

ИЗБОР И ПРОРАЧУН МАШИНСКЕ ОПРЕМЕ ЦРПНЕ СТАНИЦЕ ЗА ДРЕНАЖУ ЕНЕРГЕТСКЕ ГАЛЕРИЈЕ УЗВОДНЕ ГЛАВЕ БРОДСКЕ ПРЕВОДНИЦЕ ХЕ ЂЕРДАП 1
SELECTION AND CALCULATION OF MECHANICAL EQUIPMENT FOR THE PUMP STATION FOR DRAINAGE OF THE ENERGY ROOM OF THE UPSTREAM HEAD OF THE SHIP LOCK OF HPP DJERDAP 1

Петар Ивановић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – МАШИНСТВО

Кратак садржај – У раду је приказан начин избора и хидраулички прорачун машинске опреме црпне станице за дренажу енергетске галерије узводне главе бродске преводнице ХЕ Ђердап 1. Ова црпна станица штити од потапања електро-хидрауличке инсталације сервомотора врата и затварача узводне главе преводнице. У оквиру рада укратко су дате теоријске основе рада пумпи, извршен је хидраулички прорачун, димензионисана је машинска опрема црпне станице и дефинисан је начин аутоматског управљања радом постројења.

Кључне речи: *Потапајуће пумпе, хидраулички прорачун, бродска преводница.*

Abstract – *The paper shows the method of selection and the hydraulic calculation of the mechanical equipment of the pump station for the drainage of the energy room of the upstream head of the ship lock HPP Djerdap 1. The pump station prevents flooding of the electro-hydraulic installations of the servo-drive of the upstream gate and the valve. Within the paper are given brief theoretical background of pump operation, hydraulic calculation, selection of mechanical equipment of the pump station and automatic control of the pump station is specified.*

Keywords: *Submersible pumps, hydraulic calculation, ship lock.*

1. УВОД

Хидроенергетски и пловидбени систем „Ђердап 1“ је комплексан и вишенамјенски објекат изграђен на 943. километру Дунава од ушћа у Црно море. То је највећа хидротехничка грађевина на Дунаву, укупне дужине 1.278 m. Потпуно је симетрична и пројектована тако да свака земља (Србија и Румунија) располаже са истим дјеловима главног објекта: по једном хидроелектраном и бродском преводницом и по 7 преливних поља. Обе хидроелектране су међусобно повезане тако да у случају потребе агрегати електране на српској страни могу да испоручују електричну енергију у мрежу на румунској страни и обратно [1]. Основни технички подаци ХЕ Ђердап 1 (српска страна):

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Слободан Ташин, ванр. проф.

- рачунски нето пад - 25,8 m,
- инсталирани проток – 5040 m³/s,
- укупна активна снага електране – 1140 MW,
- просечна годишња производња - 5.636 GW/h.

Сем хидроелектране хидроенергетски систем Ђердап 1 обухвата и читав низ црпних станица чија је функција да сниже ниво подземних вода узводно од електране. Наиме, изградњом ХЕ Ђердап 1 створен је успор који је потпуно промјенио природан режим подземних вода на приобалном подручју. Због тога је уз ријеку Дунав, све до Новог Сада, изграђен читав низ сервисних бунара са пумпама чија је једина намјена да црпе подземну воду и препумпавају је у Дунав, чиме се обезбјеђује снижавање нивоа подземних вода. Контролом нивоа подземних вода обезбјеђује се пољопривредна производња у приобалним подручјима који би били поплавлени без ових црпних станица.

У склопу објекта ХЕ Ђердап 1 изграђене су две бродске преводнице којима је регулисан пловни саобраћај из акумулације у реку и обратно. Грађење преводница значило је савлађивање висинске разлике од 21 m до 34 m коју одређује доток Дунава и висина бране. Преводнице обе стране бране су двостепене са коморама дужине од по 310 m и ширине 34 m. Преводнице функционишу на принципу изједначавања нивоа у коморама и горње и доње воде. Бочне стране комора чине масивни бетонски зидови, а попречне двокрилне гвоздене капије, од којих је једна увијек затворена. У току једног циклуса преводница може да пропусти (преведе) бродски конвој максималне дужине 290 m и ширине 33 m за 90 минута. По својој величини преводнице на ХЕ Ђердап 1 спадају међу највеће на свјету, веће чак и од преводница на Панамском каналу [5].

2. ТЕХНИЧКО РЈЕШЕЊЕ ЦРПНЕ СТАНИЦЕ ЗА ДРЕНАЖУ ЕНЕРГЕТСКЕ ГАЛЕРИЈЕ

Предмет рада је црпна станица која служи за дренажу процурјеле воде и заштиту од потапања енергетске галерије - коначна експлоатација и МНУ просторије на узводној глави бродске преводнице. Опрема црпне станице смјештена је у одвојеној просторији у склопу просторије МНУ у којој је смјештена електро и хидрауличка инсталација обалних сервомотора врата и затварача узводне главе бродске преводнице. Постојећа црпна станица дренирала је галерију на коти 40,80 m „енергетска галерија – привремена експлоатација“. Ова галерија се више не користи, потопљена је, тако да ће

се новом црпном станицом штити виша „енергетска галерија - на коти 54,00 m“. Постојећа концепција црпне станице, заснована на потапајућим пумпама са моторима на сувом и дугим вратилима смештеним у потисним цјевоводима пумпи – напушта се. Постојеће пумпе се демонтирају, а уместо њих уграђују се нови пумпни агрегати који треба да остваре пројектовани капацитет од по 12 L/s. Постојећи цјевоводи пумпи демонтирају се све до прикључне прирубнице (кота 67,30 m) у плафону цијевне галерије на коти 65,00 m. У реконструисаној црпној станици уграђују се двије пумпе типа ABS JC 54 HD 50 Hz. Пумпе погоне електромотори снаге од по 5,8 kW, номиналне брзине обртања 2850 min^{-1} . Ради се о мобилним, потапајућим пумпним агрегатима намјењеним за дренажу шахтова и других објеката у којима се налазе прљаве и муљевите воде. Нове пумпе су центрифугалне, са полуотвореним радним колом. Процесни прикључак пумпних агрегата је спољашњи цијевни навој 3". На овај прикључак, потребно је надоградити прирубничку везу са прирубницом DN 80, PN 10, према EN 1092-1.

Нове пумпе димензионисане су за заштиту од плавења енергетске галерије на коти 54,00 m.

3. НАЧИН РАДА ЦРПНЕ СТАНИЦЕ И ХИДРАУЛИЧКИ ПРОРАЧУНИ

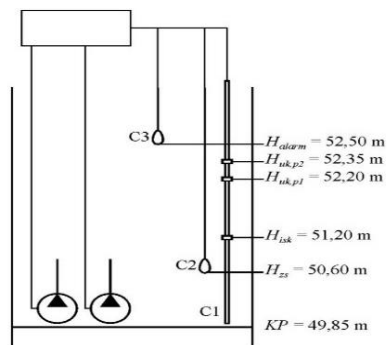
3.1 Референтни нивои црпљења

У црпној станици инсталисане су двије пумпе. Пумпе раде наизмјенично, једна се користи као радна а друга као резервна пумпа. Током експлоатације радна пумпа мијења статус у резервну и тако се успоставља равнотежа радних сати обе пумпе.

По потреби, у екстремним случајевима када радна пумпа нема довољан капацитет да евакуише воду из енергетске галерије обе пумпе могу да раде истовремено у паралелној спреси.

Обе пумпе раде у аутоматском режиму у зависности од нивоа воде у црпилишту али се по потреби могу активирати и деактивирати ручно. Када се систем налази у ручном режиму рада, процедуре за заштиту пумпи од рада на суво остају активне као и прекострујне заштите погонских мотора.

Референтни нивои воде у црпилишту црпне станице, по којима се аутоматски управља радом пумпи дати су на слици 1.



Слика 1. Референтни нивои воде у црпилишту црпне станице

Референтни нивои су:

$H_{uk.p1} = 52,20 \text{ m}$ – ниво стартовања радне пумпе,

$H_{uk.p2} = 52,35 \text{ m}$ – ниво стартовања резервне пумпе,
 $H_{alarm} = 52,50 \text{ m}$ – алармни ниво воде на којем се укључују обе пумпе без обзира на тренутни статус,
 $H_{isk} = 51,20 \text{ m}$ – ниво заустављања обе пумпе,
 $H_{isk.pr} = 40,70 \text{ m}$ – ниво заустављања обе пумпе, привремена експлоатација,
 $H_{zs} = 50,60 \text{ m}$ – ниво воде на којем реагује заштита пумпе од рада на суво,
 $Z_{C0} = 70,20 \text{ m}$ – кота излива потисног цјевовода,
 $KP = 49,85 \text{ m}$ – кота пода галерије на којем су постављене пумпе.

Потребне величине које је неопходно мјерити или регистровати да би се обезбидио аутоматски рад црпне станице су:

1. ниво воде у црпилишту,
 - континуални сигнал о нивоу воде (сонда C1 на сл. 1),
 - сигнал о достизању нивоа заштите пумпи од рада на суво (сонда C2)
 - сигнал о достизању алармног нивоа воде (сонда C3)
2. вријеме рада сваке од пумпи.

3.2 Алгоритам рада црпне станице

У аутоматском режиму рада пумпе у црпној станици се управљају по нивоима воде у црпилишту према следећим процедурама /поступцима

1. Поступак стартовања радне пумпе

Овај се поступак покреће кад ниво воде у црпилишту достигне коту $H_{uk.p1}$ која се детектује преко сонде C1. Достизањем ове коте стартује се радна пумпа.

2. Поступак нормалног заустављања радне пумпе

Овај се поступак покреће кад ниво воде у црпилишту достигне коту H_{isk} која се детектује преко сонде C1. Достизањем ове коте зауставља се радна пумпа односно обе пумпе ако су у погону.

3. Поступак интервентног заустављања радне пумпе

Интервентно заустављање радне пумпе покреће се у случају појаве ниског нивоа воде у црпилишту (заштита од рада на суво) и у случају прегријевања погонских електромотора пумпи..

Заштита од рада на суво се покреће када ниво воде у црпилишту опадне на коту H_{zs} која се детектује преко сонде C2. Радне пумпе се зауставља и може поново да стартује тек када сонда C1 детектује да је ниво воде у црпилишту достигао коту $H_{uk.p1}$ односно када сонда C3 детектује да је достигнут алармни ниво воде H_{alarm} .

Заштита погонског електромотора од прегријевања је решена као прекострујна заштита. Радна пумпа се зауставља и брише са листе радних све док се не изврши интервенција односно не отклони узрок прегријевања мотора.

4. Покретање друге пумпе

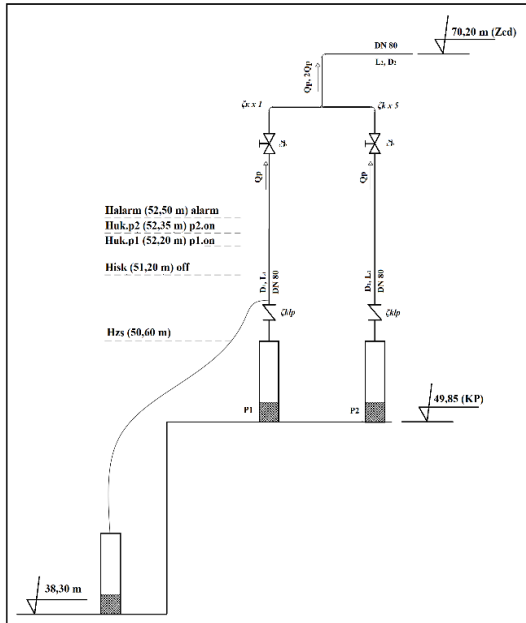
Овај се поступак покреће кад ниво воде у црпилишту достигне коту $H_{uk.p2}$ која се детектује преко сонде C1. Достизањем ове коте покрећу се обе пумпе, без обзира на тренутни статус.

5. Поступак интервентног стартовања пумпи - аларм

Уколико ниво воде у црпилишту достигне коти H_{alarm} , коју региструје сонда С3 (сонда С1 у квару) одмах се у погон укључују обе пумпе.

3.3 Хидраулички прорачун

Хидраулички прорачун за избор пумпи у црпној станици за дренажу енергетске галерије разматран је за случајеве када ради једна пумпа и када раде обе пумпе на галерији на коти $KP = 49,85$ m, као и случај привремене експлоатације када ради једна пумпа на коти $38,30$ m (слика 2).



Слика 2. Шематски приказ црпне станице

Потребан напор пумпних агрегата добија се примјеном енергијске једначине за случај рада једне пумпе (1) и паралелне спреге двије пумпе (2):

$$H_{c.1p} = (Z_C - H_i) + \frac{8Q_2^2}{g\pi^2 d_1^5} \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} + 5\zeta_k + \zeta_{kl} + \zeta_z \right) + \frac{8Q_2^2}{g\pi^2 d_2^5} \left(\lambda_2 \frac{L_2}{d_2} + \zeta_k + 1 \right) \quad (1)$$

$$H_{c.2p} = (Z_{Cd} - H_i) + \frac{8Q_p^2}{g\pi^2 d_1^5} \left(\lambda_1 \frac{L_1}{d_1} + 5\zeta_k + \zeta_{kl} + \zeta_z \right) + \frac{8(2Q_p)^2}{g\pi^2 d_2^5} \left(\lambda_2 \frac{L_2}{d_2} + \zeta_k + 1 \right) \quad (2)$$

где H_i узима одговарајуће вредности нивоа воде у црпилишту на којима се пумпе укључују односно искључују.

Коефицијенти локалних отпора у пумпним цјевоводима имају следеће вриједности [2], [3], [4]:

- кољено DN 80, $R/D = 1,5 - \zeta_k = 0,4$,
- неповратни кугла вентил DN80 - $\zeta_{kl} = 1,5$,
- засун DN 80 - $\zeta_z = 0,3$.

Дужине, пречници, храпавости цјевовода и срачунати коефицијенти тријења при задатом прорачунском протоку од 12 L/s дати су у табели 1.

Потребан напор пумпе при задатом протоку од 12 L/s добија се из једначине (1) за ниво воде H_{isk} на којем се пумпа искључује и износи:

Табела 1. Прорачун линијских губитака у цјевоводима

	L (m)	OD (mm)	Q (L/s)	v (m/s)	e (mm)	λ
Пумпни цјевовод	17	88,9	12	2,12	0,2	0,026
Заједнички цјевовод	15	88,9	12	4,24	0,2	0,025
Допунски цјевовод	10	75	12	2,72	0,2	0,026

$$H_p = 22,4 \text{ m}$$

На основу овако срачунатог потребног напора пумпе усвојена је пумпа „ABS JC 54 HD“ следећих техничких карактеристика.

- проток 12 L/s,
- напор 24,5 m,
- снага мотора 5,8 kW,
- дозвољени број покретања 30/h.

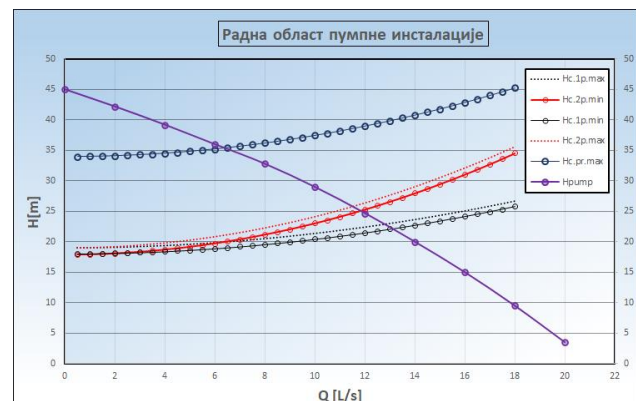
Ради се о мобилним потапајућим пумпним агрегатима који су намијењени за транспорт процурјелих вода, вода које садрже мање механичке нечистоће и муљ, отпадних вода и других које садрже мање количине суспендованих чврстих материјал.

Пумпе су центрифугалне са полуотвореним радним колом. Процесни прикључак пумпе остварује се са спољашњим навојем 3". На овај прикључак се спаја прирубница DN 80 са навојем.

Препоручљиво је да се због саме намјене пумпе врши периодична провјера усисних решетки пумпи једном у 3 мјесеца. Услијед нагомилавања нечистоћа, алги и других материјала на усисној решетки, може доћи до смањења протока те угрожавања саме намјене црпне станице.

На слици 3, приказане су карактеристике цјевовода за све предвиђене експлоатационе радне режиме и радна $Q-H$ карактеристика изабране пумпе.

Пресејци карактеристика цјевовода и $Q-H$ карактеристике пумпе дефинишу радну област изабраних пумпи, односно експлоатационе капацитете црпне станице за дренажу енергетске галерије.



Слика 3. Радна област пумпне инсталације за једну пумпу у погону, двије пумпе у паралелној спрузи и једну пумпу у режиму привремене експлоатације

Са слике 3. може се закључити да ће једна изабрана пумпа у самосталном раду у нормалној експлоатацији остваривати капацитет од око 13 L/s, што је нешто више од захтијеваног капацитета црпне станице.

Двије пумпе у паралелној спрези оствариваће капацитет од $2 \times 11,5 \text{ L/s} = 23 \text{ L/s}$, док ће једна пумпа у режиму привремене експлоатације остваривати проток од минимум 6 L/s (у тренутку искључења).

3.4 Број укључења пумпи на сат

За црпне станице које су предвиђене за црпљење воде из црпилишта дефинисане геометрије, у којима пумпе раде у аутоматском режиму према задатим нивоима воде у црпилишту, потребно је да се изврши прорачун броја укључења пумпе на сат, како би се избегло прегријевање погонског мотора и испад пумпног агрегата из погона.

У наставку се даје прорачун броја укључења изабраних пумпних агрегата у нормалној експлоатацији, када ради једна пумпа и када су на располагању обе пумпе. За референтну запремину црпљења узима се површина црпилишта на мјесту постављања пумпних агрегата и референтна висина црпљења.

- површина црпилишта:

$$A_C = 1,4 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} = 2,24 \text{ m}^2 \quad (3)$$

- референтна висина црпљења (разлика нивоа воде у црпилишту од стартовања до заустављања пумпе):

$$\Delta Z_C = H_{uk,p1} - H_{isk} = 1 \text{ m} \quad (4)$$

- референтна запремина црпљења:

$$V_C = A_C \Delta Z_C = 2.24 \text{ m}^3. \quad (5)$$

Укупно трајање једног циклуса између два укључења пумпе једнако је збиру вријемеа потребног да пумпа у погону испразни запремину црпљења и вријемеа потребног да се та запремина поново напуни дотоком q :

$$T(q) = t_1(q) + t_2(q) \quad (6)$$

Вријеме прањњења запреmine црпљења се рачуна као

$$t_1(q) = \frac{V_c}{Q_c - q}. \quad (7)$$

а вријеме пуњења запреmine црпљења као:

$$t_2(q) = \frac{V_c}{q}. \quad (8)$$

гдје q представља рачунски доток воде у запремину црпљења који је дат у интервалу од 0 до 12 L/s .

Број укључења пумпи на сат зависи од броја расположивих пумпи. У конкретном случају на располагању може бити само једна пумпа (друга у квару) или обе које се наизмјенично укључују и искључују.

Према томе, максималан број укључења пумпи на сат је (једна пумпа на располагању):

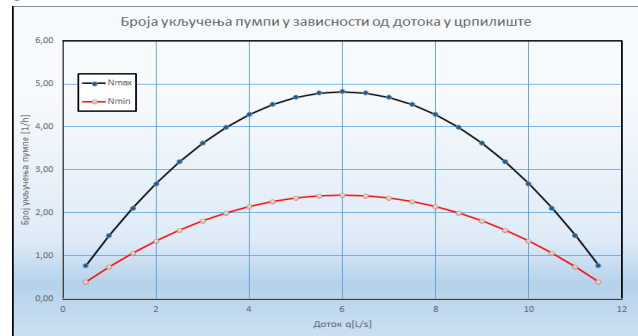
$$N_{Cmax}(q) = \frac{1}{T(q)}. \quad (9)$$

а минималан (две пумпе у цикличном раду):

$$N_{Cmin}(q) = \frac{1}{2T(q)}. \quad (10)$$

Резултати прорачуна броја укључења пумпи на сат у функцији дотока воде у црпилиште црпне станице дати су на слици 4. Као што се може закључити,

највећи број укључења пумпи на сат може се очекивати у случају да је доток воде у црпилиште једнак отприлике половини капацитета једне пумпе у погону. Тако када је на располагању само једна пумпа, број укључења на сат не прелази 5, а у случају да су на располагању обе пумпе број укључења је мањи од 3 на сат.



Слика 4. Број укључења пумпи на сат

4. ЗАКЉУЧАК

Предмет рада био је избор и прорачун машинске опреме црпне станице за заштиту од плављења енергетске галерије узводне главе бродске преводнице ХЕ Ђердап 1.

На бази дефинисаних нивоа воде у црпилишту црпне станице, коте изливног цјевовода и потребног капацитета црпне станице извршено је најпре димензионисање пумпних цјевовода а затим и хидраулички прорачун за избор пумпних агрегата. Изабране пумпе остварују нешто већи капацитет од потребног, што је на страни сигурности постројења.

Коначно, за дефинисану геометрију црпилишта извршен је прорачун броја укључења пумпних агрегата на сат у циљу провјере опасности од прегријевања погонских мотора.

На основу извршених прорачуна може се закључити да изабрани пумпни агрегати задовољавају све техничке захтеве за поуздану заштиту енергетске галерије узводне главе бродске преводнице ХЕ Ђердап 1.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] https://www.eps.rs/lat/djerdap/Stranice/he_djerdap1.aspx
- [2] Idelchik, I. E.: Handbook of Hydraulic Resistance, Sprigner-Verlag, Berlin, 1976.
- [3] Miller, D. S.: Internal Flow Systems, BHRA Fluid Engineering, 1986.
- [4] Каталогизација произвођача.
- [5] www.eps.rs/lat/djerdap/Stranice/brodske_prevodnice.aspx

Кратка биографија:



Петар Ивановић рођен је у Брчком 1997. Мастер рад на Факултету Техничких Наука из области Енергетике и процесне техника, модул - гасна и нафтна техника, одбранио је 2024. године. контакт: kinez.p.i@gmail.com