

Voda kao energent

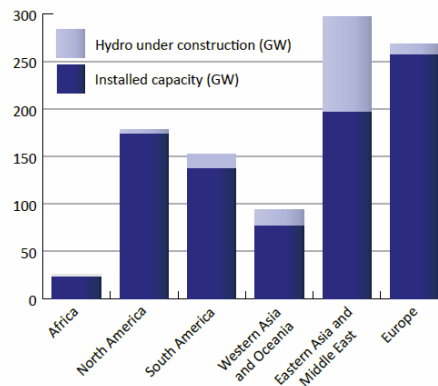
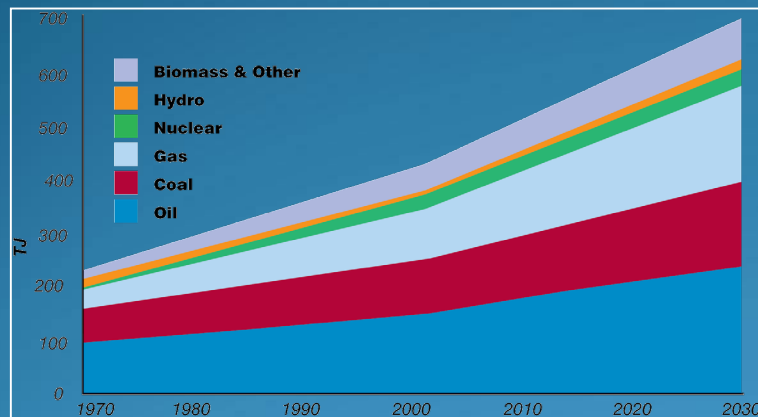


Figure 2: Hydro under construction, by region, with existing capacity included for reference



izv. prof. dr. sc. Ivan Čanjevaca, 2025.

Sadržaj

1. Što je to hidroenergija?
2. Razvoj upotrebe hidroenergije u svijetu
3. Značaj hidroenergije u svijetu i Hrvatskoj
4. Pozitivne i negativne strane HE
5. Hidrogeotermalna energija
6. Zaključne misli

1. Što je to hidroenergija?

= snaga vode

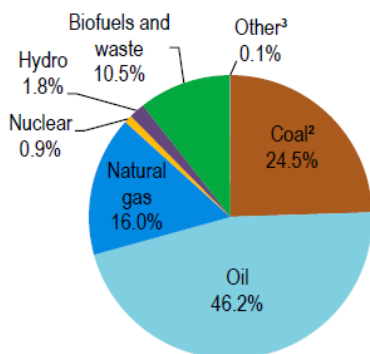
= električna energija dobivena u hidroelektranama

- hidroenergija u užem smislu podrazumijeva električnu energiju dobivenu u hidroelektranama na kopnu vezanim uz tekuću vodu
- hidroelektrane = energetska postrojenja u kojima se potencijalna energija vode pomoću turbine pretvara u mehaničku (kinetičku) energiju, koja se u električnom generatoru pretvara u el. energiju
- hidroenergija je obnovljivi izvor energije (Sunčeva en., energija vjetra, energija iz biomase, geoterm. en.)
- **u posljednjih 40-ak g. proizvodnja energije u HE gotovo utrostručena, ali je time udio HE u svjetskoj energetskej potrošnji povećan samo s 1,8 % na oko 2,5 %.**

Hidroenergija čini 15-20 % (16,6 % 2017.) ukupne svjetske proizvodnje električne energije i oko 1/2 el. energije dobivene iz obnovljivih izvora (prije 15 g. to je bilo 2/3) ili oko 2-4 % sve energije koja se koristi u svijetu.

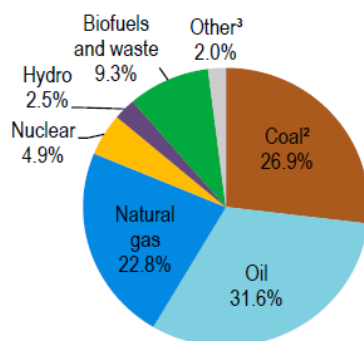
1973 and 2018 source shares of TES

1973



6 098 Mtoe

2018



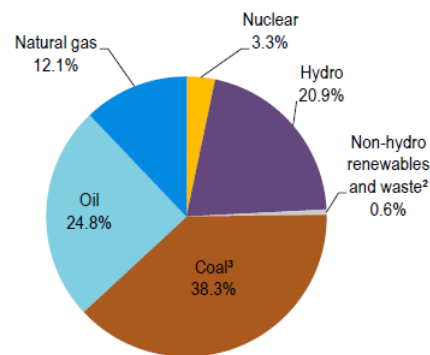
14 282 Mtoe

1. World includes international aviation and international marine bunkers.
2. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.
3. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, heat and other sources.

Source: [IEA, World Energy Balances, 2020](#).

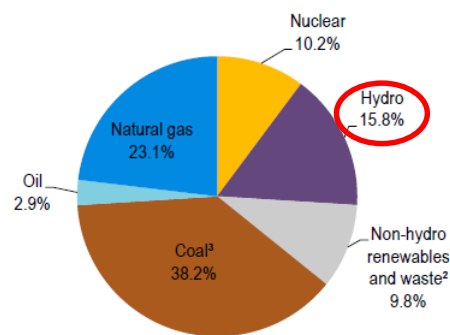
1973 and 2018 source shares of electricity generation¹

1973



6 131 TWh

2018



26 619 TWh

1. Excludes electricity generation from pumped storage.
2. Includes geothermal, solar, wind, tide/wave/ocean, biofuels, waste, heat and other.
3. In these graphs, peat and oil shale are aggregated with coal.

Sources: [IEA, World Energy Balances, 2020](#); [IEA, Electricity Information, 2020](#).

Razvoj uporabe hidroenergije

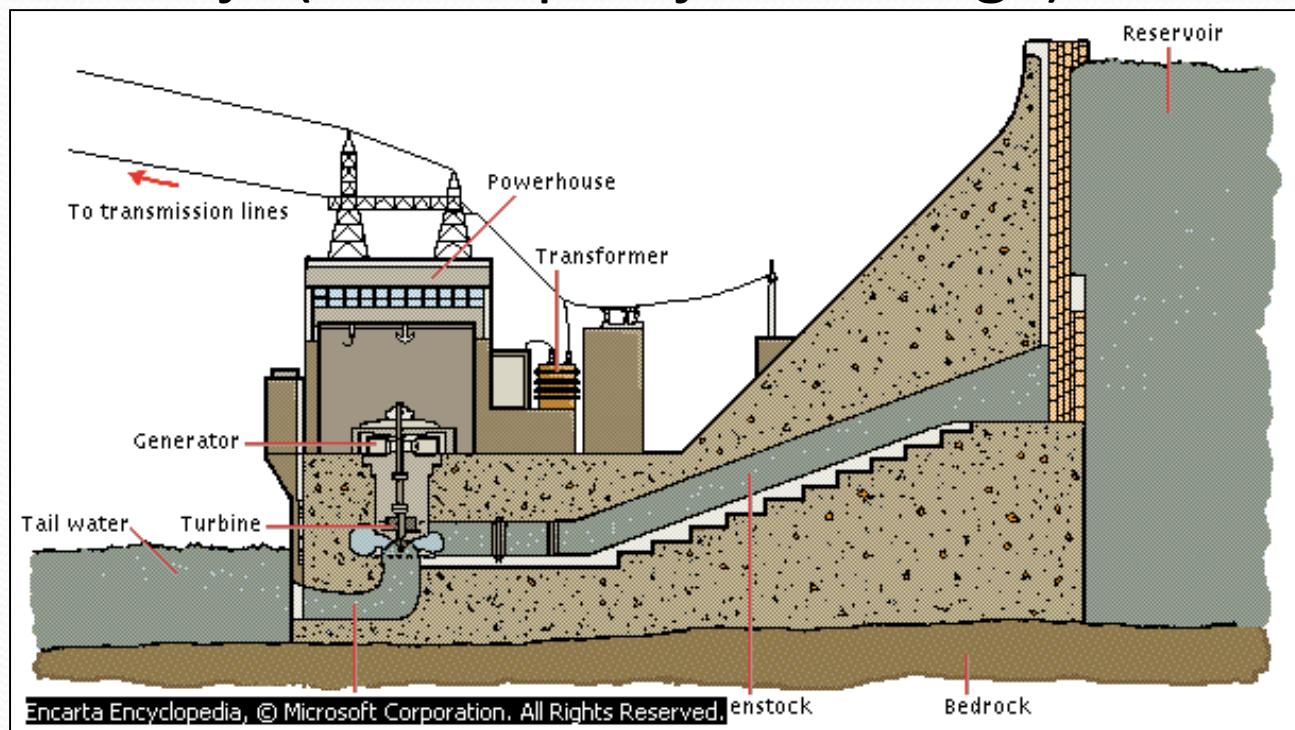
- Hidroenergija se koristi tijekom povijesti za pokretanje mehaničkih uređaja kao što su mlinovi, drobilice, stupe, mijehovi, pile, crpke... prenošenjem energije s vodeničkog kola (3. st. pr. K., Perahora u Grčkoj)
- Prva industrijska revolucija temelji se na ugljenu kao energentu ali je povezana i s hidroenergijom - tehnološkim napretkom tj. izumom strojeva pokretanih vodeničkim kolom (druga pol 18. st., tekstilna industrija UK)
- Druga industrijska revolucija također je povezana s hidroenergijom - s proizvodnjom i korištenjem električne energije.



Gdje je i kada izgrađena prva
hidroelektrana?

- Godine 1882. kod mjesta Appleton (Wisconsin, sjever SAD) na rijeci Fox izgrađena prva hidroelektrana snage 12,5 kW koja je opskrbljivala el. energijom nekoliko objekata
- Od 1895., kada je izgrađena HE Niagara Falls s generatorom izmjenične struje (N. Tesla) počinje intenzivna elektrifikacija (2 dana poslije HE Jaruga).

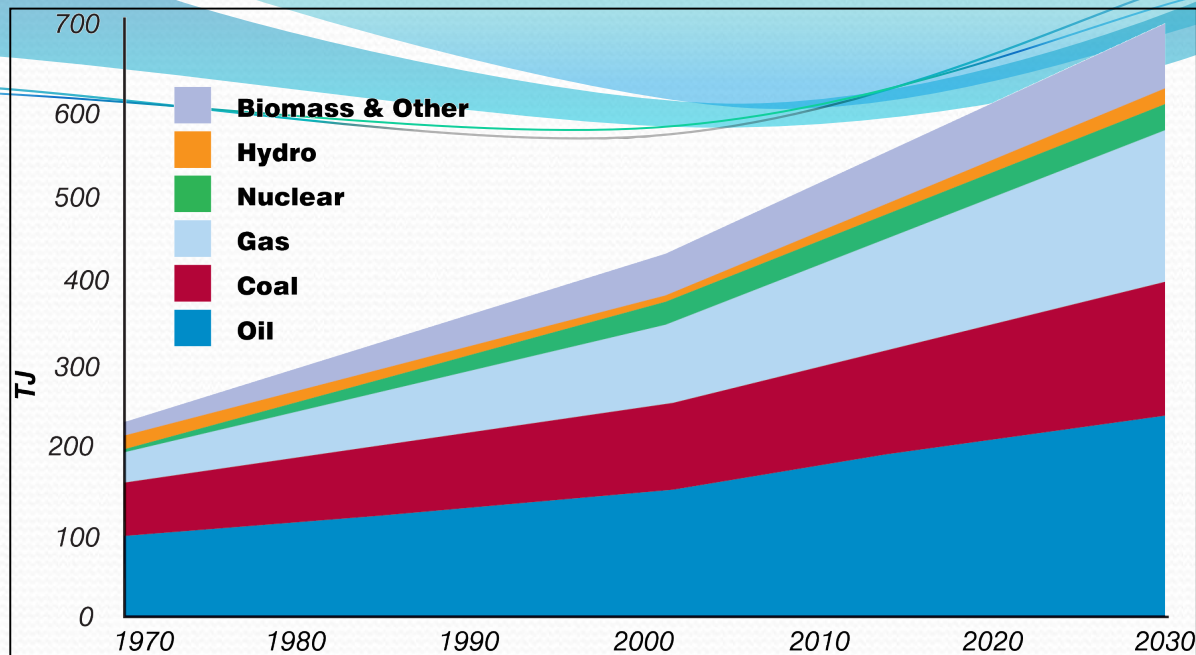
HE koriste energiju koja nastaje padom vode s određene visine i pretvaraju je u el. energiju.



Učinkovitost hidroelektrane ovisi o dva čimbenika:

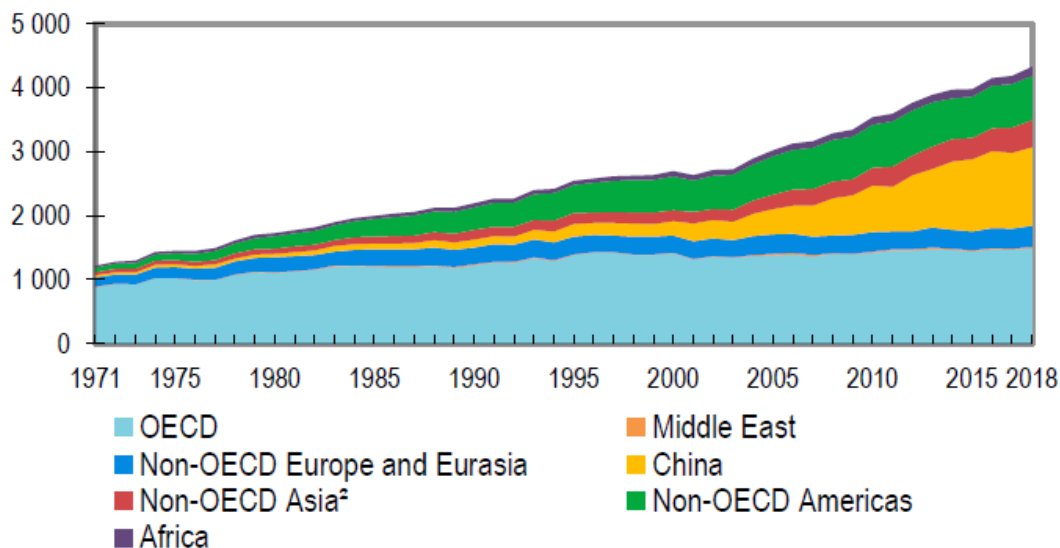
1. Visinska razlika između točke s koje voda pada i vodene turbine
 2. Količina vode koja prođe kroz turbinu u jedinici vremena
- u početku gradnja na prirodnim vodopadima → prva HE u Hrvatskoj – HE Jaruga na Skradinskom buku na rijeci Krki izgrađena 1895. g. (davala struju za ind. pogone i osvjetljenje Šibenika)
 - iste godine i HE Niagara Falls (dizajnirao N.Tesla)
 - 1908. g. Ozalj I; 1912. Kuzmica kod Požege; 1922. Zeleni vir
 - izgradnja umjetnih jezera radi veće učinkovitosti → povećanje negativnog učinka na okoliš i čovjeka

Nagli porast
potrošnje energije
**nakon II. svjetskog
rata** (koji će se
nastaviti i u
budućnosti?)
potaknuo je i razvoj
velikih
hidroenergetskih
sustava.



izvor: www.world-nuclear.org

World hydroelectricity production¹ from 1971 to 2018
by region (TWh)

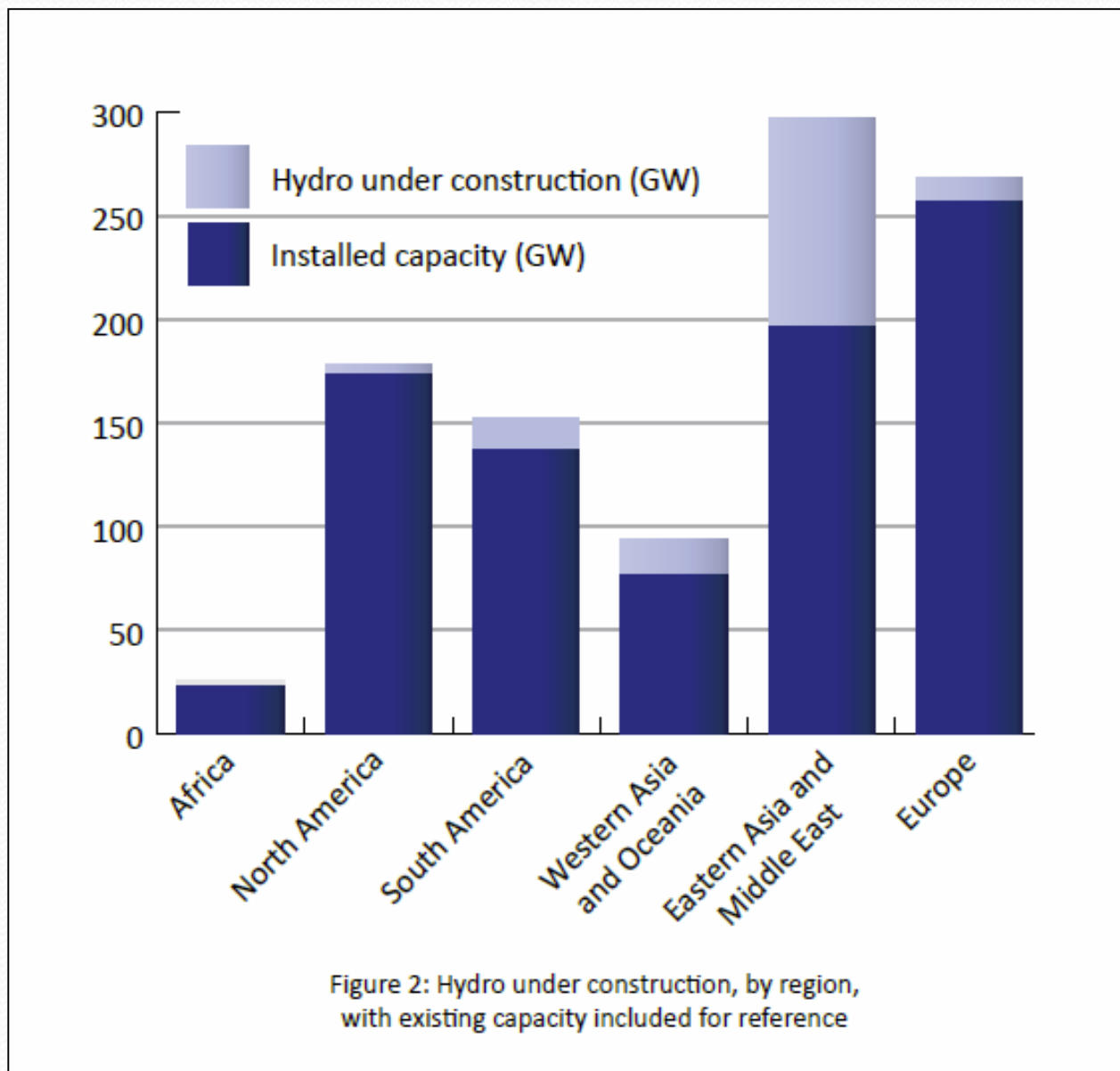


Najveće hidroelektrane svijeta prema instaliranoj snazi, 2016.

ime elektrane	rijeka	zemlja	instalirana snaga u MW	godina izgradnje
Tri klanca	Chang Jiang	NR Kina	22 500	2009.
Itaipu	Parana	Brazil/Paragvaj	14 000	1984./1991./2003.
Xiluodu	Jinsha	NR Kina	13 860	2014.
Guri (Simón Bolívar)	Caroni	Venecuela	10 235	1986.
Tucurui	Tocantins	Brazil	8 370	1984.
Grand Coulee	Columbia	SAD	6 809	1942./1980.
Xijangjiaba	Jinsha	NR Kina	6 448	2014.
Longtan	Hongshui	NR Kina	6 426	2007./2009.
Sajanska	Jenisej	Ruska Federacija	6 400	1983./2014.
Krasnojarska	Jenisej	Ruska Federacija	6 000	1972.
Nuozhadu	Mekong	NR Kina	5 850	2014.
Robert Bourassa	La Grande	Kanada	5 616	1981.
Churchill Falls	Churchill	Kanada	5 428	1971./1974.
Jinping II	Jalong	Kina	4 800	2014.

- u nekim dijelovima svijeta voda je glavni energent
- Južna Amerika prednjači kod kontinenata – oko 75 % proizvodnje el. energije proizvodi se u HE
- kod država primjeri su Norveška (95 %), Paragvaj (100 %), Brazil (65 %) s druge strane pustinjske zemlje (Libija, Kuvajt)
- iskorišteno je oko 25 % svjetskog hidroenergetskog potencijala – potpuna iskorištenost zadovoljila bi oko 80 % današnjih potreba za el. energijom
- Europa je iskoristila više od 60 % svog potencijala, dok je Afrika iskoristila samo oko 5 %; Kina je značajno povećala kapacitete i ima 3x više od Brazila i SAD po inst. snazi
- većina neiskorištenog potenc. odnosi se na manje razvijene zemlje
- procjenjuje se da oko 10 % svj. hidroenergetskog potencijala otpada na Kinu → veliki planovi; također Indija, Malezija, Vijetnam, Brazil, Peru

Stanje 2010. godine prema podacima IHA



Najveći proizvođači el. energije putem HE 2014.

Država	God. proizvodnja (TWh)	Instalirani kapacitet (GW)
Kina	1,064	280
Brazil	392	89
Kanada	375	78
SAD	250	79
Rusija	167	45
Norveška	140	27
Indija	131	49
Venecuela	86	15
Japan	69	27
Švedska	65	16

Producers	TWh	% of world total
People's Rep. of China	1 232	28.5
Brazil	389	9.0
Canada	386	8.9
United States	317	7.3
Russian Federation	193	4.5
India	151	3.5
Norway	140	3.2
Japan	88	2.0
Viet Nam	84	1.9
France	71	1.6
Rest of the world	1 274	29.6
World	4 325	100.0

2018 data

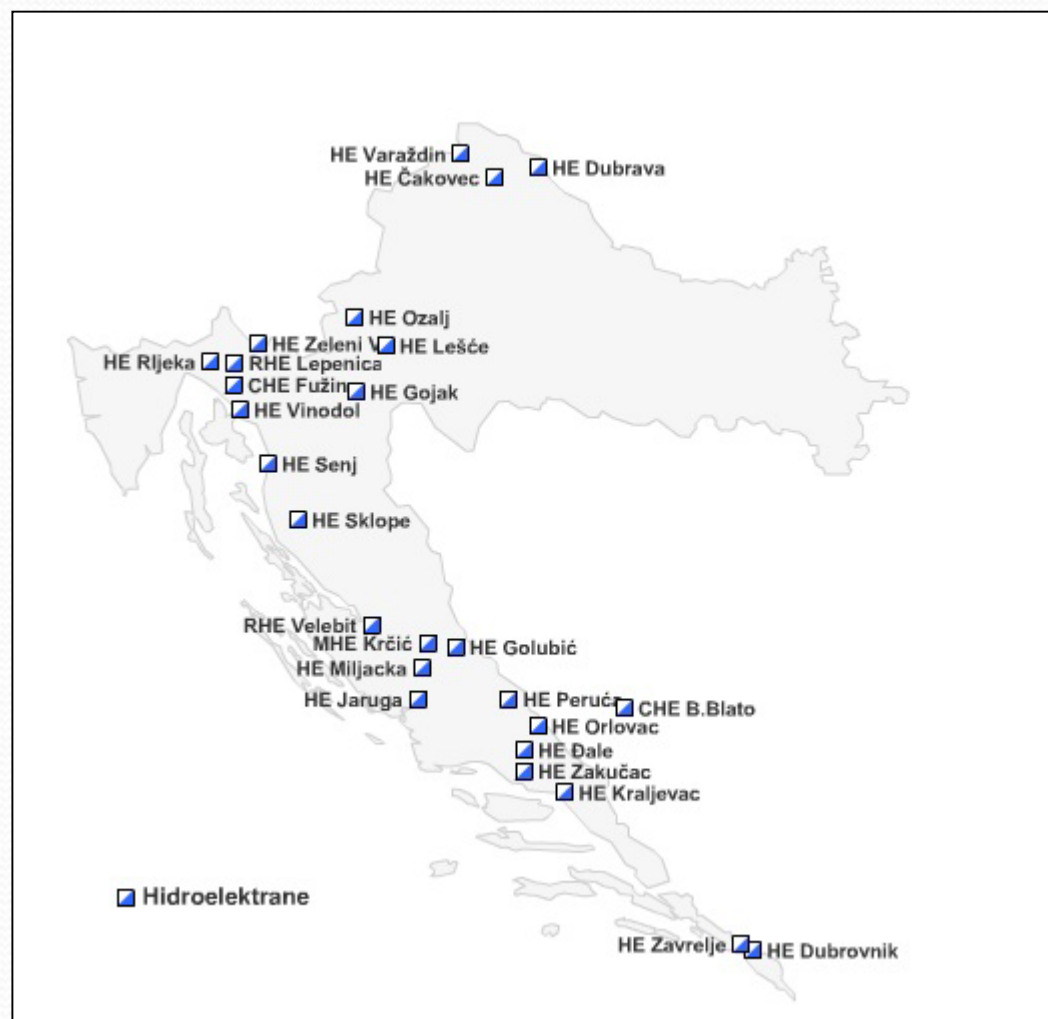
Net installed capacity	GW
People's Rep. of China	352
Brazil	105
United States	103
Canada	81
Russian Federation	51
Japan	50
India	49
Norway	33
Turkey	28
France	26
Rest of the world	414
World	1 293

2018 data
Sources:
IEA, Renewable Energy Market
Update;
United Nations Statistics
Division.

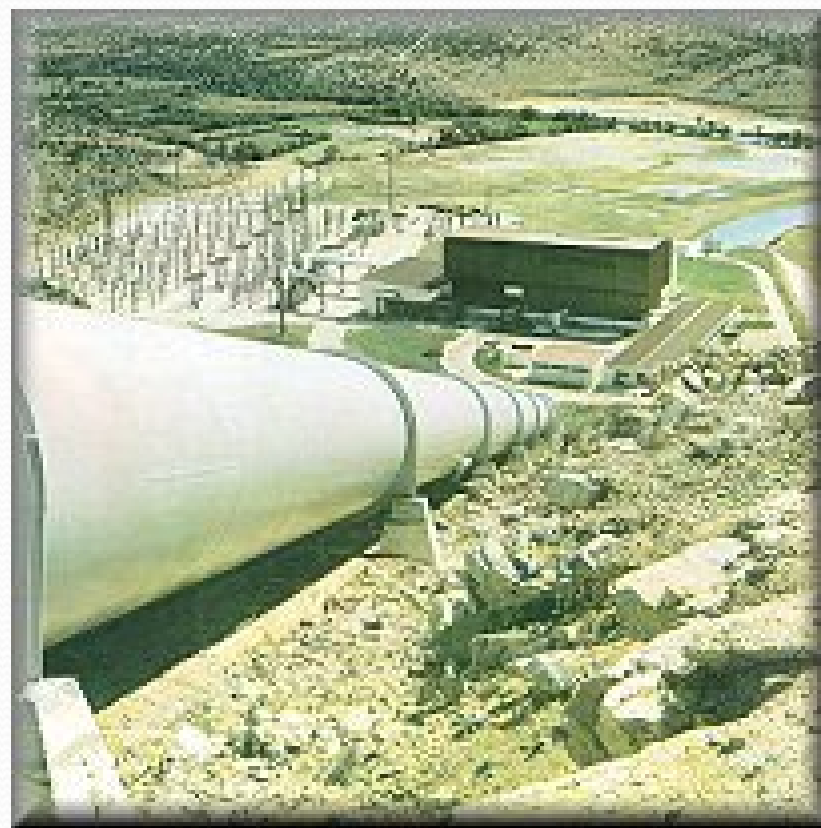
Ukupan instalirani kapacitet u svijetu 2018. je 1293 GW (2016. je bio 936 GW): Kina 28 %, Brazil i SAD po 9 % svj. proizv.

Hidroenergija u Hrvatskoj

- značajniji hidroenergetski sustavi nakon II. svj. rata
- danas u sustavu HEP-a 26 HE (> 1 MW; 12 akumulacijskih) → 2120 MW
- upravlja HEP-
Proizvodnja d. o. o.



- proizvode preko 50 % el. energije u Hrvatskoj (među vodećim zemljama prema proizvodnji iz obnovljivih izvora)
- iskorišteno oko 50 % hidroenergetskog potencijala hrvatskih rijeka
- prema snazi najznačajnije HE Zakučac (Cetina) i RHE Velebit (Obrovac)



Asuanska brana i jezero Nasser u Egiptu

- građena 60.-ih i 70.-ih g. XX. st. (jezero Nasser $P=5250 \text{ km}^2$)

Pozitivne posljedice

- proizvodnja el. energije (oko 50% 1967. → 15% 1998.)

- kontrola poplava

- navodnjavanje



Asuanska brana i jezero Nasser u Egiptu

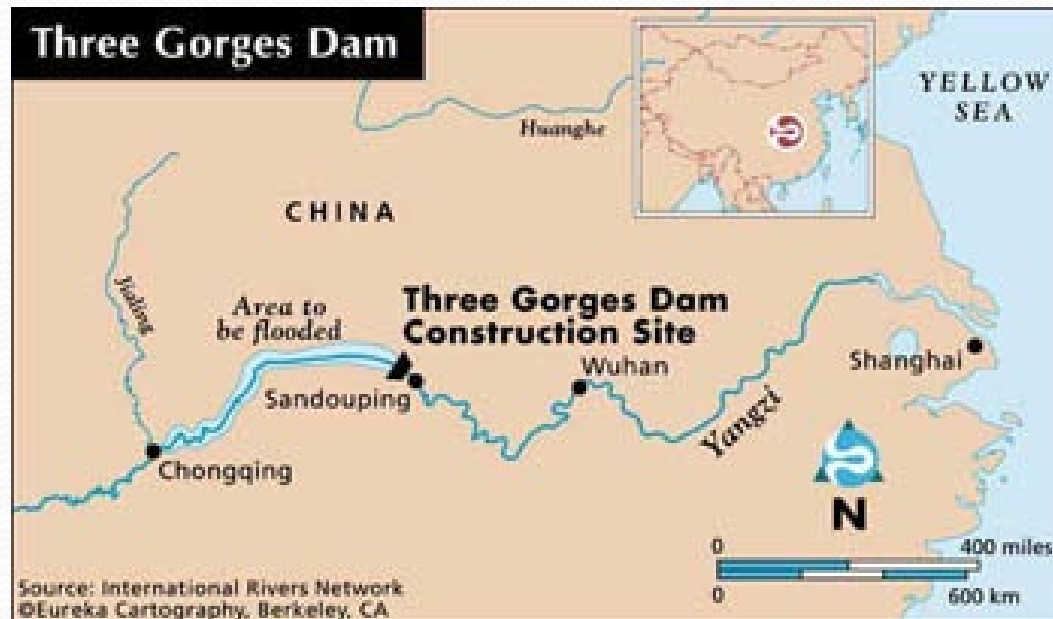
- građena 60.-ih i 70.-ih g. XX. st. (jezero Nasser $P=5250 \text{ km}^2$)

Negativne posljedice

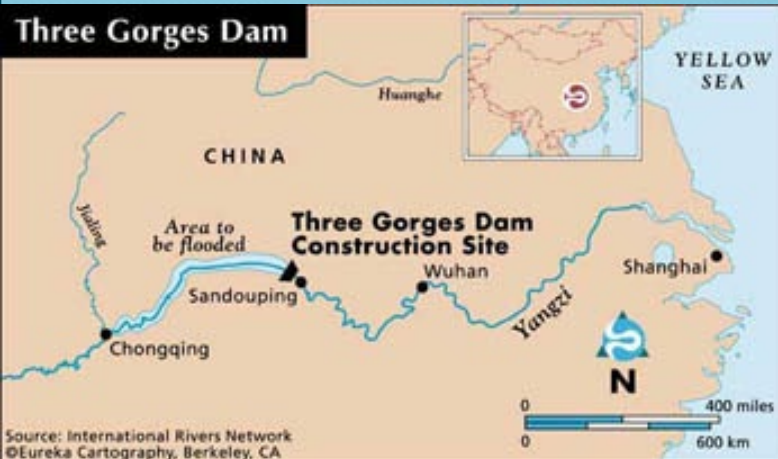
- preseljenje oko 90 000 st.
- preseljenje 20-ak velikih spomenika drevne egipatske civilizacije
- taloženje mulja
- smanjivanje i zaslanjivanje delte
- proizvodnja umjetnih gnojiva



Megaprojekt Tri klanca na rijeci Chang Jiang u Kini



- Chang Jiang (duga oko 6380 km) – kineska “žila kucavica”
- prosj. protok na ušću iznosi $31\,000\text{ m}^3/\text{s}$; ukupan pad 5800 m pa se hidroenergetski potencijal procjenjuje na 288 mil. kW (iskorišteno 6 %)
- dolina rijeke je žitnica Kine (1/2 poljopr. proizv., $\frac{3}{4}$ proizvodnje riže)
- u poriječju živi oko 1/3 stan. Kine; milijunski gradovi

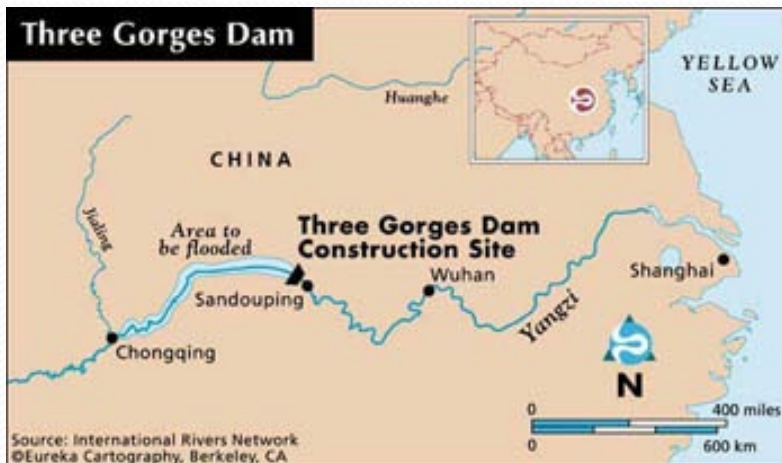


- organizirana je mreža domaćih i međunarodnih stručnjaka
- odabrana je lokacija Tri klanca (kanjona) gdje je rijeka najuža i gdje je hidropotencijal izrazit
- radovi su započeli 1994. a planirani završetak 2009., odgođen za 2011. (prevodnice do 2014.) → od 2008. komercijalni rad
- umjetno jezero zapremine 40 mil. m³ i površine 1045 m², dugo 600 km i široko do 1 km; dubina do 175 m.

Razlozi izgradnje (+):

- obrana od poplava (u poplavama u XX. st. poginulo 300 000 ljudi)
- el. energija – 20300 MW (10 NE ili TE-50 mil. t ugljena) – najveća prema inst. snazi, druga prema god. proizvodnji (HE Itaipu)
 - 7-9 % kineskih potreba za el. energijom
- plovidba – uzvodno će ploviti brodovi do 10 000 BRT (do sada 3 500 BRT)
- navodnjavanje + vodoopskrba (sjever)
- politički (ugled, moć)

...



Službeni podaci uvelike se razlikuju od primjerice podataka međunarodnih organizacija, novinara ili različitih ekoloških i drugih udruga i aktivista što otežava objektivan stav o projektu.

Negativne posljedice:

- preseljeno 1 -2 mil. stan. (oko 140 naselja i 1600 ind. i rudarskih postrojenja) + moguće preseljenje još 500 000 st. Chongquinga
- srednji dio toka rijeke Chang Jiang jedna je od kolijevki (kineske) civilizacije – preseljenje i potapljanje spomenika starih i 6000 g.
- zadržavanjem u jezeru voda mijenja temperaturu i min. sastav
- smanjuje se uloga rijeke koja odvodnjava otpadne vode gradova
- zadržavanje mulja → poljoprivreda → delta (Shanghai)
- pojačana erozija tla uslijed degradacije obala; podzemne vode; klima
- mogućnost reaktivacije rasjedne zone – mogući potresi i destabilizacija brane
- skupoća (službeno oko 30 mlrd \$ - do 100 mlrd \$ neslužbeno) → za 5-8 godina će se isplatiti...
- teroristička meta...??

Hidroenergetski sustav na poriječju rijeke Cetine

- duljina 105 km; poriječje 3700-4300 km²
- od 1960. na rijeci i u njenom poriječju 5 HE, 4 akumulacije, 3 duga hidrotehnička tunela i cjevovoda i dr.

Pozitivni učinci:

- opskrba el. energijom Dalmacije
- hidromelioracija (Sinjsko polje)
- vodoopskrba (primorje i otoci)

Negativni učinci:

- bitno izmijenjen prirodni riječni režim (i režim krških izvora)
- opasnost od rušenja (1991.)



1960./1989./2005. HE Peruća + najveće umjetno jezero u Dalmaciji (13 km²)

- uravnotežila riječni režim
- potopljene su znatne površine obradivog zemljišta (12 km²) → potopljeno 177 stambenih i 200 gosp. objekata
→ preseljeno nekoliko tisuća ljudi (dobili novac ili zemlju)
- promijena mikroklima, geomorfologije
- donijela el. En. Splitskoj regiji – opći interesi pretpost. lokalnim

1962./1981. HE Zakućac + akumulacija Prančevići

- po instal. snazi najveća HE u Hrvatskoj
- zahvati u cijelosti promijenili hidrološki režim donjeg dijela Cetine
- nizvodni dio (40 km) – 100 m³/s → 10 m³/s
+ nepoštivanje biološkog min. od 8 m³/s

Hidroenergija općenito

- nema otpada
- nema potrošnje kisika
- nema emisije CO₂ i dr. polutanata ?
- najmanji proizvođač CO₂
- jeftina i učinkovita energija (90% u odnosu na 50% kod fosilnih goriva)
- mogućnost višenamjenske upotrebe akumulacija (obrana od poplava, navodnjavanje, vodoopskrba, promet, ribarstvo, turizam i rekreacija)
- ovisnost o hidrološkoj situaciji
- akumulacija – plavljenje
- veliko početno ulaganje
- utjecaj na životinjski i biljni svijet (losos, pastrva, šume...)
- promjena temp. vode i mikrostaništa; klima; sedimenti
- pronos sedimenata je na velikim rijekama 20-30 % manji (Nil, Mississippi..)
- utjecaj na podzemne vode i eroziju tla
- terorizam

Velike HE imaju sve više protivnika, kao ekološki prihvatljive predlažu se male HE (u svijetu su to praktički 5-30 MW).

Gradnja na manjim brdskim i planinskim tekućicama, uz minimalne građevinske zahvate čime se smanjuje i mogući utjecaj na okoliš.

Noviji projekti:

HE Novo Virje na Dravi (4 % el.energije) + 1 uzvodna i 3 nizvodne (ukupno 5 nizvodno od ušća Mure u Dravu)

HE Lešće na Gojačkoj Dobri (1 %) → 2010., inst. snaga 42 MW (10x slabije od HE Zakučac); do 100 mil. eura, smanjenje uvoza za 7-8%?

...

Ekspanzija projekata malih i mikro HE u RH – privatna ulaganja!

4-10 HE na Savi kod Zagreba (u Sloveniji na donjoj Savi izgrađeno 5)

Gornji Horizonti (delta Neretve) → HE Dabar 2010.g.

Od 25 najvećih HE projekata u izgradnji danas u svijetu 15 je u Kini, a samo 4 izvan Azije (J. Amerika)

Prijedlozi za ublažavanje negativnih posljedica – izgradnja manjih hidroelektrana (do 10 MW) čime se poništavaju (?) negativni učinci akumulacijskih jezera

Curak, Mrežnica, Krupa... istraži!

Hidrogeotermalna energija

- **Geotermalna energija** = toplina akumulirana u stijenama i fluidima podzemlja kao posljedica zračenja topline iz unutrašnjosti Zemlje – jedan od oblika obnovljive energije → do 10.000 m dubine temp. raste 2-3 °C/100m.
- Može bit petrogeotermalna (akumulirana u stijenama), magmotermalna i hidrogeotermalna (akumulirana u plinovima i tekućoj vodi).
- Odavna se hidrogeotermalna voda koristila u rekreaciji i liječenju (toplice), potom u grijanju, a u suvremeno doba grade se i (hidro)geotermalne elektrane.
- Ležišta geotermalne energije su:
 - Ležišta pregrijane vode (iznad 100 °C) u vodonosnicima pod tlakom, na površinu zbog pada tlaka može izlaziti kao para (t vode u vodonosniku > 170°C)
 - Ležišta vodene pare (rjeđa pojava) u vodonosnicima
 - Vruće suhe stijene (petrogeotermalna) – iskorištavanje utiskivanjem hladne vode u utisnu bušotinu i zahvaćanjem vruće vode ili vodene pare iz eksploatacijske bušotine
 - Ležišta tople vode (umjerene temperature) pod visokim tlakom u vodonosniku koja obično sadrži metan (prati naftna i plinska nalazišta)

Hidrogeotermalna energija

- U svijetu se (2013) proizvodi 11700 MW električne energije iz geotermalnih elektrana
- Usto (2010) 28 GW kapaciteta izravne geotermalne topline instalirano je za potrebe grijanja kućanstava, staklenika i drugih prostora, grijanje bazena, za uzgoj ribe, za industriju, desalinizaciju i dr.
- **Teorijski je dovoljno geotermalne energije za zadovoljavanje svih svjetskih potreba, no glavni problem je da je samo vrlo malen dio moguće profitabilno koristiti.** Izvan prirodno pogodnih prostora (npr na granici tektonskih ploča) eksploatacija bušenjem do velikih dubina je skupa. **Eksploatacija u budućnosti ovisi o tehnološkom napretku i cijenama energenata.**
- Prema IGA (international Geothermal Ass.) geotermalne elektrane je 2010. imalo 24 država s instaliranom snagom od 10715 MW, tj. s godišnjom proizvodnjom od 67246 GWh. Porast u odnosu na 2005. iznosio je 20%.

Hidrogeotermalna energija

Installed geothermal electric capacity

Country	Capacity (MW) 2007 ^[14]	Capacity (MW) 2010 ^[27]	Percentage of national electricity production	Percentage of global geothermal production
United States	2687	3086	0.3	29
Philippines	1969.7	1904	27	18
Indonesia	992	1197	3.7	11
Mexico	953	958	3	9
Italy	810.5	843	1.5	8
New Zealand	471.6	628	10	6
Iceland	421.2	575	30	5
Japan	535.2	536	0.1	5
<u>Iran</u>	250	250		
El Salvador	204.2	204	25	
Kenya	128.8	167	11.2	
Costa Rica	162.5	166	14	
Nicaragua	87.4	88	10	

Hidrogeotermalna energija

- Geotermalna energija također nosi određene probleme
 - Ulaganja mogu biti vrlo velika, a toplinska iskoristivost geotermoelektrane je niska (10-23%) što znači dugotrajniji povrat uložених sredstava
 - Iako je energija obnovljiva potrebno je pratiti iskorištavanje kako ne bi premašivalo lokalni dotok (obnovu) topline
 - Proizvodnja geotermalnih elektrana katkad dovodi do nestabilnosti (pojave supsidencije i potresa)
 - Vruća voda iz podzemlja može sadržavati toksične elemente (npr. živa, arsen, antimon, bor) koji se, iako su prisutni u tragovima, mogu nakupiti u okolišu ako se ohlađena voda ispušta.

Hidrogeotermalna energija

- I u Hrvatskoj se iskorištava geotermalna energija, skromno u odnosu na mogućnosti.
 - Od brojnih potencijalnih mjesta najznačajnija su **Bizovac kod Valpova**, zatim područje između Koprivnice, Ludbrega i Legrada, te jugozapadni **dio Zagreba**. Geotermalno polje kod Bizovca iskorištava se u termama; iz bušotina u Zagrebu proizvodi se geotermalna voda za zagrijavanje Sportsko rekreacijskog centra Mladost.
 - primjer grada Bjelovara – novi centar geotermalne energije u RH (Velika 1 u Cigleni)

Zaključne misli

- za razvoj je potreban stalan i dobar izvor el. energije
- svi izvori energije imaju svoja ograničenja i štetne utjecaje na okoliš
- (negativni) utjecaji na okoliš vidljivi su ponekad u dalekoj budućnosti a ponekad i prije nego se nadamo
- za održivi razvoj potrebna je diverzifikacija izvora energije (plinske TE, biogoriva 2., 3. (alge) i 4. generacije, vjetroelektrane, manje HE – do 30 MW...)
- **osuvremenjivanje sustava proizvodnje i distribucije čime se povećava energetska učinkovitost** → racionalizacija proizvodnje i potrošnje
- potreban je holistički (cjeloviti) pristup planiranju energetske postrojenja (hidroelektrane) koji obuhvaća detaljno snimanje postojećeg stanja, sve aspekte i moguće posljedice izgradnje
- individualan pristup problemu; većim početnim ulaganjem smanjiti buduće negativne posljedice

