

3. konferenca z mednarodno udeležbo

Konferenca VIVUS – s področja kmetijstva, naravovarstva, hortikulture in floristike ter živilstva in prehrane

»Prenos inovacij, znanja in izkušenj v vsakdanjo rabo«

14. in 15. november 2014, Biotehniški center Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenija

3rd Conference with International Participation

Conference VIVUS – on Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition

»Transmission of Innovations, Knowledge and Practical Experience into Everyday Practice«

14th and 15th November 2014, Biotechnical Centre Naklo, Strahinj 99, Naklo, Slovenia

Predinvesticijski izračun proizvodnje električne energije v mali hidroelektrarni

Jurij Čadež

Gorenjske elektrarne d.o.o., Stara cesta 3, 4000 Kranj, Slovenija, jurij.cadez@gek.si

Izvleček

Pred odločitvijo o investiciji v izgradnjo male hidroelektrarne je zelo pomemben čim bolj točen izračun proizvodnje električne energije v bodočem objektu. Proizvodnja električne energije je vhodni parameter v študiji ekonomske upravičenosti investicije. Na višino letne proizvodnje vpliva mnogo dejavnikov, na nekatere lahko vplivamo z različnimi tehničnimi rešitvami (izbira turbine, generatorja, cevovoda...), nekateri dejavniki pa so naravna danost lokacije (bruto padec in naravni pretok vodotoka na profilu odjema vode). Izveden je izračun proizvodnje EE na osnovi znanih podatkov o pretoku in padcu male hidroelektrarne z upoštevanjem resničnih, nelinearnih diagramov izkoristka turbine in generatorja, ter različnih hidravličnih izgub ki nastopajo v derivaciji.

Ključne besede: izračun proizvodnje električne energije MHE

Pre-investment energy yield calculation of Small Hydro Power Plant

Abstract

Pre-investment energy yield calculation of small hydro power plant (SHPP) is one of crucial input parameters to investment feasibility study of SHPP and is therefore very important to be as precise as possible. There are multiple influences to SHPP energy yield, some of them can be controlled through correct SHPP design approaches (selection of turbine, generator equipment, derivation, water cleaning solutions,...) others are submitted to natural site parameters (river water flow, site gross head, derivation length, ...) This study performs a yearly energy production calculation based on known water flow and gross head and considering realistic non-linear turbine and generator efficiency curves as well as realistic hydraulic pressure losses in complete water derivation system and outlet canal.

Key words: energy yield calculation of small hydro power plant

1 Uvod

Izgradnja male hidroelektrarne je dolgoročen investicijski projekt, saj je pričakovana življenska doba objekta preko 50 let, rentabilnost investicije pa mora kljub temu izkazati dovolj hitro vračanje kapitala, sicer je projekt investicijsko nezanimiv. Odločitev o izgradnji MHE je podprta z ekonomsko – tehničnim elaboratom – izračunom ekonomike investicije za različne tehnične rešitve. Variantni izračun ekonomike pokaže katera variantna rešitev je investicijsko najučinkovitejša. Podlaga za izračun ekonomike variant so tehnični parametri in izračuni, ki bistveno vplivajo na višino investicijskih stroškov ter na višino letne proizvodnje električne energije v bodoči MHE, ki definira prihodkovno stran investicije. V tem prispevku se ukvarjam z izračunom proizvodnje električne v bodoči MHE za 3 variante namestitev agregatov.

Preliminarni izračun proizvodnje električne energije je interdisciplinarni problem, saj je potrebno pridobiti, upoštevati in pravilno vrednotiti hidrološke, geodetske, strojniške ter elektrotehniške parametre variant. Izračun proizvodnje najtočneje izveden v obliki simulacije obratovanja MHE v hidrološko povprečnem letu. V konkretnem primeru gre za rekonstrukcijo obstoječe MHE, zato so nekateri parametri vnaprej podani in fiksni.

2 Izhodiščni podatki o lokaciji

Obravnavana MHE je pretočno derivacijskega tipa. Derivacija je sestavljena iz kanala s prosto gladino, ter tlačnega cevovoda, ki poteka do strojnice. Iz strojnice do izpusta vode nazaj v strugo poteka obstoječ iztočni kanal.

Glavni izhodiščni podatki se nanašajo na vodno pravico, obstoječe gradbene konstrukcije ter predračune ponudnikov storitev in opreme potrebne za rekonstrukcijo obstoječe MHE.

Vodno dovoljenje:

- Maksimalen dovoljen odjem 3,95 m³/s
- Ekološko sprejemljivi pretok:
 - o $Q_{es} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (meseci 4 do 9)
 - o $Q_{es} = 0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ (meseci 1, 2, 3, 10, 11, 12)

Tehnična dokumentacija:

- Bruto padec: 11,8 m
 - o Dvig dHsp pri 4 m³/s 0,6 m
 - o Kota preliva na vtoku v cevovod -0,4 m glede na krono jezu – zato bruto padec v dokumentaciji 11,4 metra.
- Derivacija:
 - o Odprt kanal dolžine 250 m
 - o Cevovod dolžine 580 m, predvidena cev Hobas D=1400mm
 - o Iztočni kanal dolžine 30 m

3 Simulacija letne proizvodnje

3.1 Padec

Bruto padec

od prelivnega polja pred vstopom v cevovod do iztoka znaša: $H_b = 11,4 \text{ m}$

Izgube v iztočnem kanalu

Pretočni kanal je dimenzioniran na $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Za večji pretok je širina iztočnega kanala na stičnem profilu s strugo premajhna, posledično pride do dviga spodnje vode v izpustnem kanalu, ki je v priloženi dokumentaciji ocenjena na $0,6 \text{ m}$ pri $4\text{m}^3/\text{s}$ – kar je realna ocena. Izguba padca v iztočnem kanalu je aproksimirana z nelinearno funkcijo, ki je prikazana na Diagramu 1.

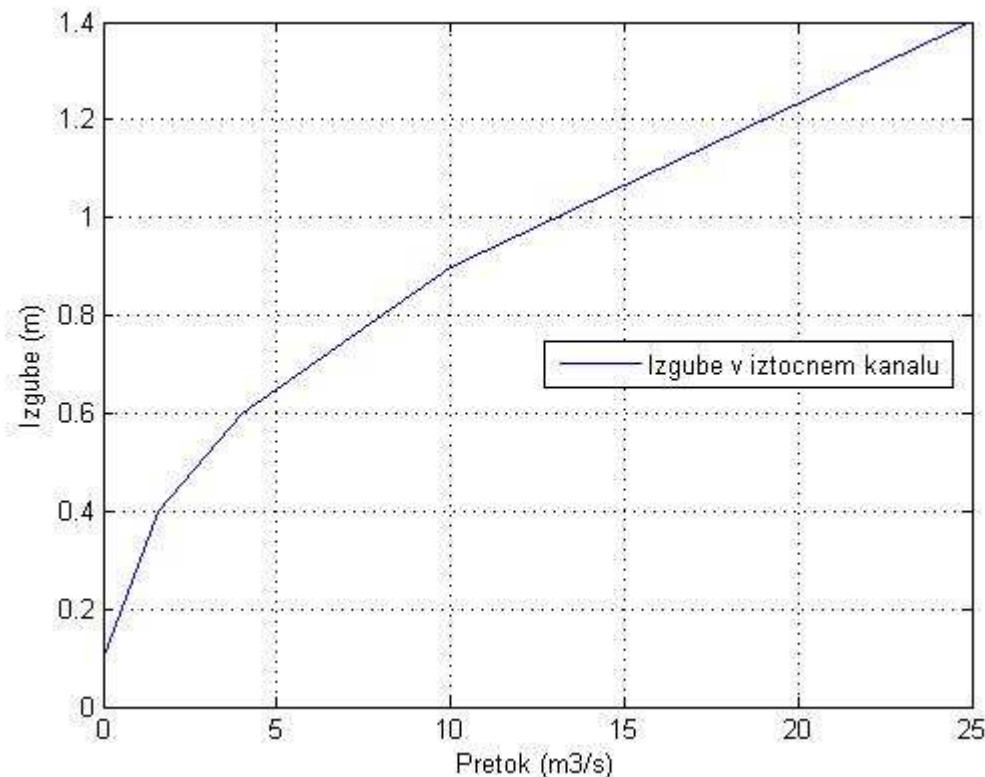


Diagram 1: Izgube v iztočnem kanalu v odvisnosti od pretoka

Izgube na vtoku v cevovod in finih rešetkah

Po priloženi tehnični dokumentaciji padec nivoja: $dH=0,1 \text{ m}$ pri $4\text{m}^3/\text{s}$.

Izgube v sesalni evi

Po priloženi tehnični dokumentaciji izgubni tlak v sesalni cevi $dH=0,1 \text{ m}$ pri $4\text{m}^3/\text{s}$.

Tlačne izgube cevovoda

Po priloženi dokumentaciji $dH=1,8 \text{ m}$ pri $4\text{m}^3/\text{s}$ za cevi Hobas DN1400, PN6, 580 m.

Izgube v cevovodu pri izbrani cevi Hobas DN1400, PN6 – notranji premer cevi 1378 mm, Colebrook faktor hrapavosti - $k=0,01$ do $0,016 \text{ mm}$ (linijske izgube tlaka na ravni cevi). Linijskim izgubam se pristejavajo izgube na spojih, ter izgube na kolenskih kosih (predvideno 4 kolena 30°). Izračun izgub je izveden z uporabo Colebrookove rekurzivne formule z upoštevanjem povprečne letne temperature vode 10° :

Zgolj linijske izgube pri $T=10^\circ\text{C}$ in $k=0.016 \text{ mm}$ ter $Q=4 \text{ m}^3/\text{s}$ znašajo $1,6 \text{ m}$.

Ker so tudi izgube na vtoku ter sesalni cevi ter kolenskih kosih in spojih cevovoda nelinearne narave izračun celotnih izgub derivacije povzamemo z uporabo Colebrookove enačbe s povečanim koeficientom hrapavosti – $k_i = 0,2 \text{ mm}$.

Celotne izgube derivacije pri $Q=4\text{m}^3/\text{s}$ znašajo tako $dHd=2,05 \text{ m}$. Pri manjših pretokih se izgube ustreznost nelinearno zmanjšujejo. Diagram tlačnih izgub v odvisnosti od pretoka prikazuje Diagram 2.

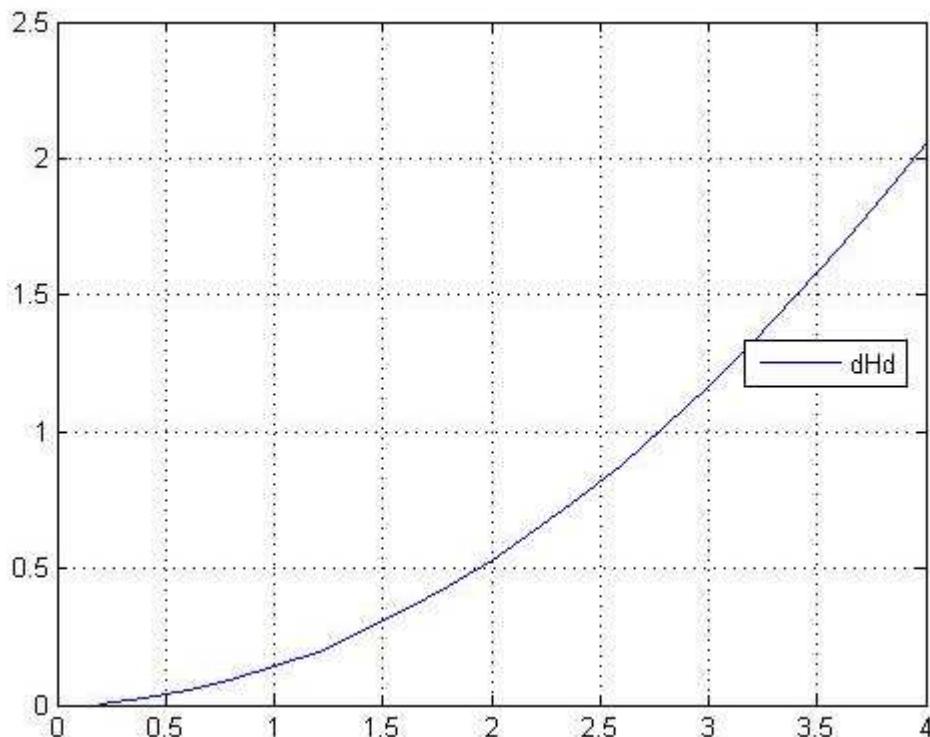


Diagram 2: Tlačne izgube derivacije v odvisnosti od pretoka

Neto padec

$$H_n = H_b - dH_{sp} - dH_d = 11,4 - 0,6 - 2,05 = 8,75 \text{ m} \text{ pri nazivnem pretoku } Q_i = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

(H_n – neto padec, H_b – bruto padec, dH_d – hidravlične izgube derivacije)

3.2 Naravni rečni pretok in koristni pretok MHE

- Površina vodozbirnega območja: $F=101 \text{ km}^2$.
- Pridobljeni so hidrološki podatki iz bližne vodomerne postaje, ki ima praktično enako vodozbirno območje, za zadnjih 20 let. Dnevni pretoki so za vsako leto urejeni po velikosti - povprečni diagrami urejenih pretokov prikazuje Diagram 3.

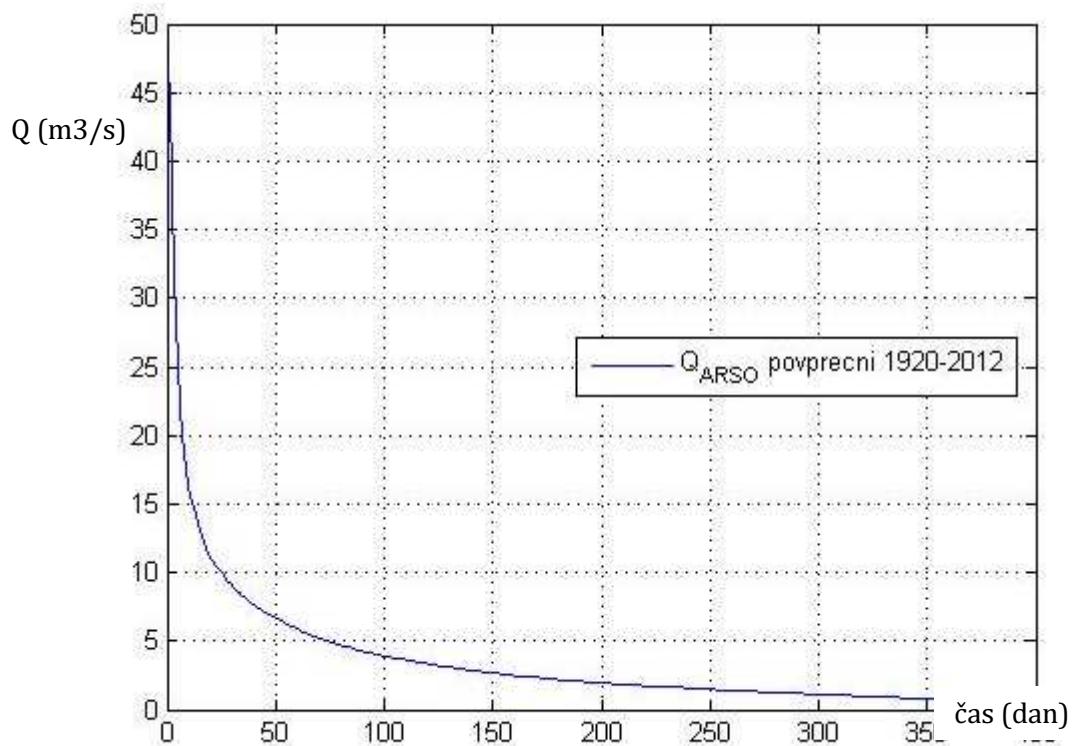


Diagram 3: povpečni diagram trajanja rečnega pretoka

Od naravnega rečnega pretoka se odšteva ekološki pretok, ki ga je vedno potrebno spuščati po strugi mimo MHE - Q_{es} v višini 0,4 m³/s. Koristni pretok je omejen z višino instaliranega pretoka MHE, ki znaša 4 m³/s in je prikazan na Diagramu 4.

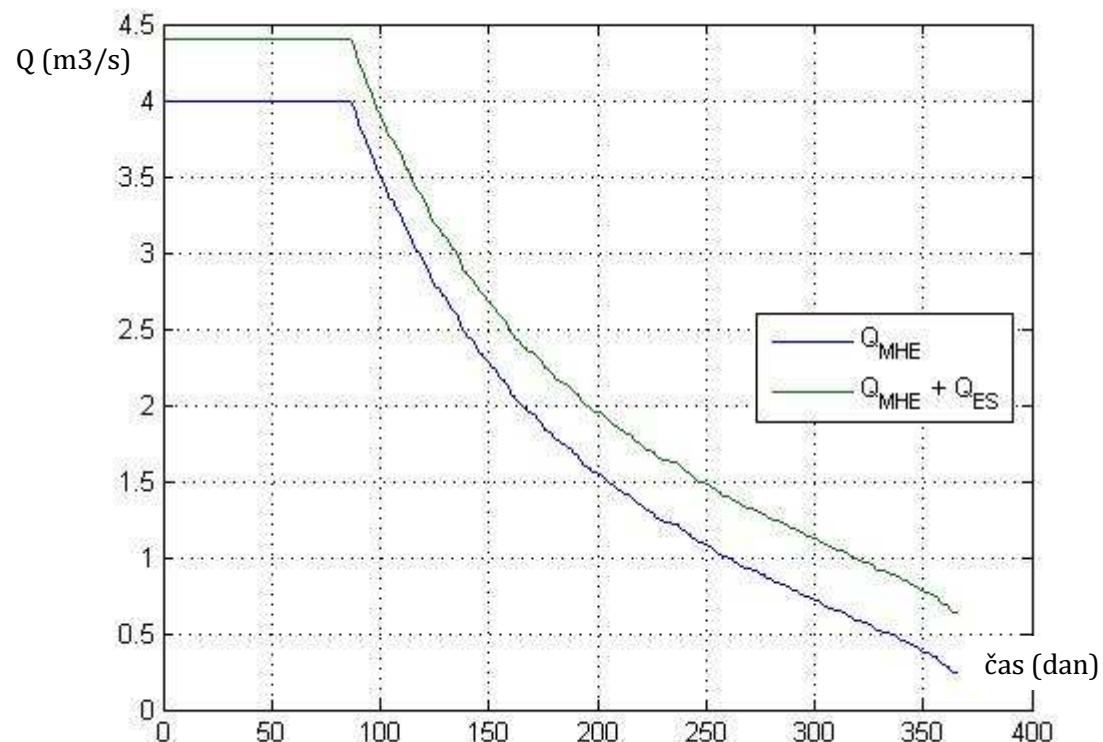


Diagram 4: Urejeni diagram koristnega pretoka MHE.

3.3 Agregat

Izvedena je simulacija proizvodnje za 3 variante agregata:

- Kaplanova turbina $Q_i=4\text{m}^3/\text{s}$, $D=820\text{mm}$, $H_n=9,5\text{m}$, $n=500/\text{min}$ v kombinaciji z direktno spojenim sinhronskim generatorjem z visokim izkoristkom (ponudba Turboinštitut)
- Francisova turbina $Q_i=4\text{m}^3/\text{s}$, $D=1020\text{mm}$, $H_n=9,5\text{m}$, $N=272,2/\text{min}$ v kombinaciji z multiplikatorjem in asinhronim generatorjem $N=750/\text{min}$, $P=350 \text{ kW}$
- $2 \times$ Francisova turbina $Q_i=2\text{m}^3/\text{s}$, $D=725\text{mm}$, $H_n=9,5\text{m}$, $N=375/\text{min}$ v kombinaciji z multiplikatorjem in asinhronim generatorjem $N=750/\text{min}$, $P=180 \text{ Kw}$.

Izkoristki agregatov za vse tri variante so prikazani na Diagramu 5, Diagram 6 prikazuje izkoristek sinhronskega generatorja v primerjavi z izkoristkom asinhronskega generatorja v kombinaciji z multiplikatorjem.

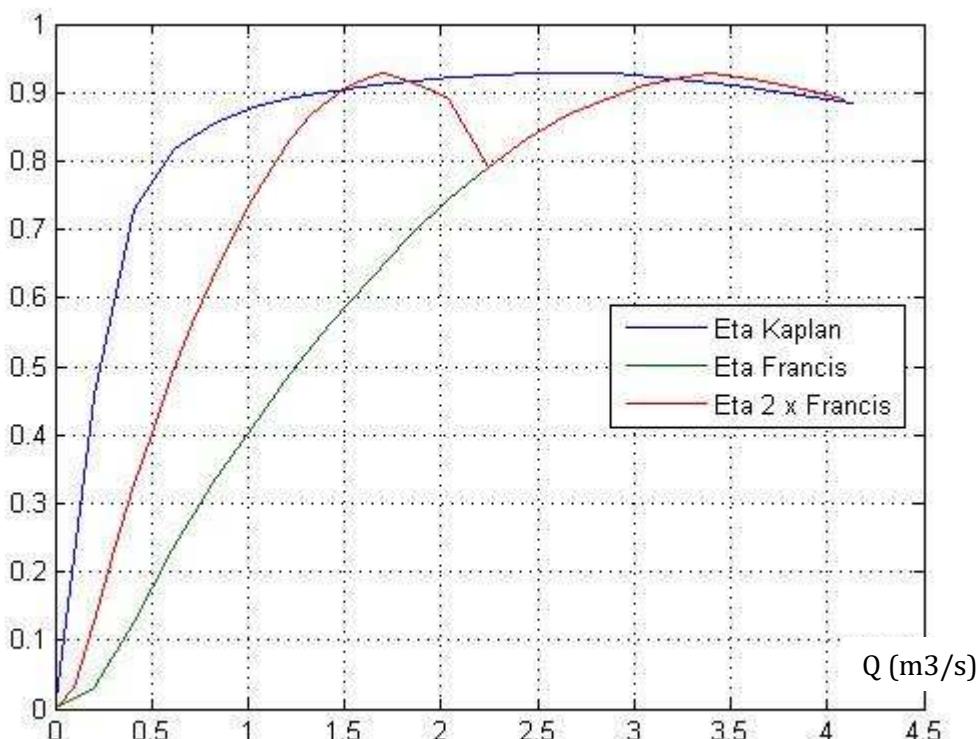


Diagram 5: izkoristek Kaplanove, Francisove turbine ter kombinacije 2 Francisovih turbin
 (Vir – ponudniki turbin)

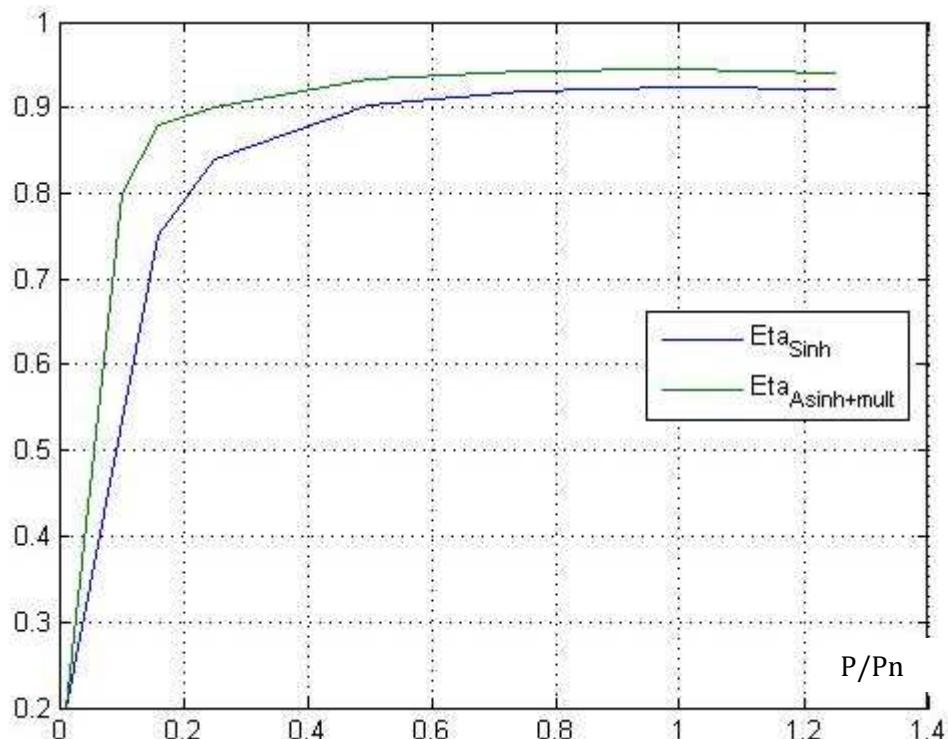


Diagram 6: izkoristek sinhronskega generatorja, ter asinhronskega gen. z multiplikatorjem.
 (Vir - ponudniki generatorjev)

3.4 Simulacija proizvodnje s Kaplan turbino in sinhronim generatorjem

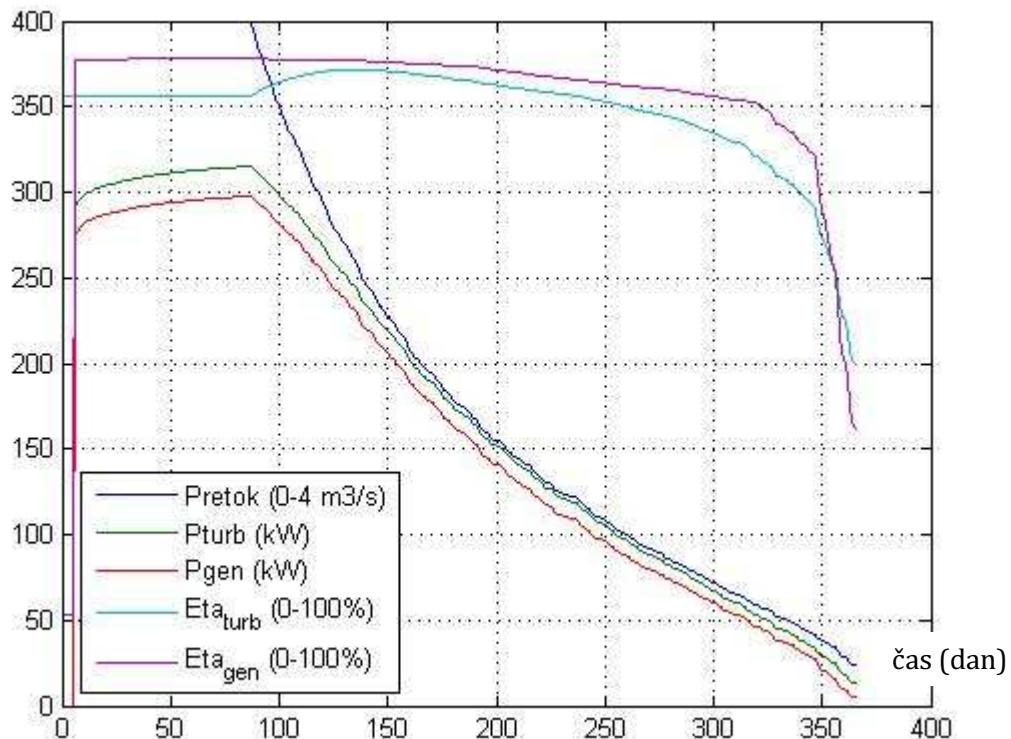


Diagram 7: Kaplan turbina – Letna proizvodnja EE znaša: $E_{Sim365_Kapl} = 1.449 \text{ MWh}$

3.5 Simulacija proizvodnje s Francis turbino in asinhronim generatorjem ter multiplikatorjem

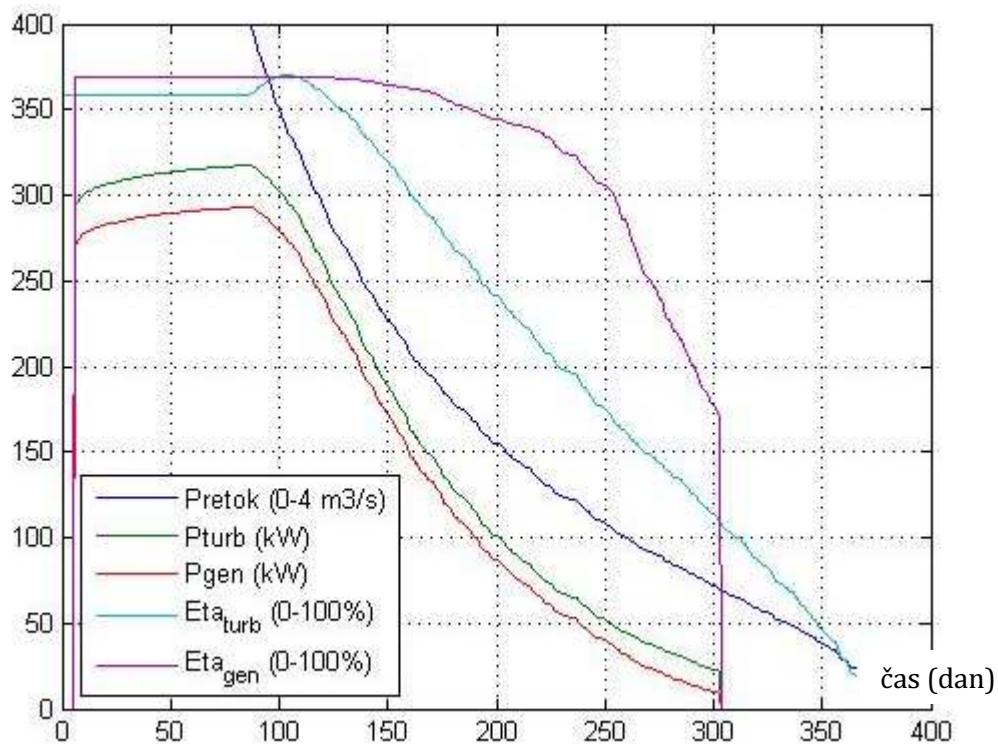


Diagram 8: Francis turbina - Letna proizvodnja EE znaša: E_{Sim365_1Fra} = 1.177 MWh

Pri pretokih nižjih od 0,7 m³/s agregat ne obratuje (cca 2 meseca letno).

Agregat obratuje z zelo nizkim izkoristkom v obdobju nižjih pretokov, ki trajajo približno 6 mesecev.

3.6 Simulacija proizvodnje z dvema Francis turbinama in asinhronima generatorjema ter multiplikatorjem

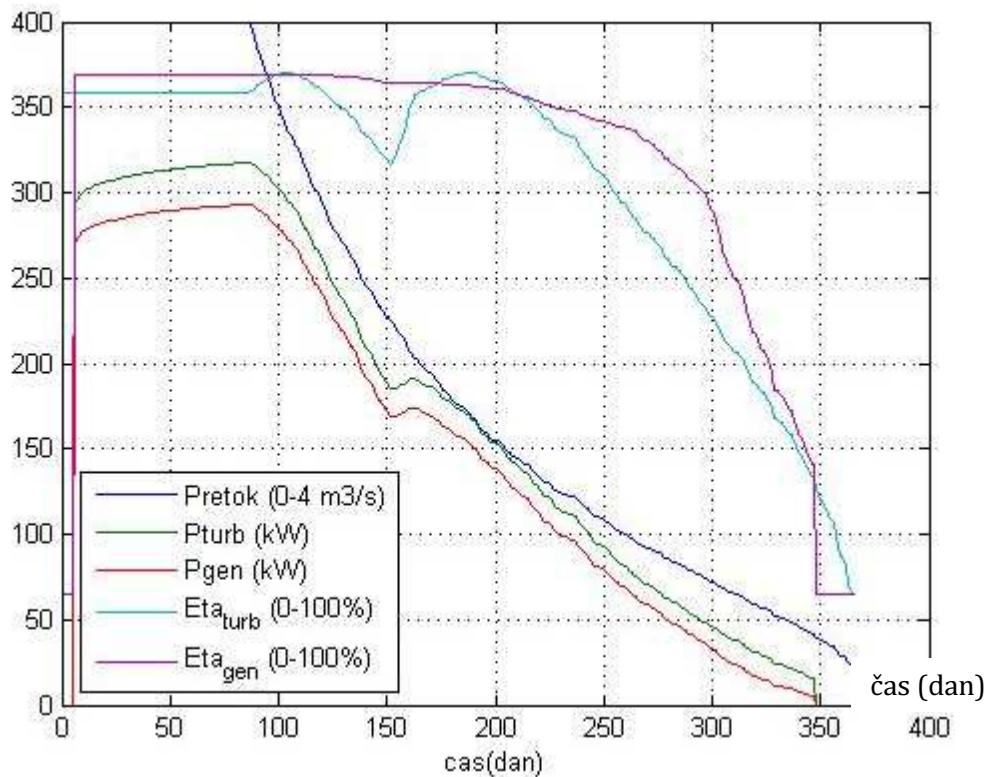


Diagram 9: Dve Francis turbini: Proizvodnja EE znaša: $E_{Sim365_2Fra} = 1.332 \text{ MWh}$

Pri pretokih nižjih od $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ MHE ne obratuje (cca 15 dni letno – največja suša).

4 Dejanska proizvodnja EE

Simulacija proizvodnje seveda ne upošteva vseh dejavnikov, ki vplivajo na višino letne proizvodnje MHE. Simulacija upošteva idealne pogoje obratovanja, ki so v realnosti redko prisotni. Dejanska pričakovana letna proizvodnja električne energije je zato nižja od simulirane - zaradi naslednjih vzrokov:

- Izpadi proizvodnje zaradi:
 - Izpadi omrežja
 - Zmanjšanje izkoristka turbine zaradi nesnag v vodi in na lopaticah
 - Zaprovevanje zajetja, vtoka ter derivacijskega in iztočnega kanala
 - Nabiranje nesnag na finih rešetkah in težav s čistilnim strojem
 - Izpadi zaradi vzdrževanja opreme
 - Izpadi zaradi čiščenja turbine, vodnokonduktičkih poti...
 - Izpadi zaradi okvar

Vsi omenjeni vzroki doprinesejo k cca 10% zmanjšanju letne proizvodnje glede na simulacijo ki predpostavlja idealne razmere.

Dejanska pričakovana letna proizvodnja EE po treh variantah tako znaša:

VARIANTA:

- a) Kaplanova turbina: E365 = 1.309 MWh
- b) Ena Francisova turbina: E365 = 1.059 MWh
- c) 2 x Francisova turbina: E365 = 1.198 MWh

5 Zaključne ugotovitve

Variantni izračun je pokazal da je s stališča proizvodnje EE najučinkovitejša namestitev Kaplanove turbine z direktno spojenim sinhronskim generatorjem, ker dosega najboljši nazivni izkoristek, poleg tega pa ima tudi najširši diagram izkoristka. Na žalost je tak stroj cenovno najbolj neugoden – najdražji. Rezultat izračuna proizvodnje pa nam omogoča izvedbo variantnega izračuna ekonomskih parametrov investicije za vse tri variante, saj imamo definirano prihodkovno stran – torej z upoštevanjem investicijskih in obratovalnih stroškov lahko izvedemo izračune interne stopnje donosnosti, neto sedanje vrednosti in ostalih ekonomskih kazalcev, ki so osnova izbor investicijsko najugodnejše variante. V našem primeru se je izkazalo, da je varianta s Kaplan turbino in sinhronim generatorjem investicijsko najugodnejša kljub najvišjim investicijskim stroškom.