

11.11.2010

VODA

KOT ENERGETSKI VIR

SEMINAR PRI PREDMETU JEDRSKA TEHNIKA IN ENERGETIKA

FAKULTETA ZA METEMATIKO IN FIZIKO
UNIVERZA V LJUBLJANI

MENTOR: IZR. PROF. IZTOK TISELJ

Slika: Hidroelektrarna Ožbalt, Vir: <http://www.hse.si>

IZDELAL: KLEMEN AMBROŽIČ

HIDROENERGETSKI POTENCIAL V SLOVENIJI

Vodotok	Bruto potencial (GWh/leto)	Tehnično izkoristljiv potencial (GWh/leto)	Izrabljen potencial (GWh/leto)	Delež izrabe
Sava z Ljubljanico	4134	2794	512	18,5%
Drava	4301	2896	2833	97,8%
Soča z Idrijco	2417	1442	491	34,0%
Mura	928	690	0	0%
Kolpa	310	209	0	0%
Ostali vodotoki	7350	1114	284	25,5%
Skupaj	19440	9145	4125	45,1%

Celotna inštalirana moč v Sloveniji: 890MW (Vir : <http://www.hse.si>)
Produkcija slovenskih hidroelektrarn: 5,65kWh/dan/prebivalca

Vir: <http://www.geateh.si>

ENERGETSKI POTENCIAL SLOVENSКИH REK



DELEŽ PROIZVODNJE ELEKTRIKE PO PANOGAH

Za leto 2009

	Skupaj			Proizvajalci po glavni dejavnosti		Samoproizvajalci		Male HE ²⁾
	skupaj	elektrarne	TE-TO	elektrarne	TE-TO	elektrarne	TE-TO	
SKUPAJ								
Proizvodnja na generatorju	16397	11041	5356	10771	5087	90	269	180
Lastna poraba	1041	432	609	431	584	0	25	1
Proizvodnja na pragu	15356	10609	4747	10341	4503	89	243	179
Dejanska moč objektov (MW)	2989	2117	872	2001	812	15	60	100
Hidroelektrarne								
Proizvodnja na generatorju	4018	4018	-	3758	-	80	-	180
Lastna poraba	59	59	-	58	-	0	-	1
Proizvodnja na pragu	3959	3959	-	3700	-	80	-	179
Dejanska moč objektov (MW)	1028	1028	-	913	-	14	-	100
Termoelektrarne								
Proizvodnja na generatorju	6107	751	5356	741	5087	10	269	-
Lastna poraba	682	73	609	73	584	0	25	-
Proizvodnja na pragu	5425	678	4747	668	4503	10	243	-
Dejanska moč objektov (MW)	1295	423	872	422	812	1	60	-
Jedrsko elektrarna								
Proizvodnja na generatorju	6273	6273	-	6273	-	-	-	-
Lastna poraba	301	301	-	301	-	-	-	-
Proizvodnja na pragu	5972	5972	-	5972	-	-	-	-
Dejanska moč objektov (MW)	666	666	-	666	-	-	-	-

Vir: <http://www.stat.si>

KAJ ZAJEMA

HIDROELEKTRARNE

- Konvencionalne
- Pretočne
- Črpalne
- Plimske
 - Zaježitvene
 - Morski tok

Rance plimska elektrarna (Francija)



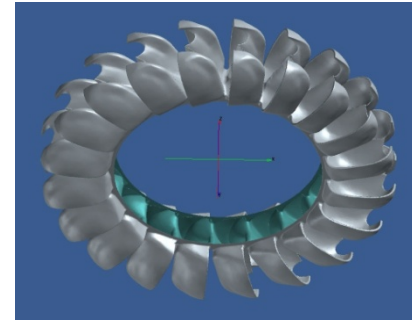
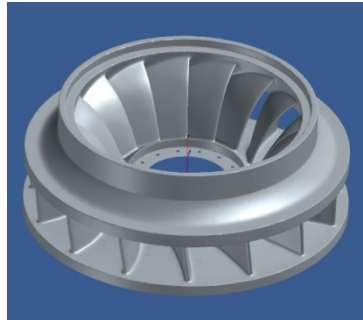
Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_barrage

KAKO DOBITI ENERGIJO IZ VODE

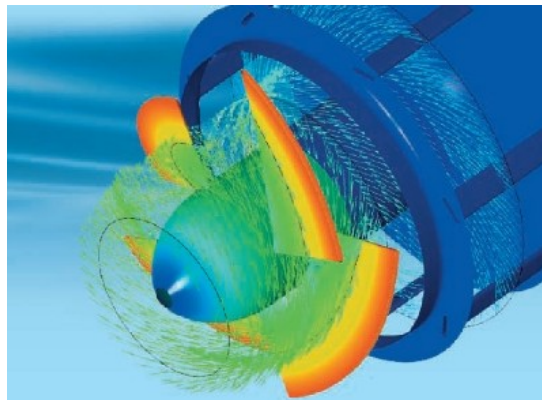
Mehansko energijo -> Električna energija

Glavni tipi vodnih turbin:

- Francisova
- Peltonova
- Kaplanova
- Bankijeve



Vir: <http://www.capture3d.com/TRITOP-app-quality-turbines-3Dmeasure.html>



Vir: <http://www.varspeedhydro.com/kaplan.html>

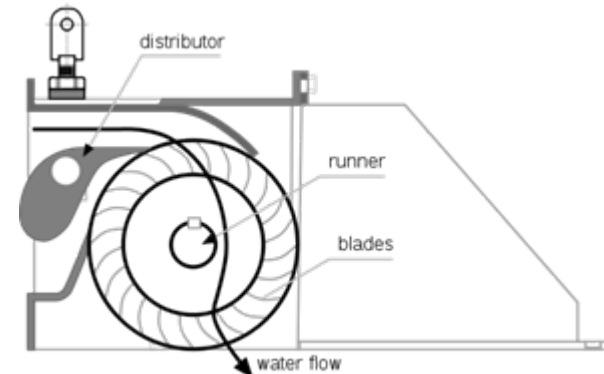
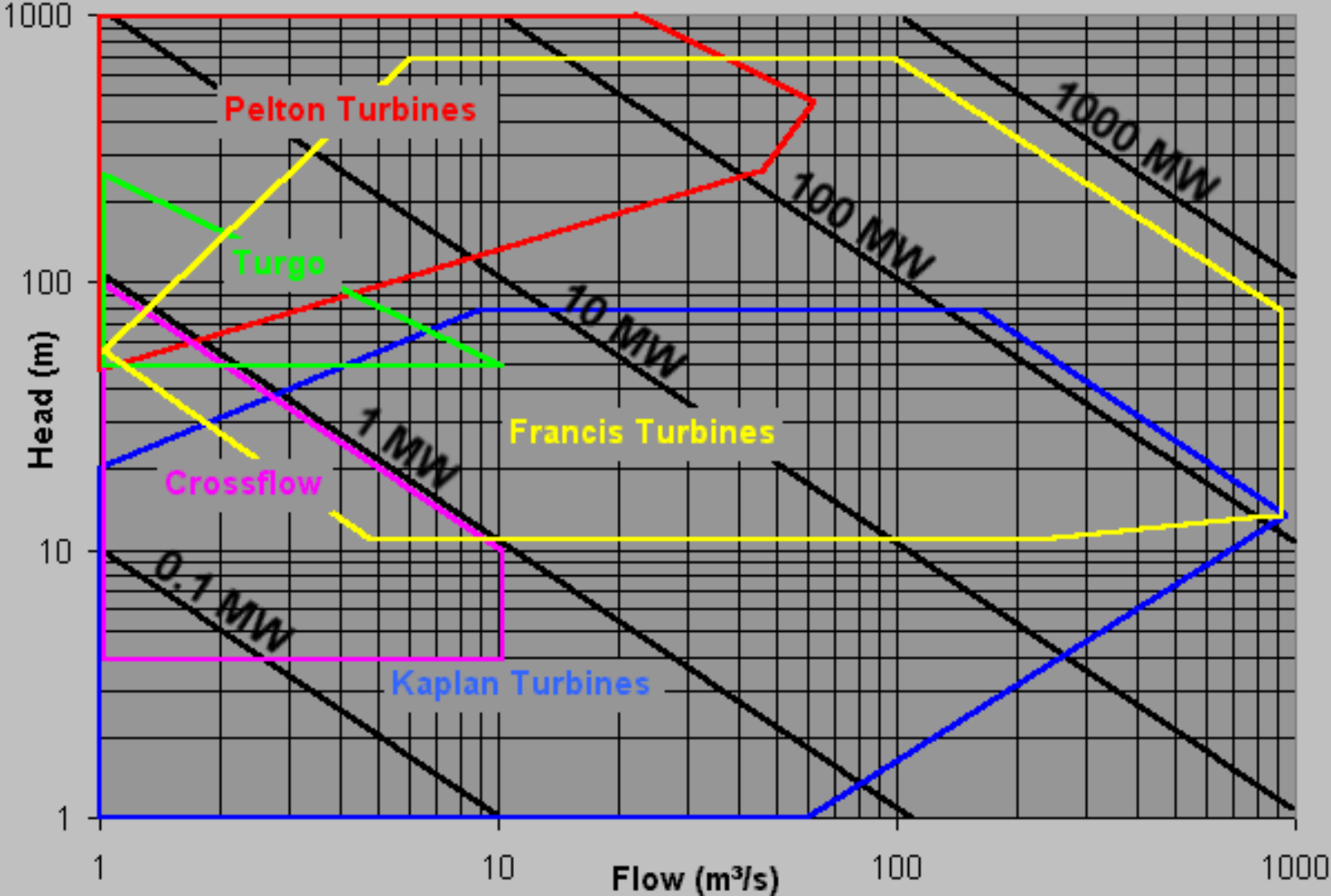


figure 6.7

Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/Cross-flow_turbine

Turbine Application Chart



Vir: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Water_Turbine_Chart.png

KONVENCIONALNE HIDROELEKTRARNE

Hidroelektrarna Moste



Vir: <http://www.sel.si>

Vir: <http://www.civilengineeringschools.org/>

- Zajezone velike količine vode.
- Delujejo na principu višinske razlike in pretoka.
- Imajo veliko shranjevalno kapaciteto

Hidroelektrarna Treh sotesk (Chi)



PRETOČNE HIDROELEKTRARNE

- Delujejo predvsem na principu pretoka.
- Imajo manjšo shranjevalno kapaciteto:
slabše kritje konic.
- Bolj okolju prijazne

Chief Joseph Dam (USA)



Vir: <http://www.cbr.washington.edu>

Pretočno akumulacijska elektrarna He Boštanj



Vir: <http://www.he-ss.si/he-bostanj.html>

La Grande-1 (Can)



Vir: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:LG1.jpg>

ČRPALNE HIDROELEKTRARNE

Črpalna HE Avče



Vir: http://www.seng.si/mma_bin.php?id=2008100713222714

- Imajo akumulacijsko moč.
- Pokrijejo konice porabe.
- Del energije se porabi za črpanje.

Jez Grande Dixence (Ch)



Vir: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/26/GrandeDixence.jpg>

PLIMSKE HIDROELEKTRARNE

- Zajezitvene
 - Veliki jezovi.
 - Majhno število primernih mest.
- Pretočne
 - Analogne vetrnim elektrarnam.
 - Majhen vpliv na okolje.
 - Velik potencial.
 - Še vedno povečini v razvojni fazi.

Zajezitvena plimska HE Annapolis Royal Generating Station (Can)



Vir: <http://marinas.com>

Pretočna plimska HE podjetja Marine Current Turbines pri projektu Sea Gen (GB)



Vir: <http://www.marineturbines.com>

KLASIFIKACIJA PO VELIKOSTI

Tip	Izhodna moč P
Pico	$5\text{kW} < P$
Micro	$5\text{kW} < P < 100\text{kW}$
Male	$100\text{kW} < P < 10\text{MW}$
Velike	$10\text{MW} < P$

- Manjše (Pico) elektrarne so predvsem pomembne za odročna območja.
- Mikro elektrarne so rentabilne na nekdanjih mlinih, žagah, ipd.
- Predvsem v kategorijah pico in micro se uporablja Bankijeva turbina.

Pico HE (Tasmania)



Vir: http://www.tasmanenergy.com.au/wind_generator.html

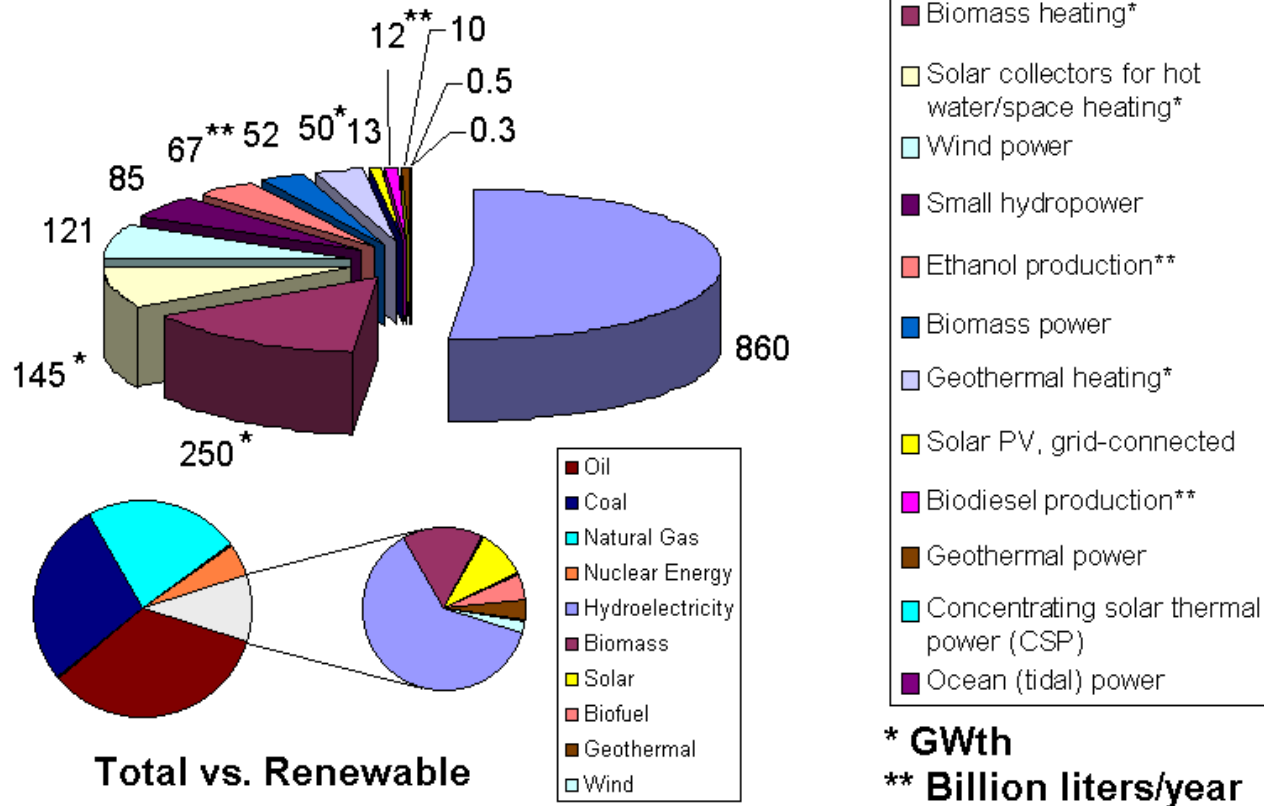
Mala HE Soteska



Vir: <http://www.gorenjske-elektrarne.si>

DELEŽ ENERGIJE IZ HIDROIZRABE

Renewable energy, end of 2008 (GW)

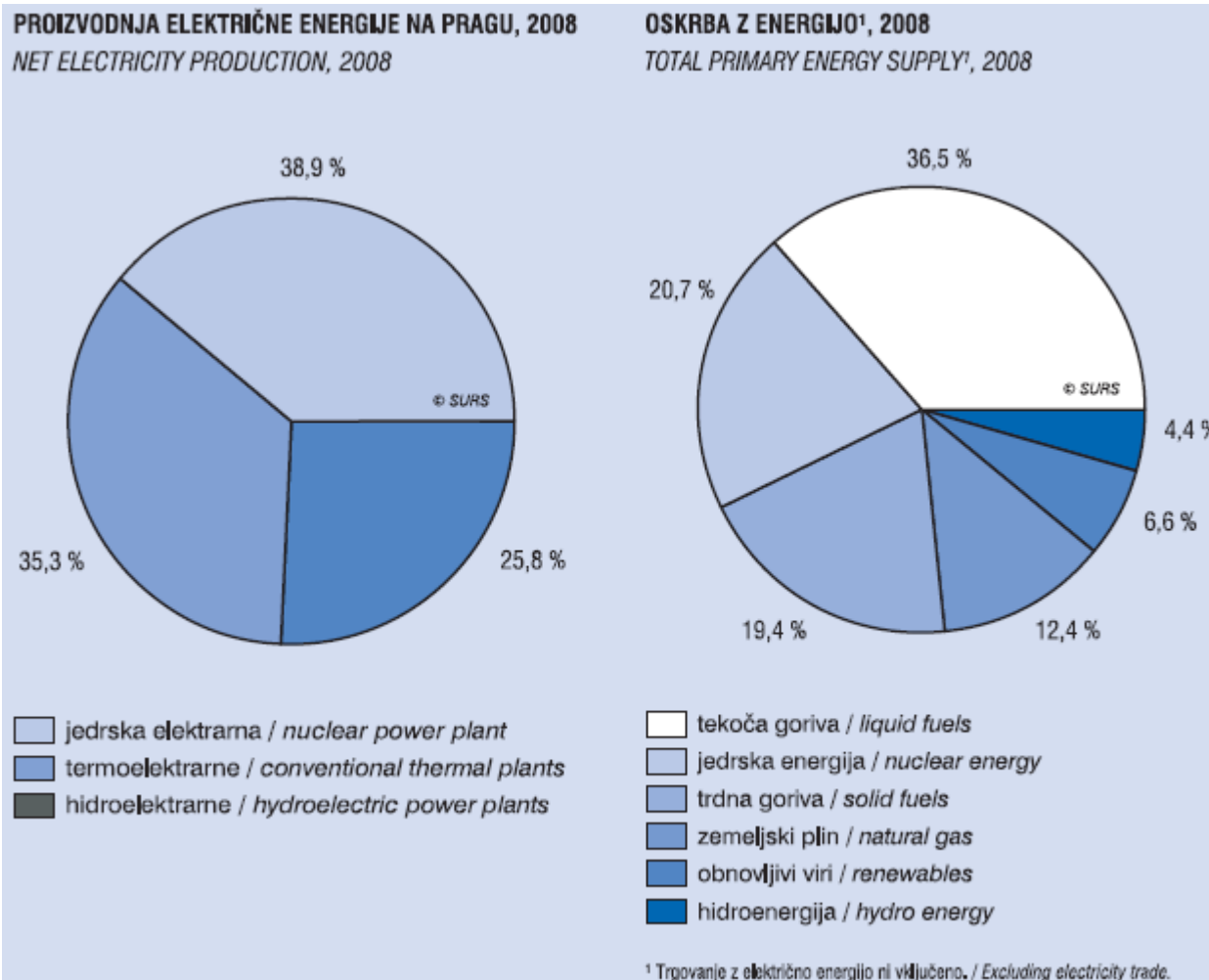


NAJVEČJE SVETOVNE HIDROELEKTRARNE

	Ime	Država	Leto izgradnje	Skupna kapaciteta (MW)	Maksimalna letna proizvodnja(TWh)	Poplavljeno območje(km ²)
1	Three Gorges Dam	Kitajska	2008/2011	18,300 (oktober 2008); 22,500 (ko bo končana)	80.8	632
2	Itaipu	Braziliya, Paragvaj	1984/1991/2003	14,000	94.7	1,350
3	Guri (Simón Bolívar)	Venezuela	1986	10,200	46	4,250
4	Tucuruí	Braziliya	1984	8,370	21	3,014
5	Grand Coulee	ZDA	1942/1980	6,809	20	
6	Sayano Shushenskaya (17.8. 2009 ustavljena)	Rusija	1985/1989	6,400	26.8	621
7	Krasnoyarskaya	Rusija	1972	6,000	20.4	2,000
8	Robert-Bourassa	Kanada	1981	5,616		
9	Churchill Falls	Kanada	1971	5,429	35	6,988
10	Longtan Dam	Kitajska	2009	4,900 (6,300 ko bo končana)	18.7	

Vir: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_hydroelectric_power_stations

HIDROIZRABA V SLOVENIJI



Vir; <http://www.stat.si/letopis>

SLOVENSKE HIDROELEKTRARNE

- Dravske elektrarne
- Soške elektrarne
- Hidroelektrarne na spodnji Savi
- Savske hidroelektrarne

Družba, v katero spadajo prve tri skupine elektrarn

hse

Holding Slovenske elektrarne d.o.o.

Vir: <http://www.hse.si/>

Savske hidroelektrarne



Vir: <http://www.sel.si/>

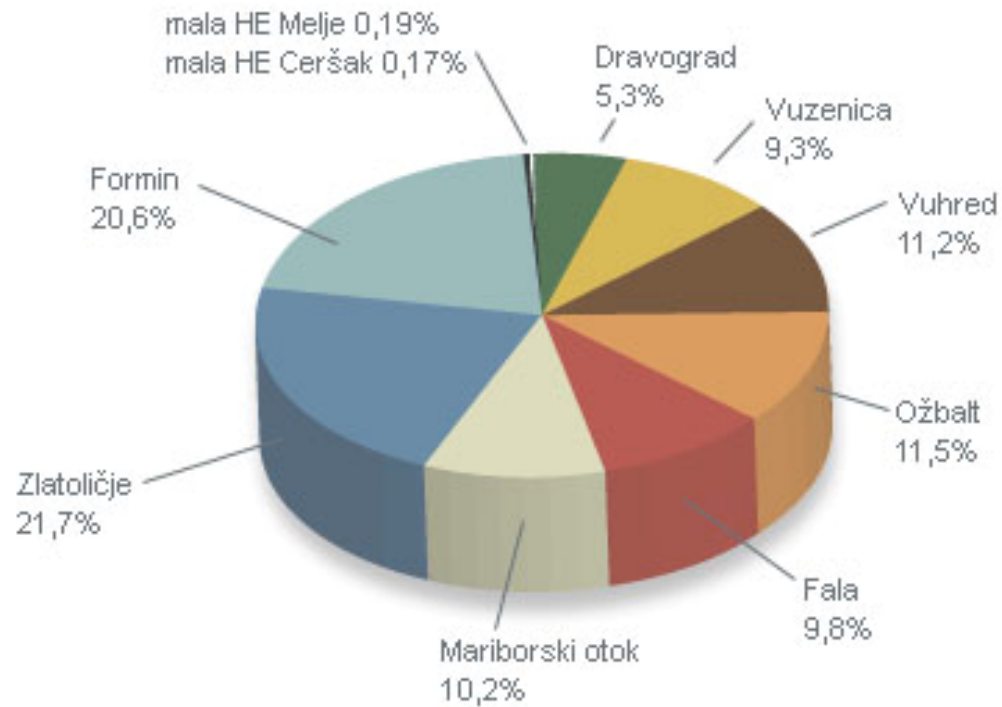
DRAVSKE HIDROELEKTRARNE

HE	Št. agregatov	Moč na pragu	Nazivna moč generatorjev	Inštaliran pretok Q [m ³]
Dravograd	3	25 MW	36 MVA	450
Vuzenica	3	56 MW	78 MVA	550
Vuhred	3	72 MW	90 MVA	550
Ožbalt	3	73 MW	90 MVA	550
Fala	3	58 MW	74 MVA	550
Mariborski otok	3	60 MW	78 MVA	550
Zlatoličje	2+1	114MW + 1MW*	148MVA + 1 MVA	450 + 10
Formin	2	116 MW	148	500

* Upoštevana MHE na Jezu Melje 1 MW

Vir: <http://www.dem.si>

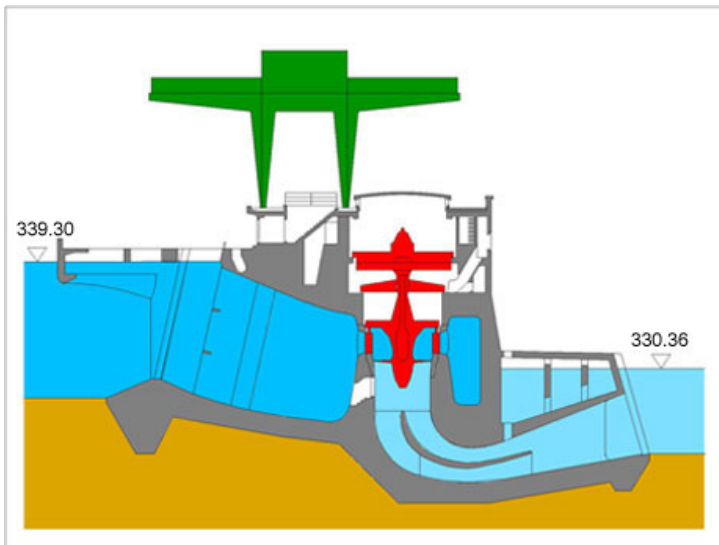
Povprečni delež posamezne elektrarne v skupni proizvodnji DEM



Vir: <http://www.dem.si>

DRAVOGRAD

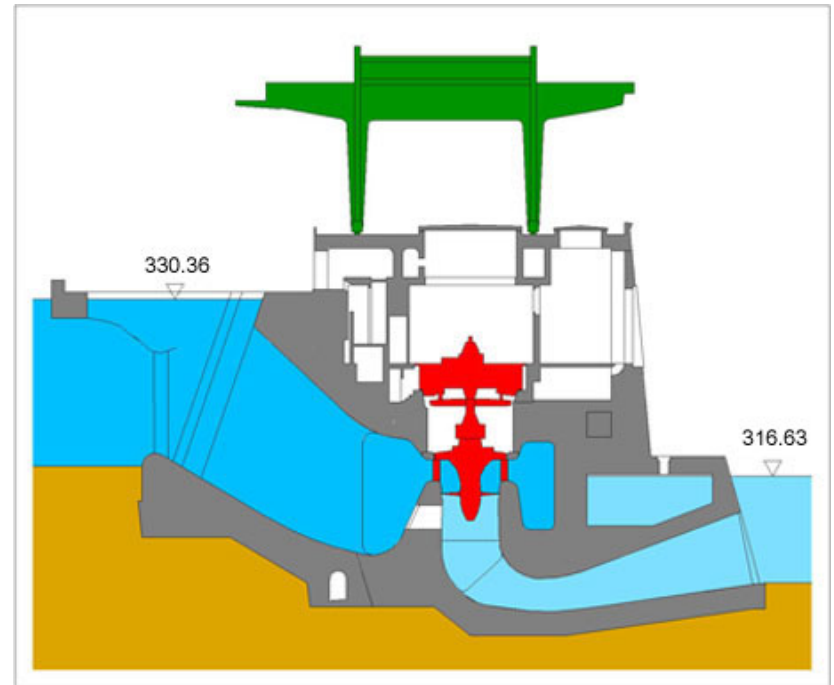
Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m ³ /s)
142	26	3	36	420



Vir: <http://www.hse.si/>

VUZENICA

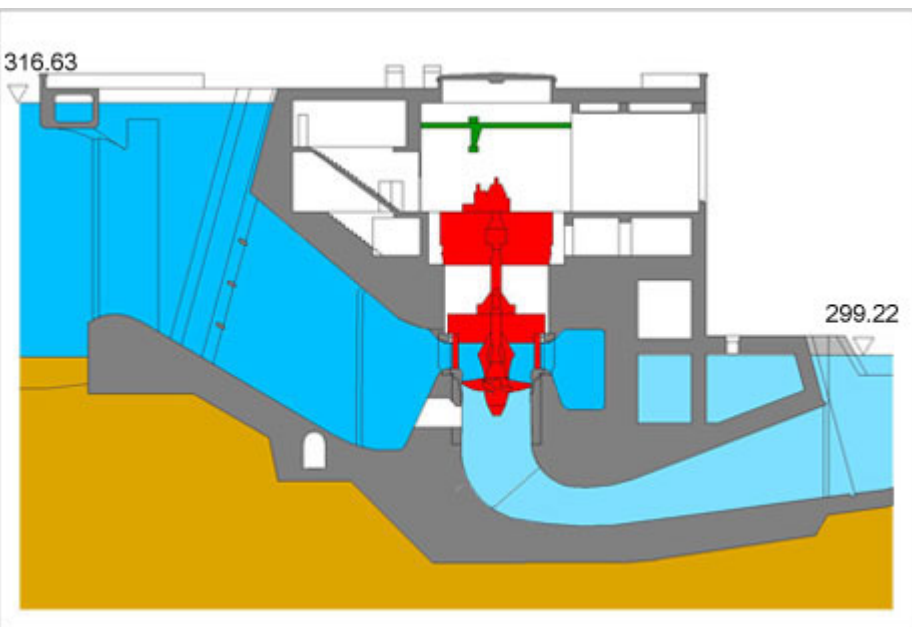
Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m^3/s)
247	56	3	78	550



Vir: <http://www.hse.si/>

VUHRED

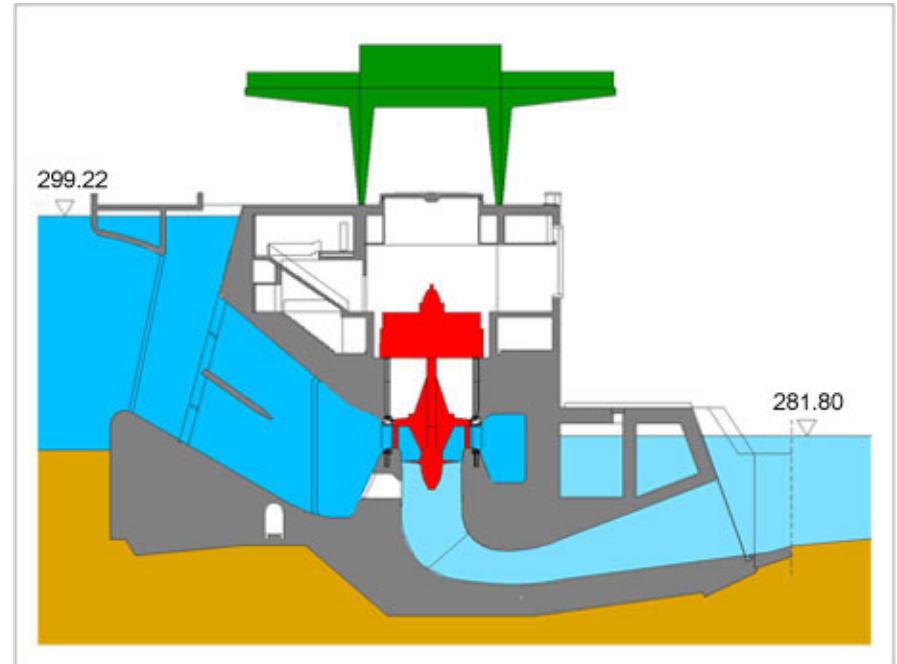
Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m^3/s)
297	72	3	90	550



Vir: <http://www.hse.si/>

OŽBALT

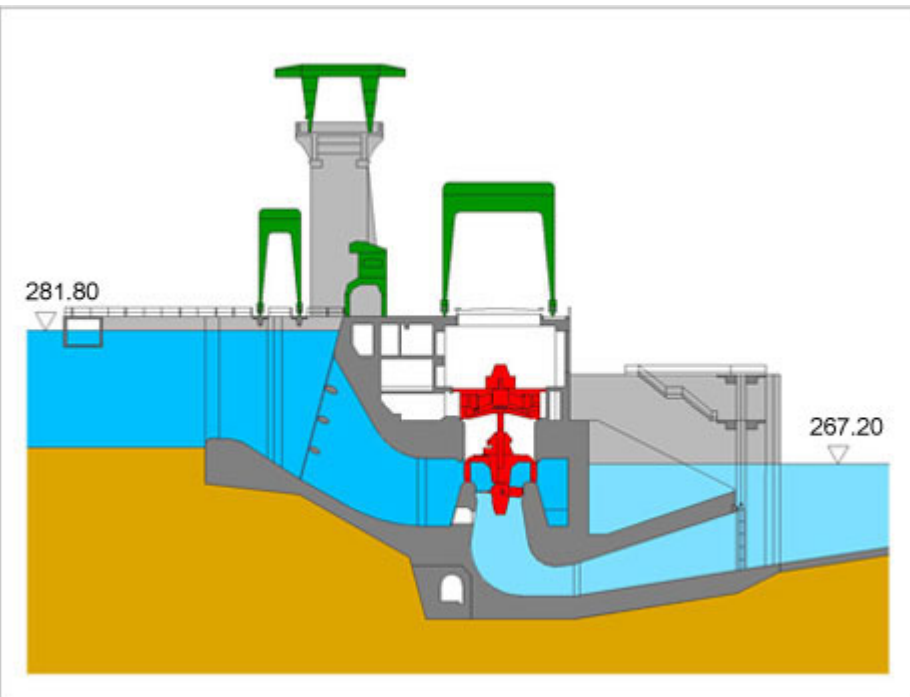
Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m ³ /s)
305	73	3	90	550



Vir: <http://www.hse.si/>

FALA

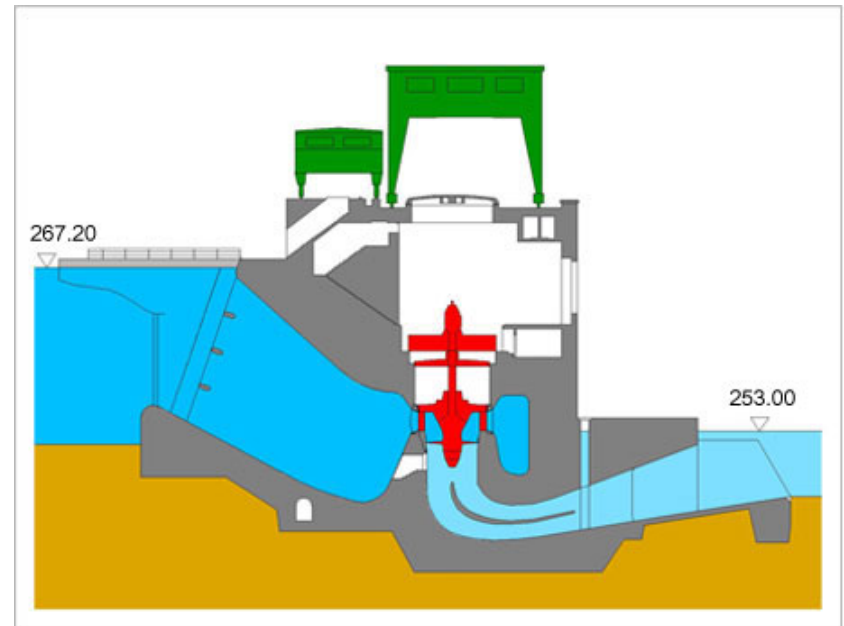
Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m ³ /s)
260	58	3	74	550



Vir: <http://www.hse.si/>

MARIBORSKI OTOK

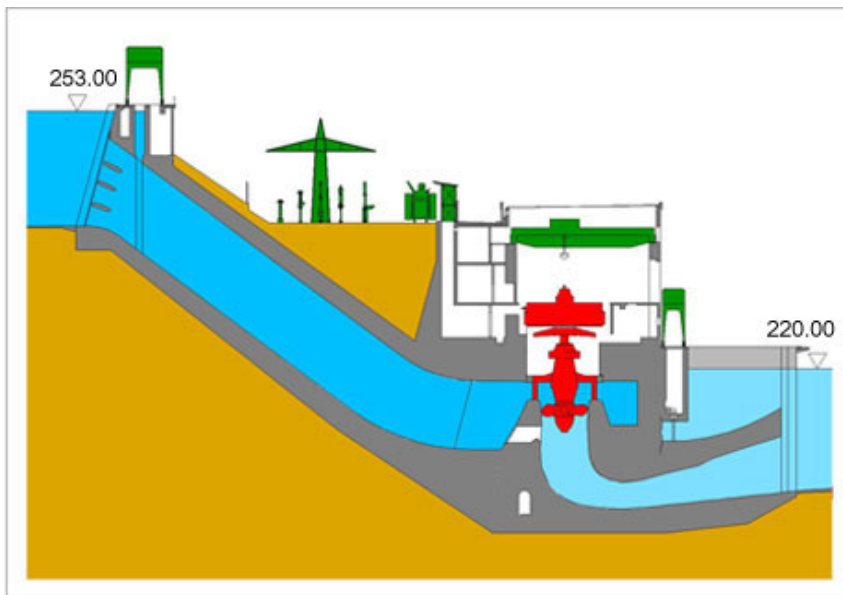
Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m ³ /s)
270	60	3	78	550



Vir: <http://www.hse.si/>

ZLATOLIČJE

Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m ³ /s)
577	114	2	148	450

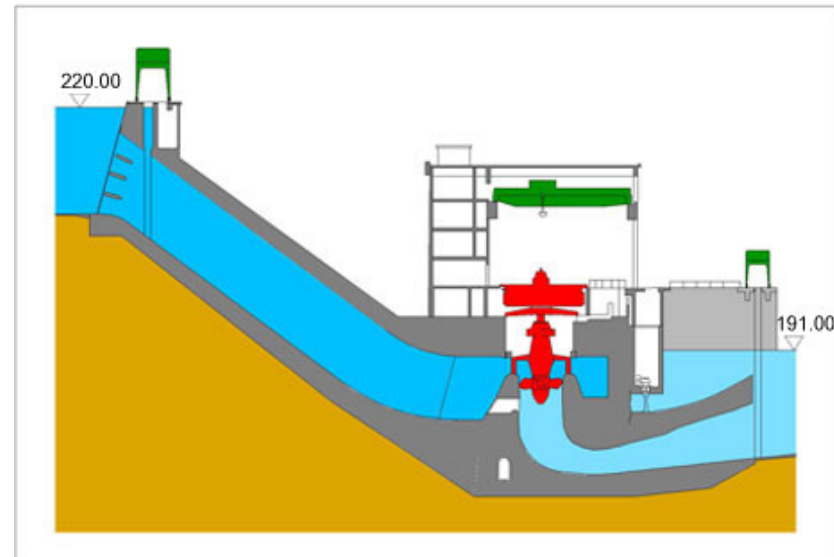


Vir: <http://www.hse.si/>



FORMIN

Letna proizvodnja (mio. kWh)	Moč na pragu (MW)	Štev. agregatov	Nazivna moč generatorjev (MVA)	Inštaliran pretok (m^3/s)
548	116	2	148	500



Vir: <http://www.hse.si/>

SOŠKE ELEKTRARNE

HE	Št. agregatov	Moč na pragu	Nazivna moč generatorjev	Inštaliran pretok Q [m ³]
Doblar I.	3	30 MW	48 MVA	96
Doblar II.	1	40 MW	50 MVA	105
Plave I.	2	15 MW	22 MVA	75
Plave II.	1	19 MW	23 MVA	105
Solkan	3	32,4 MW	39 MVA	180
Zadlašica	2	8 MW	10 MVA	2,2

SOLKAN

Začetek obratovanja: 1984
Rečni kilometer (od izvira): 91,5 km
Padavinsko območje: 1.632 km²
Bruto padec pri pretoku 60 m³/s: 20,55 m
Turbine: 3 x Kaplan vertikalne
Instalirani pretok: 180 m³/s
Generatorji: 3 x trifazni sinhronski
Odvod v 110 kV omrežje
Instalirana moč: 32 MW
Letna proizvodnja: 105.000 MWh



Vir: <http://www.seng.si>

DOBLAR II

DOBLAR II

Začetek obratovanja: 2002
Derivacija - tunel: $D = 6,5 \text{ m}$, $L = 3900 \text{ m}$
Instalirani pretok: $105 \text{ m}^3/\text{s}$
Bruto padec: $48,5 \text{ m}$
Število agregatov: 1
Turbina: Kaplan vertikalna
Generator: trifazni sinhroni
Odvod v 110 kV omrežje
Instalirana moč: 40 MW
Letna proizvodnja: 199.000 MWh



Vir: <http://www.seng.si>

DOBLAR I

DOBLAR I



Vir: <http://www.seng.si>

Začetek obratovanja: 1939
Rečni kilometer (od izvira): 71,5 km
Padavinsko območje: 1.150 km²
Povprečni letni pretok: 82,3 m³/s
Bruto padeč: 45,4 m
Dolžina tlačnega rova: 3.567 m
Instalirani pretok (nominalni): 75 m³/s
Instalirani pretok (maksimalni): 96 m³/s
Turbine: 3 x Francis vertikalne
Generatorji: 3 x trifazni sinhroni
Odvod v 110 kV omrežje
Skupna instalirana moč: 30 MW
Letna proizvodnja: 150.000 MWh



PLAVE I

PLAVE I



Začetek obratovanja: 1940

Rečni kilometer (od izvira): 84 km

Padavinsko območje: 1.170 km²

Povprečni letni pretok: 82,3 m³/s

Prostornina bazena: 1.650.000 m³
(celotna)

Prostornina bazena: 960.000 m³
(koristna)

Dopustno nihanje bazena: 4 m

Instalirani pretok (nominalni): 68 m³/s

Instalirani pretok (maksimalni): 75 m³/s

Turbine: 2 x Kaplan vertikalni

Generatorji: 2 x trifazni sinhroni

Odvod v 35 kV omrežje

Skupna instalirana moč: 15 MW

Letna proizvodnja: 80.000 MWh

Vir: <http://www.seng.si>

PLAVE II

Začetek obratovanja: 2002
Derivacija - tunel: $D = 6,5 \text{ m}$, $L = 5570 \text{ m}$
Instalirani pretok: $105 \text{ m}^3/\text{s}$
Bruto padec: $27,5 \text{ m}$
Število agregatov: 1
Turbina: Kaplan vertikalna
Generator: trifazni sinhroni
Odvod v 110 kV omrežje
Instalirana moč: 20 MW
Letna proizvodnja: 116.000 MWh



PLAVE II



Vir: <http://www.seng.si>

HIDROELEKTRARNE NA SPODNJI SAVI

HE	Št. agregatov	Moč na pragu	Nazivna moč generatorjev	Inštaliran pretok Q [m ³]
Krško	3	13,6MW	16,5MVA	230,4
Boštanj	3	10,85MW	14,5MVA	220,4
Blanca	3	13.01MW	16,5MV	215,4

Vir: <http://www.he-ss.si>

KRŠKO (v delu)

Srednji letni pretok	230,4 m ³ /s
Prostornina akumulacije	6.309.000 m ³
Koristna prostornina bazena	1.178.000 m ³
Nazivni neto padec	8,8 m
Št. prelivnih polj	5
Srednja letna proizvodnja	160 GWh
Št. agregatov	3
Tip turbine	vertikalna dvojno regulirana Kaplanova turbina
Nazivna moč turbine	12,59 MW
Instalirani pretok	500 m ³ /s
Nazivni pretok skozi turbino	166,7 m ³ /s

Vir: <http://www.he-ss.si>



BOŠTANJ



Srednji nizki pretok	60,4 m ³ /s
Srednji letni pretok	220,9 m ³ /s
Srednji visoki pretok	1723 m ³ /s
Koristna prostornina bazena	1.170.000 m ³
Nazivni neto padeč	7,24 m
Št. prelivnih polj	5
Srednja letna proizvodnja	115 GWh
Št. agregatov	3
Tip turbine	horizontalna dvojno regulirana cevna Kaplanova turbina
Nazivna moč turbine	10,85 MW
Instalirani pretok	500 m ³ /s
Nazivni pretok skozi turbino	166,7 m ³ /s



Vir: <http://www.he-ss.si>

BLANCA

Srednji nizki pretok	57,7 m ³ /s
Srednji letni pretok	215,4 m ³ /s
Srednji visoki pretok	1817 m ³ /s
Koristna prostornina bazena	1.300.000 m ³
Nazivni neto padec	8,8 m
Št. prelivnih polj	5
Srednja letna proizvodnja energije	144 GWh
Št. agregatov	3
Tip turbine	vertikalna dvojno regulirana Kaplanova turbina
Nazivna moč turbine	13,01 MW
Nazivna moč generatorja	16,5 MVA
Instalirani pretok	500 m ³ /s
Nazivni pretok skozi turbino	166,7 m ³ /s



SAVSKE HIDROELEKTRARNE

Operativni podatki	HE Moste - agr. 1, 2 in 3	HE Završnica - agr. 4	HE MAVČIČE	HE Medvode
leto izgradnje	1952	1977	1986	1953
število agregatov	tri francis	en francis	Dva kaplanova	Dva kaplanova
instalirana moč	3 x 7,5 MVA	11 MVA	2 x 25MVA	2x 13,5MVA
moč na pragu	13 MW	8 MW	38MW	25MW
srednja letna proizvodnja	59 GWh	5 GWh	62GWh	72GWh

MOSTE & ZAVRŠNICA

He Zavržnica

HE Moste



Vir: WIKI

Vir: <http://www.saning.eu/sanacije-objektov-sanacije-betonov.html>

HE MEDVODE



Vir: <http://ocs-v3.ibe.si>

HE MAVČIČE



Vir: <http://d111.fnm.uni-mb.si>

ČHE AVČE

Maksimalni bruto padec: $H_b = 521,00$ m

Koristni volumen vode: $V_k = 2.170.000$ m³

Instalirani pretok (turbinski režim): $Q_i = 40$ m³/s

Instalirani pretok (črpalni režim): $Q_{\check{c}} = 34$ m³/s

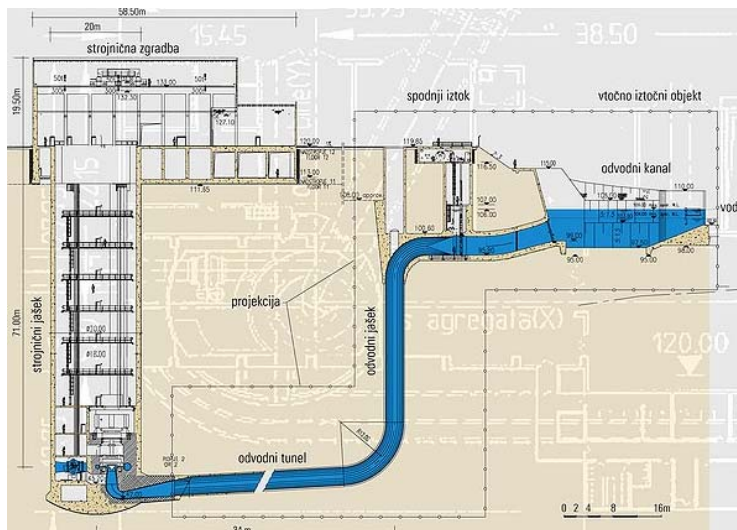
Instalirana moč turbine: $P_i = 185$ MW

Instalirana moč črpanja: $P_{\check{c}} = 180$ MW

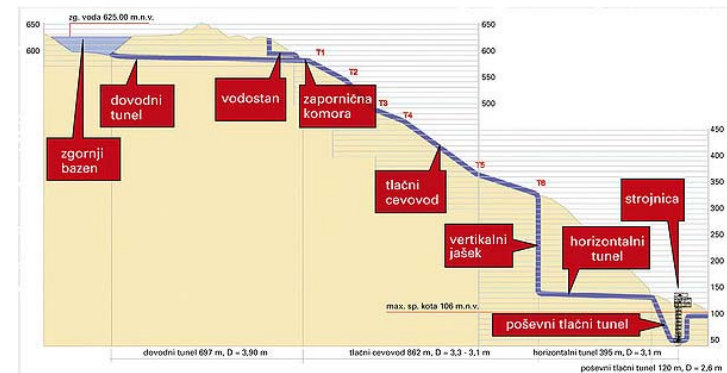
Letna proizvodnja električne energije: $E_i = 426$ GWh

Letna poraba energije za črpanje: $E_{\check{c}} = 553$ GWh

Prerez strojnice



Prerez poteka toka



Vir; <http://www.seng.si>

Dela na zbiralnem bazenu



Tlačni cevovod

Skupna dolžina dovodnega tunela in tlačnega cevovoda: 2.216 km

Dolžina dela tlačnega cevovoda na površini: 826 m

Dolžina tlačnega cevovoda v navpičnem jašku: 395 m

Dolžina tlačnega cevovoda v horizontalnem tunelu: 190 m

Dolžina tlačnega cevovoda v poševnem tunelu: 130 m

Premer tlačnega cevovoda: od 2,6 m do 3,3 m

Zgornja akumulacija

Maksimalna kota zgornje vode: 625 m n.m.

Minimalna kota zgornje vode: 597 m n.m.

Koristni volumen akumulacije: 2,17 milijona m³

Tlačni cevovod



PREDNOSTI IN SLABOSTI HE

Prednosti	Slabosti
<ul style="list-style-type: none">-Ekonomičnost-Emisije CO₂-Druge uporabe zajetja (namakanje)-Urbanizacija prostora-Obvarovanje pred poplavami	<ul style="list-style-type: none">-Velika poplavna območja-Manjši pretoki-Izpusti metana-Selitve ljudi s poplavnih območij-Nevarnost popositve jezua

HE Merowe (Sudan)



Vir: Wikipedia

HE Mohne uničena med 2.s.v. (ger)

