

# Oblici i izvori energije

## Oblici energije

Pojam *energija* koristimo u svakodnevnom životu u kontekstu nečega "što je dobro imati", povezanog s voljom i elanom, ili nečega što koristimo i trošimo. U znanosti pojam *energije* ima drugačije značenje. Naime, energija u znanosti je kvantitativna veličina kojom opisujemo stanje tijela. Energiju ne vidimo samu po sebi, ali ju prepoznavamo kroz gibanje tijela, zagrijavanje tijela, isijavanje svjetlost, obavljanje rada, kemijske reakcije, itd. Zato razlikujemo različite oblike energije u kojima se energija pojavljuje.

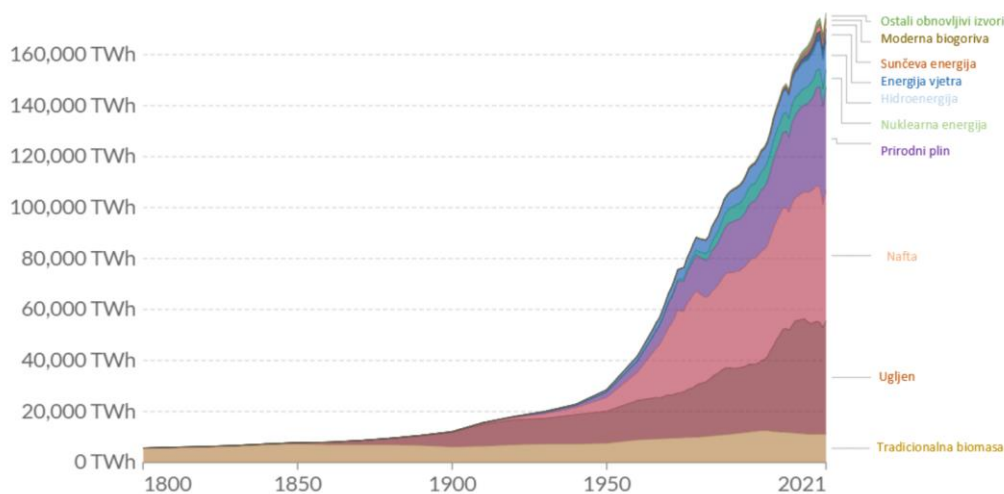
Neki od oblika energije su **kinetička energija** (energija gibanja), **gravitacijska potencijalna energija** (energija koju tijelo podignuto na neku visinu), **kemijska energija** (energija pohranjena u kemijskim vezama između atoma i molekula, a oslobađa se tijekom kemijskih reakcija, npr. u baterijskim reakcijama, metaboličkim procesima i gorenjem), **svjetlosna energija** (tijela koja isijavaju svjetlost), **toplinska energija** (zagrijana tijela), **električna energija** (gradska mreža), itd. Energija prelazi iz jednog u drugi oblik energije, ali ukupna energija uvijek je očuvana (ne mijenja se ukupna količina energije u vremenu). To znači da ako numerički izrazimo ukupnu energiju nekog sustava, te nakon mnogostrukih promjena to ponovimo, dobit ćemo isti broj. Ta zakonitost izražena je **zakonom očuvanja energije** koji kaže da energija ne nastaje ni iz čega, niti nestaje, već samo prelazi iz jednog u drugi oblik ili s jednog na drugo tijelo.

Pri prijenosu energije s jednog na drugo tijelo, ukoliko dolazi do pomaka tijela, obavlja se **mehanički rad**. Prilikom obavljanja mehaničkog rada, osim do pomaka tijela, zbog trenja može doći do zagrijavanja tijela koja su u kontaktu, odnosno do povećanja unutarnje energije tih tijela pa kažemo da je dio energije prešao u toplinsku energiju. Energija se može prenositi i dovođenjem ili odvođenjem **topline**. Dakle, dovođenjem topline povećavamo toplinsku energiju tijela (toplina je energija u prijelazu, a toplinska energija je svojstvo tijela/sustava, tj. kinetički dio unutarnje energije). Ovisno o našim potrebama ili procesima koji se odvijaju, neki oblici energije su korisni, a neki nisu. Kako pretvoriti jedan oblik energije u drugi na što efikasniji način te što dalje s proizvedenim oblikom energije, jedna je od zadaća posebne znanosti koja se zove **energetika**.

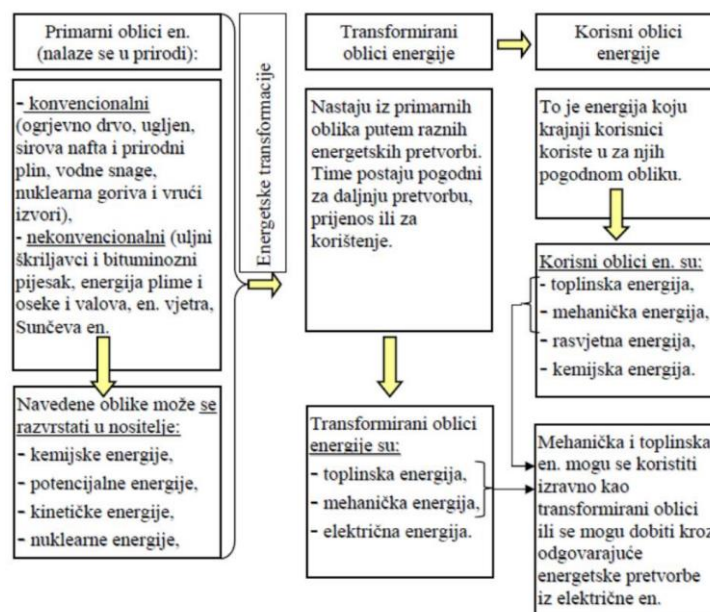
## Izvori energije i zakon očuvanja energije

Neke tvari i pojave u prirodi pokazale su se pogodnima za iskorištavanje oblika energije koji posjeduju u svrhu pretvorbe u neke druge oblike energije pogodne za ljudske potrebe. Takve tvari ili pojave zovemo **izvori energije**. Taj naziv ne označava stvaranje energije kao takve, već resurs iz kojega

možemo jedan oblik energije pretvoriti u drugi, ljudskim potrebama koristan oblik energije. Govoreći o proizvodnji energije zapravo govorimo o pretvorbi iz izvora primarne energije (oblik energije iz prirode prije pretvorbe) u korisne oblike. **Primarni oblici energije** su kemijska energija (fosilna goriva, biomasa), nuklearna energija (uran), potencijalna energija (valovi, plima i oseka), energija elektromagnetskog zračenja (Sunčevo zračenje) i kinetička energija (vjetar). Određenim procesima pretvaramo te oblike energije u korisne, tj. mehaničku, toplinsku i električnu. Vrijedi da je proizvedena energija jednaka zbroju potrošene energije i gubitaka energije. Resurse kojih u prirodi ima napretek ili se obnavljaju u kratkom vremenskom razdoblju zovemo **obnovljivim izvorima energije**. Resurse za čije obnavljanje je potrebno neusporedivo više vremena od onog potrebnog za njihovu potrošnju zovemo **neobnovljivim izvorima energije**. Često u medijima čujemo pojam "energetska kriza". Taj pojam može zbuniti učenike koji ponovo mogu naslutiti da se radi o sukobu sa zakonom očuvanja energije. Energetska kriza ne odnosi se na nestajanje ili manjak energije u svijetu, već na poremećaje u opskrbi određenim energetske izvorom (uglavnom fosilnim gorivima) o kojemu ovisi velik broj ljudi neke zemlje, kao i gospodarstvo, promet itd., zbog čega cijena energenta raste što dovodi do mjera štednje, pa takvo stanje zovemo energetske krizom. Naprotiv, Zemlja u jednom satu od Sunca primi količinu energije koja bi, kada bi bila pretvorena u korisne oblike, mogla zadovoljavati potrebe čovječanstva tijekom jedne godine. Unatoč tome, velik dio čovječanstva još uvijek nema pristup električnoj energiji. Dakle, nije problem koliko energije ima na Zemlji, već kako tu energiju pretvoriti u nama korisne oblike.



Slika 8.1.1 Globalna potrošnja primarne energije prema izvoru, izvor: <https://ourworldindata.org/global-energy-200-years>

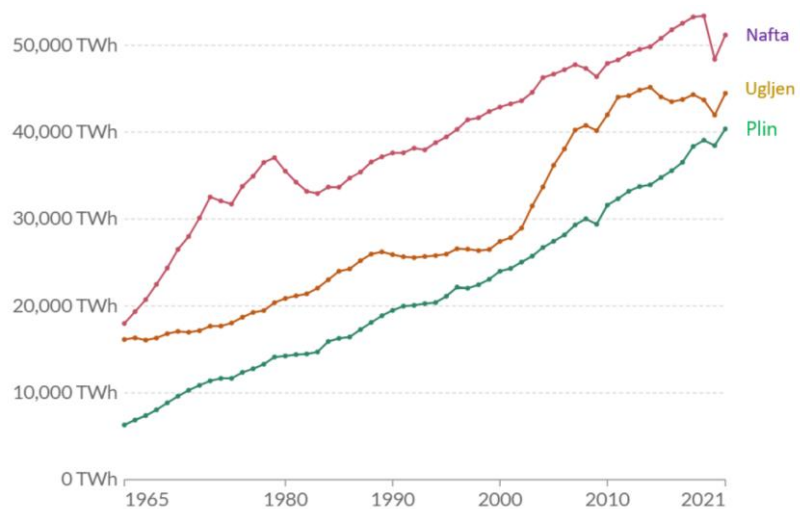


Slika 8.1.2 Oblici energije (izvor: Labudović, B.: Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing, Zagreb, 2002. Str. 25.)

## Fosilna goriva

Fosilna goriva naziv je za skup tvari nastalih od ostataka uginulih organizama izloženih visokom tlaku i temperaturi u anaerobnim uvjetima stotinama milijuna godina. Još su drevne civilizacije koristile fosilna goriva tijekom određenih rituala ili za održavanje vatre, ali masovna upotreba kreće tek od industrijske revolucije pojavom strojeva. Kao što je već spomenuto u prethodnom poglavlju, sva živa bića građena su od spojeva ugljika.

Fotosintetski organizmi uz prisustvo Sunčeva zračenja pomoću ugljikovog dioksida i vode stvaraju ugljikohidrate u čijim vezama pohranjuju Sunčevu energiju, odnosno fotosintezom se Sunčeva energija pretvara u kemijsku i pohranjuje u organskim molekulama (spojevima ugljika). Različita fosilna goriva ovisno o uvjetima nastanka sadrže različite količine ugljika. Ugljen, nafta i prirodni plin su vrste fosilnih goriva koje, unatoč porastu udjela obnovljivih izvora energije, i dalje čine ukupno preko 80% ukupne svjetske proizvedene energije. Energija pohranjena u organskim molekulama oslobađa se gorenjem. Prilikom izgaranja fosilnih goriva u atmosferu se otpušta ugljikov dioksid. Budući da fosilna goriva sadrže visoke koncentracije spojeva ugljika, njihovim izgaranjem oslobađa se velika gustoća energije. Upravo to je razlog zašto su fosilna goriva i danas unatoč poznatim posljedicama po okoliš i klimu vodeći izvor energije u svijetu.

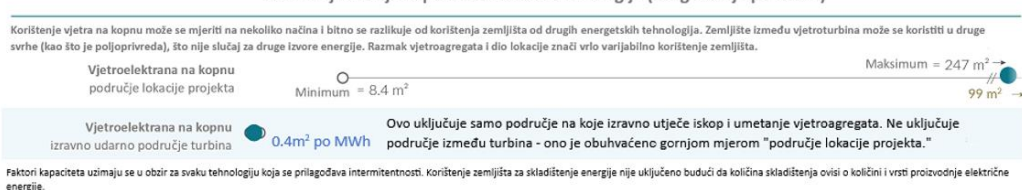
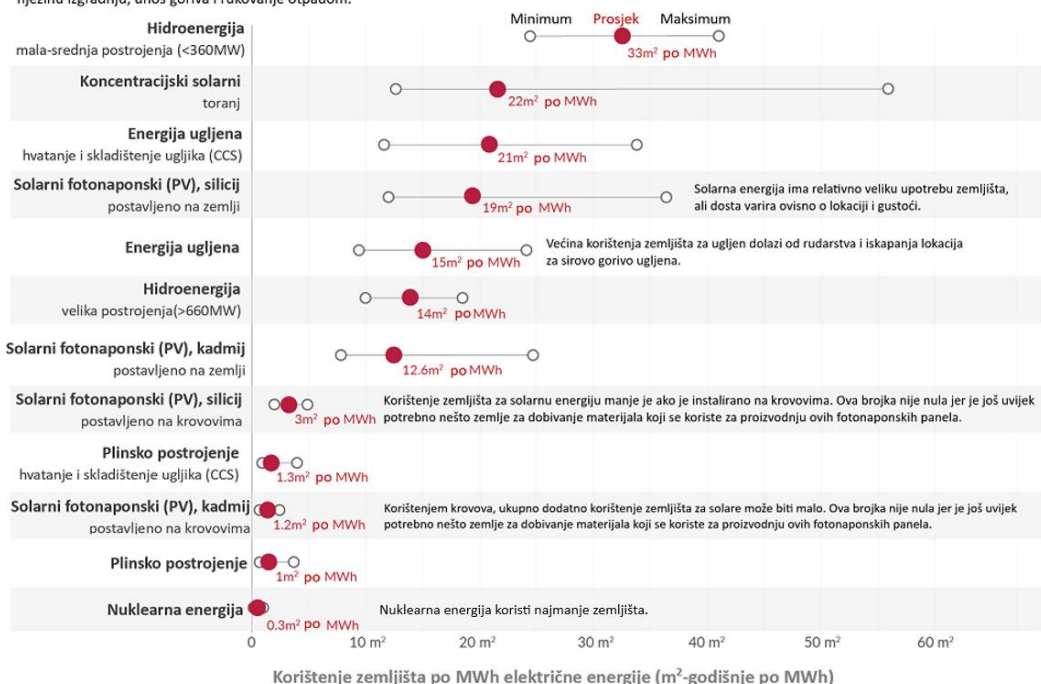


Slika 8.2.1 Kretanje potrošnje fosilnih goriva u razdoblju od 1965. do 2021. godine (izvor: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels> )

## Korištenje zemljišta energetskih izvora po jedinici električne energije

Our World  
in Data

Korištenje zemljišta temelji se na procjeni životnog ciklusa; u proračun ulazi zemljište koje se koristi za dobivanje materijala za njezinu izgradnju, unos goriva i rukovanje otpadom.



Slika 8.2.2 Zauzeće zemljišta po MW instalirane snage. Što je manje zemljište potrebno za jednaku proizvedenu energiju to je gustoća proizvedene energije veća. (izvor: <https://ourworldindata.org/land-use-per-energy-source> )

Osim navedenih posljedica, rezerve fosilnih goriva su ograničene. Podatak koji govori o trajanju raspoloživih zaliha izvora energije uz trenutni intenzitet proizvodnje je R/P (rezerve/proizvodnja) omjer.

## UGLJEN

Pretpostavlja se da je ugljen koji koristimo danas počeo nastajati prije otprilike 300 milijuna godina. Nalazišta ugljena široko su rasprostranjena po svijetu, uglavnom na područjima prapovijesnih šuma i močvara pa je i sastav ugljena najčešće biljni. Organske tvari nakupljale su se na dnu poplavljenih područja pri čemu bi se odvijali procesi truljenja i raspadanja pa su organske tvari postupno prelazile u humusne tvari i treset (početna tvar za nastanak ugljena koja se ne smatra ugljenom).

Postupnim prekrivanjem treseta nanosima mulja, pijeska i gline povećavali su se tlak i temperatura. Povećanjem tlaka istiskivala se voda, a ovisno o stanju dehidriranosti stvarali su se različiti oblici ugljena (smeđi ugljen, kameni ugljen, antracit). Proces nastajanja ugljena zove se karbonizacija ili pougljenjivanje. Najveće zalihe ugljena se nalaze u Rusiji, SAD, Kini, Australiji, Južnoj Africi, a u Europi u Njemačkoj, Poljskoj, Češkoj i Velikoj Britaniji. Vrijednost R/P omjera za ugljen iznosi 139 godina (prema Statističkom izvješću British Petroleuma iz 2021.)

Prije izuma parnog stroja uporaba ugljena nije bila široka, a koristio se uglavnom kao gorivo za taljenje i kovanje metala. Izumom strojeva i početkom industrijske revolucije uporaba ugljena značajno se povećala jer se ugljen počeo koristiti kao primarno gorivo u tvornicama te željezničkom i brodskom prometu pa možemo reći da je zahvaljujući ugljenu svijet od kraja 18. stoljeća krenuo ubrzano napredovati te bivati sve povezaniji. Gotovo sva infrastruktura koju danas koristimo izgrađena je oko ideje korištenja ugljena kao goriva, a samim time ekonomska stabilnost brojnih zemalja ovisi o korištenju ugljena. Velika količina i dostupnost ugljena u prirodi, laki pronalazak te jednostavno skladištenje i transport zaslužni su za njegovu nisku cijenu. Transport ugljena moguć je i cjevovodima budući da se ugljen može pretvoriti u tekući ili plinoviti oblik, a takvom ugljenu se pri izgaranju smanjuje štetnost po okoliš. Korištenje ugljena ne ovisi o vremenskim uvjetima pa ugljen možemo smatrati pouzdanim izvorom energije. Izgaranjem ugljena oslobađa se velika gustoća energije pa elektrane na ugljen ne zauzimaju velike prostorne površine.

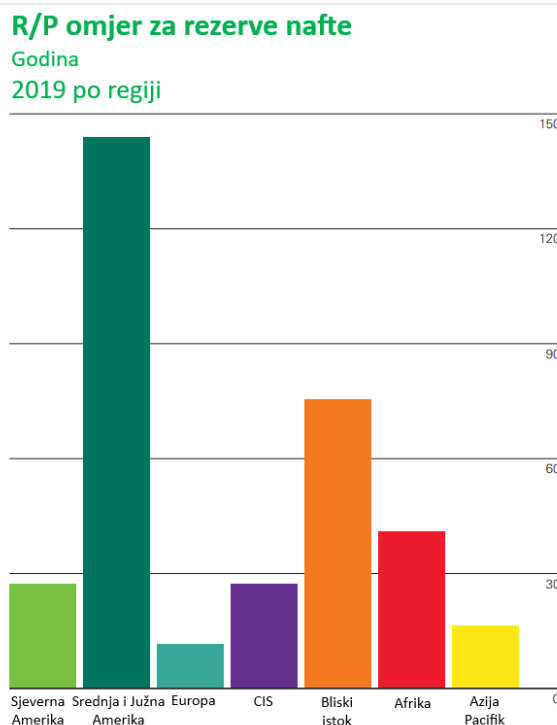
S druge strane, rudarenjem ugljena opustošena su brojna prirodna staništa i narušeni ekosustavi. Rudarenje ugljena predstavlja veliku zdravstvenu opasnost i samim rudarima zbog udisanja štetnih čestica poput arsena, barija ili žive koje se otpuštaju pri iskapanju, a u rudnicima su mogući i požari. Izgaranjem ugljena u atmosferu se otpuštaju se velike količine ugljikovog dioksida, najznačajnijeg stakleničkog plina. Osim njega, otpuštaju se i metan, sumporov te dušikov oksid, ali i štetne čestice žive i olova, osim na globalno zagrijavanje, izgaranje ugljena uvelike utječe na lokalnu kvalitetu zraka. Kada se sumporov i dušikov oksid pomiješaju s vodom u atmosferi nastaju kiseline koje se na Zemlju vraćaju u obliku kiselih kiša te negativno utječu na tlo, vodeni, biljni i životinjski svijet.

## NAFTA

Za razliku od ugljena koji je nastao na kopnenim, ali poplavljenim područjima pa mu je porijeklo organske tvari uglavnom od nekadašnje kopnene vegetacije, smatra se da je nafta nastala taloženjem uginulih morskih organizama, uglavnom zooplanktona i algi, na dno oceana. Prije nego su se aerobno raspali, ostaci su postupno prekrivani slojevima mulja i pijeska. S novim slojevima rasli su tlak i temperatura i započeli su kemijski procesi u anaerobnim uvjetima. Dio organske tvari prešao je u kerogen, netopivu tvar sličnu vosku, a dio u bitumen, topivu tvar koja daje naftu i plin.



Nafta se nalazi u Zemljinoj kori, a osim ugljikovodika sadrži i sumporne spojeve, dušikove i kisikove organske spojeve te vrlo mali udio teških metala. Globalni R/P omjer ukazuje da su rezerve nafte dostatne za narednih 53.5 godina uz sadašnju proizvodnju (BP Statističko izvješće iz 2021.).



Slika 8.2.3 R/P omjer za rezerve nafte. CIS je Zajednica nezavisnih država bivšeg Sovjetskog Saveza. (izvor: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.)

Korištenje nafte potječe još iz stare ere (asfalt), eksploatacija nafte na suvremen način započela je sredinom 19. stoljeća. Nafta se najviše koristi za pokretanje vozila i dobivanje električne energije, ali i kao sirovina za razne druge proizvode. Neki od najbitnijih naftnih proizvoda su motorni benzin, zrakoplovni benzin, zrakoplovno mlazno gorivo, dizelsko gorivo, loživo ulje, maziva mineralna ulja, parafinski vosak i bitumen. Zbog svog značaja i ovisnosti današnjeg čovječanstva o nafti, nafta je jedan od glavnih geostrateških čimbenika pa tako cijena nafte često ovisi o političkim okolnostima. Nafta se eksploatira na tzv. naftnim poljima koja mogu biti na kopnu ili na moru, a do rafinerija u kojima se odvija obrada nafte transportira se naftovodima ili tankerima.

Tehnologije za eksploataciju nafte iz Zemljine kore su vrlo razvijene pa možemo reći da je nafta lako dostupna i njeno izvlačenje ne ovisi o vremenskim uvjetima što ju čini pouzdanim energentom. Osim tehnologija za eksploataciju, infrastruktura za distribuciju nafte također je dobro razvijena, a skladištenje je jednostavno i ne dovodi do gubitaka energetske vrijednosti. Gorenjem nafte oslobađa se velika količina energije pa, iako cijena nafte često varira, jeftina je i isplativa u usporedbi s nekim drugim izvorima energije. Promet i industrija većine zemalja ovisi o nafti što ju čini jednim od ključnih faktora ekonomske stabilnosti.

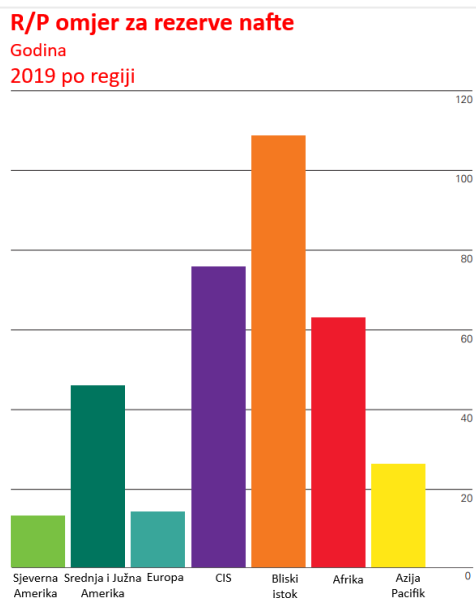
Kao i gorenje ugljena, gorenjem nafte u atmosferu otpuštaju se staklenički plinovi, ali i druge štetne čestice koje uzrokuju zagađenje zraka i zdravstvene probleme. Prilikom transporta morskim putem moguća su izlivanja nafte koja mogu uzrokovati velike ekološke katastrofe uništavajući pritom morski svijet. Iako je nafta još uvijek pouzdan izvor energije, očekuje se da će nam biti dostupna još 50-ak godina pa možemo očekivati da će njena nestašica, ukoliko se nastavimo oslanjati na naftu i ne razvijemo zadovoljavajuću alternativu, uzrokovati ekonomski kolaps i brojne druge nevolje.

## PRIRODNI PLIN

Prirodni plin je smjesa ugljikovodika (u najvećem udjelu sastoji se od metana, > 70%, a zatim etana i propana) i anorganskih primjesa (ugljkov dioksid, dušik, sumporovodik). Ležišta prirodnog plina nalaze se uglavnom u sedimentnim stijenama na dubinama od nekoliko stotina do nekoliko tisuća metara, a pojavljuje se samostalno (slobodni plin) ili zajedno s naftom (naftni plin). Budući da je to plin bez okusa i mirisa, radi sigurnosti se odorira spojevima na bazi sumpora kako bi se u slučaju curenja osjetio miris. Prirodni plin je zapaljiv, a u koncentraciji u zraku od 4,2% do 17,4% je eksplozivan. Korištenje prirodnog plina seže daleko u povijest. U Kini su ga već oko 500 g.pr.Kr. transportirali bambusovim trskama te koristili za grijanje vode. Do druge polovice 19. stoljeća prirodni plin uglavnom se koristio za uličnu rasvjetu, a izumom plamenika Roberta Bunsena 1858. prirodni plin počinje se koristiti u kućanstvima za kuhanje i grijanje. Prije isporuke potrošačima prirodni plin prolazi čišćenje pa do potrošača dolazi plin koji sadrži 92-99% metana, a ostatak ugljikov dioksid, dušik te viši ugljikovodici. Prirodni plin transportira se plinovodima ili specijalnim brodovima. Kao značajnije gorivo prirodni plin se počinje koristiti tek 1960-ih za vrijeme naftne krize. Izgaranjem plina formiraju se voda i ugljikov dioksid, ali uglavnom nema čađe, ugljikovog monoksida ni dušikovih oksida kao kod drugih fosilnih goriva, a emisije sumporovog dioksida su zanemarive. Zbog toga se prirodni plin smatra najčišćim fosilnim gorivom, ali curenje metana iz plinovoda i tijekom transporta te emisije ugljikovog dioksida (iako manje nego kod ostalih fosilnih goriva) pridonose globalnom zagrijavanju. Eksploatacija prirodnog plina također ima negativan utjecaj na okoliš. Budući da se prirodni plin često nalazi zarobljen u stijenama unutar Zemlje, provodi se proces hidrauličkog frakturiranja. To je postupak drobljenja stijene uz pomoć tekućine (uglavnom vode u kombinaciji s pijeskom) pod visokim tlakom u svrhu povećavanja prijeloma unutar stijena, odnosno ispuštanja prirodnog plina. Proces frakturiranja može uzrokovati lokalna podrhtavanja te manje potrese. Postoji zabrinutost da hidrauličko frakturiranje i radnje povezane s njim mogu utjecati na pitku vodu u slučaju neispravnog odlaganja korištene kontaminirane vode, direktnog injektiranja tekućine za frakturiranje u podzemne vode, curenja kemikalija koje se koriste ili curenja plinova i tekućina do podzemnih voda.



Globalni R/P omjer za rezerve plina u 2020. ukazuje da će ga biti još otprilike 49 godina uz trenutnu razinu proizvodnje (BP Statističko izvješće iz 2021.).



Slika 8.2.4 R/P omjer za prirodni plin (izvor: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>)

## Nuklearna energija

Nuklearna energija je energija oslobođena iz atomske jezgre. Atomska jezgra sačinjena je od protona (električki pozitivni) i neutrona (električki neutralni), a jednom riječju zovemo ih nukleonima. Između jednako nabijenih čestica djeluje odbojna električna sila. Protoni u jezgri ipak su na okupu, a razlog tome je međudjelovanje nukleona jakom nuklearnom silom. Što je međudjelovanje čestica jače, u njihovim vezama je pohranjena veća količina energije. Zato se cijepanjem atomske jezgre oslobađa ogromna količina energije. Proces cijepanja jezgre zove se nuklearna fisija. Fisija se može odvijati i spontano, ali vjerojatnost spontane fisije je mala. Vjerojatnost fisije se povećava ako se već nestabilna jezgra teškog elementa gađa neutronom. Osim što se tijekom fisije jezgra dijeli na dva veća dijela sličnih masa uz oslobođenje velike količine energije, emitira se i jedan ili više neutrona. Ti emitirani neutroni mogu izazvati fisiju kod drugih jezgara i može započeti proces lančane nuklearne reakcije. Kontrolirana lančana nuklearna reakcija odvija se u nuklearnim reaktorima. Energija oslobođena fisijom okolini se predaje u obliku topline. Toplina se koristi za zagrijavanje vode, odnosno proizvodnju pare, a para pokreće turbinu spoenu na električni generator. Jedna od jezgara najpodložnijih fisiji je izotop urana U-235 koji se najčešće koristi kao nuklearno gorivo. Energija oslobođena iz jednog peleta U-235 veličine tablete oslobađa energiju kao tona ugljena. Nuklearne elektrane ne emitiraju stakleničke plinove, a

emisije vezane uz transport goriva su minimalne jer nuklearne elektrane nabavljaju novo gorivo u prosjeku svake dvije godine. S druge strane, postoji problem radioaktivnog otpada koji, ako se pravilno ne skladišti, predstavlja veliku prijetnju za okoliš i zdravlje živih bića.

Dugoročni problem rješavanja radioaktivnog otpada još uvijek nije riješen. Osim toga, iako se nuklearne elektrane smatraju sigurnima, zbog 3 velike nesreće u povijesti povezane s nuklearnom energijom ljudi se ne osjećaju sigurno živeći u blizini nuklearne elektrane. Za rad u nuklearnoj elektrani potrebno je iznimno stručno ljudstvo, a kako takvih inženjera nema u izobilju, i to predstavlja problem pri planiranju izgradnje novih nuklearnih elektrana. Također, ne smijemo zaboraviti da su zalihe nuklearnog goriva ograničene.

Fizičari raznih država cijelog svijeta, među kojima su i hrvatski fizičari, sudjeluju u projektu kojemu je cilj razvoj nove nuklearne tehnologije koja radi na principu fuzije, odnosno spajanja vodikovih jezgara u jezgre helija uz oslobađanje ogromnih količina energije, a trebala bi predstavljati i značajno manju opasnost od radioaktivnosti po okoliš.

## Utjecaj aerosola na klimu i ljudsko zdravlje

Izgaranje fosilnih goriva, osim otpuštanja stakleničkih plinova, na još jedan način ima utjecaj na klimu. Zemljina atmosfera je mješavina plinova, ali osim plinova u zraku se nalaze i sitne čestice tekuće ili čvrste tvari koje zovemo aerosoli. Aerosoli mogu doći u zrak prirodnim (vulkanske erupcije, prskanje mora, prirodni požari, pustinjska prašina) ili ljudski izazvanim putem (izgaranje fosilnih goriva u industriji i prometu, požari). Prije no što padnu ili kišom dospiju na tlo u atmosferi se mogu zadržati danima ili tjednima. Ovisno o vrsti, odnosno sastavu i boji čestice, aerosoli apsorbiraju ili reflektiraju svjetlost. Zbog toga aerosoli u atmosferi imaju veliki doprinos Zemljinom albedu.

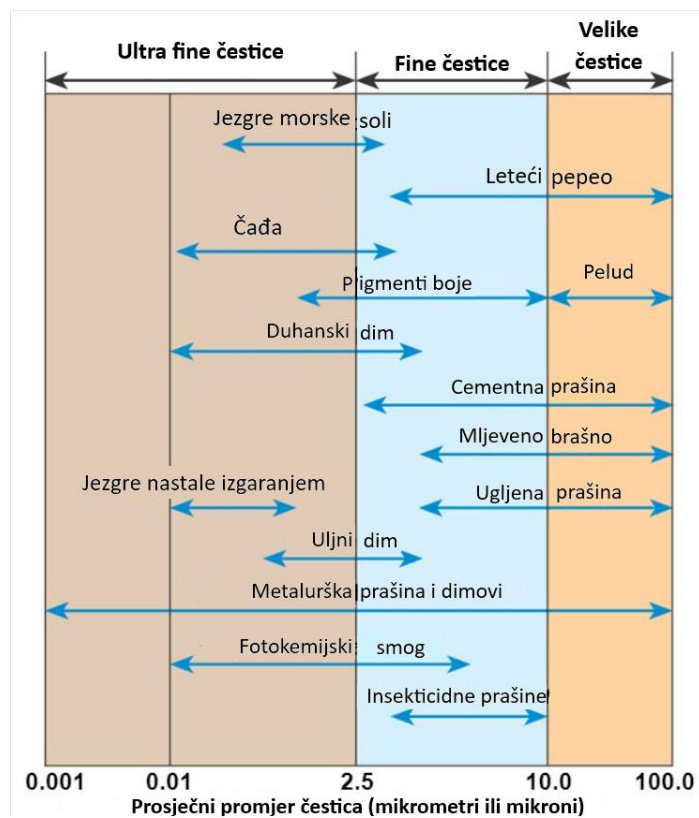
Neke vrste aerosola poput soli reflektirajući svjetlost sprječavaju prodor Sunčeve svjetlosti do površine Zemlje umanjujući tako zagrijavanje. S druge strane, aerosoli poput crnog ugljena ili čađe apsorbiraju Sunčevu energiju te ju tako djelomično zadržavaju u atmosferi pri čemu se atmosfera zagrijava. Ipak, pri apsorpciji dio Sunčevog zračenja ne dopijeva do Zemlje što može utjecati na efekt hlađenja same površine, ali zagrijavanje atmosfere ponovo dovodi do zagrijavanja Zemljine površine. Nakupljanje aerosola poput crnog ugljena na ledenim bijelim površinama uzrokuje smanjenje albeda te ubrzava otapanje leda čime na još jedan način pospješuje zagrijavanje.

Aerosoli, ako što smo već više puta do sad istaknuli, imaju veliku ulogu pri formiranju oblaka jer vodena para kondenzira na česticama aerosola. Što je više čestica aerosola, to je više površina na kojima vodena para može kondenzirati. Oblak koji se sastoji od više kapljica ima i veći reflektirajući učinak. U nezagađenom okolišu pri formiranju oblaka veliku ulogu imaju prirodni aerosoli poput morske soli, sulfata ili amonijevih soli. Što zrak sadrži više aerosola (zagađeniji zrak sadrži više aerosola nego čisti),

to se oblak sastoji od više sitnih kapljica pa ima i veći albedo. Oblak tada služi kao štit od Sunčevog zračenja odozgor, ali s druge strane pospješuje zadržavanje topline koju zrači Zemlja. Ako se u oblaku nalazi crni ugljen, osim što refleksivnost oblaka opada, ugljen zagrijava okolnu atmosferu što uzrokuje isparavanje kapljica zbog čega se oblak može pretvoriti u izmaglicu i spriječiti nastanak oborine.

Direktan utjecaj aerosola na klimu, kao i posredni utjecaj aerosola preko oblaka, istražuje se tek od relativno nedavno. Neki modeli procjenjuju da je reflektirajuće svojstvo nekih vrsta aerosola značajno umanjilo moguće razmjere globalnog zagrijavanja uzrokovanog pojačanim stakleničkim efektom, ali zbog nejednake rasprostranjenosti aerosola u atmosferi efekt hlađenja se više osjeća na regionalnoj nego na globalnoj razini.

Zbog potencijalnog efekta hlađenja naivna pomisao može biti da povećanjem količine aerosola možemo utjecati na smanjenje globalnog zagrijavanja. Osim što aerosoli antropogenog porijekla u atmosferu najčešće dolaze iz istih izvora kao i staklenički plinovi, mogu imati izrazito negativan utjecaj na ljudsko zdravlje. Najpoznatiji primjer toga je smog. Smog („smoke“ = dim + „fog“ = magla) obično nastaje izgaranjem ugljena te je karakterističan za industrijska i vrlo prometna područja. Takvu vrstu smoga zovemo industrijski smog. Izgaranjem tipičnih goriva, između ostalog, nastaju sumporov dioksid i pepeo. U kombinaciji s vodom stvara se sumporna kiselina čijim udisanjem može doći do ozbiljnih oštećenja plućnog tkiva. Od posljedica industrijskog smoga u Londonu je 1952. preminulo oko 4000 ljudi. Danas je česta pojava i fotokemijskog smoga koji nastaje kada dušikovi oksidi, koji potječu od izgaranja fosilnih goriva u prometu i industriji, i hlapljivi organski spojevi reagiraju sa sunčevom svjetlošću. Iz tih reakcija proizlaze ozon i peroksiacetalnitrat (PAN) koji uzrokuju zdravstvene probleme kod ljudi. Općenito, veće čestice aerosola kraće se zadržavaju u atmosferi jer brže padnu na tlo, dok čestice manje od 2  $\mu\text{m}$  predstavljaju veću opasnost po ljudsko zdravlje.



Slika 8.3.1 Prosječna veličina aerosola (izvor: <https://slideplayer.com/slide/6860398/>)

# Obnovljivi izvori energije

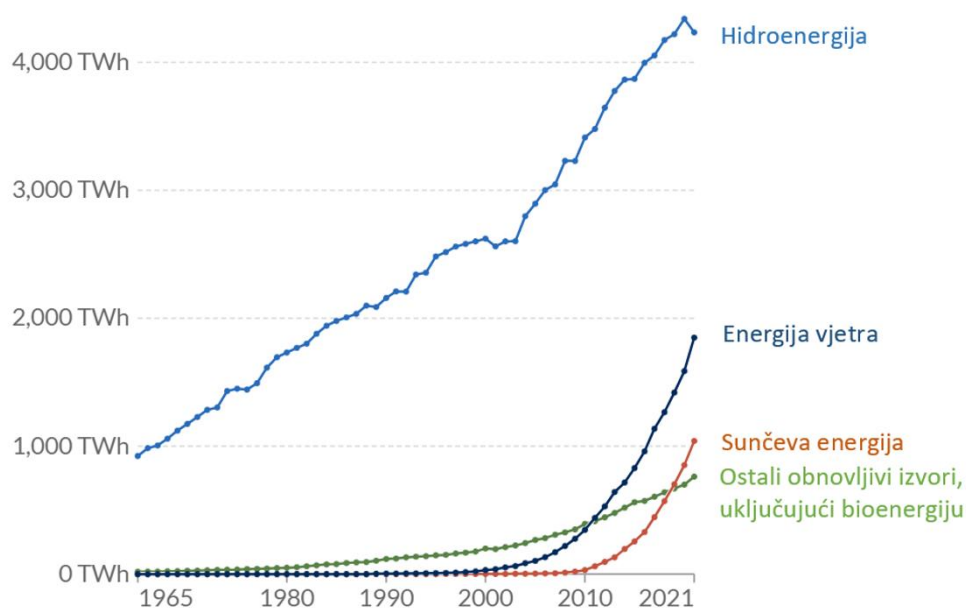
Zbog negativnog utjecaja neobnovljivih izvora energije na okoliš, ali i konačnosti njihovih zaliha, proizvodnja energije iz obnovljivih izvora u svijetu je u velikom porastu. Obnovljivi izvori energije dio su kružnih procesa u prirodi i stoga se ne mogu iskoristiti ili se veoma brzo obnavljaju.

U obnovljive izvore energije ubrajamo:

- sunčevu energiju,
- energiju vjetra,
- energiju riječnih tokova,
- energiju morskih mijena i valova,
- geotermalnu energiju,
- energiju biomase.

## Energija biomase

Obnovljivim izvorima energije, osim vode i biomase, zajedničko je da se ne mogu skladištiti te da su po svojoj prirodi promjenjivog i teško predvidivog ili nepredvidivog karaktera. Do početka industrijalizacije kao izvor energije koristila se gotovo pa isključivo energija biomase. Energija biomase je energija oslobođena gorenjem organskih tvari (ali ne i fosilnih goriva) pri čemu se oslobađa toplina. Zato se energija biomase najčešće koristi za grijanje prostora upotrebom biogoriva poput drveta i prerađevina kao što su peleti i briketi. Osim u kućanstvima, energija biomase sve više se koristi i u prometu. Danas raste uloga tekućih goriva bioetanola i biodizela, dobivenih preradom biljne biomase. Sve veću ulogu ima i proizvodnja bioplina (biometana) koji u budućnosti može zamijeniti prirodni plin (fosilno gorivo). Izgaranjem biomase u atmosferu se otpuštaju (značajno manje nego kod fosilnih goriva) neke količine ugljikovog dioksida u atmosferu. Taj ugljikov dioksid potječe iz brzog ciklusa i ponovo će biti iskorišten u procesu fotosinteze pri rastu novih biljaka za proizvodnju biomase. Nekim biljkama poput većih stabala potrebno je puno duže vremena za rast nego za iskorištavanje pa korištenje biomase ipak ima ugljični otisak na okoliš.



Slika 9.1 Kretanje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora od 1965. do 2021. godine (izvor: <https://ourworldindata.org/renewable-energy> )



Slika 9.2 Stopa smrtnosti od nesreća i zagađenja uzrokovanih pojedinim izvorom energije te emisija stakleničkih plinova od pojedinog izvora energije govore nam o sigurnosti i čistoći izvora. (izvor: <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>)

## Sunčeva energija

Glavni izvor energije na Zemlji je Sunce. Sunčeva energija potječe od nuklearne fuzije<sup>1</sup>, tj. spajanja jezgri atoma vodika pri čemu nastaju jezgre atoma helija uz oslobađanje energije. Svake sekunde se oko

<sup>1</sup> Općenito, nuklearna fuzija podrazumijeva spajanje lakših elemenata u teže. Na Suncu je primarni produkt fuzije helij, zbog čega ne spominjemo ostale produkte.



$3,6 \cdot 10^{38}$  jezgri atoma vodika pretvara u jezgre helija oslobađajući oko  $3,8 \cdot 10^{26}$  J energije svake sekunde. U jezgri se odvija oko 99% nuklearne fuzije na Suncu, a temperatura jezgre iznosi oko 15 milijuna °C.

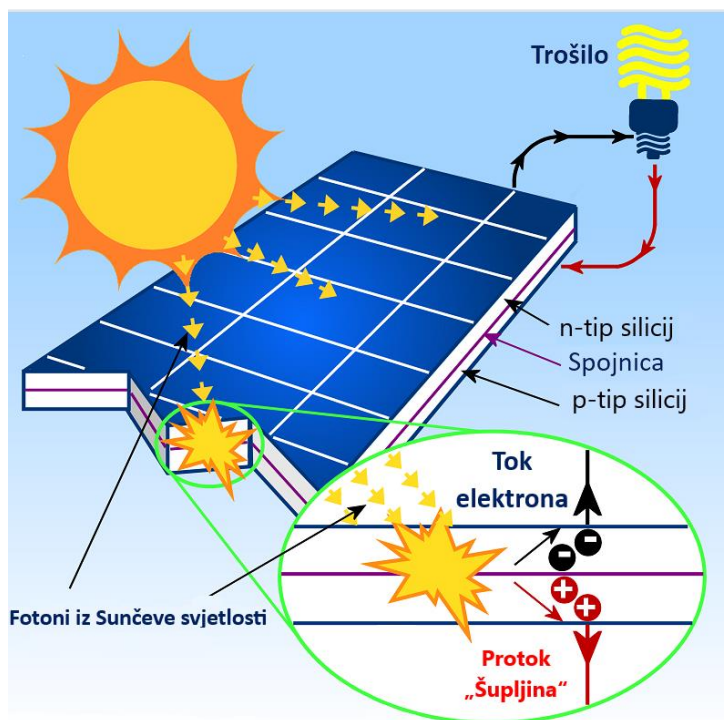
Udaljavanjem od jezgre temperatura opada pa je na površini Sunca temperatura oko 5500 °C. Sunce zrači energiju radijalno u svim smjerovima, a intenzitet energije opada s kvadratom udaljenosti. Tako do Zemlje dođe vrlo mali dio ukupnog zračenja, a sastoji se uglavnom od vidljive svjetlosti (50%), infracrvenog zračenja (45%) i manjeg dijela ultraljubičastog zračenja i zračenja ostalih valnih duljina.

Porijeklo gotovo svih izvora energije, obnovljivih ili neobnovljivih, je Sunčeva energija. Ipak, govoreći o energiji Sunca kao o obnovljivom izvoru energije najčešće mislimo na uređaje ili postrojenja koja Sunčevu energiju direktno pretvaraju u električnu ili toplinsku.

## PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Solarne elektrane koriste fotonaponske panele za proizvodnju električne energije. Fotonaponski paneli rade na principu fotonaponskog učinka. Kada fotoni (paketići energije elektromagnetskog zračenja) određene frekvencije (od vidljivog prema UV dijelu spektra) upadnu na vodičke ili poluvodičke materijale (za svaki materijal postoji određena frekvencija na kojoj počinje izbijanje – granična frekvencija) dolazi do izbijanja elektrona. Dakle, energija zračenja pretvara se u kinetičku energiju elektrona. Fotonaponski paneli ili ploče sastoje se od fotonaponskih članaka. Članci se sastoje od dva poluvodiča od kojih jedan ima višak elektrona (N-tip), a drugi višak šupljina, tj. praznina koje mogu popuniti elektroni (P-tip). Šupljine efektivno nose pozitivan naboj i gibaju se u suprotnom smjeru od elektrona. Kada spojimo ta dva tipa poluvodiča na njihovom spoju stvara se električno polje koje sprječava prelazak elektrona s N na P stranu. Međutim, ako foton izbaci elektron na N strani ostane šupljina. Ako izbijenom elektronu omogućimo vanjski put od N do P strane zatvorili smo strujni krug i njime teče struja. Navedeni princip koristi se za dobivanje električne energije od napajanja kalkulatora i satova do solarnih elektrana. Za korištenje u kućanstvima, poduzećima i sl. fotonaponski paneli uglavnom se postavljaju na krovove (integrirana elektrana). Sustav napajanja preko fotonaponskih panela može biti povezan (*on grid*) s distribucijskom mrežom ili samostalan (*off grid*). Višak električne energije proizveden u sustavu povezanom na distribucijsku mrežu isporučuje se distribucijskoj mreži, dok se dodatna energija koja se koristi kada proizvodnja električne energije iz solarne elektrane nije dovoljna uzima iz distribucijske mreže. U samostalnim sustavima proizvedena energija koristi se samo za potrebe korisnika, a takav sustav prikladan je za opskrbu objekata kod kojih nije moguća povezanost s distribucijskom mrežom ili je potreba za električnom energijom manja. Takvi sustavi koriste baterije za pohranjivanje energije tijekom dana i kada je proizvodnja električne energije velika što im omogućuje korištenje električne energije tijekom noći i razdoblja kada nema proizvodnje električne energije.

Proizvedena struja je istosmjerna (DC), a za pretvorbu u izmjeničnu struju (AC) koriste se izmjenjivači. Očekivani životni vijek solarnih panela je 25-30 godina.



Slika 9.1.1 Princip rada fotonaponskog panela (izvor: <https://www.mrsolar.com/what-is-solar-energy/>)

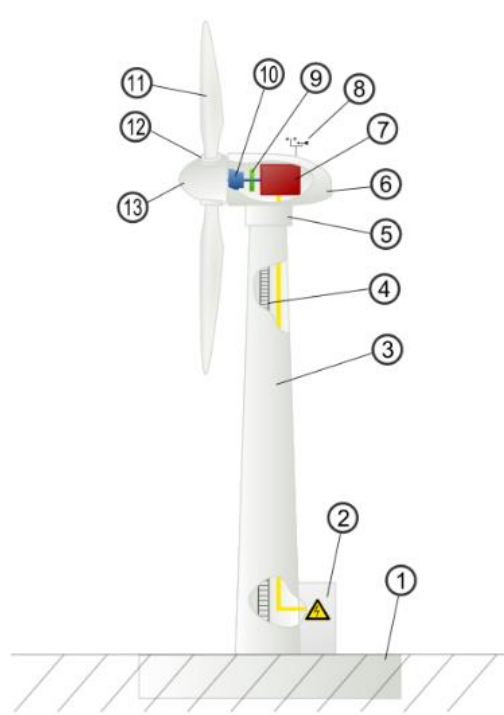
## PROIZVODNJA TOPLINSKE ENERGIJE

Za "proizvodnju" toplinske energije koriste se solarni kolektori. Proizvodnja je označena pod navodnicima jer Sunce samo po sebi zrači elektromagnetsko zračenje koje se upijanjem pretvara u toplinsku energiju (povećanje unutarnje energije). Međutim, Sunčevo zračenje je raspršeno pa ako želimo bolje iskoristiti primljenu toplinu, potrebno ju je sakupiti, koncentrirati. Solarnih kolektora ima više vrsta, a svima je zajedničko koncentrirati Sunčevo zračenje sa širokog područja u svrhu povećanja intenziteta zračenja na nekom manjem mjestu poput cijevi ili spremnika s vodom. Za koncentriranje zračenja koriste se reflektirajuća zrcala ili leće kojima se fokusira svjetlost. Ovisno o tipu zrcala, odnosno namjeni, zračenje se koncentrirava linijski ili u točku. Povećanjem intenziteta toplinskog zračenja koje upada na neko tijelo brže se povećava temperatura tijela. Voda se može zagrijavati u svrhu proizvodnju vodene pare za pokretanje neke turbine u svrhu proizvodnje električne energije. U kućanstvima se često na krovove instaliraju solarni kolektori čija je svrha zagrijavanje vode za korištenje i grijanje. Još jedan primjer iskorištavanja solarne energije koncentriranjem je solarna pećnica ili kuhalo koja se koristi u raznim dijelovima svijeta.

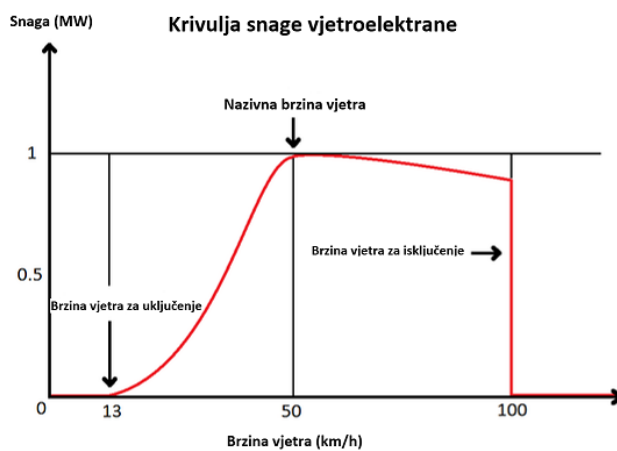
# Energija vjetra

Vjetar nastaje kao posljedica razlike atmosferskih tlakova, a ona je pak najčešće posljedica razlike u temperaturi. Kada postoji razlika tlakova između dva područja, zrak struji iz područja višeg u područje nižeg tlaka, odnosno nastaje vjetar.

Čestice zraka u neprestanom gibanju su nositelji kinetičke energije. Veličine kojim se vjetar opisuje su smjer, brzina i jačina. Znamo da vjetar može nositi razne predmete, pogoniti brodove, rušiti stabla itd. Pri tome se obavlja mehanički rad i to na račun pretvorbe kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju, odnosno rad. Primjer u kojemu se od davne povijesti koristila pretvorba kinetičke energije vjetra u mehanički rad su vjetrenjače – vjetroturbine korištene za pokretanje pumpi ili mlinova. Govoreći o energiji vjetra kao obnovljivom izvoru energije danas misli se na proizvodnju električne energije. Stroj kojim se proizvodi električna energija iz energije vjetra zove se vjetroatregat. Jednako kao i solarne elektrane, vjetroeletrane mogu biti povezane s distribucijskom mrežom ili samostalne. Princip proizvodnje energije je takav da vjetar zakreće lopatice pri čemu se kinetička energija pretvara u mehaničku. Vjetroturbina povezana je s električnim generatorom koji mehaničku energiju pretvara u električnu energiju. Rad vjetroatregata uvelike ovisi o brzini vjetra. Brzina vjetra nije stalna, već se mijenja iz sata u sat, a vjetar ponekad puše na mahove. Zato ni proizvedena energija nije stalna te su prognoze iznosa proizvedene energije kratkoročne. Snaga koju turbina dobiva od vjetra u ovisnosti o brzini vjetra prikazuje se krivuljom snage. Snaga je proporcionalna s trećom potencijom brzine vjetra. To znači da i vrlo mala promjena brzine vjetra (osim pri jako malim brzinama) uzrokuje veliku promjenu snage što bi pri velikim brzinama moglo uzrokovati mehanička oštećenja vjetroeletrane. Zato se od određene brzine vjetra snaga regulira, tj. drži konstantnom sve dok vjetar ne postane toliko jak da je vjetroeletranu iz sigurnosnih razloga potrebno zaustaviti. Vjetroatregat na sebi ima ugrađen anemometar (uređaj za mjerenje brzine i smjera vjetra) koji podatke o vjetru šalje kontroleru koji je zaslužan za pokretanje vjetroeletrane pri dovoljnoj brzini vjetra (tipično oko 15 km/h) te zaustavljanje vjetroeletrane pri prevelikoj brzini vjetra (tipično oko 90 km/h). Duljina lopatica kreće se od 50-ak do preko 100 m. Zato vjetroatregati trebaju imati dovoljno razmaka između sebe pa vjetroeletrane zauzimaju veliko zemljišno područje pa su za potrebe izgradnje vjetroeletrane moguća narušavanja prirodnih staništa. Rotacija lopatica predstavlja opasnost za leteće životinje poput ptica i šišmiša.



Slika 9.2.1 Dijelovi vjetroagregata: 1. temelj, 2. priključak na elektroenergetski sustav, 3. stup, 4. ljestve za pristup, 5. zakretnik, 6. kućište stroja ili gondola, 7. električni generator, 8. anemometar, 9. kočioni sustav (elektromagnetska ili mehanička kočnica), 10. prijenosnik snage (obično multiplikator), 11. lopatice rotora, 12. sustav zakretanja lopatica (eng. pitch), 13. glavčina rotora. (izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Horizontal-Axis-Wind-Turbine-HAWT-with-three-bladed-design-and-a-description-of-the\\_fig1\\_355278644](https://www.researchgate.net/figure/Horizontal-Axis-Wind-Turbine-HAWT-with-three-bladed-design-and-a-description-of-the_fig1_355278644) )

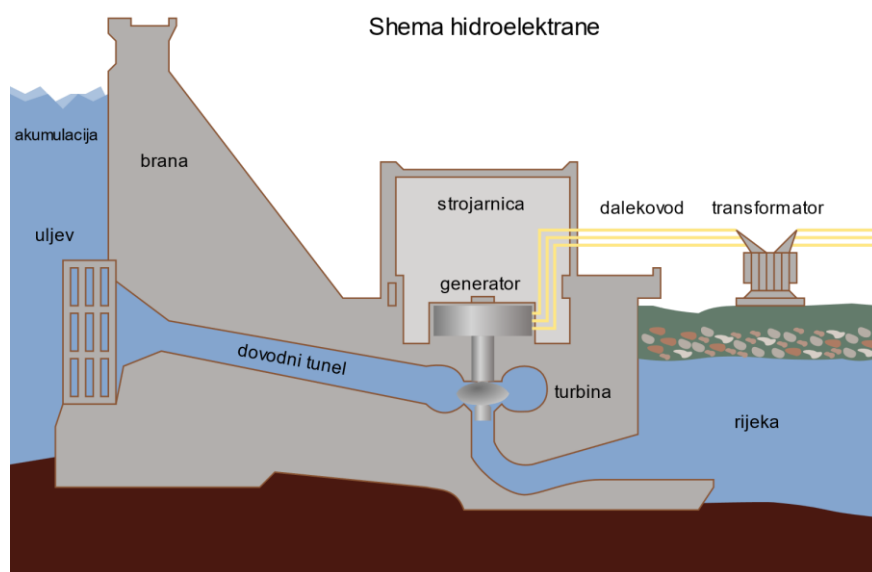


Slika 9.2.2 Krivulja snage vjetroelektrane (izvor: [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind\\_power](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_power))

## Energija vode

Jednako kao i energija vjetra, energija vode koristila se od davnina. Najpoznatiji primjeri su vodenice koje su služile za mljevenje žita i razne druge poslove, a koristile su pretvorbu potencijalne energije u mehanički rad.

Energija vode ili hidroenergija zauzima treće mjesto po proizvodnji električne energije u svijetu (nakon fosilnih goriva i nuklearne energije) te ima značajno najveći udio u proizvodnji električne energije od svih obnovljivih izvora energije. Iskorištavanje hidroenergije temelji se na razlici u visini, odnosno potencijalnoj energiji vodotokova, i/ili kinetičkoj energiji vode. Potencijalna i kinetička energija vode pretvaraju se u mehaničku energiju pokretanjem turbine. Mehanička energija prenosi se do električnog generatora u kojemu se pretvara u električnu energiju. Hidroenergija uvelike ovisi o ciklusu vode u prirodi pa sušna razdoblja mogu značajno utjecati na količinu vode u riječnim koritima pa tako i na količinu proizvedene energije. Postrojenja za proizvodnju električne energije iz energije vode su hidroelektrane. Klasične hidroelektrane su akumulacijske (shema s prikazanim dijelovima na slici 9.3.1), a mogu biti i protočne koje koriste prirodno gibanje vodenog toka pri čemu se kinetička energija vode direktno pretvara u mehaničku pokrećući vodnu turbinu. Akumulacijske elektrane mogu biti reverzibilne. Takve elektrane imaju gornju i donju akumulaciju. Energija se proizvodi pri padu vode iz gornje u donju, a pri niskoj potražnji energije uzima se električna energija iz mreže za crpljenje vode iz donjeg u gornje jezero kako bi se ponovo mogla iskoristiti.



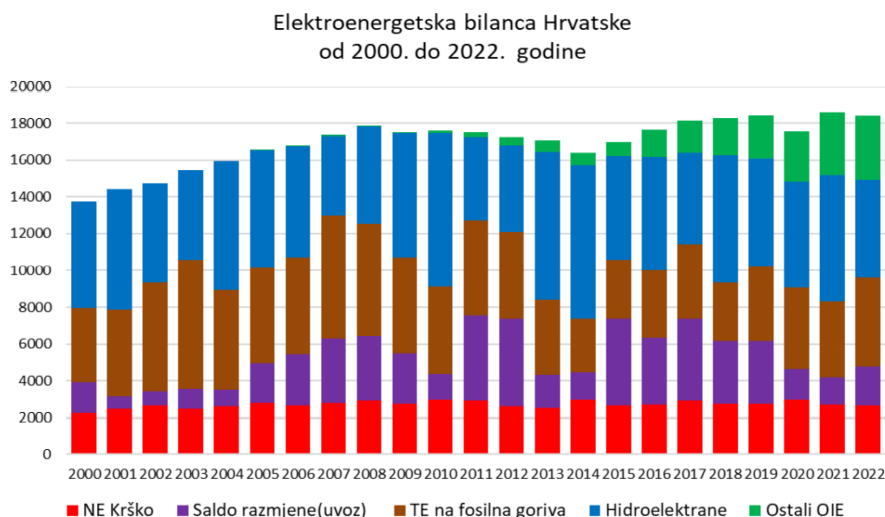
Slika 9.3.1 Dijelovi akumulacijske hidroelektrane (izvor: Ognjen Bonacci: *Oborine: glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus*, GEING, Split, 1994.)

Osim navedenih hidroelektrana koje se nalaze na kopnenim vodotokovima, postoje i "morske" hidroelektrane. Jedne od tih su elektrane na plimu i oseku. Nisu od većeg komercijalnog značaja, ali mogu doprinijeti proizvodnji energije ostalim obnovljivim izvorima. Iskorištavanje se temelji na razlici visine mora tijekom plime i oseke. Zbog visokih troškova izgradnje takve hidroelektrane imaju smisla samo na područjima gdje je razlika visine mora za plime i oseke velika, barem 7 m (za usporedbu, na

Jadranu je oko 1 m), a takvih lokacija nema mnogo. Postoje još postrojenja koja koriste energiju valova i energiju morskih struja.

## Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj

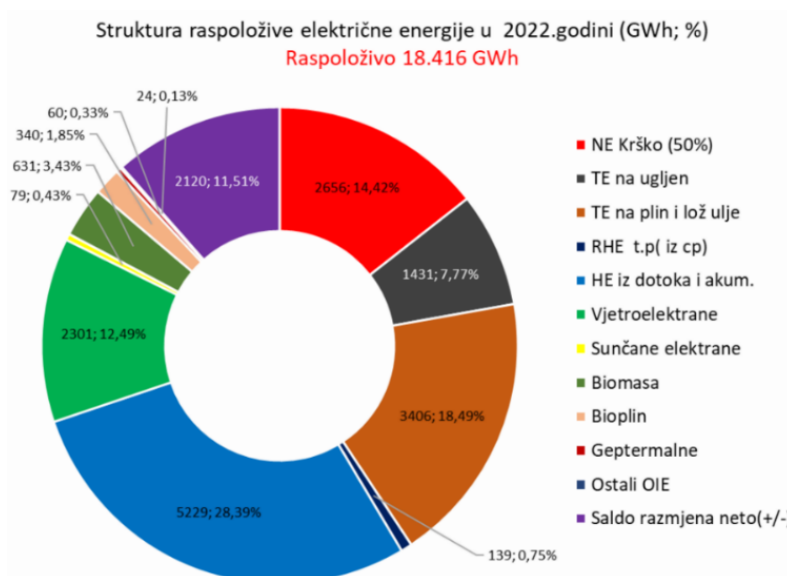
U proizvodnji električne energije u Hrvatskoj najznačajnije mjesto zauzima energija iz hidroelektrana. Posljednjih godina vidljiv je značajan porast udjela i ostalih OIE.



Slika 9.4.1 Elektroenergetska bilanca Hrvatske od 2000. do 2022. godine (izvor: <https://oie.hr/elektroenergetska-kretanja-u-hrvatskoj-u-2022/>)

U 2022. godini najveći udio u strukturi raspoložive električne energije također je činila energija iz hidroelektrana, a zatim energija termoelektrana na plin i lož ulje te energija iz NE Krško. Značajan udio čini energija iz vjetroelektrana. Ulaganje u OIE i povećanje njihova udjela u ukupnoj proizvodnji pokazuje se važno ne samo po ekološkom pitanju, već i po pitanju energetske sigurnosti, posebno u vrijeme nove energetske krize koja je započela početkom 2022. godine zbog rata u Ukrajini.





Slika 9.4.2 Struktura raspoložive električne energije u 2022. godini (izvor: <https://oie.hr/elektroenergetska-kretanja-u-hrvatskoj-u-2022/>)

Povijest OIE (osim energije biomase) u Hrvatskoj započinje izgradnjom jedne od prvih hidroelektrana u Europi s trofaznom izmjenično strujom, HE Jaruga 1 (Krka) na rijeci Krki 1895. godine. Hidroelektrana je izgrađena zaslugom Nikole Tesle te puštena u pogon dva dana nakon hidroelektrane na slapovima Niagare. Zahvaljujući toj hidroelektrani, Šibenik je postao jedan od prvih gradova u svijetu koji je opskrbljivan električnom energijom iz hidroelektrane. Tri godine kasnije krenula je modernizacija i proširenje pa je već 1903. izgrađena HE Jaruga 2.