

SKLOP 2/POGLAVJE 1 – **Vodna energija**

Osnovne ideje v zvezi s pridobivanjem vodne energije - *Kaj je vodna energija?*

Vodna energija je shranjena v gravitacijski potencialni energiji vodnih rezervoarjev.

$$W_p = mgh$$

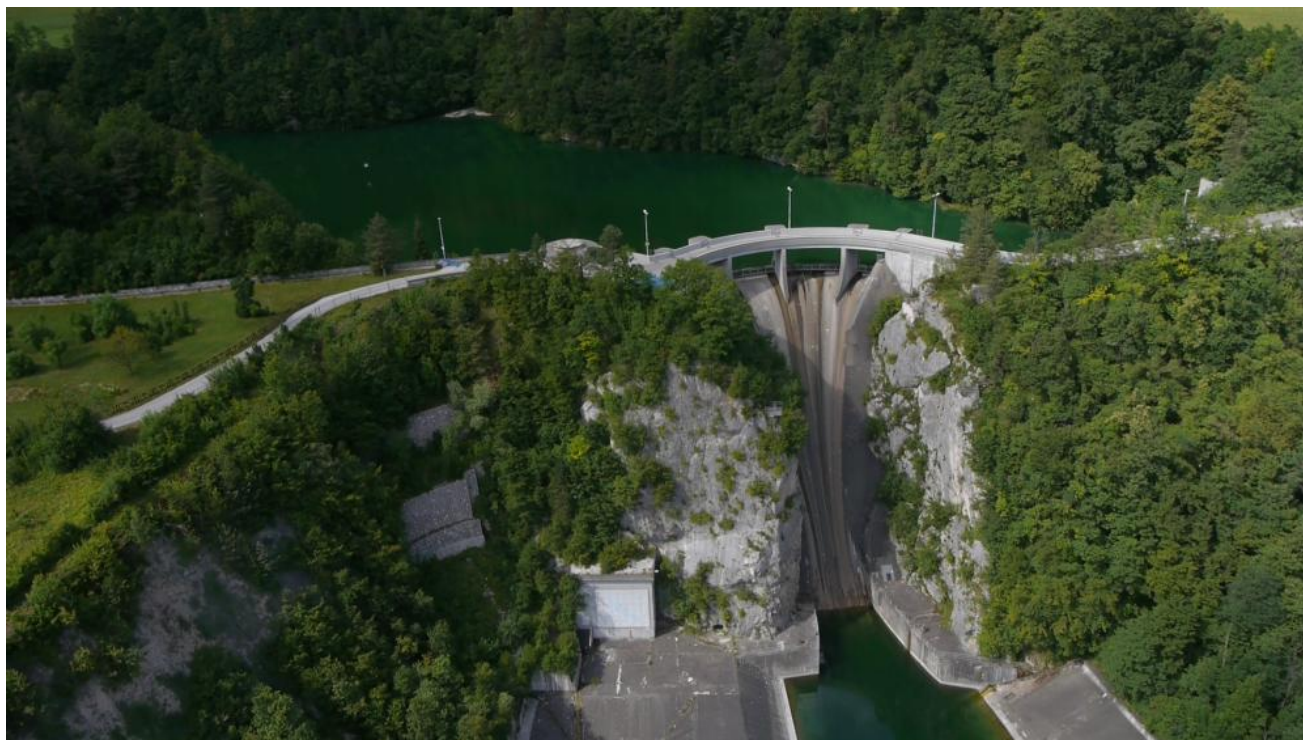
m – masa vodnega rezervoarja

g – gravitacijski pospešek (9.81 m/s²)

h – višina rezervoarja

Vodna energija je **energija tekočih voda**, kar je posledica gibanja **naravnega vodnega kroga**. Vse je posledica sončne energije, ki poganja naravni vodni krog.

Energijo tekoče vode (**kinetično energijo**) nato pretvarjamo v **električno energijo**.



Hidroelektrarna Moste na Savi

Naravni vodni krog

Naravni vodni krog, imenovan tudi **hidrološki cikel**, je proces, pri katerem voda nenehno kroži med Zemljino atmosfero, površjem in podtaljem. Ta cikel vključuje več ključnih faz:

Izhlapevanje (Evaporacija):

- Voda iz oceanov, rek, jezer in tal izhlapeva zaradi sončne energije.
- Izhlapevanje vodi v prehod vode iz tekočega v plinasto stanje (vodno paro).

Transpiracija:

- Rastline skozi svoje liste sproščajo vodo v obliki vodne pare v atmosfero.
- Ta proces, imenovan transpiracija, je del širšega procesa, imenovanega evapotranspiracija.

Kondenzacija:

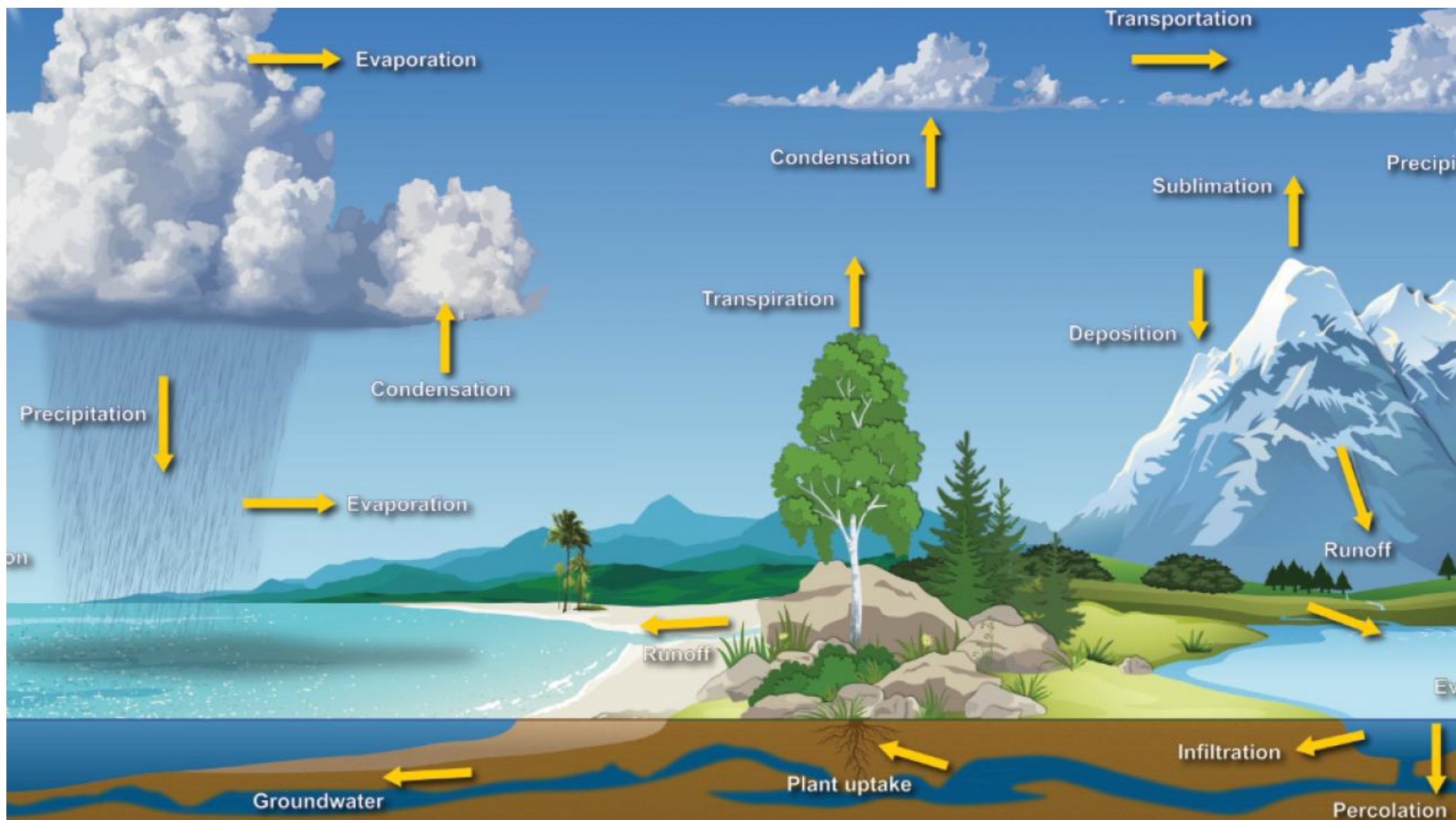
- Vodna para v atmosferi se dviga in hladi, kar povzroča kondenzacijo.
- Kondenzacija vodi do tvorbe oblakov, kjer se vodna para spremeni nazaj v tekoče kapljice.

Padavine (Precipitacija):

- Ko se v oblakih zbere dovolj kondenzirane vode, ta pade nazaj na Zemljo v obliki dežja, snega, toče ali druge oblike padavin.

Odtekanje (Surface Runoff):

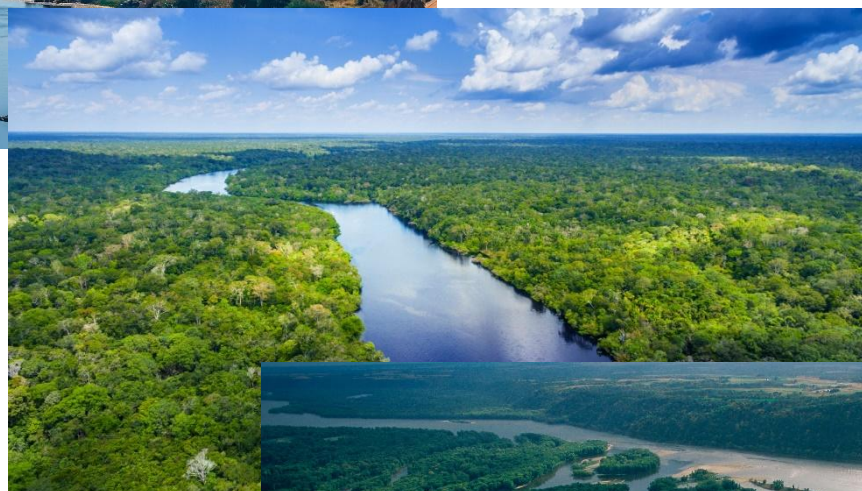
- Voda, ki pade na površje, teče po površini zemlje in se zbira v rekah, jezerih in oceanih.
- Del padavin lahko tudi pronica v tla (infiltracija) in polni podtalnico.



Vodni krog na Zemlji

Najpomembnejše reke na svetu

- *Amazonka*
- *Nil*
- *Misisipi-Misuri*
- *Jangce (Chang Jiang)*
- *Jenisej-Angara-Lena*
- *Mekong*
- *Ganges*
- *Volga*
- *Ren*
- *Parana*
- *Rumena reka (Huang He)*
- *Amur*





Nil



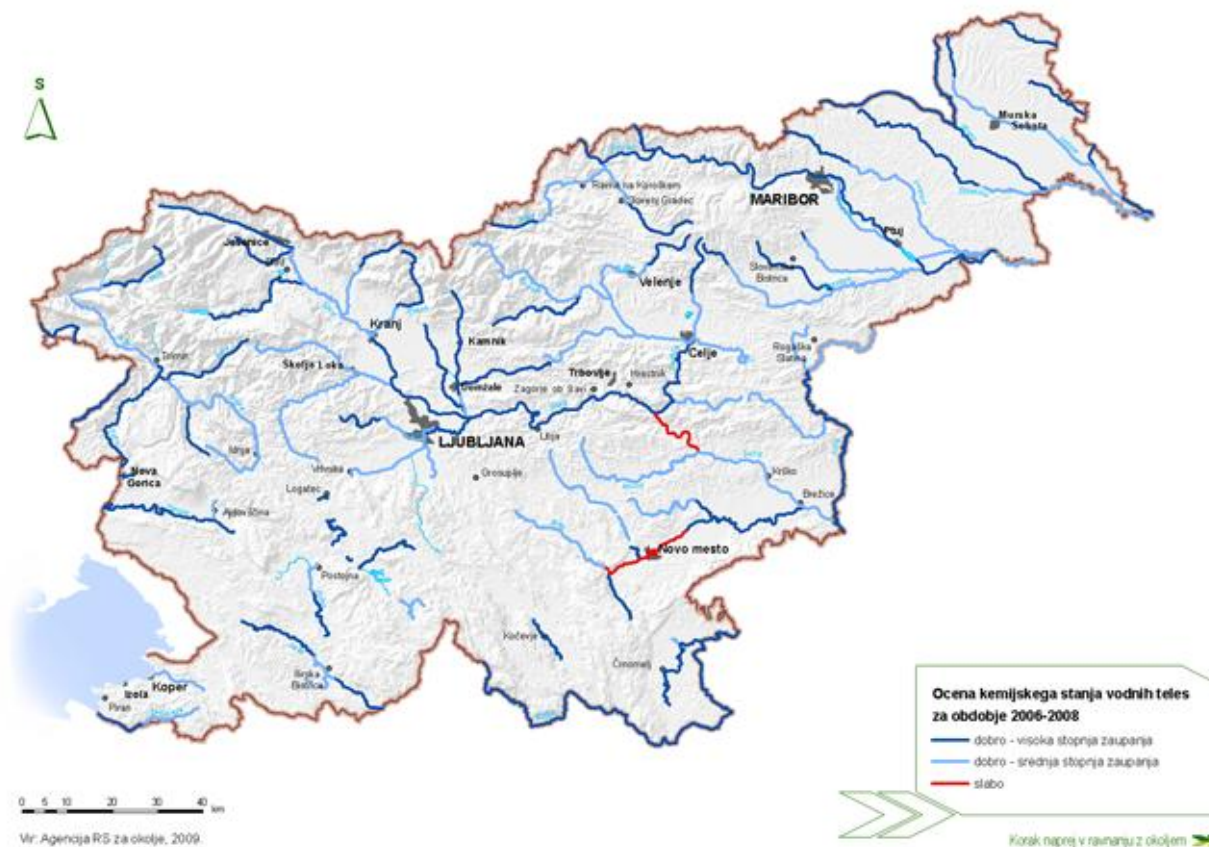
Amazonka



Misisipi

Najpomembnejše reke v Sloveniji so:

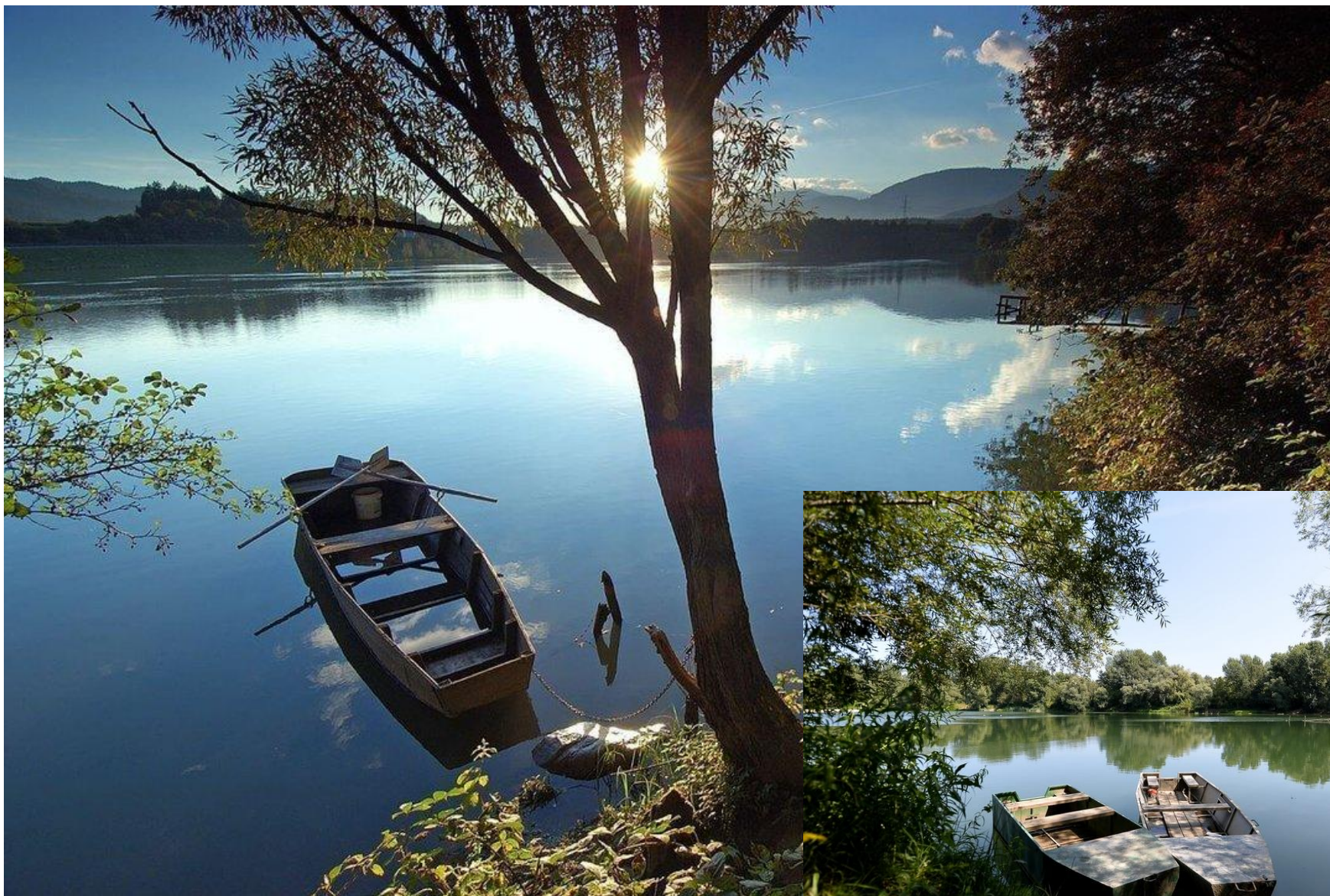
- Sava
- Drava
- Mura
- Soča
- Krka
- Savinja
- Kolpa
- Ljubljanica
- Idrijca
- Radeščica





Sava bohinjka





Drava





Mura





Soča



Savinja

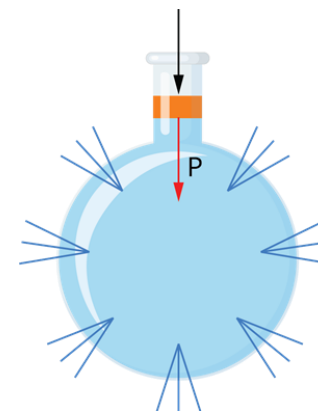
Fizikalni principi pomembni za razumevanje vodne energije

1. Tlak

V mirujoči tekočini tlak opišemo z enačbo: $p(h) = p_0 + \rho gh$

$p_0 = 1013 \text{ mbar}$ je normalni zračni tlak na morski gladini

V globljih delih tekočine je tlak večji zaradi teže tekočine zgoraj.

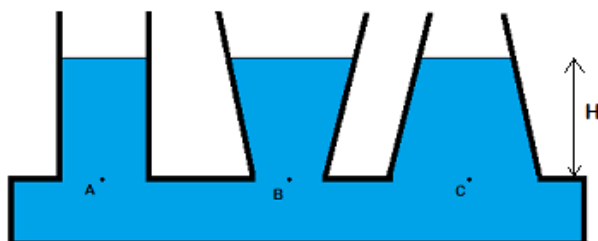


V tekočinah deluje t.i. Pascalov zakon:

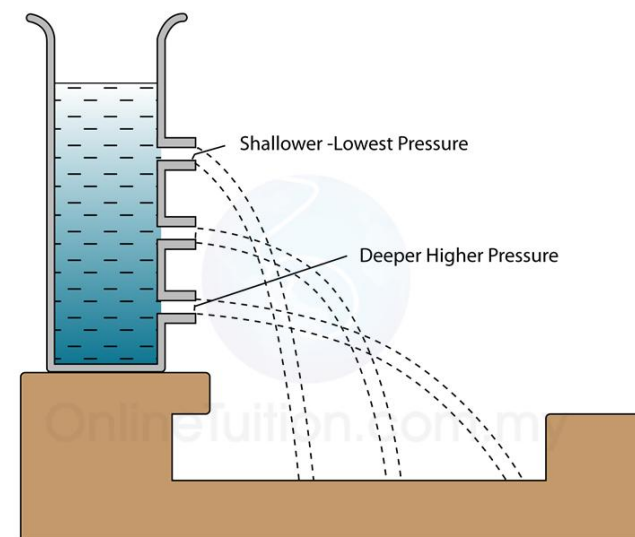
Pascalov zakon, imenovan po francoskem matematiku in fiziku Blaiseu Pascalu, je temeljni zakon hidrostatike, ki opisuje vedenje tekočin v zaprtih sistemih. Ta zakon pravi:

"Tlak, ki ga povzroča zunanja sila na tekočino v zaprti posodi, se enakomerno porazdeli v vse smeri po tekočini."

Pascalov zakon je ključnega pomena za razumevanje mnogih naravnih pojavov in za razvoj tehnologij, ki temeljijo na prenosu tlaka v tekočinah.



hidrostatični paradoks



2. Masni in prostorninski tok

Sprememba mase v enoti časa se imenuje

masni pretok:

$$\Phi_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Sprememba volumna v enoti časa se imenuje

volumski pretok:

$$\Phi_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

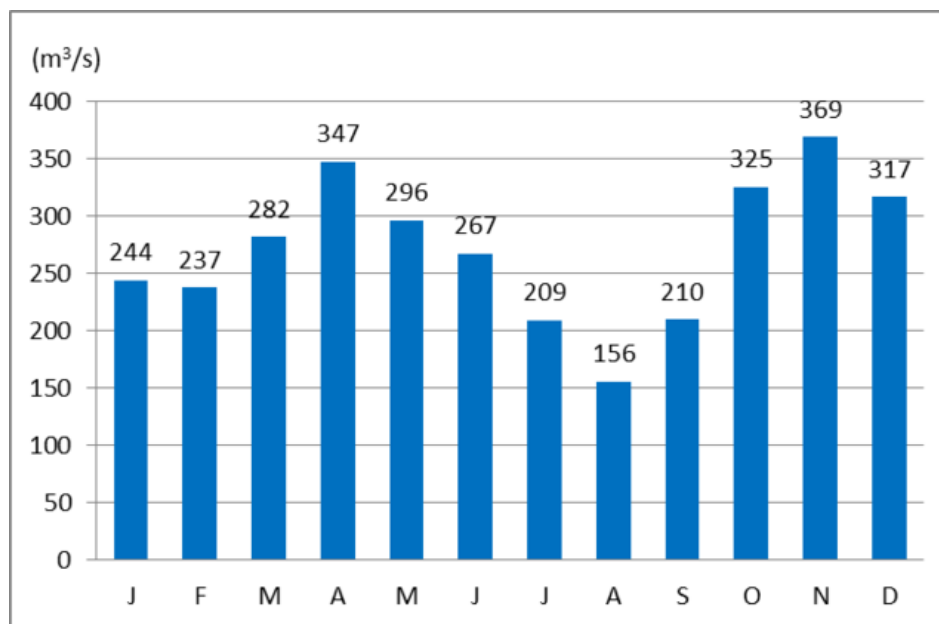
Masni in volumski pretok **sta povezana** z enačbo:

$$\Phi_m = \rho \Phi_v$$

Uporabna je tudi sledeča enačba:

$$\Phi_v = S v$$

Volumski pretok je premo-sorazmeren s presekom in hitrostjo.



Pretok reke Save

3. Delo tlaka

$$\Delta A = F s = p S \Delta s = p \Delta V.$$

$$P = p \frac{\Delta V}{\Delta t} = p \Phi_v.$$

$$p = \rho g h + p_0.$$

Moč je premo-sorazmerna s pretokom in tlakom.

To pomeni, čim večji padec (višino hidroelektrarne) in čim večji pretok.



Hoover dam (Colorado river)



Hidroelektrarna Moste (reka Sava)

4. Bernoullijeva enačba in hitrost iztekanja vode

Povsod v tekočini (na primer v cevi) je gostota energije enaka (Bernoullijeva enačba):

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konst.}$$

Primer:

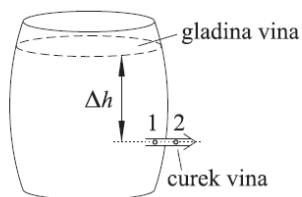
3. V 500 litrskem sodu je vino. V sodu naredimo luknjico, ki je 50 cm pod gladino vina. S kolikšno hitrostjo izteka vino iz soda? Gostota vina je približno enaka gostoti vode.

Podatki:

$$V = 500 \text{ l}$$

$$\Delta h = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m}$$

Vzemimo dve točki na tokovni niti, tako da je ena znotraj, druga pa že zunaj soda:



Zapišimo Bernoullijevo enačbo, v kateri upoštevajmo, da sta točki na isti višini ($h_1 = h_2$):

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Hitrost vina v sodu (točka 1) je neprimerno manjša od hitrosti v curku (točka 2), zato jo lahko zanemarimo ($v_1 = 0$):

$$p_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Tlak p_2 je enak zračnemu tlaku ($p_0 = 1,0$ bara), saj je curek na zraku. Tlak p_1 v točki 1 je za $\Delta p = \rho g \Delta h$ večji od zračnega tlaka. Δh je globina od površine vina do luknjice:

$$p_1 = p_2 + \Delta p = p_2 + \rho g \Delta h$$

To upoštevajmo v enačbi $p_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$:

$$p_2 + \rho g \Delta h = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Okrajšajmo p_2 :

$$\rho g \Delta h = \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Okrajšajmo še gostoto vina in izračunajmo hitrost vina v curku:

$$g \Delta h = \frac{v_2^2}{2}$$

$$v_2^2 = 2g \Delta h$$

$$\begin{aligned} v_2 &= \sqrt{2g \Delta h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,50 \text{ m}} = \\ &= 3,132 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{3,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} \end{aligned}$$



5. Sila curka

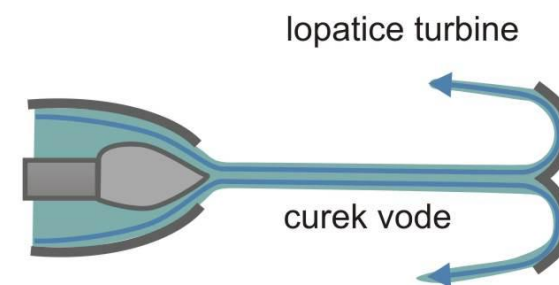
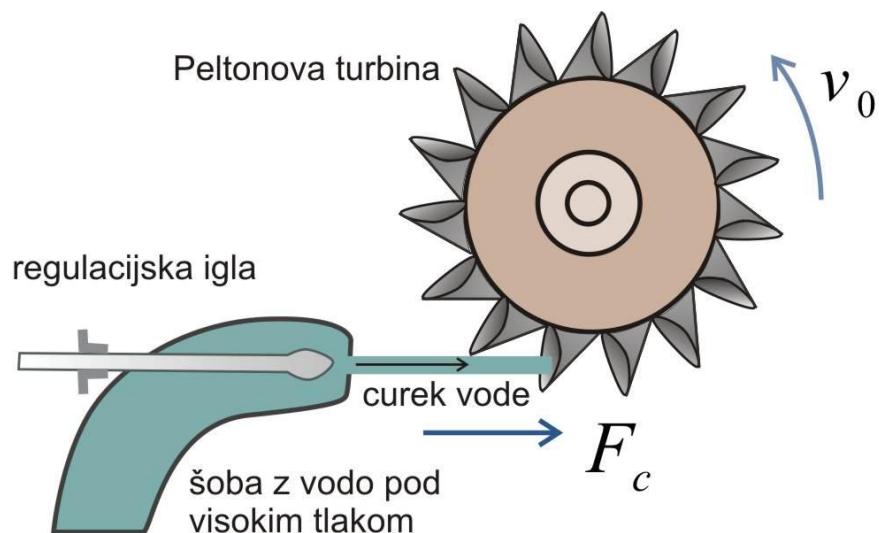
$$F = -\frac{\Delta G}{\Delta t} = -\frac{\Delta m}{\Delta t}(v_k - v_z) = -\Phi_m(v_k - v_z).$$

Če se curek ustavi:

$$F = \Phi_m v_z.$$

Če se curek odbije z isto hitrostjo:

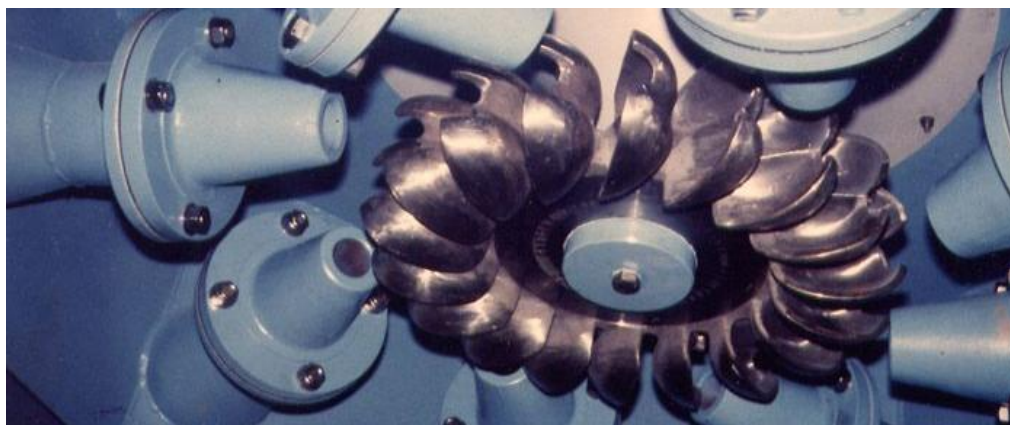
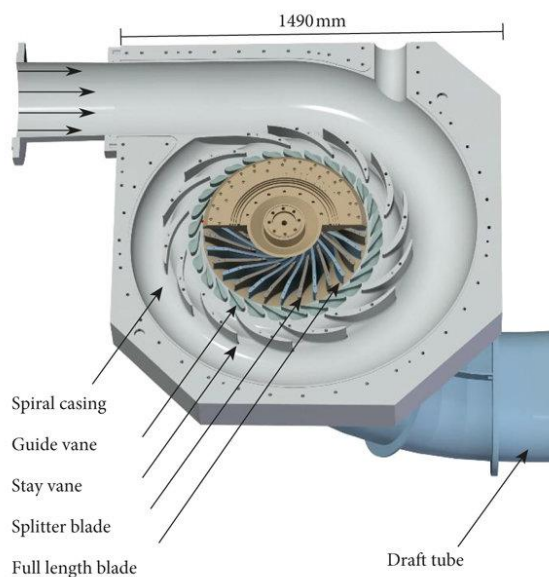
$$F = 2\Phi_m v_z.$$



Vrste turbin

V hidroelektrarnah se uporabljajo različne vrste turbin, odvisno od različnih dejavnikov, kot so pretok vode, padec vode in druge okoliščine. Nekatere pogoste vrste turbin v hidroelektrarnah vključujejo:

- **Francisova turbina:** To je ena najbolj razširjenih vrst turbin v hidroelektrarnah. Primerna je za srednje padce in srednje do visoke pretokovne hitrosti. Francisova turbina je sestavljena iz votlega valja z lopaticami, ki se lahko nastavijo na različne kote, da se prilagodijo različnim pretokom vode.
- **Kapljevska turbina (Peltonova turbina):** Ta vrsta turbine je primerna za visoke padce in nižje pretokovne hitrosti. Deluje na principu uporabe visoke hitrosti curka vode, ki zadene lopatice turbine, kar povzroči vrtenje.
- **Kaplanova turbina:** Kaplanova turbina je primerna za nizke padce in visoke pretokovne hitrosti. Ima nastavljive lopatice, ki omogočajo prilagoditev pretoka vode in učinkovitost turbine glede na trenutne razmere.



Vrste hidroelektrarn

Hidroelektrarne se lahko razvrstijo glede na različne kriterije, kot so **način izrabe vode**, **višina padca vode**, in **tip zaježitve**. Tukaj so glavne vrste hidroelektrarn (glede na način izrabe vode):

Akumulacijske hidroelektrarne:

- **Opis:** Te hidroelektrarne uporabljajo akumulacijske jezera za shranjevanje velike količine vode.
- **Prednosti:** Omogočajo regulacijo pretoka vode in proizvodnje električne energije glede na povpraševanje.
- **Primeri:** Jezovi na rekah, ki ustvarjajo velike rezervoarje.

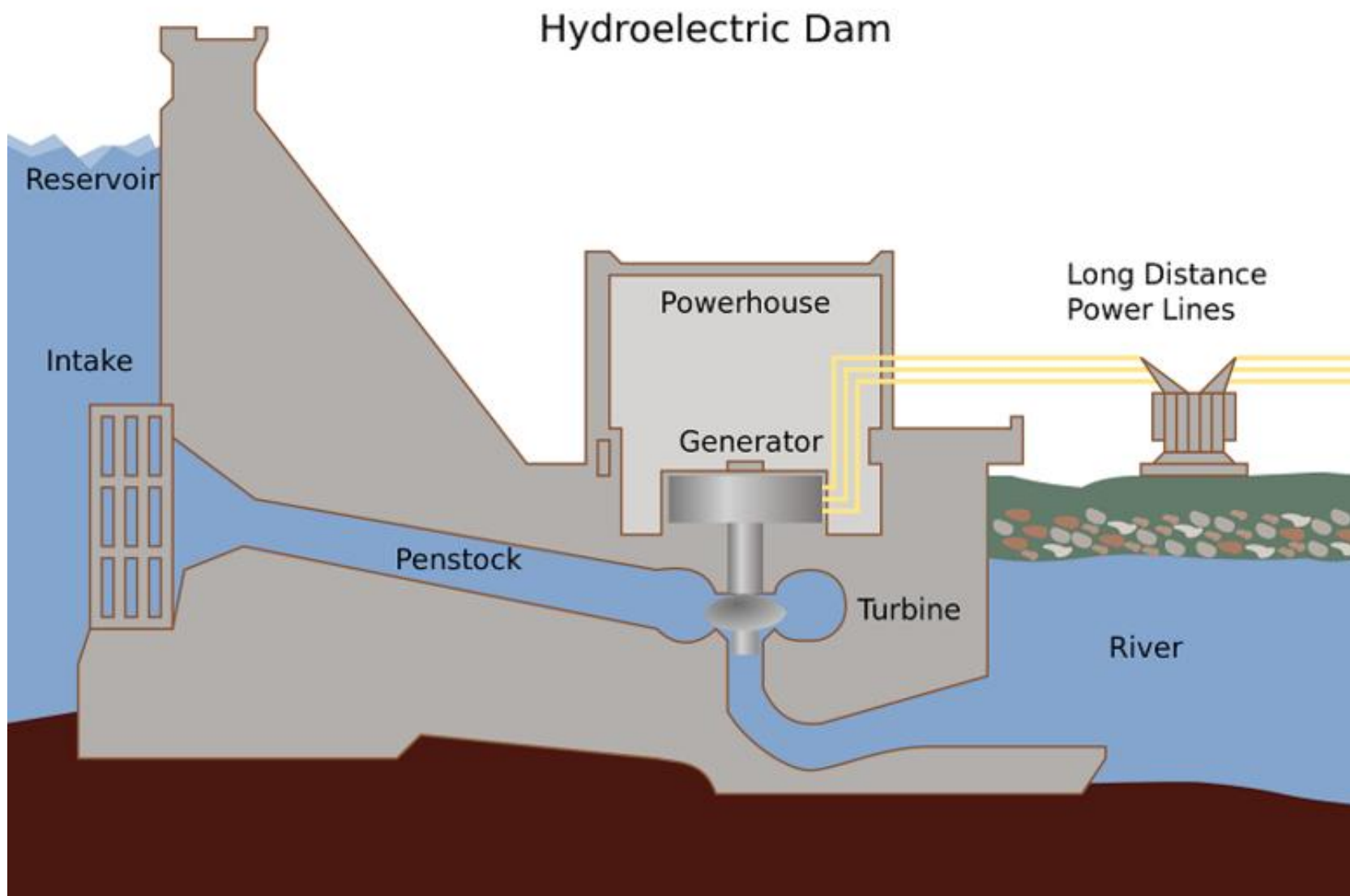
Pretočne hidroelektrarne:

- **Opis:** Te hidroelektrarne nimajo velikih akumulacijskih jezer, temveč izkoriščajo neprekinjen tok vode iz rek.
- **Prednosti:** Manjši vpliv na okolje, stalna proizvodnja energije.
- **Primeri:** Manjše rečne hidroelektrarne, ki izkoriščajo stalne tokove rek.

Črpalne hidroelektrarne:

- **Opis:** Te hidroelektrarne črpajo vodo iz nižjega v zgornji rezervoar v času nizkega povpraševanja po energiji in jo spuščajo nazaj skozi turbine v času visokega povpraševanja.
- **Prednosti:** Omogočajo shranjevanje energije in uravnavanje omrežja.
- **Primeri:** Hidroelektrarne s črpalnimi sistemi.

Osnovna zgradba hidroelektrarn



Zgradba hidroelektrarn vključuje več ključnih komponent, ki skupaj omogočajo izkoriščanje potencialne in kinetične energije vode za proizvodnjo električne energije. Tukaj je osnovna struktura hidroelektrarn:

- **Jez (Dam):** Ustvarjanje akumulacijskega bazena, ki shranjuje vodo in ustvarja potreben padec. Masiven betonski ali zemeljski nasip, ki zadržuje vodo.
- **Akumulacijski bazen (Reservoir):** Shranjevanje vode za kontinuirano ali sezonsko proizvodnjo energije. Določa količino vode, ki jo lahko jez zadrži.
- **Vodni vhod (Intake):** Dovajanje vode iz akumulacijskega bazena v dovodno cev. Opremljen s filtri in rešetkami za preprečevanje vstopa naplavin.
- **Dovodna cev (Penstock):** Preusmerjanje vode iz akumulacijskega bazena v turbino. Običajno jeklo ali beton, visoke tlačne odpornosti.
- **Turbina (Turbine):** Pretvorba kinetične energije vode v mehansko energijo. Francisova, Peltonova ali Kaplanova turbina, odvisno od padca in pretoka vode.
- **Generator (Generator):** Pretvorba mehanske energije iz turbine v električno energijo. Rotorski in statorski del, ki generirata električni tok.
- **Odtok (Tailrace):** Odvajanje izkoriščene vode nazaj v reko ali spodnji rezervoar. Kanal, ki odvaja vodo stran od turbine.
- **Transformatorji (Transformers):** Povečanje napetosti proizvedene električne energije za prenos na daljavo. V bližini elektrarne za takojšnjo obdelavo električnega toka.
- **Električni prenosni sistem (Transmission System):** Prenašanje proizvedene električne energije do porabnikov. Visokonapetostni daljnovodi in distribucijski sistemi.
- **Nadzorna stavba (Control Building):** Nadzor in upravljanje delovanja hidroelektrarne. Vključuje nadzorne plošče, računalniške sisteme in komunikacijske naprave.

Akumulacijske Hidroelektrarne

Kaj so akumulacijske hidroelektrarne?

Hidroelektrarne, ki uporabljajo akumulacijska jezera za shranjevanje velike količine vode.

Voda se zbira v rezervoarju, običajno ustvarjenem z jezom na reki.

Ključne značilnosti:

- **Akumulacijski rezervoarji:** Velika jezera, ki omogočajo shranjevanje vode.
- **Jezovi:** Strukture za zadrževanje vode in ustvarjanje padca.
- **Turbine in generatorji:** Pretvorijo potencialno energijo vode v električno energijo.
- **Zmožnost regulacije:** Omogoča prilagajanje pretoka vode glede na potrebe po energiji.

Prednosti:

- **Regulacija pretoka:** Omogoča stabilno proizvodnjo energije tudi ob neenakomernih pretokih rek.
- **Proizvodnja ob vrhuncih povpraševanja:** Omogoča shranjevanje vode in njeno sproščanje, ko je povpraševanje po energiji največje.
- **Dolga življenjska doba:** Robustna infrastruktura z dolgo življenjsko dobo in nizkimi stroški vzdrževanja.

Primeri:

- **Hooverjev jez (ZDA):** Znamenita akumulacijska hidroelektrarna na reki Kolorado.
- **Hidroelektrarna Itaipu (Brazilija/Paragvaj):** Ena največjih hidroelektrarn na svetu, ki proizvaja ogromne količine električne energije.



Hoover dam (Colorado river)

<https://www.youtube.com/watch?v=8cBQJnA7U1g>

<https://www.youtube.com/watch?v=EE29Hw-MFAY>

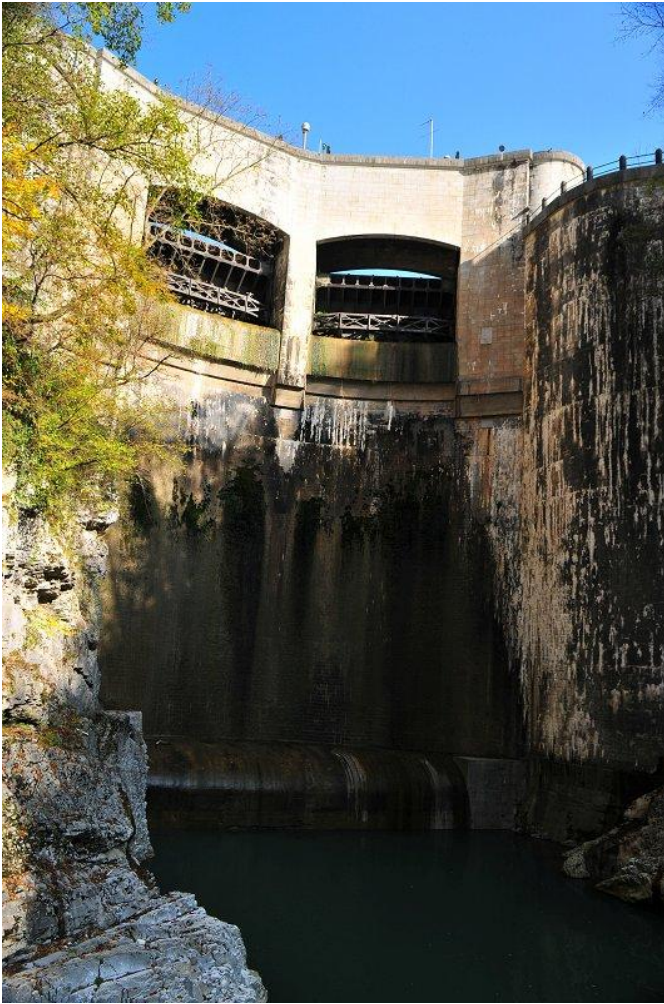


Itaipu (Brazilija/Paragvaj)

Hidroelektrarna Moste: na reki Savi pri Žirovnici. Prva slovenska akumulacijska hidroelektrarna, zgrajena leta 1952. Ima velik akumulacijski bazen in pomembno prispeva k proizvodnji električne energije v Sloveniji.



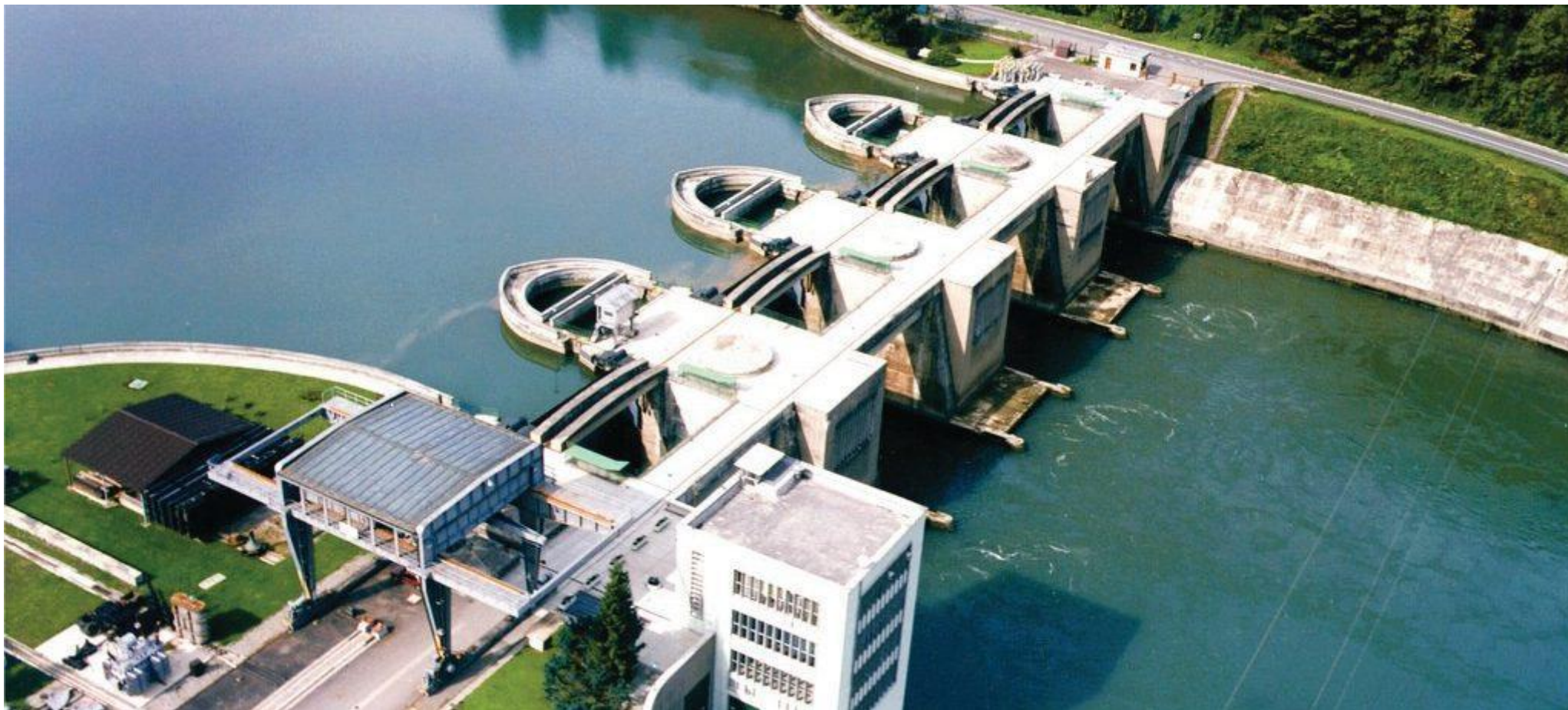
Hidroelektrarna Doblar: na reki Soči. Sestavljena iz dveh delov (Doblar I in Doblar II). Akumulacijski bazen omogoča uravnavanje pretoka vode za proizvodnjo električne energije.



Hidroelektrarna Plave: na reki Soči. Sestavljena iz dveh delov (Plave I in Plave II). Je ena izmed pomembnih hidroelektrarn na reki Soči z akumulacijskim bazenom.



Hidroelektrarna Vuhred: na reki Dravi. Del Dravske verige hidroelektrarn, ki vključuje več akumulacijskih jezer in jezov vzdolž reke Drave.



Hidroelektrarna Zlatoličje: na reki Dravi. Največja hidroelektrarna na reki Dravi v Sloveniji. Ima velik akumulacijski bazen, ki omogoča regulacijo pretoka in proizvodnje energije.



Hidroelektrarna Formin: Na reki Dravi. Del sistema hidroelektrarn na Dravi. Akumulacijski bazen omogoča učinkovito proizvodnjo električne energije in regulacijo pretoka.



Pretočne Hidroelektrarne

Kaj so pretočne hidroelektrarne?

Hidroelektrarne, ki izkoriščajo neprekinjen tok vode iz rek brez večjih akumulacijskih jezer. Proizvodnja električne energije je odvisna od trenutnega pretoka reke.

Ključne značilnosti:

- **Neprekinjen tok vode:** Izrabljajo naravni pretok reke brez večjih zajezev.
- **Enostavna zasnova:** Manjša infrastruktura v primerjavi z akumulacijskimi hidroelektrarnami.
- **Nizki padci:** Pogosto se uporabljajo na rekah z manjšimi padci.
- **Ekološki vidik:** Manjši vpliv na okolje in ekosisteme.

Prednosti:

- **Manjši vpliv na okolje:** Minimalno spreminjanje rečnega ekosistema in manjša potreba po premestitvi lokalnih prebivalcev.
- **Stalna proizvodnja:** Zagotavlja neprekinjeno proizvodnjo električne energije, primerno za osnovno obremenitev.
- **Nižje stroške gradnje:** Manjša infrastruktura pomeni nižje začetne investicijske stroške.

Primeri:

- **Hidroelektrarna Solkan (Slovenija):** Izkorišča pretok reke Soče z minimalnim akumulacijskim bazenom.
- **Hidroelektrarna Blanca (Slovenija):** Manjša pretočna hidroelektrarna na reki Savi.

Hidroelektrarna Krško: na reki Savi. Pomembna pretočna hidroelektrarna, ki izkorišča stalni tok reke Save za proizvodnjo električne energije.



Hidroelektrarna Brežice: na reki Savi. Ena najnovejših hidroelektrarn na reki Savi, ki prav tako deluje kot pretočna hidroelektrarna, zagotavljajoč pomemben del obnovljive energije za slovensko omrežje.



Hidroelektrarna Blanca: na reki Savi. Pomembna pretočna hidroelektrarna, ki uporablja tok reke Save brez večjih akumulacijskih bazenov.



Hidroelektrarna Vrhovo: na reki Savi. Pomemben člen v verigi hidroelektrarn na reki Savi, ki zagotavlja stabilno proizvodnjo električne energije.



Hidroelektrarna Boštanj: na reki Savi. Del verige pretočnih hidroelektrarn na Savi, ki skupaj prispevajo k večji stabilnosti in zanesljivosti slovenskega elektroenergetskega sistema.



Črpalne Hidroelektrarne

Kaj so črpalne hidroelektrarne?

Hidroelektrarne, ki delujejo kot hranilniki energije.

Črpajo vodo iz nižjega v zgornji rezervoar v času nizkega povpraševanja po energiji in jo spuščajo nazaj skozi turbine v času visokega povpraševanja.

Ključne značilnosti:

- Dva rezervoarja: Zgornji in spodnji rezervoar, povezana s črpalno-turbinami.
- Dvofunkcijski sistem: Delujejo kot črpalke za shranjevanje energije in kot turbine za proizvodnjo električne energije.
- Regulacija energije: Omogoča shranjevanje presežkov energije in uravnavanje elektroenergetskega omrežja.

Prednosti:

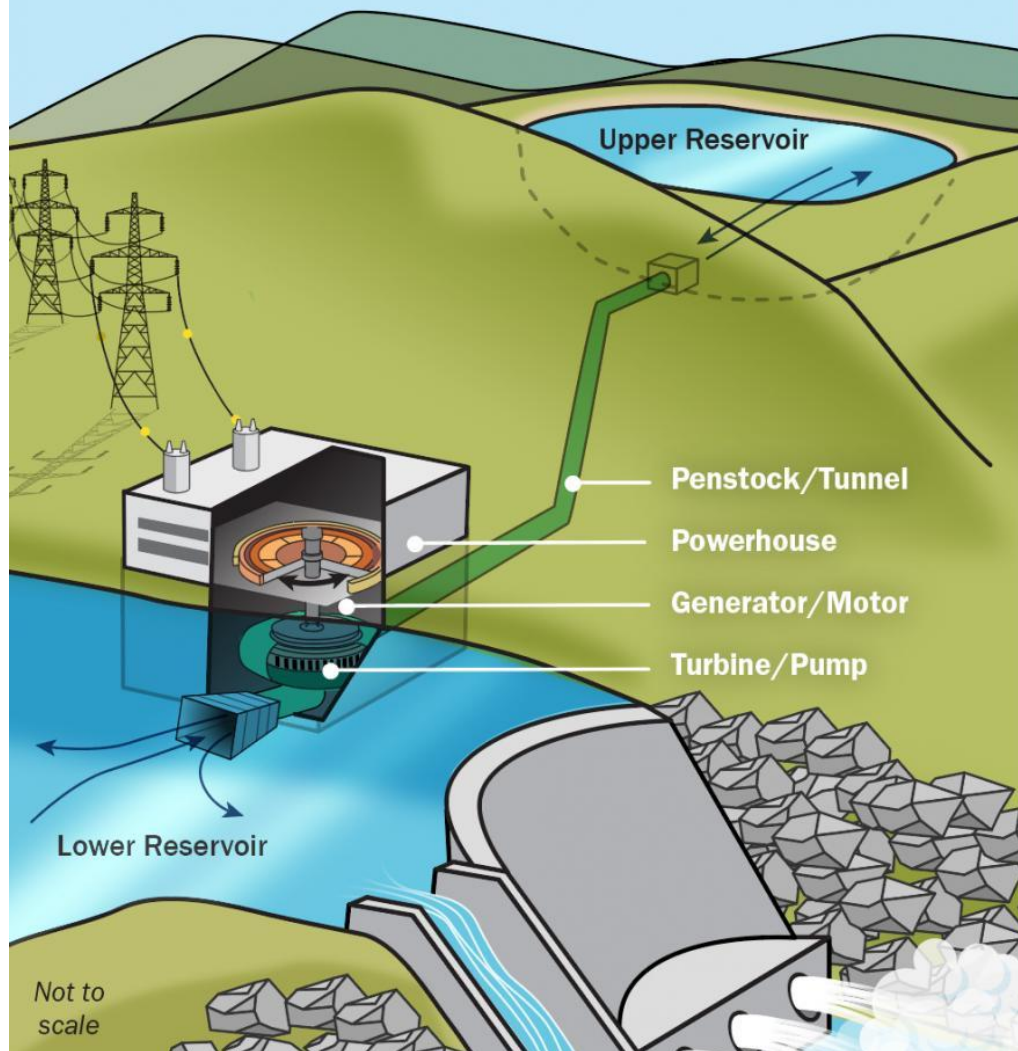
- Shranjevanje energije: Omogoča shranjevanje presežkov energije iz drugih virov (npr. sončne in vetrne elektrarne).
- Stabilizacija omrežja: Prispeva k stabilnosti elektroenergetskega omrežja z uravnavanjem proizvodnje in porabe energije.
- Hitro odzivanje: Zmožnost hitrega preklopa med črpanjem in proizvodnjo energije glede na potrebe omrežja.

Primeri:

- Črpalna hidroelektrarna Avče (Slovenija): Prva črpalna hidroelektrarna v Sloveniji, ki prispeva k uravnavanju slovenskega elektroenergetskega omrežja.
- Črpalna hidroelektrarna Kozjak (v načrtovanju): Načrtovana črpalna hidroelektrarna, ki bo povečala kapacitete shranjevanja energije v Sloveniji.

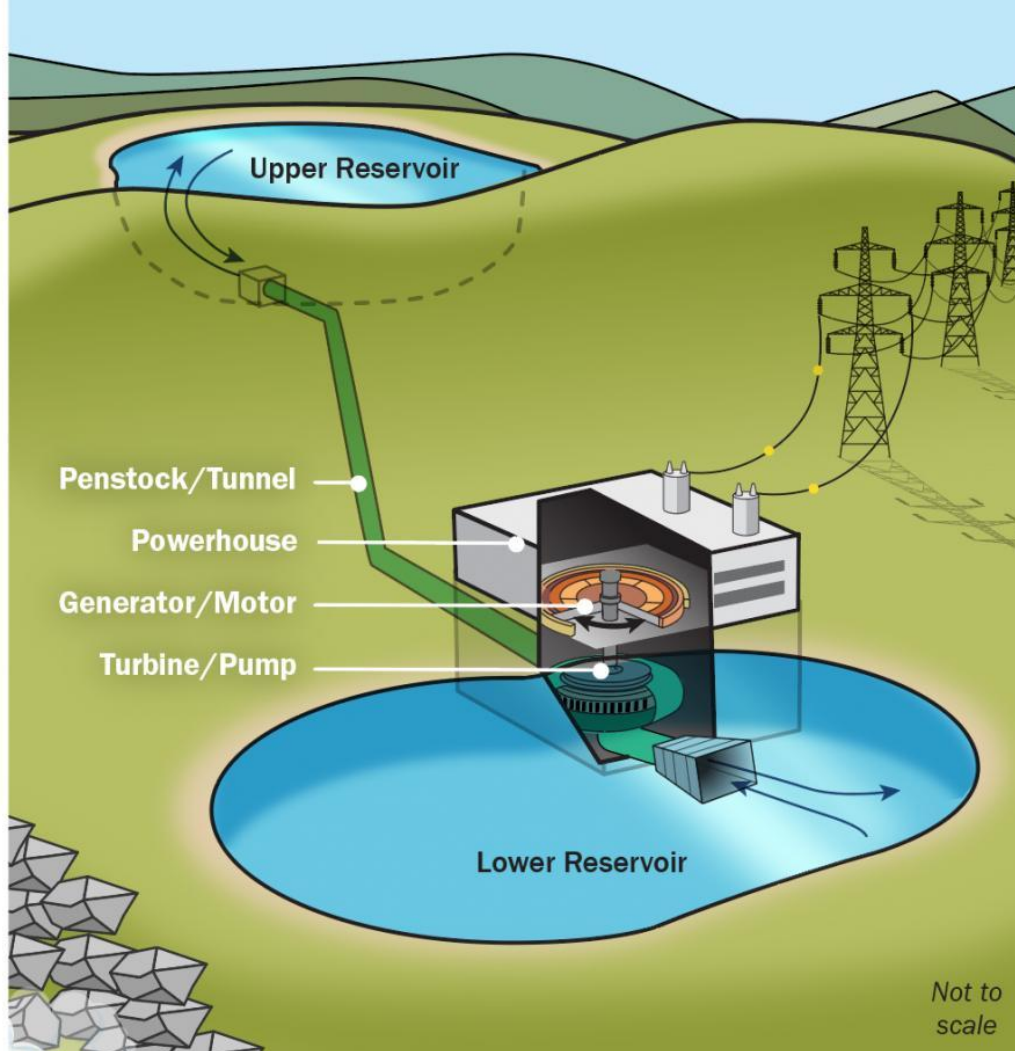
OPEN-LOOP PUMPED-STORAGE HYDROPOWER

Projects that are continuously connected to a naturally flowing water feature



CLOSED-LOOP PUMPED-STORAGE HYDROPOWER

Projects that are not continuously connected to a naturally flowing water feature



Črpalna hidroelektrarna Avče: na reki Soči blizu Tolmina. Prva in trenutno edina delujoča črpalna hidroelektrarna v Sloveniji, zgrajena leta 2009. Ima zgornji rezervoar, ki se nahaja na planoti nad Avčami, in spodnji rezervoar na reki Soči. Kapaciteta je 185 MW.

Vloga: Pomembna za uravnavanje slovenskega elektroenergetskega omrežja, saj omogoča shranjevanje presežkov energije in njihovo sproščanje v obdobjih povečanega povpraševanja.



Koncept malih hidroelektrarn

Kaj so male hidroelektrarne?

- Male hidroelektrarne (MHE) so hidroelektrarne z majhno zmogljivostjo, običajno do 10 MW.
- Namenjene so proizvodnji električne energije za lokalne skupnosti ali posamezne objekte, pogosto v odročnih ali ruralnih območjih.
- Lahko so pretočne ali akumulacijske, odvisno od specifičnih pogojev na lokaciji.

Prednosti malih hidroelektrarn:

- Manjša infrastruktura pomeni manjši poseg v naravno okolje.
- Omogočajo lokalno proizvodnjo električne energije, zmanjšujejo potrebo po dolгих prenosnih omrežjih.
- Izkoriščajo obnovljiv vir energije in prispevajo k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov.
- Nizki obratovalni stroški po začetni investiciji.

Kdo jih lahko gradi?

- **Posamezniki in podjetja:** Lastniki zemljišč ob vodotokih, kmetije, podjetja in zasebniki, ki želijo vlagati v obnovljive vire energije.
- **Lokalne skupnosti:** Občine ali lokalne skupnosti, ki želijo povečati energetska neodvisnost in trajnostni razvoj.
- **Energetska podjetja:** Specializirana podjetja za obnovljive vire energije ali večja energetska podjetja, ki želijo razširiti svojo ponudbo z majhnimi, lokalnimi projekti.

Kje jih lahko gradimo?

- Na vodotokih z zadostnim pretokom vode in ustreznim padcem.
- Na že obstoječih jezovih ali pregradah, kjer se lahko izkoristi obstoječe vodne vire.
- Na lokacijah, kjer je oskrba z električno energijo iz glavnega omrežja težavna ali draga.
- Na kmetijah, ki želijo uporabiti vodo za proizvodnjo energije poleg namakanja ali drugih potreb.

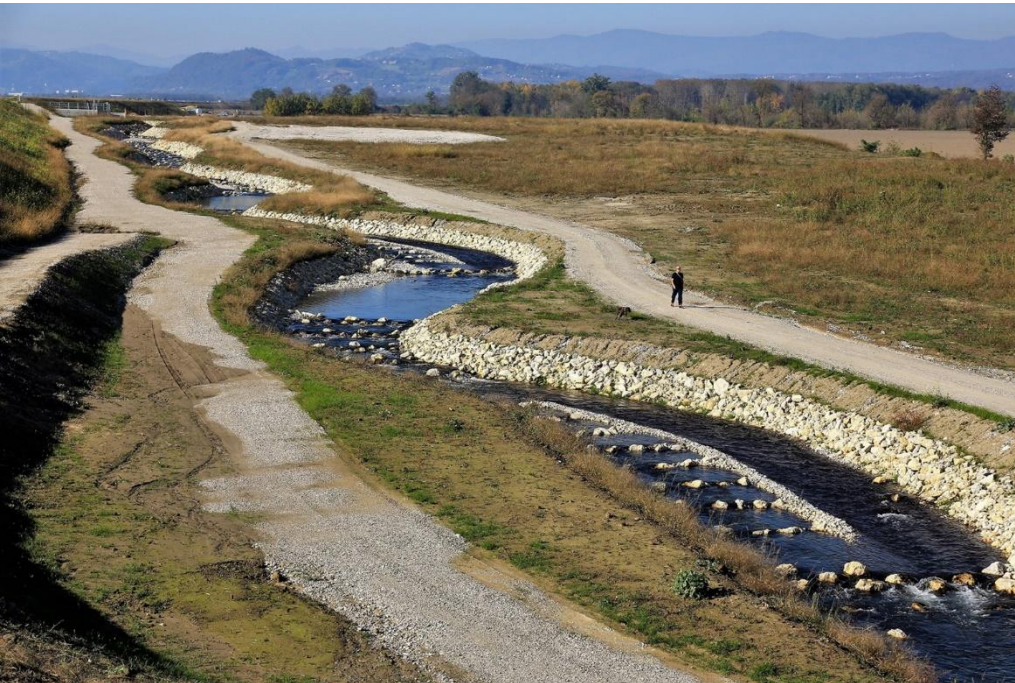
Regulativa in dovoljenja:

- **Pridobitev dovoljenj:** Gradnja malih hidroelektrarn zahteva različna dovoljenja in soglasja, vključno z okoljskimi dovoljenji, vodnimi soglasji, gradbenimi dovoljenji in soglasji lokalne skupnosti.
- **Okoljski vplivi:** Treba je izvesti presojo vplivov na okolje, da se zagotovi minimalen vpliv na ekosisteme in naravno okolje.
- **Skladnost z zakonodajo:** Gradnja in obratovanje morata biti v skladu z nacionalnimi in lokalnimi predpisi ter standardi za hidroenergetske projekte.



Ukrepi za zmanjšanje negativnih vplivov hidroelektraren

- **Ribje steze:** Gradnja ribjih stez in prehodov za migracijo rib lahko pomaga omiliti vpliv jezov na migracijske poti.
- **Okoljski monitoring:** Stalen nadzor kakovosti vode, sedimentov in populacij organizmov lahko pomaga pri zgodnjem odkrivanju in obvladovanju okoljskih vplivov.
- **Obnovitveni projekti:** Ukrepi za obnovo degradiranih habitatov lahko pomagajo omiliti negativne vplive gradnje hidroelektrarn.
- **Trajnostno načrtovanje:** Skupna načrtovanja z vključevanjem okoljskih strokovnjakov in lokalnih skupnosti lahko pomagajo doseči bolj trajnostne rešitve.



Ribja steza Arto-Blanca ob HE Mavčiče (Sava)



Ribja steza ob HE Brežice

ZAKLJUČKI: Prednosti in slabosti izkoriščanja vodne energije

Prednosti izkoriščanja vodne energije

- Je obnovljiv vir energije (zelena energija),
- pri malih HE dodatni zaslužek za zasebnike,
- ni izpusta CO₂,
- poplavna varnost je večja,
- dolga življenjska doba elektrarn,
- umirimo tok reke,
- poceni električna energija,
- nova delovna mesta,
- nizki stroški obratovanja.

Slabosti izkoriščanja vodne energije

- Velik poseg v okolje,
- uničena rečna struga,
- uničene kmetijske površine,
- uniči se biodiverziteteta (manj rastlinskih in živalskih vrst),
- uniči se življenjsko okolje za živali in rastline,
- draga investicija,
- prihaja do usedanja mulja pred zapornice,
- motena pot ribam,
- nekoliko se poveča temperatura vode,
- vizualno se poslabša izgled okolja.

