

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

Kandidat:

JAN PRIBOŠEK

IZRAČUN ENERGETSKIH PARAMETROV HIDROELEKTRARNE

Diplomska naloga št.

Mentor:

Andrej Kryžanowski

LJUBLJANA, 2017

delovna verzija, 28. junij 2017

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK

Avtor: Jan Pribošek
Mentor: Prof. dr. Andrej Kryžanowski
Naslov: Izračun parametrov hidroelektrarne
Tip dokumenta: Diplomaska naloga - univerzitetni študijski program gradbeništvo
Obseg in oprema: 16 str., 9 sl., 0 pregl., 29 en.
Ključne besede:

Izvleček

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC

Author: Jan Pribošek

Supervisor: Prof. Andrej Kryžanowski, Ph. D.

Title: Calculating parameters of the hydroelectric powerplant

Document type: Graduation - Thesis - university program

Notes: 16 p., 9 fig., 0 tab., 29 eq.

Keywords:

Abstract

ZAHVALA

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	II
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALA	IV
1 Uvod	1
2 Teoretične osnove	2
2.1 Pridobitev podatkov	2
2.2 Izračun hidrološkega niza podatkov	2
2.3 Izračun konsumpcijske krivulje	2
2.3.1 Izračun konsumpcijske krivulje za pravokotne in trapezne struge	3
2.4 Izračun konsumpcijske krivulje za struge poljubne oblike	5
2.4.1 Izračun višine rečnega korita	5
2.4.2 Določitev parametrov odseka	5
2.5 Izračun proizvodnje električne energije	8
3 Izračun	10
3.1 Ročni izračun parametrov hidroelektrarne	10
3.2 Izračun parametrov hidroelektrarne s programom	11
4 ZAKLJUČEK	13
POVZETEK	14
SUMMARY	15
VIRI	16
DODATKI	16

KAZALO SLIK

2.1	Prečni prerez pravokotne struge	3
2.2	Prečni prerez trapezne struge	4
2.3	Poljubno definirana struga	5
2.4	Izbrani odsek struge	6
2.5	Detajl odseka struge	6
2.6	Prečni prerez hidroelektrarne	8
3.1	Shema struge izbranega vodotoka	10
3.2	Vnos podatkov v program	11
3.3	Graf konsumpcijske krivulje	12

KAZALO PREGLEDNIC

LIST OF FIGURES

2.4 Chosen part of the river channel	6
--	---

LIST OF TABLES

1 Uvod

Letna količina vode ki se pretoči v Sloveniji je $33,9 \text{ km}^3$, kar nas primerjano na število prebivalcev uvršča v sam vrh v Evropi, takoj za Švico in Norveško. Potreba po električni energiji se iz leta v leto veča, vendar se le okoli 2% te količine vode učinkovito uporablja za potrebe proizvodnje električne energije. Voda v Sloveniji je povsod okoli nas, zato je zanimivo preračunati koliko električne energije bi lahko proizvedli iz bližnjega potoka ali večje reke. Podatki o pretokih rek v Sloveniji so namreč javno dostopni v arhivu na spletni strani agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). [citation missing]

Cilj diplomske naloge je ocena proizvedene električne energije pretočne hidroelektrarne poljubne velikosti za vodotok poljubnega pretoka in oblike. V ta namen sem napisal program, ki s pomočjo začetno ocenjenih parametrov struge in meritev povprečnih dnevnih pretokov izbranega vodotoka izračuna parametre pretočne hidroelektrarne.

V diplomski nalogi bom najprej opisal postopek izračuna z osnovnimi enačbami, na koncu pa bom primerjal rezultate ročnega izračuna z rezultati ki jih izračuna program. Pri izračunu sem upošteval da je voda za pregrado na maksimalni konstantni višini, izkoristek turbine neodvisen od pretoka skozi turbino in naklon struge od 0% do 2%.

2 Teoretične osnove

Parametre izbrane hidroelektrarne lahko izračunamo po naslednjem algoritmu:

1. Pridobitev podatkov
2. Izračun hidrološkega niza podatkov za obdobje
3. Izračun konsumpcijske krivulje
4. Izračun proizvodnje električne energije

2.1 Pridobitev podatkov

Za nadaljnje izračune potrebujemo podatke o:

- Dimenzijah rečne struge
- Naklonu in oceno Manningovega koeficienta hrapavosti rečnega korita
- Povprečnih dnevnih pretokih vodotoka za izbrano obdobje

Podatke o dimenzijah rečne struge lahko pridobimo ali z meritvami ali pa dimenzije ocenimo na podlagi ortofoto posnetkov. Naklon se lahko določi s pomočjo Geopedije, kjer so vneseni podatki o višinski razliki izbranih točk rečne struge in razdalje med točkami. Manningov koeficient hrapavosti rečnega korita lahko določimo izkustveno na terenu s pomočjo priročnikov ali pa z umerjanjem na podlagi podatkov o nivojih vode in pretokih. Podatke o pretokih slovenskih vodotokov lahko pridobimo iz arhiva, ki se nahaja na spletni strani agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO).

2.2 Izračun hidrološkega niza podatkov

Iz arhiva lahko izvozimo podatke o povprečnih dnevnih pretokih v csv (comma separated values) obliki. Iz podatkov lahko za vsak mesec obdobja izračunamo povprečni mesečni pretok. Če mesečne pretoke povprečimo za vsa leta izbranega obdobja lahko navedene povprečne mesečne pretoke obdobja prikažemo na hidrogramu. Prav tako se lahko določi mokro in suho leto obdobja, ki ju primerjamo z povprečnimi mesečnimi pretoki.

2.3 Izračun konsumpcijske krivulje

Konsumpcijska krivulja je graf, ki predstavlja višino gladine spodnje vode v rečni strugi v odvisnosti od pretoka vode skozi turbine hidroelektrarne. Graf konsumpcijske krivulje potrebujemo za določitev višinske razlike dh med spodnjo in zgornjo vodo v odvisnosti od pretoka vode skozi turbine hidroelektrarne. Višinsko razliko dh potrebujemo za določitev moči hidroelektrarne v zadnjem koraku algoritma opisanega v tem poglavju.

2.3.1 Izračun konsumpcijske krivulje za pravokotne in trapezne struge

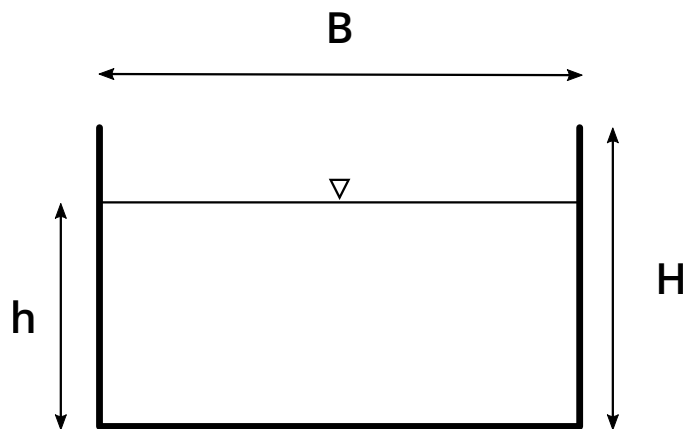
Za izračun konsumpcijske krivulje potrebujemo pretok vodotoka v odvisnosti od višine gladine vode h v strugi. Gladina vode h poteka od dna struge do maksimalne višine struge H . Pretok vode v strugi se za vsak cm višine h izračuna po Manningovi enačbi:

$$Q(h) = \frac{1}{ng} \sqrt{I} \frac{S(h)^{5/3}}{P(h)^{2/3}} \quad (2.1)$$

Kjer je:

Q	pretok
ng	Manningov koeficient hrapavosti dna struge
I	naklon struge
S	ploščina prečnega profila
P	dolžina omočenega oboda struga

1. Pravokotna struga:



Slika 2.1: Prečni prerez pravokotne struge

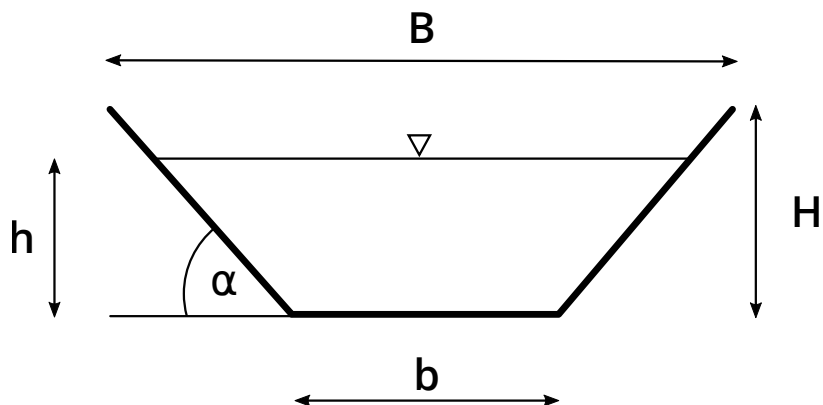
Omočeni obod pravokotne struge dobimo kot seštevek širine dna struge in dvakratne višine struge h .

$$P_p(h) = B + 2h \quad (2.2)$$

Ploščino pravokotne struge dobimo po enačbi:

$$S_p(h) = B * h \quad (2.3)$$

2. Trapezna struga:



Slika 2.2: Prečni prerez trapezne struge

Omočeni obod trapezne struge pa dobimo kot seštevek širine dna struge in dvakratne razdalje od roba dna struge do točke presečišča rečnega korita z gladino vode.

$$P_t(h) = b + 2 * \sqrt{h^2 + \left(\frac{h}{\tan \alpha}\right)^2} \quad (2.4)$$

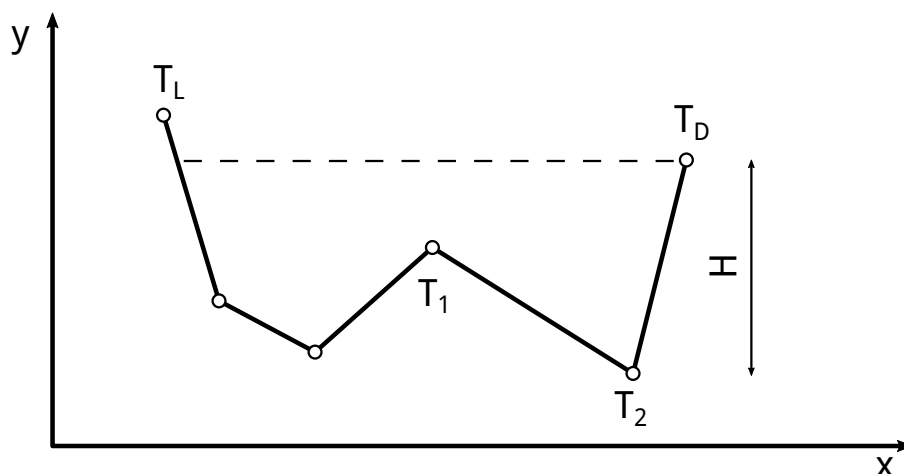
Ploščino trapezne struge pa dobimo po enačbi za pravokotnik:

$$S_t(h) = b * h + 2h \left(\frac{h}{\tan \alpha}\right)^2 \quad (2.5)$$

Ko poznamo vse parametre Manningove enačbe 2.1, izračunamo pretoke vodotoka za vsak cm višine rečne struge, ki poteka od 0 do H in narišemo konsumpcijsko krivuljo $h(Q)$.

2.4 Izračun konsumpcijske krivulje za struge poljubne oblike

Poljubno oblikovano strugo lahko popišemo s serijo točk, ki jih dodajamo v kartezijski koordinatni sistem. Za vsako točko poljubnega rečnega korita podamo x in y koordinato, za točke pa predpostavimo da so med seboj povezane z enačbo linearne funkcije.



Slika 2.3: Poljubno definirana struga

2.4.1 Izračun višine rečnega korita

Skrajni točki struge sta točki T_L in T_D na sliki 2.3. Točko na robu struge z najnižjo y koordinato označimo s T_{Smin} (na sliki 2.3 točka T_D). Najnižjo točko poljubne struge označimo s T_{min} (na sliki 2.3 točka T_2). Višina rečnega korita H je definirana kot razdalja med točkama T_{Smin} in T_{min} .

2.4.2 Določitev parametrov odseka

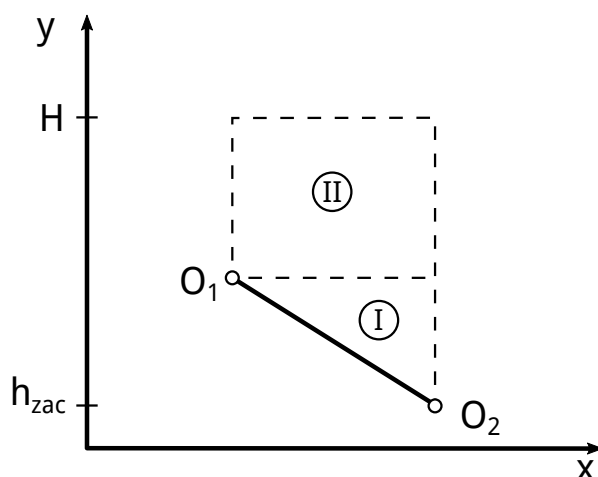
Program razdeli podano strugo na odseke po dve točki $T_1 (x_1, y_1)$ in $T_2 (x_2, y_2)$. Za podan odsek se najprej določi enačba linearne funkcije.

$$f(x) = kx + n \quad (2.6)$$

Naklon funkcije k se izračuna po formuli:

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (2.7)$$

Če v enačbo linearne funkcije 2.6 vstavimo izračunan k in koordinate točke T_1 , lahko izračunamo iskani n in s tem je določena enačba linearne funkcije $f(x)$ med dvema točkama, ki jo potrebujemo za nadaljnje izračune.

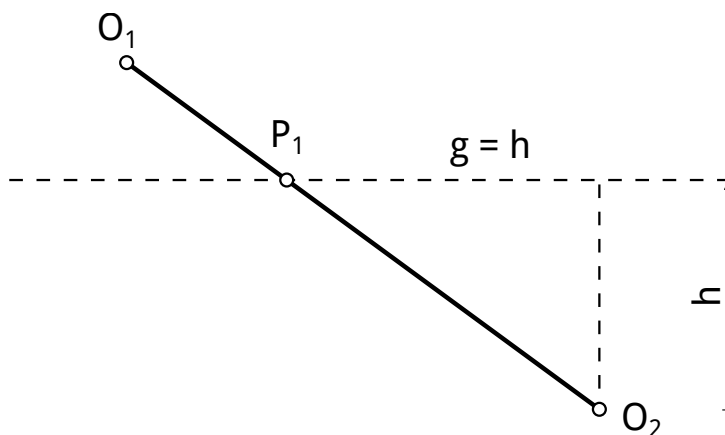


Slika 2.4: Izbrani odsek struge

Figure 2.4: Chosen part of the river channel

Za vsak odsek dveh točk se najprej določi najnižja točka odseka T_{zac} , na sliki 2.4 označena kot točka O_2 . Y koordinata točke T_{zac} nam predstavlja začetno višino odseka h_{zac} . Razdaljo med začetno višino odseka h_{zac} in končno gladino struge H označimo z dh .

Od h_{zac} do končne višine rečnega korita H za vsak cm po višini določimo presečišče P_1 prej izračunane funkcije $f(x)$ s horizontalno ravnino g , ki predstavlja gladino vode pri trenutni višini h .



Slika 2.5: Detajl odseka struge

Ko imamo določeno presečišče P_1 gladine vode s funkcijo $f(x)$ med točkama odseka, lahko izračunamo dolžino omočenega oboda struge in ploščino lika ki ga oklepajo funkcija odseka, navidezna gladina vode g in najnižja točka odseka T_{zac} na sliki 2.4 označena z O_2 .

1. V primeru da se presečišče P_1 odseka nahaja v območju med točkama O_1 in O_2 , dolžino omočenega oboda določimo po Pitagorovem izreku kot:

$$P = \sqrt{(T_{zac}x - P_1x)^2 + (T_{zac}y - P_1y)^2} \quad (2.8)$$

ploščino področja ki ga oklepajo horizontalna ravnina s presečiščem P_1 in najnižjo točko odseka T_{zac} pa določimo kot ploščino trikotnika (področje I na sliki 2.4) po formuli:

$$S = \frac{|T_{zac}x - P_1x| * |T_{zac}y - P_1y|}{2} \quad (2.9)$$

2. V primeru, da se presečišče P_1 nahaja izven območja točk O_1 in O_2 pa se dolžina omočenega oboda izračuna kot razdalja med točkama O_1 in O_2 po Pitagorovem izreku:

$$P = \sqrt{(O_1x - O_2x)^2 + (O_1y - O_2y)^2} \quad (2.10)$$

Ploščina pa se določi kot seštevek ploščin območij I in II na sliki 2.4.

$$S = S_I + S_{II} \quad (2.11)$$

Pri čemer sta S_I in S_{II} enaka:

$$S_I = \frac{(O_2y - O_1y) * (O_2x - O_1x)}{2} \quad (2.12)$$

$$S_{II} = (O_2x - O_1x) * (H - O_1y) \quad (2.13)$$

Za določitev končne dolžine omočenih obodov pri iskani višini h moramo sešteti vse omočene obode odsekov pri iskani višini h .

$$P(h) = P_1(h) + P_2(h) + P_3(h) + \dots + P_{n-1}(h) + P_n(h) \quad (2.14)$$

Za določitev končnih vrednosti ploščin likov S pri iskani višini h , moramo sešteti ploščine S pri iskani višini h za vse odseke točk rečne struge, to so vse točke med T_L in T_D na sliki 2.3

$$S(h) = S_1(h) + S_2(h) + S_3(h) + \dots + S_{n-1}(h) + S_n(h) \quad (2.15)$$

Za izris konsumpcijske krivulje potrebujemo podatke o pretokih v odvisnosti od višine vode v strugi. Za vsak odsek struge imamo na voljo podatke o ploščini prečnega profila struge in omočenega oboda dna struge v odvisnosti od višine vode v strugi. Pretoke za vsak cm višine vode v strugi izračunamo po Manningovi enačbi 2.1

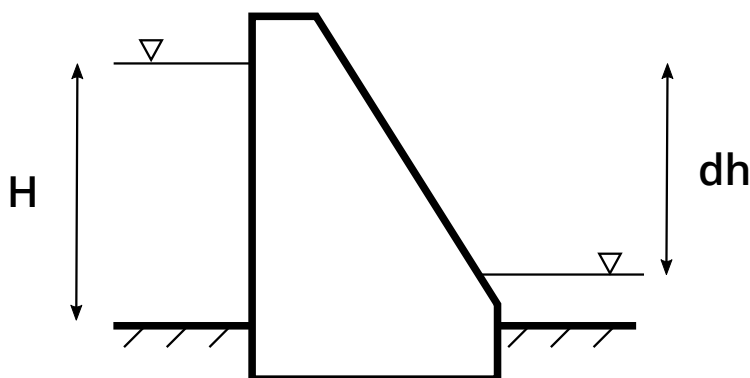
Ko imamo posamezne pretoke po višinah za vse odseke izračunane, jih medsebojno seštejemo in dobimo končne vrednosti pretokov:

$$Q(h) = Q_1(h) + Q_2(h) + Q_3(h) + \dots + Q_{n-1}(h) + Q_n(h) \quad (2.16)$$

Sledi izris konsumpcijske krivulje $h(Q)$.

2.5 Izračun proizvodnje električne energije

Za določitev končne proizvodnje električne energije potrebujemo razliko med koto zgornje vode (vode v rezervoarju) in koto spodnje vode, ki jo določimo iz grafa konsumpcijske krivulje izračunanega za izbrano strugo.



Slika 2.6: Prečni prerez hidroelektrarne

Ker računamo proizvodnjo električne energije za pretočne hidroelektrarne, predpostavimo da je koto zgornje vode konstantna na višini H . Koto spodnje vode določimo iz prej izračunane konsumpcijske krivulje, kjer določimo višino spodnje vode v strugi za dani povprečni mesečni pretok skozi turbino hidroelektrarne. V primeru da se pretok skozi turbino hidroelektrarne nahaja med dvema točkama pretokov v konsumpcijski krivulji, iskano višino spodnje vode določimo z linearno interpolacijo med točkama na grafu konsumpcijske krivulje.

Izračunamo višinsko razliko med koto zgornje in spodnje vode:

$$dh = H - H_{spodaj} \quad (2.17)$$

Moč hidroelektrarne izračunamo po enačbi

$$P = \mu * g * Q * dh \quad (2.18)$$

Pri čemer so:

P	moč [kW]
μ	izkoristek turbine [%]
g	gravitacijska konstanta [$9,81 \frac{m}{s^2}$]
Q	pretok [m^3/s]
dh	razlika višin spodnje in zgornje vode [m]

Za izračun povprečne mesečne proizvodnje električne energije, za vsak dan v mesecu izračunamo povprečno moč in uporabimo naslednjo enačbo:

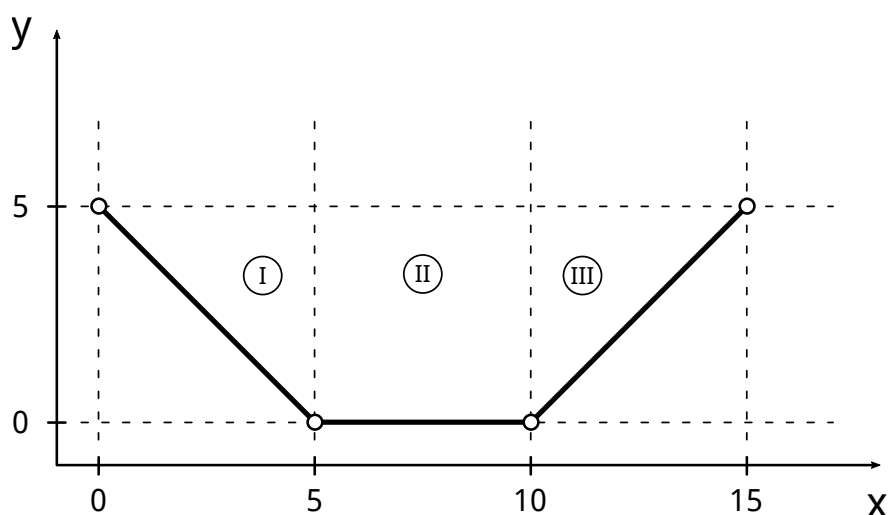
$$E = \frac{P * d * 24}{1000} \quad (2.19)$$

Pri čemer so:

E		proizvedena električna energija [<i>kWh</i>]
d		število dni v mesecu

3 Izračun

V tem poglavju bom s primerom dokazal, da program računa parametre pretočne hidroelektrarne pravilno. Za dokaz bom uporabil namišljen primer trapezno oblikovane struge vodotoka prikazane na sliki 3.1 z Manningovim koeficientom hrapavosti 0,3 in z 1% naklonom struge. Rezultate ročnega izračuna bom primerjal z rezultati ki jih izračuna program po trapezni in numerični metodi opisani v poglavju 2.3.1 oz. 2.4. Vse mere na spodnji sliki so v metrih.



Slika 3.1: Shema struge izbranega vodotoka

3.1 Ročni izračun parametrov hidroelektrarne

I. Odsek

$$S_I = \frac{5 \cdot 5}{2} = 12,5 \, m^2 \quad (3.1)$$

$$P_I = \sqrt{5^2 + 5^2} = 7,07 \, m \quad (3.2)$$

$$Q_I = \frac{\sqrt{0,01}}{0,03} * \frac{12,5^{5/3}}{7,07^{2/3}} = 60,9 \, m^3/s \quad (3.3)$$

II. Odsek

$$S_{II} = 5 \cdot 5 = 25 \, m^2 \quad (3.4)$$

$$P_{II} = 5 = 5 \, m \quad (3.5)$$

$$Q_{II} = \frac{\sqrt{0,01}}{0,03} * \frac{25^{5/3}}{5^{2/3}} = 243,7 \, m^3/s \quad (3.6)$$

III. Odsek

$$S_{III} = S_I = 12,5 \text{ m}^2 \quad (3.7)$$

$$P_{III} = S_I = 7,07 \text{ m} \quad (3.8)$$

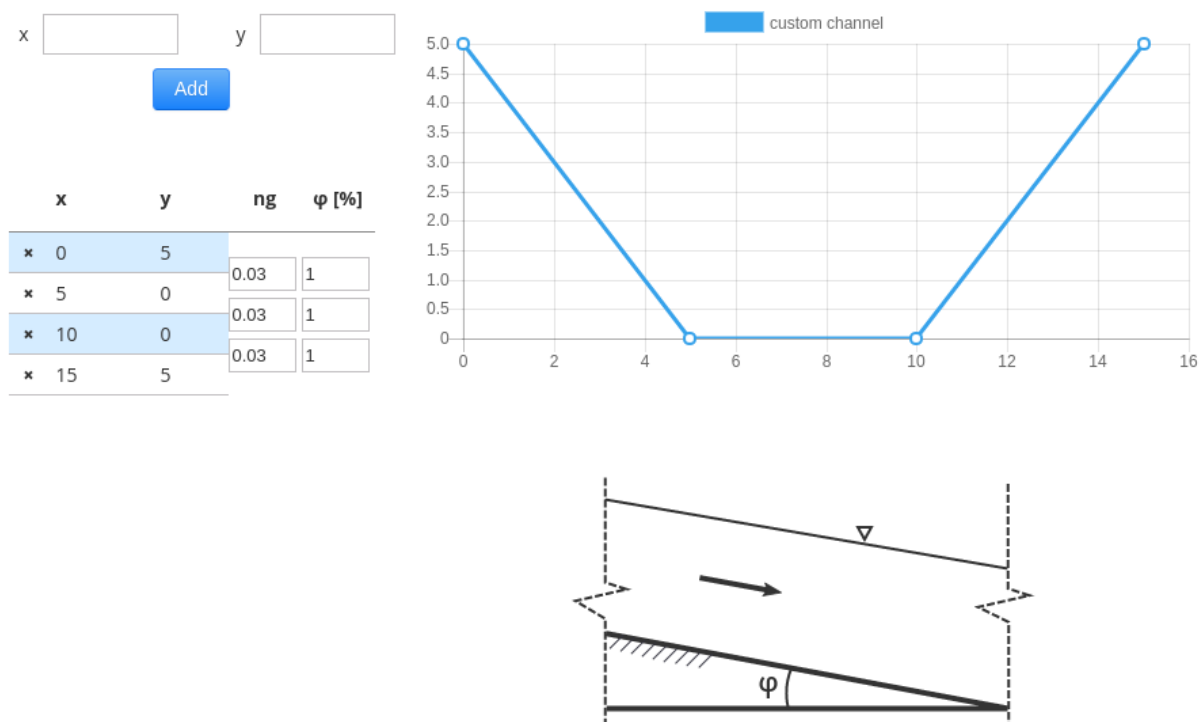
$$Q_{III} = Q_{III} = 60,9 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3.9)$$

Skupni pretok:

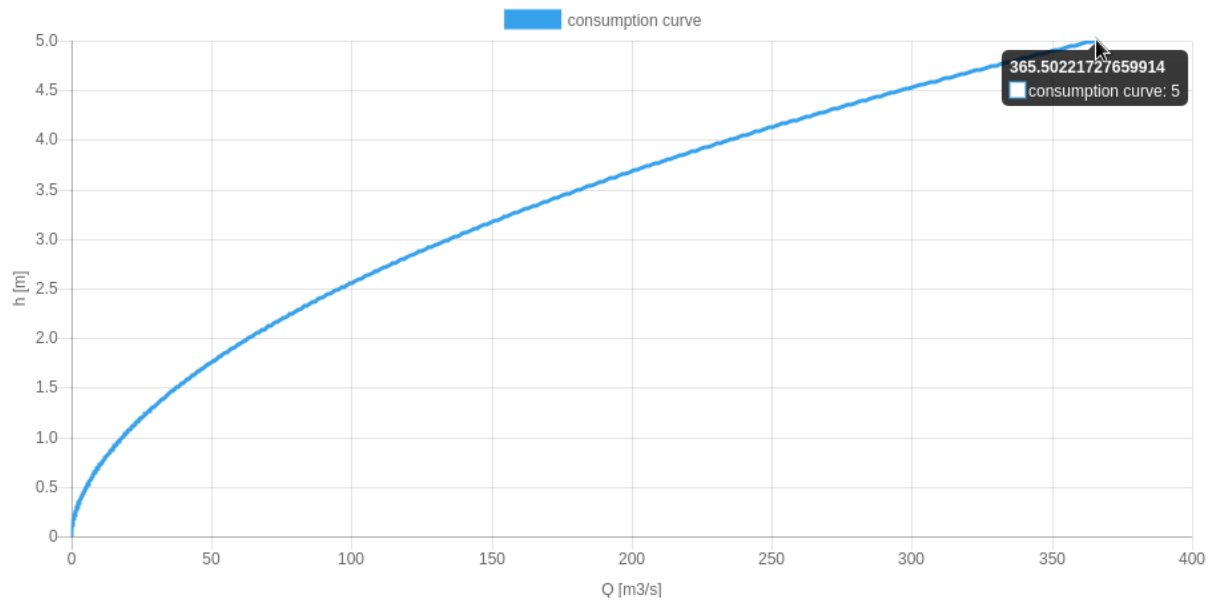
$$Q_s = Q_I + Q_{II} + Q_{III} = 60,9 + 243,7 + 60,9 = 365,5 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3.10)$$

3.2 Izračun parametrov hidroelektrarne s programom

S pomočjo uporabniškega vmesnika v koordinatni sistem vnašamo serijo točk, s katerimi modeliramo robove izbrane struge. V tabeli na levi strani diagrama, za vsak odsek med dvema točkama dodajamo Manningove koeficiente hrapavosti ng in naklone struge na sliki označene s φ . V našem primeru so vrednosti koeficientov za vse odseke rečne struge enake.



Slika 3.2: Vnos podatkov v program



Slika 3.3: Graf konsumpcijske krivulje

Z grafa konsumpcijske krivulje pri višini $h = 5\text{ m}$ lahko preberemo da se rezultat numerične metode ujema z rezultatom ki smo ga izračunali ročno.

4 ZAKLJUČEK

Predstavljena formulacija končnih elementov ...

POVZETEK

V disertaciji obravnavamo problem...

SUMMARY

In the present dissertation we study ...

SEZNAM DODATKOV