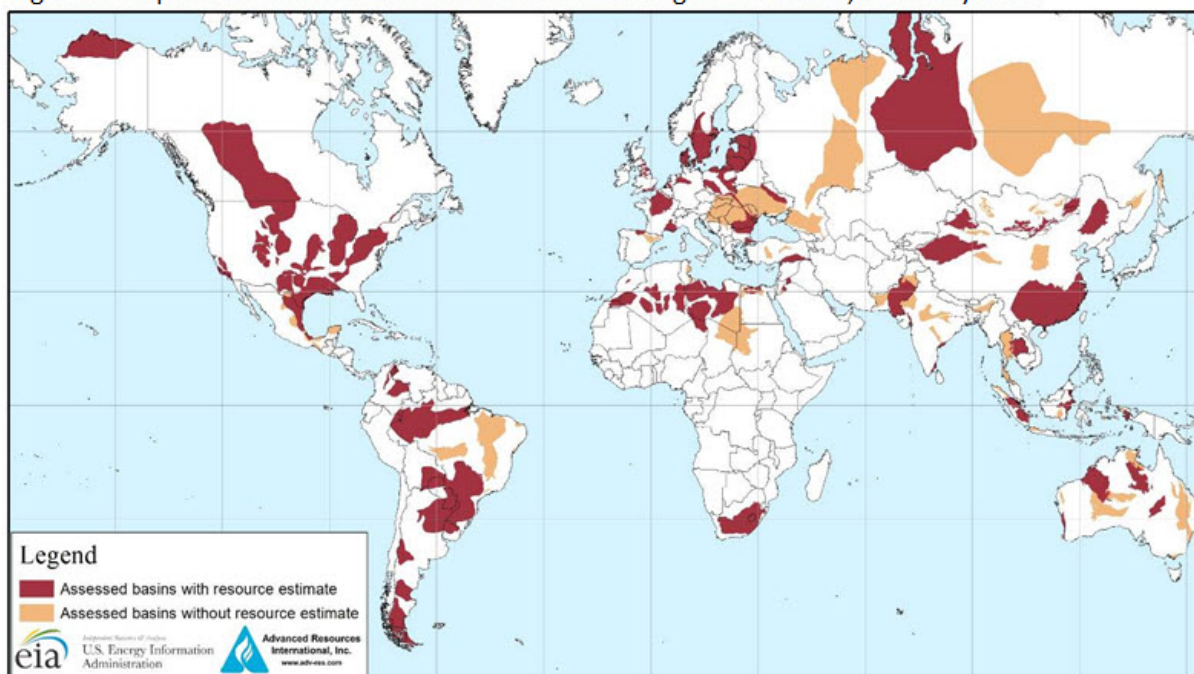
Ostala dva oblika predstavljaju prirodni plin koji je otopljen u vodi (akvifer) pri uvjetima visokog tlaka i temperature a hidrati su oblik vodenog leda koji u svojoj kristalnoj strukturi ima praznine ispunjene plinom. Neki od navedenih oblika nekonvencionalnih ležišta prikazani su slikom 4.



Slika 4. Razni tipovi nekonvencionalnih ležišta prirodnog plina

Nalazišta nekonvencionalnog plina postoje i u drugim dijelovima Svijeta što prikazuje slika 5., iako se intenzivno eksploatira samo u SAD-u. U Europi se za sada ne nazire početak njegove eksploatacije prvenstveno zbog još nedovoljno istraženog utjecaja na okoliš. Nesumnjivo, u bližoj ili daljoj budućnosti nekonvencionalna fosilna goriva će kako u Europi tako i drugdje zauzimati važno mjesto u osiguranju dovoljnih količina energenata.

Figure 1. Map of basins with assessed shale oil and shale gas formations, as of May 2013



Source: United States basins from U.S. Energy Information Administration and United States Geological Survey; other basins from ARI based on data from various published studies

Slika 5. Zalihe nekonvencionalnog plina i nafte u Svijetu (izvor: EIA-US Energy Information Administration)

Zalihe prirodnog plina u Hrvatskoj

Zalihe prirodnog plina u Hrvatskoj su značajne, ali ipak nedostatne za podmirivanje vlastite potrošnje. Područja na kojima se nalaze glavna nalazišta prirodnog plina u Hrvatskoj su područje sjevernog Jadrana (pored Pule) i Podravine (Molve). Za sada nema naznaka da bi se mogla otkriti nova nalazišta. Domaćom proizvodnjom se podmiruje približno dvije trećine vlastitih potreba s naznakom da i potrošnja i proizvodnja prirodnog plina u Hrvatskoj bilježe višegodišnji pad.

Tablica 2. Zalihe i proizvodnja prirodnog plina u Hrvatskoj od 2002.-2012.

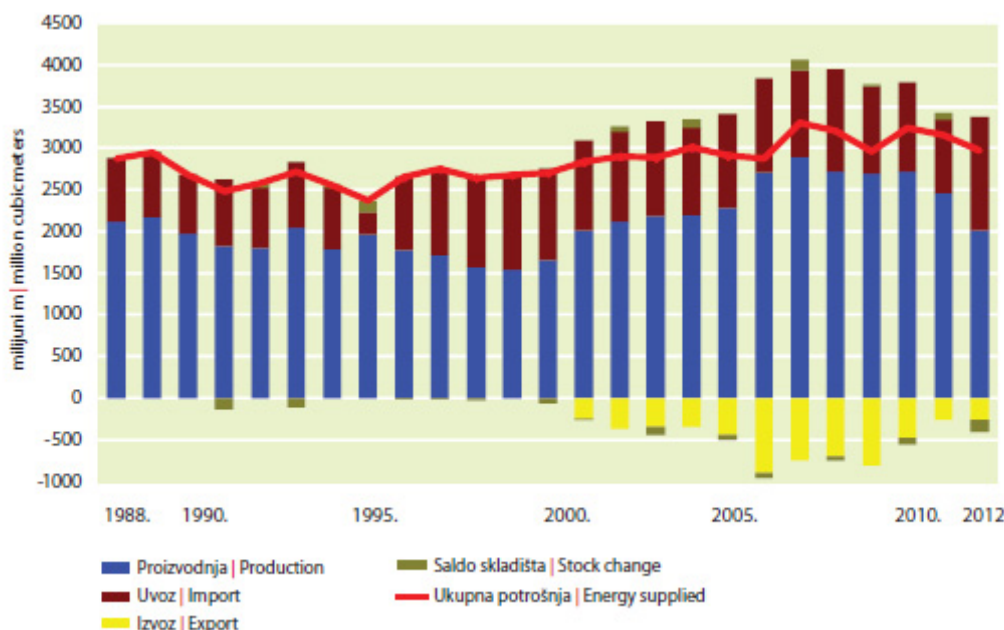
Prirodni plin Natural Gas	1990.	1995.	2000.	2005.	2010.	2011.	2012.
Rezerve Reserves	48 475,3	38 878,8	29 204,5	30 358,6	31 587,1	23 959,9	24 214,3
Proizvodnja Production	1 982,3	1 966,4	1 658,5	2 283,4	2 727,2	2 471,5	2 013,1

Izvor | Source: Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva | Ministry of economy, labour and entrepreneurship, EIHP

Slika 6. Prikazuje trendove vezane uz proizvodnju i potrošnju prirodnog plina u razdoblju od 1988. do 2012. Uočljiv je sve nepovoljniji omjer potrošnje i proizvodnje obzirom da je

Energetika

eksploatacijski vijek polja u Podravini u završnoj fazi te proizvodnja pada. To znači da će Hrvatska s vremenom postajati još ovisnija o uvozu tog energenta.



Slika 6. Bilanca prirodnog plina u Hrvatskoj (izvor: Energija u Hrvatskoj 2012.)

Sastav i svojstva prirodnog plina

Prirodni plin na ležištima gdje se pojavljuje samostalno ima od 70% (Molve, RH) pa do nešto iznad 80% (Alžir) metana (CH_4) te po nekoliko postotaka viših ugljikovodika, etilena C_2H_6 , propana C_3H_8 i ostalih tzv. C_4+ ugljikovodika. Ovisno o ležištu prirodni plin može sadržavati ugljični dioksid (CO_2) (23% Molve), sumporovodik (H_2S) (65ppm masenih na Molve) te vode (H_2O) i žive (Hg). Viši ugljikovodici se izdvajaju za druge namjene, a ostali sastojci jer su otrovni (Hg) i/ili kiseli pa izazivaju koroziju cjevovoda (CO_2 i H_2S).

Prirodni plin koji se isporučuje potrošačima sadrži od 92% do 99% metana, a ostatak do čine ugljični dioksid od 0,05% do 0,09%, dušik od 0,4% do 2,95 te viši ugljikovodici (izvor: Strelec i suradnici, Plinarski priručnik, 6. izdanje, Energetika marketing, 2001.). To je plin bez boje, mirisa i okusa, pa se zbog sigurnosti upotrebe odorira spojevima na bazi sumpora kako bi se u slučaju istjecanja osjetio neugodan miris. U granicama koncentracije u zraku od 4,2% do 17,4% je eksplozivan.

Priprema prirodnog plina za potrošnju

Prirodni plin s ležišta prethodno navedenog sastava potrebno je obraditi prije isporuke potrošačima. Postupci obrade ili čišćenja sastoje se od sljedećeg:

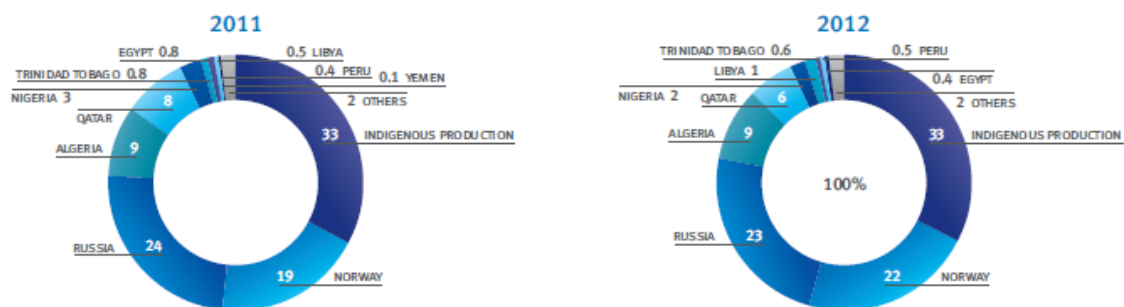
- uklanjanja kiselih plinova CO_2 , H_2S i COS (karbonil sulfid), od kojih su zadnja dva i otrovni, te uklanjanja žive,
- uklanjanja vlage i naposljetku
- odvajanja viših ugljikovodika s dva i više atoma ugljika (C_2+) postupkom degazolinaže. Etan, propan, butan itd. služe kao sirovine u petrokemijskoj industriji, pa je etan primjerice sirovina za proizvodnju etilena koji se koristi za proizvodnju polietilena.

Nakon opisane obrade na ležištu prirodni plin spreman je za isporuku potrošačima. Udaljenosti koje treba savladati su od nekoliko desetina pa do više tisuća kilometara. Prirodni

plin transportira se kopnenim putem, plinovodima ili morskim putem pomoću specijalnih brodova (LNG-Liquified Natural Gas tehnologija).

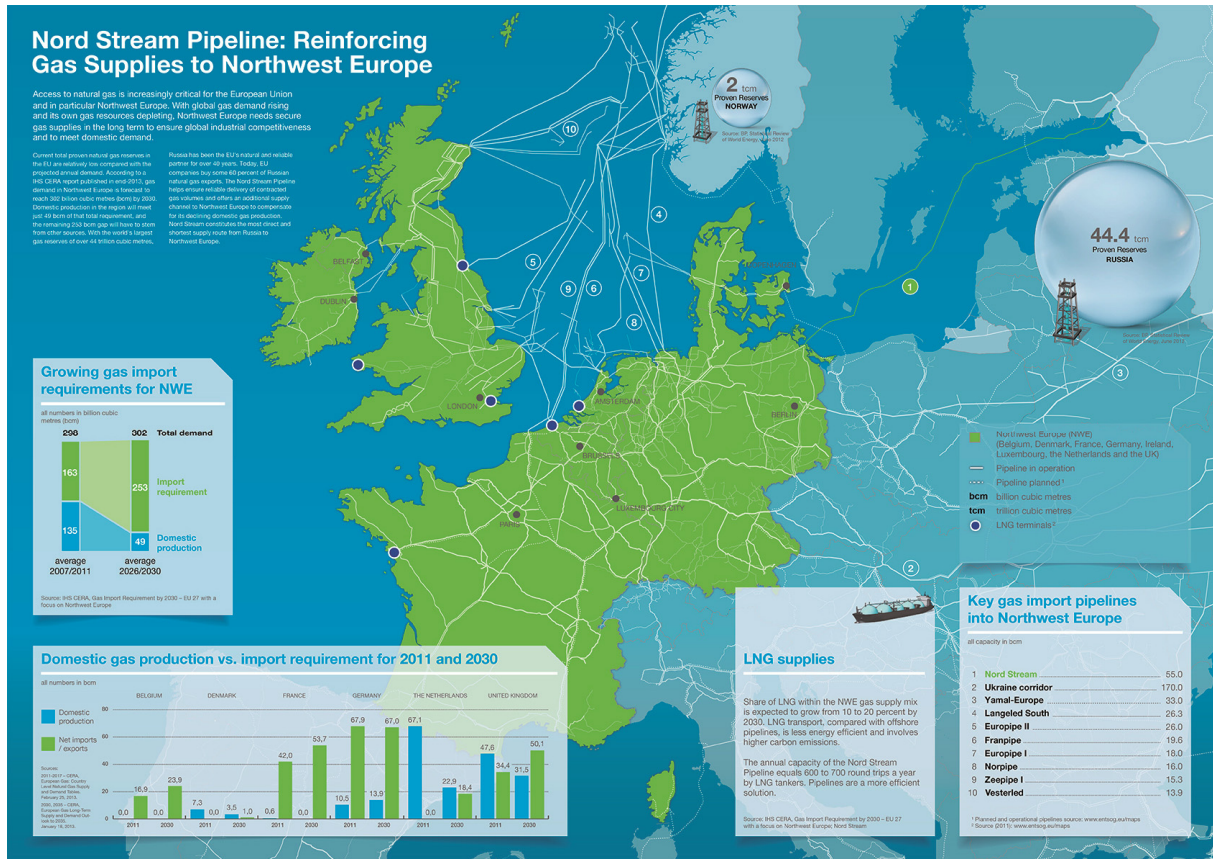
Transport prirodnog plina plinovodima. Najvažniji postojeći planirani dobavni pravci

Plinovodi koji spajaju nalazišta plina s određenim područjem tj. tržištem čine transportni sustav koji je karakterističan po visokim tlakovima (70 bar i više) i velikim promjerima (1000mm i više). Plinovodi prolaze teritorijem više država koje se tako opskrbljuju prirodnim plinom. Države su također međusobno povezane cjevovodima koji se nazivaju interkonekcijama. Tako je stvorena vrlo složena mreža plinovoda koji omogućuju sigurnu opskrbu i u tehničkom smislu, i u smislu korištenja više dobavnih pravaca. Struktura opskrbe prirodnim plinom Europske Unije najovisnija je o ruskom plinu, potom o plinu iz Sjevernog mora (Norveška, Nizozemska, Velika Britanija), a zatim ostalim dobavnim pravcima. Struktura opskrbe prirodnim plinom za EU-28 prikazana je slikom 8. za godine 2011. i 2012. (izvor. eurogas.org). Navedeni podaci potkrepljuju prethodno navedenu činjenicu o ovisnosti o uvoznom plinu, i to prvenstveno iz Rusije. Međutim ni tu nisu sve članice EU u jednakoj situaciji. Zapadna Europa osim plina iz Norveške dobiva i plin iz Rusije, ali ne isključivo najriscantnijim dobavnim pravcem preko Ukrajine. Najnovije završeni projekt Sjeverni tok (Nord Stream) omogućio je dobavu plina izravno iz Rusije, dnom Baltičkog mora do Njemačke. Prikaz tog projekta sa osnovnim brojčanim pokazateljima dan je na slici 8.



Slika 7. Udio pojedinih segmenata opskrbe prirodnim plinom za EU-28.

Za jugoistočni dio Europe sav prirodni plin dolazi iz Rusije i to plinovodima koji prolaze preko Ukrajine. Izgradnjom projekta „Nord Stream“ (slika 8.) važnost ukrajinskog dobavnog pravca za zemlje Zapadne Europe (posebno Njemačku) je smanjena što je zemlje jugoistoka Europe dovelo u još veću ovisnost o tom pravcu. Hrvatska je u dosta povoljnijoj situaciji jer znatan dio potrošnje (i do 60%) osigurava iz proizvodnje na vlastitom teritoriju. Smanjenjem vlastite proizvodnje, a i očekivanim povećanjem potrošnje i Hrvatska će postajati sve ovisnija o tom dobavnom pravcu. Na taj način ugrožena je sigurnost opskrbe (security of supply) cijelog europskog jugoistoka, posebno u svjetlu činjenice vrlo loših odnosa između Rusije i Ukrajine. S ciljem smanjenja ovisnosti o ruskom plinu Europska Unija i SAD potiču realizaciju projekata koji bi trebali dovesti plin iz drugih regija. Kao najvažniji tu se može spomenuti projekt „Nabucco“ koji treba povezati izvore prirodnog plina u Azerbejdžanu i jugoistok Europe. Taj plinovod predstavlja konkurenciju ruskom projektu „Južni tok“ ali u ovom trenutku nije izgledna realizacija niti jednog od ta dva projekta. Sastavni dio projekta „Nabucco“ su projekti „TAP (Transadriatic Pipeline između Grčke i Italije)“ i „IAP (Ionian Adriatic Pipeline između Grčke i juga Hrvatske, preko Crne Gore)“.



Slika 8. Mreža zapadno europskih plinovoda s osloncem na „Nord stream“

Realizacija takvih projekata ponajprije ovisi o financijskim i političkim okolnostima. Plin ipak mora stići do potrošača, a za to postoji niz postojećih plinovoda unutar pojedinih država koji su sa susjednim državama povezani spojnim plinovodima tzv. interkonekcijama.

U Hrvatskoj postoji dobro razvijena plinska infrastruktura na visokom tlaku a taj sustav nazivamo transportnim sustavom (slika 9.). Njime upravlja tvrtka Plinacro d.o.o.

Sustav omogućuje povezivanje proizvodnih polja u Podravini i sjevernom Jadranu, uvoza na interkonekcijama iz Slovenije i Mađarske te podzemnog skladišta plina Okoli sa potrošačima koji mogu biti spojeni izravno na transportni sustav (npr. Petrokemija d.d. iz Kutine, HEP-proizvodnja itd.) ili preko distribucijskih sustava koji rade na srednjim i niskim tlakovima, a na koje su spojena kućanstva poslovni subjekti (poduzetništvo).

Podzemna skladišta plina

Važnu ulogu u svakom plinskom sustavu imaju podzemna skladišta plina koja imaju funkciju pohranjivanja (skladištenja) plina u razdoblju manje potrošnje, uobičajeno kasnijem proljeću i ljeti, koja se onda koristi u razdoblju veće potrošnje tijekom zimskih mjeseci u sezoni grijanja. Skladišta se nalaze u pravilu u geološkim strukturama koje su prije sadržavale zalihe plina, a nakon što su iscrpljena privedena su ovoj svrsi. Hrvatska ima jedno skladište prirodnog plina koje se nalazi u Moslavini u selu Okoli kapaciteta oko 600 milijuna prostornih metara plina. Zbog svojih karakteristika tj. ograničenog kapaciteta povlačenja to skladište ne može u potpunosti pokriti vršnu potrošnju tijekom vrlo hladnog vremena što se mora nadomješati interventnim uvozom plina. Stoga se planira izgradnja još dva skladišta plina u Grubišnom Polju i Beničancima. Zemlje u okruženju, posebno Mađarska, Austrija itd.

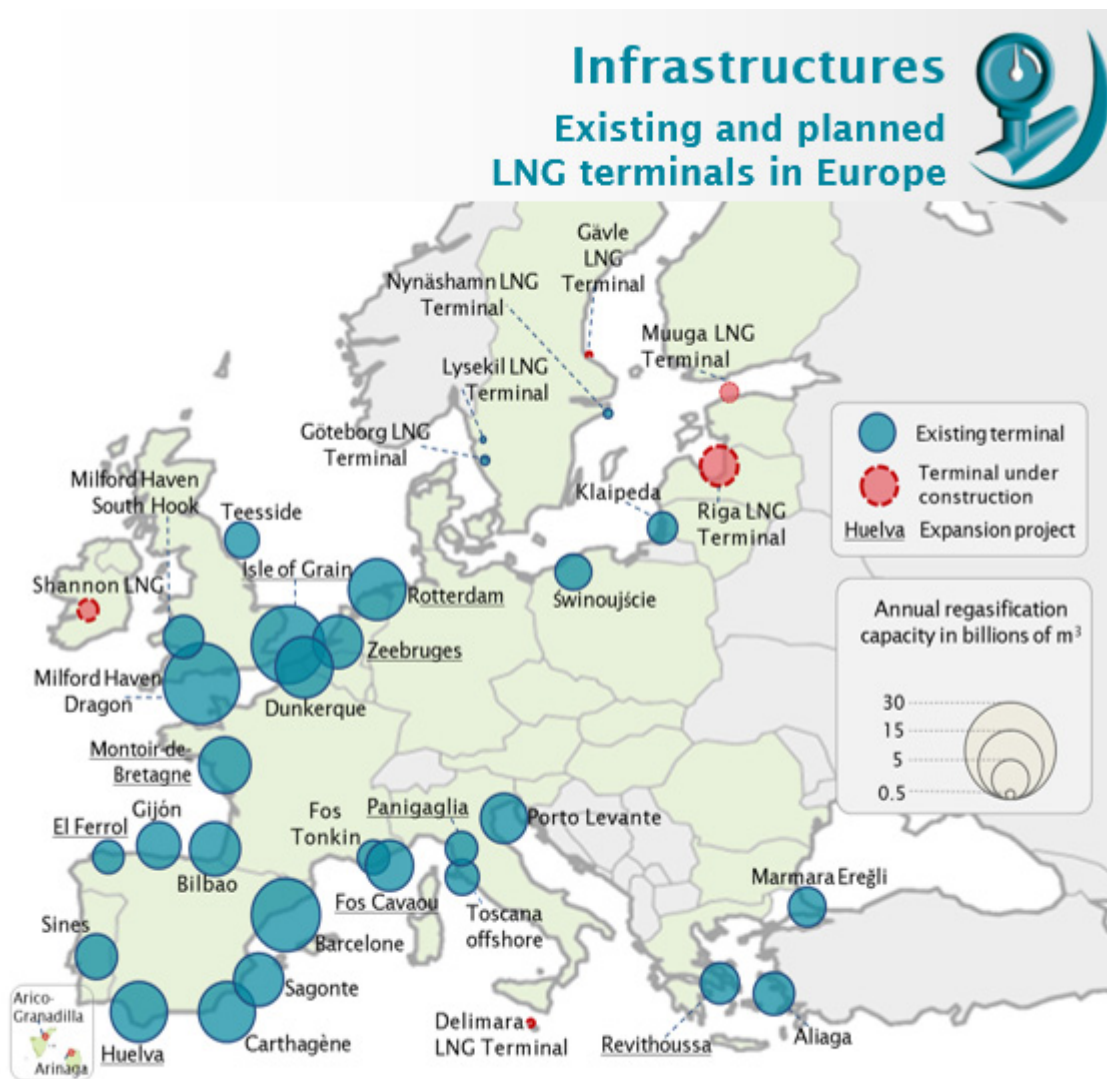
imaju velike kapacitete skladišta što je vrlo važno za nesmetano funkcioniranje tržišta plina u ovom dijelu Europe.



Slika 9. Transportni sustav Republike Hrvatske

Ukapljeni prirodni plin

Pod ukapljenim prirodnim plinom (UPP) podrazumijevamo prirodni plin koji je hlađenjem na 161°C pri atmosferskom tlaku preveden u kapljevito agregatno stanje. Uobičajena je još engleska kratica istog pojma, a to je LNG (Liquified Natural Gas). Tako pripremljen plin ukrcava se u posebne tankere za prijevoz te vrste tereta i prevozi se do odredišta gdje se vraća natrag u plinovito stanje prije nego sa utisne u transportni plinovod. Ovaj način transporta skuplji je od onog plinovodima, ali je tako moguće povezati veće udaljenosti i istovremeno smanjiti ovisnost o jednom dobavnom pravcu te na taj način povećati sigurnost opskrbe neke države ili regije. U Hrvatskoj se već dugo vremena planira izgradnja LNG termina u Omišlju na Krku s ciljem smanjenja prethodno opisane ovisnosti jugoistočne Europe o ruskom plinu i ukrajinskom dobavnom pravcu. Realizacija projekta na terenu za sada je daleko od početka.



Source : GIIGNL (2016), GLE (2015)

Slika 10. LNG uvozni terminali u Europi – promjer kruga označava kapacitet u mlrd. m³

Slika 10. prikazuje raspored i kapacitete uvoznih LNG terminala u europskim državama. Glavne zemlje iz kojih se uvozi ukapljeni prirodni plin su Katar, Alžir, Nigerija itd.

Ugljen

Ugljen predstavlja najstariji fosilni energent čije korištenje ima dugu tradiciju diljem svijeta. Mnoge zemlje, razvijene i one u razvoju oslanjale su se ili se još uvijek oslanjaju na njegovo korištenje u proizvodnji električne i toplinske energije. Prvenstvena prednost ugljena je njegova laka dostupnost, konkurentna cijena u odnosu na ostala fosilna goriva, velike rezerve i potpuna neovisnost o kriznim žarištima u svijetu. Postoje razne vrste ugljena koje se razlikuju po starosti i po kvaliteti kao je prikazano tablicom 1.

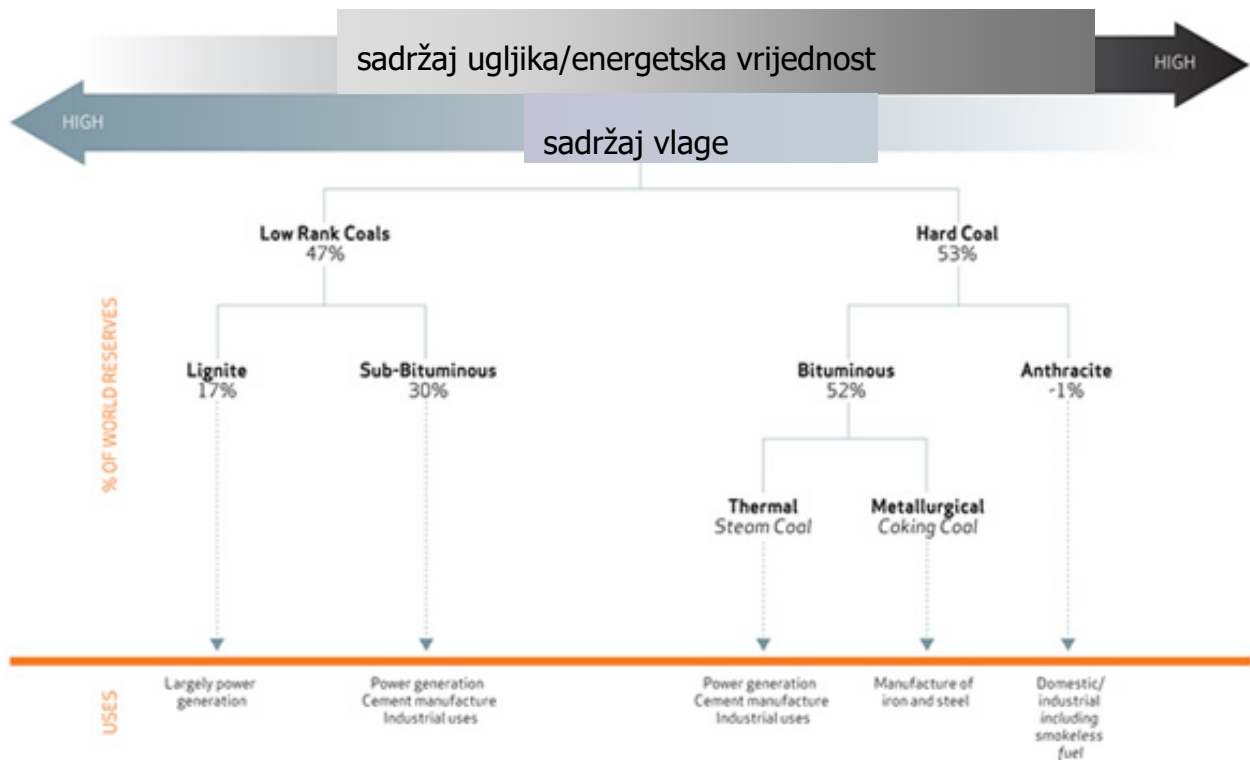
Tablica 1. Vrste ugljena i usporedba toplinske vrijednosti s drvom (H. Požar: Energetika)

	Gustoća, kg/m ³	Donja toplinska vrijednost, MJ/kg	Udio vlage,%	Hlapljivi sastojci, % suhe tvari	Udio ugljika, % suhe tvari
Drvo	0,2-1,3	14,7	Suho d.	80	50
Treset	1,0	6,3-8,4	60-90	65	55-65
Lignit	1,2	7,5-12,6	30-60	50-60	65-70
Mrki ugljen	1,25	16,7-29,3	10-30	45-50	70-80
Plameni kameni ugljen	1,3	29,3-33,5	3-10	17-45	80-90
Mršavi kameni ugljen	1,35	33,5-35,6	3-10	7-17	90-93
Antracit	1,4-1,6	35,6-37,7	1-2	4-7	93-98

Iz tablice je vidljivo da donja toplinska vrijednost ugljena raste s porastom udjela ugljika u suhoj tvari (isparen sav sadržaj vlage u ugljenu o čemu će biti više riječi u poglavlju izgaranje) i što je niži udio vlage.

Uobičajena je i podjela ugljena na lignite, pod bituminozne, bituminozne i antracit kako je prikazano na slici 1. preuzetoj od World Coal Institute. Ta terminologija je uobičajena i prilikom navođenja statističkih pokazatelja. Kako je vidljivo lošiji ugljeni (low rank coal) su lignit i podbituminozni ugljen i zauzimaju gotovo pola svjetskih zaliha, a primjena im je u energetici.

Kvalitetni ugljeni (hard coal) su bituminozni i antracite. Bituminozni se koristi u energetici i metalurgiji, ali tada mora imati posebna svojstva. antracit je najbolji od svih vrsta, ali i daleko najmanjih zaliha.



Slika 1 Uobičajena podjela ugljena obzirom na udio ugljika i vlage (World Coal Institute)

Tablica 2. prikazuje stanje svjetskih zaliha ugljena po državama i regijama a slika 3. udjele pojedinih regija u ukupnim svjetskim zalihama. Najveće zalihe mogu se uočiti u SAD-u, Rusiji, Kini, Njemačkoj, Indiji, JAR-u itd. Po regijama (slika 3.) dominiraju Europa i europski dio Azije, dijelovi Azije i Pacifika (Kina, Indija, Australija), te Bliski Istok (s dominacijom Afrike tj. JAR-a). Na dnu tablice 2. vidljivo je da zemlje koje nisu članice OECD imaju najveće zalihe ugljena, a povezano s njihovim ubrzanim razvojem i sve većim potrebama za energijom, dovodi do realno velike globalne opasnosti po okoliš jer će se povećavati emisija CO₂ kao glavnog stakleničkog plina. I do sada su mnoge zemlje temeljile svoju energetiku na korištenju ugljena (tablica 3.) a to će vjerojatno činiti i dalje bez obzira na povećanje emisija stakleničkih plinova.

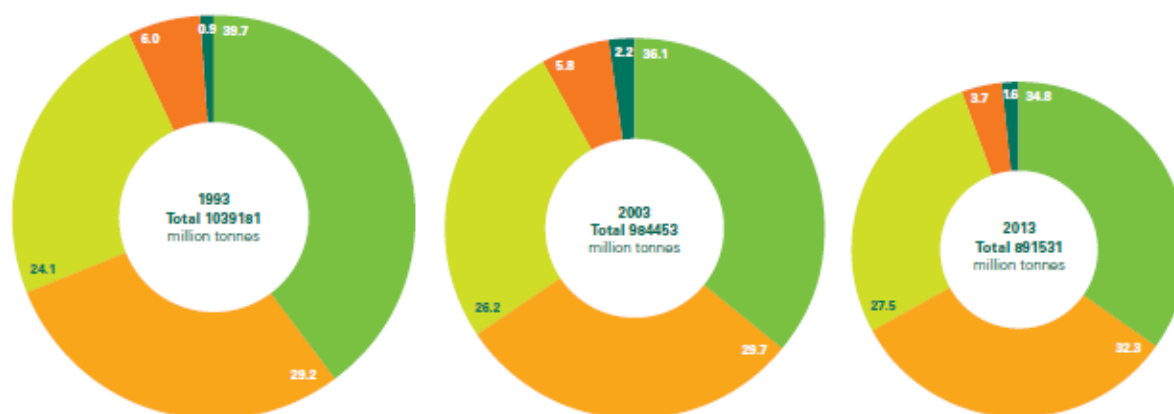
U tablici 2. i na slici 3. moguće je uočiti da rezerve ugljena s godinama postaju sve manje, za razliku od onoga što je viđeno s rezervama nafte i prirodnog plina. To ukazuje na činjenicu da su rezerve ugljena, kao najstarijeg fosilnog energenta dobro istražene i da se ne mogu očekivati otkrića novih nalazišta.

Tablica 2. Zalihe ugljena po zemljama u milijunima tona

Million tonnes	Anthracite and bituminous	Sub-bituminous and lignite	Total	Share of total	R/P ratio
US	108501	128794	237295	26.6%	266
Canada	3474	3108	6582	0.7%	95
Mexico	860	351	1211	0.1%	73
Total North America	112835	132253	245088	27.5%	250
Brazil	-	6630	6630	0.7%	*
Colombia	6746	-	6746	0.8%	79
Venezuela	479	-	479	0.1%	206
Other S. & Cent. America	57	729	786	0.1%	278
Total S. & Cent. America	7282	7359	14641	1.6%	149
Bulgaria	2	2364	2366	0.3%	83
Czech Republic	181	871	1052	0.1%	21
Germany	48	40500	40548	4.5%	213
Greece	-	3020	3020	0.3%	56
Hungary	13	1647	1660	0.2%	174
Kazakhstan	21500	12100	33600	3.8%	293
Poland	4178	1287	5465	0.6%	38
Romania	10	281	291	*	12
Russian Federation	49088	107922	157010	17.6%	452
Spain	200	330	530	0.1%	120
Turkey	322	8380	8702	1.0%	141
Ukraine	15351	18522	33873	3.8%	394
United Kingdom	228	-	228	*	18
Other Europe & Eurasia	1436	20757	22193	2.5%	236
Total Europe & Eurasia	92557	217981	310538	34.8%	254
South Africa	30156	-	30156	3.4%	117
Zimbabwe	502	-	502	0.1%	315
Other Africa	942	214	1156	0.1%	466
Middle East	1122	-	1122	0.1%	*
Total Middle East & Africa	32722	214	32936	3.7%	126
Australia	37100	39300	76400	8.6%	160
China	62200	52300	114500	12.8%	31
India	56100	4500	60600	6.8%	100
Indonesia	-	28017	28017	3.1%	67
Japan	337	10	347	*	288
New Zealand	33	538	571	0.1%	126
North Korea	300	300	600	0.1%	15
Pakistan	-	2070	2070	0.2%	*
South Korea	-	126	126	*	69
Thailand	-	1239	1239	0.1%	69
Vietnam	150	-	150	*	4
Other Asia Pacific	1583	2125	3708	0.4%	87
Total Asia Pacific	157803	130525	288328	32.3%	54
Total World	403199	488332	891531	100.0%	113
of which: OECD	155494	229321	384815	43.2%	191
Non-OECD	247705	259011	506716	56.8%	86
European Union	4883	51199	56082	6.3%	103
Former Soviet Union	86725	141309	228034	25.6%	396

Distribution of proved reserves in 1993, 2003 and 2013
Percentage

- Europe & Eurasia
- Asia Pacific
- North America
- Middle East & Africa
- S. & Cent. America



Source: World Energy Resources 2013 Survey, World Energy Council.

Slika 3. Raspored svjetskih zaliha ugljena po regijama

Tablica 3. Udio ugljena u proizvodnji električne energije u nekim državama

	Udio,%		Udio,%		Udio,%
Poljska	93	Izrael	71	Češka	59
JAR	93	Kazahstan	70	Grčka	58
Australija	80	Indija	69	SAD	50
Kina	78	Maroko	69	Njemačka	47

U tablici 4. navedeni su najveći svjetski proizvođači ugljena što se očekivano poklapa za stanjem zaliha ugljena prikazanim u tablici 2. Trendovi su različiti, u SAD-u proizvodnja je gotovo konstantna, u Kini i Indiji raste, a u Njemačkoj i Poljskoj pada. razloge nije jednostavno naći, ali se između ostalog može navesti međutjecaj s korištenjem ostali izvora energije posebno prirodnog plina i obnovljivih izvora energije.

Tablica 4. Najveći svjetski proizvođači ugljena

Production*

Million tonnes oil equivalent	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Change 2013 over 2012	2011 share of total
US	553.6	572.4	580.2	595.1	587.7	596.7	540.8	551.2	556.1	517.8	500.5	-3.1%	12.9%
Canada	31.8	33.9	35.3	34.8	35.7	35.6	33.1	35.4	35.5	35.5	36.8	3.9%	0.9%
Mexico	4.4	5.9	6.1	6.8	7.3	6.9	6.1	7.3	9.4	7.8	8.3	6.0%	0.2%
Total North America	589.8	612.2	621.6	636.7	630.7	639.2	580.0	594.0	600.9	561.2	545.6	-2.5%	14.1%
Brazil	1.8	2.0	2.4	2.2	2.3	2.5	1.9	2.0	2.1	2.5	2.8	11.7%	0.1%
Colombia	32.5	34.9	38.4	42.6	45.4	47.8	47.3	48.3	55.8	57.9	55.6	-3.7%	1.4%
Venezuela	5.1	5.9	5.3	5.7	4.5	3.6	2.4	2.0	1.5	2.3	1.7	-25.2%	
Other S. & Cent. America	0.5	0.2	0.3	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	1.9	233.0%	
Total S. & Cent. America	39.9	43.0	46.3	51.2	52.5	54.3	52.2	52.7	59.8	63.2	62.0	-1.7%	1.6%
Bulgaria	4.5	4.4	4.1	4.2	4.7	4.8	4.5	4.9	6.1	5.5	4.7	-14.2%	0.1%
Czech Republic	24.2	23.5	23.5	23.8	23.6	22.8	21.0	20.8	21.6	20.7	18.0	-13.2%	0.5%
France	1.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	†	0.1	0.1	†	†	0.3%	
Germany	54.1	54.7	53.2	50.3	51.5	47.7	44.4	43.7	44.6	45.7	43.0	-5.5%	1.1%
Greece	8.8	9.0	8.9	8.3	8.5	8.5	8.4	7.3	7.6	8.1	6.9	-14.4%	0.2%
Hungary	2.8	2.4	2.0	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	3.0%	0.1%
Kazakhstan	43.3	44.4	44.2	49.1	50.0	56.8	51.5	54.0	56.2	58.6	58.4	-0.1%	1.5%
Poland	71.4	70.5	68.7	67.0	62.3	60.5	56.4	55.5	56.6	58.8	57.6	-1.9%	1.5%
Romania	7.0	6.7	6.6	6.5	6.7	6.7	6.4	5.8	6.7	6.4	4.6	-26.9%	0.1%
Russian Federation	127.1	131.7	139.2	145.1	148.0	153.4	142.1	151.1	158.5	168.7	165.1	-1.9%	4.3%
Spain	6.8	6.7	6.4	6.1	5.7	4.1	3.8	3.4	2.5	2.4	1.6	-32.5%	
Turkey	10.4	10.1	12.6	13.7	16.0	16.8	17.1	15.8	16.3	15.3	13.2	-13.5%	0.3%
Ukraine	41.6	42.2	41.0	41.7	39.9	41.3	38.4	39.9	44.0	45.9	45.9	0.3%	1.2%
United Kingdom	17.2	15.3	12.5	11.3	10.3	11.0	10.9	11.2	11.3	10.4	7.8	-24.5%	0.2%
Other Europe & Eurasia	19.0	18.5	17.7	18.5	20.6	21.0	20.3	20.0	21.3	20.5	21.3	4.3%	0.5%
Total Europe & Eurasia	439.5	440.5	440.7	448.0	450.2	457.5	426.9	435.3	455.4	469.0	450.2	-3.8%	11.6%
Total Middle East	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.3%	
South Africa	134.1	137.2	137.7	138.0	139.6	142.4	141.2	145.0	141.8	145.6	144.7	-0.3%	3.7%
Zimbabwe	1.8	2.4	2.2	1.4	1.3	1.0	1.1	1.7	1.7	1.0	1.0	0.3%	
Other Africa	1.6	1.3	1.2	1.3	1.0	1.0	0.9	1.2	1.1	1.5	1.5	0.5%	
Total Africa	137.5	140.9	141.1	140.6	141.9	144.4	143.2	147.9	144.6	148.1	147.2	-0.3%	3.8%
Australia	189.4	196.8	205.7	210.8	217.5	224.9	232.9	239.9	232.5	251.4	269.1	7.3%	6.9%
China	917.4	1061.3	1174.8	1264.3	1345.8	1401.0	1496.5	1617.5	1758.0	1822.5	1840.0	1.2%	47.4%
India	144.4	155.7	162.1	170.2	181.0	195.6	210.8	217.5	215.7	229.1	228.8	0.1%	5.9%
Indonesia	70.3	81.4	93.9	119.2	133.4	147.8	157.6	169.2	217.3	237.4	258.9	9.4%	6.7%
Japan	0.7	0.7	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	-8.6%	
New Zealand	3.2	3.3	3.3	3.6	3.0	3.0	2.8	3.3	3.1	3.0	2.8	-6.6%	0.1%
Pakistan	1.5	1.5	1.6	1.7	1.6	1.8	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.9%	
South Korea	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.8	-13.1%	
Thailand	5.3	5.6	5.8	5.3	5.1	5.1	4.9	5.1	6.0	5.1	5.0	-0.2%	0.1%
Vietnam	10.8	14.7	18.3	21.8	22.4	23.0	25.2	24.6	24.9	23.5	23.1	-1.4%	0.6%
Other Asia Pacific	20.3	22.1	24.9	25.3	24.0	25.8	28.8	36.9	45.8	44.9	45.0	0.7%	1.2%
Total Asia Pacific	1364.9	1544.5	1692.2	1824.2	1936.0	2029.8	2153.0	2317.2	2506.4	2620.0	2675.7	2.4%	68.9%
Total World	2572.3	2781.9	2942.9	3101.7	3212.3	3326.2	3356.0	3547.8	3767.8	3862.2	3881.4	0.8%	100.0%
of which: OECD	989.6	1013.9	1026.6	1042.4	1041.5	1050.0	998.4	1005.1	1007.5	987.3	977.8	-0.7%	25.2%
Non-OECD	1582.7	1767.9	1916.3	2059.3	2170.8	2276.2	2367.6	2542.7	2760.3	2874.9	2903.7	1.3%	74.8%
European Union	203.6	198.5	190.9	184.4	180.8	173.1	162.5	159.9	164.6	165.4	151.9	-7.9%	3.9%
Former Soviet Union	215.8	222.2	228.5	239.9	242.5	256.2	236.5	250.0	264.1	278.7	275.3	-0.9%	7.1%

U tablici 4. vidljivo je da najveći proizvođači ugljena nisu nužno i najveći izvoznici jer očito sami potroše velike količine ugljena, a iz tablice 5. vidljivo je da neke zemlje veliki proizvođači također spadaju i među najveće uvoznike. Iz tablice najvećih uvoznika potrebno je istaknuti Japan kao zemlju koja potpuno ovisna o uvozu energenta, a tu činjenicu je dodatno pogoršala katastrofa u nuklearnoj elektrani u Fukushima 11. ožujka 2016. koju je razorio cunami izazvan snažnim potresom. Nakon toga je donesena odluka o postupnom gašenju svih nuklearnih elektrana u Japanu.

Energetika

Tablica 4. Najveći izvoznici ugljena u 2014. (izvor World Coal Institute-IEA)

	Ukupno (od toga)	za energetiku	za čelik
Indonezija	410 Mt	408 Mt	2 Mt
Australija	375 Mt	195 Mt	180 Mt
Rusija	155 Mt	133 Mt	22 Mt
SAD	88 Mt	31 Mt	57 Mt
Kolumbija	80 Mt	79 Mt	1 Mt
Južna Afrika	76 Mt	76 Mt	0 Mt
Kanada	35 Mt	4 Mt	31 Mt

Tablica 5. Najveći uvoznici ugljena u 2013. (izvor World Coal Institute-IEA)

	Ukupno (od toga)	za energetiku	za čelik
Kina	292 Mt	229 Mt	63 Mt
Indija	239 Mt	189 Mt	50 Mt
Japan	188 Mt	137 Mt	51 Mt
Južna Koreja	131 Mt	97 Mt	34 Mt
Tajvan	67 Mt	60 Mt	7 Mt
Njemačka	57 Mt	47 Mt	10 Mt
UK	41 Mt	35 Mt	6 Mt

iako bi se na temelju prethodno iznesenih brojki i razmišljanja moglo očekivati stabilne cijene ugljene iz podataka danih u tablici 6. vidljivo je da to nije tako.

Uočljivo je veliko povećanje cijena na karakterističnim tržištima u razdoblju od dvadeset godina s izrazitim skokom u 2008. i 2011. godini.

Tablica 6. Cijene ugljena na karakterističnim točkama trgovanja

US dollars per tonne	Northwest Europe marker price†	US Central Appalachian coal spot price index‡	Japan coking coal import cif price	Japan steam coal import cif price	Asian marker price†
1993	33.68	29.95	55.26	45.71	-
1994	37.18	31.72	51.77	43.66	-
1995	44.50	27.01	54.47	47.58	-
1996	41.25	29.86	56.68	49.54	-
1997	38.92	29.76	55.51	45.53	-
1998	32.00	31.00	50.76	40.51	29.48
1999	28.79	31.29	42.83	35.74	27.82
2000	35.99	29.90	39.69	34.58	31.76
2001	39.03	50.15	41.33	37.96	36.89
2002	31.65	33.20	42.01	36.90	30.41
2003	43.60	38.52	41.57	34.74	36.53
2004	72.08	64.90	60.96	51.34	72.42
2005	60.54	70.12	99.33	62.91	61.94
2006	64.11	62.96	93.46	63.04	56.47
2007	88.79	51.16	89.24	69.86	84.57
2008	147.67	118.79	179.03	122.81	148.06
2009	70.66	68.08	167.82	110.11	79.81
2010	92.50	71.63	158.95	105.19	105.43
2011	121.52	87.38	229.12	136.21	125.74
2012	92.50	72.06	191.46	133.61	105.50
2013	81.69	71.39	140.45	111.16	90.90

Izgaranje

Izgaranje predstavlja jednu od temeljnih energetske pretvorbi kojim se primarni oblici energije koji su nositelji kemijske energije transformiraju u toplinsku energiju. Fosilna goriva za svoju pretvorbu u toplinsku energiju moraju proći proces izgaranja. U prethodnim predavanjima vidjelo se da se jedino ugljen može bez značajnije pripreme koristiti kao energent, dok je kod prirodnog plina, a posebno nafte potreban niz složenih tehnoloških postupaka koji osnovnu sirovinu pretvaraju u oblik pogodan za korištenje u procesu izgaranja. Goriva se, ovisno u kojem se agregatnom stanju nalaze pri sobnoj temperaturi, dijele na:

- kruta,
- kapljevita (tekuća) i
- plinovita.

Svim vrstama fosilnih goriva, bez obzira da li se nalazili u sirovom ili prerađenom obliku zajednički su gorivi sastojci tj elementi koji ih ujedno i čine energentima. To su redom:

- ugljik (C),
- vodik (H) i
- sumpor (S).

Uz gorive sastojke u krutim gorivima pojavljuju se i negorivi sastojci poput, dušika, vode i pepela.

Da bi mogli govoriti o procesu izgaranja nužno je poznavati sastav goriva jer nam to omogućuje definiranje reakcija odn. kemijskih procesa koji nastupaju prilikom procesa izgaranja. To nam je nadalje važno da bi odredili:

- energetska karakteristika goriva i jednako važno
- utjecaj spojeva nastalih reakcijom izgaranja na okoliš.

Donja i gornja toplinska vrijednost goriva

Da bi se proveo energetska proračun bilo kojeg procesa u kojem se pojavljuje pretvorba goriva koje je nositelj kemijske energije potrebno je poznavati energetska vrijednost tog goriva. Ta energetska vrijednost goriva naziva se toplinska vrijednost goriva, a još se mogu naći u uporabi pojmovi ogrjevna vrijednost ili toplinska moć goriva. Razlikujemo donju i gornju toplinsku vrijednost.

Donja toplinska vrijednost goriva predstavlja količinu toplinske energije koja se oslobodila izgaranjem jedinice mase ili volumena krutog, tekućeg ili plinovitog goriva ali tako da u toj količini toplinske energije nije sadržan iznos latentna topline vodene pare koja se nalazi u dimnim plinovima koji su nastali izgaranjem tog goriva jer ta vodena para zadržava plinovito agregatno stanje.

Gornja toplinska vrijednost goriva predstavlja količinu toplinske energije koja se oslobodila izgaranjem jedinice mase ili volumena krutog, tekućeg ili plinovitog goriva ali tako da u toj količini toplinske energije jest sadržan iznos latentna topline vodene pare koja se nalazi u dimnim plinovima koji su nastali izgaranjem tog goriva.

Dakle, gornja toplinska vrijednost goriva veća je od donje samo za iznos latentne topline vodene pare koja je kondenzirala u dimnim plinovima.

Toplinske vrijednosti određuju se u pravilu u laboratorijskim uvjetima izgaranjem ispitivanog goriva i mjerenjem topline. Na temelju tih podataka dobiveni su i neki empirijski izrazi koji su dani u nastavku.

Energetika

Sastav krutih i tekućih goriva

Iako su gorivi elementi sadržani u spojevima uobičajeno je kod krutih i tekućih goriva iskazivati sastav prema elementarnom udjelu pojedinog gorivog elementa kako slijedi:

$$C + H + S + O + N + A + W = 100\% \quad (1)$$

gdje je:

C-udio ugljika, %,

H-udio vodika, %,

S-udio sumpora, %,

O-udio kisika, %,

N-udio dušika, %,

A-udio pepela, %,

W-udio vode, %.

Ukoliko se iz goriva izdvoji udio vode W dobiva se udio suhe tvari. Tada gornji izraz prelazi u:

$$C' + H' + S' + O' + N' + A' = 100\% \quad (2)$$

Ako se iz gornjeg izraza uz udio vode W izdvoji i udio pepela A dobiva se udio suhe tvari bez pepela iz čega slijedi izraz:

$$C'' + H'' + S'' + O'' + N'' = 100\% \quad (3)$$

Ovime su promijenjeni i postoci jer je lijeva strana iz izraza (1) umanjena za W odn. W-A. Postoji veza između članova u izrazima (1) i (2) i (3) koja se dobije prebacivanjem W odn. W-A u izrazu (1) na desnu stranu i dijeljenjem cijelog izraza desnom stranom. Tako je npr veza za udio ugljika:

$$C' = \frac{C}{100 - W} \quad (4a)$$

$$C'' = \frac{C}{100 - A - W} \quad (4b)$$

Na isti način mogu se dobiti odnosi i za ostale sastojke.

Sastav plinovitih goriva

Za razliku od krutih i tekućih goriva sastav plinovitih goriva uobičajeno se iskazuje udjelom pojedinih spojeva odn. molekula plinova koje se nalaze u sastavu plinovitog goriva. Većina plinovitih goriva je smjesa više sastojaka.

$$CH_4 + CO + H_2 + \dots + C_n H_m + O_2 + CO_2 + N_2 = 100\% \quad (5)$$

Nakon što je poznat sastav goriva moguće je izračunati donju i gornju toplinsku vrijednost prema empirijskim izrazima. Praktično se ove dvije veličine određuju laboratorijski u uređajima koji se nazivaju kalorimetrijska bomba. Donju i gornju toplinsku vrijednost krutih i kapljevutih goriva moguće je izračunati prema sljedećem empirijskom izrazu:

Energetika

$$H_d = 34,8 \cdot C + 93,9 \cdot H + 10,46 \cdot S + 6,28 \cdot N - 10,8 \cdot O - 2,5 \cdot W \left[\frac{MJ}{kg_{goriva}} \right] \quad (6)$$

Udjeli pojedinih sastojaka dani su u jedinici $\left[\frac{kg}{kg_{goriva}} \right]$ pa se uvrštavaju kao decimalni broj, a ne kao postotak.

Za goriva koja su proizvodi nafte (kapljevita) koristi se i sljedeći izraz:

$$H_d = 33,15 \cdot C + 94,1 \cdot H + 10,46 \cdot (S - O) \left[\frac{MJ}{kg_{goriva}} \right] \quad (7)$$

Gornja toplinska vrijednost u oba slučaja računa se prema:

$$H_g = H_d + 2,5 \cdot (9 \cdot H + W) \left[\frac{MJ}{kg_{goriva}} \right] \quad (8)$$

Za plinovita goriva donja toplinska vrijednost može se izračunati prema empirijskom izrazu:

$$H_d = 358 \cdot CH_4 + 636 \cdot C_2H_6 + 913 \cdot C_3H_8 + 1158 \cdot C_4H_{10} + 1465 \cdot C_5H_{12} \quad (9)$$

Obzirom na način iskazivanja sastava plinovitog goriva prema izrazu (5) praktičnije je računati donju i gornju toplinsku vrijednost sumiranjem toplinskih vrijednosti pojedinih sastojaka ovisno o njihovom volumnom udjelu i to kako slijedi:

$$H_d = \sum r_i \cdot H_{di} \quad (10)$$

$$H_g = \sum r_i \cdot H_{gi} \quad (11)$$

gdje je r_i udio pojedinog sastojka plinovitog goriva, prema prethodnim oznakama redom CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 itd. Vrijednosti toplinskih vrijednosti nekih spojeva dane su tablicom 1.

Tablica 1. Donje i gornje toplinske vrijednosti nekih plinova

Sastojak-plin	Formula	H_d , MJ/m ³	H_g , MJ/m ³
Vodik	H ₂	10,81	12,78
Ugljični monoksid	CO	12,64	12,64
Metan	CH ₄	35,93	39,87
Acetilen	C ₂ H ₂	56,9	58,9
Etilen	C ₂ H ₄	59,55	63,5
Etan	C ₂ H ₆	64,5	70,45
Propan	C ₃ H ₈	93	101
Butan	C ₄ H ₁₀	123,8	134
Benzol	C ₆ H ₆	144	150,3

Sumporovodik	H ₂ S	28,14	30,3
--------------	------------------	-------	------

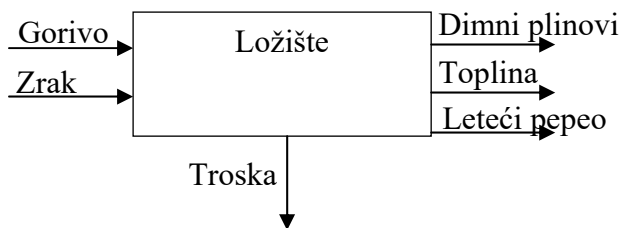
Stehiometrijski odnosi u procesu izgaranja

Izgaranja je kemijski proces pri kojem dolazi do oksidacije gorivih elementa pri čemu se oslobađaju značajne količine toplinske energije, dakle to je egzoterman proces. Gorivi elementi su ugljik (C), vodik (H) i sumpor (S). Samo izgaranje je vrlo složen proces, a o toku samog procesa ovisi i iskorištenje goriva i emisija spojeva koji u tom procesu nastaju.

Za početak je potrebno odrediti stehiometrijske odnose u procesu izgaranja za pojedine gorive elemente ili spojeve što je osnova za sva daljnja razmatranja.

Zato je potrebno postaviti model ložišta kako je to prikazano slikom 1. Taj model ne ulazi u sam proces izgaranja koji se odvija u ložištu već gleda samo ulazne i izlazne masene tokove. Može se reći da je to model „crne kutije“ (black box) i on je uobičajen u literaturi, ali je važno upozoriti na ograničenost takvog pristupa. Za cjelovito poznavanje i razumijevanje procesa izgaranja i njegovih ukupnih posljedica, presudne su upravo pojave koje se događaju u samom ložištu.

Slika 1. Model ložišta kao osnovica za postavljanje stehiometrijskih odnosa



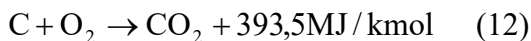
U ložište ulaze gorivo i zrak koji će u ložištu stupiti u reakciju izgaranja a kao rezultat toga nastat će dimni plinovi (vrući), toplina i leteći pepeo, te troska. Leteći pepeo pojavit će se samo ako ga ima u sastavu goriva ima, a tipičan je za ugljen. Troska je kristalizirani ostatak krutih sastojaka iz goriva, a pojavljuje se isključivo kod korištenja ugljena.

Da bi uopće došlo reakcije potrebno je istovremeno prisustvo tri čimbenika:

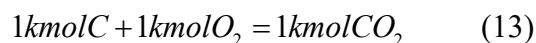
- goriva (gorivih elemenata),
- zraka (kisika) i
- temperature paljenja.

Stehiometrijske jednadžbe izgaranja krutih i kapljevitih goriva

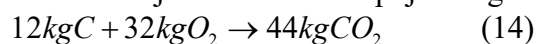
Za svaki gorivi element mogu se postaviti odgovarajući stehiometrijski odnosi izgaranja. Reakcijom spajanja ugljika (C) i kisika (O₂) nastaje ugljični dioksid (CO₂) uz oslobađanje topline:



Izraženo u kmol to je:

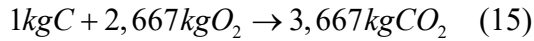


a uvrštavanjem mase 1kmol pojedinog sudionika slijedi:

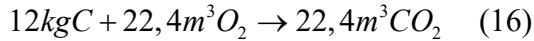


Energetika

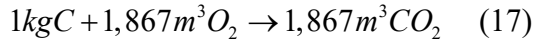
Podijelimo li obje strane prethodnog izraza sa 12 kako bi dobili masu kisika potrebnu za izgaranje 1kg ugljika i masu ugljičnog dioksida nastalu izgaranjem



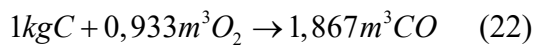
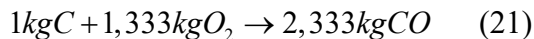
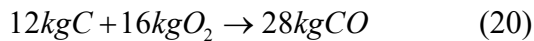
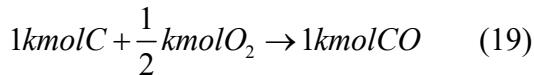
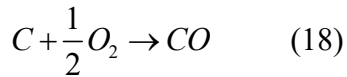
Obzirom da je praktičnije izražavati plin u jedinici volumena, a ne mase izraz (14), uz poznatu činjenicu da 1kmol bilo kojeg plina ima volumen $22,4\text{m}^3$ pri standardnim uvjetima, može se pisati:



Svedeno na 1kg ugljika daje:

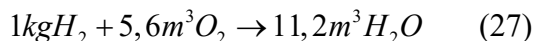
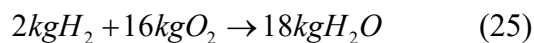
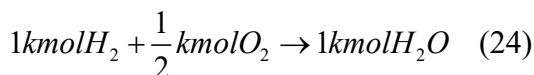
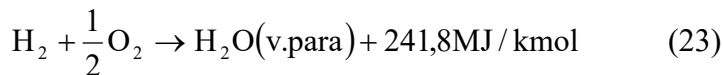


Ove relacije vrijede za potpuno izgaranje. U slučaju nepotpunog izgaranja, odn. kada bi se atomu ugljika dovelo pola molekule (atom) kisika: dobio bi se ugljični monoksid. Slijedeći prethodnu logiku reakcije se mogu pisati kako slijedi:

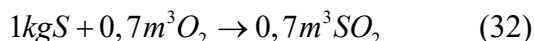
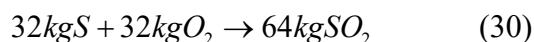
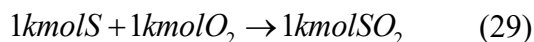
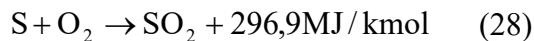


Redom za ostale gorive elemente vrijedi:

vodik:



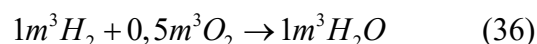
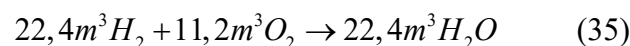
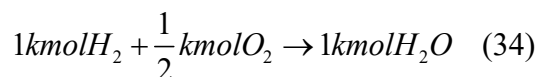
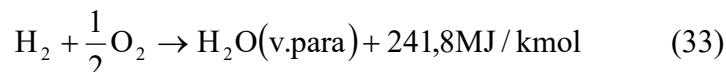
sumpor:



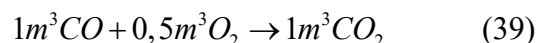
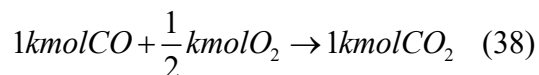
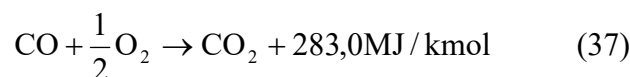
Stehiometrijske jednadžbe izgaranja plinovitih goriva

Za plinovita goriva čiji je sastav iskazan prema izrazu (5) reakcije izgaranja za vodik, ugljični monoksid (kao sastojak goriva), metan i općenito bilo kojeg ugljikovodika izgledaju kako slijedi:

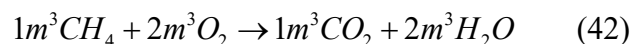
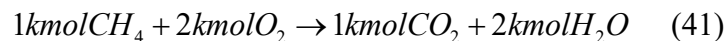
vodik:



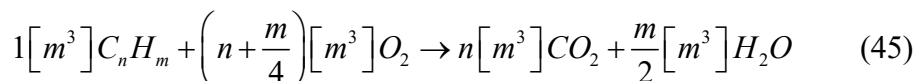
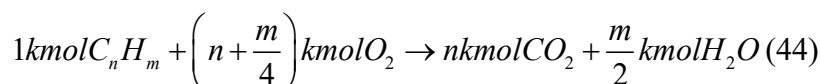
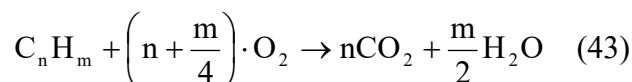
ugljični monoksid:



metan:



ugljikovodici općenito:



U izrazima (43), (44) i (45) je n - broj C atoma, m - broj H atoma, a u izrazu (42) veličina u uglatoj zagradi $[m^3]$ označava jedinicu volumena kubni metar.

Stehiometrijski izrazi (12) do (45) uspostavili su vezu između pojedinih gorivih elemenata ili spojeva i količine kisika potrebne da bi ta reakcija odigrala. Ti izrazi su polazište za izračunavanje potrebne količine kisika odn. zraka koja će biti potrebna za potpuno izgaranje goriva poznatog sastava.

Za kruta i kapljevita goriva prema jednadžbama (17), (27) i (32) minimalna količina zraka je:

$$O_{\min} = \frac{8}{3}C + 8H + S - O \quad \left[\frac{kg}{kg_{goriva}} \right] \quad (46)$$

Energetika

Obzirom da kisik ne nalazimo u elementarnom obliku u prirodi, nego ćemo za izgaranje koristiti zrak možemo pisati:

$$G_{zrak\ min} = 11,49 \cdot C + 34,48 \cdot H + 4,31 \cdot (S - O) \quad \left[\frac{kg}{kg_{goriva}} \right] \quad (47)$$

Podsjetimo da je zrak mješavina 21% (vol) kisika (O_2) i 79% (vol) dušika (N_2). Da bi izraz (46) preveli u izraz (47) potrebni su nam maseni omjeri kisika i dušika koji se dobivaju prema:

$$g_{O_2} = 0,21 \cdot \frac{M_{O_2}}{M_{zraka}} = 0,21 \cdot \frac{32}{28,96} = 0,232 \quad (48)$$

$$g_{N_2} = 0,79 \cdot \frac{M_{N_2}}{M_{zraka}} = 0,79 \cdot \frac{28,16}{28,96} = 0,768 \quad (49)$$

Tako dijeljenjem izraza (46) vrijednošću dobivenu izrazom (48) dobivamo masu zraka potrebnu za izgaranje određenog goriva.

Obzirom da je zrak plin, to će nam još praktičnije poslužiti volumen zraka kojeg ćemo dobiti dijeljenjem gustoćom zraka $\rho_z = 1,292 \text{ kg/m}^3$ (pri standardnim uvjetima).

$$V_{zrak\ min} = 8,88 \cdot C + 26,44 \cdot H + 3,33 \cdot (S - O) \quad \left[\frac{m^3}{kg_{goriva}} \right] \quad (50)$$

Za plinovita goriva prema izrazima (36), (39), (42) i (45), te uz korištenje volumenskog udjela kisika (21%) u zraku dobiva se minimalna potrebna količina zraka za izgaranje plinovitog goriva:

$$V_{zrak\ min} = 4,76 \cdot \left[0,5 \cdot (H_2 + CO) + 2CH_4 + \left(n + \frac{m}{4} \right) \cdot C_n H_m + 1,5H_2S - O_2 \right] \left[\frac{m^3}{m^3_{plina}} \right] \quad (51)$$

U praksi sve vrste goriva izgaraju s količinom zraka u pravilu većom od one stehiometrijske. Zbog toga se uvodi pojam suviška ili pretička zraka λ . Uvođenjem ove veličine počinjemo govoriti o stvarnoj količini zraka koja se računa kao:

$$V_{zrak} = \lambda \cdot V_{zrak\ min} \quad (52)$$

Suvišak zraka u procesu izgaranja nužan je za potpuno iskorištenje goriva jer praktično to nije uvijek moguće postići sa stehiometrijskom količinom zraka. Ove vrijednosti nisu proizvoljne jer o količini zraka ovise dvije važne posljedice. Prevelika količina zraka dovest će do hlađenja plamena i slabijeg energetskog iskorištenja goriva, a također zahtijeva i odgovarajuće veće dimenzije kanala kojima prolaze zrak i dimni plinovi. O količini zraka između ostalog ovisi i nastanak grupe NO_x spojeva što nije vidljivo iz do sada promatranog modela ložišta, a o čemu će biti posebno govora. Općenito, vrijednosti pretička zraka ovise o vrsti goriva i kreću se od 3 do 10% za plinovita goriva ($\lambda = 1,03 - 1,01$) i od 5 do 35% za kapljevita i kruta goriva, sve u odnosu na stehiometrijske potrebne količine zraka.

Volumen dimnih plinova

Volumen dimnih plinova dobiva se zbrajanjem volumena pojedinih sastojaka dobivenih u procesu izgaranja. Te veličine su bitne za određivanje emisije dimnih plinova i utjecaja na okoliš nekog postrojenja kao i za termodinamičke proračune jer su dimni plinovi sa svojom povišenom temperaturom nositelji toplinske energije.

Kruta i kapljevita goriva

Prema sastavu goriva iskazanom izrazom (1), stehiometrijskim odnosima danim izrazima (12) do (32), minimalnoj količini zraka izračunatoj prema (50) te uz poznate molarne mase pojedinih sastojaka mogu se izračunati volumeni pojedinih sastojaka dimnih plinova kako slijedi:

$$V_{CO_2} = 1,867 \cdot C \left[\frac{m^3_{CO_2}}{kg_{goriva}} \right] \quad (53)$$

$$V_{SO_2} = 0,68 \cdot S \left[\frac{m^3_{SO_2}}{kg_{goriva}} \right] \quad (54)$$

$$V_{N_2} = 0,8 \cdot N + 0,79 \cdot \lambda \cdot V_{zrak \min} \left[\frac{m^3_{N_2}}{kg_{goriva}} \right] \quad (55)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot V_{zrak \min} \left[\frac{m^3_{O_2}}{kg_{goriva}} \right] \quad (56)$$

Zbrajanjem sastojaka izračunatih izrazima (53) do (56) dobiva se volumen suhih dimnih plinova:

$$V_{DPS} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} \left[\frac{m^3}{kg_{goriva}} \right] \quad (57)$$

Volumen vodene pare računa se prema:

$$V_{H_2O} = 11,11 \cdot H + 1,24 \cdot W + 1,6 \cdot d \cdot \lambda \cdot V_{zrak \min} \left[\frac{m^3_{H_2O}}{kg_{goriva}} \right] \quad (58)$$

gdje je d [$kg/kg_{suhog \ zraka}$] sadržaj vlage u zraku. Tipične vrijednosti iznose $d=0,002$ za zimu i $d=0,009$ za ljeto.

Pribrajanjem volumena vodene pare volumenu suhих dimnih plinova dobiva se ukupni volumen dimnih plinova (volumen vlažnih dimnih plinova) koji nastaju izgaranjem krutog i kapljevito goriva:

$$V_{DP} = V_{DPS} + V_{H_2O} \left[\frac{m^3}{kg_{goriva}} \right] \quad (59)$$

Plinovita goriva

Volumen dimnih plinova kad izgaraju plinovita goriva računa se prema sastavu goriva danom izrazom (5), stehiometrijskim odnosima izgaranja (33) do (45), minimalnom količinom zraka izračunatom izrazom (51):

$$V_{CO_2} = CO_2 + CO + CH_4 + n \cdot C_n H_m \left[\frac{m^3_{CO_2}}{m^3_{plina}} \right] \quad (60)$$

$$V_{N_2} = N_2 + 0,79 \cdot \lambda \cdot V_{zrak \min} \left[\frac{m^3_{N_2}}{m^3_{plina}} \right] \quad (61)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot V_{zrak \min} \left[\frac{m^3_{O_2}}{m^3_{plina}} \right] \quad (62)$$

Energetika

Zbrajanjem volumena sastojaka (60) do (62) dobiva se volumen suhih dimnih plinova:

$$V_{DPS} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} \left[\frac{m^3}{m^3_{plina}} \right] \quad (63)$$

Volumen vodene pare računa se prema:

$$V_{H_2O} = H_2 + 2CH_4 + \frac{m}{2} C_n H_m + 1,6 \cdot d \cdot \lambda \cdot V_{zrak_{min}} \left[\frac{m^3_{H_2O}}{m^3_{plina}} \right] \quad (64)$$

Pribrajanjem volumena vodene pare volumenu suhih dimnih plinova dobiva se ukupni volumen dimnih plinova (volumen vlažnih dimnih plinova) koji nastaju izgaranjem plinovitog goriva:

$$V_{DP} = V_{DPS} + V_{H_2O} \left[\frac{m^3}{m^3_{plina}} \right] \quad (65)$$

Radi preglednosti izrazi koji će se najčešće koristiti prilikom računanja zadatka iz izgaranja prikazani su tablicom 2.

Energetika

Tablica 2. Pregled izraza potrebnih za računanja veličina u procesu izgaranja svih vrsta goriva

vrsta goriva	kruto	kapljevito (tekuće)	plinovito
toplinska vrijednost			
Jedinica	MJ/kg _{goriva}		MJ/m ³ _{plina}
donja, H _d ,	$H_d = 34,8 \cdot C + 93,9 \cdot H + 10,46 \cdot S + 6,28 \cdot N - 10,8 \cdot O - 2,5 \cdot W$		$H_d = 358 \cdot CH_4 + 636 \cdot C_2H_6 + 913 \cdot C_3H_8 + 1158 \cdot C_4H_{10} + 1465 \cdot C_5H_{12}$
	-	$H_d = 33,15 \cdot C + 94,1 \cdot H + 10,46 \cdot (S - O)$	$H_d = \sum r_i \cdot H_{di}$ (preferirano)
gornja, H _g	$H_g = H_d + 2,5 \cdot (9 \cdot H + W)$		$H_g = \sum r_i \cdot H_{gi}$
volumen zraka			
Jedinica	m ³ /kg _{goriva}		
minimalni	$V_{zrak\ min} = 8,88 \cdot C + 26,44 \cdot H + 3,33 \cdot (S - O)$		$V_{zrak\ min} = 4,76 \cdot \left[0,5 \cdot (H_2 + CO) + 2CH_4 + \left(n + \frac{m}{4} \right) \cdot C_nH_m + 1,5H_2S - O_2 \right]$
stvarni	$V_{zrak} = \lambda \cdot V_{zrak\ min}$		
dimni plinovi			
Jedinica	m ³ /kg _{goriva}		m ³ /m ³ _{plina}
V _{CO₂}	$V_{CO_2} = 1,867 \cdot C$		$V_{CO_2} = CO_2 + CO + CH_4 + n \cdot C_nH_m$
V _{SO₂}	$V_{SO_2} = 0,68 \cdot S$		-
V _{N₂}	$V_{N_2} = 0,8 \cdot N + 0,79 \cdot \lambda \cdot V_{zrak\ min}$		$V_{N_2} = N_2 + 0,79 \cdot \lambda \cdot V_{zrak\ min}$
V _{O₂}	$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot V_{zrak\ min}$		$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot V_{zrak\ min}$
V _{H₂O}	$V_{H_2O} = 11,11 \cdot H + 1,24 \cdot W + 1,6 \cdot d \cdot \lambda \cdot V_{zrak\ min}$		$V_{H_2O} = H_2 + 2CH_4 + \frac{m}{2} \cdot C_nH_m + 1,6 \cdot d \cdot \lambda \cdot V_{zrak\ min}$
V _{DPS} - suhi	$V_{DPS} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}$		
V _{DP} - vlažni	$V_{DP} = V_{DPS} + V_{H_2O}$		

Energetika

Izrazi (53) do (56) i izraz (58) te izrazi (60) do (62) i izraz (64) daju volumen pojedinih sastojaka dimnih plinova u jedinici volumena (m^3) po jedinici mase (kg_{GORIVA}) ili volumena (m^3_{PLINA}) goriva. Ponekad je zgodno, a posebno se to odnosi na ugljični dioksid, te volumene pretvoriti u masu koristeći jednadžbu stanja idealnog plina za standardne uvjete. Tako se može pisati redom:

- za ugljični dioksid:

$$1m^3CO_2 = 1,96kgCO_2 / kg_{GORIVA} \text{ odn. } 1m^3CO_2 = 1,96kgCO_2 / m^3_{PLINA} \quad (66)$$

- za dušik:

$$1m^3N_2 = 1,25kgN_2 / kg_{GORIVA} \text{ odn. } 1m^3N_2 = 1,25kgN_2 / m^3_{PLINA} \quad (67)$$

- za sumporni dioksid:

$$1m^3SO_2 = 2,86kgSO_2 / kg_{GORIVA} \quad 1m^3SO_2 = 2,86kgSO_2 / m^3_{PLINA} \quad (68)$$

- za kisik:

$$1m^3O_2 = 1,43kgO_2 / kg_{GORIVA} \quad 1m^3O_2 = 1,43kgO_2 / m^3_{PLINA} \quad (69)$$

- za vodenu paru:

$$1m^3H_2O = 0,804gH_2O / kg_{GORIVA} \quad 1m^3SO_2 = 2,86kgSO_2 / m^3_{PLINA} \quad (70)$$

Volumen pojedinih sastojaka kao i ukupni volumen dimnih plinova koriste se i za različite termodinamičke proračune prvenstveno vezane uz energetske potencijal (vrućih) dimnih plinova i izmjenu topline između dimnih plinova i drugih medija, napose vode i zraka. Dimni plinovi su smjesa plinova kao i bilo koja druga smjesa pa za računanje vrijede iste relacije.

Kao polazna relacija koristi se volumenski udio pojedinog sastojka:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{DP}}; \quad \Sigma r_i = 1 \quad (71)$$

gdje i predstavlja volumen i -tog sastojka dimnih plinova.

Veličina r_i koristi se računanje gustoće dimnih plinova:

$$\rho_{DP} = \sum r_i \cdot \rho_i = 1,977 \cdot r_{CO_2} + 0,804 \cdot r_{H_2O} + 2,931 \cdot r_{SO_2} + 1,257 \cdot r_{N_2} + 1,429 \cdot r_{O_2} + 1,25 \cdot r_{CO} \quad [kg / m^3] \quad (72)$$

gdje brojevi uz volumenske udjele pojedinih sastojaka predstavljaju gustoće tih istih sastojaka pri normiranim uvjetima.

Specifična toplina računa se prema:

$$c_{pDP} = \Sigma g_i \cdot c_{pi} \quad [kJ / kg_{GORIVA}] \quad (73)$$

gdje je c_p specifična toplina a, g_i maseni udio i -tog sastojaka koji se računa prema:

$$g_i = \frac{m_i}{m} = \frac{\rho_i \cdot V_i}{\rho \cdot V} = \frac{\rho_i}{\rho} \cdot r_i = \frac{M_i}{M} \cdot r_i \quad (74)$$

gdje i predstavlja masu, gustoću ili molarnu masu i -tog sastojka dimnih plinova.

Entalpija se računa prema izrazu:

$$h_{DP} = V_{DP} \cdot \rho_{DP} \cdot c_{pDP} \cdot t \quad [kJ / kg_{GORIVA}] \text{ ili } [kJ / m^3_{PLINA}] \quad (75)$$

gdje je t temperatura dimnih plinova.

Prethodne veličine ovisne su o temperaturi kao je to objašnjeno u kolegiju „Tehnička termodinamika.“

Obzirom da je proces izgaranja u termoenergetskim postrojenjima jedan od glavnih izvora emisija stakleničkih plinova, a posebno ugljičnog dioksida pojavila se potreba za usporedbom emisija ugljičnog dioksida u slučaju korištenja različitih goriva izraženo preko donje toplinske vrijednosti H_d goriva. Izraz glasi:

Energetika

$$g_{CO_2d} = \frac{V_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2}}{H_d} \left[kg_{CO_2} / MJ \right] \quad (76)$$

Ova vrijednost ipak ne daje potpunu informaciju o tome koliko je učinkovita gorivo iskorišteno pa je puno praktičnije svesti emisiju ugljičnog dioksida na jedinicu proizvedene električne energije, obzirom da većina termoenergetskih postrojenja proizvodi električnu energiju. Tako je:

$$g_{CO_2el} = \frac{3,6 \cdot V_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2}}{H_d \cdot \eta} \left[kg_{CO_2} / kWh_{el} \right] \quad (77)$$

gdje je η stupanj iskorištenja promatranog termoenergetskog postrojenja. Volumeni ugljičnog dioksida V_{CO_2} u izrazima (76) i (77) uvrstavaju se u $\left[\frac{m^3}{kg_{GORIVA}} \right]$ odn. $\left[\frac{m^3}{m^3_{PLINA}} \right]$.

Vrijednosti dobivene ovim izrazima orijentacijske su ali dobro mogu poslužiti za usporedbu emisija ugljičnog dioksida iz raznih tipova postrojenja.

U tablici 3. dana je jedna takva usporedba.

Tablica 3. Usporedba emisija ugljično dioksida iz različitih vrsta postrojenja za proizvodnju električne energije

Vrsta postrojenja	Snaga, MW	Energent	CO ₂ emisija, kg/kWh
Parno turbinsko postrojenje s pročišćavanjem dp	800	smeđi ugljen	1,04-1,16
Parno turbinsko postrojenje s pročišćavanjem dp	700	kameni ugljen	0,83
Kombinirano postrojenje s plinskom i parnom turbinom s integriranim isplinavanjem ugljena	300	smeđi ugljen	0,91
Kombinirano postrojenje s plinskom i parnom turbinom s integriranim isplinavanjem ugljena	300	kameni ugljen	0,79
Parnoturbinsko postrojenje	400	Lož ulje	0,76
Plinskoturbinsko postrojenje	150	Prirodni plin	0,58
Parnoturbinsko postrojenje	400	Prirodni plin	0,45
Kombinirano postrojenje s plinskom i parnom turbinom	600		0,38
Nuklearna elektrana PWR	1300		0,025
Solarna elektrana	do 80		0,1-0,15
Fotonaponska elektrana	do 6		0,15-0,2
Vjetroelektrana	do 3		0,02
Hidroelektrana	20		0,004

Literatura

1. British Petroleum Statistical Review of World Energy, razna godišta
2. Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050, World Energy Council, 2017.
3. Energija u Hrvatskoj, razna godišta, Ministarstvo gospodarstva
4. Strelec, V. et al. : Plinarski priručnik, EM, 2001.
5. Janović, V: Naftni i petrokemijski procesi i proizvodi, Hrvatsko društvo za goriva i maziva, 2005.
6. Cerić, E.: Nafta, procesi i proizvodi, Biblioteka Ina, Kigen, 2006.
7. Budin, R., Mihelić-Bogdanić, A.: Osnove tehničke termodinamike, Školska knjiga, 2002.
8. Khartchenko, N.V.: Umweltschonende Energietechnik, Vogel, 1997.