

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Džamastagić, E., 2013. Ocena energetskega potenciala akumulacije Vogršček. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentor Schnabl, S.): 78 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Džamastagić, E., 2013. Ocena energetskega potenciala akumulacije Vogršček. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Schnabl, S.): 78 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
HIDROTEHNIČNA SMER

Kandidatka:

ESTER DŽAMASTAGIĆ

**OCENA ENERGETSKEGA POTENCIALA
AKUMULACIJE VOGRŠČEK**

Diplomska naloga št.: 3356/HS

**ASSESSMENT OF HYDROELECTRIC POWER
POTENTIAL OF VOGRŠČEK RESERVOIR**

Graduation thesis No.: 3356/HS

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

doc. dr. Simon Schnabl

Član komisije:

prof. dr. Mitja Brilly

Ljubljana, 19. 12. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Ester Džamastagić izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »**Ocena energetskega potenciala akumulacije Vogršček**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 11.12.2013

Ester Džamastagić

BIBLIOGRAFSKA-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.8(497.4Vogršček)(043.2)
Avtor:	Ester Džamastagić
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Somentor	doc. dr. Simon Schnabl
Naslov:	Ocena energetskega potenciala akumulacije Vogršček
Tip dokumenta:	Dipl. nal. – UNI
Obseg in oprema:	78 str., 24 preglednic, 27 slik, 34 grafov
Ključne besede:	akumulacija, namakanje, vodna bilanca, energetska izkoriščanje, mala hidroelektrarna, TURBNPRO

Izvleček:

V diplomski nalogi smo obravnavali akumulacijo Vogršček. Glavni namen je bila ocena energetskega potenciala akumulacije Vogršček z upoštevanjem dejanske rabe vode za namakanje. V prvem delu smo opisali pregrado in akumulacijo Vogršček. V drugem delu smo najprej pregledali hidrološke podatke in ostalo dostopno projektno dokumentacijo o akumulaciji Vogršček. Nato smo izračunali vodno bilanco akumulacije. Pri tem smo upoštevali vse izgube, biološki minimum in potrebe po namakanju. V tretjem delu smo izračunali energetske proizvodnje za varianto, kjer upoštevamo predpostavke, da se akumulacija prvo leto le polni in, da mora biti višina vode v akumulaciji ves čas nad minimalno obratovalno gladino ter še zadnjo predpostavko, ki pravi, da je akumulacija polna pri normalni obratovalni koti. V četrtem delu smo energetske proizvodnje izračunali za drugo varianto - optimiziran sistem, kjer smo upoštevali enaki prvi dve predpostavki kot v tretjem delu ter še predpostavki, da mora biti akumulacija konec marca tekočega leta vsaj na višini normalne obratovalne kote ter, da je akumulacija polna, ko izkoristimo tudi visokovodni volumen, torej pri maksimalni koti obratovanja. Pri obeh variantah smo izračun izvedli za več različnih scenarijev tako, da smo postopoma povečevali instaliran pretok elektrarne ter poskušali ugotoviti, pri katerem imamo optimalno proizvodnjo. V zadnjem delu smo zasnovali še vse tehnične parametre in izrisali načrt strojnice ter izračunali strošek investicije, ki bi bila potrebna za uresničitev take mHE. Cilj je bil ugotoviti ali je investicija v izgradnjo mHE Vogršček utemeljena in podati primerjavo s prvotno študijo energetske rabe, ki jo je naredil IBE.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDC:** 627.8(497.4Vogršček)(043.2)
- Author:** Ester Džamastagić
- Supervisor:** Andrej Kryžanowski, Ph. D.
- Cosupervisor:** Simon Schnabl, Ph. D.
- Title:** Assessment of hydroelectric power potential of Vogršček reservoir
- Document type:** Graduation Thesis – University studies
- Scope and tools:** 78 p., 24 tabels, 27 figures, 34 charts
- Key words:** accumulation, irrigation, water balance, energy exploitation, small hydro power plant, TURBNPRO

Abstract:

In this thesis we discussed the accumulation Vogršček. The main purpose was to assess the energy potential of the accumulation Vogršček taking into account the actual use of water for irrigation. In the first part we described the dam. In the second part we reviewed the hydrological data and other project documentation available about the accumulation. Then we calculated the water balance of the accumulation. We took into account all losses, biological minimum and need for irrigation. In the third part we calculated the energy production for the variant, in which we took into account the hypotheses that in the first year accumulation only fills up and that the water level in the reservoir should at all times be above the minimum operating water level. The last hypothesis says that the accumulation is full at normal operating water level. In the fourth part we calculated energy production for the second variant - optimized system, which considered the same first two hypotheses as did the third part. In this part we also took into account that the water level of the accumulation at end of March every year has to be at least at normal operating water level and that the reservoir is full at maximum water level. In both variants, we performed the calculation for several different scenarios, so that we gradually increased the installed power flow and tried to figure out when the production of energy is at its maximum. In the last part, we designed all the technical parameters of the powerhouse, sketched a design and calculated the cost of the investment that would be required to build such power plant. The objective was to determine whether the investment in the construction of the power plant was justified and provide a comparison with the original study of energy use done by the IBE.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskem za usmerjanje in nasvete pri izdelavi diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi somentorju doc. dr. Simonu Schnablu.

Za pomoč pri izbiri strojne opreme se zahvaljujem dr. Vesku Djelić in Matjažu Krušecu s Turboinštituta.

Posebna zahvala gre moji mami, ki mi je vedno stala ob strani in mi dajala podporo skozi celotno šolanje.

Hvala tudi vsem sošolcem gradbenikom in ostalim bližnjim prijateljem za vso podporo, motivacijo in pomoč pri študiju ter predvsem za nepozabna študentska leta.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKA-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 OPIS OBJEKTA	3
2.1 Uvrstitev v prostor	3
2.2 Značilnosti akumulacije Vogršček.....	3
2.3 Pregrada	4
2.3.1 Tip pregrade in geološke značilnosti	4
2.3.2 Karakteristike pregrade	5
2.3.3 Talni izpust.....	5
2.3.4 Preliv za visoke vode.....	6
2.3.5 Odzemni objekt	6
2.4 Energetika.....	7
3 OSNOVNE PODLAGE	8
3.1 Hidrološki podatki.....	8
3.1.1 Padavine in odtočni koeficienti	8
3.1.2 Pretoki.....	10
3.1.3 Volumni	11
3.2 Namakanje Vipavske doline	12
3.3 Akumulacija Vogršček.....	21
3.3.1 Volumen akumulacije	22
3.3.2 Površina vode akumulacije Vogršček in njeno izhlapevanje	24
4 VODNA BILANCA	28
4.1 Osnovna vodna bilanca.....	28
4.2 Energetska proizvodnja.....	31
4.2.1 Povprečna količina vode, ki jo lahko namenimo energetskega izkoriščanja.....	31
4.2.2 Primanjkljaji vode in regulacija energetskega izkoriščanja v času primanjkljajev	33
4.2.3 Izračun energetske proizvodnje za različne režime obratovanja, kjer upoštevamo za polni volumen akumulacije 7,25 mio m ³	35
4.2.4 Rezultati izbranega režima obratovanja s pretokom 255 l/s z uporabljenimi predpostavkami.....	40
5 OPTIMIZIRANJE SISTEMA	45

5.1	Opis uporabljenih predpostavk.....	45
5.2	Primanjkljaji vode in prekinitve delovanja večje turbine	45
5.3	Izračun energetske proizvodnje pri različnih režimih obratovanja	47
5.4	Rezultati izbranega režima obratovanja s pretokom 315 l/s.....	51
5.5	Primerjava izbranega režima obratovanja optimiziranega sistema in sistema, kjer ni sezonskih omejitev in je akumulacija polna pri 98,8 m n.m.v.	53
6	MALA HIDROELEKTRARNA.....	55
6.1	Splošen opis mHE.....	55
6.2	Turbine.....	55
6.2.1	Izbira turbine	55
6.2.2	Uporaba in rezultati programa TURBNPRO	57
6.2.3	Opis izbrane turbine	64
7	NAČRTOVANJE IN STROŠKI IZVEDBE mHE	67
7.1	Načrt mHE	67
7.2	Izračun stroškov izgradnje in vzdrževanja mHE	67
7.3	Povrnitev investicije in dinamični kazalci za 10 in 20 let	69
8	Primerjava naših rezultatov z rezultati študije narejene s strani IBE	71
9	ZAKLJUČEK	73
VIRI	75

KAZALO PREGLEDNIC

Pr. 1:	Mesečne vrednosti padavin za dotok v akumulacijo Vogršček v mm za obdobje 1948-1977, [2]	8
Pr. 2:	Odtočni koeficienti za suha leta, [2].....	9
Pr. 3:	Odtočni koeficienti za srednje mokra leta, [2].....	9
Pr. 4:	Odtočni koeficienti za mokra leta, [2]	9
Pr. 5:	Dotok v akumulacijo Vogršček v m ³ /s za obdobje 1948 - 1977	10
Pr. 6:	Volumen dotoka vode v akumulacijo Vogršček v milijonih m ³ za obdobje 1948 - 1977	11
Pr. 7:	Mesečne potrebe po namakanju za zgornji del Vipavske doline za obdobje 1948 - 1974, odsek Podnanos - Hubelj, velikost območja je 1646 ha, [2].....	12
Pr. 8:	Mesečne potrebe po namakanju za srednji del Vipavske doline za obdobje 1948 - 1974, odsek Hubelj - Zalošče, velikost območja je 1736 ha, [2]	13
Pr. 9:	Mesečne potrebe po namakanju za spodnji del Vipavske doline za obdobje 1948 - 1974, odsek Zalošče - Miren, velikost območja je 2047 ha, [2]	14
Pr. 10:	Mesečne potrebe po namakanju za višje ležeče površine v m ³ /s za odsek Zalošče – Miren za obdobje 1948 – 1974 (40% spodnjega dela Vipavske doline, 819 ha)	15
Pr. 11:	Mesečne potrebe po namakanju za površine bližje ležeče reki Vipavi v m ³ /s za odsek Zalošče - Miren za obdobje 1948 - 1974. To je 60% površin spodnjega dela Vipavske doline oziroma 1228 ha.....	16
Pr. 12:	Preračun mesečnih količin vode, ki jih je potrebno zagotoviti za namakanje 1228 ha spodnjega dela Vipavske doline ali pa za bogatenje reke Vipave za leto 1956. Vrednosti so v m ³ /s.....	17
Pr. 13:	Mesečni primanjkljaji vodnih količin reke Vipave v m ³ /s za obdobje 1948 - 1974	18
Pr. 14:	Mesečne količine vse primanjkaajoče vode, ki jo moramo zagotoviti za celotno Vipavsko dolino iz akumulacije Vogršček v m ³ /s za obdobje 1948 - 1974	19
Pr. 15:	Mesečne količine vse primanjkaajoče vode, ki jo moramo zagotoviti za celotno Vipavsko dolino iz akumulacije Vogršček v m ³ za obdobje 1948 – 1974	20
Pr. 16:	Volumen vode v m ³ akumulacije pri določeni koti gladine vode.....	22
Pr. 17:	Površina gladine vode v m ² pri določeni koti gladine vode	25
Pr. 18:	Mesečne vrednosti izhlapevanja v mm, [2].....	27
Pr. 19:	Izhlapevanje v m ³ /s in m ³ , če bi bila akumulacija polna do maksimalne višine 100,5 m n.m.v.	27

Pr. 20:	Višina vode v koritu potoka Vogršček dolvodno od podslapja za talni izpust pri določenem instaliranem pretoku	37
Pr. 21:	Višina vode v koritu potoka Vogršček dolvodno od podslapja za talni izpust pri določenem pretoku	47
Pr. 22:	Izračun stroškov investicije in letnega obratovanja	68
Pr. 23:	Izračun dinamičnih in statičnih kazalcev za dobo 10 let	69
Pr. 24:	Izračun dinamičnih in statičnih kazalcev za dobo 20 let	70

KAZALO SLIK

Sl. 1:	Akumulacija Vogršček – relief, [1].....	1
Sl. 2:	Akumulacija Vogršček - uvrstitev v prostor, [4].....	3
Sl. 3:	Akumulacija Vogršček s pregrado, spodnjim jezerom in zgornjim jezerom, [5].....	4
Sl. 4:	Krona pregrade z makadamsko cesto, [5].....	5
Sl. 5:	Deli pregrade Vogršček, [5]	6
Sl. 6:	Odvzemni objekt, [5].....	6
Sl. 7:	Graf krivulje površin in volumna akumulacije Vogršček. Polna krivulja predstavlja volumen v odvisnosti od kote gladine vode in črtkano označena krivulja predstavlja površino gladine vode v odvisnosti od kote gladine vode. [6]	21
Sl. 8:	Prikaz delovanja črpalke oziroma poti vode skozi črpalko. Za našo malo turbino, kjer bi vzeli črpalko z elektromotorjem, bi pa voda potekala ravno obratno, kot v črpaki na sliki. [7]	56
Sl. 9:	Izgled črpalke z elektromotorjem, [8].....	56
Sl. 10:	Primer Francisove turbine oziroma spirala turbine in generatorja (obravan rdeče), [9]	57
Sl. 11:	Začetna stran programa TURBNPRO, kjer smo izbrali francisovo vodno turbino	57
Sl. 12:	Vnos naših podatkov v program TURBNPRO	58
Sl. 13:	Lepši prikaz vnešenih podatkov v pogramu TURBNPRO.....	59
Sl. 14:	Prikaz možnosti, ki nam jih poda program po vnosu začetnih podatkov. Odločili smo se za 2. možnost.	59
Sl. 15:	Izbira lastnosti izbrane francisove turbine	60
Sl. 16:	Prikaz rezultatov izkoristkov in moči turbin pri določenem pretoku skozi turbino, ki nam jih poda program TURBNPRO	60
Sl. 17:	Prikaz rezultatov pri minimalnem in maksimalnem neto padcu	61
Sl. 18:	Prikaz dimenzij v m dovodne cevi in spirale turbine	61
Sl. 19:	Sesalna cev turbine z vsemi dimenzijami v m	62
Sl. 20:	Povezava in dimenzije v m med generatorjem in turbino, ki poteka preko grede	62
Sl. 21:	Prikaz dimenzij v m gonilnika in njegovih ostalih delov.....	63
Sl. 22:	Školjčni diagram z legendo pod njim.....	63
Sl. 23:	Gonilnik z označenimi deli: št. 1 predstavlja pesto, št. 2 predstavlja lopatice in št. 3 predstavlja venec, [10]	64
Sl. 24:	Primer gonilnika, [11]	64
Sl. 25:	Kavitacijski vrtinec oziroma vrtinčna kavitacija v sesalni cevi, [12]	65
Sl. 26:	Lopatice vodilnika, [13]	65

Sl. 27:	Lopatice vodilnika obarvane z rumeno barvo in gonilnik ter njegove lopatice obarvane z rdečo barvo, [14]	66
---------	--	----

KAZALO GRAFOV

Graf 1:	Prikaz letnih količin padavin v mm za obdobje 1948 - 1977	9
Graf 2:	Letni dotok v akumulacijo v m^3/s za obdobje 1948 - 1977	11
Graf 3:	Prikaz krivulje volumna vode akumulacije v odvisnosti od kote gladine vode $V=f(h)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije volumna vode v odvisnosti od kote gladine vode.....	23
Graf 4:	Prikaz krivulje kote gladine vode v odvisnosti od volumna vode akumulacije $h=f(V)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije kote gladine vode v odvisnosti od volumna vode.....	24
Graf 5:	Prikaz krivulje površine gladine vode v odvisnosti od kote gladine vode akumulacije $F=f(h)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije površine gladine vode v odvisnosti od kote gladine vode.	25
Graf 6:	Prikaz krivulje kote gladine vode v odvisnosti od površine gladine vode akumulacije $h=f(F)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije kote gladine vode v odvisnosti od površine gladine vode.	26
Graf 7:	Povprečen mesečni dotok vode v akumulacijo v m^3/s . Prikazan je tudi povprečni letni dotok, ki znaša $0,257 m^3/s$	28
Graf 8:	Povprečne mesečne potrebe po namakanju v m^3	29
Graf 9:	Količina volumna vode v m^3 za obdobje 1948 - 1974, ki se uporablja za različne namene, kot so energetika, namakanje, izgube zaradi izhlapevanja in biološki minimum.....	30
Graf 10:	Povprečen mesečni preliv v m^3 , če upoštevamo predpostavko, da je akumulacija polna pri $7,25 \text{ mio } m^3$ za režim obratovanja s pretokom 15 l/s	31
Graf 11:	Krivulje trajanja za dotok vode v akumulacijo za suha, srednje mokra in mokra leta.....	32
Graf 12:	Primerjava povprečnih primanjkljajev/viškov vode v akumulaciji v m^3 med režimi obratovanja s pretokom 270 l/s in 165 l/s . Primanjkljaji so v resnici še večji, saj mora biti akumulacija napolnjena vsaj do minimalne kote obratovanja 80 m n.m.v.	34
Graf 13:	Primerjava med letnimi prelivi/viški vode v milijonih m^3 med režimom obratovanja s pretokom 15 l/s in 270 l/s za obdobje 1948 – 1974	35

Graf 14:	Povprečna moč v kW izračunana iz moči izračunanih za vsak mesec posebej za obdobje 1948 - 1974 za različne instalirane pretoke	38
Graf 15:	Povprečna letna proizvedena energija v kWh za obdobje 1948 - 1974 pri različnih režimih obratovanja	39
Graf 16:	Sovisnot deleža izrabe razpoložljive vode in skupne proizvodnje v GWh v obdobju 27 ih let (1948 - 1974) v odvisnosti od pretoka	39
Graf 17:	Sovisnost povprečne letne proizvodnje v EUR v obdobju 27ih let (1948 - 1974) in upada povprečnih obratovalnih gladin v akumulaciji v odvisnosti od pretoka	40
Graf 18:	Proizvod energije v kWh po mesecih za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 255 l/s	41
Graf 19:	Proizvedena letna energija v kWh za obdobje 1948 - 1974 pri režimu obratovanja in povprečna letna proizvodnja energije za režim obratovanja s pretokom 255 l/s	42
Graf 20:	Povprečna mesečna proizvodnja energije v kWh za režim obratovanja s pretokom 255 l/s	42
Graf 21:	Letna proizvodnja v EUR za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 255 l/s	43
Graf 22:	Povprečna mesečna proizvodnja v EUR za režim obratovanja s pretokom 255 l/s	43
Graf 23:	Prelivi/viški vode v m ³ po mesecih v obdobju 1948 – 1974 za režim obratovanja s pretokom 255 l/s	44
Graf 24:	Povprečno letno obratovanje obeh turbin v urah za različne režime obratovanja	46
Graf 25:	Velikost vsote prelivov za vseh obravnavanih 27 let (1948 - 1974) pri različnih režimih obratovanja	47
Graf 26:	Povprečna moč turbine v kW za režime obratovanja z različnimi pretoki	49
Graf 27:	Povprečna letna proizvodnja energije v kWh za različne režime obratovanja.....	49
Graf 28:	Sovisnost deleža izrabe razpoložljive vode in skupne proizvodnje energije v GWh v obdobju 27 ih let (1948 - 1974) v odvisnosti od pretoka	50
Graf 29:	Sovisnost povprečne letne proizvodnje v EUR v obdobju 27ih let (1948 - 1974) in upada obratovalnih gladin v akumulaciji v odvisnosti od pretoka.....	50
Graf 30:	Proizvod energije za vse mesece obdobja 27ih let (1948 - 1974) za režim obratovanja s pretokom 315 l/s	51
Graf 31:	Letna proizvedena energija v kWh za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 315 l/s. Prikazana je tudi povprečna letna proizvodnja energije izračunana iz vseh 27ih obravnavanih let.	52
Graf 32:	Povprečna mesečna proizvedena energija v kWh za režim obratovanja 315 l/s	52

-
- Graf 33: Letna proizvodnja energije v EUR za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 315 l/s. Prikazana je tudi povprečna letna proizvodnja v EUR izračunana iz vseh 27ih obravnavanih let 53
- Graf 34: Primerjava povprečnih mesečnih proizvedenih energij za različni varianti izračuna, in sicer za 1. varianto izračuna z režimom obratovanja s pretokom 255 l/s in za 2. varianto izračuna z režimom obratovanja s pretokom 315 l/s 54

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AB	armirani beton
HE	hidroelektrarna
IBE	Inženirski biro Elektro projekt Ljubljana
mHE	mala hidroelektrarna
TI	toplotna izolacija
VGI	Vodnogospodarski inštitut Ljubljana

Ta stran je z namenom prazna.

1 UVOD

Pregrada Vogršček je bila zgrajena leta 1989 predvsem z namenom zadrževanja vode za potrebe namakanja kmetijskih površin v Vipavski dolini in zadrževanja poplavnih valov. Akumulacija zagotavlja ustrezne vodne količine za namakanje predvsem v sušnem obdobju spomladi in poleti. Napaja pa se predvsem v jesenskem in zimskem obdobju, ko so pretoki največji. Za namakanje v Vipavski dolini sta predvidena dva vodna vira: akumulacija Vogršček in reka Vipava. Iz reke Vipave je predvideno, da se namakata zgornji in srednji del Vipavske doline, spodnji del pa iz akumulacije Vogršček in reke Vipave.



Sl. 1: Akumulacija Vogršček – relief, [1]

Glavni namen diplomske naloge bo oceniti energetski potencial akumulacije Vogršček z upoštevanjem dejanske rabe vode za namakanje. Glavni cilj bo v celoti izkoristiti razpoložljive vodne količine. Pred tem bo potrebno pregledati dostopno projektno dokumentacijo v zvezi z izkoriščanjem vodnega potenciala in na koncu še zasnovati tehnične parametre za malo hidroelektrarno, če bodo rezultati pokazali, da se splača tudi energetsko izkoriščati akumulacijo Vogršček.

V zadnjih letih je tema sanacije pregrade Vogršček postala zelo aktualna. Leta 2007 se je pojavil moker madež, ki je nakazoval, da povezovalni cevovod, ki vodi od odvzemnega objekta do namakalnega sistema, pušča. V letu 2008 je bila izvedena prevezava namakalnega sistema na desno cev talnega izpusta. Pri sanacijskem programu sodeluje tudi Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerze v Ljubljani. Zato je tudi prav, da se raziščejo hidrološke razmere na lokaciji akumulacije Vogršček in ugotovi ali le-te omogočajo tudi energetsko izrabo.

Na potoku Vogršček ni vzpostavljenih meritev pretokov, zato bomo povzeli podatke o potrebnih mesečnih pretokih za namakanje za posamezna območja in podatke o padavinah po idejni zasnovi akumulacije Vogršček iz leta 1983, ki jo je naredil VGI (Vodnogospodarski inštitut Ljubljana) [2]. Ta dokumentacija pa je bila tudi strokovna podlaga za zasnovo prvotne študije energetske rabe, ki jo je naredil IBE (Inženirski biro Elektro projekt Ljubljana) [3]. V tej študiji je bilo predvideno le energetsko izkoriščanje minimalnih pretokov, ker dejanske potrebe za namakanje v času študije še niso bile znane. Analiza bo temeljila na predpostavkah in podatkih iz osnovne študije IBE [3] prav z namenom, da lahko na koncu podamo primerjavo in pokažemo ali je investicija v mHE (malo hidroelektrarno) z upoštevanjem novih dejstev utemeljena.

Na voljo bomo imeli podatke za potrebe namakanja le za 27 letni niz (1948-1974), zato bodo naši izračuni vodne bilance in energetske proizvodnje vezani na to obdobje. V izračunu vodne bilance in potencialne energetske proizvodnje bomo upoštevali izhodišča iz idejne zasnove [2]. Predpostavili bomo, da je sistem namakanja v Vipavski dolini dograjen v celoti in deluje brezhibno ter da so za energetske proizvodnje na voljo zgolj viški vode ter količine namenjene ohranjanju ekoloških razmer v strugi potoka Vogrščka dolvodno od pregrade.

Voda za namakanje je speljana direktno v namakalni sistem in v interesu upravljalcev namakalnega sistema je, da se ohranja čim višji nivo vode v akumulaciji. Zato bomo sistem poskušali tudi čimbolj optimizirati, in sicer z izračunom različnih scenarijev višine instaliranega pretoka turbine. S tem bomo določili, pri katerem instaliranem pretoku bo proizvodnja najbolj optimalna.

Če se bo po izračunu stroškov izgradnje strojnice, izkazalo da je investicija utemeljena, bomo tudi s pomočjo zaposlenih na Turboinštitutu izbrali primerno strojno opremo in zasnovali vse ostale tehnične parametre za mHE.

2 OPIS OBJEKTA

2.1 Uvrstitev v prostor

Akumulacija Vogršček se nahaja na obrobju Vipavske doline, kjer vinogradništvo in sadjarstvo predstavlja eno od pglavitnih gospodarskih panog v regiji. Bolj natančno, pregrada oziroma akumulacija Vogršček se nahaja na istoimenskem potoku Vogršček, ki pa je levi pritok potoka Lijak in je izrezljal svojo strugo vzhodno od naselja Vogrsko v Vipavski dolini. Pripada porečju reke Vipave in povodja Jadranskega morja. Zadrževalnik Vogršček je sestavljen iz zgornjega (pomožnega) in spodnjega (glavnega) jezera.



Sl. 2: Akumulacija Vogršček - uvrstitev v prostor, [4]

2.2 Značilnosti akumulacije Vogršček

Akumulacija Vogršček je bila zgrajena v letih 1986 – 1989. Nameni zadrževanja vode so: zagotoviti vodo za namakanje, zadrževanje visokega vala Vogrščka, bogatenje nizkih voda in rekreacijske dejavnosti, kot so ribolov in turizem.

Akumulacija zagotavlja ustrezne vodne količine za namakanje predvsem v sušnem obdobju spomladi in poleti. Celotni volumen akumulacijskega prostora znaša 8,5 mio m³ – od tega je 8,05 mio m³ izkoristljivega volumna in 0,45 mio m³ mrtvega volumna. 6,8 mio m³ vode izkoristljivega volumna je namenjena namakanju in 1,25 mio m³ za zadrževanje visokih voda.

Za evakuacijo visokih voda je na desnem boku pregrade izveden prelivni objekt v armirano betonski izvedbi, ki prevaja 1.000 letno visoko vodo. Za evakuacijo visokih voda je predviden tudi talni izpust. Za odvzem vode za namene namakanja je bil izveden odzumni objekt. Odzumni objekt je bil do leta 2008 preko povezovalnega cevovoda iz obbetoniranih jeklenih cevi s premerom 1.000 mm povezan z glavnim ventilom namakalnega sistema. Zaradi puščanja cevovoda je bila v letu 2008 izvedena prevezava namakalnega sistema, in sicer na desno cev talnega izpusta. Povezovalni cevovod je bil na iztočnem delu sprva samo zamašen. V letu 2012 so ga v celoti zapolnili z injekcijsko maso. Tako je sedaj trenutno odvzem vode za namakanje omogočen skozi desno cev talnega izpusta. S tem so omogočili normalno oskrbo namakalnega sistema z vodo iz zadrževalnika. Vendar je nižja gladina vode v zadrževalniku, ki se je znižala na koto 92 m n.m.v., povzročala težave pri zagotavljanju ustreznega pritiska vode za namakanje in čistosti vode.

2.3 Pregrada

2.3.1 Tip pregrade in geološke značilnosti

Pregrada je zgrajena v izredno ugodnem pregradnem profilu, in sicer v najožjem delu doline, kar lahko vidimo tudi na sliki 3. Širina doline po dnu znaša okoli 70 m. Vzdolžni prerez pregrade je prikazan v prilogi C – 1 in prečni prerez pregrade v prilogi C – 2.



Sl. 3: Akumulacija Vogršček s pregrado, spodnjim jezerom in zgornjim jezerom, [5]

Tip pregrade je nasuti tip pregrade. Imamo kombinacijo zemeljske in skalometne pregrade, kar lahko vidimo v prečnem prerezu pregrade v prilogi C – 2. Za tak tip pregrade so se odločili zaradi geoloških karakteristik območja, razpoložljivega materiala za vgradnjo in zaradi želje po ozelenjeni zračni strani pregrade, ki se zelo dobro vklaplja v okolje.

Pregrada je slojevita zemeljska-skalometna. Vodna stran pregrade je izvedna s skalometom v naklonu 1:1,5 s tremi vmesnimi bermami. Zračni del je v osnovi iz kamnitega lomljenca, jalovine in krovni sloj iz glinasto-meljastih materialov. Urejen je v naklonu 1:2 s štirimi vmesnimi bermami.

Jedro pregrade je iz glinasto meljastih materialov, pridobljenih po večini na območju akumulacijskega prostora zaščiteno z dvoslojnim filtrom na obeh straneh. Pregrada je visoka 35,40 m, dolga 174 m; širina krone znaša 5 m, v dnu je pregrada široka 120 m. Preko pregrade je speljana makadamska povezovalna cesta.

Pregradno mesto leži na eocenskem flišu. Levi del doline je na mestu, kjer je pregrada, zgrajen iz apnencev, desni del pa iz laporjev. Na območju pregradnega profila je prehod med materialoma postopen. Dno doline akumulacije prekriva 3 m debeli aluvialni prod in peščeno meljni nanos.

Za tesnenje pregrade je izvedena tesnilna zavesa. Injekcijska zavesa je vgrajena iz vrha pregrade, levo in desno od pregrade pa iz raščenege pobočja. Celotna dolžina zavesa je 344 m. Zavesa je enoredna in je bila izvedena po sistemu primarnih, sekundarnih in terciarnih vrtin. Razdalja med vrtinami je 1,5 m oziroma 2 m, pri kontaktnih injekcijah pa 1 m. Za injektiranje je bila uporabljena cementno-betonitna suspenzija.

2.3.2 Karakteristike pregrade

Osnovne karakteristike pregrade so:

- Vrh (krona) pregrade je na koti 102,0 m n.m.v., širina krone pregrade je 5,0 m, dolžina pa je 174 m. Po njej poteka makadamska cesta.
- Maksimalna višina pregrade je 35,40 m od raščenege terena in 37 m od najnižje točke temeljev.
- Povprečni naklon vodne strani je 1 : 1,5. Na vodni strani sta 2 bermi širine 2,0 m in 1 berma širine 4,0 m. Vodna stran pregrade je iz kamnometa, ki je bil ročno zložen.
- Povprečni naklon zračne strani je 1 : 2. Na zračni strani so 4 berme širine 2,5 m, ki zmanjšujejo erozijo in dajejo lepši estetski izgled. Zračna stran je iz gline, ki je pomešana z meljem, jalovino ter lomljencem. Prav tako je zračna stran zatravljena ter odvod vode iz berm je urejen s kanaletami.
- Zaradi varnosti je poglobljeno jedro pregrade. Osrednji del doline pa je bil izkopan do nosilnih neprepustnih tal.
- Maksimalna kota zaježitve je 100,5m n.m.v. Volumen ob maksimalni zaježitvi znaša 8,05 mio m³ oziroma 8,5 mio m³, če upoštevamo še mrtvi prostor. Vodna površina je takrat 85 ha.
- Kota stalne zaježitve je pa 98,80 m.n.v., kjer je volumen vode enak 6,8 mio m³, skupaj z mrtvim prostorom pa znaša ta volumen 7,25 mio m³.
- Najnižja kota jezera je 69,49 m n.m.v.
- V zgornjem jezeru je dovoljeno nihanje gladine od maksimalne kote 102,5 m n.m.v. do kote stalne ojezeritve 99,3 m n.m.v.
- V spodnjem jezeru je dovoljeno nihanje gladine od maksimalne kote 100,5 m n.m.v. do minimalne kote 80,00 m n.m.v.



Sl. 4: Krona pregrade z makadamsko cesto, [5]

2.3.3 Talni izpust

Talni izpust je sestavljen iz dveh obbetoniranih jeklenih cevi premera 1.200 mm. Levi cevovod (gledano dolvodno) je namenjen spuščanju biološkega minimuma v potok Vogršček in hitremu praznjenju akumulacije. Desni pa je sedaj po rekonstrukciji namenjen za praznjenje akumulacije in odvzem vode za namakanje.

Vtok v talni izpust je armirano betonska konstrukcija velikosti 6,6 x 5,5 m z grabljami na koti 72,80 m n.m.v. za levo cev in na koti 77,80 m n.m.v. za desno cev. Iztok vode iz objekta poteka preko podslapja, ki je dimenzioniran na pretok 14,5 m³/s in se nadaljuje po koritu Vogrščka.



Sl. 5: Deli pregrade Vogršček, [5]

2.3.4 Preliv za visoke vode

Preliv za visoke vode je armirano betonska konstrukcija z natočnim delom na desnem boku pregrade. Na koncu natočnega dela je zapornica. Njena dimenzija je 8,0 x 1,0 m. Za njo je drča, katere širina je 8 m in dolžina približno 139,5 m. Drča se pod pregrado zaključí s podslapjem, ki ima dimenzije 8 x 4 x 25 m.

2.3.5 Odzemni objekt

Odvzemni objekt je bil pred pojavom mokrega madeža leta 2007 del namakalnega sistema. Potem so izvedli odzem vode za namakanje preko navezave na talni izpust in sedaj objekt čaka na sanacijo pregrade in namakalnega povezovalnega cevovoda, ki naj bi imel premer 1.000 mm.

Gre za armirano betonsko konstrukcijo, ki se nahaja na levem bregu na vodni strani pregrade in omogoča površinski odzem vode za namakanje. Voda se odvzema na štirih višinah med kotama 83 m n.m.v. in 98,8 m n.m.v. Odzem vode med kotama 80 m n.m.v. in 83 m n.m.v. je bil že od samega začetka predviden preko talnega izpusta. Odzemni objekt ima štiri zapornične table in pred vsako je nameščena rešetka.



Sl. 6: Odzemni objekt, [5]

2.4 Energetika

V istem letu kot je VGI naredil idejno zasnovo akumulacije Vogršček [2], je tudi IBE naredil prvotno študijo energetske izrabe [3]. Tako kot bomo mi, so tudi oni izhajali iz podatkov idejne zasnove VGI [2]. V njihovi študiji je bilo predvideno le energetske izkoriščanje minimalnih pretokov, in sicer biološkega minimuma velikosti 22 l/s. V času študije dejanske potrebe po namakanju še niso bile poznane, zato nikoli ni prišlo do realizacije projekta. Predvideli so le eno turbino, in sicer tipsko peltonovo turbino, tipa TP 100 po tipizaciji Turboinštituta. Ocenili so, da bi s tako turbino na osnovi vodne bilance v akumulaciji bila povprečna letna proizvodnja energije 40,8 kWh. IBE je podal ugotovitev, da zaradi zelo drage strojne opreme v primerjavi z nizko letno proizvodnjo, taka investicija ni ugodna.

V diplomski nalogi bomo poskušali pokazati ali je investicija v mHE z upoštevanjem novih dejstev utemeljena. Upoštevali bomo namreč vse izgube, biološki minimum in rabo vode za namakanje, pri čemer bomo upoštevali, da je namakalni sistem izveden v celoti. Za energetske izrabe pa bomo namenili le viške vode ter energetske proizvodnje, ki jo pridobimo s pretokom.

3 OSNOVNE PODLAGE

3.1 Hidrološki podatki

3.1.1 Padavine in odtočni koeficienti

Že takoj na začetku hidrološke obdelave se pojavi problem, namreč na vodotoku Vogršček pred pregradnim profilom in na njem ni vodomerne postaje, zato hidrološka obdelava temelji na obdelavi podatkov o padavinah za dežemerski postaji Zalošče in Ozeljan, ki so podane v idejni zasnovi akumulacije Vogršček iz leta 1983 [2]. Za izračun pretokov je privzeta srednja vrednost za ti dve postaji. Podatke o padavinah, ki so prikazani v naslednji preglednici, smo dobili za obdobje od 1948 do 1977, torej za 30 let.

Pr. 1: Mesečne vrednosti padavin za dotok v akumulacijo Vogršček v mm za obdobje 1948-1977, [2]

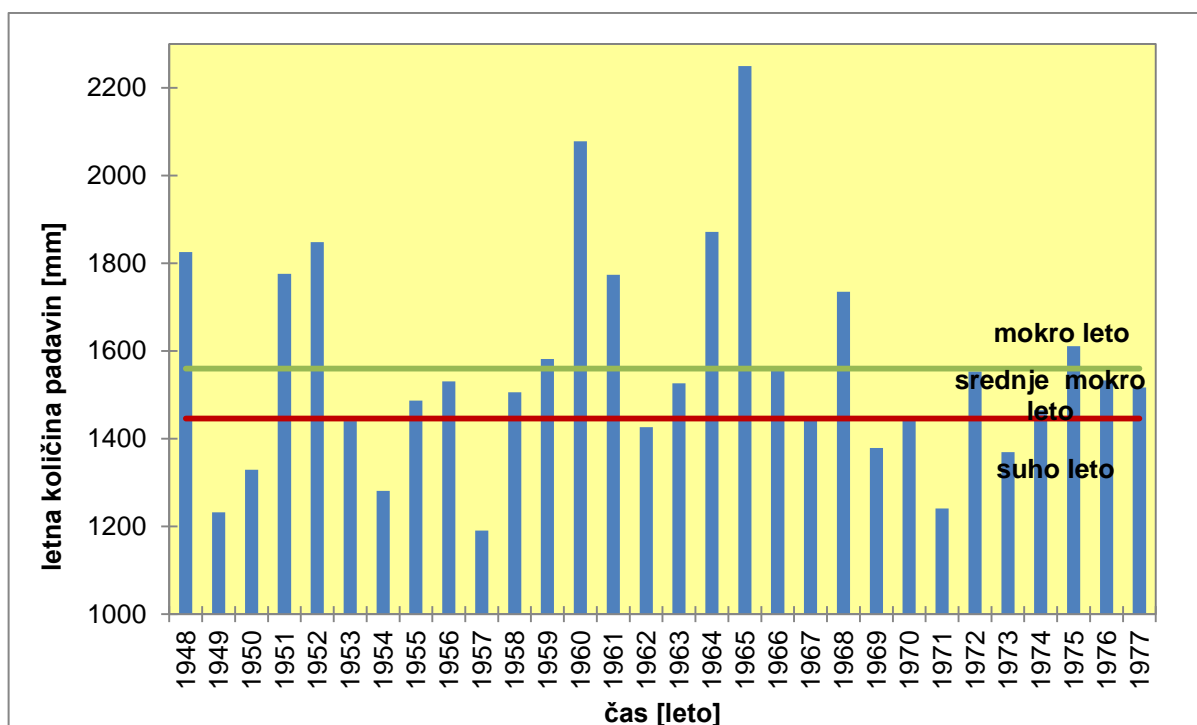
leto	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	vsota	kakšno leto
1948	304	74	2	114	142	376	177	151	98	225	103	60	1826	mokro
1949	178	1	8	68	104	70	126	20	45	144	355	113	1232	suho
1950	54	104	25	148	78	70	33	115	127	123	248	204	1329	suho
1951	235	280	234	77	164	126	140	84	88	19	240	89	1776	mokro
1952	161	215	63	50	79	142	104	108	358	279	80	209	1848	mokro
1953	44	73	0	68	104	254	164	190	226	156	13	148	1440	suho
1954	21	59	125	88	192	132	115	111	59	166	119	94	1281	suho
1955	119	181	104	26	199	109	130	86	120	173	54	186	1487	srednje mokro
1956	166	0	39	221	76	232	155	100	85	264	177	16	1531	srednje mokro
1957	35	250	16	176	90	105	201	81	52	50	51	83	1190	suho
1958	174	129	72	106	24	152	99	145	76	176	115	238	1506	srednje mokro
1959	69	1	71	159	145	158	101	90	158	104	154	372	1582	mokro
1960	104	234	171	34	46	157	198	174	248	369	153	190	2078	mokro
1961	124	42	47	202	115	152	239	65	143	289	235	121	1774	mokro
1962	174	51	174	151	144	99	82	4	110	66	281	90	1426	suho
1963	174	129	126	91	69	153	74	230	149	66	194	71	1526	srednje mokro
1964	1	74	150	168	47	60	227	268	123	407	146	201	1872	mokro
1965	227	11	212	108	152	158	320	159	419	0	293	191	2250	mokro
1966	36	124	72	129	118	60	188	204	77	278	152	119	1557	srednje mokro
1967	53	77	93	108	176	171	64	47	233	142	232	52	1448	srednje mokro
1968	52	328	18	80	83	151	164	185	295	43	219	117	1735	mokro
1969	97	187	60	52	141	109	30	208	169	32	252	42	1379	suho
1970	171	80	228	175	126	87	65	111	50	57	152	144	1446	suho
1971	159	62	127	121	160	150	36	71	44	76	159	76	1241	suho
1972	73	162	118	165	162	162	83	110	125	44	209	140	1553	srednje mokro
1973	95	130	1	157	32	113	108	50	224	236	144	79	1369	suho
1974	61	151	29	106	104	226	75	66	210	290	113	34	1465	srednje mokro

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 1

1975	47	4	228	232	197	156	203	121	107	65	96	155	1611	mokro
1976	15	121	19	102	112	70	56	126	253	205	164	290	1533	srednje mokro
1977	240	200	50	55	90	96	194	310	47	47	85	103	1517	srednje mokro

Za izračun pretokov iz padavin potrebujemo še odtočne koeficiente, ki pa so določeni glede na višino padavin in evapotranspiracijo. Upoštevani so različni odtočni koeficienti za suho, srednje mokro in mokro leto. Razdelitev let na suho, srednje mokro ali mokro leto je odvisna od višine letnih padavin. Suho leto ima letna višina padavin do 1446 mm, srednje mokro leto od 1446 mm do 1560 mm in mokro leto več kot 1560 mm padavin. Za vsako leto je v zadnjem stolpcu preglednice Pr. 1 označena vrsta leta (suho/srednje mokro/mokro).



Graf 1: Prikaz letnih količin padavin v mm za obdobje 1948 - 1977

Odtočni koeficienti se zelo razlikujejo skozi letne čase, zato je srednji letni odtočni koeficient razdeljen na odtočne koeficiente za posamezne mesece, ki so prikazani v naslednjih tabelah.

Pr. 2: Odtočni koeficienti za suha leta, [2]

jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	letni
0,56	0,63	0,5	0,43	0,31	0,13	0,1	0,1	0,16	0,43	0,49	0,56	0,36

Pr. 3: Odtočni koeficienti za srednje mokra leta, [2]

jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	letni
0,65	0,72	0,59	0,52	0,4	0,22	0,19	0,19	0,25	0,51	0,58	0,65	0,45

Pr. 4: Odtočni koeficienti za mokra leta, [2]

jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	letni
0,75	0,82	0,69	0,62	0,5	0,32	0,29	0,29	0,35	0,61	0,68	0,75	0,55

3.1.2 Pretoki

Prispevno področje do pregradnega prereza znaša $F=11,25 \text{ km}^2$. S pomočjo prispevnega območja, odtočnih koeficientov in privzetih mesečnih vrednosti padavin lahko izračunamo srednje mesečne dotoke v akumulacijo Vogršček.

Formula, s katero je izveden izračun dotokov se glasi:

$$Q = \frac{P * k_{odt.} * F * 0,001}{t}$$

kjer je

Q - dotok

P – padavine v mm (Pr. 1)

$k_{odt.}$ – koeficient odtoka (Pr. 2, 3 in 4)

F – prispevno območje $F = 11,25 \text{ km}^2 = 11.250.000 \text{ m}^2$

t – čas v sekundah od posameznega meseca

Pr. 5: Dotok v akumulacijo Vogršček v m^3/s za obdobje 1948 - 1977

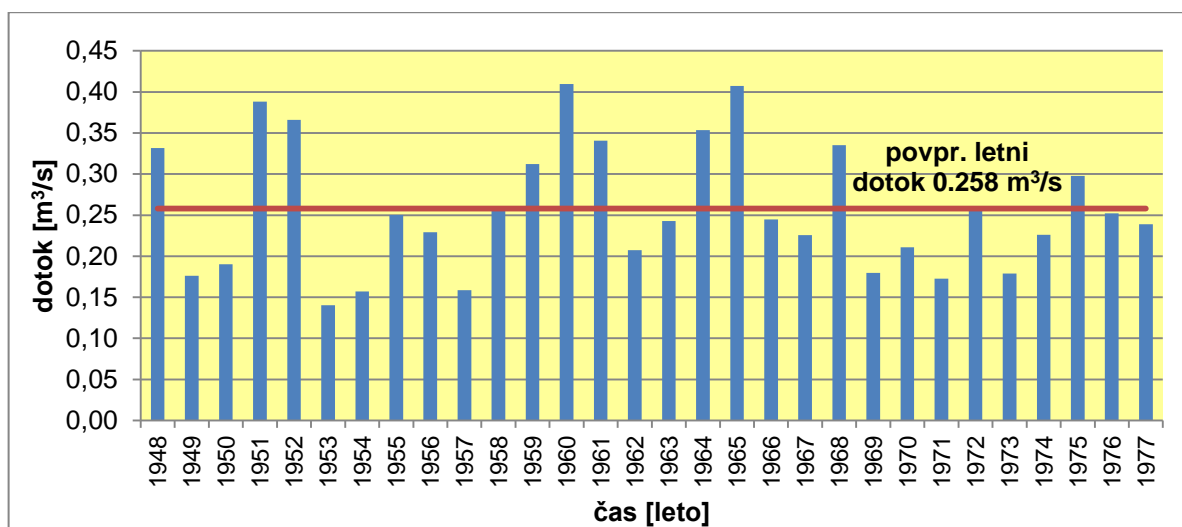
leto	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	vsota
1948	0,96	0,27	0,01	0,31	0,30	0,52	0,22	0,18	0,15	0,58	0,30	0,19	0,332
1949	0,42	0,00	0,02	0,13	0,14	0,04	0,05	0,01	0,03	0,26	0,75	0,27	0,176
1950	0,13	0,30	0,05	0,28	0,10	0,04	0,01	0,05	0,09	0,22	0,53	0,48	0,190
1951	0,74	1,07	0,68	0,21	0,34	0,18	0,17	0,10	0,13	0,05	0,71	0,28	0,388
1952	0,51	0,79	0,18	0,13	0,17	0,20	0,13	0,13	0,54	0,71	0,24	0,66	0,366
1953	0,10	0,21	0,00	0,13	0,14	0,14	0,07	0,08	0,16	0,28	0,03	0,35	0,141
1954	0,05	0,17	0,26	0,16	0,25	0,07	0,05	0,05	0,04	0,30	0,25	0,22	0,157
1955	0,32	0,61	0,26	0,06	0,33	0,10	0,10	0,07	0,13	0,37	0,14	0,51	0,250
1956	0,45	0,00	0,10	0,50	0,13	0,22	0,12	0,08	0,09	0,57	0,45	0,04	0,229
1957	0,08	0,73	0,03	0,33	0,12	0,06	0,08	0,03	0,04	0,09	0,11	0,20	0,158
1958	0,48	0,43	0,18	0,24	0,04	0,15	0,08	0,12	0,08	0,38	0,29	0,65	0,259
1959	0,22	0,00	0,21	0,43	0,30	0,22	0,12	0,11	0,24	0,27	0,45	1,17	0,312
1960	0,33	0,86	0,50	0,09	0,10	0,22	0,24	0,21	0,38	0,95	0,45	0,60	0,410
1961	0,39	0,16	0,14	0,54	0,24	0,21	0,29	0,08	0,22	0,74	0,69	0,38	0,340
1962	0,41	0,15	0,37	0,28	0,19	0,06	0,03	0,00	0,08	0,12	0,60	0,21	0,208
1963	0,48	0,43	0,31	0,21	0,12	0,15	0,06	0,18	0,16	0,14	0,49	0,19	0,243
1964	0,00	0,27	0,43	0,45	0,10	0,08	0,28	0,33	0,19	1,04	0,43	0,63	0,353
1965	0,72	0,04	0,61	0,29	0,32	0,22	0,39	0,19	0,64	0,00	0,86	0,60	0,407
1966	0,10	0,42	0,18	0,29	0,20	0,06	0,15	0,16	0,08	0,60	0,38	0,32	0,245
1967	0,14	0,26	0,23	0,24	0,30	0,16	0,05	0,04	0,25	0,30	0,58	0,14	0,226
1968	0,16	1,21	0,05	0,22	0,17	0,21	0,20	0,23	0,45	0,11	0,65	0,37	0,335
1969	0,23	0,55	0,13	0,10	0,18	0,06	0,01	0,09	0,12	0,06	0,54	0,10	0,180
1970	0,40	0,23	0,48	0,33	0,16	0,05	0,03	0,05	0,03	0,10	0,32	0,34	0,211
1971	0,37	0,18	0,27	0,23	0,21	0,08	0,02	0,03	0,03	0,14	0,34	0,18	0,173
1972	0,20	0,52	0,29	0,37	0,27	0,15	0,07	0,09	0,14	0,09	0,53	0,38	0,259
1973	0,22	0,38	0,00	0,29	0,04	0,06	0,05	0,02	0,16	0,43	0,31	0,19	0,179
1974	0,17	0,51	0,07	0,24	0,17	0,22	0,06	0,05	0,23	0,62	0,28	0,09	0,226
1975	0,15	0,02	0,66	0,62	0,41	0,22	0,25	0,15	0,16	0,17	0,28	0,49	0,298

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 5

1976	0,04	0,39	0,05	0,23	0,19	0,07	0,04	0,10	0,27	0,44	0,41	0,79	0,252
1977	0,66	0,67	0,12	0,12	0,15	0,09	0,15	0,25	0,05	0,10	0,21	0,28	0,239
povpr.	0,32	0,39	0,23	0,27	0,20	0,14	0,12	0,11	0,18	0,34	0,42	0,38	0,258

Srednji letni pretok obdobja od 1948 do 1977 znaša 258 l/s. Če pogledamo celotni letni niz, ugotovimo velika medletna nihanja pretokov. Posebej izrazita sušna obdobja so v letih 1949, 1950, 1953, 1954, 1957, 1969, 1971 in 1973. V zadnjih desetletjih se srednji pretoki nižajo. Za zadnje obdobje so tudi vedno bolj značilni ekstremi, sušna obdobja se podaljšujejo, sledijo pa vedno bolj izrazita mokra obdobja.



Graf 2: Letni dotok v akumulacijo v m³/s za obdobje 1948 - 1977

3.1.3 Volumni

Dotok vode v akumulacijo lahko izrazimo tudi kot volumen v m³, in sicer s formulo

$$Q = P * k_{odt.} * F * 0,001$$

kjer so

Q - dotok

P – padavine v mm (Pr. 1)

$k_{odt.}$ – koeficient odtoka (Pr. 2, 3 in 4)

F – prispevno območje $F = 11,25 \text{ km}^2 = 11250000 \text{ m}^2$

Pr. 6: Volumen dotoka vode v akumulacijo Vogršček v milijonih m³ za obdobje 1948 - 1977

leto	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	vsota
1948	2,57	0,68	0,02	0,80	0,80	1,35	0,58	0,49	0,39	1,54	0,79	0,51	10,505
1949	1,12	0,01	0,05	0,33	0,36	0,10	0,14	0,02	0,08	0,70	1,96	0,71	5,578
1950	0,34	0,74	0,14	0,72	0,27	0,10	0,04	0,13	0,23	0,60	1,37	1,29	5,951
1951	1,98	2,58	1,82	0,54	0,92	0,45	0,46	0,27	0,35	0,13	1,84	0,75	12,090
1952	1,36	1,98	0,49	0,35	0,44	0,51	0,34	0,35	1,41	1,91	0,61	1,76	11,527
1953	0,28	0,52	0,00	0,33	0,36	0,37	0,18	0,21	0,41	0,75	0,07	0,93	4,421
1954	0,13	0,42	0,70	0,43	0,67	0,19	0,13	0,12	0,11	0,80	0,66	0,59	4,954

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 6

1955	0,87	1,47	0,69	0,15	0,90	0,27	0,28	0,18	0,34	0,99	0,35	1,36	7,848
1956	1,21	0,00	0,26	1,29	0,34	0,57	0,33	0,21	0,24	1,51	1,15	0,12	7,253
1957	0,22	1,77	0,09	0,85	0,31	0,15	0,23	0,09	0,09	0,24	0,28	0,52	4,858
1958	1,27	1,04	0,48	0,62	0,11	0,38	0,21	0,31	0,21	1,01	0,75	1,74	8,135
1959	0,58	0,01	0,55	1,11	0,82	0,57	0,33	0,29	0,62	0,71	1,18	3,14	9,912
1960	0,88	2,16	1,33	0,24	0,26	0,57	0,65	0,57	0,98	2,53	1,17	1,60	12,921
1961	1,05	0,39	0,36	1,41	0,65	0,55	0,78	0,21	0,56	1,98	1,80	1,02	10,758
1962	1,10	0,36	0,98	0,73	0,50	0,14	0,09	0,00	0,20	0,32	1,55	0,57	6,544
1963	1,27	1,04	0,84	0,53	0,31	0,38	0,16	0,49	0,42	0,38	1,27	0,52	7,608
1964	0,01	0,68	1,16	1,17	0,26	0,22	0,74	0,87	0,48	2,79	1,12	1,70	11,213
1965	1,92	0,10	1,65	0,75	0,86	0,57	1,04	0,52	1,65	0,00	2,24	1,61	12,905
1966	0,26	1,00	0,48	0,75	0,53	0,15	0,40	0,44	0,22	1,60	0,99	0,87	7,691
1967	0,39	0,62	0,62	0,63	0,79	0,42	0,14	0,10	0,66	0,81	1,51	0,38	7,077
1968	0,44	3,03	0,14	0,56	0,47	0,54	0,54	0,60	1,16	0,30	1,68	0,99	10,431
1969	0,61	1,33	0,34	0,25	0,49	0,16	0,03	0,23	0,30	0,15	1,39	0,26	5,557
1970	1,08	0,57	1,28	0,85	0,44	0,13	0,07	0,12	0,09	0,28	0,84	0,91	6,649
1971	1,00	0,44	0,71	0,59	0,56	0,22	0,04	0,08	0,08	0,37	0,88	0,48	5,441
1972	0,53	1,31	0,78	0,97	0,73	0,40	0,18	0,24	0,35	0,25	1,36	1,02	8,128
1973	0,60	0,92	0,01	0,76	0,11	0,17	0,12	0,06	0,40	1,14	0,79	0,50	5,576
1974	0,45	1,22	0,19	0,62	0,47	0,56	0,16	0,14	0,59	1,66	0,74	0,25	7,051
1975	0,40	0,04	1,77	1,62	1,11	0,56	0,66	0,39	0,42	0,45	0,73	1,31	9,458
1976	0,11	0,98	0,13	0,60	0,50	0,17	0,12	0,27	0,71	1,18	1,07	2,12	7,957
1977	1,76	1,62	0,33	0,32	0,41	0,24	0,41	0,66	0,13	0,27	0,55	0,75	7,458

3.2 Namakanje Vipavske doline

Glavni porabnik vode, ki se nabira v akumulaciji Vogršček, je namakanje Vipavske doline. Na površinah, ki jih namakajo, rastejo predvsem štiri različne kulture. To so poljščine, vrtnine, sadovnjaki in vinogradi. Vipavsko dolino lahko razdelimo na tri območja: na spodnji del Vipavske doline, srednji del Vipavske doline in zgornji del Vipavske doline. Spodnji del obsega območje od Mirna do Zalošč, njegova velikost pa je 2047 ha. Srednji del, ki je velik 1736 ha, obsega območje od Zalošč do Hubelja in zgornji del od Hubelja do Podnanosa z velikostjo 1646 ha.

Podatke o potrebnih mesečnih pretokih za namakanje za posamezna območja smo dobili v idejni zasnovi akumulacije Vogršček iz leta 1983 [2]. Prikazani so v spodnjih preglednicah, kjer so pretoki dani za mesece od marca do septembra, saj v ostalem delu leta namakanje ni potrebno. Na voljo smo imeli podatke za potrebe namakanje le za 27 letni niz (1948-1974) na kar smo vezali tudi vse nadaljnje izračune.

Pr. 7: Mesečne potrebe po namakanju za zgornji del Vipavske doline za obdobje 1948 - 1974, odsek Podnanos - Hubelj, velikost območja je 1646 ha, [2]

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	0,036	0,070	0,047	0,075	0,099	0,087	0,080

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 7

1949	0,021	0,082	0,061	0,627	0,611	0,638	0,080
1950	0,025	0,027	0,105	0,611	1,161	0,153	0,059
1951	0,001	0,037	0,056	0,612	0,152	0,612	0,077
1952	0,026	0,066	0,559	0,134	1,129	0,633	0,021
1953	0,042	0,050	0,077	0,047	0,623	0,115	0,069
1954	0,005	0,072	0,036	0,103	0,623	0,612	0,088
1955	0,015	0,064	0,042	0,073	0,131	0,637	0,548
1956	0,031	0,026	0,094	0,043	0,146	0,607	0,601
1957	0,025	0,032	0,089	0,115	0,617	0,615	0,068
1958	0,011	0,032	0,615	0,101	0,642	0,610	0,075
1959	0,015	0,047	0,090	0,120	0,645	0,130	0,580
1960	0,010	0,053	0,593	0,099	0,124	0,101	0,047
1961	0,025	0,032	0,078	0,069	0,100	0,649	0,090
1962	0,015	0,026	0,077	0,098	0,661	1,143	0,076
1963	0,010	0,037	0,105	0,573	0,669	0,558	0,058
1964	0,010	0,026	0,084	0,606	0,644	0,135	0,077
1965	0,015	0,054	0,085	0,070	0,104	0,623	0,026
1966	0,020	0,043	0,083	0,600	0,124	0,134	0,064
1967	0,011	0,048	0,073	0,104	0,643	0,656	0,016
1968	0,016	0,064	0,053	0,086	0,624	0,067	0,043
1969	0,016	0,053	0,082	0,094	1,142	0,120	0,054
1970	0,000	0,016	0,061	0,059	0,651	0,634	0,576
1971	0,015	0,059	0,079	0,085	0,692	1,101	0,082
1972	0,020	0,027	0,057	0,074	0,646	0,617	0,077
1973	0,036	0,032	0,125	0,608	0,630	0,656	0,548
1974	0,026	0,101	0,036	0,058	0,648	0,646	0,037

Pr. 8: Mesečne potrebe po namakanju za srednji del Vipavske doline za obdobje 1948 - 1974, odsek Hubelj - Zalošče, velikost območja je 1736 ha, [2]

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	0,040	0,066	0,058	0,078	0,108	0,101	0,072
1949	0,027	0,106	0,112	0,612	0,623	0,713	0,081
1950	0,029	0,032	0,144	0,602	1,148	0,224	0,148
1951	0,002	0,040	0,066	0,595	0,234	0,595	0,214
1952	0,031	0,068	0,549	0,431	0,930	0,629	0,022
1953	0,040	0,094	0,079	0,056	0,604	0,211	0,069
1954	0,009	0,071	0,046	0,190	0,610	0,620	0,173
1955	0,019	0,068	0,048	0,077	0,212	0,817	0,268
1956	0,037	0,029	0,095	0,051	0,146	0,609	0,608
1957	0,029	0,039	0,087	0,394	0,602	0,618	0,072
1958	0,018	0,041	0,612	0,201	0,640	0,600	0,086
1959	0,019	0,050	0,124	0,202	0,647	0,410	0,584

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 8

1960	0,010	0,061	0,592	0,180	0,169	0,296	0,050
1961	0,029	0,039	0,081	0,078	0,186	0,647	0,091
1962	0,019	0,029	0,077	0,101	0,747	1,129	0,131
1963	0,010	0,040	0,192	0,473	0,934	0,361	0,068
1964	0,010	0,029	0,086	0,616	0,638	0,227	0,072
1965	0,019	0,052	0,122	0,077	0,108	0,613	0,029
1966	0,020	0,051	0,114	0,599	0,179	0,398	0,071
1967	0,012	0,058	0,078	0,110	0,710	0,753	0,021
1968	0,021	0,062	0,060	0,175	0,632	0,075	0,048
1969	0,021	0,067	0,091	0,127	1,125	0,218	0,063
1970	0,000	0,019	0,067	0,070	0,737	0,848	0,373
1971	0,019	0,067	0,077	0,088	0,998	0,870	0,122
1972	0,020	0,032	0,068	0,081	0,718	0,612	0,093
1973	0,040	0,029	0,390	0,424	0,629	0,738	0,450
1974	0,031	0,328	0,040	0,068	0,641	0,728	0,042

Pr. 9: Mesečne potrebe po namakanju za spodnji del Vipavske doline za obdobje 1948 - 1974, odsek Zalošče - Miren, velikost območja je 2047 ha, [2]

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	0,029	0,102	0,041	0,077	0,089	0,061	0,116
1949	0,012	0,176	0,120	0,764	0,683	0,901	0,078
1950	0,012	0,025	0,149	0,666	1,359	0,358	0,179
1951	0,001	0,017	0,040	0,621	0,377	0,741	0,249
1952	0,014	0,089	0,620	0,444	0,998	0,719	0,010
1953	0,059	0,087	0,075	0,025	0,731	0,297	0,072
1954	0,004	0,091	0,021	0,215	0,806	0,686	0,305
1955	0,008	0,072	0,038	0,033	0,295	0,874	0,290
1956	0,017	0,013	0,099	0,023	0,162	0,724	0,680
1957	0,012	0,017	0,106	0,335	0,727	0,756	0,032
1958	0,008	0,018	0,673	0,310	0,709	0,656	0,160
1959	0,008	0,022	0,139	0,298	0,768	0,379	0,708
1960	0,004	0,027	0,744	0,274	0,127	0,216	0,021
1961	0,012	0,017	0,093	0,045	0,238	0,798	0,098
1962	0,008	0,013	0,091	0,104	0,952	1,281	0,171
1963	0,004	0,017	0,252	0,267	1,040	0,474	0,030
1964	0,004	0,013	0,095	0,711	0,636	0,363	0,080
1965	0,008	0,065	0,139	0,094	0,047	0,694	0,013
1966	0,008	0,023	0,176	0,692	0,208	0,378	0,043
1967	0,005	0,026	0,075	0,108	0,884	0,964	0,010
1968	0,009	0,069	0,082	0,214	0,763	0,074	0,064
1969	0,009	0,030	0,061	0,175	1,277	0,381	0,029
1970	0,000	0,008	0,029	0,043	0,954	0,899	0,428

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 9

1971	0,008	0,072	0,091	0,081	1,108	1,053	0,265
1972	0,008	0,014	0,041	0,036	0,899	0,729	0,127
1973	0,029	0,044	0,375	0,669	0,694	0,932	0,464
1974	0,014	0,342	0,018	0,030	0,690	0,901	0,044

Vodna vira, ki sta na voljo za namakanje, sta pretok reke Vipave in voda iz akumulacije Vogršček. Vipava je reka, ki je bogata z vodo, vendar je njena zmožnost, da bi z njo namakali celotno Vipavsko dolino, premajhna. Ne smemo pa tudi pozabiti na minimalne pretoke, ki jih mora imeti reka, ko prečka mejo z Italijo ter tudi na izgube, ki se pojavijo. Zato je zaradi varnosti in, da ni prevelikega osiromašenja nizkih pretokov določeno, da se vode iz reke Vipave pod vtokom Hublja lahko koristijo le, ko je pretok večji od 900 l/s (0,9 m³/s). Teh 900 l/s dobimo, če upoštevamo, da mora na meji z Italijo biti najmanj 300 l/s pretoka, 300 l/s je izgub in 300 l/s zaradi varnosti in delne ohranitve naravnih nizkih pretokov. Vrednost 900 l/s velja za prerez pod vtokom Lijaka. V srednjem in zgornjem delu Vipavske doline je pa potreba po namakanju večja, zato se voda lahko odvzema, če so pretoki večji kot 600 l/s. V temu primeru je pa predvideno, da se biološki minimum na meji (300 l/s) dodaja iz akumulacije Vogršček.

Zgornji in srednji del Vipavske doline se namakata iz reke Vipave. Spodnji del Vipavske doline, to je od Zalošč do Mirna (veliko 2047 ha) pa je razdeljeno na dva dela. Približno 40 % površin, kar znaša 819 ha, leži v višjih predelih. Ker je zelo neekonomsko prečrpavati vodo iz reke Vipave, teh 40 % površin namakamo samo z vodo iz akumulacije Vogršček. Preostalih 60 %, to je 1228 ha površin pa leži v bližnji okolici reke Vipave in jih zato namakamo z vodo iz reke Vipave oziroma z vodo iz akumulacije Vogršček, če so pretoki Vipave premajhni.

Pr. 10: Mesečne potrebe po namakanju za višje ležeče površine v m³/s za odsek Zalošče – Miren za obdobje 1948 – 1974 (40% spodnjega dela Vipavske doline, 819 ha)

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	0,0116	0,0408	0,0164	0,0308	0,0356	0,0244	0,0464
1949	0,0048	0,0704	0,0480	0,3056	0,2732	0,3604	0,0312
1950	0,0048	0,0100	0,0596	0,2664	0,5436	0,1432	0,0716
1951	0,0004	0,0068	0,0160	0,2484	0,1508	0,2964	0,0996
1952	0,0056	0,0356	0,2480	0,1776	0,3992	0,2876	0,0040
1953	0,0236	0,0348	0,0300	0,0100	0,2924	0,1188	0,0288
1954	0,0016	0,0364	0,0084	0,0860	0,3224	0,2744	0,1220
1955	0,0032	0,0288	0,0152	0,0132	0,1180	0,3496	0,1160
1956	0,0068	0,0052	0,0396	0,0092	0,0648	0,2896	0,2720
1957	0,0048	0,0068	0,0424	0,1340	0,2908	0,3024	0,0128
1958	0,0032	0,0072	0,2692	0,1240	0,2836	0,2624	0,0640
1959	0,0032	0,0088	0,0556	0,1192	0,3072	0,1516	0,2832
1960	0,0016	0,0108	0,2976	0,1096	0,0508	0,0864	0,0084
1961	0,0048	0,0068	0,0372	0,0180	0,0952	0,3192	0,0392
1962	0,0032	0,0052	0,0364	0,0416	0,3808	0,5124	0,0684
1963	0,0016	0,0068	0,1008	0,1068	0,4160	0,1896	0,0120
1964	0,0016	0,0052	0,0380	0,2844	0,2544	0,1452	0,0320
1965	0,0032	0,0260	0,0556	0,0376	0,0188	0,2776	0,0052

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 10

1966	0,0032	0,0092	0,0704	0,2768	0,0832	0,1512	0,0172
1967	0,0020	0,0104	0,0300	0,0432	0,3536	0,3856	0,0040
1968	0,0036	0,0276	0,0328	0,0856	0,3052	0,0296	0,0256
1969	0,0036	0,0120	0,0244	0,0700	0,5108	0,1524	0,0116
1970	0,0000	0,0032	0,0116	0,0172	0,3816	0,3596	0,1712
1971	0,0032	0,0288	0,0364	0,0324	0,4432	0,4212	0,1060
1972	0,0032	0,0056	0,0164	0,0144	0,3596	0,2916	0,0508
1973	0,0116	0,0176	0,1500	0,2676	0,2776	0,3728	0,1856
1974	0,0056	0,1368	0,0072	0,0120	0,2760	0,3604	0,0176

Pr. 11: Mesečne potrebe po namakanju za površine bližje ležeče reki Vipavi v m³/s za odsek Zalošče - Miren za obdobje 1948 - 1974. To je 60% površin spodnjega dela Vipavske doline oziroma 1228 ha.

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	0,0174	0,0612	0,0246	0,0462	0,0534	0,0366	0,0696
1949	0,0072	0,1056	0,0720	0,4584	0,4098	0,5406	0,0468
1950	0,0072	0,0150	0,0894	0,3996	0,8154	0,2148	0,1074
1951	0,0006	0,0102	0,0240	0,3726	0,2262	0,4446	0,1494
1952	0,0084	0,0534	0,3720	0,2664	0,5988	0,4314	0,0060
1953	0,0354	0,0522	0,0450	0,0150	0,4386	0,1782	0,0432
1954	0,0024	0,0546	0,0126	0,1290	0,4836	0,4116	0,1830
1955	0,0048	0,0432	0,0228	0,0198	0,1770	0,5244	0,1740
1956	0,0102	0,0078	0,0594	0,0138	0,0972	0,4344	0,4080
1957	0,0072	0,0102	0,0636	0,2010	0,4362	0,4536	0,0192
1958	0,0048	0,0108	0,4038	0,1860	0,4254	0,3936	0,0960
1959	0,0048	0,0132	0,0834	0,1788	0,4608	0,2274	0,4248
1960	0,0024	0,0162	0,4464	0,1644	0,0762	0,1296	0,0126
1961	0,0072	0,0102	0,0558	0,0270	0,1428	0,4788	0,0588
1962	0,0048	0,0078	0,0546	0,0624	0,5712	0,7686	0,1026
1963	0,0024	0,0102	0,1512	0,1602	0,6240	0,2844	0,0180
1964	0,0024	0,0078	0,0570	0,4266	0,3816	0,2178	0,0480
1965	0,0048	0,0390	0,0834	0,0564	0,0282	0,4164	0,0078
1966	0,0048	0,0138	0,1056	0,4152	0,1248	0,2268	0,0258
1967	0,0030	0,0156	0,0450	0,0648	0,5304	0,5784	0,0060
1968	0,0054	0,0414	0,0492	0,1284	0,4578	0,0444	0,0384
1969	0,0054	0,0180	0,0366	0,1050	0,7662	0,2286	0,0174
1970	0,0000	0,0048	0,0174	0,0258	0,5724	0,5394	0,2568
1971	0,0048	0,0432	0,0546	0,0486	0,6648	0,6318	0,1590
1972	0,0048	0,0084	0,0246	0,0216	0,5394	0,4374	0,0762
1973	0,0174	0,0264	0,2250	0,4014	0,4164	0,5592	0,2784
1974	0,0084	0,2052	0,0108	0,0180	0,4140	0,5406	0,0264

Kot že povedano so včasih pretoki Vipave premajhni, da bi v tistem trenutku lahko uporabljali vodo reke Vipave za namakanje. Takrat se uporabi voda iz akumulacije Vogršček. Izračun potrebnega odvzema vode iz akumulacije smo izvedli ločeno za srednji in zgornji del

Vipavske doline ter ločeno za 1228 ha spodnje Vipavske doline (to je 60% delež, ki leži v bližini reke Vipave in se namaka z vodo reke Vipave, razen če je le-te premalo).

Izračun enega izmed 27 let (od 1948 do 1974) je prikazan v spodnji preglednici, kjer so za vsak mesec v letu preračunane količine vode, ki jih je potrebno zagotoviti iz akumulacije Vogršček za namakanje 1228 ha spodnje Vipavske doline ali pa za bogatenje reke Vipave do 0,900 m³/s. To pa je vrednost, ki določa ali se lahko koristi voda iz Vipave za namakanje ali ne. Obrazložitev dobljenih vrednosti v preglednici je prikazana pod njo.

Pr. 12: Preračun mesečnih količin vode, ki jih je potrebno zagotoviti za namakanje 1228 ha spodnjega dela Vipavske doline ali pa za bogatenje reke Vipave za leto 1956. Vrednosti so v m³/s.

LETO 1956												
	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
A1	7,73	3,71	3,83	23,9	15,7	21,4	5,3	2,83	1,94	47,1	20,7	4,61
A2	59,7	2,94	2,7	46,4	3,85	6,64	18,9	2,47	1,76	3,5	28,7	3,65
A3	10,4	2,51	7,87	62,8	14,6	25	3,65	3,91	3,37	15,6	7,33	2,81
B	0,000	0,000	0,068	0,055	0,189	0,094	0,292	1,216	1,209	0,000	0,000	0,000
C	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
D1	7,130	3,110	3,162	23,245	14,911	20,706	4,408	1,014	0,131	46,500	20,100	4,010
D2	59,100	2,340	2,032	45,745	3,061	5,946	18,008	0,654	-0,049	2,900	28,100	3,050
D3	9,800	1,910	7,202	62,145	13,811	24,306	2,758	2,094	1,561	15,000	6,730	2,210
E1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,000	0,000	0,000
E3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	0,000	0,000	0,010	0,008	0,059	0,014	0,097	0,434	0,408	0,000	0,000	0,000
G	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900
H1	6,830	2,810	2,852	22,937	14,552	20,392	4,011	0,280	-0,577	46,200	19,800	3,710
H2	58,800	2,040	1,722	45,437	2,702	5,632	17,611	-0,080	-0,757	2,600	27,800	2,750
H3	9,500	1,610	6,892	61,837	13,452	23,992	2,361	1,360	0,853	14,700	6,430	1,910
I1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,577	0,000	0,000	0,000
I2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080	0,708	0,000	0,000	0,000
I3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Oznake v preglednici pomenijo naslednje:

- A1, A2, A3 – Dekadni pretoki reke Vipave pod vtokom Hublja, ki smo jih dobili v idejni zasnovi akumulacije Vogršček [2].
- B – Potrebne mesečne količine vode v m³/s, ki so potrebne za namakanje zgornjega in srednjega dela Vipavske doline. Te količine dobimo, če seštejemo podatke o potrebnih mesečnih pretokih za namakanje za vsako leto posebej za zgornji del Vipavske doline ter za srednji del Vipavske doline.
- C – Minimalni pretok reke Vipave pod vtokom Hublja v m³/s, ki ga je potrebno spuščati po strugi. Ta količina pa znaša 0,600 m³/s. Za namakanje se lahko koristijo le vrednosti dobljene z razliko pretokov nad to količino.
- D1, D2, D3 – Vrednosti pretokov Vipave dobljene tako, da so od dejanskih pretokov Vipave (A1, A2, A3) odštete količine vode potrebne za namakanje (B) in minimalni pretok (C). Tako količino vode je možno koristiti za namakanje spodnjega dela Vipavske doline.

- E1, E2, E3 – Vrednosti količin vode v m^3/s , ki jih moramo zagotoviti iz akumulacije Vogršček za namakanje zgornjega in srednjega dela Vipavske doline in bogatenje Vipave do $0,600 m^3/s$. Voda pa je potrebna tam, kjer se v vrsticah D1, D2, D3 pojavi negativno število. Negativno število pa se pojavi, ker so pritoki Vipave premajhni, da bi pokrili potrebe po namakanju in minimalni pretok, ki ga je potrebno spuščati po strugi. Vzamemo absolutno vrednost tega števila in dobimo količino vode, ki jo moramo zagotoviti iz akumulacije.
- F – Mesečne količine vode v m^3/s , ki so potrebne za namakanje 1228 ha (60%) spodnjega dela Vipavske doline (to je dela, ki leži v bližini reke Vipave in se načeloma namaka z vodo iz reke Vipave razen, če je te premalo).
- G – Minimalni pretok reke Vipave pod vtokom Lijaka v m^3/s , ki ga je potrebno spuščati po strugi. Ta količina znaša $0,900 m^3/s$. V kolikor je dejanski pretok manjši, saj se v zgornjem in srednjem delu doline koristijo pretoki nad $0,600 m^3/s$, je upoštevano, da se razliko do $0,900 m^3/s$ doda iz akumulacije Vogršček. Za namakanje se lahko koristijo le vrednosti dobljene z razliko pretokov nad količino $0,900 m^3/s$.
- H1, H2, H3 – Vrednosti pretokov Vipave dobljene tako, da so od dejanskih pretokov Vipave (A1, A2, A3) odštete količine vode potrebne za namakanje zgornjega in srednjega dela Vipavske doline (B) in količine vode potrebne za namakanje 60 % spodnjega dela doline (F) ter minimalni pretok (G).
- I1, I2, I3 – Vrednosti količin vode v m^3/s , ki jih je za potrebe namakanja za 1228 ha (60%) spodnje Vipavske doline ali za bogatenje Vipave do $0,900 m^3/s$ potrebno zagotoviti iz akumulacije Vogršček. Voda pa je potrebna tam, kjer se v vrsticah H1, H2, H3 pojavi negativno število. Negativno število pa se pojavi, ker so pritoki Vipave premajhni, da bi pokrili potrebe po namakanju in minimalni pretok, ki ga je potrebno spuščati po strugi. Če so vrednosti v vrsticah E1, E2 in E3 enake nič (torej, da v zgornji in srednji del Vipavske doline ni potrebe po vodi iz akumulacije Vogršček), vzamemo absolutno vrednost tega števila in dobimo količino vode, ki jo moramo zagotoviti. Če pa je vrednost večja od nič (torej je nekaj vode že potrebne za namakanje zgornjega in srednjega dela akumulacije Vogršček), potem moramo vzeti absolutno vrednost določenega H-ja in od tega odšteti določeni E. Tako dobimo pretok vode, ki ga moramo zagotoviti iz akumulacije Vogršček za namakanje spodnjega dela Vipavske doline.

Končni primanjkljaj količine vode, ki je ne moremo dobiti iz reke Vipave, pa se izračuna tako, da vzamemo povprečje vrednosti I1, I2 in I3. Rezultati so podani v preglednici 13.

V izračunu smo upoštevali tudi bogatenje reke Vipave v času sušnih pritokov, ko nadomestne vodne količine zagotavljamo iz akumulacije Vogršček. Bogatenje reke Vipave smo prišteli v potrebni volumen za namakanje.

Pr. 13: Mesečni primanjkljaji vodnih količin reke Vipave v m^3/s za obdobje 1948 - 1974

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1949	0,000	0,000	0,000	0,196	0,038	0,611	0,000
1950	0,000	0,000	0,000	0,071	1,115	0,000	0,000
1951	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,201	0,000
1952	0,000	0,000	0,000	0,000	0,466	0,034	0,000
1953	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1954	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1955	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,126	0,000

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 13

1956	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,428
1957	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,080	0,000
1958	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000
1959	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056
1960	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1961	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,085	0,000
1962	0,000	0,000	0,000	0,000	0,113	1,069	0,000
1963	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1964	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000
1965	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1966	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1967	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,731	0,000
1968	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1969	0,000	0,000	0,000	0,000	1,066	0,000	0,000
1970	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,151	0,025
1971	0,000	0,000	0,000	0,000	0,208	0,826	0,000
1972	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,000
1973	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,630	0,301
1974	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,158	0,000

Količina vse manjkajoče vode, ki jo moramo zagotoviti za celotno Vipavsko dolino iz akumulacije Vogršček, se izračuna tako, da seštejemo končni primanjkljaj količin vode, ki je ne moremo dobiti iz reke Vipave (Pr. 13), in mesečne pretoke, ki so potrebni za namakanje 40 % (819 ha) površin spodnjega dela Vipavske doline (višje ležeče površine - odsek Zalošče – Miren) (Pr. 10).

Pr. 14: Mesečne količine vse primanjajoče vode, ki jo moramo zagotoviti za celotno Vipavsko dolino iz akumulacije Vogršček v m³/s za obdobje 1948 - 1974

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	0,012	0,041	0,016	0,031	0,036	0,024	0,046
1949	0,005	0,070	0,048	0,501	0,311	0,972	0,031
1950	0,005	0,010	0,060	0,337	1,659	0,143	0,072
1951	0,000	0,007	0,016	0,248	0,151	0,497	0,100
1952	0,006	0,036	0,248	0,178	0,865	0,322	0,004
1953	0,024	0,035	0,030	0,010	0,292	0,119	0,029
1954	0,002	0,036	0,008	0,086	0,322	0,274	0,122
1955	0,003	0,029	0,015	0,013	0,118	0,476	0,116
1956	0,007	0,005	0,040	0,009	0,065	0,316	0,700
1957	0,005	0,007	0,042	0,134	0,299	0,382	0,013
1958	0,003	0,007	0,269	0,124	0,284	0,284	0,064
1959	0,003	0,009	0,056	0,119	0,307	0,152	0,340
1960	0,002	0,011	0,298	0,110	0,051	0,086	0,008
1961	0,005	0,007	0,037	0,018	0,095	0,404	0,039

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 14

1962	0,003	0,005	0,036	0,042	0,494	1,581	0,068
1963	0,002	0,007	0,101	0,107	0,416	0,190	0,012
1964	0,002	0,005	0,038	0,344	0,254	0,145	0,032
1965	0,003	0,026	0,056	0,038	0,019	0,278	0,005
1966	0,003	0,009	0,070	0,277	0,083	0,151	0,017
1967	0,002	0,010	0,030	0,043	0,354	1,116	0,004
1968	0,004	0,028	0,033	0,086	0,305	0,030	0,026
1969	0,004	0,012	0,024	0,070	1,577	0,152	0,012
1970	0,000	0,003	0,012	0,017	0,382	0,510	0,197
1971	0,003	0,029	0,036	0,032	0,652	1,247	0,106
1972	0,003	0,006	0,016	0,014	0,360	0,340	0,051
1973	0,012	0,018	0,150	0,279	0,278	1,003	0,486
1974	0,006	0,137	0,007	0,012	0,276	0,519	0,018

Izračunamo še potreben volumen vode, ki ga moramo zagotoviti za namakanje iz akumulacije za vsak mesec posebej (Pr. 15). Za potrebe namakanje v obravnavanem obdobju sedemindvajsetih let je potrebno iz akumulacije zagotoviti v povprečju dobrih 3 mio m³ vodnih količin. Povpraševanje niha glede na obdobja, maksimalno je treba zagotoviti slabih 6,1 mio m³ in minimalno dobrih 0,5 mio m³ vodnih količin.

Pr. 15: Mesečne količine vse primanjkuječe vode, ki jo moramo zagotoviti za celotno Vipavsko dolino iz akumulacije Vogršček v m³ za obdobje 1948 – 1974

leto	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep
1948	31.069,44	105.753,60	43.925,76	79.833,60	95.351,04	65.352,96	120.268,80
1949	12.856,32	182.476,80	128.563,20	1.299.283,20	833.518,08	2.602.690,56	80.870,40
1950	12.856,32	25.920,00	159.632,64	874.195,20	4.443.465,60	383.546,88	185.587,20
1951	1.071,36	17.625,60	42.854,40	643.852,80	403.902,72	1.330.986,24	258.163,20
1952	14.999,04	92.275,20	664.243,20	460.339,20	2.316.458,88	862.266,24	10.368,00
1953	63.210,24	90.201,60	80.352,00	25.920,00	783.164,16	318.193,92	74.649,60
1954	4.285,44	94.348,80	22.498,56	222.912,00	863.516,16	734.952,96	316.224,00
1955	8.570,88	74.649,60	40.711,68	34.214,40	316.051,20	1.274.204,16	300.672,00
1956	18.213,12	13.478,40	106.064,64	23.846,40	173.560,32	847.088,64	1.815.264,00
1957	12.856,32	17.625,60	113.564,16	347.328,00	801.377,28	1.024.220,16	33.177,60
1958	8.570,88	18.662,40	721.025,28	321.408,00	759.594,24	759.951,36	165.888,00
1959	8.570,88	22.809,60	148.919,04	308.966,40	822.804,48	406.045,44	880.070,40
1960	4.285,44	27.993,60	797.091,84	284.083,20	136.062,72	231.413,76	21.772,80
1961	12.856,32	17.625,60	99.636,48	46.656,00	254.983,68	1.082.609,28	101.606,40
1962	8.570,88	13.478,40	97.493,76	107.827,20	1.322.593,92	4.235.621,76	177.292,80
1963	4.285,44	17.625,60	269.982,72	276.825,60	1.114.214,40	507.824,64	31.104,00
1964	4.285,44	13.478,40	101.779,20	891.475,20	681.384,96	388.903,68	82.944,00
1965	8.570,88	67.392,00	148.919,04	97.459,20	50.353,92	743.523,84	13.478,40
1966	8.570,88	23.846,40	188.559,36	717.465,60	222.842,88	404.974,08	44.582,40
1967	5.356,80	26.956,80	80.352,00	111.974,40	947.082,24	2.989.808,64	10.368,00
1968	9.642,24	71.539,20	87.851,52	221.875,20	817.447,68	79.280,64	66.355,20

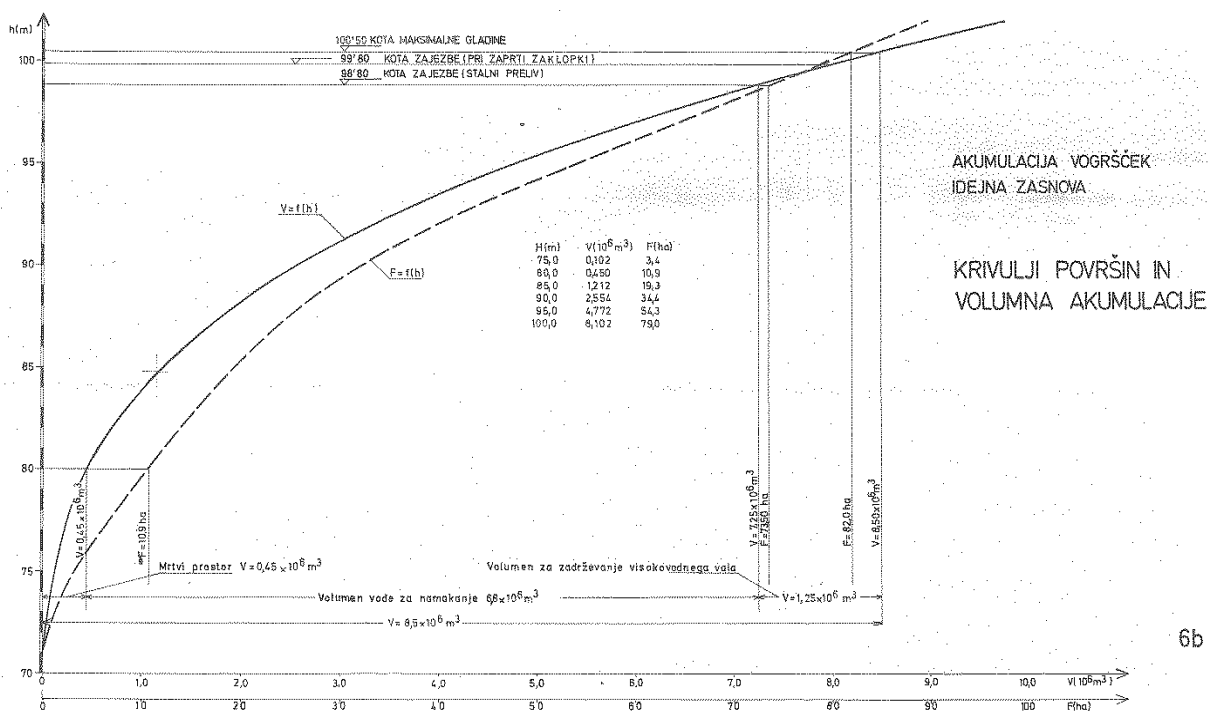
se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 15

1969	9.642,24	31.104,00	65.352,96	181.440,00	4.223.301,12	408.188,16	30.067,20
1970	0,00	8.294,40	31.069,44	44.582,40	1.022.077,44	1.366.698,24	509.414,40
1971	8.570,88	74.649,60	97.493,76	83.980,80	1.745.066,88	3.339.607,68	274.752,00
1972	8.570,88	14.515,20	43.925,76	37.324,80	963.152,64	911.727,36	131.673,60
1973	31.069,44	45.619,20	401.760,00	722.131,20	743.523,84	2.686.792,32	1.260.403,20
1974	14.999,04	354.585,60	19.284,48	31.104,00	739.238,40	1.389.375,36	45.619,20

3.3 Akumulacija Vogršček

V idejni zasnovi sanacije objektov zadrževalnika Vogršček [6] je podan tudi graf krivulje površin in volumna akumulacije Vogršček v odvisnosti od višine vode. Graf je prikazan na sliki 7. V izračunu vodne bilance in energetske proizvodnje bomo potrebovali funkcije kote gladine vode v akumulaciji v odvisnosti od volumna vode v akumulaciji ter funkcije površine vode v odvisnosti od kote gladine vode v akumulaciji. Potrebovali jih bomo pa za izračun dejanskega mesečnega izhlapevanja.



Sl. 7: Graf krivulje površin in volumna akumulacije Vogršček. Polna krivulja predstavlja volumen v odvisnosti od kote gladine vode in črtkano označena krivulja predstavlja površino gladine vode v odvisnosti od kote gladine vode. [6]

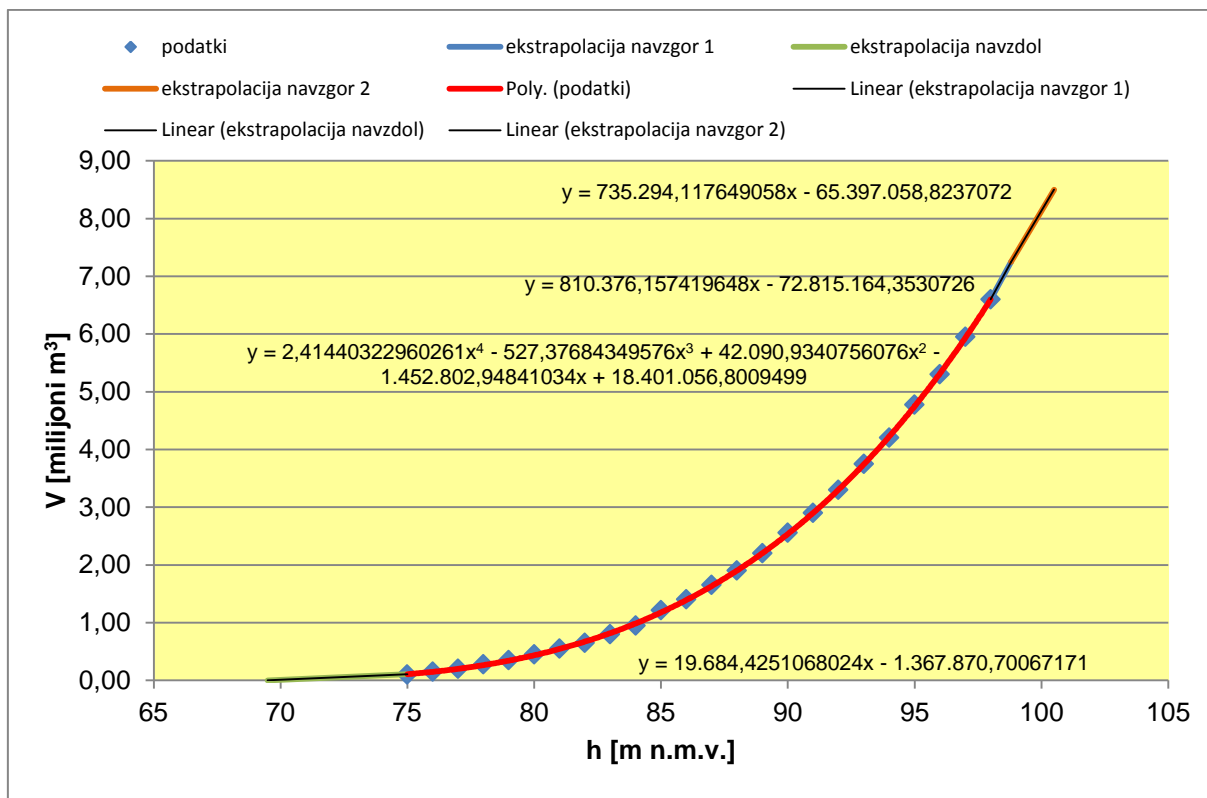
3.3.1 Volumen akumulacije

Iz grafa, ki je prikazan na sliki 7 odčitamo vrednosti za volumen od višine 75 m n.m.v. do maksimalno polne akumulacije, to je do 100,5 m n.m.v. Vrednosti so prikazane v naslednji preglednici.

Pr. 16: Volumen vode v m^3 akumulacije pri določeni koti gladine vode

h(m n.m.v.)	V(m ³)
75	102.000
76	150.000
77	200.000
78	275.000
79	350.000
80	450.000
81	550.000
82	650.000
83	800.000
84	950.000
85	1.212.000
86	1.400.000
87	1.650.000
88	1.900.000
89	2.200.000
90	2.554.000
91	2.900.000
92	3.300.000
93	3.750.000
94	4.200.000
95	4.772.000
96	5.300.000
97	5.950.000
98	6.600.000
98,8	7.250.000
100	8.102.000
100,5	8.500.000

Prvo narišemo podatke iz preglednice 16, in sicer narišemo funkcijo $V=f(h)$, torej abscisna os predstavlja višino h in ordinatna os predstavlja volumen V . Tej funkciji priredimo čimbolj ujemajočo krivuljo z metodo najmanjših kvadratov s pomočjo ukaza »Trend line« v Excelu. Ker se pa izbrana linija ne ujema z vsemi podatki, omejimo podatke le na tisti del, kjer se ujema. Omejimo se na podatke, kjer je višina od 75 m n.m.v. do 98 m n.m.v. Omenjena linija je na grafu 3 označena z rdečo barvo.

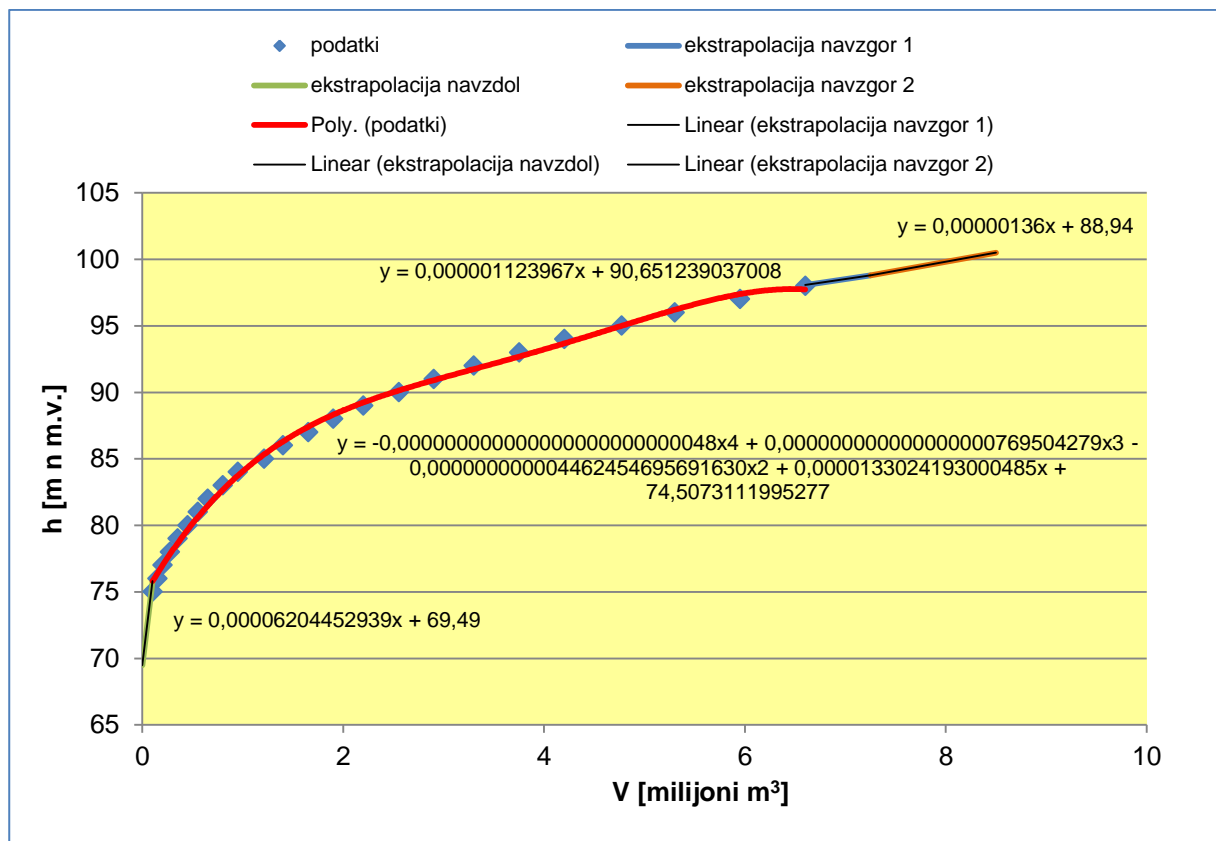


Graf 3: Prikaz krivulje volumna vode akumulacije v odvisnosti od kote gladine vode $V=f(h)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije volumna vode v odvisnosti od kote gladine vode.

Na grafu se nam izpiše tudi funkcija $V=f(h)$ izbrane krivulje za območje, kjer je $75 \text{ m n.m.v.} < h < 98 \text{ m n.m.v.}$

Ker smo omejili začetne podatke, je potrebno izvesti ekstrapolacijo navzdol (zelena barva na grafu 3) do prazne akumulacije in ekstrapolacijo navzgor do maksimalno polne akumulacije. Ekstrapolacijo navzgor (modra in oranžna barva na grafu 3) smo naredili v dveh korakih, zato da so rezultati bolj natančni pri koti 98,80 m n.m.v. Prazna akumulacija je na koti 69,49 m n.m.v. Torej je potrebno ekstrapolirati krivuljo od točke, kjer je višina vode v akumulacija 75 m n.m.v. in volumen 102.000 m³ do točke, ko je akumulacija prazna. Akumulacija pa je maksimalno polna na koti 100,5 m n.m.v. in tam je volumen enak 8.500.000 m³. Prva ekstrapolacija navzgor poteka od točke, kjer je višina vode 98 m n.m.v in volumen 6.600.000 m³ do normalno polne akumulacije, kar je na višini 98,8 m n.m.v. in je tam volumen vode 7.250.000 m³. Drugi del ekstrapolacije navzgor pa poteka od kote 98,8 m n.m.v. do maksimalne kote 100,5 m n.m.v. Pri maksimalni koti je volumen vode 8.500.000 m³. V grafu 3 so zapisane tudi funkcije $V=f(h)$ za določena območja, ki smo jih dobili z ekstrapolacijami.

V drugem delu pa zopet narišemo podatke iz preglednice 16, in sicer narišemo funkcijo $h=f(V)$, torej abscisna os predstavlja volumen V in ordinatna os predstavlja višino h . Tej funkciji zopet poiščemo čimbolj ujemajočo krivuljo z metodo najmanjših kvadratov in se omejimo le na podatke, kjer je višina od 75 m n.m.v. do 98 m n.m.v. oziroma pripadajoči volumen od 102.000 m³ do 6.600.000 m³.



Graf 4: Prikaz krivulje kote gladine vode v odvisnosti od volumna vode akumulacije $h=f(V)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije kote gladine vode v odvisnosti od volumna vode.

Na grafu 4 se nam zopet izpiše določena funkcija $h=f(V)$ izbrane krivulje za območje $102.000 \text{ m}^3 < V < 6.600.000 \text{ m}^3$.

Tudi sedaj je potrebno izvesti ekstrapolacijo navzdol (zelena barva na grafu 4) od točke, kjer je višina 75 m n.m.v. in volumen 102.000 m^3 do točke, kjer je višina 69,49 m n.m.v. in volumen nič ter ekstrapolacijo navgor v dveh korakih (modra in oranžna barva na grafu 4). Prvi korak je od točke, kjer je višina 98 m n.m.v. in volumen $6.600.000 \text{ m}^3$ do točke, kjer je višina 98,8 m n.m.v. in volumen $7.250.000 \text{ m}^3$. Drugi korak pa je od kote 98,8 m n.m.v. do maksimalne kote 100,5 m n.m.v. in pripadajočega maksimalnega volumna $8.500.000 \text{ m}^3$. Tudi v tem grafu so zapisane vse funkcije $h=f(V)$ za določena območja, ki smo jih dobili z ekstrapolacijami.

3.3.2 Površina vode akumulacije Vogršček in njeno izhlapevanje

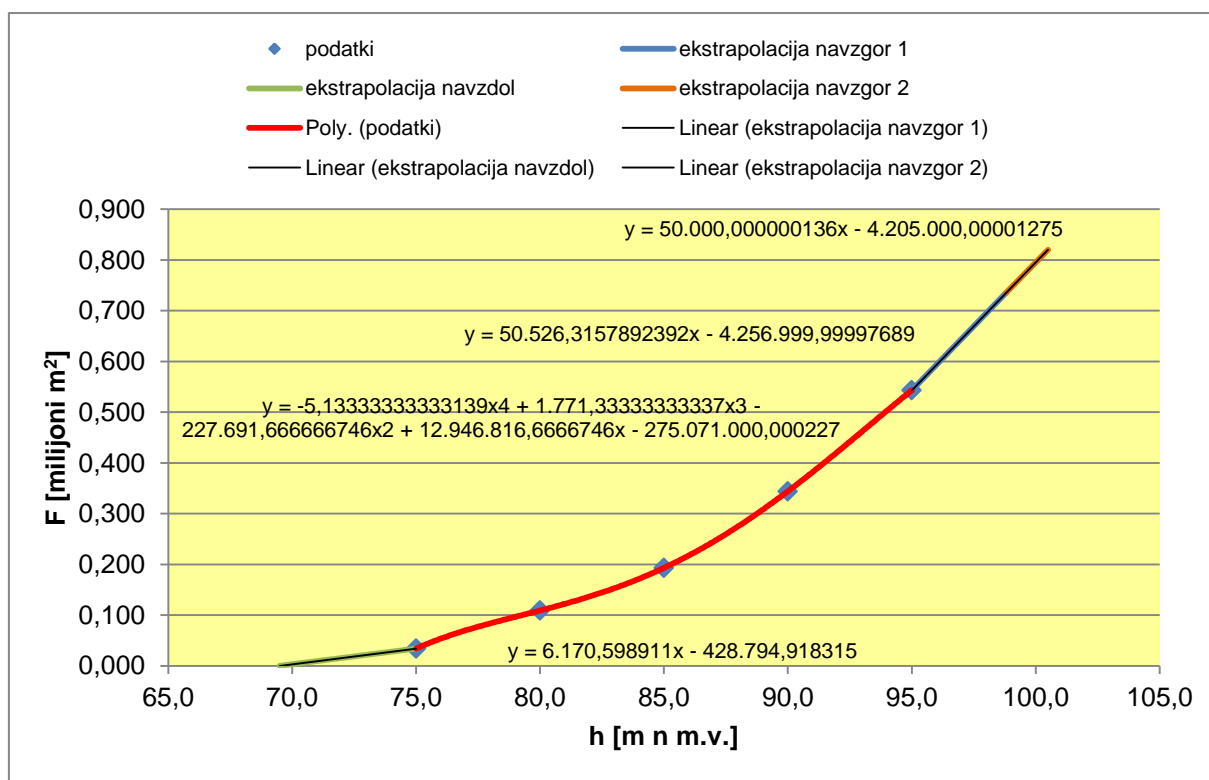
Da dobimo prave rezultate za vodno bilanco akumulacije Vogršček, je potrebno tudi upoštevati izgube v akumulaciji, in sicer izhlapevanje vode na površini akumulacije. Vendar je realno izhlapevanje težje izračunati, saj za to potrebujemo tudi funkcijo površine akumulacije Vogršček v odvisnosti od kote gladine vode v akumulaciji. To funkcijo izračunamo z metodo najmanjših kvadratov s pomočjo ukaza »Trend line« v Excelu. Potrebujemo pa podatke o določeni površini vode pri določeni koti vode ter linearno ekstrapolacijo navzdol do točke, kjer je površina nič in navzgor do točke, kjer je površina največja.

Iz grafa, ki je prikazan na sliki 7 razberemo podatke o površini v odvisnosti od višine vode, ki smo jih zapisali v spodnji preglednici 17.

Pr. 17: Površina gladine vode v m² pri določeni koti gladine vode

h(m n.m.v.)	F(m ²)
75,0	34.000
80,0	109.000
85,0	193.000
90,0	344.000
95,0	543.000
98,8	735.000
100,0	790.000
100,5	820.000

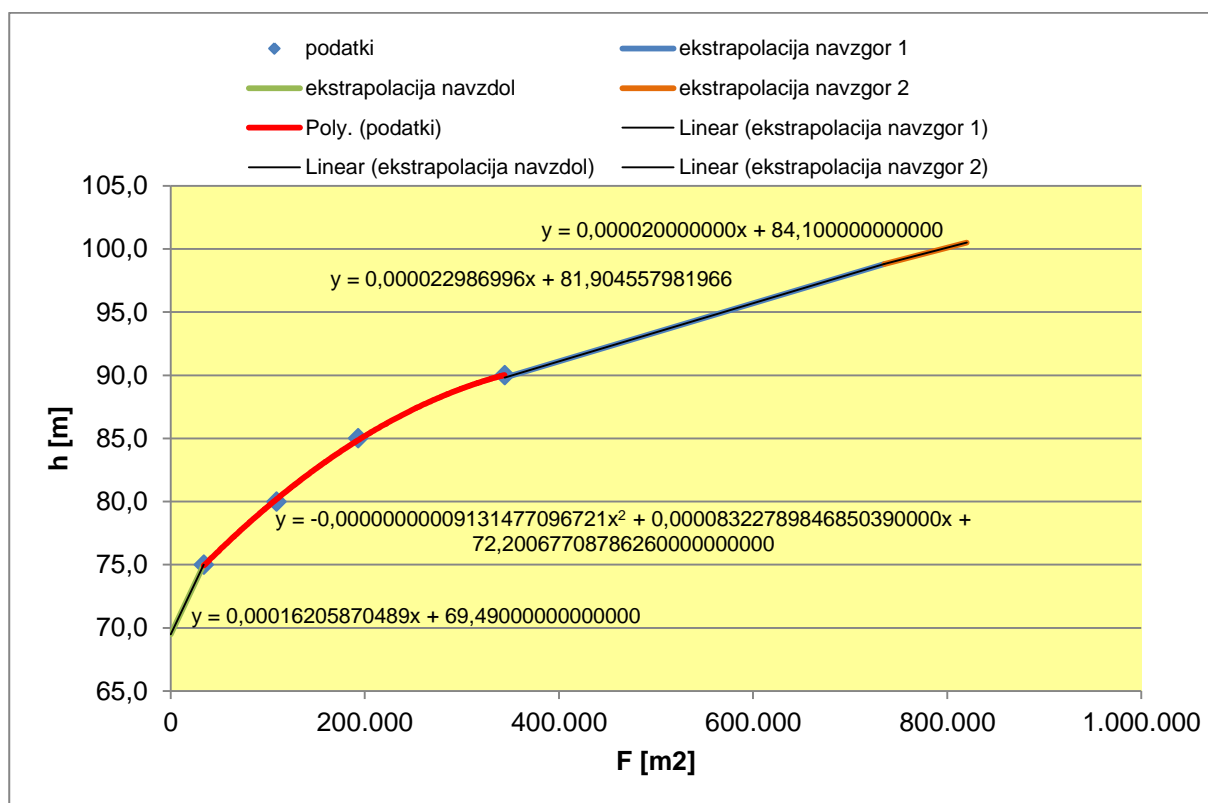
Postopek za določanje funkcij $F=f(h)$ in $h=f(F)$ je enak postopku, ki smo ga uporabili za določanje krivulj polnjenja akumulacije $V=f(h)$ in $h=f(V)$. Začnemo s tem, da narišemo podatke iz preglednice 17, in sicer narišemo funkcijo $F=f(h)$, torej abscisna os predstavlja višino h in ordinatna os predstavlja površino F . Tej funkciji priredimo čimbolj ujemajočo krivuljo z metodo najmanjših kvadratov. Ker se izbrana krivulja ne ujema z vsemi podatki, omejimo podatke le na tisti del, kjer se ujema. Omejimo se na podatke, kjer je višina od 75 m n.m.v. do 95 m n.m.v. Izbrana krivulja je označena z rdečo barvo na grafu 5 in zraven je zapisana tudi njena funkcija $F=f(h)$.



Graf 5: Prikaz krivulje površine gladine vode v odvisnosti od kote gladine vode akumulacije $F=f(h)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije površine gladine vode v odvisnosti od kote gladine vode.

Zopet izvedemo linearno ekstrapolacijo navzdol (zelena barva na grafu 5) od kote 75 m n.m.v do točke, kjer je površina akumulacije enaka nič oziroma je akumulacija prazna, in sicer je to na koti 69,49 m n.m.v. Linearno ekstrapolacijo moramo izvesti pa tudi navzgor (modra in oranžna barva na grafu 5), in sicer v dveh delih. Prvi del poteka od kote 95 m n.m.v do normalno polne akumulacije, to je na koti 98,8 m n.m.v. in je tam površina 735.000 m². Drugi del pa poteka od normalno polne akumulacije do maksimalno polne akumulacije. Akumulacija je maksimalno polna na koti 100,5 m n.m.v. in ima površino 820.000 m². Na grafu so zapisane tudi funkcije $F=f(h)$ ekstrapolacij za določena območja.

V drugem delu pa začnemo s tem, da narišemo podatke iz preglednice 17, in sicer narišemo funkcijo $h=f(F)$, torej abscisna os predstavlja površino F in ordinatna os predstavlja višino h . Tej funkciji zopet priredimo čimbolj ujemajočo krivuljo in se omejimo le na podatke, kjer je višina od 75 m n.m.v. do 90 m n.m.v. oziroma pripadajočo površina od 34.000 m² do 334.000 m². Krivulja je označena z rdečo barvo na spodnjem grafu in zapisana je tudi njena funkcija $h=f(F)$ za območje, kjer je $34.000 \text{ m}^2 < F < 334.000 \text{ m}^2$.



Graf 6: Prikaz krivulje kote gladine vode v odvisnosti od površine gladine vode akumulacije $h=f(F)$. Na grafu so vidne tudi vse pripadajoče »trend« linije in njihove funkcije, s pomočjo katerih smo dobili funkcije kote gladine vode v odvisnosti od površine gladine vode.

Zopet naredimo ekstrapolacijo navzdol do prazne akumulacije in navzgor v dveh korakih. Prvi korak je do normalno polne akumulacije, kjer je površina enaka 735.000 m², in drugi korak je do maksimalno polne akumulacije, kjer je površina enaka 820.000 m². Tudi te funkcije $h=f(F)$ za določena območja so zapisane na grafu 6.

Za izhlapevanje imamo pa naslednje mesečne podatke v mm, ki so podani v idejni zasnovi akumulacije Vogršček iz leta 1983 [2].

Pr. 18: Mesečne vrednosti izhlapevanja v mm, [2]

mesec	Izhlapevanje (mm)
jan	47,70
feb	51,70
mar	64,50
apr	76,90
maj	89,10
jun	95,80
jul	135,50
avg	124,10
sep	93,50
okt	78,50
nov	50,60
dec	42,10

Sedaj, ko imamo vse potrebne funkcije, in sicer $F=f(h)$ in $h=f(V)$ lahko iz kumulativnega volumna prejšnjega meseca izračunamo približno izhlapevanje za določen mesec na naslednji način. Najprej je potrebno iz kumulativnega volumna prejšnjega meseca izračunati višino vode s pomočjo že izračunane funkcije $h=f(V)$. Nato pa sledi izračun:

$$I\left[\frac{m^3}{s}\right] = \frac{I[mm] * 0,001 * F}{t}$$

kjer so

$I[m^3/s]$ – izhlapevanje v m^3/s

$I[mm]$ – izhlapevanje v mm (vrednosti v preglednici 18)

F – površina, ki jo izračunamo s pomočjo funkcije $F=f(h)$

t – čas enega meseca v sekundah

Lahko pa tudi upoštevamo najskrajnejši primer izhlapevanje, in sicer ko je akumulacija čisto polna, to je pri 82 ha. Takrat je največ izhlapevanja, saj je tudi površina največja. Dobimo naslednje rezultate, ki so prikazani v preglednici 19. Ti izračuni niso najbolj uporabni, saj se naša površina spreminja iz meseca v mesec, ker se tudi količina vode v akumulaciji spreminja. Zato je za naš primer bolj uporaben izračun izhlapevanja za vsak mesec posebej s pomočjo funkcije $F=f(h)$, ki smo jo tudi izračunali.

Pr. 19: Izhlapevanje v m^3/s in m^3 , če bi bila akumulacija polna do maksimalne višine 100,5 m n.m.v.

mesec	mm	m^3/s	m^3
jan	47,70	0,015	39.114,00
feb	51,70	0,018	42.394,00
mar	64,50	0,020	52.890,00
apr	76,90	0,024	63.058,00
maj	89,10	0,027	73.062,00
jun	95,80	0,030	78.556,00
jul	135,50	0,041	111.110,00
avg	124,10	0,038	101.762,00
sep	93,50	0,030	76.670,00
okt	78,50	0,024	64.370,00
nov	50,60	0,016	41.492,00
dec	42,10	0,013	34.522,00

4 VODNA BILANCA

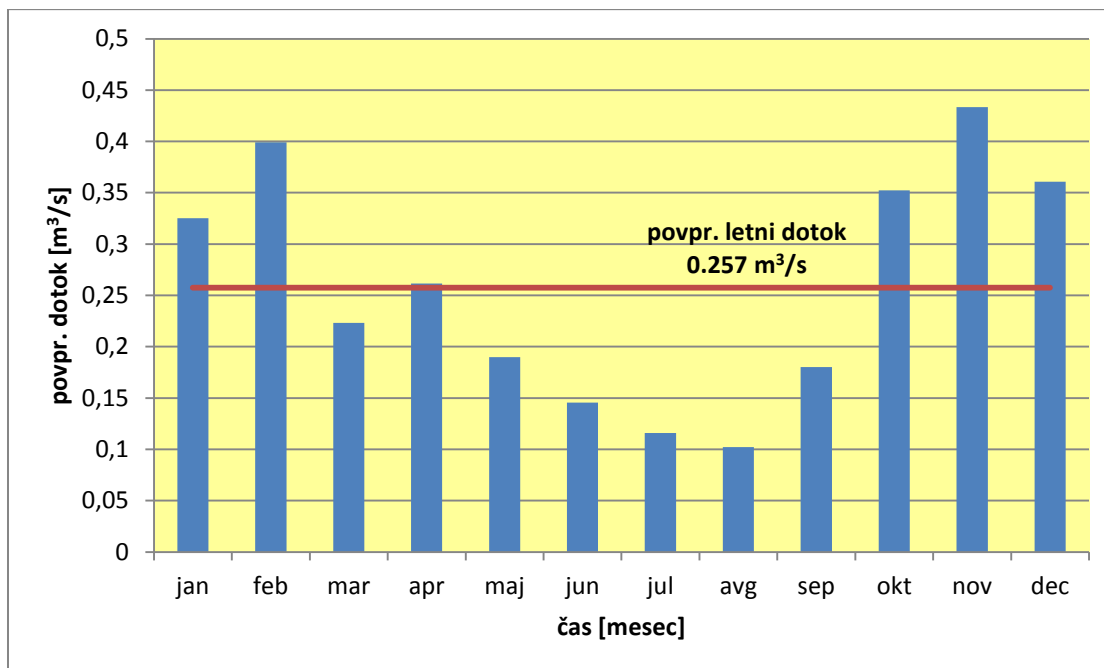
4.1 Osnovna vodna bilanca

V izračunu vodne bilance smo upoštevali izhodišča iz idejne zasnove s predpostavko, da je sistem namakanja v Vipavski dolini zgrajen v celoti. Račun smo začeli s predpostavko, da je akumulacija na začetku prazna in se prvo leto le polni. V prvem letu se voda porablja le za spuščanje biološkega minimuma, ki znaša 15 l/s in ga je potrebno spuščati ves čas. Akumulacija je polna, ko doseže volumen 7.250.000 m³. Doseže pa ga prvič oktobra že v prvem letu (1948). Obstaja pa tudi rezervni volumen v akumulaciji, do katerega lahko maksimalno napolnimo akumulacijo. Maksimalna kota je na višini 100,5 m n.m.v. in volumen pri tej koti znaša 8.500.000 m³.

Za izračun vodne bilance akumulacije Vogršček so potrebni podatki o mesečnih dotokih v akumulacijo, potrebnih količinah vode za namakanje, izgubah zaradi izhlapevanja vode v akumulaciji in biološki minimum, ki ga je potrebno spuščati po strugi dolvodno od akumulacije. Viški vode so namenjeni energetski proizvodnji. Temu so namenjene tudi količine za ohranjanje ekoloških razmer v strugi potoka Vogršček dolvodno od pregrade. V izračunu vodne bilance je za izhlapevanje uporabljeno tisto, ki ga izračunamo s pomočjo funkcije za površino $F=f(h)$ in funkcije za višino vode v odvisnosti od volumna prejšnjega meseca $h=f(V)$.

Za vsak mesec za leta od 1948 do 1974 imamo podatke o dotoku vode v akumulacijo, o biološkem minimumu, ki ga je potrebno spuščati naprej dolvodno po strugi ter izhlapevanju akumulacije, ki ga vsak mesec sproti izračunamo s pomočjo volumna akumulacije prejšnjega meseca, saj se površina z volumnom spreminja.

Dotok vode v akumulacijo je iz meseca v mesec zelo različen in je odvisen predvsem od količine padavin. V primerjavi s poletnimi meseci je v zimskih mesecih v povprečju višji za približno trikrat, kar je tudi razvidno na naslednjem grafu.



Graf 7: Povprečen mesečni dotok vode v akumulacijo v m³/s. Prikazan je tudi povprečni letni dotok, ki znaša 0,257 m³/s.

Biološki minimum je pretok, ki je velik 15 l/s (0,015 m³/s) in ga je potrebno ves čas spuščati dolvodno zaradi varnosti ter ekoloških razlogov kot je življenje rib v potoku.

Izhlapevanje določenega meseca izračunamo iz volumna akumulacije prejšnjega meseca. Najprej izračunamo višino vode s pomočjo funkcije $h=f(V)$. Nato izračunamo površino akumulacije s funkcijo $F=f(h)$. Na koncu pa še uporabimo formulo za izhlapevanje, ki je že podana v podpoglavju 3.3.2 Površina vode akumulacije Vogršček in njeno izhlapevanje in se glasi:

$$I\left[\frac{m^3}{s}\right] = \frac{I[mm]*0,001*F}{t}$$

Če od dotoka vode v akumulacijo odštejemo izhlapevanje akumulacije s površine ter biološki minimum, dobimo volumen vode, ki se nabere v akumulaciji v določenem mesecu. Izračuna se na naslednji način:

$$V [m^3] = \frac{Q_{dot}\left[\frac{m^3}{s}\right] - Q_{izhl.}\left[\frac{m^3}{s}\right] - Q_{inst}\left[\frac{m^3}{s}\right]}{t[s]}$$

kjer so

$V[m^3]$ – volumen vode, ki se nabere v akumulaciji v določenem mesecu

$Q_{dot}[m^3/s]$ – dotok vode v akumulacijo

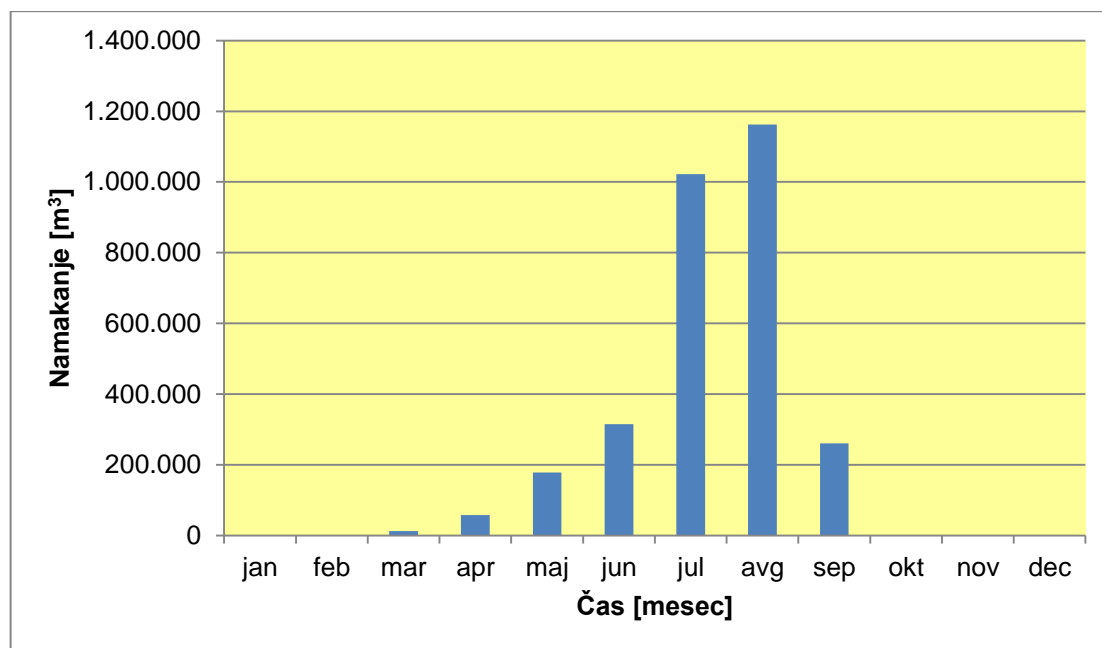
$Q_{izhl.}[m^3/s]$ – izhlapevanja akumulacije

$Q_{inst}[m^3/s]$ – pretok, ki teče skozi turbino, in sicer $Q_{inst} = Q_{es} + Q_{E\ izkor.}$, kjer je Q_{es} biološki minimum in znaša 15l/s in $Q_{E\ izkor.}$ pretok, ki je uporabljen za energetske izkoriščanje

$t[s]$ – čas enega meseca

Vendar to ni voda, ki ostane v akumulaciji, saj moramo upoštevati tudi vodo, ki jo porabimo za namakanje ter vodo, ki je že bila v akumulaciji prejšnji mesec. Poljščine namakamo v mesecih od marca do septembra, torej so v tistem obdobju velike izgube vode v akumulaciji. V celoti je predvideno, da bi akumulacija Vogršček zadoščala za potrebe namakanja za okoli 3.500 ha površin v Vipavski dolini. Trenutno je iz akumulacije namakanih le 981 ha površin, potrebe po vodi pa se spreminjajo iz leta v leto.

Na naslednjem grafu 8 lahko vidimo povprečne mesečne potrebe po namakanju. Največ namakanje je potrebnega v mesecih od junija do avgusta.

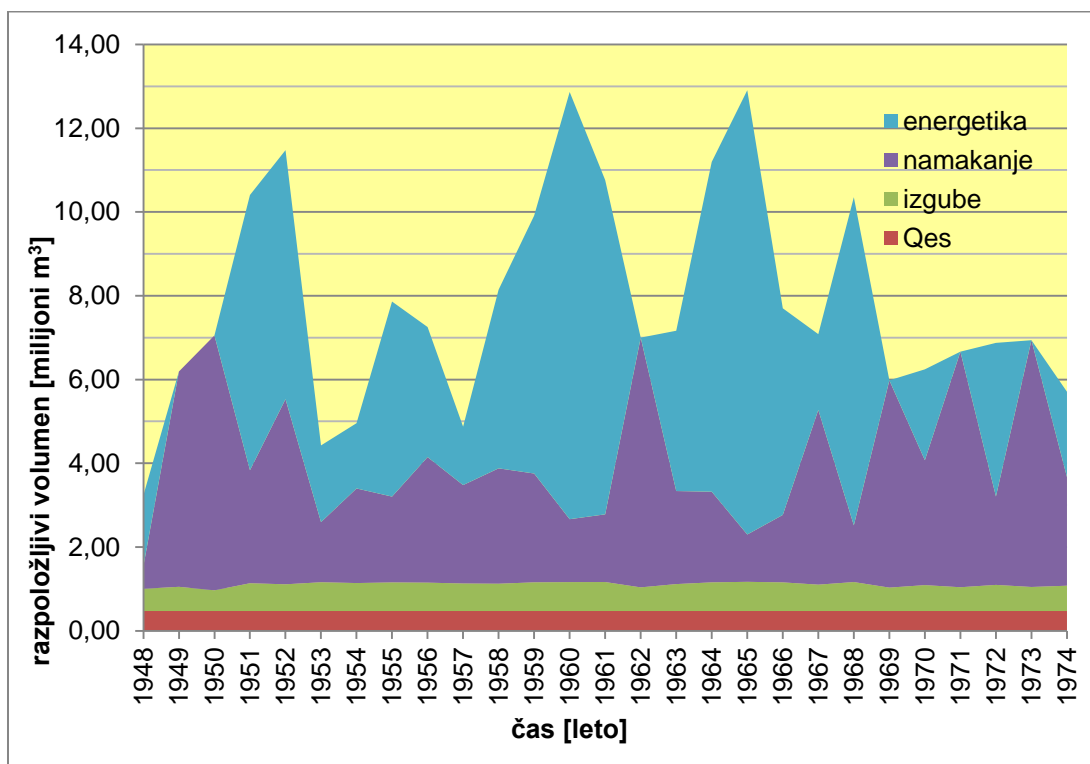


Graf 8: Povprečne mesečne potrebe po namakanju v m³

Voda za namakanje je speljana direktno v namakalni sistem. V interesu upravljalcev namakalnega sistema je, da se ohranja čim višji nivo vode v akumulaciji. Ker večinoma namakamo območja, ki so v višje ležečih delih odseka Zalošče – Miren, je potrebno omeniti, da vodo prečrpavamo v višje predele in prav zaradi tega je v interesu upravljalcev namakalnega sistema, da se ohranja čim višji nivo vode v akumulaciji.

Pri izračunu za dejansko količino vode, ki ostane v akumulaciji konec vsakega meseca, kot polno akumulacijo obravnavamo volumen 7.250.000 m³. Voda se tako nabira dokler se akumulacija ne napolni. Potem je potrebno presežek vode spuščati skozi preliv, ki je temu namenjen. Sicer imamo še na voljo 1,7 m rezervnega visokovodnega volumna, ki ga lahko izkoristimo, vendar je ta postopek opisan v poglavju 5 Optimiziranje sistema.

V preračunu vodne bilance smo upoštevali, da pričnemo polniti akumulacijo v prvem letu obratovanja (leto 1948) in je zato tudi razpoložljive vode za namakanje v prvem letu manj na voljo. Graf 9 prikazuje razpoložljive volumne vode za različne namene rabe za vsako leto posebej. V celotnem opazovalnem obdobju znaša povprečna letna količina vode, ki se nateče v akumulacijo 8,1 mio m³. Od tega je 3,1 mio m³ namenjeni namakanju in bogatenju nizkih pretokov Vipave (na grafu označeno z vijolično barvo), 0,64 mio m³ izgub zaradi izhlapevanja (na grafu označeno za zeleno barvo) in 0,47 mio m³ za zagotavljanje ekoloških razmer (na grafu označeno z rdečo barvo). Višek vode predstavlja povprečna letna količina 3,9 mio m³, ki jo lahko izkoristimo za energetske rabe (na grafu označeno z modro barvo). Če upoštevamo še možnost koriščenja vodne količine za biološki minimum, znaša povprečni letni vodni potencial okoli 4,4 mio m³.



Graf 9: Količina volumna vode v m³ za obdobje 1948 - 1974, ki se uporablja za različne namene, kot so energetika, namakanje, izgube zaradi izhlapevanja in biološki minimum

4.2 Energetska proizvodnja

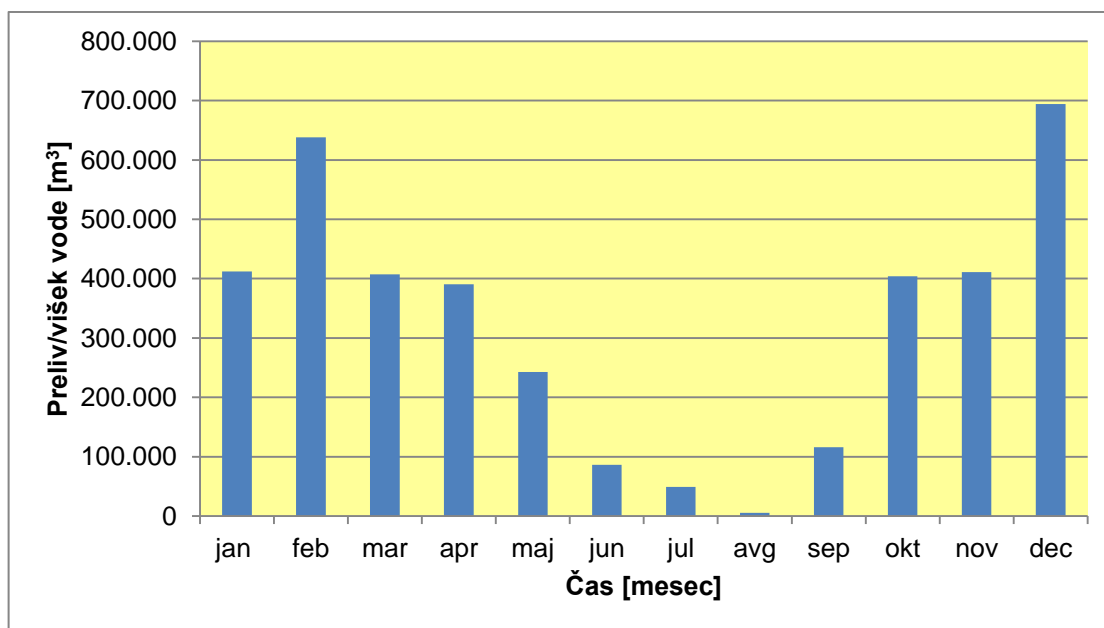
Akumulacija Vogršček je sezonska akumulacija, ki ima glede na srednji letni dotok, ki znaša $0,257 \text{ m}^3/\text{s}$, velik volumen $8,5 \text{ mio m}^3$. Primerljiv volumen akumulacije ima npr. HE Vrhovo, katere srednji letni dotok je $235 \text{ m}^3/\text{s}$. To je za skoraj 1000-krat večji srednji dotok. Z upoštevanjem vseh naravnih in okoljskih omejitev lahko v celoti izkoristimo razpoložljive vodne količine. To pa je tudi naš glavni cilj diplomske naloge.

Na začetku našega izračuna vodne bilance še ne poznamo vrsto turbine in pretok, torej ne poznamo instaliranega pretoka, ki teče skozi turbino. Proizvodnjo smo preračunali za več obratovalnih scenarijev, pri čemer smo postopoma povečevali instalirani pretok. Za izhodiščni pretok smo privzeli ekološko sprejemljiv pretok $Q_{es}=15 \text{ l/s}$ in ga povečevali za celi večkratnik dokler nismo prišli do maksimalne proizvodnje energije, pri kateri praktično v celoti izkoristimo razpoložljive vodne količine.

Račun smo začeli s predpostavko, da je akumulacija 31. decembra 1947 že zgrajena in prazna. Prvo leto 1948 se akumulacija polni ter spuščamo samo ekološko sprejemljiv pretok 15 l/s . Prvič je polna že konec oktobra prvega leta. Druga predpostavka pa pravi, da je akumulacija polna pri normalni obratovalni koti $98,8 \text{ m n.m.v.}$ in volumnu $7.250.000 \text{ m}^3$. Zadnja predpostavka zahteva, da je višina vode v akumulaciji ves čas nad koto 80 m n.m.v. , saj je to minimalna kota odvzema.

4.2.1 Povprečna količina vode, ki jo lahko namenimo energetskemu izkoriščanju

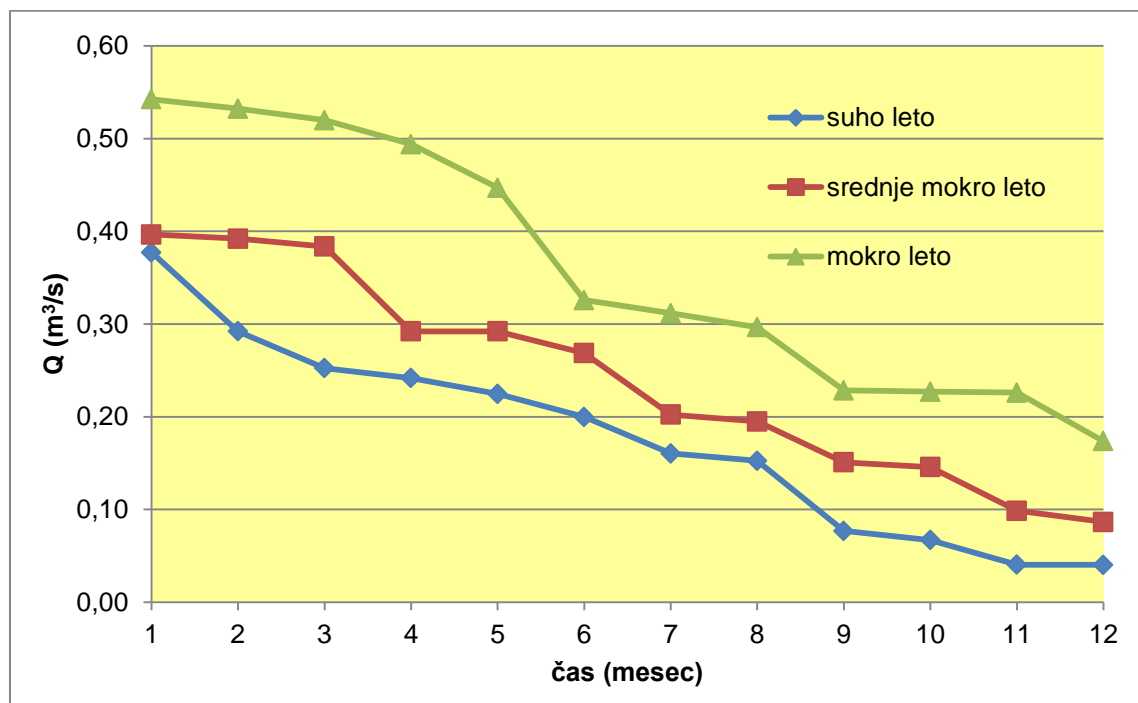
Kot že omenjeno smo naš izračun začeli z instaliranim pretokom $Q_{inst}=15 \text{ l/s}$, ki ga porabimo celotnega kot biološki minimum. Pri tako majhnem instaliranem pretoku imamo za postavljeno predpostavko, da je akumulacija polna pri $7.250.000 \text{ m}^3$, predvsem v zimskih mesecih ogromne viške vode in bi bilo potrebno to vodo prelivati. Tudi na naslednjem grafu, ki prikazuje povprečni mesečni preliv oziroma višek vode in jih ne moremo izkoristiti niti za namakanje niti energetiko, je vidno, da so prelivi večji v obdobju od novembra do marca. Največji so februarja in decembra. V poletnem obdobju so prelivi veliko manjši. Najmanjši povprečni mesečni preliv nastopi avgusta.



Graf 10: Povprečen mesečni preliv v m^3 , če upoštevamo predpostavko, da je akumulacija polna pri $7,25 \text{ mio m}^3$ za režim obratovanja s pretokom 15 l/s

Najmanjši možni pretok, ki ga lahko spuščamo skozi turbino znaša 15l/s, saj kot vemo moramo biološki minimum spuščati dolvodno ves čas. Ostali del pretoka, ki ga spuščamo čez turbino in s tem proizvajamo energijo pa je lahko spremenljiv. Naša glavna naloga pa je določiti tip turbine, ki se nam finančno in energetsko najbolj splača. Že v samem začetku vidimo, da se bomo morali odločiti med dvema možnostima, in sicer med eno turbino, ki spušča seštevek obeh pretokov, ali pa dvema turbinama, kjer je ena namenjena zgolj za biološki minimum in deluje ves čas in druga za instalirani pretok večje turbine, s katero proizvedemo večino energije. Za vseh naših 27 let (od 1948 do 1974) smo izračunali seštevek viška vode, ki je ne moremo izkoristiti niti za proizvod energije niti za namakanje. Vsota je prišla zelo velika, in sicer 100.755.124,36 m³. Če to pretvorimo v m³/s, dobimo 0,123 m³/s oziroma 123 l/s, to je za kar več kot 8-krat večje od biološkega minimuma. Zato je potrebno določiti instalirani pretok, pri katerem bi porabili vse viške vode. Seveda moramo upoštevati tudi finančne in energetske vidike.

Pri izbiri pravega instaliranega pretoka skuzi tubino si delno lahko pomagamo tudi s krivuljo trajanja za dotok vode v akumulacijo. Moramo pa ves čas imeti v mislih, da nimamo le dotokov v akumulacijo, vendar imamo tudi izgube, kot sta namakanje polj ter izhlapevanje s površine akumulacije. Krivulja trajanja nam pomaga pri predstavi, koliko mesecev na leto imamo več vode in kolikšni pretoki so takrat. Določili smo tri krivulje trajanja glede na vrsto let. Imamo krivuljo trajanja za suho leto, za srednje mokro leto in za mokro leto. Vseh 27 let smo razdelili na suha, srednje mokra in mokra leta. Nato smo za vsako vrsto leta poiskali povprečne mesečne pretoke. Krivuljo trajanja smo izračunali s pomočjo teh povprečnih mesečnih pretokov za vsako vrsto leta. Na naslednjem grafu so prikazane povprečne krivulje trajanja za mokro, srednje mokro in suho leto. Iz njega lahko ocenimo, da bi se povprečni instalirani pretok moral gibati med 0,200 m³/s in 0,300 m³/s. Vendar še enkrat omenimo, da je to le groba ocena in dejansko ne moremo instaliranega pretoka Q_{inst} določiti na tak način. Ta način bi lahko uporabili, če ne bi imeli nobenih izgub.



Graf 11: Krivulje trajanja za dotok vode v akumulacijo za suha, srednje mokra in mokra leta

Za lažjo določitev ustreznega instaliranega pretoka Q_{inst} , ki ga spuščamo skozi turbino, smo razširili naš izračun. Režim obratovanja smo določili tako, da smo instalirani pretok turbin povečevali po korakih +15 l/s, pri čemer je izhodišče predstavljal biološki minimum $Q_{es}=15$

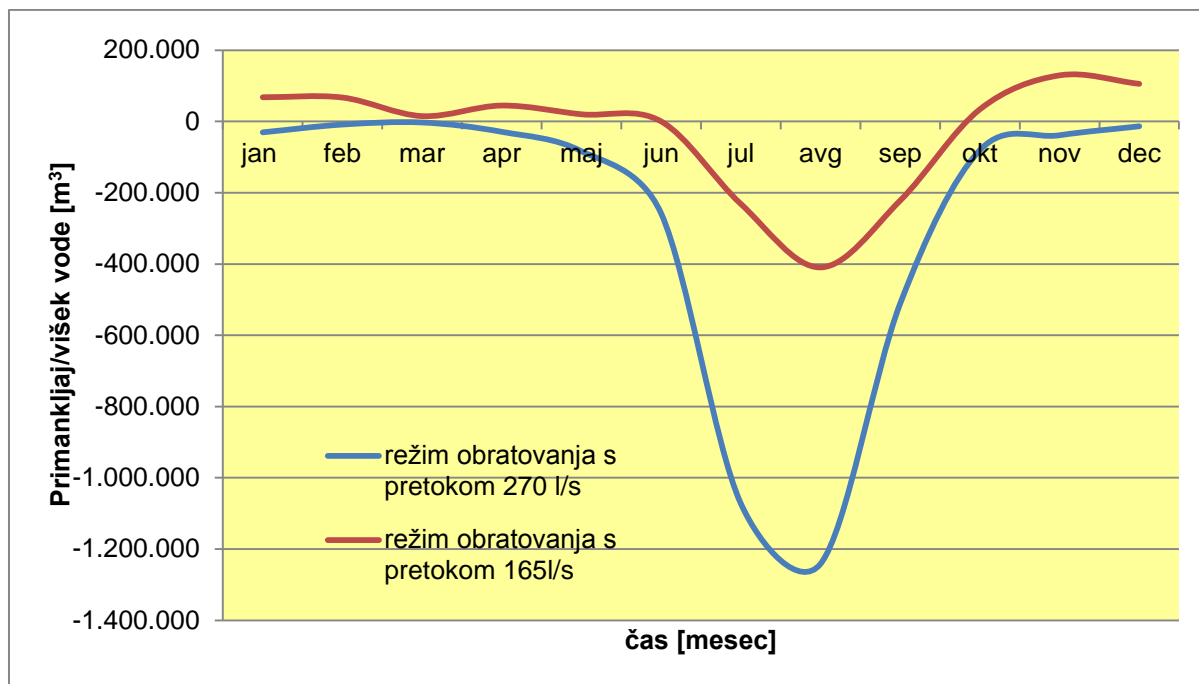
l/s. Torej smo izvedli izračun vodne bilance ter potenciala energije za režime obratovanja s pretoki 15 l/s, 30 l/s, 45 l/s, ..., 270 l/s. Instalirani pretok je sestavljen iz biološkega minimuma, ki vedno znaša 15 l/s in pretoka, ki je namenjen vodno-energetskemu izkoriščanju in v naših primerih variira. V primeru, da se bomo odločili za dve turbini, pa bo veljalo, da ena turbina spušča ekološki pretok 15 l/s, druga pa preostali del pretoka.

4.2.2 Primanjkljaji vode in regulacija energetskega izkoriščanja v času primanjkljajev

Z višanjem pretoka, ki ga spuščamo skozi turbino, se spreminja količina vode v akumulaciji za pregrado. Če voda pade pod koto 80 m n.m.v., obravnavamo to kot primanjkljaj vode, saj takrat vode iz akumulacije ne moremo izkoriščati. Problem je, da je odvzem vode možen le do minimalne kote obratovanja 80 m n.m.v. Z višjimi instaliranimi pretoki, ki jih spuščamo skozi turbino, se povečujejo tudi primanjkljaji vode in pogostost teh primanjkljajev.

Do pretoka 30 l/s lahko elektrarna obratuje 365 dni na leto. Pri režimu obratovanja s pretokom 45 l/s pa se že pojavi primanjkljaj vode. Sicer se pojavi le enkrat in traja le štiri mesece (od avgusta do novembra), vendar se z večanjem instaliranega pretoka pogostost primanjkljajev le večja. Pri režimu obratovanja s pretokom 75 l/s imamo primanjkljaj trikrat za krajše obdobje, pri režimu obratovanja s pretokom 105 l/s se pojavijo že večkrat, vendar je njihova dolžina še vedno dokaj kratka in traja le nekaj mesecev. Pri režimu obratovanja s pretokom 165 l/s pa imamo že primanjkljaje, ki so daljši od pol leta, pogostost pa je tudi že večja. Velikost pretoka, kjer so pa primanjkljaji večji od leta dni in se pogostost poveča že na skoraj vsako leto, pa je 210 l/s. Pri režimu obratovanja z največjim obravnavanim pretokom, ki znaša 270 l/s, pa so že zelo pogosti in se pojavijo skoraj vsako leto ter je njihova dolžina daljša. Najdaljše obdobje primanjkljaja vode je kar 21 mesecev.

Graf 12 prikazuje primerjavo med povprečnimi vrednostmi primanjkljajev oziroma viškov vode v akumulaciji za vsak mesec posebej za režim obratovanja s pretokom 165 l/s (rdeča barva na grafu 12), kjer imamo ponekod že primanjkljaje, ki so dolgi tudi do pol leta, in za največji izračunani režim obratovanja s pretokom 270 l/s (modra barva na grafu 12). Na grafu je razvidno, da se pri režimu obratovanja z največjem pretokom 270 l/s pojavljajo samo primanjkljaji ali pa je višek vode v akumulaciji, ki ga ne moremo uporabiti za proizvodnjo ali namakanje, enak nič. Tukaj je potrebno omeniti, da so primanjkljaji v resnici še večji, saj je potrebno akumulacijo napolniti vsaj do kote 80 m n.m.v., da lahko deluje. Primanjkljaji vode so največji v poletnih mesecih od junija do septembra. Tak rezultat je povsem pričakovan, saj v temu obdobju uporabljamo vodo iz akumulacije tudi za namakanje poljščin. Pri režimu obratovanja s pretokom 165 l/s pa imamo tako primanjkljaje vode kot viške vode. Povprečni primanjkljaji so seveda zopet po pričakovanju v poletnih mesecih, ampak so veliko manjši kot pri režimu obratovanja s pretokom 270 l/s. Povprečni viški so v ostalem delu leta, vendar so največji v zimskih mesecih, saj je takrat več padavin in nimamo namakanja.



Graf 12: Primerjava povprečnih primanjkljajev/viškov vode v akumulaciji v m^3 med režimi obratovanja s pretokom 270 l/s in 165 l/s. Primanjkljaji so v resnici še večji, saj mora biti akumulacija napolnjena vsaj do minimalne kote obratovanja 80 m n.m.v.

Torej lahko rečemo, da se s povečanjem pretoka režima obratovanja viški vode zmanjšujejo in se primanjkljaji vode povečujejo. Zelo kmalu se pojavijo tudi negativni preliv, kar pomeni, da imamo letne primanjkljaje vode.

Zaradi primanjkljajev vode, ki so opisani v prejšnjem podpoglavju, je bilo potrebno v naš izračun uvesti tudi prekinitve delovanja turbine oziroma skozi turbino spuščati le biološki minimum (15 l/s), ki ga seveda moramo spuščati skozi ves čas. Čas, ko skozi turbino spuščamo le biološki minimum, je zelo odvisen od obdobja, za katerega velja primanjkljaj vode oziroma je voda v akumulaciji pod koto 80 m n.m.v.

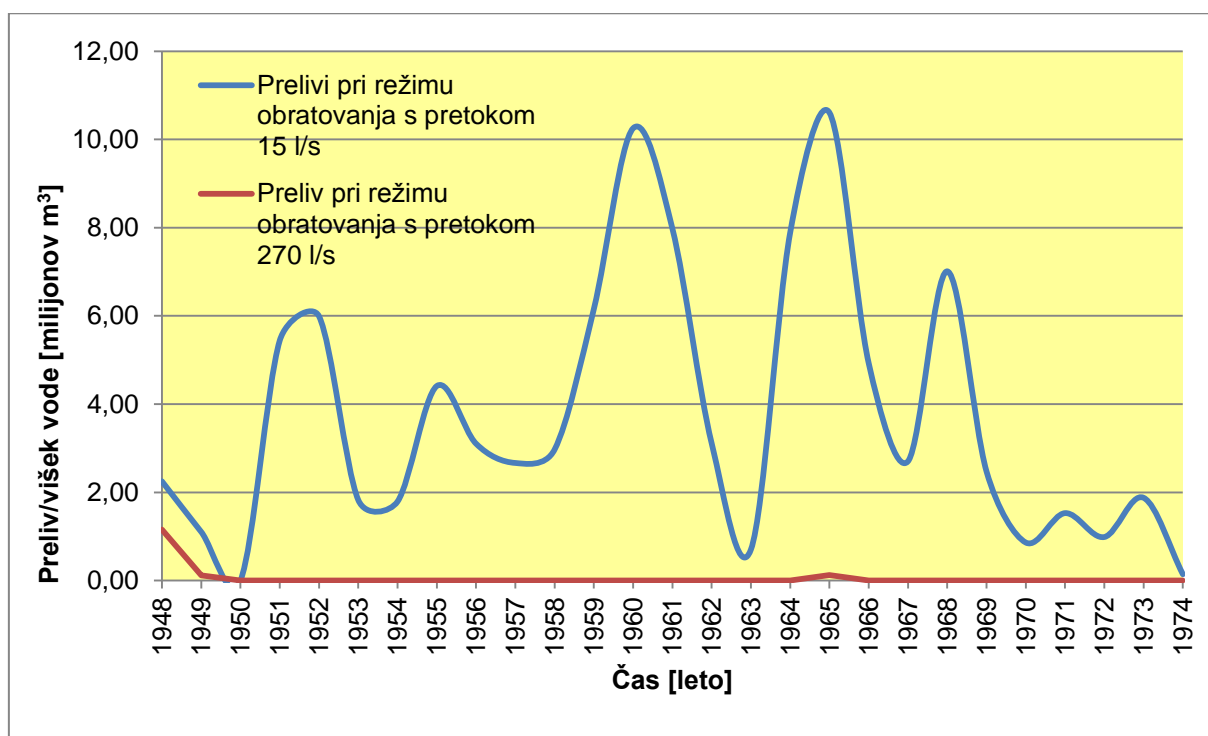
Primanjkljaje vode smo v izračunu razrešili tako, da smo uvedli prekinitve delovanja na tak način, da smo za mesece, kjer je bil primanjkljaj vode spuščali le biološki minimum in pretok, ki ga izkoriščamo le za namen vodno-energetskega izkoriščanja, spremenili v nič. Upoštevali smo prekinitve delovanja za toliko mesecev, dokler nivo vode v vseh mesecih ni bil nad koto 80 m n.m.v. Naša mala hidroelektrarna torej ne bo delovala ves čas, ampak bo delovala na tak način, da se bo sproti porabljalo viške vode, če bomo le-te imeli, in če bo potreba prekiniti delovanje mHE, se bo to tudi naredilo. Seveda ob vseh teh trditvah ne smemo pozabiti, da moramo biološki minimum ves čas spuščati dolvodno. Že tukaj je lepo razvidno, da bomo verjetno imeli dve turbini, ena, ki bo spuščala biološki minimum ves čas in druga, v kateri bomo lahko reguliral pretok skozi njo glede na dovoljeno porabo vode, ki je v akumulaciji.

V prvih dveh primerih, ko je režim obratovanja s pretokom do 30 l/s prekinitve delovanja turbine niso potrebne, medtem ko so v vseh naslednjih primerih te prekinitve potrebne. Pri režimu obratovanja s pretokom 45 l/s je sicer potrebno prekiniti delovanje le enkrat za osem mesecev, vendar število mesecev in pogostost prekinitve pri primerih z večjim pretokom močno naraste in je pri režimu obratovanja z največjim pretokom 270 l/s, najdaljše obdobje nedelovanja oziroma spuščanja le biološkega pretoka dolgo kar 21 mesecev. Pogostost se tudi poveča na skoraj vsako leto predvsem v poletnem obdobju. To, da se največ

primanjkljavev zgodi v poletnih mesecih je povsem normalno, saj je takrat najmanj padavin in je hkrati največja potreba po namakanju.

V prilogi A - 1 si pa lahko ogledamo povprečne letne prelive oziroma viške vode pri vseh režimih obratovanja, ki jih ne moremo izkoristiti za izračun, ko uvedemo tudi prekinitve delovanja turbine za pretok, s katerim proizvedemo večino naše energije in biološki minimum še vedno spuščamo dolvodno. Na grafu priloge A - 1 je zelo lepo razvidno to, da se z povečanjem pretoka režima obratovanja, prelive oziroma viški vode zmanjšujejo, dokler pri režimu obratovanja največjim pretokom 270 l/s niso skoraj povsod nič. Nikjer nimamo negativnih prelivov, kar tudi pomeni, da smo s pravilnim reguliranjem delovanja turbine poskrbeli, da nimamo nobenih primanjkljavev vode.

Na grafu 13 pa lahko vidimo primerjavo letnih viškov vode pri različnih režimih obratovanja, ko smo že uvedli prekinitve, in sicer med režimom obratovanja s pretokom 15 l/s, kjer ni potrebno nikoli prekiniti delovanje in med režimom obratovanja s pretokom 270 l/s, kjer je potrebno velikokrat prekiniti delovanje. Razlika v prelivih je ta, da so prelive pri prvem v nekaterih letih zelo veliki, medtem ko so pri pretoku 270 l/s prelive večinoma enaki nič.



Graf 13: Primerjava med letnimi prelive/viški vode v milijonih m³ med režimom obratovanja s pretokom 15 l/s in 270 l/s za obdobje 1948 – 1974

4.2.3 Izračun energetske proizvodnje za različne režime obratovanja, kjer upoštevamo za polni volumen akumulacije 7,25 mio m³

Glavni del naše naloge pa je bil seveda izračun energetske proizvodnje akumulacije Vogršček. Ker še ne vemo kakšno turbino bomo izbrali in kakšen pretok bo tekkel čez njo, si pomagamo s tem, da izračunamo proizvedeno energijo za vsak režim obratovanja posebej. Iz teh rezultatov se bomo odločili za pretok, ki ga bomo uporabili pri izbiri turbine. Namen postopnega računa z dvigovanjem velikosti instaliranega pretoka je določiti točko, kjer z velikostjo turbine uspemo izkoristiti vso razpoložljivo vodo. Tak pristop je utemeljen, ker je

akumulacija Vogršček sezonskega tipa in ima glede na srednji letni pretok sorazmerno velik akumulacijski prostor.

Gladina vode v akumulaciji se skozi mesece spreminja, zato je potrebno za vsak mesec določiti srednjo gladino, s pomočjo katere lahko določimo mesečni bruto padec. Srednja gladina se izračuna kot povprečje višine vode v akumulaciji prejšnjega meseca in višine vode meseca, za katerega računamo srednjo gladino. Velikost se giblje nad 80 m n.m.v., saj pod to vrednost ne sme segati višina vode v akumulaciji zaradi odvzema vode.

Bruto padec je razlika srednje mesečne gladine in kote gladine vode, ki odteče dolvodno v koritu, ki je postavljen za podslapjem talnega izpusta. Kota gladine vode dolvodno v koritu pa se spreminja s tem, ko spreminjamo pretok. Zato je bilo potrebno za vsak pretok, ki teče skozi turbino in potem naprej v korito, izračunati višino vode v koritu. To višino smo izračunali s pomočjo Manningove formule za trapezna korita. Podatke o koritu smo dobili iz že obstoječih načrtov v idejni zasnovi o sanaciji objektov na zadrževalniku Vogršček [6].

IZRAČUN VIŠIN VODE V KORITU DOLVODNO OD PODSLAPJA ZA TALNI IZPUST:

Začeli smo z Manningovo formulo za hidravlično najugodnejše korito za primer trapeznega korita:

$$Q = \bar{u} * S = \frac{\sqrt{I_0}}{n_G} * S * R^{\frac{2}{3}} = \frac{\sqrt{I_0}}{n_G} * \frac{S^{\frac{5}{3}}}{O^{\frac{2}{3}}}$$

kjer so:

- I_0 – padec korita in znaša $I_0 = 5\text{‰} = 0,5\% = 0,005$
- n_G – Manningov koeficient, za katerega smo vzeli vrednost za fini gramoz, saj je korito sestavljeno iz kamnometa, $n_G = 0,024$
- S – prerez korita do tiste višine h , kjer sega voda
- O – omočeni obod korita

Prerez korita se pa spreminja z višino h in formula je:

$$S = b * h + m * h^2$$

Formula za omočeno obod pa je:

$$O = b + 2 * h * \sqrt{(1 + m^2)}$$

kjer so:

- h – višina vode v koritu in je neznanka
- m – naklon brežin in se izračuna kot $m = \cot\alpha$. V našem primeru je $m=2$
- b – širina korita na iskani višini h je $b = b_0 + 2 * x$, kjer je $b_0 = 2$ za naš primer in je to širina korita na dnu, x se izračuna iz enačbe $1,6/h = 3,2/x$ in je $x = 2 * h$ za naš primer, torej je $b = 2 + 4 * h$

Če v enačbe vnesemo znane parametre, dobimo:

$$S = 2 * h + 6 * h^2$$

in

$$O = 2 + 4 * h + 2 * h * \sqrt{5}$$

Končna formula, se glasi:

$$Q = \frac{\sqrt{0,005}}{0,024} * \frac{(2 * h + 6 * h^2)^{\frac{5}{3}}}{(2 + 4 * h + 2 * h * \sqrt{5})^{\frac{2}{3}}}$$

Ker imamo znane pretoke Q , ki so v bistvu naši pretoki, ki jih spuščamo skozi turbino, in iščemo višino h , lahko tako enačbo rešimo numerično. Pomagali smo si s programom Numeric Solver. Rezultati za različne Q so prikazani v naslednji preglednici 20.

Pr. 20: Višina vode v koritu potoka Vogršček dolvodno od podslapja za talni izpust pri določenem instaliranem pretoku

Q(m ³ /s)	h(m)
0,015	0,027
0,030	0,040
0,045	0,050
0,060	0,059
0,075	0,067
0,090	0,074
0,105	0,081
0,120	0,087
0,135	0,093
0,150	0,098
0,165	0,103
0,180	0,108
0,195	0,113
0,210	0,118
0,225	0,122
0,240	0,126
0,255	0,130
0,270	0,134

Sedaj smo izračunali višine vode v koritu, vendar to še ni kota gladine vode v koritu dolvodno od podslapja za talni izpust. Da dobimo koto, moramo vsem izračunanim višinam prišteti koto praga, ki je postavljen dolvodno od podslapja za talni izpust. To koto smo odčitali v načrtu podslapja talnega izpusta v sanaciji objektov na zadrževalniku Vogršček [6] in znaša 68,39 m n.m.v. Torej imamo sedaj vse potrebno za izračun bruto padca.

Za izračun proizvedene energije potrebujemo moč turbine. Moč turbine pa smo izračunali za vsak mesec posebej po enačbi:

$$P = g * H_{neto} * \eta * Q$$

kjer so:

- g – gravitacijski pospešek (9,81 m/s²)
- H_{neto} – neto padec
- η – izkoristek turbine
- Q – pretok skozi turbino ($Q=15$ l/s, 30 l/s, ..., 270 l/s)

Neto padec izračunamo kot 90% bruto padec oziroma na naslednji način:

$$H_{neto} = H_{bruto} - izgube$$

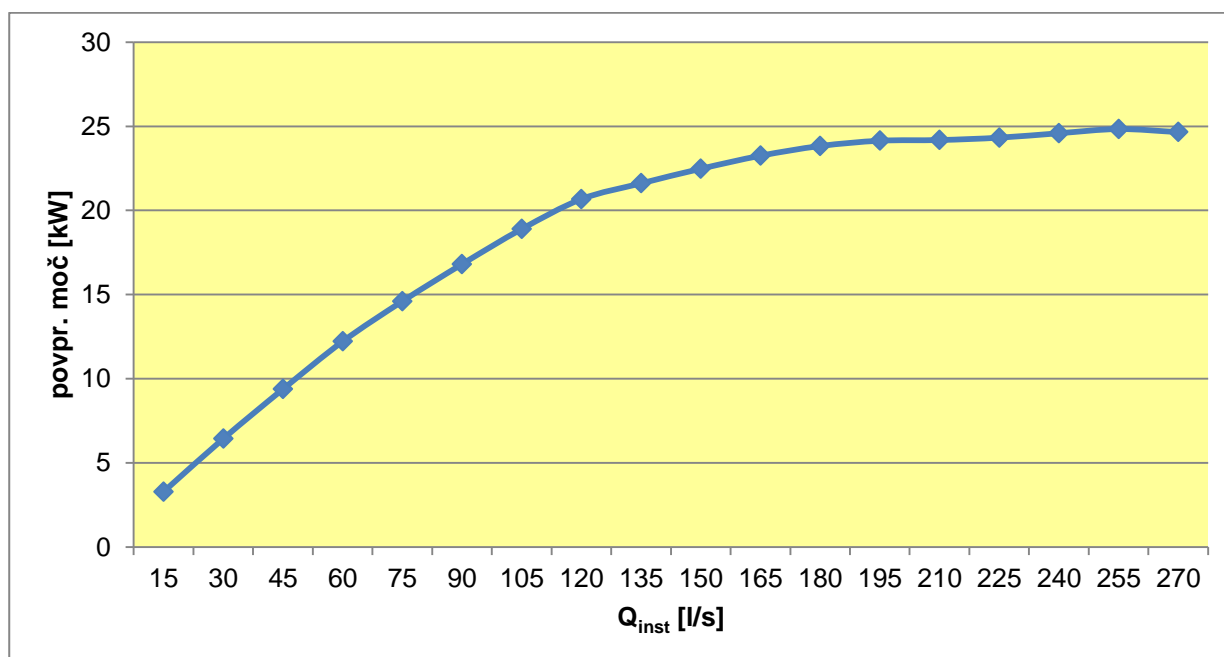
Upoštevali smo 10 % izgube, in sicer

$$izgube = 0,10 * H_{bruto}$$

Za izkoristek elekto-strojne opreme η smo vzeli vrednost 0,820 oziroma 82 %, v kateri so združeni že vsi izkoristki (η_g -izkoristek generatorja, η_t -izkoristek transformatorja,...). Uporabili

smo dokaj konzervativen pristop k oceni izgub in izkoristka za tak tip elektrarne. Glede na to, da je trend v zmanjšanju pretokov, smo tako s temi predpostavkami bližje realni oceni današnjega razpoložljivega energetskega potenciala.

V izračunu proizvedene energije smo za vsak mesec izračunali tudi razpoložljivo moč. Iz teh rezultatov smo nato za naših 27 obravnavanih let izračunali povprečno moč pri vsakem režimu obratovanja z določenim pretokom. Graf 14 prikazuje te vrednosti. Kot je razvidno moč močno narašča od režima obratovanja s pretokom 15 l/s do režima obratovanja s pretokom 120 l/s. Od režima obratovanja s pretokom 135 l/s do režima obratovanja s pretokom 255 l/s pa narašča zelo počasi in pri režimu obratovanja s pretokom 270 l/s krivulja zavije nekoliko navzdol, kar pomeni, da je pri režimu obratovanja s pretokom 270 l/s povprečna moč manjša kot pri predhodnjem režimu obratovanja. Dejstvo, da je maksimum tega grafa pri točki, kjer je režima obratovanja s pretokom 255 l/s, nam je pomagalo pri odločitvi, kateri pretok bomo uporabili kot naš pretok čez turbino. Izbrali smo prav ta maksimum, saj to pomeni, da pri tej vrednosti lahko proizvedemo največ energije in najbolje izkoristimo vodo iz akumulacije. Vidimo tudi, da so razlike pri pretokih od 180 l/s do 270 l/s zelo majhne. To je razvidno v obeh grafih 14 in 15. Tako majhne razlike so zato, ker se delež razpoložljive vode zelo zmanjša (rdeča krivulja na grafu 16) in tudi povprečen nivo gladine vode že začne upadati (modra krivulja na grafu 17), s tem pa tudi bruto padeč.



Graf 14: Povprečna moč v kW izračunana iz moči izračunanih za vsak mesec posebej za obdobje 1948 - 1974 za različne instalirane pretoke

Po izračunu mesečnih moči lahko končno izračunamo še mesečno proizvedeno energijo po naslednji formuli:

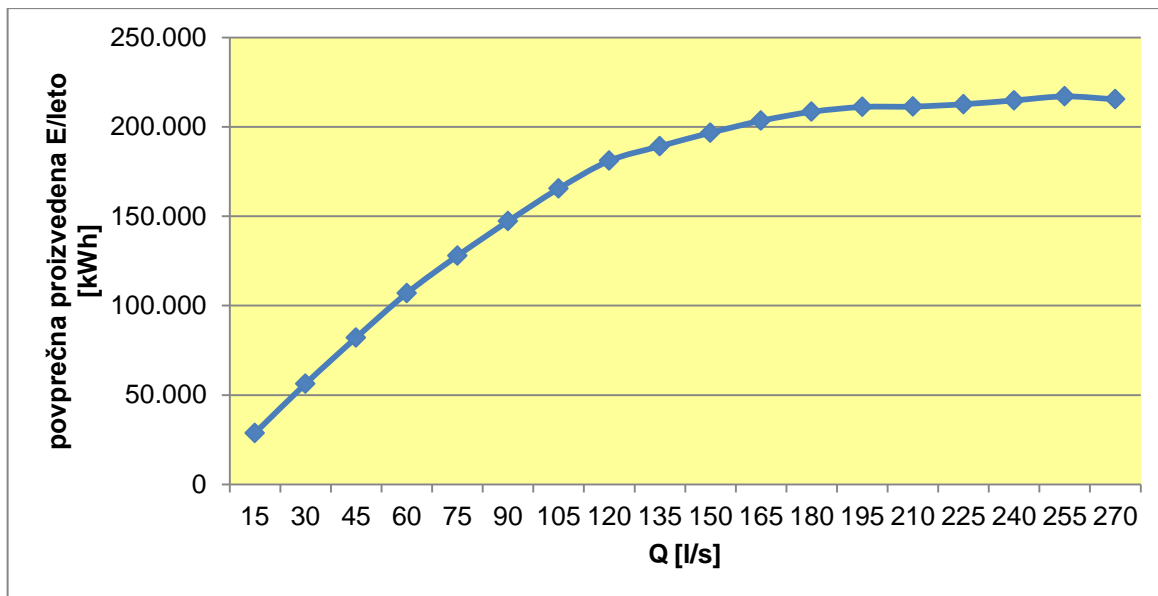
$$\text{Proizvedena } E = P * t$$

kjer sta:

- P – moč [kW]
- t – čas enega meseca v urah

Izračunana proizvedena energija je izražena v kWh. Za prodajno ceno 1 kWh smo vzeli 0,07 EUR in izračunali še mesečno ceno energije. Za lažjo predstavitev smo mesečne proizvedene energije za vsako leto posebej sešteli in dobili letne proizvodnje. Iz naših 27 obravnavanih let (od leta 1948 do 1974) smo dobili povprečno proizvedeno energijo na leto

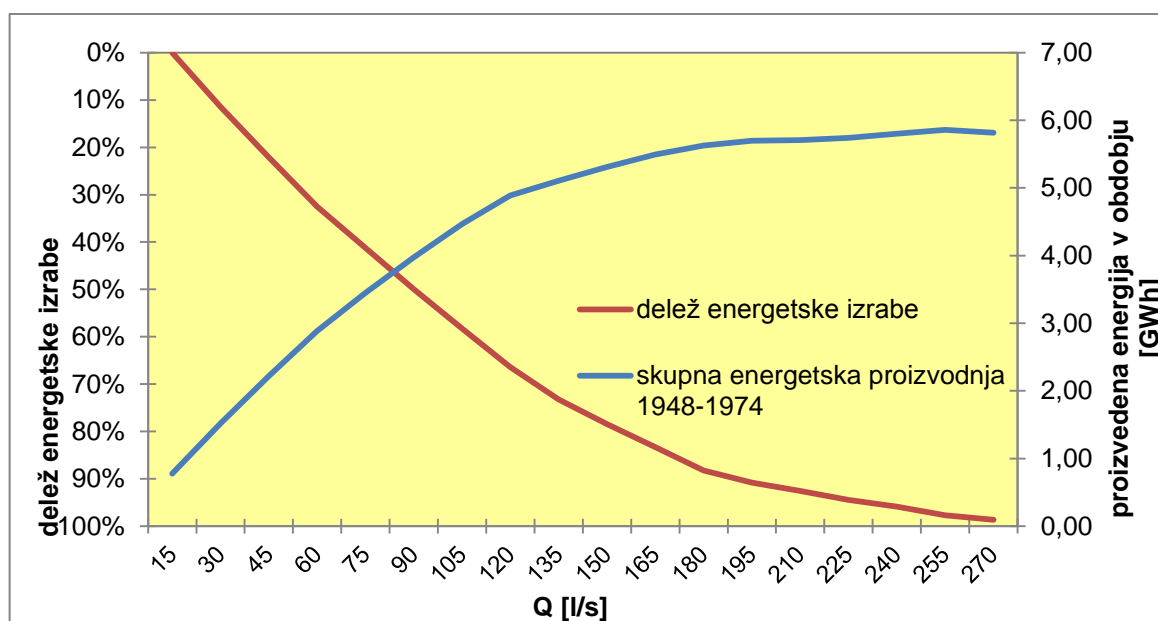
za različne režime obratovanja. Naslednji graf je potrditev naše trditve, da je najbolje izbrati režim obratovanja s pretokom 255 l/s.



Graf 15: Povprečna letna proizvedena energija v kWh za obdobje 1948 - 1974 pri različnih režimih obratovanja

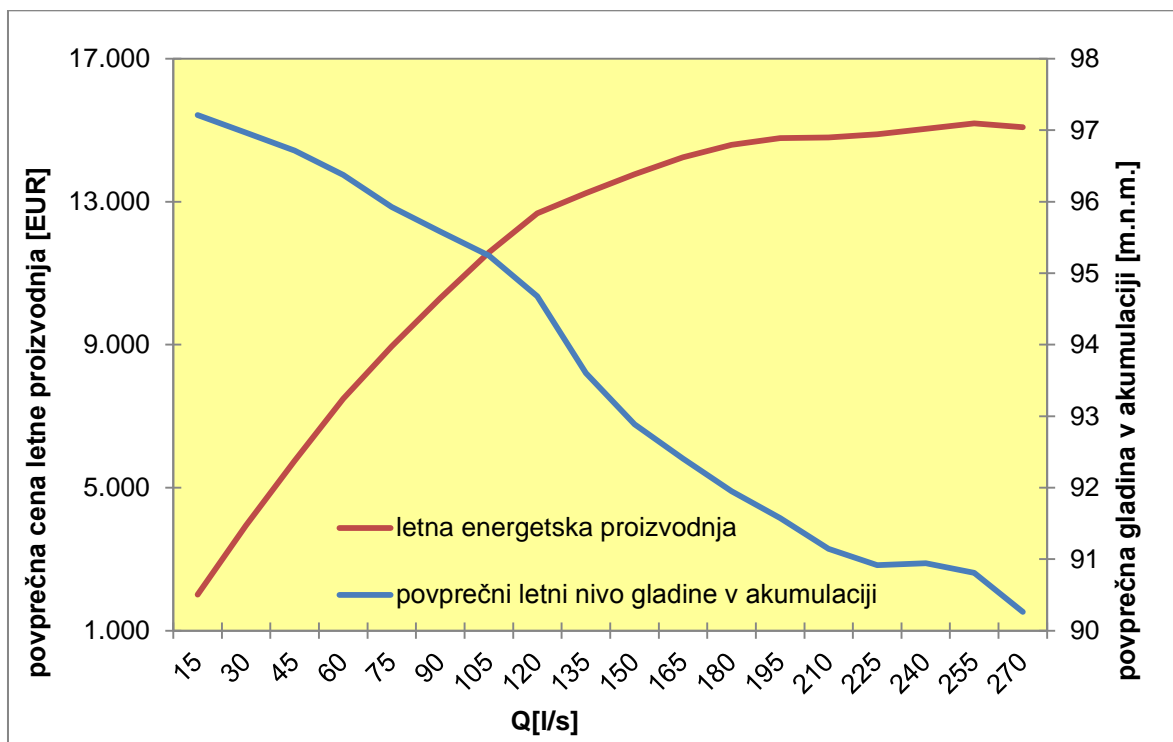
Pri prvem režimu obratovanja znaša povprečna proizvodnja energije le 28.756 kWh. Z večanjem pretoka se povečuje in je pri največjem 270 l/s enaka 215.418 kWh. Pri izbranem režimu obratovanja s pretokom 255 l/s pa je vrednost povprečne letne proizvedene energije 217.023 kWh, povprečna moč pa znaša 24,835 kW.

V prilogah A - 2 in A - 3 je lepo razvidno kako z naraščajočim instaliranim pretokom naraščata tudi letna proizvodnja energije in cena prodane energije. Res pa je, da so tudi nihanja grafov višjih instaliranih pretokov večja.



Graf 16: Sovisnot deleža izrabe razpoložljive vode in skupne proizvodnje v GWh v obdobju 27 ih let (1948 - 1974) v odvisnosti od pretoka

Z dobro načrtovano energetske rabo lahko skoraj v celoti vse viške vode namenimo za energetske proizvodnje. Na grafu 16 je prikazana skupna proizvodnja električne energije za obdobje 27 let v odvisnosti od pretoka (modra barva na grafu). Maksimalna skupna proizvodnja 5,86 GWh je dosežena pri režimu obratovanja s pretokom 255 l/s. Po temu pa se zaradi slabših energetskih karakteristik tudi s povečanjem pretoka postopoma proizvodnja spet zmanjšuje. Na istem grafu je prikazan tudi delež izrabe vse razpoložljive vode v odvisnosti od instaliranega pretoka. Pri izbranem režimu obratovanja s pretokom 255 l/s ostane približno 2 % razpoložljive vode v obdobju 27 let, ki je ne moremo energetske izkoristiti.



Graf 17: Sovisnost povprečne letne proizvodnje v EUR v obdobju 27ih let (1948 - 1974) in upada povprečnih obratovalnih gladin v akumulaciji v odvisnosti od pretoka

Graf 17 prikazuje sovisnost povprečne letne proizvodnje v EUR za obdobje 27 let in upad obratovalnih gladin v akumulaciji v odvisnosti od pretoka. Povprečna letne proizvodnje v EUR se z višanjem pretoka tudi viša in je največja v režimu obratovanja s pretokom 255 l/s, znaša pa 15.191,62 EUR. Povprečne obratovalne gladine v akumulaciji do režima s pretokom 120 l/s zmeroma upadajo, nato pa se z zviševanjem instaliranega pretoka nesorazmerno zmanjšujejo. Če primerjamo stanje brez energetske izrabe in stanje z energetske izrabe, je razlika približno 7 m. Nivo gladine v akumulaciji pa je pomemben z vidika črpanja vode za namakanje. Če je voda prenizko, je potrebno toliko več energije vložiti v črpanje, kar nam prinese dodatne stroške. Zato smo se odločili naš sistem še bolj optimizirati, kar je opisano v poglavju 5 Optimizacija sistema.

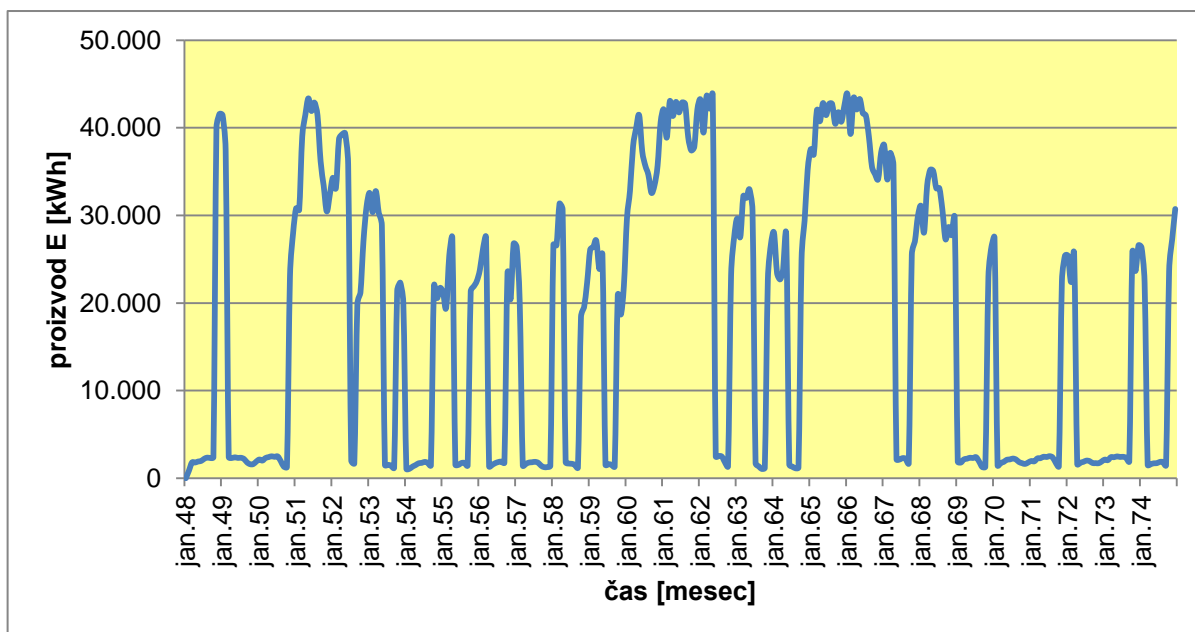
4.2.4 Rezultati izbranega režima obratovanja s pretokom 255 l/s z uporabljenimi predpostavkami

Največja proizvodnja energije je torej pri režimu obratovanja s pretokom 255 l/s. Če je pretok manjši ali večji od te vrednosti, je letna povprečna proizvodnja energije manjša. Odločili smo se tudi za dve turbini, manjšo za biološki pretok 15 l/s, ki deluje ves čas in večjo z instaliranim pretokom 240 l/s. Pri izbranem režimu obratovanja s pretokom 255 l/s pa znaša

povprečna letna proizvodnja energije 221.552,76 kWh. Povprečna izračunana moč pa je 25,316 kW.

Pri režimu obratovanja s pretokom 255 l/s se velikokrat pojavijo primanjkljaji vode. Te primanjkljaje smo seveda rešili s tem, da smo prekinili delovanje turbine dokler se akumulacija ni napolnila vsaj do kote 80 m n.m.v. Prekinitve so ponekod zelo dolge. Najdaljša prekinitve traja kar 21 mesecev. Najbolj pogoste pa so v poletnih mesecih. Res je, da so prekinitve včasih zelo dolge, vendar bi se s poskušanjem dalo tudi spremeniti delovanje mHE tako, da bi nekaj časa turbina recimo delovala z nižjo močjo in spuščala manjši pretok. Lahko pa bi tudi delovala le par ur dnevno, predvsem v višjih dnevne porabe energije.

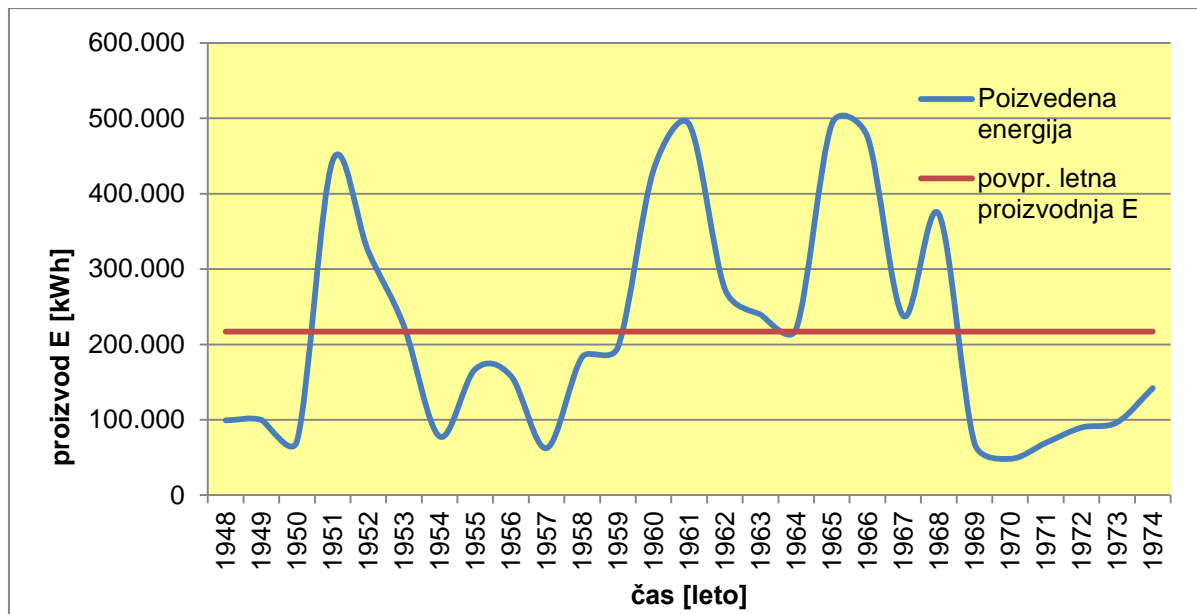
Potencial energije oziroma proizvedeno energijo smo računali po mesecih. To tudi prikazuje spodnji graf. Zelo lepo je razvidno nihanje proizvedene energije. V obdobjih, kjer spuščamo čez turbino le biološki minimum, je količina proizvedene energije približno 10-krat manjša kot, če spuščamo celoten pretok 255 l/s. Torej na grafu 18 minimumi prikazujejo obdobja, kjer spuščamo le biološki minimum. Maksimumi pa predstavljajo obdobja, ko turbina deluje s polno močjo.



Graf 18: Proizvod energije v kWh po mesecih za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 255 l/s

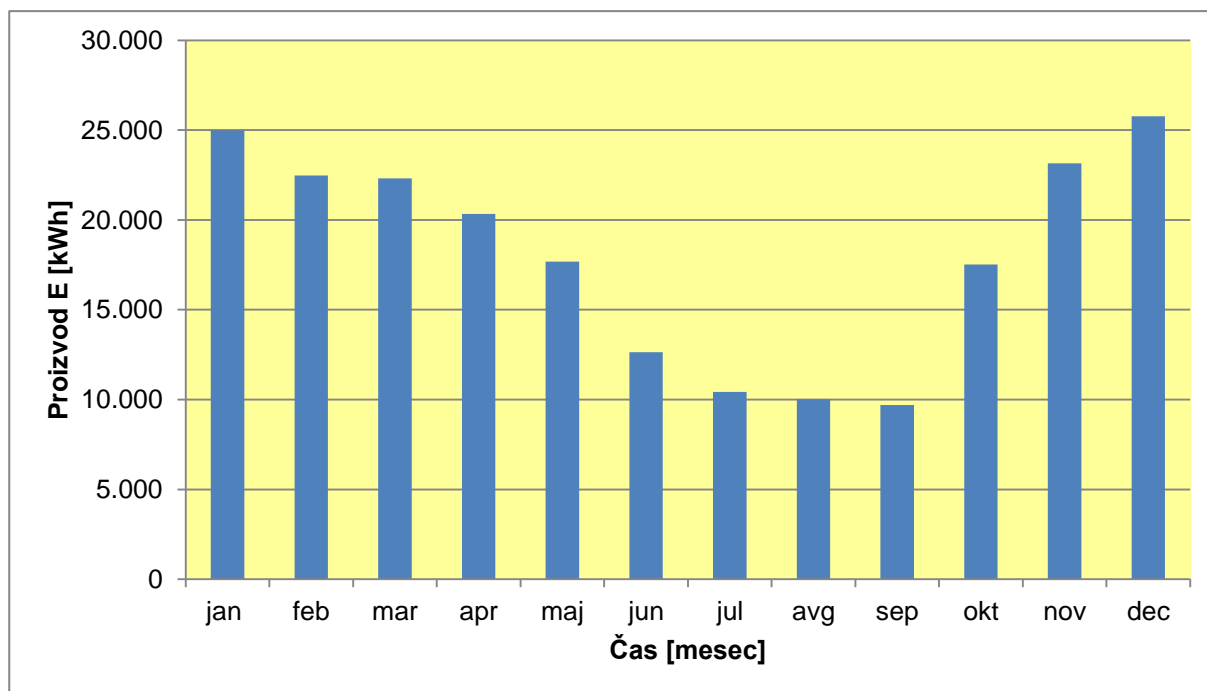
Graf 19 prikazuje letno proizvodnjo energije za vsako leto posebej (označeno z modro barvo). Proizvodnja energije zelo niha iz leta v leto, saj je odvisna od višine vode v akumulaciji oziroma dotoka vode ter količine vode potrebne za namakanje in predvsem od velikosti instaliranega pretoka. Ker smo morali velikokrat spuščati le biološki minimum, saj je bila višina vode v akumulaciji prenizka, se to seveda pozna tudi pri proizvodnji energije. Najnižja letna proizvedena energija je 48.256 kWh in nastopi v letu 1970. V skoraj celotnem letu 1970, razen januarja, spuščamo skozi turbino le biološki minimum, zato je tak rezultat popolnoma pričakovan. Nizka letna proizvodnja, manj kot 80.000 kWh, je tudi v letih 1950, 1954, 1957, 1969, 1971 in 1972. Kar se lepo vidi tudi na grafu 19. Namreč vsi minimumi so v teh letih. Največja letna proizvodnja pa je 492.469 kWh v letu 1965. Tudi ta rezultat je pričakovan, saj celo leto spuščamo celotni pretok 255 l/s in deluje turbina celo leto z veliko močjo. V letih 1951, 1961, 1966 in 1968 je prav tako velika proizvodnja. Na grafu 19 so to

maksimumi. Z rdečo barvo je na grafu 19 označena povprečna letna proizvodnja energije izračunana kot povprečje obravnavanih 27 let.



Graf 19. Proizvedena letna energija v kWh za obdobje 1948 - 1974 pri režimu obratovanja in povprečna letna proizvodnja energije za režim obratovanja s pretokom 255 l/s

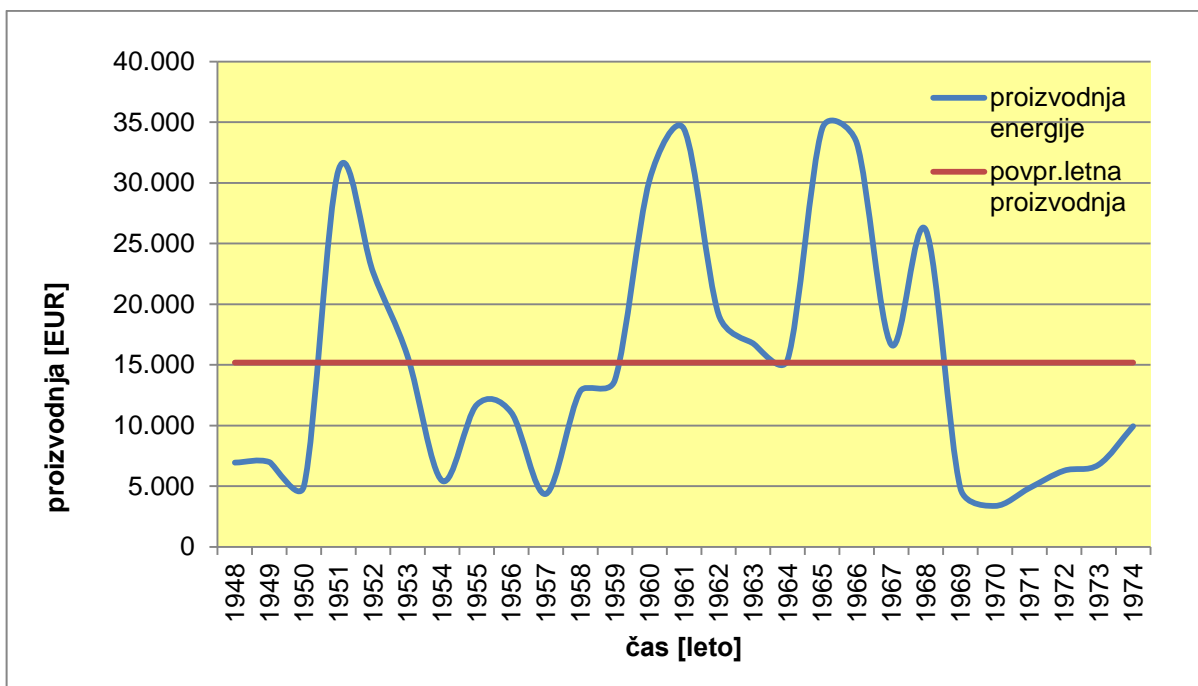
Graf 20 prikazuje še razporejenost proizvodnje energije skozi leto. Izračunali smo povprečno proizvodnjo za vsak mesec posebej. Zelo lepo je vidno, kako je proizvodnja večja v zimskih in manjša v poletnih mesecih.



Graf 20: Povprečna mesečna proizvodnja energije v kWh za režim obratovanja s pretokom 255 l/s

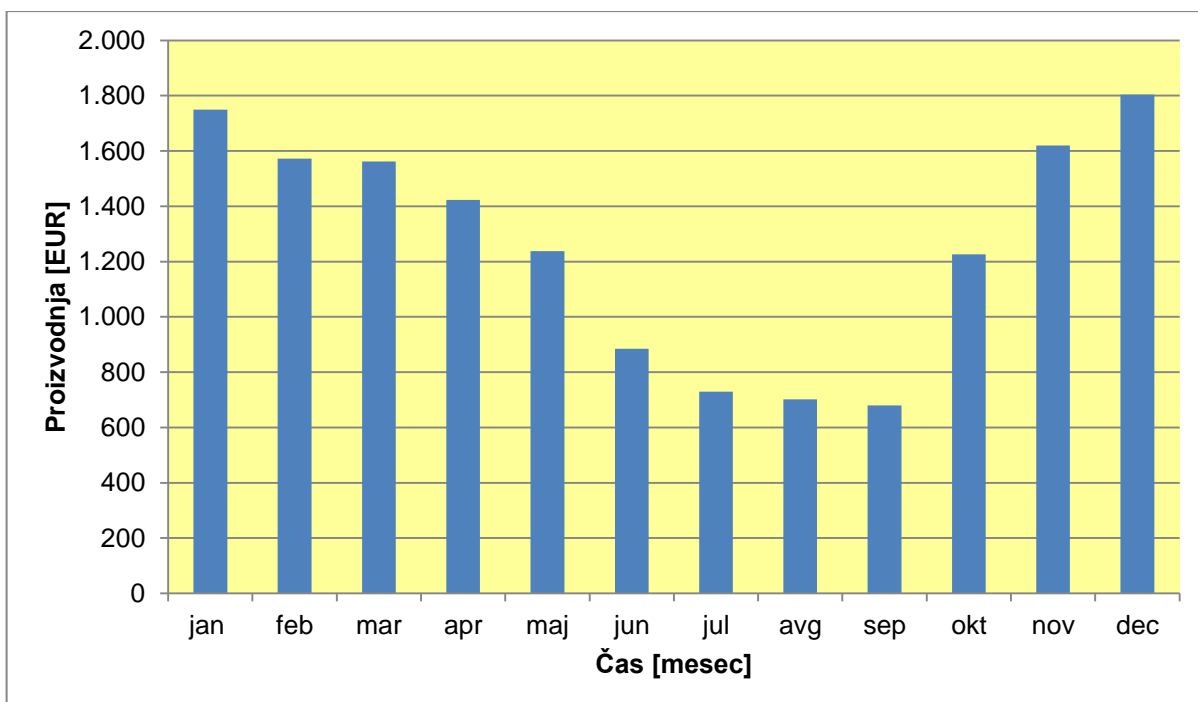
Ceno za 1 kWh smo vzeli 0,07 EUR. Povprečna letna cena proizvedene energije znaša 15.191,62 EUR. Ker je proizvedena energija v EUR odvisna le od proizvodnje energije v

kWh, grafa 21 in 22 pri izbranem režimu obratovanja s pretokom 255 l/s izgledata kot grafa 19 in 20, le da so vrednosti manjše. Najmanjša letna cena proizvodnje energije za obravnavanih 27 let znaša 3.377,89 EUR, največja pa 34.472,82 EUR.



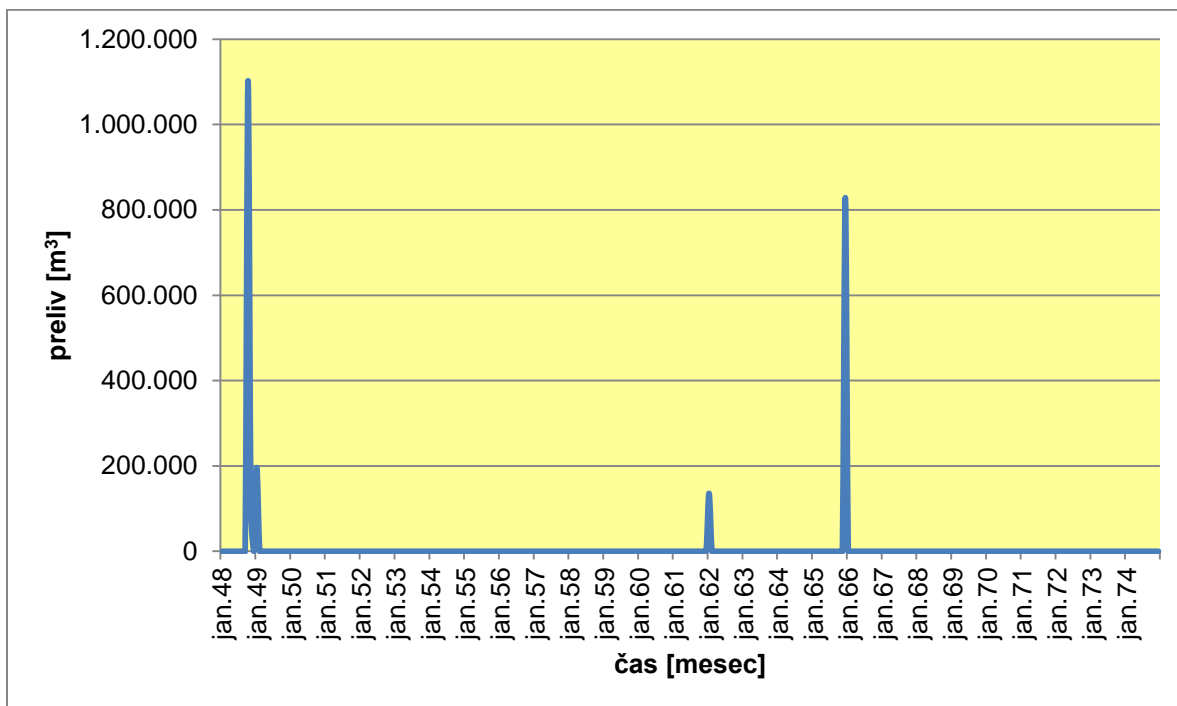
Graf 21: Letna proizvodnja v EUR za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 255 l/s

Graf 22 prikazuje razporeditev proizvodnje v EUR skozi leto. Pozimi imamo povprečno skoraj 2,5-krat več proizvodnje kot poleti.



Graf 22: Povprečna mesečna proizvodnja v EUR za režim obratovanja s pretokom 255 l/s

V nekaterih mesecih celo pride do viškov vode, vendar so te viški majhni in se v vseh 27 letih, upoštevajoč tudi prvo leto, pojavijo le v štirih mesecih. Prikazani so na grafu 23. Največji višek se pojavi v prvem letu in znaša $1.102.765,66 \text{ m}^3$. Toda tudi to vodo lahko porabimo, saj imamo še nekaj rezervnega volumna, ker je maksimalna kota na $100,5 \text{ m n.m.v.}$ Torej imamo kar $1,7 \text{ m}$ oziroma $1.250.000 \text{ m}^3$ rezervnega prostora. Ker imamo še toliko rezervnega volumna, smo se odločili, da v naslednjem koraku za polni volumen akumulacije vzamemo $8,5 \text{ mio m}^3$.



Graf 23: Prelivi/viški vode v m^3 po mesecih v obdobju 1948 – 1974 za režim obratovanja s pretokom 255 l/s

5 OPTIMIZIRANJE SISTEMA

Ker iz akumulacije Vogršček namakamo večinoma predele, ki so višje ležeči, je potrebno vodo prečrpavati na določeno višino. Vodo črpamo na mesto, kjer je potrebno namakanje, s pomočjo črpališča, ki je postavljeno v bližini akumulacije. Črpamo jo neposredno iz akumulacije. Zato je zelo pomembno, da ima voda že pred črpanjem čim višjo potencialno energijo. S tem seveda tudi prihranimo, saj je potrebno dovesti manj energije za prečravanje vode na določeno mesto. Da smo to dosegli, smo poskušali še bolj optimizirati sistem.

5.1 Opis uporabljenih predpostavk

Tudi v tem sklopu smo optimizirali energetske proizvodnje s pomočjo različnih scenarijev višine instaliranega pretoka hidroelektrarne. Namen je bil določiti pretok, pri katerem bo proizvodnja energije najbolj optimalna, vendar smo uporabili drugačne predpostavke kot v prejšnjem poglavju.

Prvi dve predpostavki sta isti kot v prejšnjem sklopu. V račun smo predpostavili, da prvo leto polnimo akumulacijo, dokler ne dosežemo normalne obratovalne kote 98,8 m n.m.v. in volumna 7.250.000 m³ ter, da je višina vode v akumulaciji ves čas nad minimalno koto odzema 80 m n.m.v. Naslednja dva pogoja se pa bistveno razlikujeta od pogojev, ki smo jih uporabili v prejšnjem poglavju. Postavili smo namreč pogoj, da mora biti nivo vode akumulacije do 31. marca tekočega leta na vsaj normalni obratovalni višini 98,8 m n.m.v. To pa zato, ker vodo za namakanje uporabljamo od marca do septembra. Za marec smo se odločili, ker se namakanje v večji meri začne aprila. Naslednji pogoj pa je bil, da smo upoštevali v izračunu tudi visokovodni volumen, to je rezervni volumen velikosti 1.250.000 m³, ki sega od normalne višine obratovanja 98,8 m n.m.v. do maksimalne višine obratovanja 100,5 m.n.m.v. Za maksimalno višino smo se pa odločili z namenom, da res porabimo vso razpoložljivo vodo, ki priteče v akumulacijo in ne spuščamo nič čez preliv, saj s tem izgubimo del energije, ki bi jo lahko izkoristili.

5.2 Primanjkljaji vode in prekinitve delovanja večje turbine

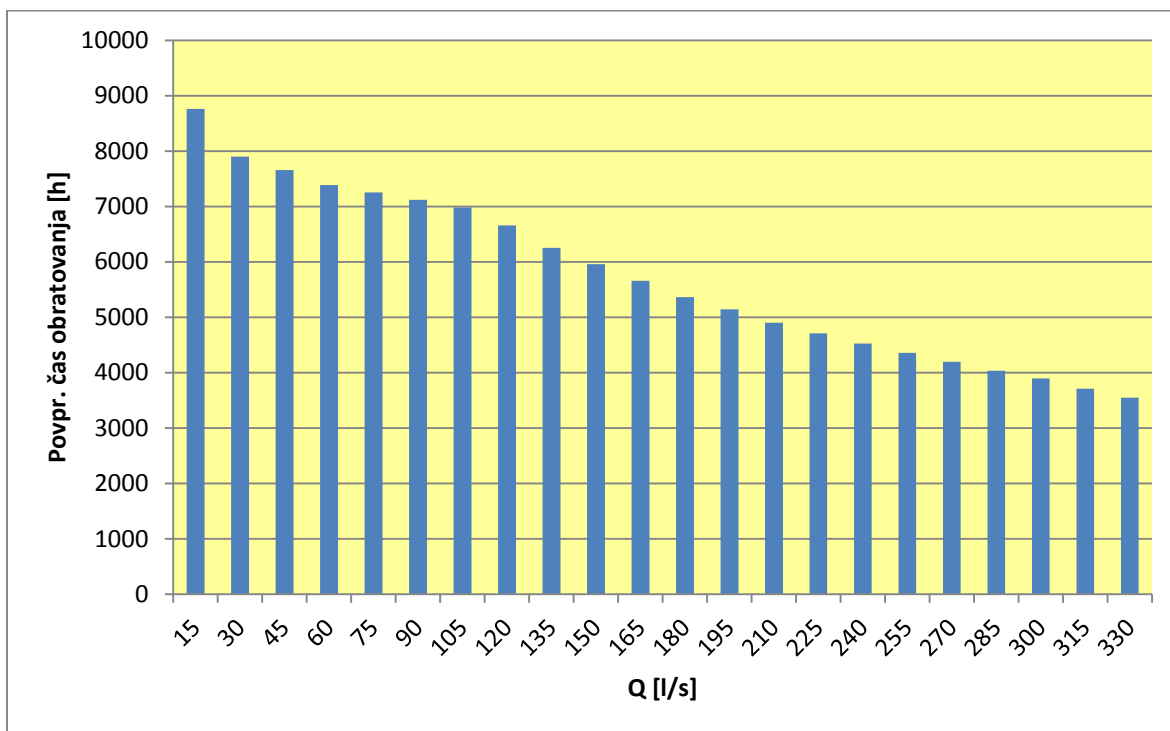
Tudi tokrat smo režim obratovanja določili tako, da smo instalirani pretok turbin povečevali s korakom +15 l/s. Vendar se je sedaj naš račun celo razširil, in sicer do instaliranega pretoka 330 l/s.

Če pazimo le na to, da je višina vode v akumulaciji ves čas nad minimalno obratovalno višino, opazimo, da je manj primanjkljajev kot v prejšnjem sklopu izračunov. Vendar je bilo potrebno poleg tega, da je višina vode v akumulaciji ves čas nad koto 80 m n.m.v., paziti tudi na to, da je višina vode konec marca vsaj na normalni koti obratovanja 98,8 m n.m.v. oziroma ima akumulacija volumen 7.250.000 m³. Zaradi te zahteve se je dolžina obdobja prekinitve delovanja večje turbine in pogostost prekinitvev povečala. Sicer je res, da je verjetno več prekinitvev in so večje, vendar vseeno proizvedemo več energije, saj so zaradi zagotovitve pogoja, da je višina vode v akumulaciji konec marca na normalni koti obratovanja, tudi povprečne višine vode v akumulaciji večje in posledično so tudi neto padci večji.

Prekinitve smo naredili na sledeči način. Prvo smo poskušali za vsako tekoče leto, kjer za tekoče leto vzamemo od aprila enega leta do marca naslednjega leta, zagotoviti, da je voda vedno nad 80 m n.m.v. Nato smo sproti zagotovili, da je vsako leto konec marca voda najmanj na višini 98,80 m n.m.v. Vendar smo pri temu delu pazili, da s prekinjanjem delovanja večje turbine, nismo v tekočem letu povzročili dodatnih prelivov oziroma viškov vode. Pazili smo tudi, če je v prejšnjem tekočem letu že bilo zagotovljeno, da je višina vode v akumulaciji najmanj 98,8 m n.m.v. konec marca, da nismo za naslednje leto, če je bilo bolj

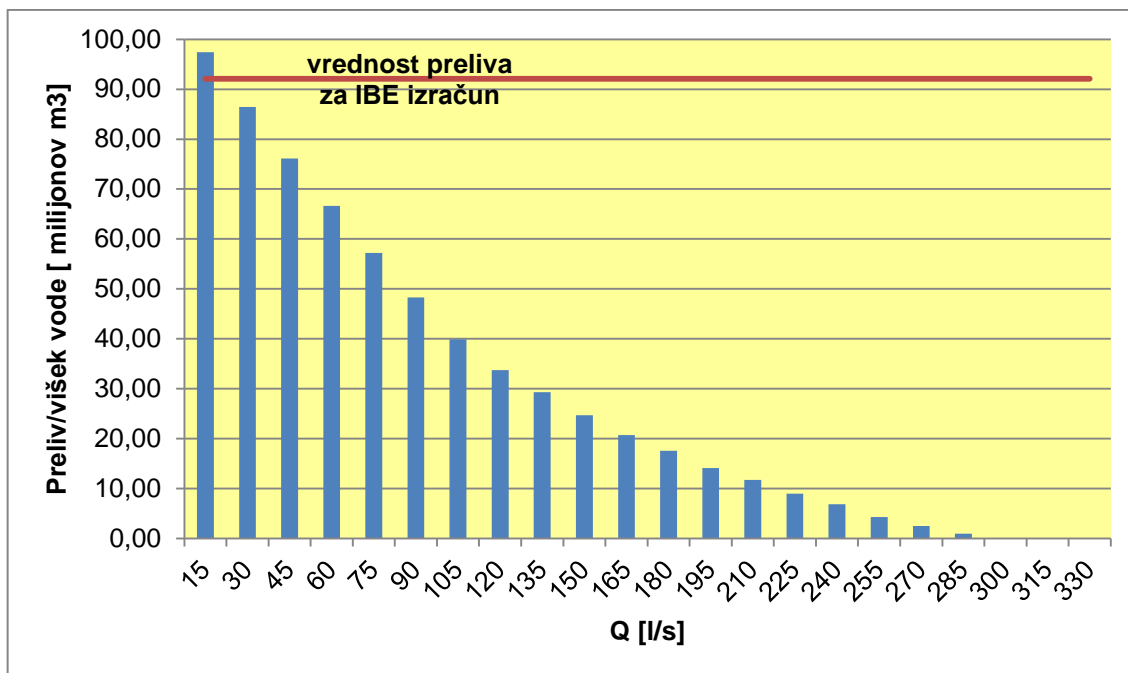
sušno, prekinili delovanja za več kot eno leto tudi, če v temu naslednjem letu voda konec marca ni segala nad 98,8 m n.m.v. V resnici povsod ni bilo mogoče zadovoljiti pogoju o polnosti akumulacije do 98,8 m n.m.v. konec marca za vsako leto, saj bi se s tem pojavili dodatni prelivi in bi izgubili del energije. Najnižja kota vode konec marca je prišla za režim obratovanja s pretokom 300 l/s in je velika 97,90 m n.m.v. Kar je še vedno zelo veliko vode in dokaj primerna višina za črpanje vode namenjene za namakanje.

Prve prekinitve so potrebne že za režim obratovanja s pretokom 30 l/s. To je režim, kjer delujeta obe turbini z instaliranim pretokom 15 l/s. Tukaj sicer nikjer ni bilo potrebno zagotoviti, da je višina vode nad minimalno koto obratovanja, vendar je bilo v nekaterih letih potrebno zagotoviti, da je konec marca višina vsaj pri normalni koti obratovanja. Najdaljše nedelovanje večje turbine je 22 mesecev in nastopi pri režimu obratovanja s pretokom 315 l/s in 330 l/s. Tudi v temu sklopu izračunov se velikost in dolžina prekinitev povečujeta z večanjem instaliranega pretoka. V naslednjem grafu si lahko ogledamo, kako povprečen letni čas, ko delujeta obe turbini, z naraščajočim pretokom upada. To se seveda zgodi, ker je potrebno vedno pogosteje prekiniti delovanje večje turbine.



Graf 24: Povprečno letno obratovanje obeh turbin v urah za različne režime obratovanja

Velikost preliva oziroma viška vode, ki je ne bi mogli izkoristiti niti za namakanje niti energetiko, se zmanjšuje, kar si lahko ogledamo v naslednjem diagramu. Graf 25 prikazuje vsoto viška vode za vseh obravnavanih 27 let za vsak režim obratovanja posebej. Vidimo, da se velikost prelivov postopoma zmanjšuje in je prvič pri režimu s pretokom 300 l/s enak nič. To pomeni, da takrat porabimo vse viške vode. Prav tako je nič pri vseh naslednjih. V istem grafu je z rdečo črto prikazan tudi višek vode, ki ga ne izkoristimo niti za namakanje niti za energetiko, za primer izbranega pretoka 22 l/s, za katerega se je odločil IBE [3]. IBE je izkoristil le dobih 5% vse razpoložljive vode in so takorekoč »vrgli stran« skoraj 95 % vode, ki bi jo lahko uporabili za energetske proizvodnje.



Graf 25: Velikost vsote prelivov za vseh obravnavanih 27 let (1948 - 1974) pri različnih režimih obratovanja

Priloga B - 1 tudi prikazuje prelive oziroma viške vode. Prikazuje letne viške vode za vse režime obratovanja. Seveda tudi iz tega grafa lahko potrdimo trditev, da se viški vode zmanjšujejo z večanjem instaliranega pretoka turbin.

5.3 Izračun energetske proizvodnje pri različnih režimih obratovanja

Naša naloga je bila seveda ugotoviti, s katerim režimom obratovanja lahko prizvedemo največ energije. Namen je določiti točko, kjer z ustrezno velikostjo turbine uspemo izkoristiti vso vodo. Postopek izračuna potenciala energije pri različnih instaliranih pretokih je bil enak kot v prejšnjem poglavju.

Edine podatke, ki jih še potrebujemo so kote gladine vode dolvodno v koritu za vse režime obratovanja, ki se spreminjajo s pretokom. Rezultati za vse pretoke Q so prikazani v naslednji preglednici 21.

Pr. 21: Višina vode v koritu potoka Vogršček dolvodno od podslapja za talni izpust pri določenem pretoku

Q (m ³ /s)	h(m)
0,015	0,027
0,030	0,040
0,045	0,050
0,060	0,059
0,075	0,067
0,090	0,074
0,105	0,081

se nadaljuje...

...nadaljevanje Pr. 21

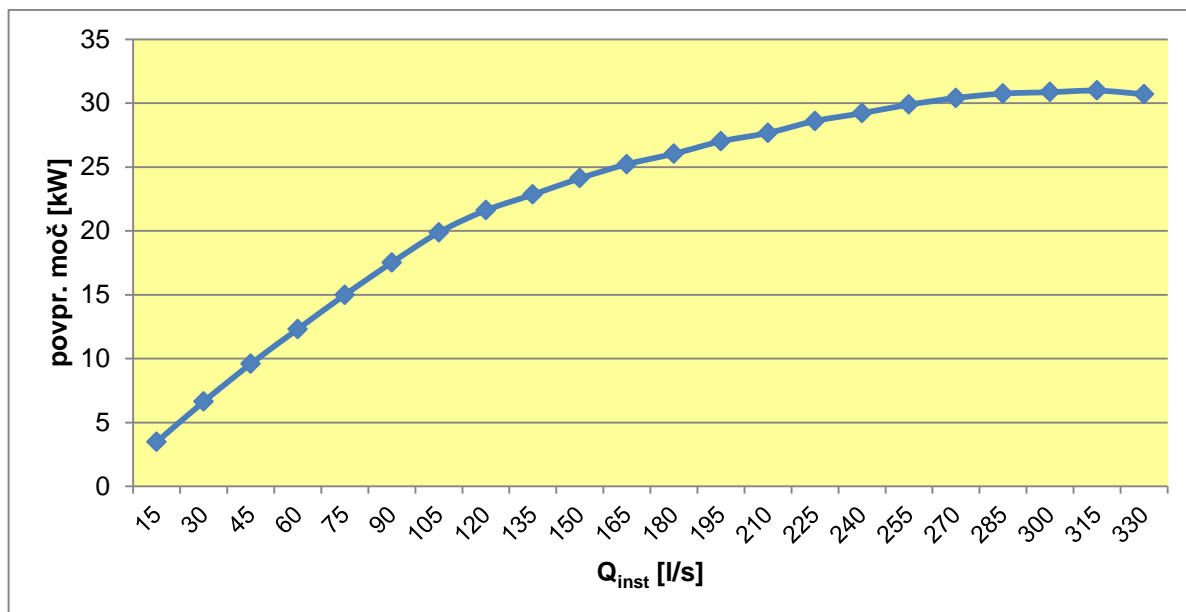
0,120	0,087
0,135	0,093
0,150	0,098
0,165	0,103
0,180	0,108
0,195	0,113
0,210	0,118
0,225	0,122
0,240	0,126
0,255	0,130
0,270	0,134
0,285	0,138
0,300	0,142
0,315	0,146
0,330	0,149

Tako imamo vse potrebno za izračun. Prvo smo izračunali moči za vsak mesec posebej in nato še mesečno proizvedeno energijo ter proizvedeno energijo v EUR. Za lažjo predstavbo smo izračunali še letne vrednosti.

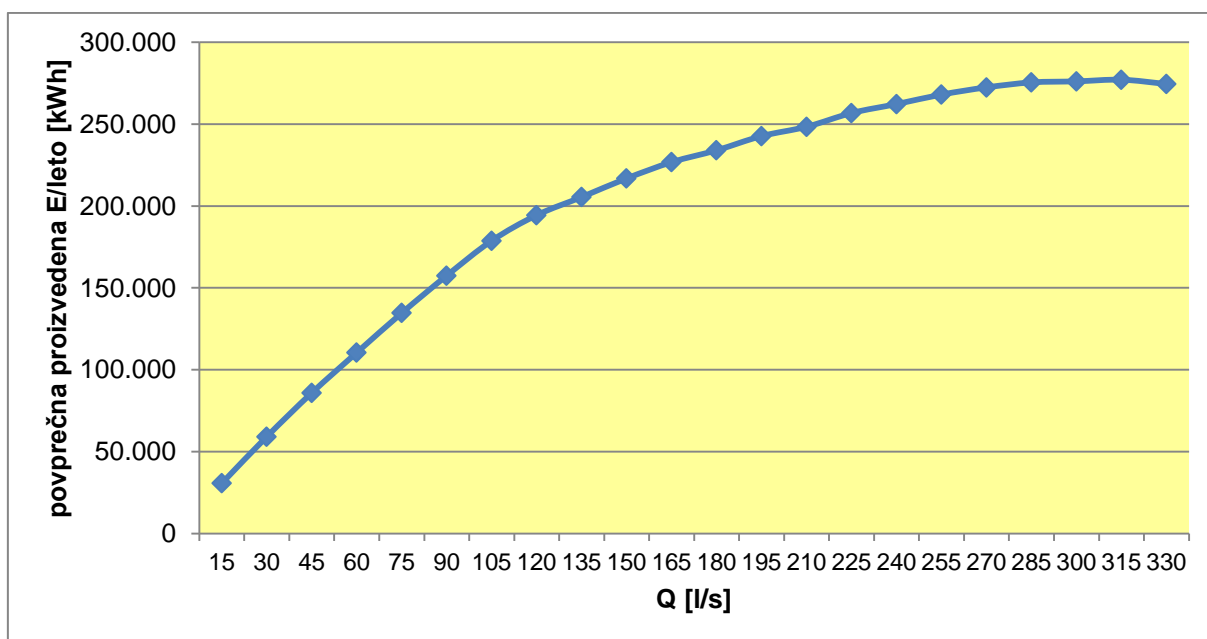
Iz mesečnih izračunov moči, smo za naših 27 obravnavanih let izračunali povprečno moč pri vsakem instaliranem pretoku Q_{inst} . Graf 26 prikazuje, kako moč narašča z naraščajočim instaliranim pretokom turbin. Pri prvem pretoku 15 l/s znaša povprečna proizvodnja energije le 30.456 kWh. Največja je pri režimu obratovanja s pretokom 315 l/s. Moč je pri tem režimu velika 30,983 kW. Povprečna letna proizvodnja pa znaša 271.304 kWh. Pri režimu obratovanja s pretokom 330 l/s pa je moč že manjša in v Grafu 27 lahko vidimo, da je tudi povprečna letna proizvodnja manjša. To dejstvo, da je imamo maksimum teh dveh grafov pri točki, kjer je režim obratovanja enak 315 l/s, nam je pomagalo pri odločitvi, kateri instalirani pretok bo tekel čez večjo turbino. Teklo bo 300 l/s, saj 15 l/s že porabimo za manjšo turbino, skozi katero teče biološki minimum.

Če primerjamo rezultat izračunane povprečne moči pri izbranem pretoku 315 l/s z rezultatom moči turbine, ki nam ga kasneje poda program TURBNPRO, lahko opazimo, da ta moč predstavlja le 42 % moči. Do takega rezultata pride, ker rezultati v grafu 26 ne prikazujejo dejanske moči turbine, ampak le povprečno moč izračunano iz vseh mesecev obdobja sedemindvajsetih let. Ta moč je izračunana iz razpoložljive mesečne bilance vode oziroma iz bruto padca, ki se zelo razlikuje iz meseca v mesec.

Vidimo tudi, da so razlike pri pretokih od 255 l/s do 330 l/s zelo majhne. To je razvidno v obeh grafih 26 in 27. Tako majhne razlike so zato, ker se delež razpoložljive vode zelo zmanjša (rdeča krivulja na grafu 28) in tudi povprečen nivo gladine vode že začne upadati (modra krivulja na grafu 29). S tem upada tudi bruto padeč.



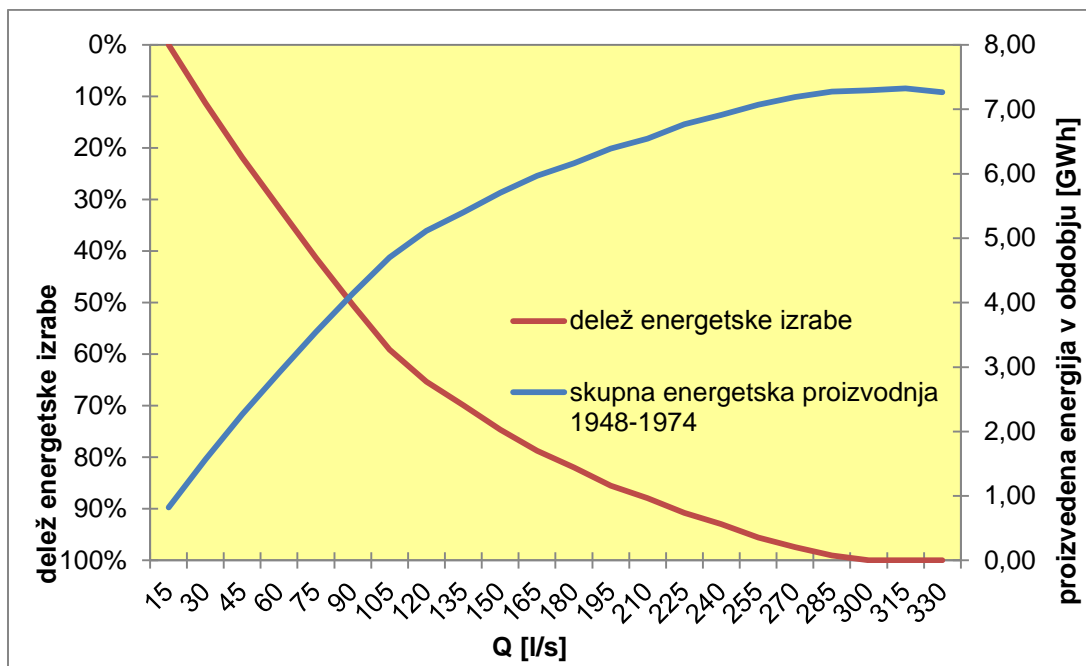
Graf 26: Povprečna moč turbine v kW za režime obratovanja z različnimi pretoki



Graf 27: Povprečna letna proizvodnja energije v kWh za različne režime obratovanja

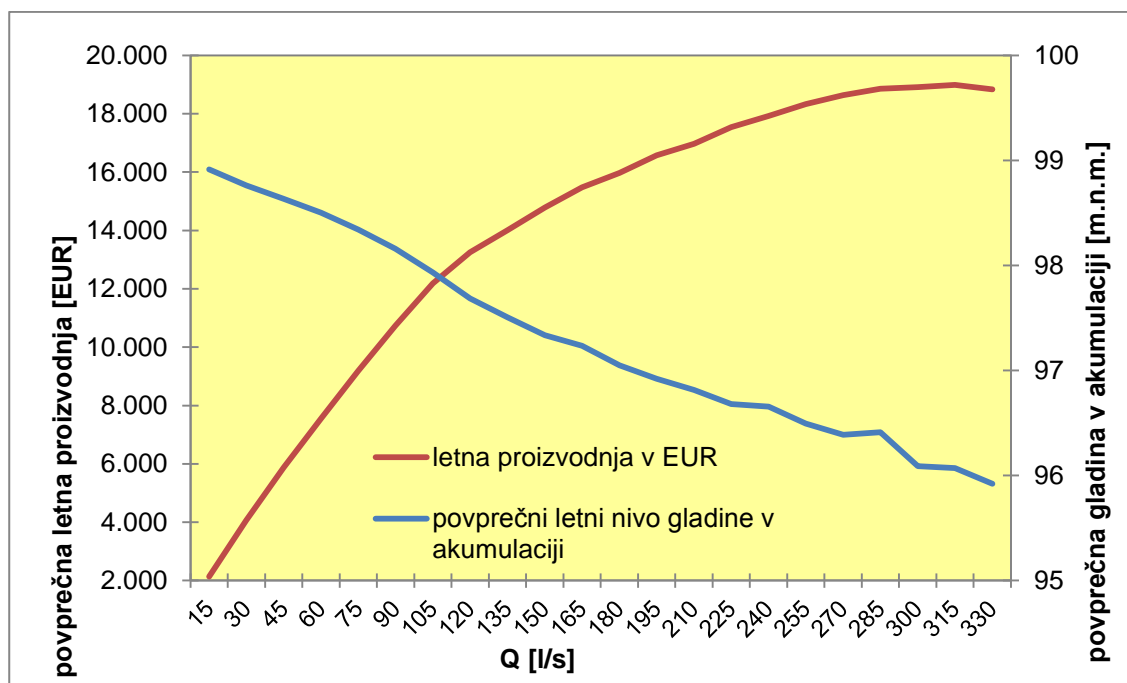
V prilogah B - 2 in B - 3 je lepo razvidno kako z naraščajočim instaliranim pretokom naraščata tudi letna proizvodnja energije v kWh in letna proizvodnja energije v EUR. Res pa je, da so tudi nihanja grafov višjih instaliranih pretokov večja.

Sedaj, ko smo še bolj optimizirali sistem izrabe vodne energije, lahko v grafu 28 opazimo, da v našem izbranem režimu obratovanja s pretokom 315 l/s, res porabimo vso razpoložljivo vodo za energetske proizvodnje. Delež neizrabljene razpoložljive vode namreč znaša 0 % in je na grafu 28 označen z rdečo barvo. Za obdobje 27 let dosežemo maksimalno skupno proizvodnjo 7,33 GWh.



Graf 28: Sovisnost deleža izrabe razpoložljive vode in skupne proizvodnje energije v GWh v obdobju 27 ih let (1948 - 1974) v odvisnosti od pretoka

Graf 29 pa se razlikuje od Grafa 17 iz podpoglavja 4.2.3 Izračun energetske proizvodnje za različne režime obratovanja, kjer upoštevamo za polni volumen akumulacije 7,25 mio m³. Še vedno prikazuje sovisnost povprečne letne proizvodnje v EUR za obdobje 27 let in upada obratovalnih gladin v akumulaciji v odvisnosti od pretoka. Vendar že na prvi pogled lahko opazimo, da je razlika povprečnih obratovalnih gladin med stanjem brez energetske izrabe in stanjem z energetsko izrabo veliko manjša, in sicer sedaj znaša približno 3 m. Torej se je razlika zmanjšala za 4 m v primerjavi z izračunom v prejšni varianti. Povprečna letna proizvodnja v EUR v izbranem režimu obratovanja s pretokom 315 l/s znaša 18.991 EUR.



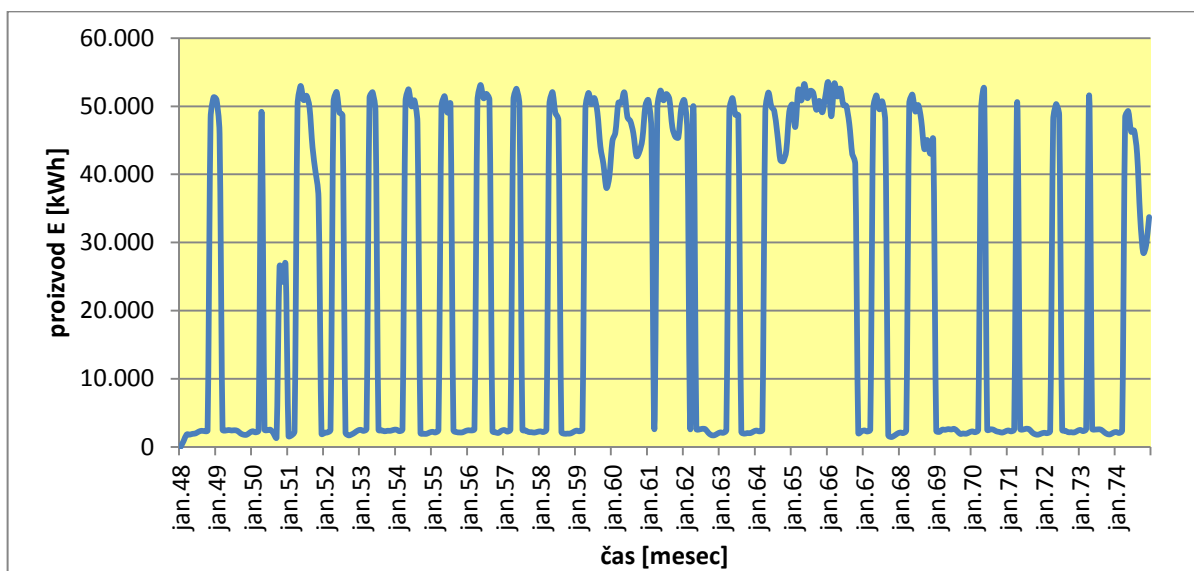
Graf 29: Sovisnost povprečne letne proizvodnje v EUR v obdobju 27ih let (1948 - 1974) in upada obratovalnih gladin v akumulaciji v odvisnosti od pretoka

5.4 Rezultati izbranega režima obratovanja s pretokom 315 l/s

Pri postavljenih predpostavkah smo ugotovili, da je najboljša izbira režim obratovanja s pretokom 315 l/s. Od tega spuščamo biološki minimum 15 l/s čez malo turbino in 300 l/s čez veliko turbino, s katero pridobimo večji del energije. Pri izbranem režimu obratovanja s pretokom 315 l/s pa znaša povprečna letna proizvodnja energije 271.303,56 kWh. Povprečna izračunana moč pa je 30,983 kW.

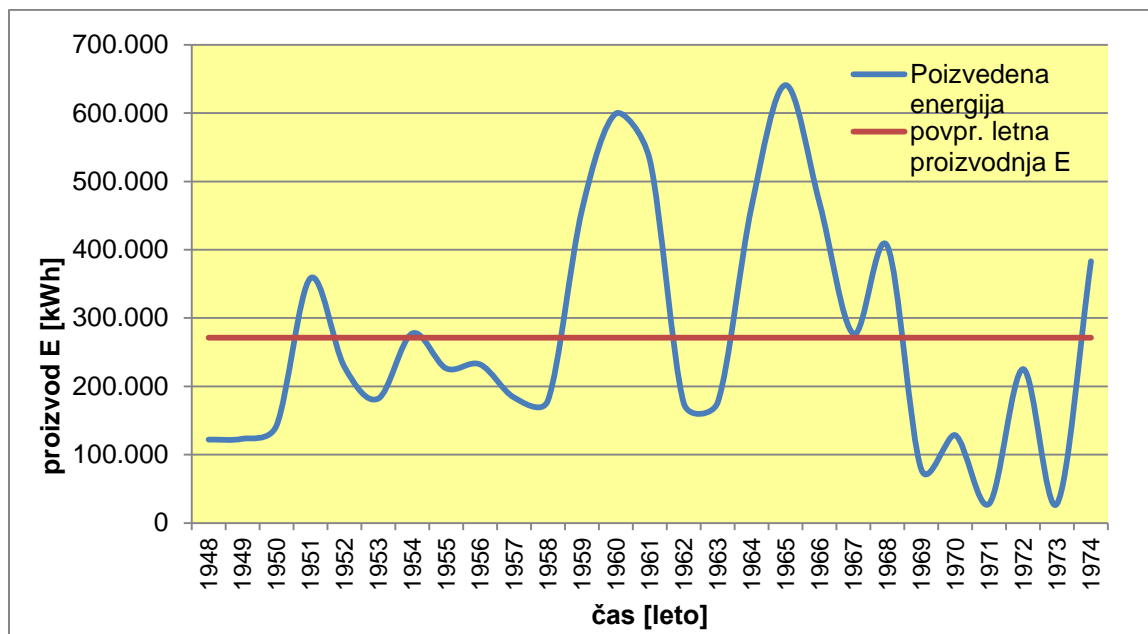
Niti v enem mesecu v vseh obravnavanih 27ih letih se ne pojavi preliv. To pomeni, da smo res izkoristili vso vodo, ki priteče. Del se jo porabi za namakanje, nekaj se je tudi izgubi pri izhlapevanju akumulacije, vendar na to ne moremo vplivati. Kot ekološko sprejemljiv pretok spuščamo del vode (15 l/s) skozi manjšo turbino. Največji del pa se porabi za energetiko oziroma za večjo turbino.

Potencial energije oziroma proizvedeno energijo smo računali po mesecih. To tudi prikazuje spodnji graf. V obdobjih, kjer spuščamo čez turbino le biološki minimum, je količina proizvedene energije veliko manjša kot, če spuščamo celoten pretok 315 l/s. Izraziti daljši deli velike proizvodnje energije so v obdobju v letih 1959 in 1960 ter 1964, 1965 in 1966, saj takrat obe turbini delujeta večji del oziroma celo leto.



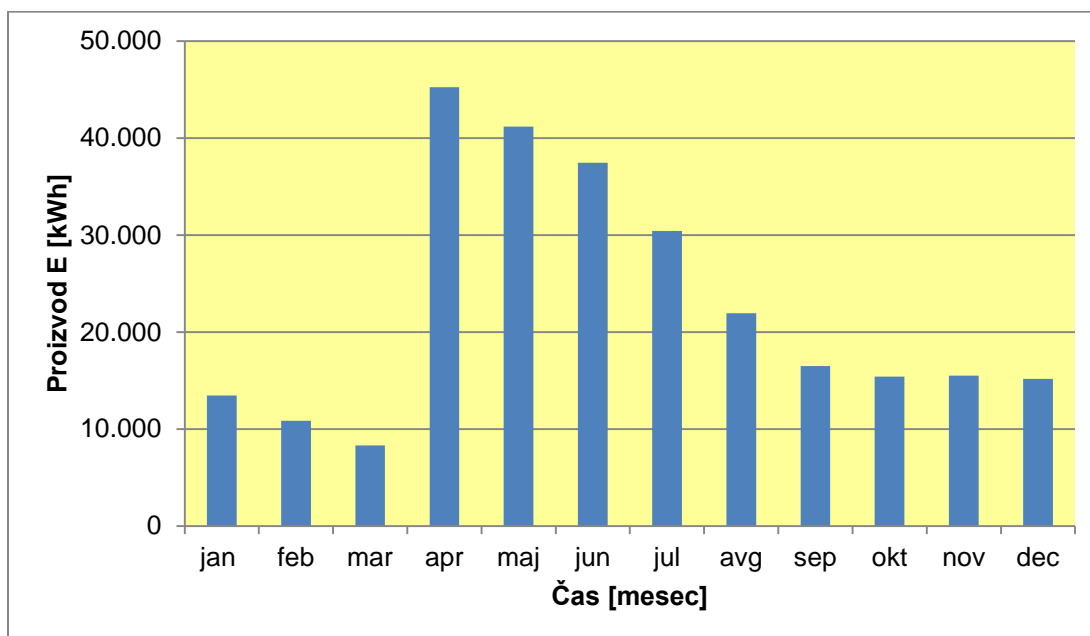
Graf 30: Proizvod energije za vse mesece obdobja 27ih let (1948 - 1974) za režim obratovanja s pretokom 315 l/s

Proizvodnja energije je odvisna od višine vode v akumulaciji oziroma dotoka vode ter količine vode potrebne za namakanje in predvsem od instaliranega pretoka. Na grafu 31 vidimo, da zelo niha iz leta v leto (označena z modro barvo). Najnižja letna proizvedena energija je 28.167 kWh in nastopi v letu 1971. V celotnem letu spuščamo skozi turbino le biološki minimum, zato je tak rezultat popolnoma pričakovan. Nizka letna proizvodnja, manj kot 80.000 kWh, je tudi v letih 1969 in 1973. Kar lahko vidimo tudi na grafu 31. Namreč vsi minimumi so v teh letih. Največja letna proizvodnja pa je 641.113 kWh v letu 1965. Tudi ta rezultat je pričakovan, saj to leto ves čas spuščamo skozi obe turbini celotni pretok. Na grafu so opazni trije viški proizvodnje energije, in sicer prvi je med leti 1959 in 1961, drugi med 1964 in 1966 ter tretji malo manjši okoli leta 1968. Z rdečo barvo je označena povprečna letna proizvodnja energije izračunana kot povprečje obravnavanih 27 let in znaša 271.304 kWh.



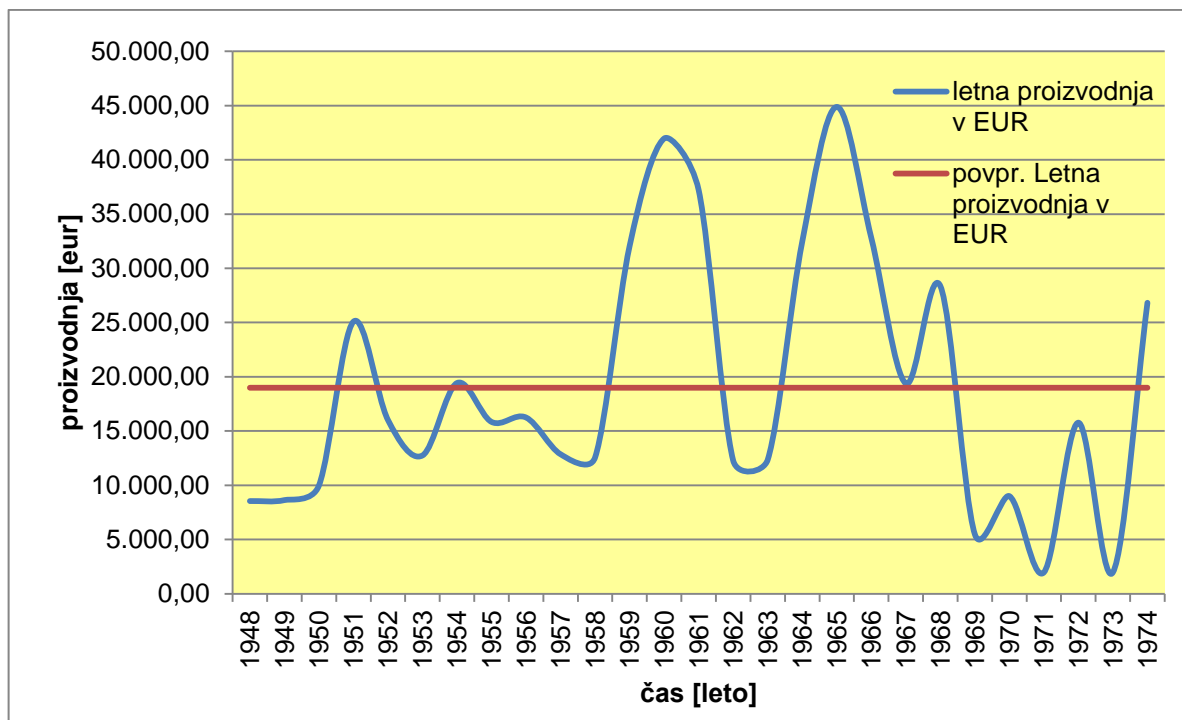
Graf 31: Letna proizvedena energija v kWh za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 315 l/s. Prikazana je tudi povprečna letna proizvodnja energije izračunana iz vseh 27ih obravnavanih let.

Graf 32 pa prikazuje še razporejenost proizvodnje energije skozi leto oziroma povprečne vrednosti za vsak mesec posebej. Ker smo za vsako tekoče leto poskrbeli, da je višina vode v akumulaciji skoraj vedno na koti 98,8 m n.m.v. oziroma višje, je največja povprečna proizvodnja v mesecu aprilu. To je pričakovano, saj je takrat višina vode v akumulaciji najvišja. Posledično pa je tudi neto padec najvišji.



Graf 32: Povprečna mesečna proizvedena energija v kWh za režim obratovanja 315 l/s

Povprečna letna proizvodnja energije v EUR znaša 18.991 EUR. Najmanjša letna proizvodnja v EUR za obravnavanih 27 let znaša 1.972 EUR, največja pa 44.878 EUR.



Graf 33: Letna proizvodnja energije v EUR za obdobje 1948 - 1974 za režim obratovanja s pretokom 315 l/s. Prikazana je tudi povprečna letna proizvodnja v EUR izračunana iz vseh 27ih obravnavanih let

Ker se pri našem izbranem režimu obratovanja velikokrat pojavijo primanjkljaji vode in so zato včasih potrebne dolge prekinitve, bi lahko to poskušali urediti tudi na nekoliko drugačen način. Lahko bi na primer regulirali delovanje večje turbine tako, da bi ta delovala le nekaj ur dnevno, predvsem v dnevnih konicah ali pa bi v obdobju primanjkljajev spuščali manjši pretok. Ker je elektrika v dnevnih konicah dražja kot je ponoči, bi lahko to elektriko takrat dražje prodajali in bi s tem imeli več dobička. Tudi več energije bi imeli na razpolago za dnevne konice, če preostanek dneva ne bi proizvajali elektrike.

5.5 Primerjava izbranega režima obratovanja optimiziranega sistema in sistema, kjer ni sezonskih omejitev in je akumulacija polna pri 98,8 m n.m.v.

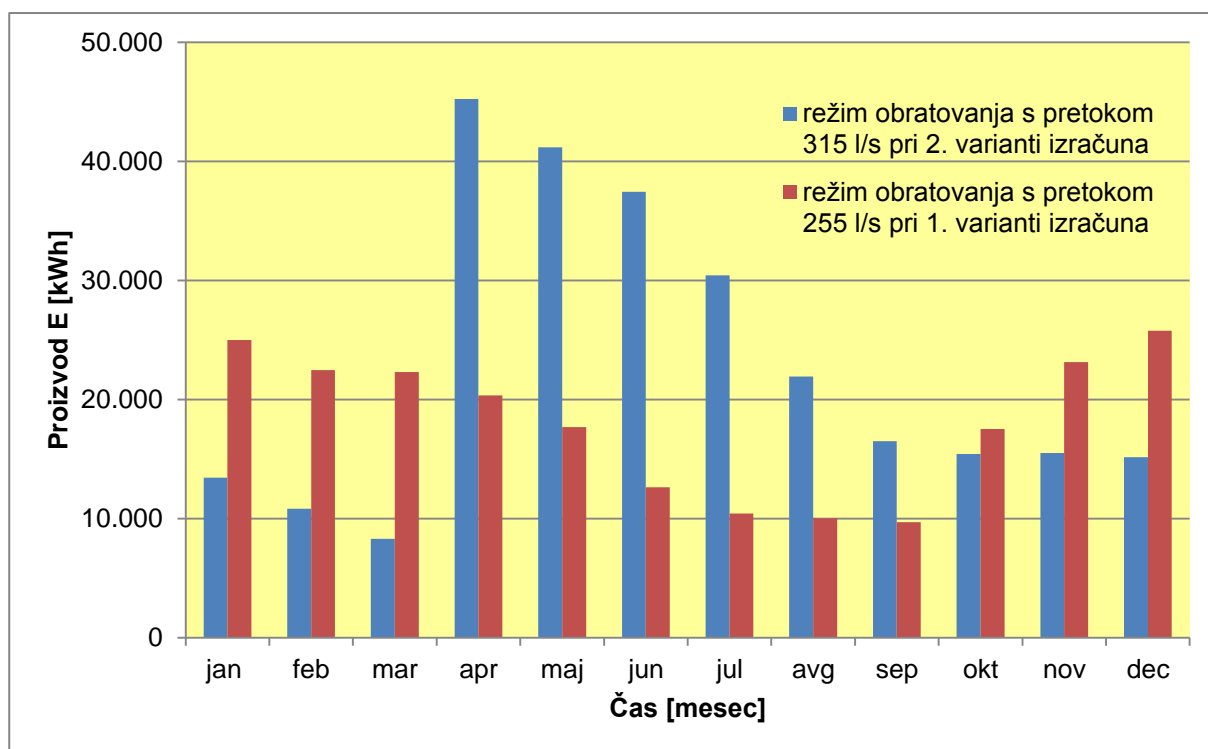
Kot omenjeno smo izvedli naš celoten izračun vodne bilance in energetske proizvodnje za dva različna sklopa, ki se razlikujeta v predpostavkah, ki smo jih upoštevali. Prvi korak je varianta, kjer upoštevamo kot maksimalni volumen 7.250.000 m³ in nimamo nobenih sezonskih omejitev ter moramo poskrbeti le za to, da je voda v akumulaciji ves čas nad minimalno obratovalno koto. Drugi korak pa je optimiziranje sistema, kjer upoštevamo visokovodni volumen, torej je maksimalni volumen enak 8.500.000 m³, ter pogoj o polni akumulaciji konec marca.

Pri prvi varianti ugotovimo, da imamo največjo proizvodnjo pri režimu obratovanja s pretokom 255 l/s. Za povprečno letno proizvodnjo dobimo 221.553 kWh in 15.192 EUR. V izračunu smo upoštevali 70 EUR/MWh. Za drugo optimizirano varianto pa smo prišli do rezultata, da je največja dosežena proizvodnja pri režimu obratovanja s pretokom 315 l/s. Povprečna proizvodnja na leto je 271.304 kWh in 18.991 EUR. Kar je očitno več kot v prvi varianti. Torej smo sistem res izboljšali in še dodatno povečali proizvodnjo. Do takih razlik pride, ker je v drugi varianti povprečna višina vode višja kot v prvi. Do tega pride predvsem zaradi pogoja o polni akumulaciji konec marca, saj s prekinitvami delovanja še dodatno dvignemo povprečno višino vode v akumulaciji. Za prvo znaša 90,81 m n.m.v. in drugo 96,07 m n.m.v. Razlika je torej dobrih 5 m.

Pri obeh variantah smo se odločili za dve turbini, saj ena deluje ves čas, to je manjša, skozi katero spuščamo ekološko sprejemljiv pretok 15 l/s. Druga turbina je večja in njeno delovanje reguliramo. Pri prvi varianti je njen instaliran pretok enak 240 l/s, pri drugi pa je za 60 l/s oziroma 25 % večji, torej 300 l/s.

Da smo še bolj izboljšali sistem, je opazno tudi v temu, da pri drugi varianti pri izbranem režimu obratovanja s pretokom 315 l/s nimamo niti enkrat preliva. Torej porabimo vso vodo, ki nam je na voljo. V prvi varianti znaša povprečen višek vode malo, in sicer 87.149 m³, pojavi pa se le v štirih mesecih v vseh sedemindvajsetih letih.

Zelo velika razlika med tema dvema variantama pa je v razporejenosti proizvedene energije skozi leto, kar prikazuje naslednji graf 34. Medtem ko je pri prvi varianti večina proizvedene energije v zimskih mesecih, je pri drugi varianti v spomladansko-poletnem obdobju (od aprila do julija). Razlika je tudi v tem, da je pri drugi varianti največja povprečna mesečna proizvodnja večja od tiste pri prvi varianti za skoraj dvakrat. To je še en dokaz, da je boljša odločitev delovanje akumulacije po predpostavkah druge variante. Torej, da uporabimo še visokovodni volumen in poskrbimo za polnost akumulacije vsaj do normalne obratovalne višine konec marca tekočega leta.



Graf 34: Primerjava povprečnih mesečnih proizvedenih energij za različni varianti izračuna, in sicer za 1. varianto izračuna z režimom obratovanja s pretokom 255 l/s in za 2. varianto izračuna z režimom obratovanja s pretokom 315 l/s

6 MALA HIDROELEKTRARNA

6.1 Splošen opis mHE

Male hidroelektrarne se delijo na male in mikro hidroelektrarne. Mikro hidroelektrarne imajo do 100 kW nazivne instalirane električne moči, male hidroelektrarne pa od 100 kW do 10 MW. Mala hidroelektrarna je elektrarna, ki za proizvodnjo električne energije izkorišča mehansko moč vode in ima majhno nazivno moč. HE (hidroelektrarne) s pomočjo vodnih pogonskih strojev oziroma turbin pretvarjajo kinetično in potencialno energijo v mehansko energijo. Vodne turbine pa nato pogonjajo generatorje, ki mehansko energijo spremenijo v električno.

Glede na način kako dovajamo vodo k turbini, delimo male hidroelektrarne na HE z odprtim dovodom, HE z zaprtim dovodom in HE z delno odprtim dovodom. Naša mHE bi imela zaprt dovod oziroma cevovod in bi bila visokotlačna.

Male hidroelektrarne postavljamo na manjših rekah oziroma potokih, ki imajo dovolj vode za obratovanje. Za delovanje mHE je potrebno zagotoviti zadosten hidravlični padec na turbino. Hidravlični padec zagotovimo tako, da zgradimo pregrado, s katero dvignemo gladino zgornje vode in s tem povečamo potencialno energijo. Vodo v akumulaciji, ki nastane za pregrado zajamemo in speljemo v tlačni cevovod, ki nato zajeto vodo pripelje do turbine. Vrsto turbine izberemo glede na velikost in stalnost pretoka vode, ki je imamo na voljo ter energetska višinsko razliko.

Male hidroelektrarne so še posebej primerne za podeželske in izolirane kraje, saj so ekonomska alternativa električnemu omrežju. Na okolje nimajo nobenega večjega vpliva. V veliko primerih na okolje vplivajo pozitivno, ker zmanjšujejo uporabo fosilnih goriv. V našem primeru tudi omogočajo turizem, ki žal na akumulaciji Vogršček še ni izkoriščen. Zmanjšujejo tudi nevarnost poplavljanja rek.

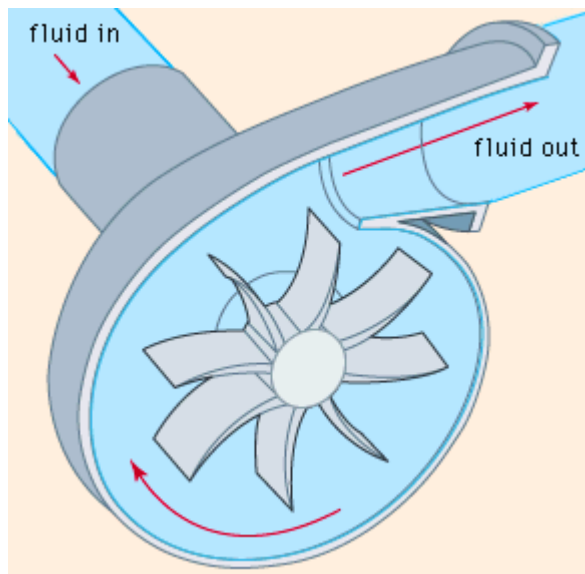
6.2 Turbine

6.2.1 Izbira turbine

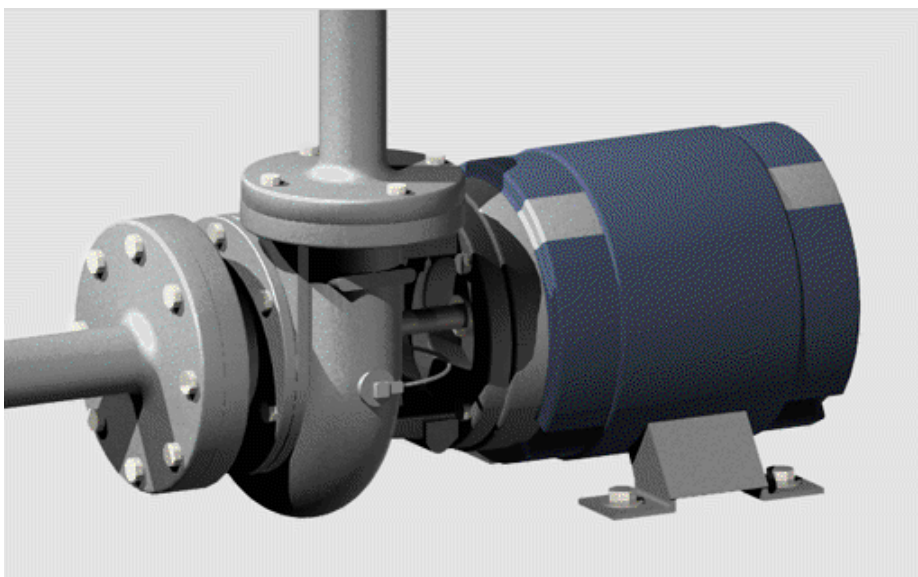
Glavna sestavna dela opreme v strojnici v mali hidroelektrarni sta vodna turbina in generator, ki jih skupaj lahko imenujemo kar hidroagregat ali krajše agregat. Turbina spreminja moč vode v mehansko moč. Z njo vrti generator, ta pa na sponkah proizvaja električno moč. Male hidroelektrarne so ponavadi opremljene le z eno turbino in enim pripadajočim generatorjem.

Vendar smo se po posvetu z gospodom dr. Djelićem in gospodom Kruščom, ki sta zaposlena na Turboinštitutu, odločili za dva agregata, torej dve turbini in dva generatorja. Taka odločitev je bila sprejeta, ker moramo skozi manjšo turbino ves čas spuščati biološki minimum 15 l/s, pretok skozi drugo, večjo turbino, pa se spreminja glede na dovoljeno porabo vode iz akumulacije. Torej bi manjša turbina, katere instaliran pretok bi bil 15 l/s, delovala ves čas. Priporočali so nam uporabo črpalke z elektromotorjem, ki jo uporabimo v nasprotno smer in tako ta postane turbina, saj voda teče v nasprotno (turbinsko) smer in poganja elektromotor, ki pa tako lahko postane generator. Na sliki 8 je prikazano delovanje črpalke, ki bi jo lahko uporabili kot turbino, le da bi voda tekla v nasprotni smeri. To možnost so nam priporočali, saj se s tem zelo zmanjšajo stroški in je za tako majhne pretoke to izvedljivo. Torej namesto majhne turbine se odločimo za črpalko z elektromotorjem, ki ima pretok 15 l/s. Večja turbina, katere bi na podlagi izračunov bil izbrani instaliran pretok 300 l/s, ne bi delovala ves čas. Regulirali bi jo na podlagi predpostavk, ki smo jih postavili, in sicer, da mora biti višina vode v akumulaciji ves čas nad 80 m n.m.v., da je višina vode v akumulaciji konec marca na normalni obratovalni višini 98,8 m n.m.v. in da kot polno

akumulacijo obravnavamo volumen, kjer je vključen notri tudi visokovodni volumen, torej $8.500.000 \text{ m}^3$.



Sl. 8: Prikaz delovanja črpalke oziroma poti vode skozi črpalko. Za našo malo turbino, kjer bi vzeli črpalko z elektromotorjem, bi pa voda potekala ravno obratno, kot v črpaki na sliki. [7]



Sl. 9: Izgled črpalke z elektromotorjem, [8]

Za mHE imamo več možnosti vodnih turbin. Uporaba vsake vrste je primerna na določenem področju padcev in pretokov. Višjim padec in manjšim pretokom ustrezajo Peltonove turbine. Za srednje pretoke na srednjih padcih se uporabljajo Francisove turbine. Za večje pretoke in nizke padce pa so uporabne propellerske turbine. Pri mHE pridejo v upoštevanje še Bankijeve turbine, za katere je značilno široko območje uporabe in lahko nadomestijo Peltonove in Francisove turbine. Ne poznajo jih pa pri velikih hidroelektrarnah. Gospod dr. Djelić in gospod Krušec sta nam priporočala turbino tipa Francis, saj imamo srednji pretok, ki je velik 300 l/s in tudi padci so srednje velikosti, in sicer je srednji neto padec velik približno 27 m .

Pri mHE obstajajo tri različne vrste izvedbe Francisovih turbin, in sicer za vgraditev v jašek z navpično gredjo, za vgraditev v jašek z vodoravno gredjo in spiralne z vodoravno gredjo. Ker

vodo dovajamo do gonilnika turbine po cevovodu in turbina stoji na suhem v strojnici ter je dostopna z vseh strani, smo se odločili za spiralno turbino z vodoravno gredjo. Cevovod, po katerem dovajamo vodo do turbine, je priključen na predturbinsko zapiralo. Le-ta pa tesno obdaja vodilnik.

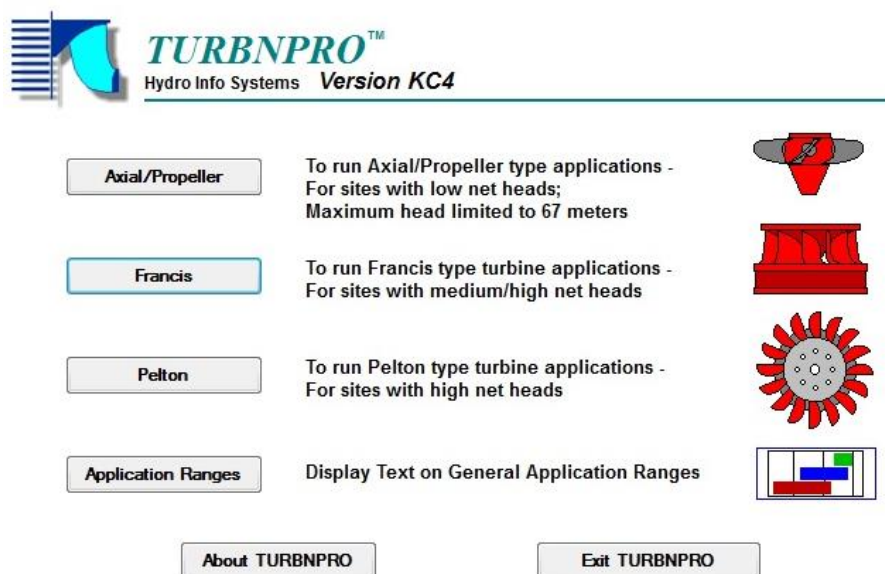


Sl. 10: Primer Francisove turbine oziroma spirala turbine in generatorja (obravan rdeče), [9]

6.2.2 Uporaba in rezultati programa TURBNPRO

Na Turboinštitutu so nam na kratko predstavili program, ki ga vsakodnevno uporabljajo. To je program TURBNPRO. Program se uporablja za določanje velikosti vodnih turbin in tehničnih podatkov.

Ko začnemo program uporabljati, je potrebno prvo izbrati vodno turbino, za katero želimo, da nam program izračuna rezultate. Izberemo torej francisovo turbino.



www.turbnpro.com

Sl. 11: Začetna stran programa TURBNPRO, kjer smo izbrali francisovo vodno turbino

Naslednji korak je vnašanje naših podatkov in hidravličnih karakteristik, ki so prikazani na slikah 12 in 13. Potrebno je vnesti več podatkov:

- Instalirani pretok turbine je za našo večjo turbino enak 300 l/s oziroma 0,300 m³/s.
- Srednji neto padec, ki ga s statističnim izračunom izračunamo kot najbolj pogost, je 27 m.
- Največji bruto padec je velik 31,77 m. Noben neto padec ni večji od te vrednosti.
- Os turbine oziroma gonilnika bo na višini 71,47 m n.m.v.
- Temperatura voda, ki smo jo vnesli, je 20 °C.
- Višina oziroma višinska razdalja med osjo turbine in gladine vode, kamor vode odteče po sesalni cevi ne sme biti prevelika, da ne bi prišlo do kavitacije, zato smo se odločili za 2 m.
- Izkoristek pri maksimalni moči se za začetek praviloma da vedno 0. Izbrati je dovoljeno vrednost, ki je med 0 in 10. Vrednost 10 pride v poštev, če bi imeli zelo veliko enakih turbin in bi pretok lahko določali s številom turbin ki obratujejo.
- Električno frekvenco lahko izbiramo med 50 Hz ali pa 60 Hz. Ker pa smo v Evropi in ne v Aziji ali obeh Amerikah, se odločimo za 50 Hz.
- Najmanjši neto padec znaša 10,23 m.
- Največji neto padec znaša 28,60 m.

Project Name	Vogršček2	
Rated Discharge in m ³ /s	0.3	Limits
Net Head at Rated Discharge (in meters)	27.00	Limits
Site Gross Head (in meters)	31.77	Limits
Site Elevation (in meters)	71.47	Limits
Water Temperature (in degrees C)	20	Limits
Desired Unit Setting to Tailwater (in meters)	2	Limits
Efficiency Priority at Maximum Output (0 to 10)	0	Limits
Electrical System Frequency (50 or 60)	50	Limits
Minimum Net Head (in meters)	10.23	Limits
Maximum Net Head (in meters)	28.60	Limits

Sl. 12: Vnos naših podatkov v program TURBNPRO

Project	
Vogršček2	
Characteristic	Entered
Rated Discharge (in m ³ /s)	0.3
Net Head (in meters)	27.00
Gross Head (in meters)	31.77
Site Elevation (in meters)	71.47
Water Temp (in °C)	20
Unit Setting to TW (in meters)	2.00
Efficiency Priority (0 to 10)	0
System Freq (50 or 60 Hz)	50
Minimum Net Head (in meters)	10.23
Maximum Net Head (in meters)	28.60

Sl. 13: Lepši prikaz vnešenih podatkov v programu TURBNPRO

Že takoj po vnosu teh podatkov nam program ponudi nekaj možnosti, ki so prikazane na naslednji sliki 14. Podal nam je 5 različnih rešitev. Odločili smo se za 2. rešitev, kjer je premer gonilnika enak 286 mm in je hitrost vrtenja 1.000 rpm. Rpm je enota za število rotacij v minuti. TURBNPRO nam v tem koraku poda tudi moč takih turbin, in sicer je moč naše izbrane turbine enaka 71 kW.

Solution	Runner Diameter	Runner Diameter	Unit Speed	Specific Speed	Centerline Setting
Number	Millimeters	Inches	rpm	NS	Meters
1	244	9.6	1.500.0	205	5.75
2	286	11.3	1.000.0	137	7.78
3	317	12.5	750.0	102	8.53
4	341	13.4	600.0	82	8.78
5	359	14.1	500.0	68	8.95
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

Preliminary Output: KW

Sl. 14: Prikaz možnosti, ki nam jih poda program po vnosu začetnih podatkov. Odločili smo se za 2. možnost.

Sledi določanje lastnosti izbrane turbine. Prikazane so v naslednji sliki 15. Izberemo francisovo spiralno turbino s horizontalno osjo oziroma gredjo, ki ima dovod vode pod osjo. Sesalna cev, ki odvaja vodo v bazen, ki je postavljen pod strojnico in od tam odteka voda naprej v vodotok dolvodno, je priključena na gonilnik preko kolena, ki je pod kotom 90°.

Potrebno je tudi izbrati na kakšen način je povezana turbina z generatorjem. V vodoravni usmeritvi je pri špiralnih turbinah z dovolj veliko vrtilno hitrostjo možno generator neposredno povezati s turbino. Druga izbira je, da je gred dvakrat uležajena, in sicer z ležajem na sami turbini in zunanjem ležaju. Prvi je sestavljen za prestrezanje teže vrtečih se delov in osnega pritiska, drugi pa nosi samo težo vrtečih delov. Odločimo se za neposredno povezavo med turbino in generatorjem.

Sl. 15: Izbira lastnosti izbrane francisove turbine

Ko vnesemo še zadnje lastnosti turbine, nam program poda vse rezultate, ki so prikazani na naslednjih slikah.

Na sliki 16 so prikazani izkoristki in moči turbine za določen pretok skozi turbino. Pri našem izbranem pretoku 300 l/s je moč turbine enaka 71 kW in izkoristek 89,6 %.

Performance at Rated Net Head of: m and rpm

m ³ /s	% Eff	KW	% Rated	
0.30	89.6	71	100.1	**
0.30	89.6	71	100.0	
0.25	91.4	61	83.3	*
0.23	91.0	54	75.0	
0.15	84.6	34	50.0	
0.08	63.4	13	25.0	
0.14	83.1	31	47.2	+

** Overcapacity * Peak Eff. Condition + Draft Tube Surging Peaks

Efficiency Modifiers: Multiplier: Flow² Function:

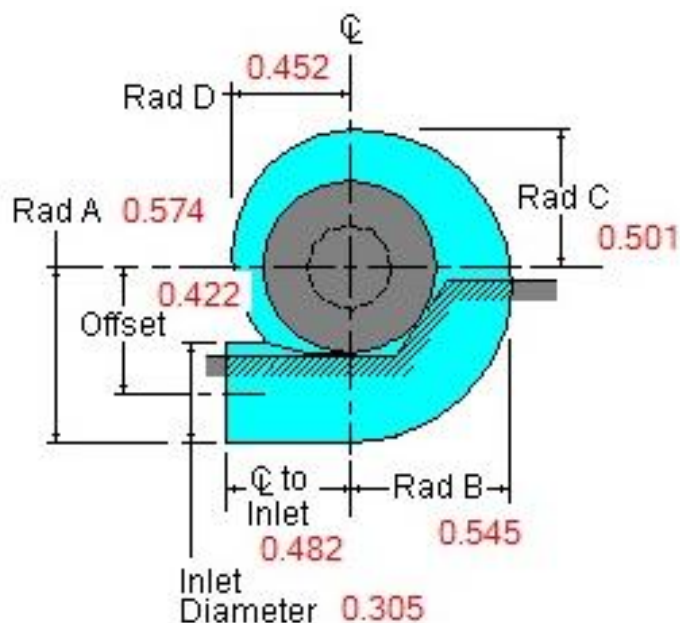
Sl. 16: Prikaz rezultatov izkoristkov in moči turbin pri določenem pretoku skozi turbino, ki nam jih poda program TURBNPRO

Slika 17 pa prikazuje vrednosti pri minimalnem in maksimalnem neto padcu. Minimalni izračunani neto padec je za tako turbino 17,3 m. Takrat je moč turbine 33 kW, izkoristek turbine pri takem padcu znaša 80,1 %, pretok pa 0,24 m³/s. Največji možni neto padec pa je 28,6 m. Moč turbine je 77 kW, pretok je 0,31 m³/s in izkoristek 89,6 %.

Maximum Output Performance	
At Maximum Net Head	At Minimum Net Head
of 28.6 m	of 17.3 m
77 KW	33 KW
89.6 % Eff	80.1 % Eff
0.31 m ³ /s	0.24 m ³ /s
0.0837 σ allow	0.1432 σ allow

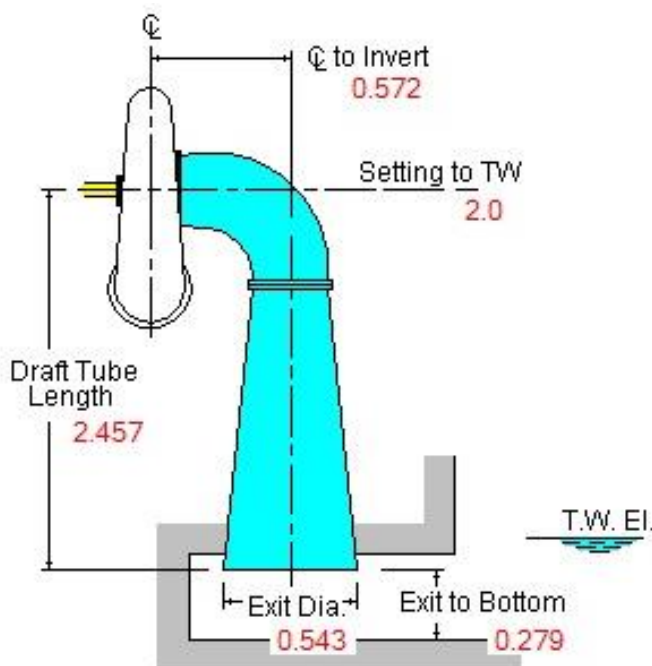
Sl. 17: Prikaz rezultatov pri minimalnem in maksimalnem neto padcu

Slika 18 prikazuje dimenzije spirale turbine in dotoka vode, ki je postavljen pod vodoravno osjo turbine. Premer dovoda v spiralo je 0,305 m.



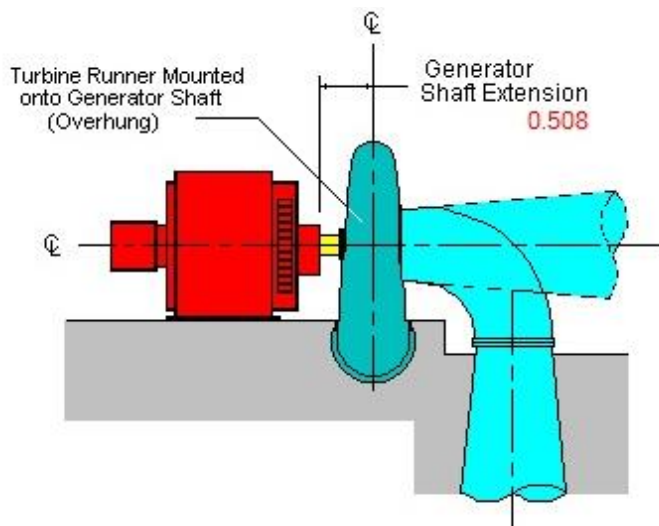
Sl. 18: Prikaz dimenzij v m dovodne cevi in spirale turbine

Na sliki 19 je prikazana sesalna cev, po kateri voda zapusti gonilnik in odteče v bazen, ki je postavljen pod strojnico. Sesalna cev je preko kolena povezana z gonilnikom. Prikazane so vse dimenzije, tudi recimo dimenzija razdalje osi turbine od gladine vode bazena. To je 2 m. Hitrost iztoka iz sesalne cevi je pri pretoku 300 l/s enaka 1,29 m/s.



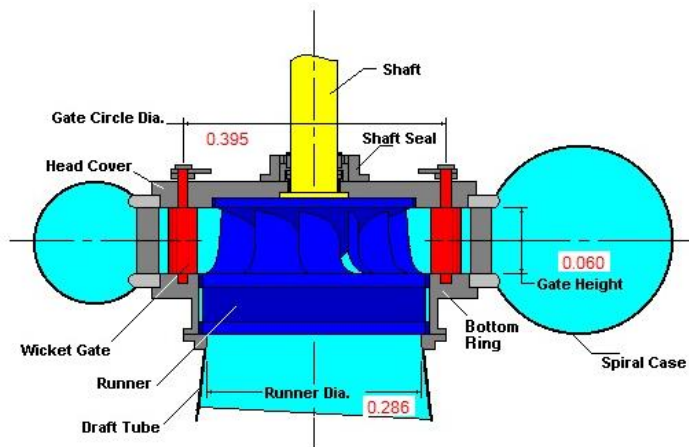
Sl. 19: Sesalna cev turbine z vsemi dimenzijami v m

Generator in turbina sta povezana z gredo, kar je prikazano na sliki 20. Če merimo dolžino grede od osi gonilnika do generatorja, je ta dolžina dobre pol metra. Premer grede je 7,6 cm.



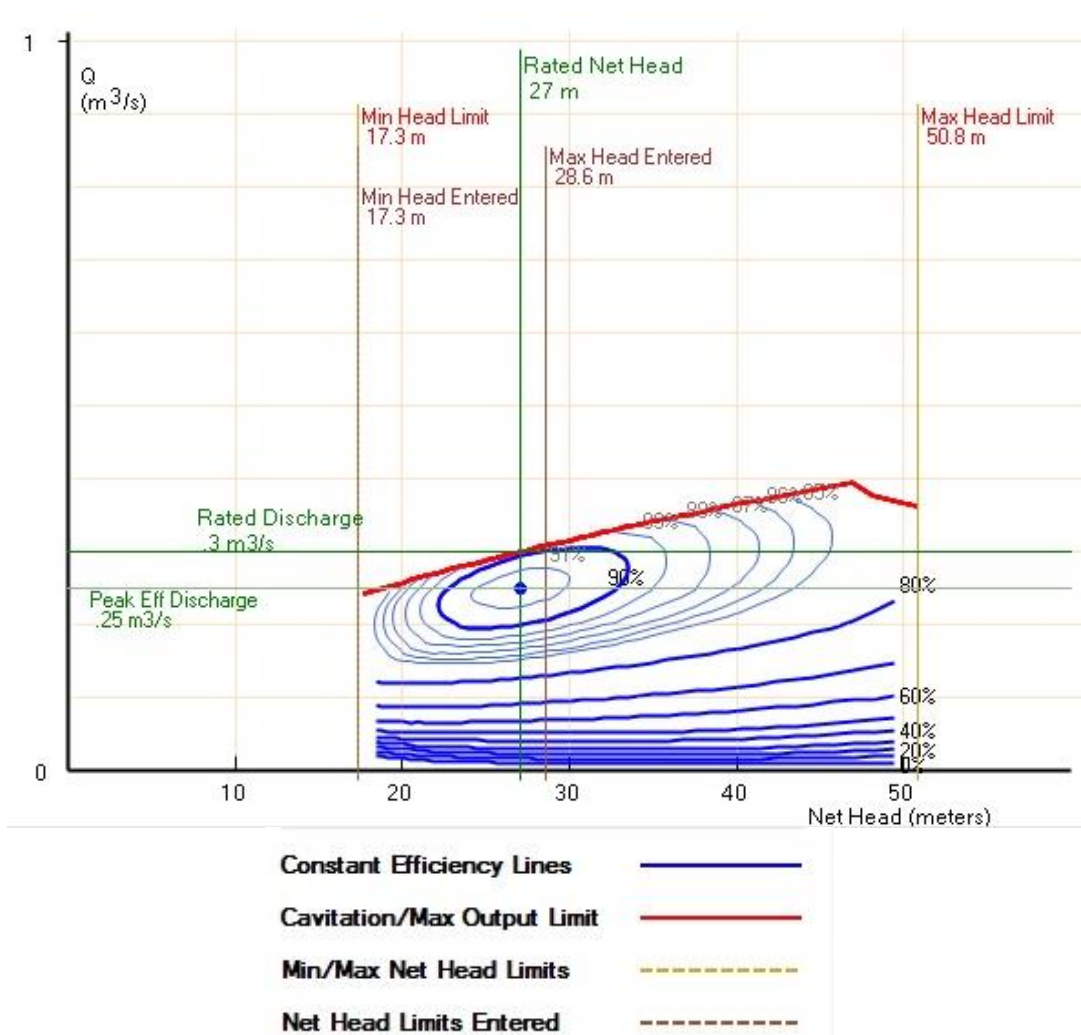
Sl. 20: Povezava in dimenzije v m med generatorjem in turbino, ki poteka preko grede

Na sliki 21 so prikazane še ostale dimenzije, kot je višina lopatic, ki so velike 6 cm. Teža gonilnika je 68 kg.



Sl. 21: Prikaz dimenzij v m gonilnika in njegovih ostalih delov

Slika 22 prikazuje tako imenovani školjčni diagram in prikazuje območje delovanja turbine in pripadajoče izkoristke za določen pretok in neto padec. Različne izkoristke predstavljajo krožne krivulje označene z modro barvo. Abscisa predstavlja neto padec, ordinata pa pretok. Nad rdečo črto vrednosti in delovanje turbine ni možen, saj pride do kavitacije. Najboljši izkoristek nastopi pri pretoku $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ in neto padcu 27 m. Izkoristek je takrat 91,4 %, kar je prikazano na sliki 16.

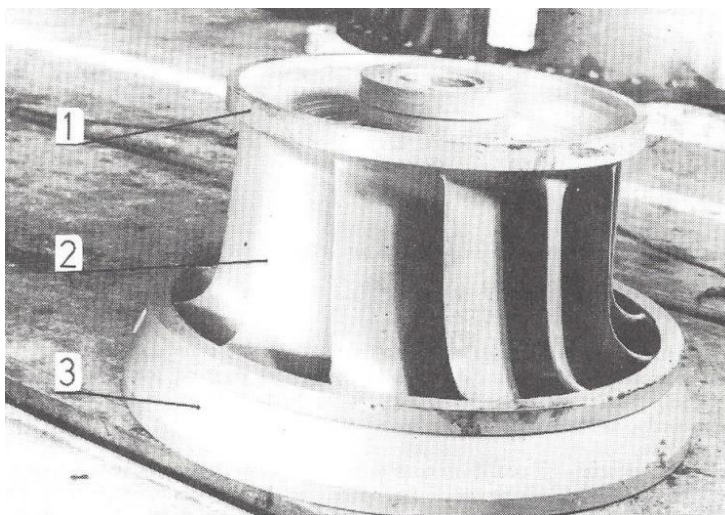


Sl. 22: Školjčni diagram z legendo pod njim

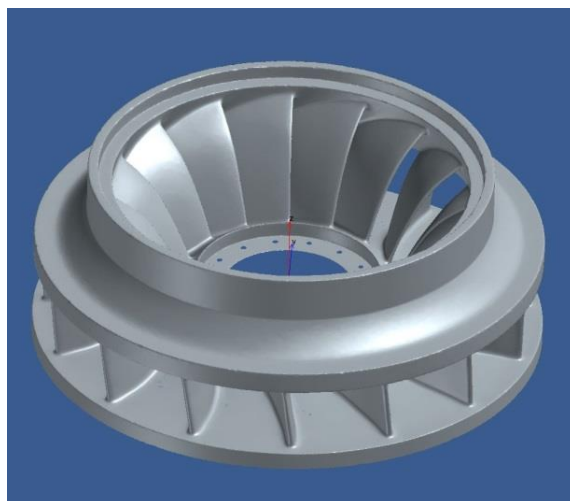
6.2.3 Opis izbrane turbine

Odločili smo se torej za dve turbini oziroma eno črpalko z elektromotorjem s pretokom 15 l/s in eno francisovo turbino, ki ima instaliran pretok 300 l/s. Francisova vodna turbina je nadtlačna turbina radialno-aksialnega tipa. Turbina je izvedena spiralno z vodoravno gredjo. Premer gonilnika izbrane turbine je zelo majhen v primerjavi s tistimi, ki jih izdelujejo na Turboinštitutu. Velik je približno toliko, kolikor so njihovi modeli. Velikost premera je 0,286 m. Izbrali smo možnost, kjer je vrtilna hitrost velika, in sicer 1.000 rpm. Moč pri instaliranem pretoku 300 l/s pa je 71 kW.

Voda priteče od akumulacije do turbine preko cevovoda. Pred vstopom v turbino imamo postavljen predturbinski zasun, ki ga imamo tudi iz varnostnih razlogov. Dovod vode do vodilnika poteka spiralno in se začne pod osjo turbine, torej je dotok spodaj. Premer dotoka je 0,305 m. Lopatice vodilnika usmerijo vodo proti gonilniku. Gonilnik francisove turbine sestavljajo pesto, lopatice gonilnika in venec, kar je prikazano na sliki 23. Pesto je nasajeno na gred, lopatice pa so pritrjene med pestom in vencem. Generator je preko grede neposredno povezan s turbino. Pri tem sta oba ležaja prigrajena k turbini in nimamo jermenskega prenosa.

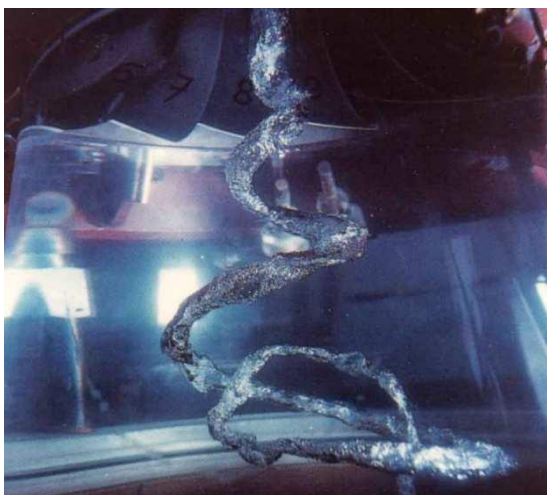


Sl. 23: Gonilnik z označenimi deli: št. 1 predstavlja pesto, št. 2 predstavlja lopatice in št. 3 predstavlja venec, [10]



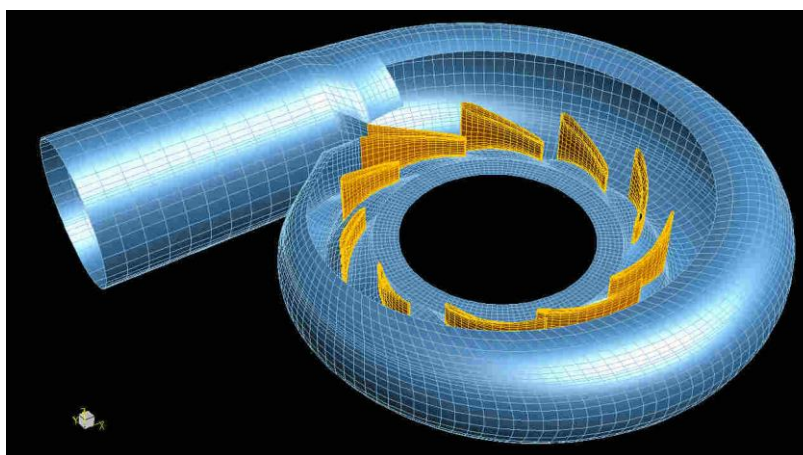
Sl. 24: Primer gonilnika, [11]

Ko pride voda do gonilnika, vstopa skozi lopatice po vsem obodu gonilnika. Pri tem se gonilnik vrti z izbrano vrtilno hitrostjo. Voda izstopa iz gonilnika skozi krožni preseki, ki je velik toliko kolikor venec. Na gonilnik je preko kolena pritrjena sesalna cev, preko katere voda odteče v bazen pod strojnico in potem naprej do vodotoka dolvodno. Dolžina sesalne cevi je 2,457 m. Pri iztekanju vode iz gonilnika lahko pride do vrtinca. Pomembno je, da višinska razlika med osjo gonilnika in vodno gladino v bazenu ni prevelika (v našem primeru je 2 m), saj lahko v takem primeru pride do kavitacije. Nastane lahko tudi kavitacijski vrtinec oziroma vrtinčna kavitacija, ki je prikazana na sliki 25. Taka oblika kavitacije nastane na mestu močno zvrtnjenega toka, kar se tudi zgodi pri vrtenju gonilnika. Pojavijo se mehurčki v kapljevini.



Sl. 25: Kavitacijski vrtinec oziroma vrtinčna kavitacija v sesalni cevi, [12]

Moč turbine je odvisna od pretoka vode in smeri toka vode glede na lopatice vodilnika, kar uravnavajo vodilne lopatice, ki so premične in se jih da poljubno odpreti ali zapreti. Moč se torej regulira z vrtljivimi lopaticami. S pripranjem lopatic se spremeni vstopni kot vode in hitrost vstopa vode v gonilnik.



Sl. 26: Lopatice vodilnika, [13]



Sl. 27: Lopatice vodilnika obarvane z rumeno barvo in gonilnik ter njegove lopatice obarvane z rdečo barvo, [14]

Izkoristek turbine je pri instaliranem pretoku enak 89,6 % in turbina ima moč 71 kW. Največji izkoristek pa nastopi pri pretoku 250 l/s, in sicer je 91,4 %. Takrat je moč turbine enaka 61 kW.

Celoten načrt mHE je pa prikazan v prilogah D - 1, D - 2, D - 3. Situacija, na kateri je razvidno, kje je postavljena strojnica, pa je prikazana v prilogi D - 4.

7 NAČRTOVANJE IN STROŠKI IZVEDBE mHE

7.1 Načrt mHE

V diplomsko nalogo smo vključili tudi načrte mHE. Izrisali smo tloris (priloga D - 1), prerez A-A (priloga D - 2) in prerez B-B (priloga D - 3). Uporabili smo merilo 1:50. V prilogi D - 4 pa je prikazana še situacija v merilu 1:800, kjer lahko vidimo, kje je postavljena mHE.

Odločili smo se, da bomo strojnico postavili 1,5 m levo od podslapja za talni izpust gledano dolvodno. Na levi cevi talnega izpusta s premerom 1.200 mm smo postavili jašek velikosti 2,00 m x 2,00 m, ki ima stene debele 20 cm. Na dnu jaška je cev talnega izpusta preko nosilcev postavljena na ploščo debeline 30 cm. Jašek smo postavili zato, da lahko preko kolena povežemo levo cev talnega izpusta z dovodno cevjo premera 300 mm. V jašku je tudi ventil na dovodni cevi s premerom 300 mm. Presek jaška je prikazan v prilogi C - 2. Iz dovodne cevi s premerom 300 mm se kasneje odcepi še manjša dovodna cev s premerom 65 mm, ki vodi do manjše turbine. Dovodna cev s premerom 300 mm pa vodi do večje turbine. Ko sta dovodni cevi še izven strojnice, sta obdani z armiranim betonom in zakopani pod zemljo. V strojnici sta dvignjeni od tal za 30 cm in pritrjeni na tla preko nosilcev. Pred turbino sta postavljena še predturbinska ventila. Pod obema turbinama in generatorjema sta plošči debeline 40 cm iz mikroarmiranega betona.

Ker teren pada v smeri od jaška proti strojnici smo se odločili pred strojnico postaviti AB zid, ki daje večjo stabilnost hribini. Teren je pri jašku na koti 73,16 m n.m.v. in pri strojnici 70,50 m n.m.v. Kota tal v strojnici je na višini 70,60 m n.m.v. Voda iz turbin odteče v bazen, ki je pod strojnico in potem naprej po iztočnem kanalu, ki je širok 3,1 m, do podslapja.

Talna plošča, zid pred strojnico, bazen, iztočni kanal ter vertikalne in horizontalne vezi so iz armiranega betona. Stene so zidane. Prva vrsta zida je iz zidakov iz penjenega stekla, zato da ne prihaja do toplotnih mostov. Fasada je preprosta, in sicer lepljene plošče iz ekspandiranega polistirena in čez armirana mrežica ter zaključni tankoslojni mineralni omet. Na tleh imamo 5 cm TI (toplotna izolacija) iz ekspandiranega polistirena, 4 cm estriha in zaključno plast predstavljajo ploščice, ki so postavljene v naklonu tako, da lahko voda odteka v sredino sobe. Narisali smo tudi leseno ostrešje dvokapne strehe.

Električna omarica je postavljena ob steni, kjer dovodni cevi vstopita v strojnico. Vrata so široka 2,40 m, da je dovolj prostora za vnos in iznos vse opreme. Strojnica ima tudi eno okno. Na stropu je preko jeklenih nosilcev pritrjena kljuka, ki je namenjena za dvigalko s katero lahko premikamo turbine in generatorje. Vz dolžno s podslapjem talnega izpusta imamo ob strojnici postavljeni tudi dve drenaži. Pred prelivom iztočnega kanala v podslapje je možno postaviti tudi leseno zapornico.

7.2 Izračun stroškov izgradnje in vzdrževanja mHE

Stroške gradbenih del pri izgradnji mHE smo izračunali na poenostavljen način. Najprej smo na podlagi narisanih načrtov, ki so v prilogah D - 1, D - 2 in D - 3, izračunali količino odkopanega humusa, izkopa, zasipa, humuziranja in armiranega betona. Poiskali smo tudi aktualne cene za te predpostavke in izračunali ceno omenjenih predpostavk. Ko smo imeli izračunane stroške gradbenega dela, smo še to vrednost pomnožili s faktorjem 2,5. V tem faktorju so vključena vsa dodatna dela (toplotne izolacije, hidroizolacije, ostrešje, električna napeljava,...). Tako smo dobili približno končno ceno gradbenih del, ki znaša približno 44.800 EUR.

V stroških investicije smo upoštevali tudi hidravlično opremo. Hidravlična oprema skupaj predstavlja malo več kot 18.500 EUR.

Izračunali smo tudi strojno opremo, saj ta predstavlja večji del končne cene izgradnje mHE. Največji strošek predstavlja izdelava izbrane francisove turbine s pripadajočim generatorjem in regulacijo ter črpalka z elektromotorjem s pretokom 15 l/s, ki jo uporabimo kot majhno turbino. Ta strošek znaša 100.000 EUR. Ceno nam je zaupal Turboinštitut. Pod strojno opremo smo vključili predturbinski zasun za večjo turbino postavljen na dovodni cevi s premerom 300 mm in predturbinski zasun za majhno turbino postavljen na dovodni cevi s premerom 65 mm. Strojna oprema predstavlja stroške z zneskom 101.000 EUR.

Končno ceno izgradnje mHE pa smo dobili tako, da smo sešteli ceno gradbenih del, ceno hidravlične opreme in ceno strojne opreme. Investicija v izgradnjo mHE bi bila malo več kot 164.000 EUR.

Poleg izgradnje mHE je potrebno izračunati tudi letne stroške obratovanja take hidroelektrarne. Pri tem smo upoštevali 0,5 % končne cene za letno vzdrževanje, 2 % končne cene za letno zavarovanje in 1 % končne cene za letne stroške dela in druge stroške. Skupni letni stroški obratovanja bi znašali približno 5.700 EUR.

Pr. 22: Izračun stroškov investicije in letnega obratovanja

Postavka	enota	količina	cena (EUR)/enoto	cena(EUR)
Gradbena dela				
- odkop humusa	m3	27,00	1,31	35,37
- izkop	m3	300,00	2,50	750,00
- zasip	m3	25,00	15,00	375,00
- humuziranje	m2	23,00	1,57	36,11
- AB (beton + armatura + opaž)	m3	67	250,00	16.750,00
SKUPAJ GRADBENA DELA:				17.946,48
KONČNA CENA GRADBENIH DEL: pomnoženo s faktorjem 2,5				44.866,20
Hidromehanska oprema				
- dovodna cev fi 300 z vmesnimi koleni	kg	666	3,50	2.331,00
- dovodna cev fi 65	kg	76	3,50	266,00
- ostala hidromehanska oprema				16.000,00
SKUPAJ HIDRAVLIČNA OPREMA:				18.597,00
Strojna oprema				
- francisova turbina (pretok 300l/s, premer gonilnika 286 mm, moč 71 kW, vrtilna hitrost 1000 rpm) z generatorjem in regulacijo + črpalka z elektromotorjem (pretok 15 l/s)	kos	1	100.000,00	100.000,00
- predturbinski zasun s premerom 300 mm	kg	165	5,00	825,00
- predturbinski zasun s premerom 65 mm	kg	35	5,00	175,00
SKUPAJ STROJNA OPREMA:				101.000,00
SKUPAJ GRADBENA DELA, HIDRAVLIČNA OPREMA IN STROJNA OPREMA:				164.463,20
Letna cena vzdrževanja (0,5%):				822,32
Letna cena zavarovanja (2%):				3.289,26
Stroški dela in drugi stroški (1%):				1.644,63
Skupaj letni stroški obratovanja				5.756,21

7.3 Povrnitev investicije in dinamični kazalci za 10 in 20 let

Pri vsaki investiciji nas zanima, koliko časa bi trajalo, da se nam le-ta povrne. Pri tem je potrebno upoštevati ceno investicije v izgradnjo mHE, vsakoletne stroške obratovanja in povprečne letne prilive oziroma ceno prodane povprečne letne proizvodnje energije. Investicija bi znašala 164.463 EUR. V prvem letu bi bili stroški obratovanja in prilivi polovični. V naslednjih letih bi bili stroški obratovanja 5.756 EUR in prilivi 18.991 EUR. V preglednici 23 lahko vidimo, da imamo v trinajstem letu že dobiček in se nam v takrat investicija v celoti povrne.

Izračunali smo pa tudi dinamične kazalce za 10 (Pr. 23) in 20 (Pr. 24) let. Upoštevali smo 7 % diskontno stopnjo. Rezultati so prikazani v preglednicah 23 in 24.

Pr. 23: Izračun dinamičnih in statičnih kazalcev za dobo 10 let

Povprečna cena energije:	0,07	[EUR/kWh]			
Diskontna stopnja:	7	[%]			
Doba obratovanja:	10	[leta]			
Proizvodnja (letna):	271,3	MWh			

leto obratovanja	investicija	stroški obratovanja	prilivi	finančni tok	povrnitev investicije (statični kazalci)
1	-164.463,20	-2.878,11	9.495,50	-157.845,81	-157.845,81
2	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-144.611,02
3	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-131.376,23
4	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-118.141,44
5	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-104.906,65
6	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-91.671,87
7	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-78.437,08
8	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-65.202,29
9	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-51.967,50
10	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-38.732,71
diskontna stopnja:	7%		prilivi:	124.510,54	
NSV - investicija:	-153.703,93		investicija:	-153.703,93	
NSV - obratovanje:	-37.739,41		odlivi:	-37.739,41	
NSV- prilivi:	124.510,54		sedanja vrednost:	-66.932,79	
			IRR:	-5,29%	

Pr. 24: Izračun dinamičnih in statičnih kazalcev za dobo 20 let

Povprečna cena energije:	0,07	[EUR/kWh]			
Diskontna stopnja:	7	[%]			
Doba obratovanja:	20	[leta]			
Proizvodnja (letna):	271,3	MWh			
leto obratovanja	investicija	stroški obratovanja	prilivi	finančni tok	povrnitev investicije (statični kazalci)
1	-164.463,20	-2.878,11	9.495,50	-157.845,81	-157.845,81
2	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-144.611,02
3	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-131.376,23
4	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-118.141,44
5	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-104.906,65
6	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-91.671,87
7	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-78.437,08
8	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-65.202,29
9	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-51.967,50
10	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-38.732,71
11	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-25.497,93
12	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	-12.263,14
13	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	971,65
14	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	14.206,44
15	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	27.441,23
16	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	40.676,01
17	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	53.910,80
18	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	67.145,59
19	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	80.380,38
20	0,00	-5.756,21	18.991,00	13.234,79	93.615,17
diskontna stopnja:	7%		prilivi:	192.316,63	
NSV - investicija:	-153.703,93		investicija:	-153.703,93	
NSV - obratovanje:	-58.291,57		odlivi:	-58.291,57	
NSV- prilivi:	192.316,63		sedanja vrednost:	-19.678,87	
			IRR:	5,16%	

8 Primerjava naših rezultatov z rezultati študije narejene s strani IBE

Kot že na začetku omenjeno, smo naše izračune začeli s podatki in ugotovitvami analize možnosti rabe akumulacije Vogršček za energetske namene iz leta 1983 [3]. Razlika v naših dobljenih rezultatih in rezultatih študije, ki jo je naredil IBE [3], je več kot očitna.

Oboji smo izhajali iz popolnoma enakih podatkov za dotok vode v akumulaciji in porabo vode za namakanje. V študiji, ki jo je naredil IBE [3], so predvideli le eno turbino, ki bi spuščala le biološki minimum velikosti 22 l/s, ker dejanske potrebe za namakanje v času študije še niso bile poznane. Naš biološki minimum je 15 l/s. Poleg turbine, ki spušča biološki minimum smo izračunali, da bi s privzetimi predpostavkami in izračunanimi iztoki iz akumulacije zaradi potrebe po namakanju, izgubami vode zaradi izhlapevanja ter porabe za biološki minimum, lahko postavili še eno turbino, ki bi imela instalirani pretok 300 l/s. Upoštevane predpostavke so izraba visokovodnega volumna akumulacije, torej bi akumulacija bila polna na maksimalni koti 100,5 m n.m.v., minimalna dovoljena gladina vode v akumulaciji je 80 m n.m.v. in gladina vode v akumulaciji mora biti konec marca vsaj na normalni višini obratovanja 98,8 m n.m.v.

Mala hidroelektrarna bi po IBE študiji [3] koristila objekte črpališča in bi zahtevala le minimalne posege. Dovodna cev bi potekala od glavne dovodne cevi namakalnega sistema do turbine, odvodna pa od turbine do izliva v strugo potoka Vogršček. Naš načrt pa zajema izgradnjo posebne stavbe za strojnico, ki bi stala levo od podslapja za talni izpust, če gledamo dolvodno. Voda, ki bi jo dovajali v naši turbini, bi se od leve cevi talnega izpusta odcepila pod pravim kotom in po dveh ceveh pritekla do manjše in večje turbine. Odtok vode pa bi bil speljan po drči, ki poteka od bazena, ki je postavljen pod strojnico, do podslapja talnega izpusta.

Po IBE študiji [3] bi bila najprimernejša vgradnja tipske peltonove turbine, tip TP 100 po tipizaciji Turboinštituta. Nazivni pretok turbine bi bil 0,022 m³/s, maksimalni instalirani pretok 0,030 m³/s in maksimalni neto padec 28,3 m. S tako turbino in na osnovi vodne bilance vode v akumulaciji bi bila proizvodnja ocenjena na 40,8 kWh na leto. Tudi mi smo se posvetovali s zaposlenimi pri Turboinštitutu. Za turbino z manjšim pretokom 15 l/s so nam priporočali, da uporabimo črpalko z elektromotorjem, ki jo uporabimo v nasprotno smer in tako ta postane turbina, saj voda teče v nasprotno (turbinsko) smer in poganja elektromotor, ki pa tako lahko postane generator. To možnost so nam priporočali, saj se s tem zelo zmanjšajo stroški in je za tako majhne pretoke to izvedljivo. Za večjo turbino z instaliranim pretokom 300 l/s pa so nam priporočali francisovo turbino. Njene karakteristike pa smo dobili s pomočjo programa TURBNPRO, in sicer instaliran pretok bi bil 300 l/s, premer gonilnika 286 mm, vrtilna hitrost 1.000 vrtljajev na minuto, maksimalni neto padec 28,6 m, moč izbrane turbine 71 kW in izkoristek pri pretoku 300 l/s bi bil 89,6 %. Z našima obema turbinama pa bi bila povprečna letna proizvodnja 271,3 MWh. To je za več kot 6,6-krat več kot bi bilo proizvedene energije po študiji IBE. Sicer bi pri delovanju po našem načrtovanju bile potrebne tudi prekinitve delovanja večje turbine, vendar je to že vključeno v izračun proizvodnje.

IBE [3] je tako podal ugotovitev, da zaradi zelo drage strojne opreme in pri tem zelo male moči turbine izgradnja mHE s takimi karakteristikami kot so jih oni predvideli, ni ugodna. Ker takrat proizvajalci turbin v Sloveniji v svojih proizvodnih programih turbin niso imeli turbine, ki bi povsem odgovarjala parametrom mHE Vogršček, so predlagali, da bi investitor preveril druge možnosti nabave turbine, saj bi s tem lahko močno znižal potrebno investicijo za strojno opremo. Naša ugotovitev pa je čisto drugačna. V preračunu smo upoštevali ceno električne energije 0,07 EUR/kWh. Povprečna letna proizvodnja energije v EUR bi tako znašala slabih 19.000 EUR in bi se naša investicija v malo hidroelektrarno povrnila v približno trinajstih letih. Glede na to, da se nakupna cena energije povečuje, bi lahko v našem preračunu upoštevali tudi višjo ceno električne energije, in sicer 0,10 EUR/kWh, kar bi pomenilo, da bi povprečni dobiček znašal dobrih 27.000 EUR. V izračunu dobička ni upoštevana tudi energija, ki bi jo dodatno porabili za črpanje vode za potrebe namakanja, je

pa upoštevano dejstvo, da se ti stroški zmanjšajo, če je višina vode v akumulaciji v času namakanja čim višja. Za kar smo poskrbeli s tem, da smo prekinjali delovanje večje turbine z namenom, da smo zagotovili, da je gladina vode v akumulaciji konec marca na normalni obratovalni višini 98,8 m n.m.v.

9 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo obravnavali možnost energetskega izkoriščanja akumulacije Vogršček. Analizo smo utemeljili na hidroloških podatkih iz idejne zasnove akumulacije Vogršček iz leta 1983, ki jo je naredil VGI [2] ter predpostavkah in podatkih analize možnosti rabe akumulacije Vogršček za energetske namene iz istega leta, ki jo je naredil IBE. Upoštevali smo vse izgube, biološki minimum in rabo vode za namakanje, pri čemer smo upoštevali, da je namakalni sistem izveden v celoti in deluje brezhibno. Za energetske izrabe smo namenili le viške vode ter energetske proizvodnje, ki jo pridobimo s pretokom biološkega minimuma. Na koncu smo še zasnovali tehnične parametre za mHE.

Račun vodne bilance smo naredili na osnovi povprečnih mesečnih hidroloških podatkov za niz 27 let (od leta 1948 do leta 1974). V celotnem opazovalnem obdobju znaša povprečna letna količina vode, ki se nateče v akumulacijo 8,1 mio m³. Od tega je 3,1 mio m³ namenjeno namakanju in bogatenju nizkih pretokov Vipave, 0,64 mio m³ je izgub zaradi izhlapevanja in 0,47 mio m³ je namenjenih za zagotavljanje ekoloških razmer. Višek vode predstavlja povprečna letna količina 3,9 mio m³, ki jo lahko izkoristimo za energetske izrabe. Če pa upoštevamo še to, da lahko izkoristimo tudi vodne količine za biološki minimum, znaša povprečni letni vodni potencial okoli 4,4 mio m³. Možnost energetske izrabe akumulacije je bila prvič obdelana v analizi možnosti rabe akumulacije Vogršček za energetske namene [3], vendar zaradi nedorečenosti uporabe vode za namakanje ni bila nikoli uresničena.

V sklopu izračuna energetske proizvodnje smo preračunali proizvodnjo za več obratovalnih scenarijev, pri čemer smo postopoma povečevali instaliran pretok za korak +15 l/s. Izhodišče je predstavljal biološki minimum 15 l/s. Določili smo optimum energetske izrabe oziroma točko, kjer je proizvodnja energije maksimalna za vodno bilanco akumulacije. Pri tem optimumu izkoristimo praktično vso razpoložljivo vodo.

Odločili smo se, da izvedemo izračun energetske proizvodnje za dve različni varianti z različnimi predpostavkami. Pri obeh variantah velja, da je akumulacija začetek leta 1948 prazna in se prvo leto polni dokler ne doseže normalne obratovalne višine 98,80 m n.m.v. Prav tako za obe varianti velja, da se gladina vode v akumulaciji nikoli ne sme spustiti pod minimalni nivo obratovanja 80 m n.m.v.

Za prvo varianto smo še, poleg že omenjenih predpostavk predpostavili, da je akumulacija polna pri normalni obratovalni koti 98,80 m n.m.v. in volumnu 7,25 mio m³. Optimum pri temu izračunu nastopi pri režimu obratovanja s pretokom 255 l/s. Povprečna letna proizvodnja energije znaša dobrih 221,5 MWh in dobrih 15.000 EUR na leto.

Ker je v interesu upravljalcev, da je višina vode v akumulaciji čim višja in s tem tudi njena potencialna energija za črpanje vode za namakanje, smo poskušali naš sistem v drugi varianti še bolj optimizirati. Uvedli smo pogoj, da mora biti nivo vode akumulacije do 31. marca tekočega leta na vsaj normalni obratovalni višini 98,80 m n.m.v., saj se aprila že v večji meri začne namakanje. V drugi varianti smo upoštevali tudi visokovodni volumen, to je rezervni volumen velikosti 1.250.000 m³, ki sega od normalne višine obratovanja 98,8 m n.m.v. do maksimalne višine obratovanja 100,5 m n.m.v. Tako bomo resnično porabili vso razpoložljivo vodo. V optimiziranem sistemu nastopi optimum pri režimu obratovanja s pretokom 315 l/s in povprečna letna proizvodnja znaša več kot prej, in sicer dobrih 271,3 MWh in pa slabih 19.000 EUR.

Odločili smo se za dve turbini. Ena deluje ves čas in spušča biološki minimum 15 l/s. Druga pa deluje glede na dovoljeno porabo vode iz akumulacije. Instaliran pretok druge turbine je v prvi varianti 240 l/s, v drugi pa 300 l/s. Pri obeh variantah pa se vmes pri izbranem režimu obratovanja pojavljajo primanjkljaji vode. Te primanjkljaje smo rešili tako, da smo uvedli

prekinitve delovanje turbine z večjim pretokom, dokler se akumulacija ni napolnila vsaj do kote 80 m n.m.v.

Iz rezultatov obeh izračunov je razvidno, da je optimizirana varianta boljša izbira, saj imamo več letnega dobička. Odločili smo se torej za režim obratovanja s pretokom 315 l/s. Potrebno je sprotno nadzorovanje količine vode v akumulaciji in regulacija delovanja večje turbine, ki ima instalirani pretok 300 l/s. Po posvetu s Turboinštitutom smo se odločili za francisovo turbino z instaliranim pretokom 300 l/s, premerom gonilnika 286 mm in močjo 71 kW.

Cilj je bil ugotoviti ali je investicija v izgradnjo mHE utemeljena ali ne. Glede na energetske parametre in stroške izvedbe se investicija v elektrarno povrne v 13 letih in investicija je utemeljena. V primerjavi z analizo, ki jo je naredil IBE [3], kjer je povprečna proizvedena letna energija 40,8 MWh, je naša za dobrih 6,6-krat večja.

V nadaljevanju bi bilo potrebno izdelati še celotno energetske bilanco, ki temelji na optimiziranju porabe energije za črpanje v namakalni sistem in proizvodnje energije na pregradi. V naši analizi smo že začeli razmišljati v tej smeri in smo zato postavili izhodišče, da mora biti akumulacija v celoti napolnjena pred vegetacijsko sezono.

VIRI

Uporabljeni viri:

- [1] Geopedia. 2013.
http://www.geopedia.si/#T105_x402824_y85316_s14_b2 (Pridobljeno 24. 11. 2013.)
- [2] Akumulacija Vogršček – idejna zasnova. 1983. Ljubljana, VGI: loč. pag.
- [3] Analiza možnosti rabe akumulacije Vogršček za energetske namene. 1983. Ljubljana, IBE: loč. pag.
- [4] Geopedia. 2013.
http://www.geopedia.si/#T105_x402824_y85316_s14_b4 (Pridobljeno 24. 11. 2013.)
- [5] Akumulacija Vogršček. 2013.
https://www.google.si/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFiAA&url=http%3A%2F%2Fwww.mko.gov.si%2Ffileadmin%2Fmko.gov.si%2Fpageuploads%2FMedijsko_sredisce%2F2012%2FDecember_2012%2F21_Vogrscek%2F12_12_21_SJ_Vogrscek_predstavitev.ppt&ei=y2qTUtBzivPKA9T2qYAB&usq=AFQjCNEBik2hwH8dl4uf26eAMp9DckolCg&sig2=90jTY8ITaWeo4r5tzxjXEQ&bvm=bv.56988011.d.bGQ (Pridobljeno 25. 9. 2013)
- [6] Sanacija objektov na zadrževalniku Vogršček, Idejna zasnova. 2009. Ljubljana, IBE: loč. pag.
- [7] Vodna črpalka. 2013.
https://www.google.si/search?q=turbina+z+elektromotorjem&espv=210&es_sm=122&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=GiSGUuZ2EbCS7Abpl4D4Dw&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1420&bih=731#es_sm=122&espv=210&q=%C4%8Drpalka+za+vodo&tbm=isch&facrc=_&imgdii=_&imgrc=RoRqPzzmXH9HIM%3A%3BmkzJ7hhMCqJATM%3Bhttp%253A%252F%252Fmedia-2.web.britannica.com%252Feb-media%252F58%252F3658-004-061948E8.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.elektronik.si%252FphpBB2%252Fviewtopic.php%253Ft%253D17256%3B292%3B300 (Pridobljeno 19. 11. 2013.)
- [8] Vodna črpalka. 2013.
https://www.google.si/search?q=vodna+%C4%8Drpalka&espv=210&es_sm=122&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=NdCcUtqyNYLa4wTjp4CAAq&ved=0CEwQsAQ&biw=1393&bih=774#facrc=_&imgdii=_&imgrc=0s3mq3ICU90UuM%3A%3BD3a4HTzOSyBjM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252FFile%252Ffa%252Ffa4%252Fvodna_%2525C4%25258Drpalka.gif%3Bhttp%253A%252F%252Fsl.wikipedia.org%252Fwiki%252FSlika%253AVodna_%2525C4%25258Drpalka.gif%3B512%3B317 (Pridobljeno 2. 12. 2013.)
- [9] Francisova turbina. 2013.
<http://www.siapro.eu/aktualno/arhiv/?id=12> (Pridobljeno 19. 11. 2013.)
- [10] Šolc, L. 1983. Zgradimo majhno hidroelektrarno. 3. del Turbine in pomožna oprema. Ljubljana, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: str. 111.
- [11] Francisova turbina. 2013.
https://www.google.si/search?q=francisova+turbina&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=5CGGUvSjBaGZ4gTx84GQBQ&sqi=2&ved=0CDkQsAQ&biw=1420&bih=731#facrc=_&imgdii=_&imgrc=U3y2ZSeXz68MIM%3A%3Bjdh-

[92QdgzIVAM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.capture3d.com%252FImages%252FApplications%252Fturbines-3DmeasureFig9big.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.capture3d.com%252FTRITOP-app-quality-turbines-3Dmeasure.html%3B1004%3B876](http://www.capture3d.com/images/turbines-3DmeasureFig9big.jpg) (Pridobljeno 19. 11. 2013.)

- [12] Kavitacija. 2013.
http://lab.fs.uni-lj.si/kes/energetska_proizvodnja/ep-vaja-h02.pdf (Pridobljeno 19. 11. 2013.)
- [13] Francisova turbina. 2013.
https://www.google.si/search?q=francisova+turbina&tbm=isch&tbo=u&source=univ&a=X&ei=5CGGUvSjBaGZ4gTx84GQBQ&sqi=2&ved=0CDkQsAQ&biw=1420&bih=731#facrc=&imgdii=&imgrc=u_Him9oFmW4bAM%3A%3BuXxxaupMRwhkUM%3Bhttp%253A%252F%252Fiepoi.uni-mb.si%252Fispra%252Fturboinstitut%252Fpcfd_1.JPG%3Bhttp%253A%252F%252Fiepoi.uni-mb.si%252Fispra%252Fturboinstitut%252Fcf_img.html%3B1280%3B709 (Pridobljeno 19. 11. 2013.)
- [14] Francisova turbina. 2013.
https://www.google.si/search?q=francisova+turbina&tbm=isch&tbo=u&source=univ&a=X&ei=5CGGUvSjBaGZ4gTx84GQBQ&sqi=2&ved=0CDkQsAQ&biw=1420&bih=731#facrc=&imgdii=&imgrc=AAZmDwZJM-pSqM%3A%3BKltJ0LnWlhP7rM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fcommons%252Fd%252Fd1%252FFrancis_Turbine_High_flow.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fhr.wikipedia.org%252Fwiki%252FFrancisova_turbina%3B640%3B479 (Pridobljeno 19. 11. 2013.)

Ostali viri:

Šolc, L. 1986. Zgradimo majhno hidroelektrarno. 1. del Moč dajeta padec in pretok vode, 2. del Napeljava vode. Ljubljana, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: str. 57.

Šolc, L. 1986. Zgradimo majhno hidroelektrarno. 4. del Električna oprema. Ljubljana, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: str. 112.

Šolc, L. 1987. Zgradimo majhno hidroelektrarno. 5. del Regulacija in avtomatizacija. Ljubljana, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: str. 179.

Šolc, L. 1983. Zgradimo majhno hidroelektrarno. 6. del Gradbena izvedba majhne hidroelektrarne. Ljubljana, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: str. 208.

Steinman F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Hidrotehnična smer FGG: str. 295

Arso. 2013.

http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Vogr%C5%A1%C4%8Dek (Pridobljeno 5.6.2013.)

Vodna turbina. 2013.

http://sl.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina (Pridobljeno 12.10.2013.)

Vodna turbina. 2013.

http://hr.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina (Pridobljeno 12. 10. 2013.)

Vodne turbine. 2013.

<http://www.litostrojpower.eu/index.php?page=documents&item=81&id=140> (Pridobljeno 12. 10. 2013.)

Izračun teže za cevi. 2013.

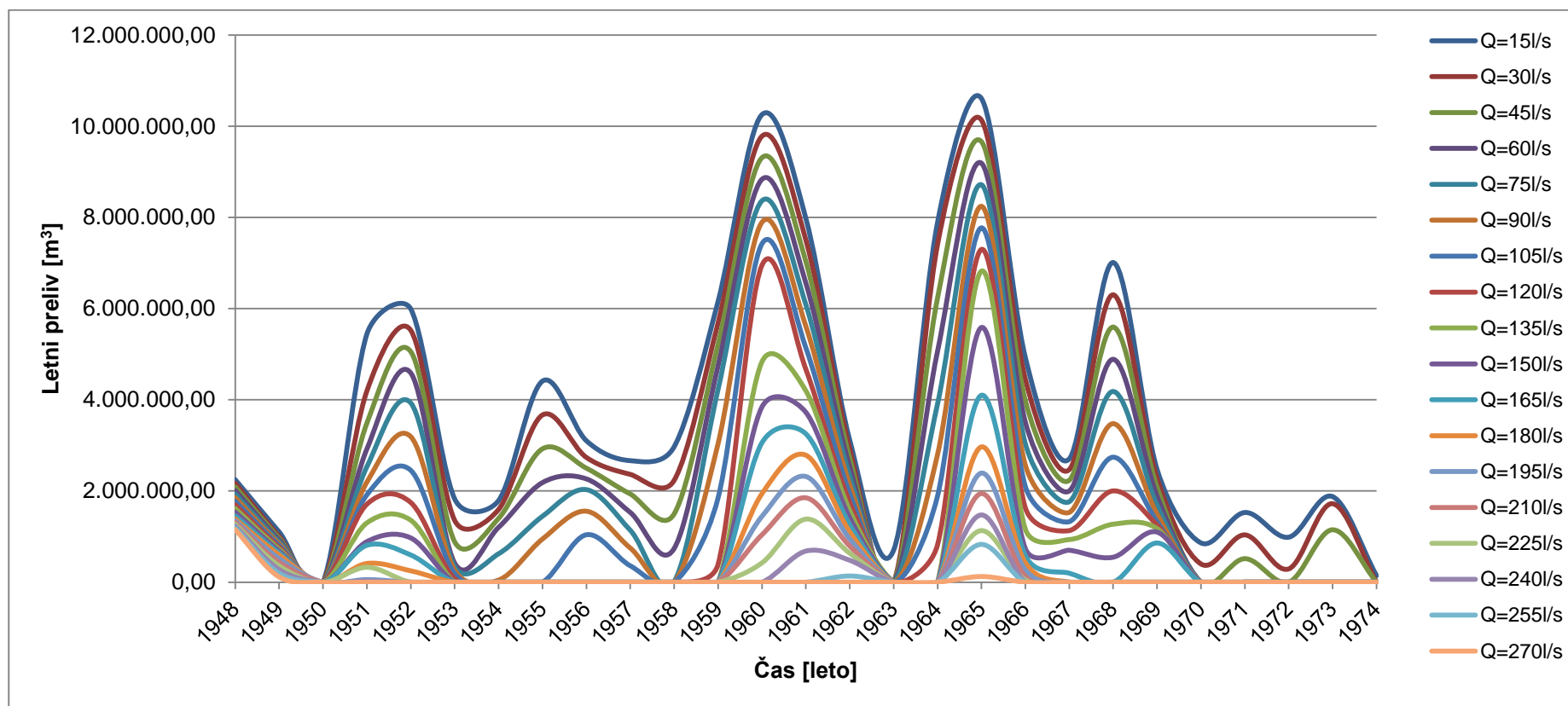
<http://www.frankstahl.si/izracun-teze/> (Pridobljeno 27.11.2013.)

Ta stran je z namenom prazna.

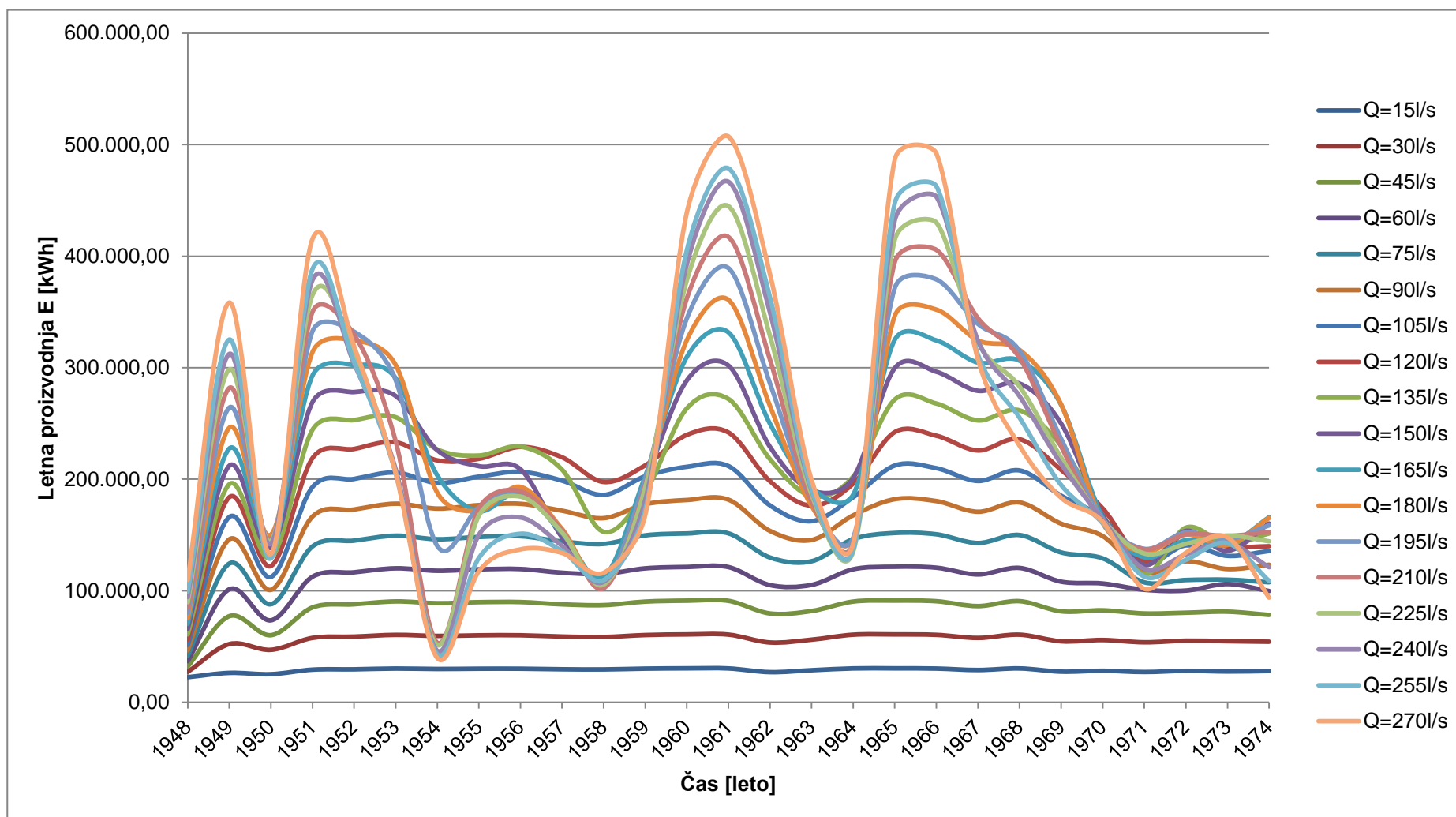
KAZALO PRILOG

PRILOGA A:	REZULTATI VSEH INSTALIRANIH PRETOKOV PRI IZRAČUNU V VARIANTI 1, KI JE NAREJENA V POGLAVJU 4.2 ENERGETSKA PROIZVODNJA.....	A1
PRILOGA B:	REZULTATI VSEH INSTALIRANIH PRETOKOV PRI IZRAČUNU V VARIANTI 2, KI JE NAREJENA V POGLAVJU 5 OPTIMIZACIJA SISTEMA.....	B1
PRILOGA C:	PREREZI PREGRADE.....	C1
PRILOGA D:	NAČRTI IN SITUACIJA mHE.....	D1

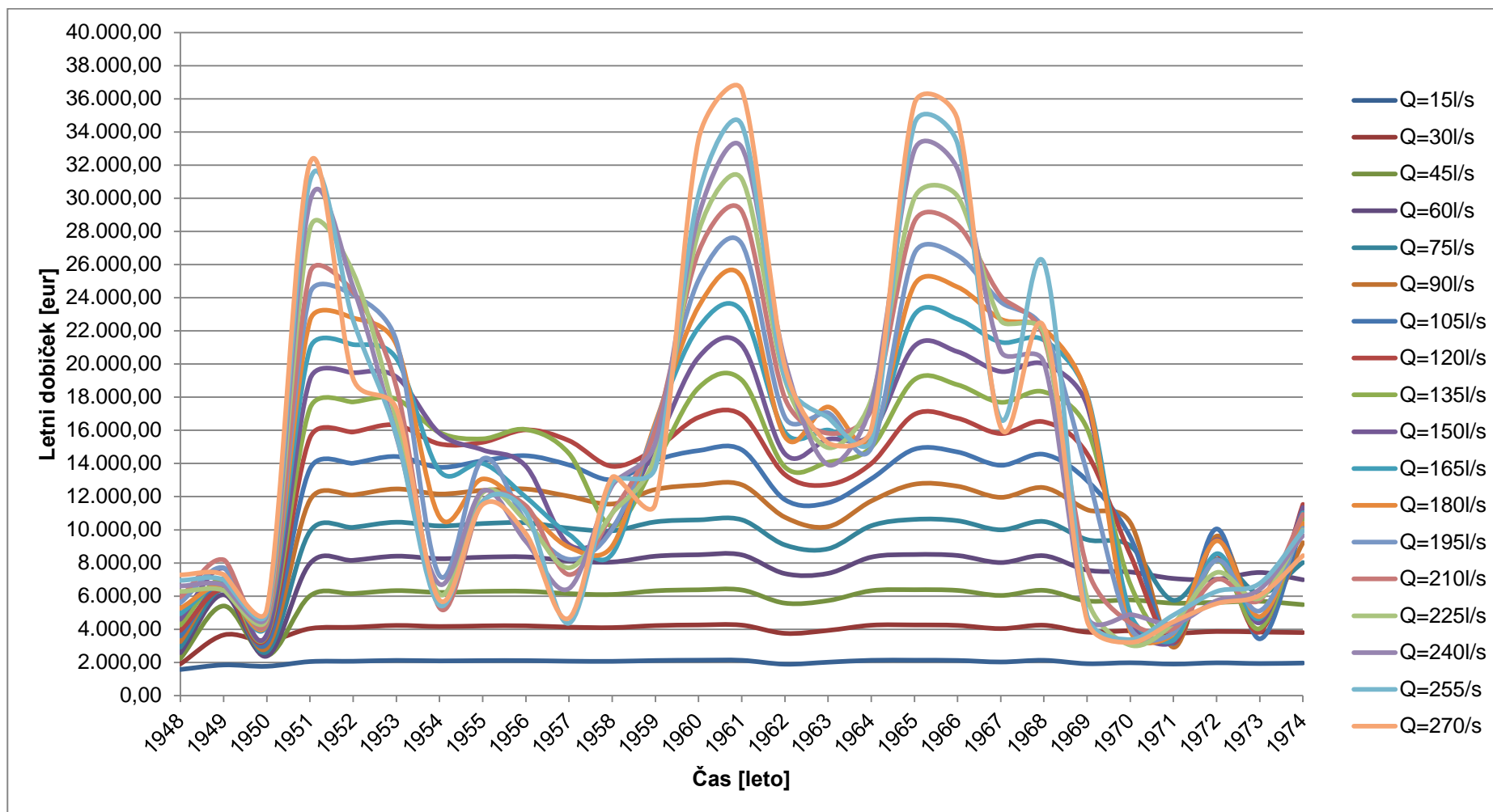
PRILOGE

PRILOGA A : REZULTATI VSEH INSTALIRANIH PRETOKOV PRI IZRAČUNU V VARIANTI 1, KI JE NAREJENA V POGLAVJU 4.2
ENERGETSKA PROIZVODNJA

A - 1: Graf letnih prelivov v m³ pri različnih pretokih za obdobje 1948 – 1974, ko reguliramo delovanje večje turbine glede na količino vode, ki je v akumulaciji za varianto 1

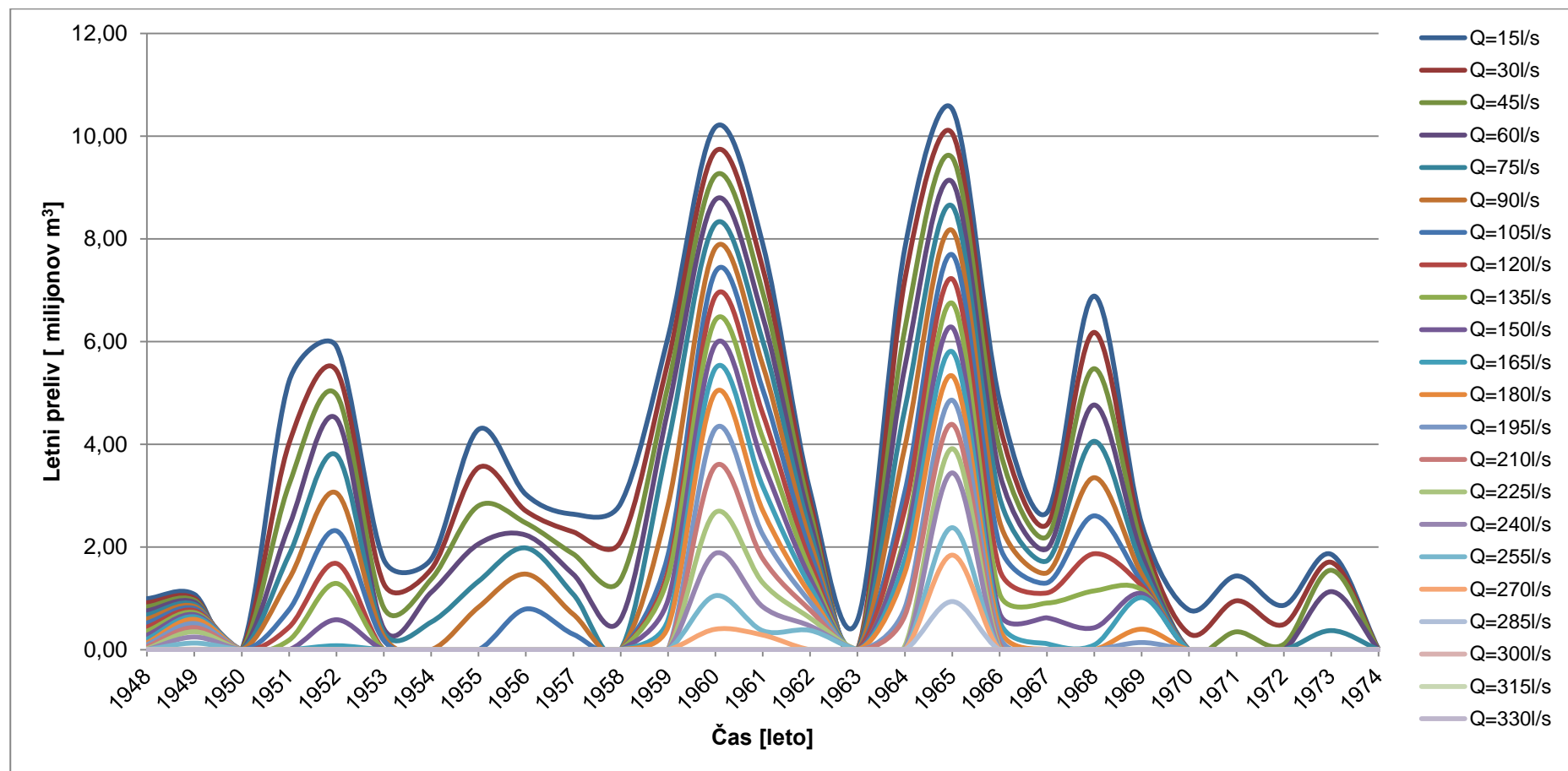


A - 2: Letna proizvodnja energije pri različnih instaliranih pretokih za obdobje 1948 – 1974, ko reguliramo delovanje večje turbine glede na količino vode, ki je v akumulaciji za varianto 1

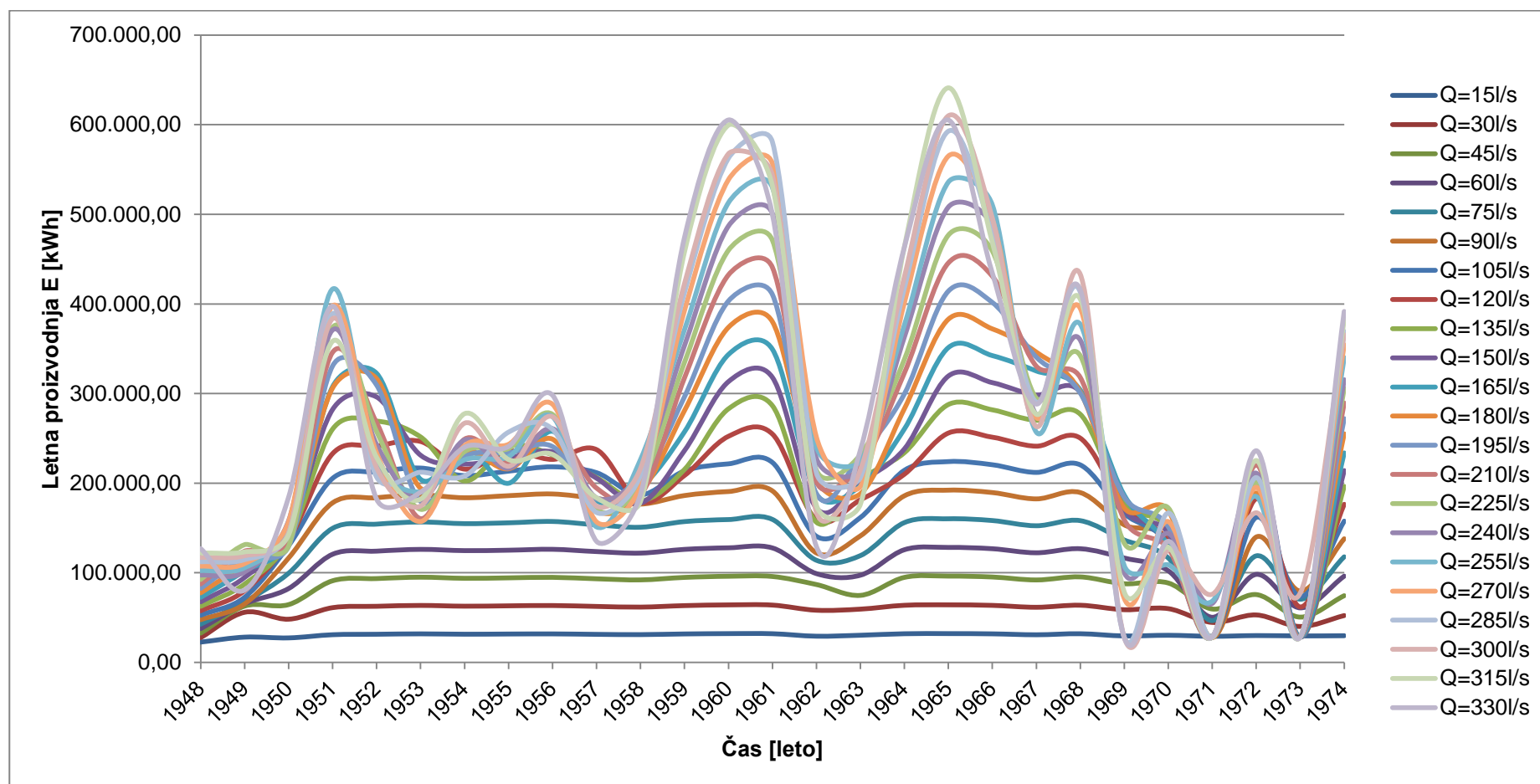


A - 3: Letni dobiček v EUR za različne instalirane pretoke za obdobje 1948 - 1974, ko reguliramo delovanje večje turbine glede na količino vode, ki je v akumulaciji za varianto 1

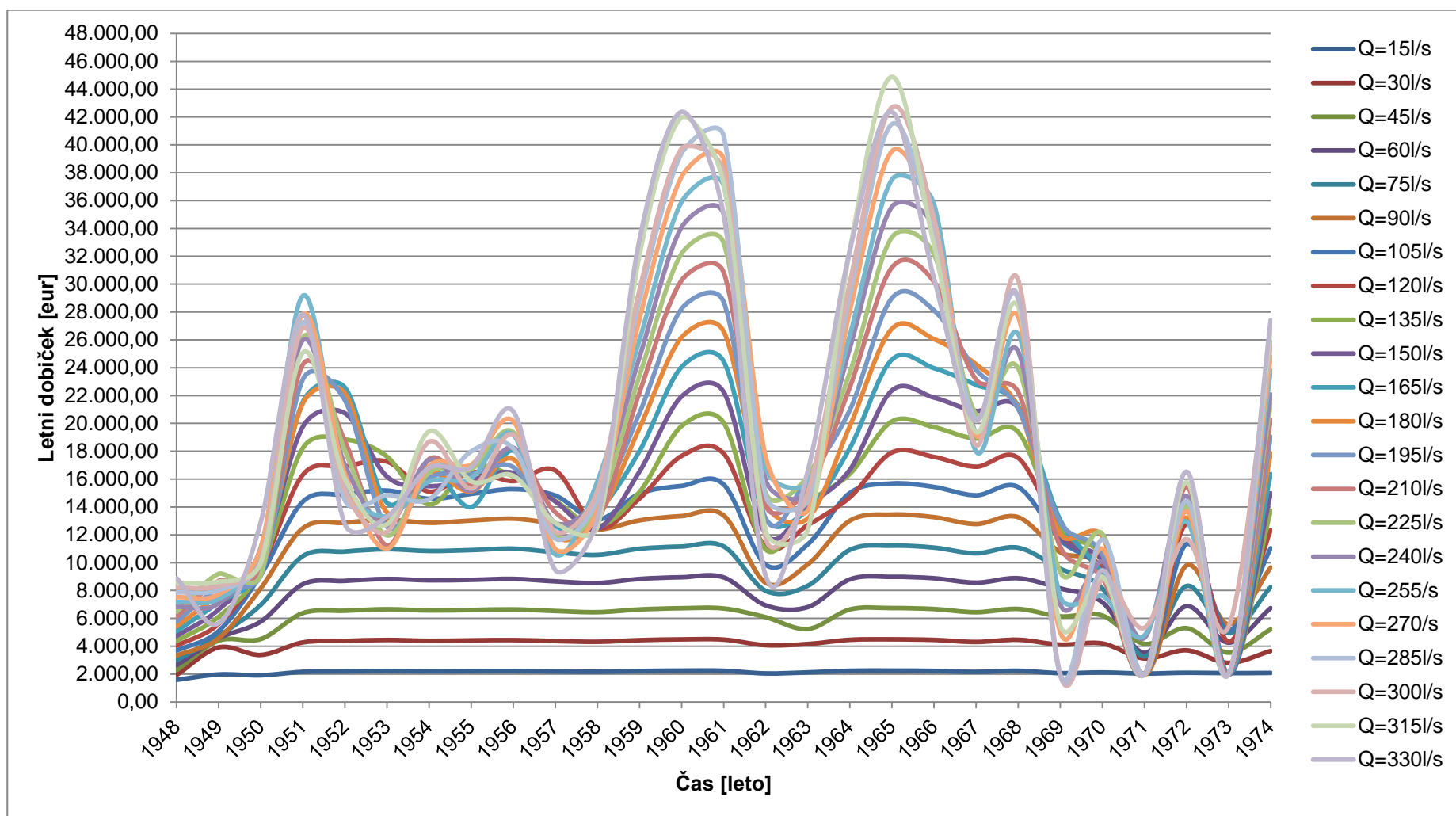
**PRILOGA B : REZULTATI VSEH INSTALIRANIH PRETOKOV PRI IZRAČUNU V VARIANTI 2, KI JE NAREJENA V POGLAVJU 5
OPTIMIZACIJA SISTEMA**



B - 1: Graf letnih prelivov v m³ pri različnih instaliranih pretokih za obdobje 1948 – 1974, ko reguliramo delovanje večje turbine glede na količino vode, ki je v akumulaciji za varianto 2

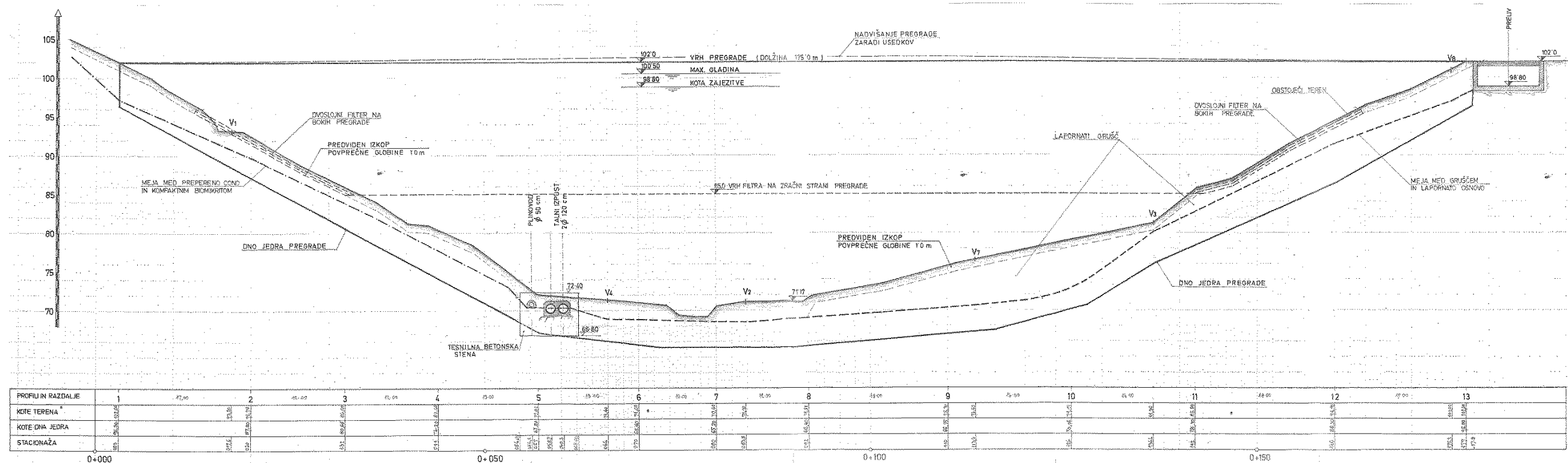


B - 2: Letna proizvodnja energije pri različnih instaliranih pretokih za obdobje 1948 – 1974, ko reguliramo delovanje večje turbine glede na količino vode, ki je v akumulaciji za varianto 2

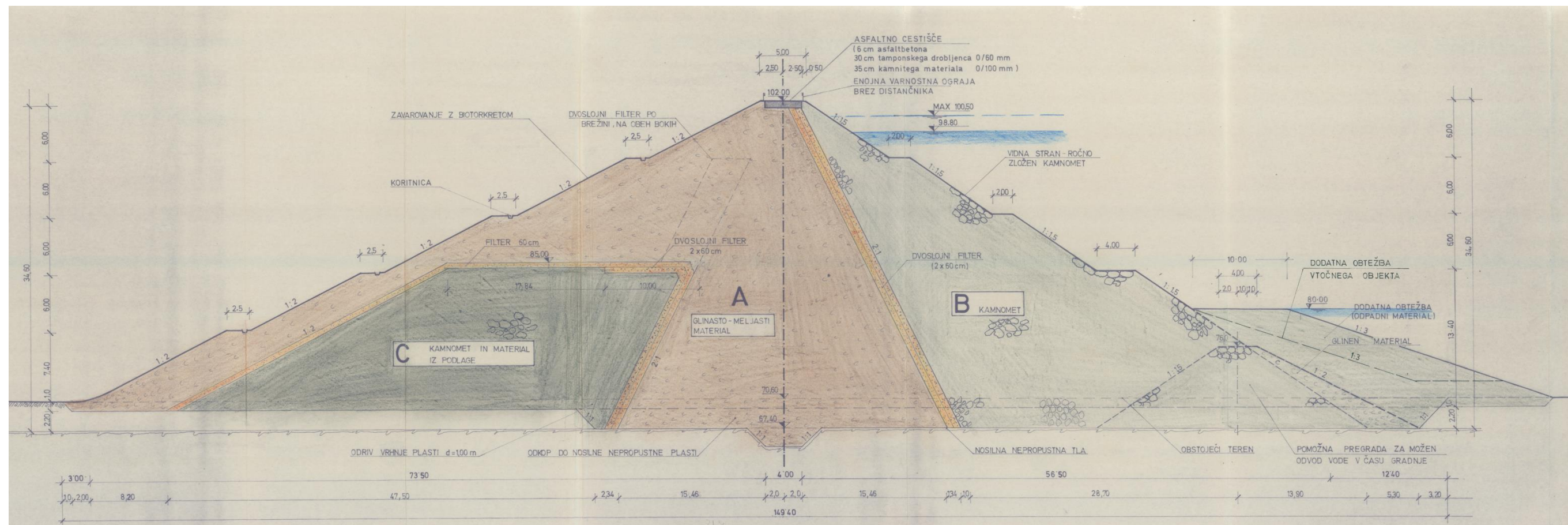


B - 3: Letni dobiček v EUR za različne instalirane pretoke za obdobje 1948 - 1974, ko reguliramo delovanje večje turbine glede na količino vode, ki je v akumulaciji za varianto 2

PRILOGA C : PREREZI PREGRADE

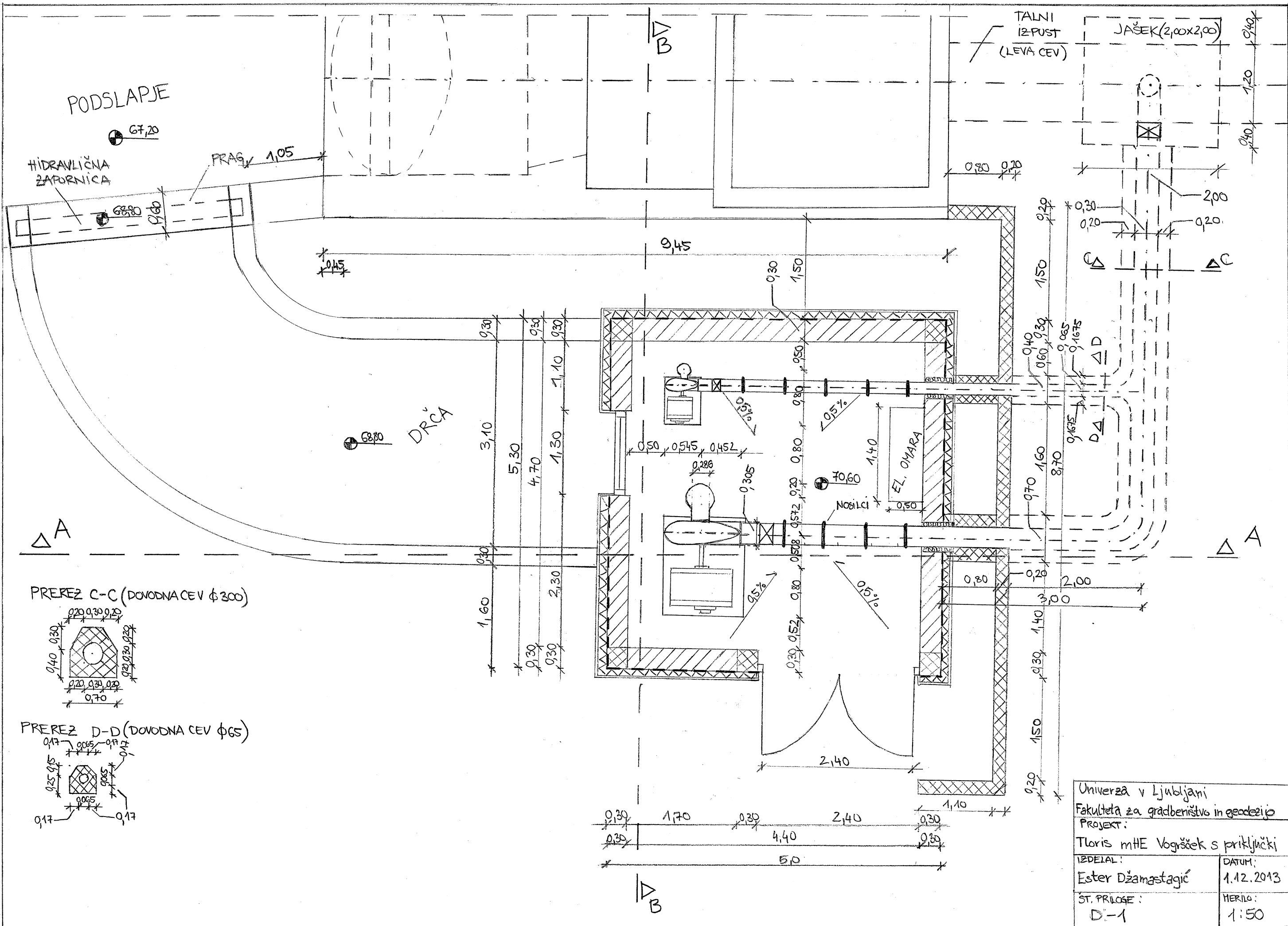


C - 1: Vzdolžni prerez pregrade Vogršček, [6]

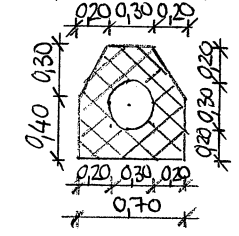


C - 2: Karakterističen prečni prerez pregrade Vogršček, [6]

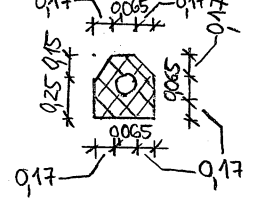
PRILOGA D : NAČRTI IN SITUACIJA mHE



PREREZ C-C (DOVODNA CEV $\phi 300$)

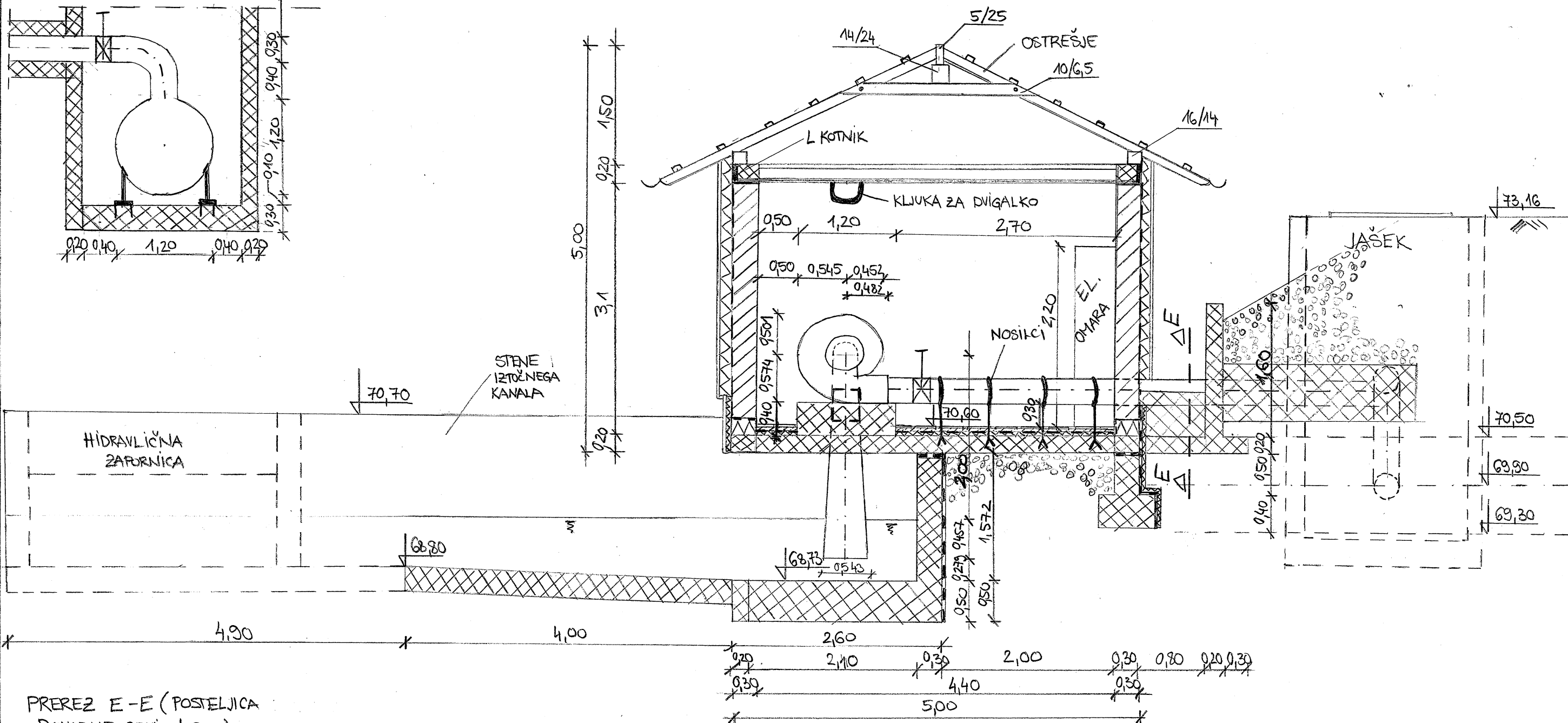
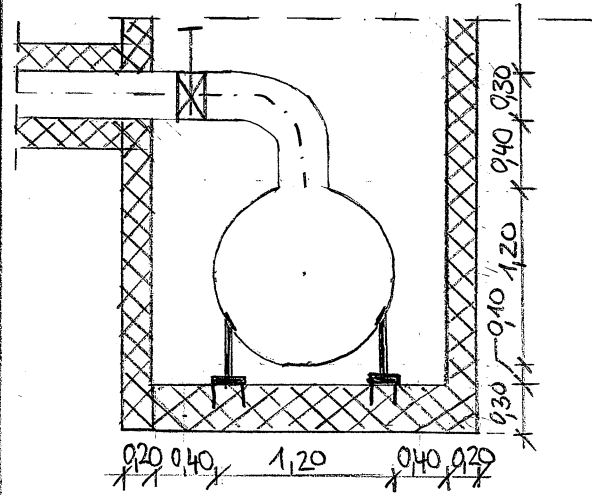


PREREZ D-D (DOVODNA CEV $\phi 65$)

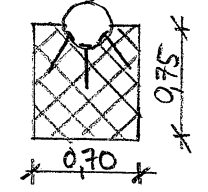


Univerza v Ljubljani	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
Projekt:	
Tloris mHE Vogršček s priključki	
IZDELAL:	DATUM:
Ester Džamastagić	1.12.2013
ST. PRILoge:	VERILO:
D-1	1:50

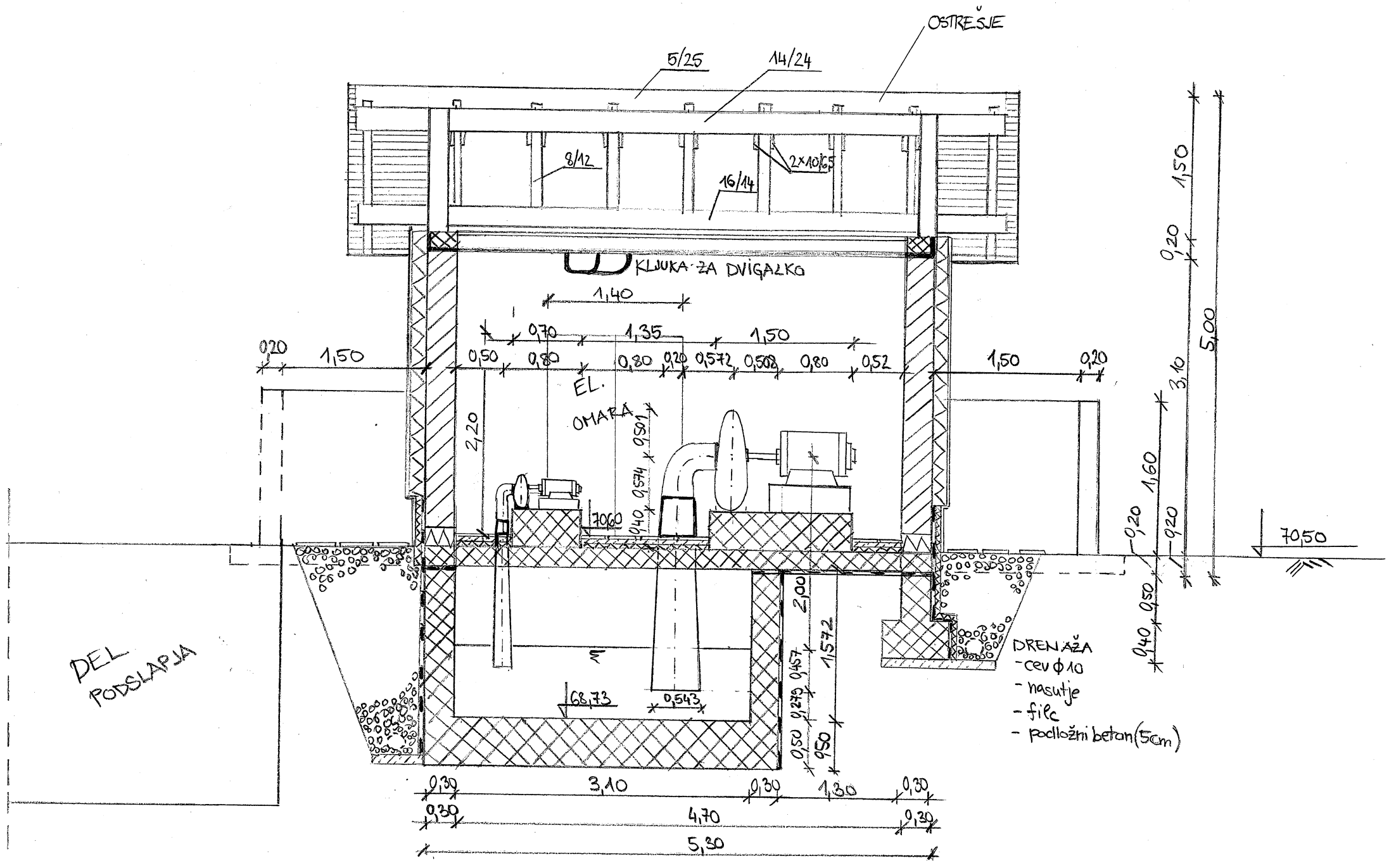
PREREZ JAŠKA (gledano dolvodno)



PREREZ E-E (POSTELJICA DOVODNE CEVI ϕ 300)

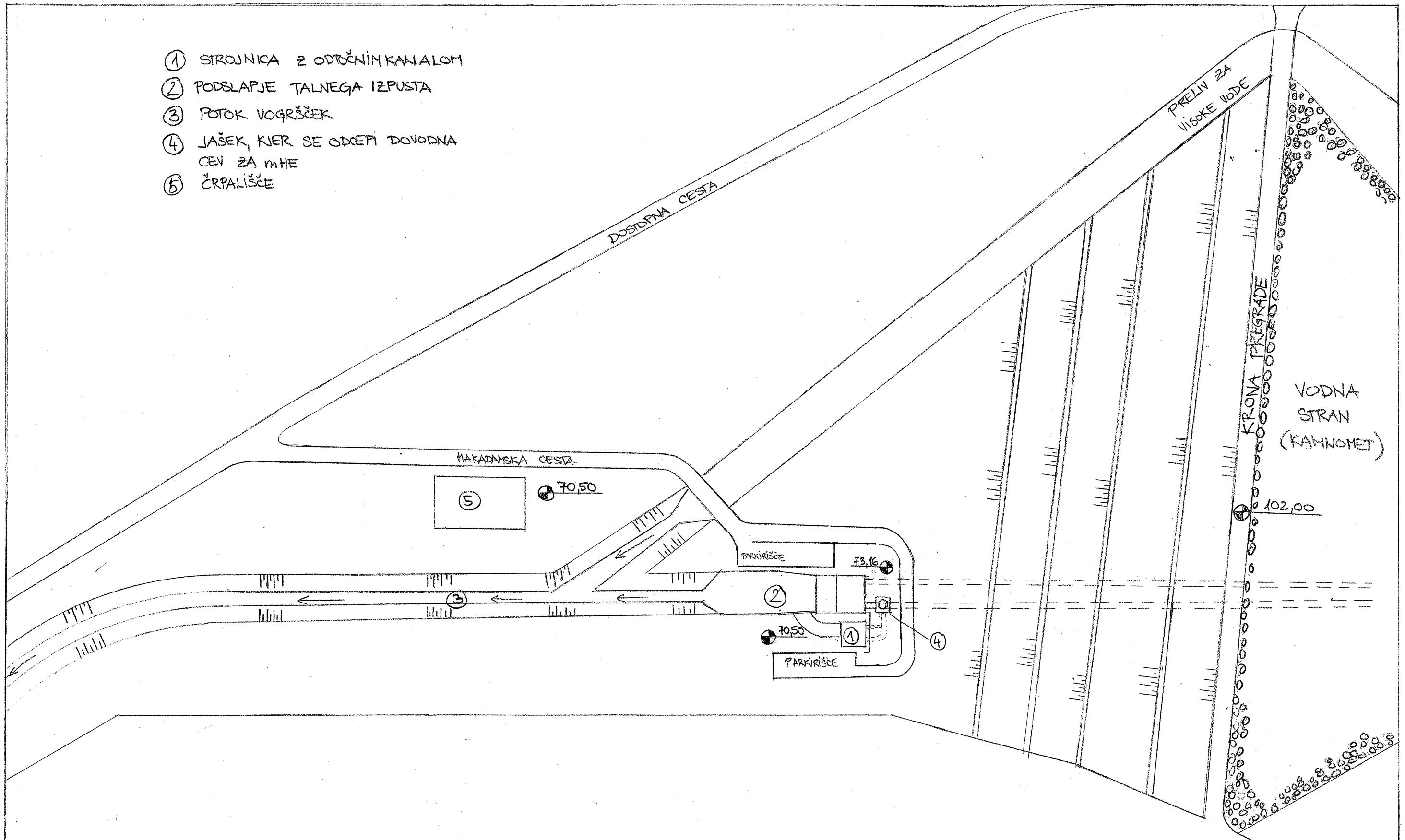


Univerza v Ljubljani	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
PROJEKT:	
Prerez A-A mHE Vogršček	
IZDELAL:	DATUM:
Ester Džamastagić	1.12.2013
ŠT. PRILoge	MERILO:
D-2	1:50



Univerza v Ljubljani	
Fakulteta za gradbeništvo in geodézijo	
PROJEKT:	
Prerez B-B mHE Vogršček	
IZDELAL:	DATUM:
Ester Džamastagić	1.12.2013
ŠT. PRILoge:	MERILO:
D-3	1:50

- ① STROJNICA Z ODOČNIM KANALOM
- ② PODSLAPJE TALNEGA IZPUSTA
- ③ POTOK VOGRŠČEK
- ④ JAŠEK, KJER SE ODREPI DOVODNA CEV ZA MHE
- ⑤ ČRPALIŠČE



Univerza v Ljubljani	
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo	
PROJEKT	
Situacija	
IZDELAL:	DATUM:
Ester Džamastagić	4.12.2013
ŠT. PRILoge	MERILO:
D-4	1:800