

# KAPITALNI REMONT AGREGATA "B" U HIDROELEKTRANI ĐALE

---

**Grubišić, Ante**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:562559>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Specijalistički diplomski stručni studij elektrotehnike

**ANTE GRUBIŠIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**KAPITALNI REMONT AGREGATA "B" U  
HIDROELEKTRANI ĐALE**

Split, kolovoz 2020.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Specijalistički diplomski stručni studij elektrotehnike

**Predmet:** Upravljanje energetske sustavima

**ZAVRŠNI RAD**

**Kandidat:** Ante Grubišić

**Naslov rada:** Kapitalni remont agregata "B" u hidroelektrani Đale

**Mentor:** mr. sc. Zdravko Jadrijević, dipl. ing. el.

Split, kolovoz 2020.

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| Sažetak .....                                       | 1  |
| Summary .....                                       | 1  |
| 1. UVOD .....                                       | 2  |
| 2. TEHNIČKI DETALJI HE ĐALE .....                   | 3  |
| 2.1. Podjela hidroelektrana .....                   | 3  |
| 2.2. Karakteristike HE Đale .....                   | 5  |
| 3. ULOGA HE ĐALE U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU ..... | 9  |
| 3.1. Hrvatski elektroenergetski sustav .....        | 10 |
| 3.2. HE Đale u elektroenergetskom sustavu .....     | 13 |
| 4. REMONT AGREGATA "B" .....                        | 20 |
| 4.1. Remont generatora .....                        | 21 |
| 4.1.1. Postupak rastavljanja generatora .....       | 23 |
| 4.2. Remont turbine .....                           | 36 |
| 4.2.1. Demontaža i montaža dijelova turbine .....   | 38 |
| 5. ZAKLJUČAK .....                                  | 45 |
| LITERATURA .....                                    | 46 |
| POPIS SLIKA .....                                   | 48 |
| POPIS TABLICA .....                                 | 50 |

## **Sažetak**

### **Kapitalni remont agregata "B" u hidroelektrani Đale**

Hidroelektrana (HE) Đale pri normalnom radu u funkciji ima dva agregata A i B pojedinačne snage 20,4 MW. U ovom radu je prikazan kapitalni remont agregata B koji se vršio u hidroelektrani Đale. Uz sami remont kroz rad se spominju tehnički detalji HE Đale te uloga u elektroenergetskom sustavu. Remont se vrši svakih 15 do 20 godina. S obzirom na dotrajalost pojedinih dijelova rastavljaju se generator i turbina. Trajanje remonta je oko 9 mjeseci te se nakon obavljenih radova agregat B ponovno vraća u pogon.

**Ključne riječi:** hidroelektrana, agregat, generator, turbina, ...

## **Summary**

### **Capital reconstruction of unit "B" in the hydroelectric power plant Đale**

Hydroelectric power plant (HPP) Đale in normal work has two machines A and B with an individual capacity of 20,4 MW. This paper presents the capital reconstruction of machine B that was preformed in the hydroelectric power plant Đale. Except of reconstruction, the tehncial details of HPP Đale and the role in the power system are mentioned in this paper. Reconstruction are done every 15 to 20 years. Due to the dilapidation of individual parts, the generator and the turbine are disassembled. The duration of the reconstruction is about 9 months and after the work is completed, the machine B is put back into work.

**Keywords:** hydroelectric power plant, machine, generator, turbine, ...

## 1. UVOD

Izgradnjom HE Đale, oko 6 km nizvodno od mjesta Trilja iskorišten je energetska potencijal rijeke Cetine između Sinjskog polja i akumulacije Prančevići. Proizvodnja električne energije pridonosi samom potencijal Cetine te već regulirane vode sliva.

Hidroelektrana spada u skupinu pribranskih postrojenja. Brana se sastoji od strojarnice, smještene na njenom desnom boku u evakuacijskog objekta sa slapištem na lijevom boku brane. Evakuacijski objekt ima jedno preljevno polje i dva temeljna ispusta [1]. U strojarnici su smještene dva agregata s Kaplan turbinama. U desnom boku strojarnice nalazi se rasklopno postrojenje 110 kV izvedeno u tropolnoj izoliranoj SF<sub>6</sub> izvedbi.

Kroz ovaj rad će se detaljno opisati kapitalni remont agregata B u HE Đale. Remont će biti prikazan kroz demontažu i montažu generatora i turbine. Prije nego što krene demontaža potrebno je zaustaviti agregat te zatvoriti lopatice radnog kola i privodnog aparata. Agregat se zaustavlja bez kočenja oko 40 sekundi do pada broja okretaja 30% nominalnog. Koči se aktiviranjem generatorskih kočnica 20 sekundi trajno do potpunog zaustavljanja.

Nakon što se to obavilo zatvara se dotok vode, određena količina koja ostaje unutra isušuje se kroz odovode i montira se skela da bi se moglo krenuti s radovima. Tijekom remonta posebna pažnja se obratila pri demontaži generatora gdje se vadi najveći i najteži dio a to je rotor.

## **2. TEHNIČKI DETALJI HE ĐALE**

Hidroelektrane (HE) su električne centrale koje pomoću vodenih turbina pretvaraju potencijalnu energiju vode u kinetičku i mehaničku, koja se dalje koristi za vrtnju električnog generatora [2]. Koriste se kao višenamjenska postrojenja koja uz proizvodnju električne energije služe za navodnjavanje, odvodnju, obranu od poplava, opskrbu vodom. Glavni dijelovi HE su: hidrotehnički sustavi dobave i odvodnje vode, hidroagregat, generator, sustav transformacije energije prema elektroenergetskom sustavu kao i svi prateći sustavi koji osiguravaju siguran i pouzdan rad HE [3]. Imaju mogućnost predviđanja proizvodnje energije u budućem razdoblju te spadaju u skupinu obnovljivih električnih izvora što omogućuje bolje planiranje i optimizaciju proizvodnje električne energije u kombinaciji s drugim izvorima energije. Kod pokretanja turbine voda dolazi kroz provodni dio gdje se stvara određena brzina te ulazi kroz privodne lopatice i pada na lopatice turbine preko kojih se turbina počinje okretati. Vratilo turbine prenosi mehaničku energiju do generatora gdje se pretvara u elektromagnetskom polju u električnu energiju.

U HEP Proizvodnji d.o.o., Sektor za hidroelektrane je zbog optimalnog iskorištavanja vodnih potencijala slivova proveo daljinsko vođenje, nadzor i upravljanje nad radom hidroelektrana pojedinog sliva kroz centre proizvodnje [3]. Centri proizvodnje su u funkciji za HE na Dravi (Centar proizvodnje Sjever) i za HE u Dalmaciji uključujući HE Dubrovnik (Centar proizvodnje Dalmacija), a pri kraju izgradnje je i Centar proizvodnje Zapad [3].

### **2.1. Podjela hidroelektrana**

Prema načinu rada hidroelektrane se dijele na protočne, akumulacijske i reverzibilne. Protočne hidroelektrane nemaju uzvodnu akumulaciju te se njihov sadržaj akumulacije isprazni za manje od 2 sata rada nazivnom snagom tj. za pokretanje turbine izravno se koristi kinetička energija vode. Prednost takvih hidroelektrana je jednostavna izgradnja te smanjen utjecaj na okoliš i nemogućnost dizanja podzemnih voda. Mane su to što proizvodnja energije ovisi o trenutnom protoku vode. Primjer protočne hidroelektrane je HE Đale prikazana na slici 2.1.

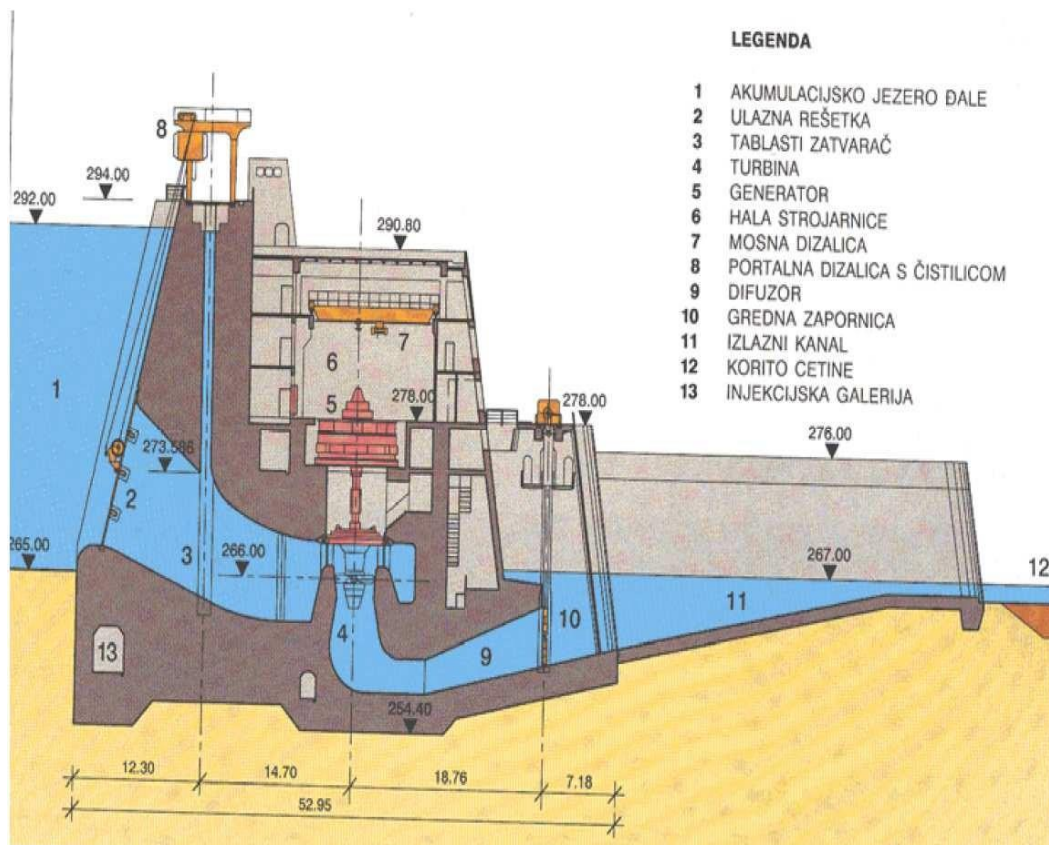


Slika 2. 1. HE Đale [15]

Najčešći način pretvaranje energije vode u električnu energiju su upravo akumulacijske hidroelektrane. Funkcioniraju tako da potencijalna energija dolazi do akumulacijskog jezera gdje se nalazi brana i zatim se odvodi do vodne turbine preko koje se prenosi ta energija na generator u kojem se vrši transformacija u električnu energiju te dalje šalje u mrežu. U ljetnim razdobljima kada tijekom suše dotok vode postane premali javljaju se problemi kod tih hidroelektrana te se brana mora zatvoriti radi održavanja biološkog minimuma.

Akumulacijske hidroelektrane mogu biti s dnevnom, tjednom, mjesečnom, sezonskom, godišnjom i višegodišnjom akumulacijom. S obzirom na smještaj strojnice dijele se na pribranske i derivacijske. Derivacijska hidroelektrana je vrsta akumulacijske hidroelektrane kod koje se strojnica nalazi na određenoj udaljenosti tj. nizvodno od brane te se voda do strojnice dovodi posebnim cijevima, dok se kod pribranske hidroelektrane strojnica nalazi u samoj pregradnoj brani. HE Đale pripada skupini pribranskih hidroelektrana što se može vidjeti prema položaju strojnice na slici 2.2.





Slika 2. 2. Presjek pribranske HE Đale [2]

Reverzibilne hidroelektrane su karakteristične po tome što se kod njih voda iz donjeg akumulacijskog jezera pumpa i tako vraća u gornje akumulacijsko jezero. Taj proces se odvija noću kada je potrošnja energije manja i dobiva se razlika cijene struje više i niže tarife. Gledajući s energetske strane reverzibilne hidroelektrane nisu najbolje rješenje za proizvodnju električne energije, ali se s njima može popuniti dnevna potrošnja.

## 2.2. Karakteristike HE Đale

Gradnja HE Đale započeta je u prosincu 1984. godine i trajala je 5 godina. Hidroelektrana je izgrađena kao pribransko postrojenje s armirano betonskom gravitacijskom branom dužine 110 m koja formira akumulacijski bazen zapremnine 2,3 milijuna m<sup>3</sup> vode. Nizvodno od brane nalazi se kompenzacijski bazen Prančevići volumena 6,8 milijuna m<sup>3</sup> vode. Na lijevom boku se nalazi evakuacijski objekt koji ima jedno preljevno polje i dva temeljna

ispusta, dok se na desnom boku nalazi strojarnica. Preljevno polje je dužine 20 m prikazano na slici 2.3. Sadrži ispušnu klapnu oblika riblji trbuh čelične konstrukcije dužine 20 m, koja stvara visinu uspora 3 m te kota preljevnog praga iznosi 289,00 m n.m. Ispušna klapna kod preljevnog polja ima maksimalni protok  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dijelovi hidrauličkog pogona klapne su: pokazivač položaja, hidraulički cilindar, postolja cilindra i hidrauličkog agregata. Hidraulički cilindar je jednostrano radni (podizanje klapne) dok se klapna spušta vlastitom težinom i vodnim opterećenjem [1].

Tehničke karakteristike hidrauličnog cilindra:

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| - sila dizanja      | 850 kN      |
| - promjer klipa     | 300 mm      |
| - promjer klipnjače | 110 mm      |
| - radni hod klipa   | 5080 mm     |
| - max hod klipa     | 5200 mm     |
| - radni tlak        | 160 bar [1] |

Pomoću hidrauličkog agregata vrši se pogon cilindra klapne. Hidraulički agregat sastoji se od sljedećih dijelova:

|   |   |
|---|---|
| - uljnog rezervoara kapaciteta 250 litara |   |
| - dvije crpke sljedećih karakteristika:   |   |
| - protok crpke                            | $Q1 = Q2 = 22 \text{ l/min}$                        |
| - radni tlak                              | 160 bara  |
| - snaga elektromotora                     | $N1 = N2 = 7,5 \text{ kW}, 380\text{V}/50\text{Hz}$ |
| - ručna crpka protoka                     | $22 \text{ cm}^3/\text{ciklus}$                     |
| - ventili za regulaciju tlaka             |   |
| - ventili za regulaciju protoka           |   |
| - 4/3 elektromagnetni razvodni ventil     |   |
| - nepovratni ventili, manometri           | [1]   |



Slika 2. 3. Preljevno polje [15]

Temeljni ispusti koji se nalaze ispod preljevno polja su veličine 5,25 x 5,25 m s kotom praga 267,00 m n.m i opremljeni su tablastim regulacijskim zatvaračima pomoću kojih se zatvaraju. Hidraulički agregati omogućuju manipulaciju sa regulacijskim zatvaračima koji služe za reguliranje protoka kroz temeljni ispust. Sastavni dijelovi hidrauličkog agregata su uljni rezervoar koji ima zapremninu od 400 litara i dvije crpke. Crpke imaju protok od 35 litara u jednoj minuti uz radni tlak od 160 bara. Uz te zatvarače nalaze se pomoćni zatvarači koji služe za zatvaranje temeljnog ispusta kada se vrši pregled i popravak regulacijskih zatvarača. Ukupni kapacitet evakuacijskog objekta, preljeva i temeljnih ispusta iznosi 1000 m<sup>3</sup>/s [1].

Strojarnica koja se nalazi u desnoj strani brane opremljena s dva agregata. Agregati su pojedinačne snage 20,4 MW s Kaplan turbinama što daje hidroelektrani ukupnu instaliranu snagu 40,8 MW. Instalirani protok koji prolazi kroz Kaplan turbine iznosi  $2 \times 110 = 220$

m<sup>3</sup>/s, a instalirani neto pad je 21 m. Između agregata A i B nalaze se spremnici tlačnog ulja prikazani na slici 2.3 koji se nadopunjavaju pomoću dva visokotlačna kompresora. Kompresori su marke Becker Shone SV 1101/120 klipni s tri stupnja i prisilnim zračnim hlađenjem. Bijela boja na spremnicima označava razinu zraka, a ljubičasta razinu ulja.



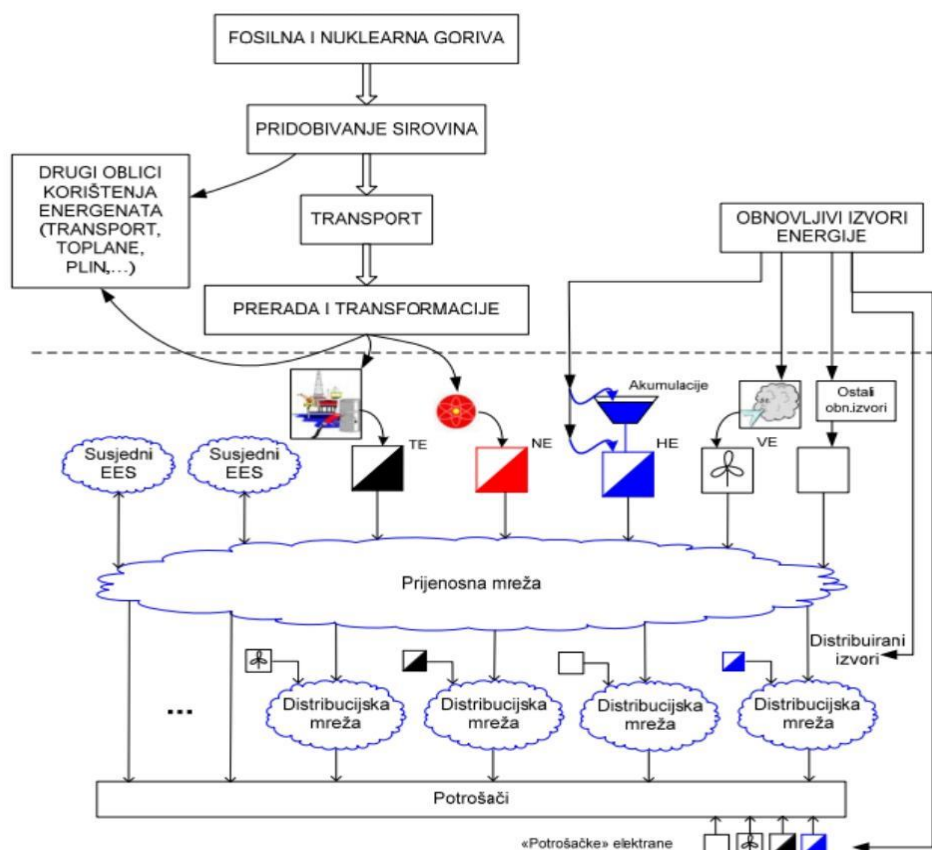
Slika 2. 4. Spremnici tlačnog ulja [15]

### 3. ULOGA HE ĐALE U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU

Elektroenergetski sustav (EES) je složeni tehničko-tehnološki sustav koji obuhvaća proizvodnju, prijenos, raspodjelu i potrošnju električne energije jedne zemlje ili nekog područja [4]. Sastoji se od prijenosne mreže, distribucijske mreže, elektrana i potrošača. Spada u skupinu najvećih i najskupljih tehničkih sustava. Glavni zadatak EES-a je omogućiti potrošačima nesmetanu opskrbu električnom energijom. S obzirom na to da potrošnja energije u svako doba nije jednaka potrebno je razinu proizvodnje neprekidno izjednačavati s potrebama potrošnje što dodatno otežava funkcioniranje sustava.

Osim isporuke električne energije bitna je i kvaliteta električne energije što podrazumijeva izjednačavanje frekvencije i napona. Velika odstupanja tih dviju veličina od nazivnih vrijednosti mogu stvoriti poteškoće potrošačima te prekid opskrbe električnom energijom. EES neke zemlje je povezan sa susjednim zemljama u slučaju prekida napajanja unutar vlastitog sustava postoji mogućnost opskrbe stranim sustavom. Međusobna povezanost osigurava ekonomičnost sustava, redovitu opskrbu i kvalitetu električne energije.

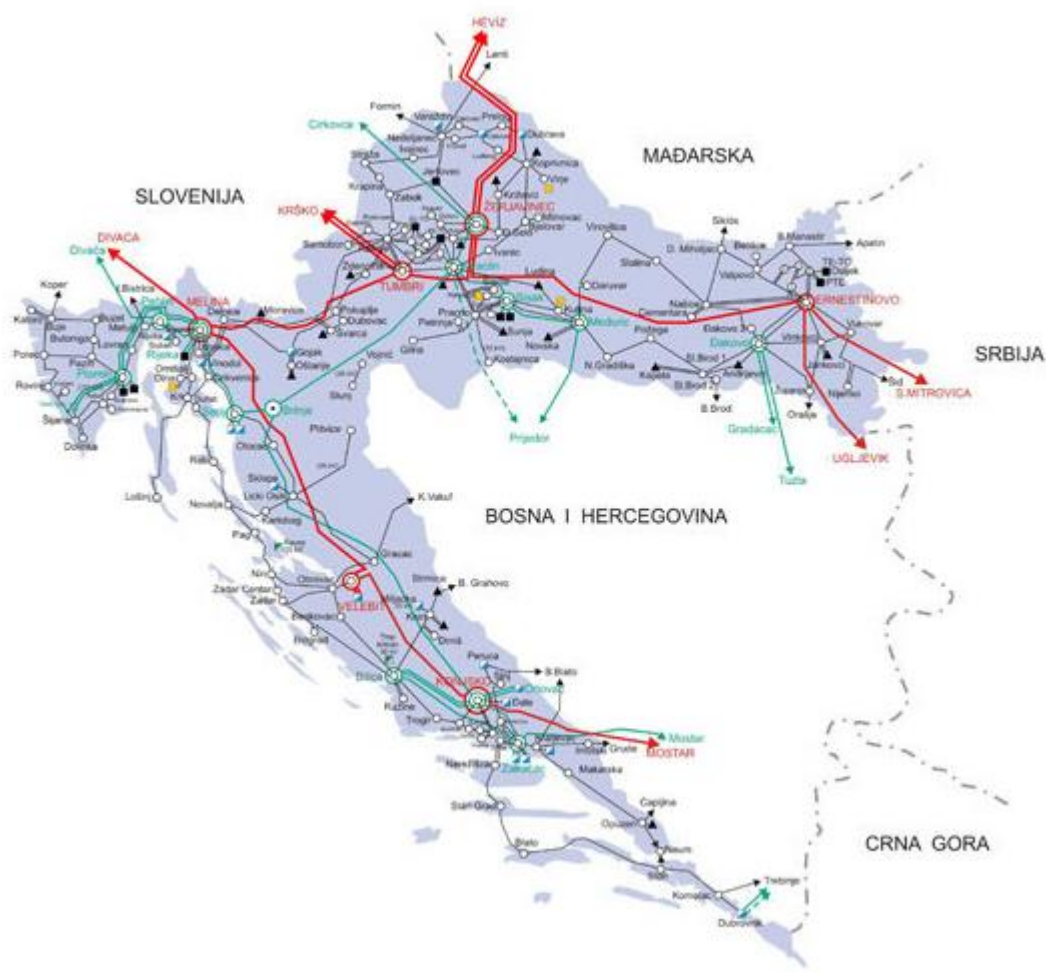
Kako bi se optimalno ispunile zadaće sustava, na osnovi prikupljenih obavijesti izrađuju se vozni redovi elektrana, tj. određuje se koje će elektrane biti u pogonu, njihov način rada, koja će od elektrana regulirati frekvenciju, kako će se osigurati jednolikost napona, po potrebi smanjiti potrošnja, razina razmjene energije između državnih sustava itd [4]. Upravljanje i nadzor EES-a vrši se u dispečerskom centru. Upravljanje i nadzor pogona su automatizirani, potpomognuti podsustavima procesne informatike, telekomunikacija, električne zaštite i mjerenja [4]. Na slici 3.1 prikazani su izvori energije i elektroenergetski sustav.



Slika 3. 1. Izvori energije i elektroenergetski sustav [5]

### 3.1. Hrvatski elektroenergetski sustav

Hrvatski elektroenergetski sustav čine proizvodni objekti i postrojenja, prijenosna i distribucijska mreža i potrošači električne energije na području Republike Hrvatske [6]. Pripada skupini manjih elektroenergetskih sustava unutar Europe, a njegova instalirana snaga iznosi oko 4468 MW. U vlasništvu Hrvatske elektroprivrede (HEP) je ukupna instalirana snaga elektrana 3817 MW, od čega se 2136 MW proizvede u hidroelektranama i 1681 MW u termoelektranama. Manji udio u instaliranoj snazi čini 210 MW proizvedenih u industrijskim elektranama i 93 MW u vjetroelektranama. Hrvatski EES prikazan na slici 3.2 je povezan s članovima europske mreže operatora prijenosnih sustava koju čine 43 operatora prijenosnog sustava električne energije iz 36 različitih zemalja unutar Europe. Zajedno sa slovenskim EES-om i EES-om Bosne i Hercegovine čini upravljački blok SLO – HR – BIH [6]. Na shemi hrvatskog EES-a crvenom linijom je označen 400 kV vod, plava linija je 220 kV vod i siva linija predstavlja 110 kV vod.



Slika 3. 2. Shema hrvatskog elektroenergetskog sustava [7]

Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) obavlja energetske djelatnosti prijenosa električne energije, proizvedene u Hrvatskoj ili uvezene iz inozemstva, hrvatskim kupcima ili kupcima u drugim zemljama te tranzit električne energije preko prijenosne mreže hrvatskog elektroenergetskog sustava [6]. Da bi se uspješno i kvalitetno proveo prijenos električne energije potrebno je učinkovito vođenje hrvatskog EES-a kao cjeline te usklađivanje rada elektroenergetskog sustava sa susjednim sustavima. Upravljanje i vođenje hrvatskog EES-a se vrši iz Nacionalnog dispečerskog centra (NDC) u Zagrebu. Uz prijenos električne energije HOPS provodi koordinaciju uvoza i izvoza svih drugih oblika razmjene električne energije te provodi planiranje potrošnje i proizvodnje električne energije. Planiranje rada EES-a može biti dugoročno, srednjoročno i kratkoročno.

Dugoročno planiranje obuhvaća:

- izradu dugoročnih predviđanja potrošnje električne energije u funkciji planiranja razvoja prijenosne mreže,
- prepoznavanje i istraživanje mogućih slabih točaka u EES-u i odabir tehničkih rješenja za njihovo otklanjanje [6].

Srednjoročno planiranje obuhvaća:

- koordinaciju izrade plana održavanja prijenosnih postrojenja i davanje suglasnosti na plan održavanja proizvodnih postrojenja,
- izradu plana podfrekvencijskog rasterećenja EES-a,
- izradu plana ograničenja potrošnje električne energije kod velikih poremećaja u EES-u ili nedostatne dobave električne energije,
- izradu plana ponovne uspostave EES-a [6].

Kratkoročno planiranje obuhvaća:

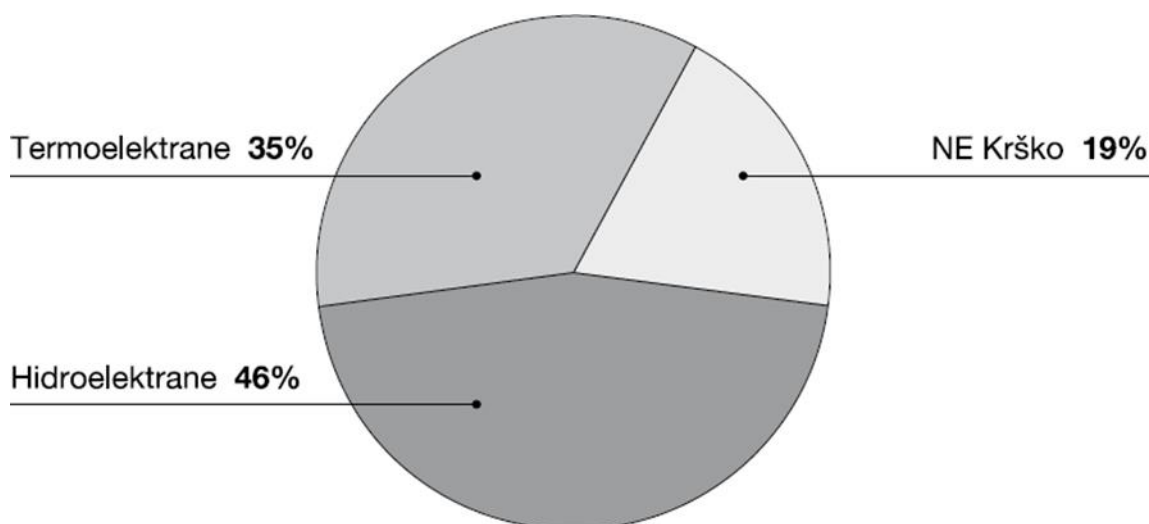
- pripremu tehničkih podloga za operativno vođenje EES-a za sljedeći dan,
- izdavanje suglasnosti o tehničkoj izvodljivosti Tržišnog plana i sklopnih operacija u mreži,
- izradu Plana rada sustava [6].

Vođenje hrvatskog EES-a se temelji na principu 1+4, jednog glavnog i četiri sporedna centra vođenja. Glavni centar NDC kao što je već spomenuto prije se nalazi u Zagrebu i od tu se vrši planiranje i analiza rada EES-a te vođenje u stvarnom vremenu. Ostala četiri mrežna centra su smještena u Rijeci, Splitu, Osijeku te jedan u Zagrebu.



### 3.2. HE Đale u elektroenergetskom sustavu

Hidroelektrane s obzirom na ulogu u elektroenergetskom sustavu se mogu podijeliti na vršne i temeljne. Vršne hidroelektrane su hidroelektrane koje se uključuju prema potrebi i služe za pokrivanje vršne potrošnje dok temeljne hidroelektrane rade cijelo vrijeme i prilagođene su stalnom opterećenju. HE Đale pripada temeljnim hidroelektranama koje su uvijek u pogonu i šalju proizvedenu energiju u elektroenergetsku mrežu. Za podmirenje potrošnje električne energije unutar hrvatskog EES-a najviše proizvodnjom doprinose hidroelektrane što je prikazano na slici 3.3.



Slika 3. 3. Proizvodnja energije u hrvatskom EES-u [8]

U nastavku su prikazane u tablici 3.4 hidroelektrane unutar hrvatskog EES-a čiji je vlasnik HEP Proizvodnja d.o.o. Jedna od tih hidroelektrana je HE Đale koja je također navedena u tablici.

Tablica 3. 1 Hidroelektrane unutar Hrvatskog EES-a [9]

| Ime elektrane         | Odobrena priključna snaga (MW) | Broj agregata | Priključni napon (kV) |
|-----------------------|--------------------------------|---------------|-----------------------|
| Protočne HE           | 417,00 MW                      |               |                       |
| Varaždin              | 95                             | 3             | 110                   |
| Čakovec               | 79                             | 4             | 110                   |
| Dubrava               | 80                             | 5             | 110                   |
| Rijeka                | 38                             | 2             | 110                   |
| Gojak                 | 56                             | 3             | 110                   |
| Kraljevac             | 45                             | 3             | 110*                  |
| Miljacka              | 24                             | 4             | 35                    |
| Akumulacijske HE      | 1 386,2 MW                     |               |                       |
| Vinodol               | 91                             | 3             | 110                   |
| Senj                  | 219                            | 3             | 220 i 110             |
| Sklope                | 24                             | 1             | 110                   |
| Lešće                 | 45                             | 2             | 110                   |
| Orlovac               | 240                            | 3             | 220                   |
| Peruća                | 61,2                           | 2             | 110                   |
| Đale                  | 42                             | 2             | 110                   |
| Zakućac               | 538                            | 4             | 220 i 110             |
| Dubrovnik             | 126                            | 1             | 110                   |
| Reverzibilne HE       | 288,9 MW /-271,1 MW            |               |                       |
| Fužine                | 4,6/-5,7                       | 1             | 35                    |
| Lepenica              | 0,8/-1,2                       | 1             | 35                    |
| Velebit               | 276/-254                       | 2             | 400                   |
| Buško Blato**         | 7,5/-10,2                      | 3             | 110                   |
| Male HE               | 24,37 MW                       |               |                       |
| Zeleni Vir            | 1,7                            | 2             | s.n.                  |
| Ozalj                 | 5,5                            | 5             | s.n.                  |
| Golubić               | 6,54                           | 2             | s.n.                  |
| Krčić                 | 0,34                           | 1             | s.n.                  |
| Jaruga                | 7,2                            | 2             | s.n.                  |
| Zavrelje              | 2                              | 1             | s.n.                  |
| Lešće ABM             | 1,09                           | 1             | s.n.                  |
| HE biološkog minimuma | 3,2 MW                         |               |                       |

Za potrebe hrvatskog EES-a izgrađeno je nekoliko hidroelektrana u vodotoku rijeke Cetine a to su : HE Đale, HE Orlovac, HE Zakućac, HE Kraljevac, RHE Buško Blato, HE Peruća.

Sliv Cetine je od izrazito velike važnosti za EES Hrvatske :

- energetski doprinos hidroelektrana sliva na godišnjoj razini iznosi prosječno 2278 GWh što predstavlja 15,4% potreba za električnom energijom u Hrvatskoj za 2003. godinu, odnosno 20,2% prosječne proizvodnje električne energije u Hrvatskoj
- velike akumulacije Peruća i Buško Blato pružaju velike mogućnosti sezonske regulacije
- velika instalirana snaga na slivu (880 MW), navedene velike akumulacije i kompenzacijski bazeni Lipa, Đale i Prančevići ostvaruju velike regulacijske mogućnosti na dnevnoj razini te korištenje HE Orlovac i većim dijelom HE Zakučac kao vršnih hidroelektrana te time znatno uvećavaju ekonomski značaj sustava na slivu kao cjeline
- HE Zakučac dominantnim udjelom doprinosi sustavu sekundarne regulacije P/f u EES-u Hrvatske zbog ekonomske vrijednosti energije odstupanja
- pružanje ostalih sistemskih usluga EES-u Hrvatske poput sigurnosti sustava, održavanje frekvencije, održavanje napona, ponovna uspostava sustava, otočni rad i dr. [11]

U tablici 3.2 je prikazana moguća proizvodnja HE Đale te proizvodnja ostalih hidroelektrana na slivu rijeke Cetine.

Tablica 3. 2. Moguća proizvodnja hidroelektrana na slivu [11]

| Mjesec     | Peruća<br>(GWh) | Orlovac<br>(GWh) | Đale (GWh)   | Zakučac<br>(GWh) | Kraljevac<br>(GWh) | Ukupno<br>(GWh) |
|------------|-----------------|------------------|--------------|------------------|--------------------|-----------------|
| 1          | 9,8             | 36,3             | 5,3          | 147              | 7,2                | 205,7           |
| 2          | 9,7             | 39,6             | 3,4          | 136,2            | 8                  | 197             |
| 3          | 12              | 35,3             | 4,3          | 150,2            | 7,2                | 209             |
| 4          | 14,1            | 30,8             | 5,6          | 167,3            | 6,7                | 224,4           |
| 5          | 11,4            | 34,2             | 4,3          | 133,8            | 4,6                | 188,3           |
| 6          | 7,5             | 38,4             | 3,2          | 96               | 4,4                | 149,6           |
| 7          | 10,1            | 30,3             | 2,3          | 93,7             | 4,1                | 140,4           |
| 8          | 9               | 22,6             | 2,2          | 83,3             | 3                  | 120,2           |
| 9          | 9,9             | 21               | 3,2          | 98,1             | 2,9                | 135,1           |
| 10         | 13,6            | 26,2             | 5,7          | 144,4            | 5,8                | 195,6           |
| 11         | 5,2             | 28,5             | 5,4          | 124,4            | 6,6                | 170             |
| 12         | 9,4             | 30,6             | 6,9          | 161,4            | 7,1                | 215,4           |
| <b>Wuk</b> | <b>121,7</b>    | <b>373,8</b>     | <b>119,9</b> | <b>1535,7</b>    | <b>67,4</b>        | <b>2218,5</b>   |

Hidroelektrana Đale je priključena na elektroenergetski sustav dalekovodom naponske razine 110 kV prikazanim na slici 3.4. koji je povezan s trafostanicom (TS) Konjsko. TS Konjsko je najveće elektroenergetsko postrojenje u Dalmaciji s rasklopištima 400, 220 i 110 kV. Uz postojeći dalekovod ostavljena je mogućnost priključka HE Đale s još jednim 110 kV dalekovodom na elektroenergetsku mrežu.



Slika 3. 4. Postrojenje i dalekovod 110 kV HE Đale [15]

Rasklopno postrojenje 110 kV je izvedeno kao trofazno postrojenje s čeličnim oklopmom i izolirano sumpornim heksafluoridom poznatim kao SF6 plinom. U SF6 izvedbi su naponski i strujni mjerni transformatori koji čine sekundarnu opremu postrojenja uz opremu za upravljanje i signalizaciju sklopnim aparatima. Kontaktni manometri s kontaktima upozorenja te blokade upravljanja i isključenja služe za kontroliranje tlaka plina SF6 u sekcijama. U sustavu hidrauličkih pogona prekidača se kontrolira tlak ulja i alarmira signalima upozorenja i blokade upravljanja, a pomoću bistabilnih releja sve primarne blokade u postrojenju 110 kV su organizirane u sklopnim blokovima. Na upravljačkim ormarima je vidljiva signalizacija uklopnog stanja i alarm pomoću signalnih tipkala, lampica i pokazivača položaja.

Snaga i energija HE Đale ovisna je o raspoloživosti vode i potrebama elektroenergetskog sustava. U pojedinim trenucima nije moguć siguran plasman ukupne proizvedene energije

prema EES-u, a glavni uzrok tomu su promijenjene elektroenergetske okolnosti u odnosu na samu koncepciju priključka. U tablicama 3.3 i 3.4 prikazana su pogonska stanja i ukupna proizvodnja električne energije za HE Đale u 2019-toj godini.

Tablica 3. 3 Pogonska stanja elektrane u razdoblju od 01.01. do 31.12.2019. [13]

| Elektrana/<br>Agregat | Rasp.<br>snaga<br>MW | Maks.<br>mogući<br>sati rada u<br>razdoblju | Pogonska stanja elektrane u satima |                 |              |              |              | Vrije<br>me<br>remon<br>ta<br>od ..<br>do | Broj<br>ulazak<br>a u<br>pogon | Broj<br>ispada | Stupanj-faktor % |                    |                  |
|-----------------------|----------------------|---|------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|---|--------------------------------|----------------|------------------|--------------------|------------------|
|                       |                      |   | rada                               | pričuve         | remon<br>ta  | njege        | kvar         |   |                                |                | snage            | Raspolo<br>živosti | Iskori<br>štenja |
| <b>HEĐale</b>         |                      |   |                                    |                 |              |              |              |   |                                |                |                  |                    |                  |
| <b>Plan</b>           | <b>40,8</b>          | <b>8760</b>                                 |                                    |                 | <b>1.440</b> |              |              |   |                                |                |                  | <b>83,56</b>       | <b>38,84</b>     |
| <b>Ostvarenje</b>     | <b>40,8</b>          | <b>8760</b>                                 | <b>4.803,<br/>31</b>               | <b>2.403,79</b> | <b>1.448</b> | <b>23,33</b> | <b>54,57</b> |   | <b>201</b>                     | <b>3</b>       | <b>54,83</b>     | <b>82,58</b>       | <b>43,55</b>     |

Tablica 3. 4. Ukupna proizvodnja električne energije u razdoblju od 01.01. do 31.12.2019. [13]

| 1                 | Proizvodnja MWh  |  |                  |                         | Razlika               |               |                       |              | Ostvarenje<br>godišnjeg<br>plana |
|-------------------|------------------|--|------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|--------------|----------------------------------|
|                   | Plan za<br>2019. | u razdoblju od 01.01. do 31.12.<br>2019. |                  |                         | (Ost. –Plan)<br>2019. |               | Ost.2019- Ostv. 2018. |              |                                  |
|                   |                  | Ostv.za<br>2018.                         | Plan za<br>2019. | Ostv za<br>2019.        | MWh                   | %             | MWh                   | %            |                                  |
|                   |                  |  |                  |                         | 6(5-4)                | 7(5/4*100)    | 8(5-3)                | 9(5/3*100)   | 10<br>(5/2*100)                  |
| <b>HE Đale</b>    |                  |  |                  |                         |                       |               |                       |              |                                  |
| Na generatoru     |                  | <b>152.662,52<br/>6</b>                  |                  | <b>129.113,99<br/>0</b> |                       |               | <b>-23.548,54</b>     | <b>84,57</b> |                                  |
| na pragu          | <b>116.000</b>   | <b>151.998,02<br/>5</b>                  | <b>116.000</b>   | <b>128.528,95<br/>7</b> | <b>12.528,<br/>96</b> | <b>110,80</b> | <b>-23.469,07</b>     | <b>84,56</b> | <b>110,8008</b>                  |
| vlastiti potrošak |                  | <b>664.501</b>                           |                  | <b>585.033</b>          |                       |               | <b>-79.468</b>        | <b>88,04</b> |                                  |

U slivu proizvodnog područja Jug HE Đale je jedina hidroelektrana od svih koja ima Kaplan turbine, satnu akumulaciju te položaj iza kojeg nema više pritoka na rijeci Cetini. HE Đale karakterizira nadprosječna godišnja spremnost zbog vremenskog odziva kojeg uvjetuju dva rada:

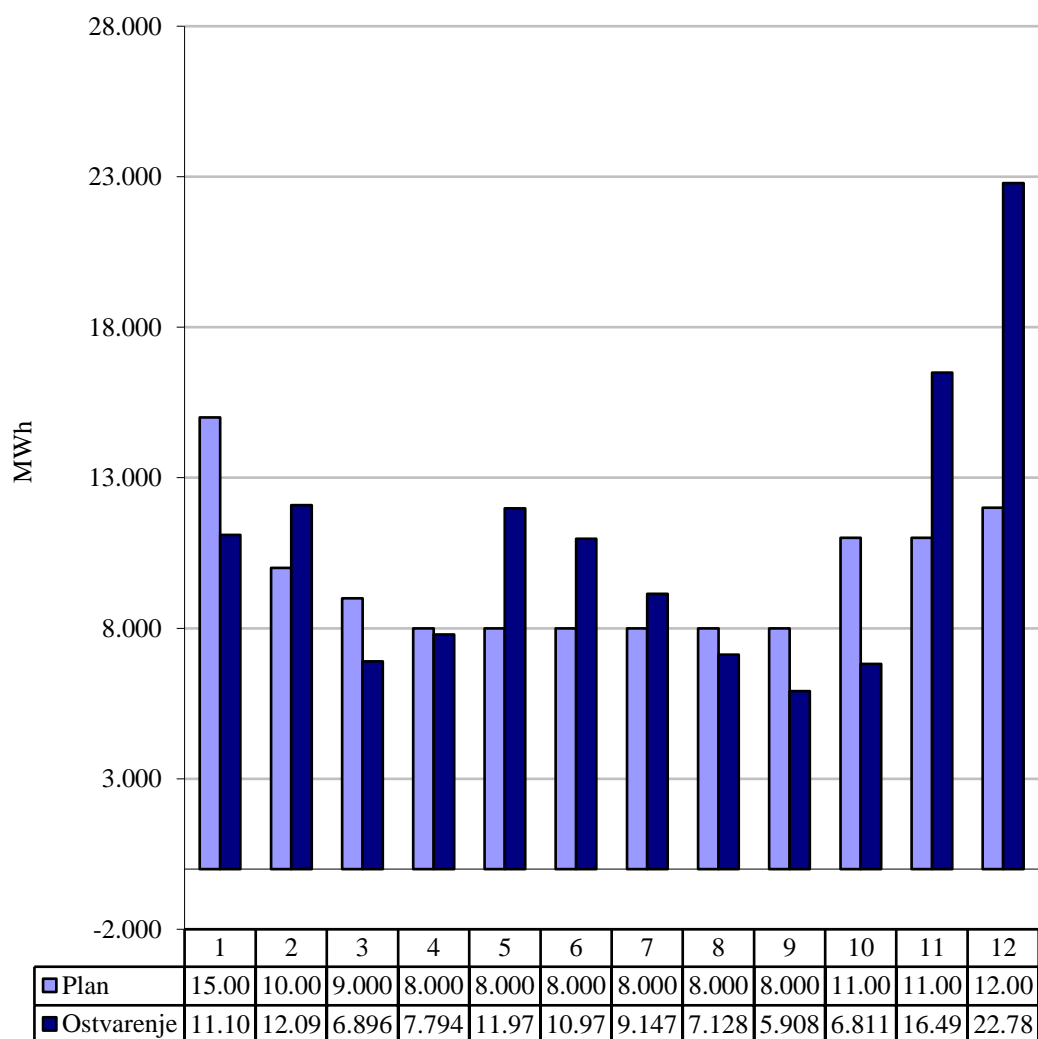
- rad hidroelektrane Orlovac u vršnom dijelu
- rad hidroelektrane Peruća u doziranju vode za temeljni rad hidroelektrane Zakučac.

U tablici 3.5 je prikazana proizvodnja HE Đale po mjesecima za 2019-tu godinu.

Tablica 3. 5. Mjesečni pregled proizvodnje HE Đale [13]

| Proizvodnja električne energije kWh |                          |                    |                        |                    |                    |               |                   |                   |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Mjeseci                             | od 01 do 12 2019. godine |                    |                        |                    |                    |               |                   | Indeks            |
|                                     | Plan                     |                    |                        | Ostvarenje         |                    |               | Razlika           | na pragu          |
|                                     | generator                | prag               | vl. p.*                | generator          | prag               | vl.p.*        | na pragu          |                   |
| <i>1</i>                            | <i>2</i>                 | <i>3</i>           | <i>4(3/2)<br/>*100</i> | <i>5</i>           | <i>6</i>           | <i>7(5-6)</i> | <i>8(6-3)</i>     | <i>9(6/3*100)</i> |
| Siječanj                            |                          | 15.000.000         |                        | 11.102.373         | 11.045.858         | 0,99          | -<br>3.954.142    | 73,64             |
| Veljača                             |                          | 10.000.000         |                        | 12.093.465         | 12.041.104         | 1,00          | 2.041.104         | 120,41            |
| Ožujak                              |                          | 9.000.000          |                        | 6.896.689          | 6.849.879          | 0,99          | -<br>2.150.121    | 76,11             |
| Travanj                             |                          | 8.000.000          |                        | 7.794.210          | 7.749.362          | 0,99          | -250.638          | 96,87             |
| Svibanj                             |                          | 8.000.000          |                        | 11.979.605         | 11.928.741         | 1,00          | 3.928.741         | 149,11            |
| Lipanj                              |                          | 8.000.000          |                        | 10.972.759         | 10.926.120         | 1,00          | 2.926.120         | 136,58            |
| Srpanj                              |                          | 8.000.000          |                        | 9.147.857          | 9.099.445          | 0,99          | 1.099.445         | 113,74            |
| Kolovoz                             |                          | 8.000.000          |                        | 7.128.688          | 7.086.852          | 0,99          | -913.148          | 88,59             |
| Rujan                               |                          | 8.000.000          |                        | 5.908.277          | 5.871.414          | 0,99          | -<br>2.128.586    | 73,39             |
| Listopad                            |                          | 11.000.000         |                        | 6.811.850          | 6.769.852          | 0,99          | -<br>4.230.148    | 61,54             |
| Studeni                             |                          | 11.000.000         |                        | 16.493.066         | 16.439.159         | 1,00          | 5.439.159         | 149,45            |
| Prosinac                            |                          | 12.000.000         |                        | 22.785.151         | 22.721.171         | 1,00          | 10.721.171        | 189,34            |
| <b>UKUPNO</b>                       |                          | <b>116.000.000</b> |                        | <b>129.113.990</b> | <b>128.528.957</b> | <b>1,00</b>   | <b>12.528.957</b> | <b>110,80</b>     |
| * vl. p = vlastiti potrošak         |                          |                    |                        |                    |                    |               |                   |                   |

Na slici 3.5 prikazana je dinamika proizvodnje električne energije na pragu elektrane. Uz planiranje proizvodnje električne energije je vidljivo da u većini razdoblja tijekom godine je ostvarena veća proizvodnja od planirane što daje pozitivan efekt HE Đale u EES-u. Ukupna planirana proizvodnja električne energije iznosi 116 000 MW/h dok je ostvareno 129 108 MW/h.



Slika 3. 5. Dinamika proizvodnje električne energije [13]

#### 4. REMONT AGREGATA "B"

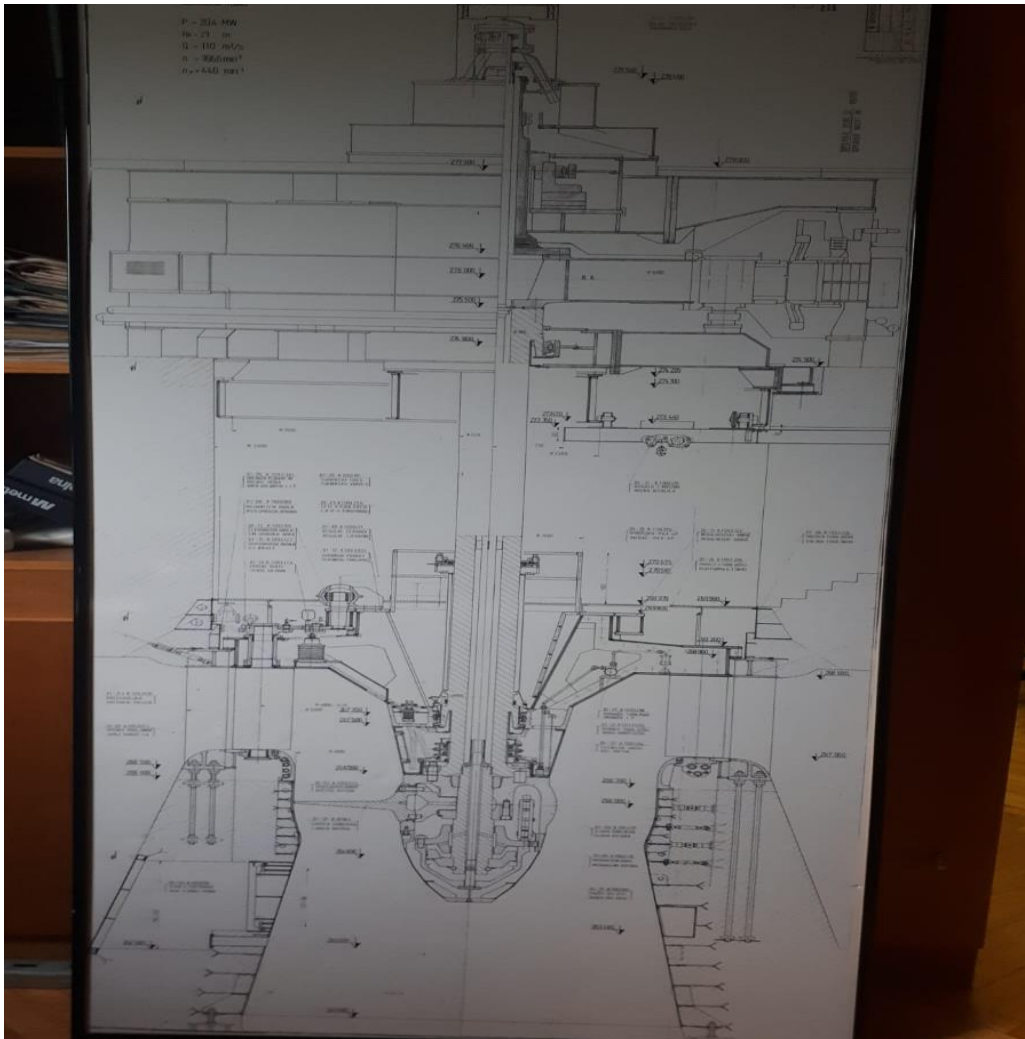
Remont agregata "B" se vršio prvi put nakon što je u pogon puštena hidroelektrana Đale. Bio je u pogonu 30 godina izuzevši sitnije kvarove i održavanje. S obzirom na dotrajalost pojedinih dijelova cijeli agregat se rastavljaao, dijelovi su se pregledavali te nosili na daljnja ispitivanja i obradu. Nakon što se to sve obavilo slijedila je montaža i ponovno vraćanje agregata u pogon. Slika 4.1 prikazuje izgled agregata u pogonu prije početka remonta.



Slika 4. 1. Izgled agregata u pogonu [15]

Na sljedećoj slici 4.2 prikazan je presjek agregata na kojem su vidljivi generator i turbina povezani turbinskim vratilom te ostali dijelovi kao što je radno kolo, lopatice, ležajevi, uljni razvodnik itd.





Slika 4. 2. Presjek agregata [15]

#### 4.1. Remont generatora

Generator agregata "B" je vertikalne izvedbe nazivne snage 24 MVA. Sastoji se od rotora, statora te donjeg i gornjeg kombiniranog ležaja. Trofazni armaturni namot koji se nalazi na statoru izveden je kao dvoslojni valoviti štapni. Na istaknutim polovima rotora se nalazi uzbudni namot koji je preko kliznih prstena povezan s električnom energijom. Uzbuda generatora je statička, realizirana tiristorskim usmjerivačem koji električnu energiju, preko uzbuđnog transformatora (400 kVA), dobiva s odcjeka generatorskih izvoda, a za početno uzbuđivanje generatora koristi se izvor električne energije iz istosmjernog napona 220 V [14].

Nazivni podaci generatora su :

- |                                  |                           |
|----------------------------------|---------------------------|
| Tip generatora                   | : S 6624-36               |
| ▪ Nazivna prividna snaga         | : 24000 kVA               |
| ▪ Nazivni napon                  | : 10500 V $\pm$ 5%        |
| ▪ Nazivna struja                 | : 1320 A $\pm$ 5%         |
| ▪ Faktor snage                   | : 0,85                    |
| ▪ Nazivna frekvencija            | : 50 Hz                   |
| ▪ Nazivna brzina vrtnje          | : 166.6 min <sup>-1</sup> |
| ▪ Brzina vrtnje pri pobjegu      | : 440 min <sup>-1</sup>   |
| ▪ Zamašni moment GD <sup>2</sup> | : 2000 tm <sup>2</sup>    |
- Smjer vrtnje za generatora je u smjeru kazaljke na satu. [14]

Električki podatci :

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| ▪ Sinkrona uzdužna nezasićena reaktancija  | $X^d = 110$ %               |
| ▪ Sinkrona poprečna nezasićena reaktancija   | $X^q = 63$ %                |
| ▪ Prolazna uzdužna nezasićena reaktancija  | $X^{\prime d} = 36$ %       |
| ▪ Početna uzdužna nezasićena reaktancija   | $X^{\prime\prime d} = 21$ % |
| ▪ Početna poprečna nezasićena reaktancija  | $X^{\prime\prime q} = 21$ % |
| ▪ Inverzna reaktancija   | $X^2 = 22$ %                |
| ▪ Nulta reaktancija  | $X^0 = 15$ %                |
| ▪ Omjer kratkog spoja  | $k = 1$                     |
| ▪ Prolazna vremenska konstanta u uzdužnoj osi pri otvorenom statorskom namotu<br>$T_{do} = 9.8$ s                  |                             |
| ▪ Prolazna vremenska konstanta u uzdužnoj osi pri kratkospojenom statorskom namotu<br>$T_d = 1.64$ s               |                             |
| ▪ Početna vremenska konstanta u uzdužnoj osi pri kratkospojenom statorskom namotu<br>$T_d^{\prime\prime} = 1.64$ s |                             |

▪ Armaturna vremenska konstantna

$$T_a = 0.470 \text{ s}$$

[14]

U tablici 4.1 prikazan je stupanj korisnosti kod nazivnog napona  $U_n = 10.5 \text{ kV}$  i  $\cos \varphi = 0.85$ .

Tablica 4. 1. Stupanj korisnosti [14]

|                      |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|
| Teret $S_n$ %        | 100   | 75    | 50    |
| Stupanj korisnosti % | 97.42 | 97.39 | 96.85 |

#### 4.1.1. Postupak rastavljanja generatora

Pri demontaži generatora prvo je rastavljen poklopac uljnog razvodnika vidljiv na slici 4.3 te uljni razvodnik prikazan na slici 4.4 koji je smješten nad generatorom na gornjem generatorskom nosaču. Funkcija uljnog razvodnika je dovod ulja između rotirajućih i mirujućih dijelova za servo motor radnog kola.



Slika 4. 3. Poklopac uljnog razvodnik [15]



Slika 4. 4. Uljni razvodnik [15]

Nakon što se obavio prvi korak rastavljanja postavio se nosač rotora i vratila. S obzirom na to da se pri remontu agregat odspaja od svih postojećih nosača te ga nema što držati, nosač rotora i vratila se uvlačio ispod radnog kola i cijeli agregat je bio oslonjen na to. Nosač prikazan na slici 4.5 je sastavljen od dvije grede izrađene od punog željeza zbog izdržljivosti velikog tereta agregata.



Slika 4. 5. Nosač rotora i vratila [15]

Nakon što se postavio nosač slijedila je demontaža osovine. Pri demontaži osovine potrebno je zagrijavati pojedine dijelove kao što se zagrijavalo zvono generatora prikazano na slici 4.7 radi lakšeg izvlačenja.



Slika 4. 6. Podizanje zvona generatora [15]

Kada se podiglo zvono generatora sljedeći elementi su noseći segmenti gornjeg kombiniranog ležaja generatora prikazani na slici 4.8. Ima ih ukupno osam i smješteni su oko osovine.



Slika 4. 7. Noseći segmenti [15]

Prvi veći dio kod remonta agregata je bio gornji nosač prikazan na slici 4.9 koji se podigao nakon što su razmontirani ležajevi. Napravljen je od čelika u obliku zvijezde sa 6 ruku od kojih se dvije mogu rastavljati zbog mogućnosti transporta. Kada agregat radi gornji nosač prenosi silu na kućište statora i temelj generatora koju daje rotor agregata i pritisak vode. Osim što prenosi tu silu prenosi i sve sile iz gornjeg vodećeg ležaja na kućište statora.



Slika 4. 8. Gornji nosač [15]

Podizanjem gornjeg nosača se dolazi do osovinskog nastavka prikazanog na slici 4.10. Na njemu se nalazi zvono generatora, klizni koluti i rotirajući dio uljnog razvodnika turbine. Osovinski nastavak je izrađen od lijevanog čelika pričvršćen s vijcima za rotor koje je potrebno odspojiti.



Slika 4. 9. Osovinski nastavak [15]

Nakon podizanja osovinskog nastavka podizale su se cijevi u vratilu prikazane na slici 4.11. Kroz njih prolazi ulje koje služi za podmazivanje.



Slika 4. 10. Cijevi u vratilu [15]



Sljedeći elementi koji su se odspajali su hladnjaci prikazani na slici 4.12 smješteni s vanjske strane statora na kućištu generatora. Ima ih ukupno 6 i montirani su tako da se jedan hladnjak može rastaviti i očistiti dok je generator u pogonu. Spojeni su paralelno i međusobno povezani odvodnim i dovodnim kolektorom koji se nalaze ispod hladnjaka. Svaki hladnjak ima kuku na nošenje i priključak za odzračivanje koji se nalazi na gornjoj vodnoj komori, dok se na donjoj vodnoj komori nalazi priključak za ispust vode iz hladnjaka.

Pomoću pokaznih manometara i termometara te mjerača protoka se vrši kontrola hladnjaka na ulazu i izlazu vode. Cirkulacijom rashladnog zraka u zatvorenom krugu se hladi generator. Kroz hladnjake struji voda te se tako ugrijani zrak hladi. Čišćenje hladnjaka prikazano na slici 4.13 se izvodilo pomoću bušilice koja na sebi ima produženi nastavak s čeličnom četkom. Kroz svaku cijev se provlačila četka te se pomoću kompresora ispuhivao nakupljeni talog.



Slika 4. 11. Hladnjak [15]



Slika 4. 12. Čišćenje hladnjaka [15]

Prije podizanja rotora potrebno je bilo još jednom izvršiti ispitivanje da određeni dijelovi ne bi bili pod naponom radi opće sigurnosti. Ispitivanje napona prikazano na slici 4.14 se vrši pomoću voltmetra.



Slika 4. 13. Ispitivanje napona [15]

Rotor generatora je težine oko 90 tona i time najteži dio koji se podizao pri remontu. Sastoji se od polne jezgre, polnog namota i prigušnog namota. Polna jezgra je izrađena od čeličnog lima debljine 2 mm, a lim je stegnut s dvije krajnje polne ploče i 5 svornika. Polne ploče su izrađene od kovanog čelika, a svornici prolaze kroz cijelu dužinu polne jezgre. Na površinama dolazi do pojave električnih gubitaka koji se smanjuju pomoću nazubljenih rubova i samog oblika krajnje polne ploče.

Polni namot je izrađen od plosnatog tvrdog bakra. Bakar je međusobno zavaren na kutevima u neutralnoj atmosferi argona. Izolacija među zavojima izvedena je od tanke azbestne ljepenke impregnirane prilikom umetanja epoksidnim lakom direktno na polnoj jezgri. Gotovi namot je zatim prešan i polimeriziran kod određene temperature po tlakom. Izolacija prema jezgri pola izvedena je iz tvrdih izolacionih ploča. [14]

Ulazni odnosno izlazni zavoji svitka dodatno su izolirani vrpcom. Spojevi među polovima su od bakrenog lima. Radi pouzdanijeg kontakta, svaki spoj je izveden iz dvije spojnice čime se osigurava dvostruka kontaktna površina. Na polnu jezgru izoliranu izolacijskim pločama, navučen je polni namot, tlačen i pečen na jezgri te osiguran tlačnim okvirom koji je zavaren na jezgri. [14]

Prije podizanja rotora prikazanog na slici 4.15 potrebno je bilo napraviti atest dizalice zbog same težine rotora. Nosivost dizalice je 125 tona te ima polugu pomoću koje se prebaciva nosivost za potrebe dizanja većih tereta kao što je rotor. Sajle koje su se kačile na sidro dizalice su zamijenjene novima zbog dotrajalosti da ne bi došlo do pucanja tijekom dizanja. S obzirom na veličinu i težinu dizanje se odvijalo s posebnom pozornošću da se ne bi oštetili pojedini dijelovi statora.



Slika 4. 14. Podizanje rotora [15]

Nakon što se rotor odložio na predviđeno mjesto slijedilo je detaljno čišćenje nataložene prašine između polova te su se vršila električna i mehanička ispitivanja. Na rotoru se nalazi 36 pari polova pravokutnog oblika i suprotne orijentacije sjever-jug. Opremljeni su kompletnim prigušnim namotom koji se spaja elastičnim bakrenim spojnica. Dovodi polnog namota su opremljena tako da se pomoću bakrenih šina dovodi struja rotoru od kliznih prstenova do polnog namota. Polovi rotora prikazani na slici 4.16 su učvršćeni u lančani prsten.



Slika 4. 15. Polovi rotora [15]

S obzirom na podizanje rotora generatora pri remontu, dolazi se do statora prikazanog na slici 4.17 koji se nije rastavljao. Stator se rastavlja samo u slučaju većih oštećenja. Namot statora se sastoji od štapova koji su međusobno povezani po dva štapa u utoru što znači da je namot dvoslojni štapni. Štapovi namota se sastoje od dionih vodiča izoliranih epoksidnom smolom i staklom.

Tijekom remonta se vršilo preklinjavanje statorskog namota tako da se stavljaju novi izolacijski klinovi. Kućište statora se sastoji od gornje i donje prirubne ploče. Gornja prirubna ploča služi kao oslonac za gornji nosač koji se veže pomoću vijaka, a donja prirubna ploča se oslanja i vezuje pomoću temeljnih blokova. U slučaju skidanja boje ili pojave korozije ploče se bruse i ponovno lakiraju. Nakon što se cijeli stator uredio vršila su

se električna ispitivanja i mjerenja. Završna faza je bila lakiranje i premazivanje statorskog namota izolacijskim lakom.



Slika 4. 16. Stator [15]

Na donjem nosaču rotora se nalaze kočnice koje trajno koče rotor 20 sekundi do potpunog zaustavljanja agregata. Učvršćene su pomoću vijaka na željezne podloge koje se nalaze na rukama donjeg nosača. Promjer cilindra kod kočnica iznosi 200 mm i imaju mogućnost podizanja generatora tijekom remonta. Na cilindru se nalaze matice koji služe za fiksiranje rotora kada je podignut. Pomoću vlastitog kompresora se dovodi zrak koji služi za kočenje dok ulje za dizanje generatora se dovodi iz visokotlačne uljne pumpe koja je pogonjena elektromotorom.

Svaka kočnica ima induktivnu i graničnu sklopku koja služi za signalizaciju istrošenosti kočne obloge i signalizaciju položaja kočnice. S obzirom na to da su bile u funkciji oko 20 godina, došlo je do trošenja kočne podloge te ih je bilo potrebno obnoviti. Svih 6 kočnica prikazanih na slici 4.18 je skinuto te su odložene i poslane na daljnju obradu. Nakon što su se obradile ponovo su montirane.



Slika 4. 17. Kočnice rotora [15]

Nakon što su kočnice rotora bile razmontirane podizao se zadnji dio generatora, a to je bio donji nosač prikazan na slici 4.19. Izrađen je od čelika u obliku zvijezde kao i gornji nosač te ima 6 ruku. Pomoću ruku se oslanja na temeljne blokove koji su betonirani u temelj agregata. Na njemu se nalaze kočnice rotora te prenosi cjelokupnu težinu rotora na temelj kada je rotor podignut na kočnicama. Donji nosač pri normalnom radu generatora prenosi sile nastale mehaničkom neravnotežom i magnetskim privlačenjem rotora.



Slika 4. 18. Donji nosač [15]

#### 4.2. Remont turbine

Kaplanova turbina je vrsta turbine s okomitim vratilom rotora i zakretnim lopaticama radnog kola. S obzirom na izvedbu Kaplanova turbina može biti propelerna, cijevna i dijagonalna. Kod propelernih turbina lopatice radnog kola se ne mogu okretati tj. fiksne su. Takve turbine se koriste se u malim hidroelektrana. Cijevne turbine su prepoznatljive po tome što su kod njih generator i turbina potpuno uronjeni u protočnu cijev. Sastoje se od privodećih lopatica koje su pomične i predprivodećih lopatica koje su nepomične. Dijagonalne turbine su turbine kroz koje voda protječe dijagonalno. Kod njih je moguća dvostruka regulacija i najčešće se primjenjuju u reverzibilnim hidroelektranama.

Hidroelektrana Đale je opremljena s dvije Kaplan turbine. Turbine su identične po konstrukciji, snazi i ostalim karakteristikama što je prikazano na slici 4.20. Pokreću se na principu malog pada i velikog dotoka vode. Turbina je pojedinačne snage 20,4 MW za svaki agregat što daje ukupnu snagu od 40,8 MW. Prilikom remonta se vršila rekonstrukcija turbine agregata "B".



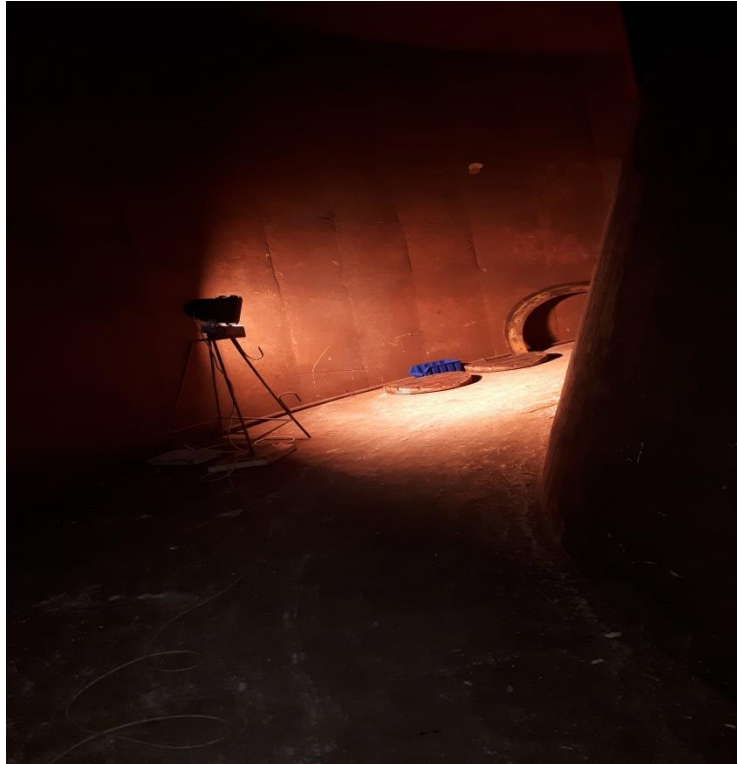
|                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| GODINA 1988       | BR. P 36.840         |
| TIP TURBINE       | K5-4,00/3,80         |
| KONSTRUKCIONI PAD | 21m                  |
| PROTOK            | 110m <sup>3</sup> /s |
| SNAGA TURBINE     | 20400 kW             |
| BROJ OKRETAJA     | 2,7s <sup>-1</sup>   |
| POBJEG            | 7,3s <sup>-1</sup>   |

Slika 4. 19. Karakteristike turbine [15]

Način rada Kaplan turbine agregata se temelji na tome da se vodeni tok pušta kroz tablasti zatvarač prikazan na slici 4.21. Tablasti zatvarač se postepeno podiže zbog prebrzog naleta vode. Kada voda uđe kroz tablasti zatvarač usmjerava se spiralnim betonskim kanalom prikazanim na slici 4.22 te pada na lopatice radnog kola koje se počinju okretati. Okretanjem lopatica se pokreće turbinska osovina koja je vratilom spojena na generator.



Slika 4. 20. Tablasti zatvarač [15]



Slika 4. 21. Spiralni betonski kanal [15]

#### **4.2.1. Demontaža i montaža dijelova turbine**

Remont turbine kod agregata "B" je zahtijevao izvlačenje vratila turbine koje je direktno spojeno na rotor sinkronog generatora. Vratilo turbine prikazano na slici 4.23 je izrađeno od kovanog čelika jednodijelno. Spojeno je prirubnicom s radnim kolom i ima 166,6 okretaja u sekundi. Unutar turbinskog vratila je šupljina u kojoj se nalaze uljne cijevi koje služe za dotok tlačnog ulja iz uljnog razvodnika u servo motor radnog kola. S obzirom na to da kod donjeg i gornjeg vodećeg ležaja turbinsko vratilo prelazi u prošireni oblik, promjer vratila na svim mjestima nije isti. Kod spoja s radnim kolom promjer je najveći te iznosi 1170 mm, kod donjeg vodećeg ležaja je 850 mm, a kod gornjeg je najmanji promjer iznosa 650 mm. Na izlazu turbinskog vratila nalazi se turbinska brtva koja služi za sprečavanje procurivanja pogonske vode. Brtvenje je izvedeno pomoću brtvenih pletenica tj. obruča koji se nalaze u kućištu brtve.

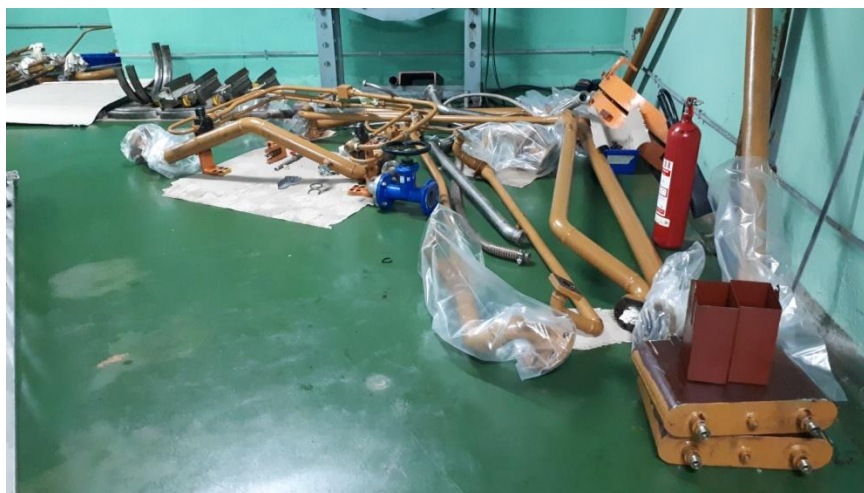
Dovod vode za hlađenje i podmazivanje te dva davača za sigurnost rada su sastavni dio kućišta. Kroz dovod protječe čista voda pod tlakom koja se dovodi do brtvenih pletenica. U

slučaju nestanka tehničke vode za hlađenje brtve, preko manometra se automatski uključuje hlađenje pitkom vodom.



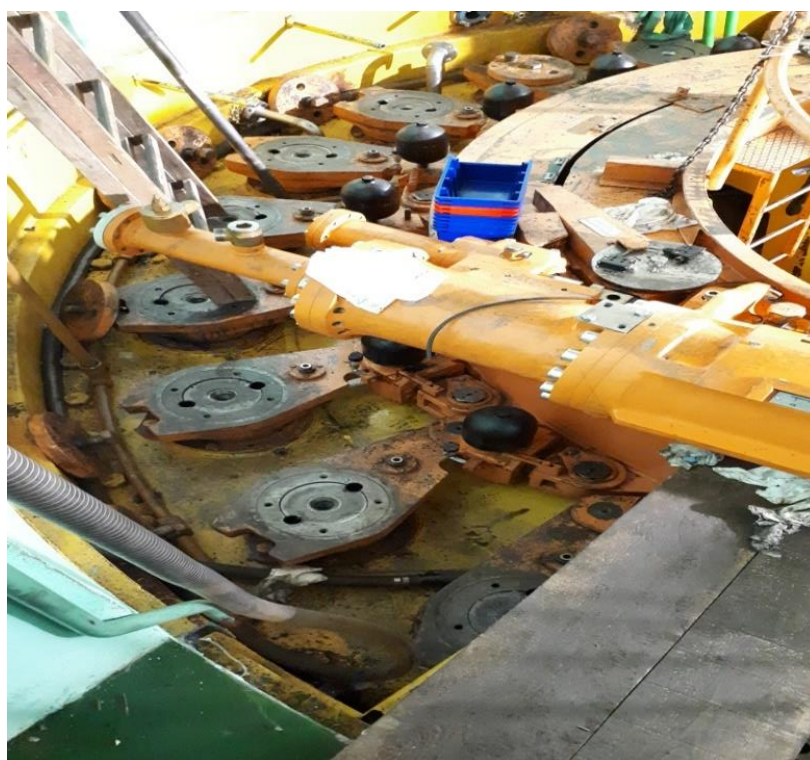
Slika 4. 22. Vratilo turbine [15]

Prilikom demontaže turbine prvo je bilo potrebno odspojiti sve uljne cijevi prikazane na slici 4.24. U cijevima se nalazio dovod ulja i cijevi su se isušivale jedna po jedna rastavljale i iznosile na određeno mjesto. Na određenim spojevima cijevi bilo je potrebno promijeniti diktum da ne bih došlo do curenja ulja. Prije ponovnog montiranja su bile pobrušene i lakirane.



Slika 4. 23. Uljne cijevi [15]

Nakon što su se uklonile uljne cijevi, podižu se pocinčane željezne podloge ispod kojih se nalazi hidraulički mehanizam za otvaranje i zatvaranje privodnih lopatica. Ukupan broj privodnih lopatica je 24 te svaka lopatica ima zasebno svoj hidraulički mehanizam prikazan na slici 4.25 koji se rastavlja.



Slika 4. 24. Hidraulički mehanizam lopatica [15]

Na turbinskom poklopcu se nalaze dva servomotora koja služe za otvaranje i zatvaranje privodnog aparata. Sastoje se od kućišta te dva cilindra i dva klipa koji se međusobno povezani s čepom na regulacijskom prstenu pomoću zajedničke klipnjače i kliznog kamena. U kliznom kamenu se nalaze namještene ekscentrične čahure koje služe za podešavanje privodnog aparata. Na kućištu servomotora se nalazi gravirana skala. Ona na sebi ima pokretnu kazaljku koja se nalazi na klipnjači i služi za pokazivanje položaja servomotora.

Svaki servomotor ima na određenoj strani prigraden plunđer u kojem se nalazi tlačno ulje s funkcijom otvaranja zračnih ventila u slučaju brzog zatvaranja privodnog aparata. Ispod turbinskog poklopca dolazi do podtlaka. On se smanjuje pomoću zračnih ventila koji smanjuju povratni udar tijekom zatvaranja privodnog aparata. Kada se zatvara servomotor plunđer istiskuje ulje preko povratnog prigušnog ventila u cilindar zračnog ventila koji se zatvara pomoću tlačne opruge. Kod remonta agregata svaki servomotor prikazan na slici 4.26 se odspajao od turbinskog poklopca te nosio da ispitivanje i servis. Nakon što se to obavilo ponovno su montirani na turbinski poklopac.



Slika 4. 25. Servo motor privodnog aparata [15]

Sljedeći korak pri remontu je bio rastavljanje hidrauličkih akumulatori sa svake lopatice. Njihova uloga je da hidrauličkom regulacijom lopatica spriječe ulazak otpada kroz lopatice

koji dođe dotokom vode. Nakon rastavljanja su se odnosili na ispitivanje i provjeru tlaka. Svaki hidraulički akumulator prikazan na slici 4.27 je označen brojem radi lakšeg snalaženja pri montaži.



Slika 4. 26. Hidraulički akumulatori [15]

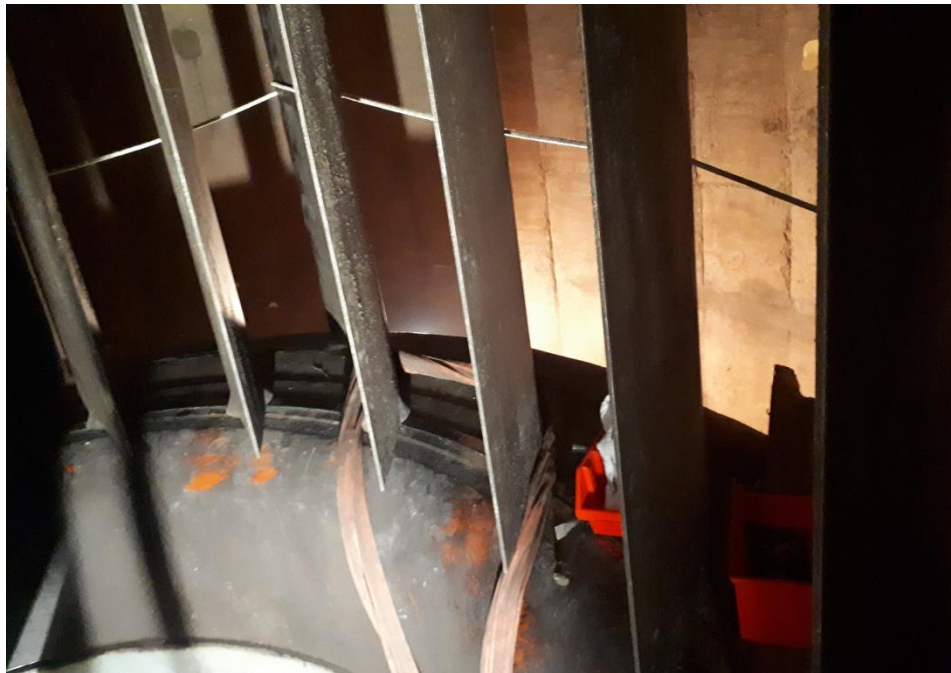
Nakon hidrauličkih akumulatora mehanizam svake lopatice se također rastavlja i odnosi na ispitivanje. Sastavni dijelovi mehanizma su prikazani na slici 4.28.



Slika 4. 27. Sastavni dijelovi mehanizma lopatice [15]

Sljedeći element pri rastavljanju su bile same privodne lopatice koje su prikazane na slici 4.29. Ima ih ukupno 24, nalaze se između turbinskog poklopca i donjeg obruča privodnog aparata. Pomoću njih se regulira dotok vode i pad na lopatice radnog kola. Kada se zaustavlja rad agregata, privodne lopatice se skroz zatvore te voda ne može prodirati i pokretati turbinu. Povezane su ručicama i vezicama s regulativnim obručem. Položaj lopatice je moguće korigirati čepom između ručice i vezice.

Privodna lopatica je varene konstrukcije, list je izgrađen od nehrđajućeg lima s ugrađenom uzdužnom brtvom. Visina je 1598 mm, a težina 900 kg. U svakoj ručici ugrađen je amortizer koji omogućava deformaciju lopatice za 30 mm. U slučaju veće deformacije i lomljenja sigurnosnog čepa, lopatica je opremljena s ograničavačem vrtnje tako da je maksimalno slobodno njihanje 60 mm. Čepovi lopatice i drugi gibljivi dijelovi privodnog aparata uležišteni su u samopodmazivim čahurama. S obzirom na to da se nalaze pod vodom za vrijeme rada agregata, na nekoliko lopatica s pojavila korozija koja je uklonjena. Lopatice su slane na mehanička ispitivanja te su nakon toga ponovno montirane i stavljene u funkciju.



Slika 4. 28. Privodne lopatice [15]

Osnovni dio mehanizma radnog kola promjera 4 m je sama glava radnog kola. Na glavi se nalazi 5 lopatica koje su prikazane na slici 4.30. Lopatice su izrađene od nehrđajućeg čelika jer bi dolazilo do pojave korozije i pucanja s obzirom na to da se nalaze konstantno pod vodom za vrijeme rada agregata. Okretanje lopatica se vrši pomoću servomotora koji se nalazi u donjem dijelu radnog kola. U servomotor promjera 1 m se dovodi tlačno ulje kroz uljni razvodnik i uljne cijevi koje se nalaze u šupljini turbinskog vratila te tako servomotor okreće lopatice radnog kola. Svi elementi radnog kola su izrađeni od visokokvalitetnog čelika. Glava radnog kola te cilindar i klip servomotora su izrađeni od lijevanog čelika da ne bi došlo do pucanja. Nakon što se izvršila demontaža svih lopatica, odnesene su na provjeru varova u slučaju pokretanja turbine, da ne bi došlo do krivljenja i pucanja lopatice pod pritiskom. Kada se to obavilo ponovno su montirane na glavu radnog kola.



Slika 4. 29. Lopatice radnog kola [15]



## 5. ZAKLJUČAK

Kapitalni remont agregata vrše se svakih 15 do 20 godina osim kad se zbog kvarova trebaju rastavljati i ostali dijelovi koji nisu u kvaru, da bi se moglo pristupiti mjestu kvara. Pri remontu se vrši rekonstrukcija generatora i turbine koji su ključni dijelovi u samom radu agregata.

S obzirom na održavanje agregata kroz njegov rad i potrebu remonta nakon određenog vremena, proizvodnjom električne energije i daljnjom distribucijom za to se osiguravaju sredstva. U proizvodnji, kada se radi o bilo kojem sustavu najvažnija je gledanost ekonomske strane. Sustav ako nije isplativ, nema potrebe za postojećim daljnjim ulaganjem i održavanjem.

Hidroelektrana Đale u punom pogonu ima uključena dva agregata koji svojom ostvarenom proizvodnjom pokrivaju sve troškove remonta i održavanja te osiguravaju dodatni budžet. S obzirom na to da je pri remontu agregat u stanju mirovanja te ne proizvodi energiju, potrebno je u zadanom roku obaviti remont i vratiti ga u funkciju, jer svaki dodatni sat radova stvara gubitke gledajući ekonomsku stranu sustava.

Hidroelektrane su najveći i najvažniji proizvođači električne energije koji svojom proizvodnjom doprinose hrvatskom elektroenergetskom sustavu u cjelini. S obzirom na tu važnu ulogu te da je Hrvatska jako bogata vodom, taj potencijal treba što više iskoristiti u proizvodnji energije. Jedan od načina je gradnja novih hidroelektrana te ulaganje u postojeće hidroelektrane, što bi omogućilo prodaju veće količine energije na stranom tržištu te sigurniju vlastitu opskrbu.

## LITERATURA

1. HEP - Proizvodnja d.o.o. – Snimka i procjena stanja objekata i postrojenja HE Đale, svibanj 2016.
2. Upravljanje energetske sustavima – predavanja br. 8  
<https://moodle.oss.unist.hr/mod/folder/view.php?id=10332>
3. HEP Proizvodnja d.o.o. Hidroelektrane  
<https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528>
4. Elektroenergetski sustav, Hrvatska enciklopedija  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17604>
5. Doc. Dr. Sc. Ranko Goić, dipl.ing., Damir Jakus dipl.ing., Ivan Penović dipl.ing. Distribucija električne energije, interna skripta  
[https://www.google.com/search?q=Distribucija+elektri%C4%8Dne+energije+interna+skripta&rlz=1C1NHXL\\_hrHR732HR732&oq=Distribucija+elektri%C4%8Dne+energije+interna+skripta&aqs=chrome..69i57.3510j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Distribucija+elektri%C4%8Dne+energije+interna+skripta&rlz=1C1NHXL_hrHR732HR732&oq=Distribucija+elektri%C4%8Dne+energije+interna+skripta&aqs=chrome..69i57.3510j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
6. HOPS – Hrvatski prijenosni sustav  
<https://www.hops.hr/hrvatski-prijenosni-sustav>
7. Hrvatski elektroenergetski sustav – nemis.hr  
<http://www.nemis.hr/index.php/energetske-svrhe/hrvatski-elektroenergetski-sustav.html%20%5b7>
8. Upravljanje energetske sustavima – predavanja br. 2  
<https://moodle.oss.unist.hr/mod/folder/view.php?id=10332>
9. HOPS – Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2019. – 2028., s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje  
[https://www.hera.hr/hr/docs/2018/Prijedlog\\_2018-10-03\\_01.pdf](https://www.hera.hr/hr/docs/2018/Prijedlog_2018-10-03_01.pdf)
10. Davor Bajš, Mislav Majstović, Goran Majstović, Statička analiza priključka novih generatora HE Zakučac na EES  
<http://www.eihp.hr/~dbajš/clanak%20-%20energija%20-%20prikljucak%20HE%20Zakucac.pdf>
11. Modeliranje i analiza kaskadnog sustava hidroelektrana modelom PLEXOS  
[file:///C:/Users/lenovo/Downloads/975709.MODELIRANJE\\_I\\_ANALIZA\\_KASKADNOG\\_SUSTAVA\\_HE\\_MODELOM\\_PLEXOS.pdf](file:///C:/Users/lenovo/Downloads/975709.MODELIRANJE_I_ANALIZA_KASKADNOG_SUSTAVA_HE_MODELOM_PLEXOS.pdf)

12. Mala hidroelektrana Đale, ocjena o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš, elaborat zaštite okoliša

[https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCIJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/11\\_06\\_2019\\_Elaborat\\_Hidroelektrana\\_Dale.PDF](https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA-ZA-PROCIJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Opuo/11_06_2019_Elaborat_Hidroelektrana_Dale.PDF)

13. HEP Proizvodnja d.o.o. – Godišnje izvješće o poslovanju HE Đale u 2019. godini

14. HEP Proizvodnja d.o.o – Dokumentacija za nadmetanje

15. Prisutnost tijekom trajanja kapitalnog remonta agregata "B" u HE Đale za vrijeme obavljanja stručne specijalističke prakse

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 2. 1. HE Đale [15].....                                   | 4  |
| Slika 2. 2. Presjek pribranske HE Đale [2] .....                | 5  |
| Slika 2. 3. Preljevno polje [15] .....                          | 7  |
| Slika 2. 4. Spremnici tlačnog ulja [15] .....                   | 8  |
| Slika 3. 1. Izvori energije i elektroenergetski sustav [5]..... | 10 |
| Slika 3. 2. Shema hrvatskog elektroenergetskog sustava [7]..... | 11 |
| Slika 3. 3. Proizvodnja energije u hrvatskom EES-u [8] .....    | 13 |
| Slika 3. 4. Postrojenje i dalekovod 110 kV HE Đale [15] .....   | 16 |
| Slika 3. 5. Dinamika proizvodnje električne energije [13] ..... | 19 |
| Slika 4. 1. Izgled agregata u pogonu [15].....                  | 20 |
| Slika 4. 2. Presjek agregata [15] .....                         | 21 |
| Slika 4. 3. Poklopac uljnog razvodnik [15].....                 | 24 |
| Slika 4. 4. Uljni razvodnik [15] .....                          | 24 |
| Slika 4. 5. Nosač rotora i vratila [15].....                    | 25 |
| Slika 4. 6. Podizanje zvona generatora [15] .....               | 26 |
| Slika 4. 7. Noseći segmenti [15] .....                          | 26 |
| Slika 4. 8. Gornji nosač [15].....                              | 27 |
| Slika 4. 9. Osovinski nastavak [15] .....                       | 28 |
| Slika 4. 10. Cijevi u vratilu [15] .....                        | 28 |
| Slika 4. 11. Hladnjak [15].....                                 | 29 |
| Slika 4. 12. Čišćenje hladnjaka [15] .....                      | 30 |
| Slika 4. 13. Ispitivanje napona [15] .....                      | 30 |
| Slika 4. 14. Podizanje rotora [15] .....                        | 32 |
| Slika 4. 15. Polovi rotora [15].....                            | 33 |
| Slika 4. 16. Stator [15] .....                                  | 34 |
| Slika 4. 17. Kočnice rotora [15].....                           | 35 |
| Slika 4. 18. Donji nosač [15] .....                             | 36 |
| Slika 4. 19. Karakteristike turbine [15].....                   | 37 |
| Slika 4. 20. Tablasti zatvarač [15] .....                       | 37 |
| Slika 4. 21. Spiralni betonski kanal [15].....                  | 38 |
| Slika 4. 22. Vratilo turbine [15] .....                         | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 4. 23. Uljne cijevi [15].....                         | 40 |
| Slika 4. 24. Hidraulički mehanizam lopatica [15] .....      | 40 |
| Slika 4. 25. Servo motor privodnog aparata [15].....        | 41 |
| Slika 4. 26. Hidraulički akumulatori [15] .....             | 42 |
| Slika 4. 27. Sastavni dijelovi mehanizma lopatice [15]..... | 42 |
| Slika 4. 28. Privodne lopatice [15].....                    | 43 |
| Slika 4. 29. Lopatice radnog kola [15].....                 | 44 |

## POPIS TABLICA

|  |    |
|--|----|
| Tablica 3. 1 Hidroelektrane unutar Hrvatskog EES-a [9].....  | 14 |
| Tablica 3. 2. Moguća proizvodnja hidroelektrana na slivu [11] .....                                | 15 |
| Tablica 3. 3 Pogonska stanja elektrane u razdoblju od 01.01. do 31.12.2019. [13] .....             | 17 |
| Tablica 3. 4.Ukupna proizvodnja električne energije u razdoblju od 01.01. do 31.12.2019. [13]..... | 17 |
| Tablica 3. 5. Mjesečni pregled proizvodnje HE Đale [13] .....                                      | 18 |
| Tablica 4. 1. Stupanj korisnosti [14].....   | 23 |