

# Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na rekonstruirane proizvodne jedinice HE Varaždin nakon promjene mrežnih pravila prijenosnog sustava

---

Vuglač, Gordan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:051535>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-23**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

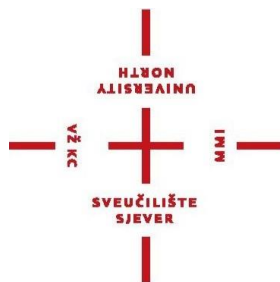
*Završni rad br. 549/EL/2024*

**Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na  
rekonstruirane proizvodne jedinice HE Varaždin nakon  
promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava**

**Gordan Vuglač, 0336042503**

Varaždin, studeni 2024. godine





**Sveučilište  
Sjever**

**Odjel za elektrotehniku**

**Završni rad br. 549/EL/2024**

**Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na  
rekonstruirane proizvodne jedinice HE Varaždin nakon  
promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava**

**Student**

Gordan Vuglač, 0336042503

**Mentor**

Izv. prof. dr. sc. Srđan Skok, dipl. ing.

Varaždin, studeni 2024. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Gordan Vuglač

MATIČNI BROJ 0336042503

DATUM 21.08.2023.

KOLEGIJ Razvod električne energije

NASLOV RADA Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na rekonstruirane proizvodne jedinice HE Vara

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Checking the possibility of connection and requirements for the reconstructed production u

MENTOR Srđan Skok

ZVANJE Izvanredni profesor

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Doc.dr.sc. Dunja Srpak
2. Izv.prof.dr.sc. Srđan Skok
3. Izv.prof.dr.sc. Ladislav Havaš
4. mr.sc. Ivan Šumiga, viši predavač
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 549/EL/2024

OPIS

Nakon gotovo 50 godina radnog vijeka HE Varaždin neophodna je zamjena glavne opreme prvenstveno zbog dotrajalosti. Pritom će se izvesti rekonstrukcija hidroelektrane uz povećanje snage s postojećih 95 MW na 110 MW. Ovaj završni rad provjerava izvedivost i zahtjeve za ponovno priključenje rekonstruiranih proizvodnih jedinica HE Varaždin nakon ažuriranja Mrežnih pravila prijenosnog sustava. Završni rad uključuje komparativnu analizu starih i revidiranih propisa, osiguravajući usklađenost s novouspostavljenim standardima. Ocjenjivanjem projektnih dokumenata prema ovim ažuriranim normama, ovaj e-rad identificira područja usklađenosti i nesukladnosti. Rezultati će dati potrebne prilagodbe projekta rekonstrukcije, osiguravajući poštivanje najnovijih normi priključenja na mrežu.

ZADATAK URUČEN 21.05.2024.

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

## **Predgovor**

Želim zahvaliti mentoru profesoru Srđanu Skoku na pruženoj pomoći i suradnji tijekom izrade ovog završnog rada, gospodinu Dinku Pečeku, voditelju projekta rekonstrukcije Hidroelektrane Varaždin, što mi je priložio svu dokumentaciju za potrebu izrade ovog završnog rada i HEP Proizvodnji zbog njihove suglasnosti za korištenje tehničkih podataka.

Također bih zahvalio svim profesorima na Sveučilištu Sjever koji su mi prenijeli svoje znanje i iskustva te svojoj obitelji na nemjerljivoj podršci za vrijeme studiranja.

## Sažetak

Ovaj završni rad je provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na buduće rekonstruirane proizvodne jedinice Hidroelektrane Varaždin nakon promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava do kojih je došlo u međuvremenu.

Radi se na način da se uspoređuju stara i nova Mrežna pravila prijenosnog sustava, zatim se provjerava jesu li dokumenti za projekt rekonstrukcije proizvodnih jedinica u skladu s izmijenjenim normama.

Razrada je napravljena na način da se za svako poglavlje dokumenta prvo navede nama bitan citat dokumenta, zatim se citiraju članci novih Mrežnih pravila koji se odnose na taj dio dokumenta i zatim se iznosi zaključak u kojem će biti razjašnjeno što dokument poštuje od Mrežnih pravila, a što ne poštuje. Nadalje će u Analizi rezultata biti navedeno što se razlikuje u novim i starim Mrežnim pravilima i koji dio dokumenata mora biti izmijenjen.

Završni rad će biti dostavljen HEP Proizvodnji i ći će u svrhu poštivanja propisanih izmijenjenih Mrežnih pravila kod rekonstrukcije Hidroelektrane Varaždin.

**Ključne riječi:** hidroelektrana, proizvodne jedinice, agregat, Mrežna pravila prijenosnog sustava, rekonstrukcija

## Abstract

This thesis is a review of the possibility of connection and requirements for the future reconstructed production units of the Varaždin Hydroelectric Power Plant after the change in the grid code of the transmission system that occurred in the meantime.

It is done in such a way as to compare the old and new grid code of the transmission system, then it is checked whether the documents for the reconstruction project of the production units are in accordance with the amended norms.

The elaboration was done in such a way that for each chapter of the document, first a quote from the document is provided, then the articles of the new grid code that refer to that part of the document are cited, and then a conclusion is presented in which it will be clarified what the document respects from the grid code, and what it does not respect. Furthermore, the Analysis of Results will state what is different between the new and old grid code and which part of the documents must be changed.

The thesis will be submitted to HEP Proizvodnja and will be used for the purpose of complying with the prescribed amended grid code for the reconstruction of the Varaždin Hydroelectric Power Plant.

**Key words:** hydroelectric power plant, production units, aggregate, grid code of the transmission system, reconstruction



## Popis korištenih kratica i oznaka

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>ABM</b>             | Agregat biološkog minimuma   |
| <b>AUSZM</b>           | Automatizacija, upravljanje, signalizacija, zaštita i mjerenje                 |
| <b>cosφ</b>            | Faktor snage   |
| <b>d</b>               | Promjer  |
| <b>E</b>               | Energija (električna)  |
| <b>EES</b>             | Elektroenergetski sustav   |
| <b>EN</b>              | European Standard (oznaka standarda)   |
| <b>EOTRP</b>           | Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja                            |
| <b>EU</b>              | Europska unija   |
| <b>f</b>               | Frekvencija  |
| <b>FCP</b>             | Frequency Control Process (Proces održavanja frekvencije)                      |
| <b>FRP</b>             | Frequency Restoration Process (Proces vraćanja frekvencije)                    |
| <b>GWh</b>             | Gigavatsat   |
| <b>h</b>               | Visina   |
| <b>HE</b>              | Hidroelektrana   |
| <b>HEP</b>             | Hrvatska elektroprivreda   |
| <b>HERA</b>            | Hrvatska energetska regulatorna agencija                                       |
| <b>hm<sup>3</sup></b>  | Kubni hektometar   |
| <b>HOPS</b>            | Hrvatski operator prijenosnog sustava  |
| <b>Hz</b>              | Herc   |
| <b>Hz/s</b>            | Herc po sekundi  |
| <b>IEC/TR</b>          | International Electrotechnical Commission/Technical Reports (oznaka standarda) |
| <b>k<sub>u</sub></b>   | Prijenosni omjer napona blok transformatora                                    |
| <b>kV</b>              | Kilovolt   |
| <b>kWh</b>             | Kilovatsat   |
| <b>m</b>               | Metar  |
| <b>m<sup>3</sup>/s</b> | Kubni metar po sekundi   |
| <b>MHE</b>             | Mala hidroelektrana  |
| <b>mHz</b>             | Miliherc   |
| <b>mm</b>              | Milimetar  |
| <b>MP</b>              | Mrežna pravila   |
| <b>MPPS</b>            | Mrežna pravila prijenosnog sustava   |
| <b>ms</b>              | Milisekunda  |
| <b>MVA</b>             | Megavoltamper  |

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>MW</b>                | Megavat  |
| <b>NN</b>                | Narodne novine (oznaka zakona, odluka i propisa Vlade Republike Hrvatske)  |
| <b>ODS</b>               | Operator distribucijskog sustava   |
| <b>PAMP</b>              | Preliminarna analiza mogućnosti priključenja                               |
| <b>P<sub>lt</sub></b>    | Razina jakosti dugotrajnih treperenja napona u prijenosnoj mreži           |
| <b>P<sub>n</sub></b>     | Nazivna djelatna snaga   |
| <b>PPZ</b>               | Protupožarna zaštita   |
| <b>PSS</b>               | Power System Stabilizer (Stabilizator elektroenergetskog sustava)          |
| <b>P<sub>t</sub></b>     | Snaga turbine  |
| <b>p.u.</b>              | Per unit (Po jedinici)   |
| <b>q</b>                 | Protok   |
| <b>Q/P<sub>max</sub></b> | Kapaciteti za proizvodnju jalove snage                                     |
| <b>RH</b>                | Republika Hrvatska   |
| <b>s</b>                 | Sekunda  |
| <b>S<sub>n</sub></b>     | Nazivna prividna snaga generatora  |
| <b>SN</b>                | Srednje naponski   |
| <b>THD</b>               | Total Harmonic Distortion (Ukupno harmonijsko izobličenje)                 |
| <b>THDU</b>              | Total Harmonic Distortion, voltage (Ukupno harmonijsko izobličenje napona) |
| <b>TS</b>                | Transformatorska stanica   |
| <b>U<sub>n</sub></b>     | Nazivni napon  |
| <b>v</b>                 | Volumen  |

# Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| 1. Uvod .....   | 1  |
| 2. Hidroelektrane .....   | 2  |
| 2.1. Osnove hidroelektrana .....  | 2  |
| 2.2. Podjela hidroelektrana prema načinu proizvodnje .....  | 3  |
| 2.3. HE Varaždin .....  | 3  |
| 2.4. Rekonstrukcija HE Varaždin .....   | 4  |
| 2.4.1. Opći podaci rekonstrukcije HE Varaždin .....   | 5  |
| 2.4.2. Zakonodavni okvir i ulazne podloge .....   | 7  |
| 3. Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na rekonstruirane proizvodne jedinice HE<br>Varaždin nakon promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava .....  | 8  |
| 3.1. Podaci o kvaliteti električne energije .....   | 8  |
| 3.1.1. Odstupanje frekvencije .....   | 8  |
| 3.1.2. Odstupanje napona .....  | 9  |
| 3.1.3. Valni oblik napona .....   | 10 |
| 3.1.4. Treperenje i nesimetričnost napona .....   | 11 |
| 3.1.5. Mjerenje kvalitete električne energije za potrebe HE Varaždin .....  | 12 |
| 3.2. Isporuca djelatne snage, održavanje frekvencije, održavanje napona i kompenzacija<br>jalove snage, odvajanje proizvodne jedinice od mreže s obzirom na sigurnost sustava i<br>ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži ..... | 13 |
| 3.2.1. Isporuca djelatne snage u mrežu .....  | 14 |
| 3.2.2. Održavanje frekvencije .....   | 17 |
| 3.2.3. Regulacija napona .....  | 18 |
| 3.2.4. Odvajanje od mreže s obzirom na sigurnost sustava .....  | 21 |
| 3.2.5. Ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži .....   | 24 |
| 3.3. Zahtjevi ESS od interesa .....   | 28 |
| 3.3.1. Održavanje napona i isporuka jalove snage .....  | 28 |
| 3.3.2. Odstupanje napona .....  | 30 |
| 4. Analiza rezultata .....  | 33 |
| 4.1. Ključne promjene Mrežnih pravila .....   | 33 |
| 4.2. Analiza EOTRP-a .....  | 33 |
| 4.3. Analiza Analize potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji<br>HE Varaždin .....   | 34 |
| 5. Zaključak .....  | 35 |
| 6. Literatura .....   | 36 |
| Popis slika .....   | 37 |
| Popis tablica .....   | 38 |

# 1. Uvod

Hidroelektrana Varaždin (nadalje HE Varaždin) je najstarija višenamjenska hidroelektrana Dravskog sliva u Hrvatskoj i četvrta najveća hidroelektrana u Hrvatskoj po prosječnoj proizvodnji. To je najuzvodnija elektrana koja koristi potencijal rijeke Drave za proizvodnju električne energije, povećava zaštitu od poplava, omogućuje gravitacijsko natapanje poljoprivrednih površina uz dovodni kanal te omogućuje uvjete za razvoj sporta i rekreacije. Elektrana je puštena u pogon u travnju 1975. godine te predstavlja prvu u nizu od izgrađene tri dravske hidroelektrane na potezu između granice s Republikom Slovenijom i ušća Mure u Dravu. Locirana je u Varaždinskoj županiji u mjestu Sračinec.

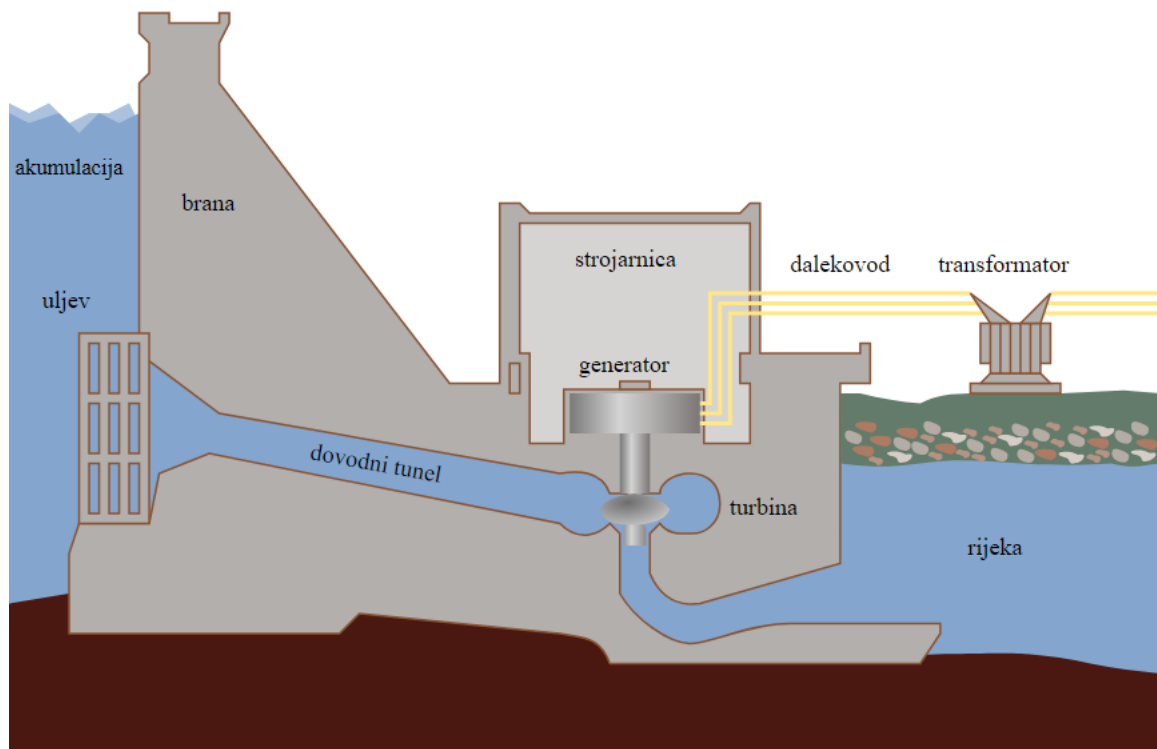
Nakon gotovo 50 godina radnog vijeka neophodna je zamjena glavne opreme prvenstveno zbog dotrajalosti. Pritom će se izvesti rekonstrukcija hidroelektrane uz povećanje snage s postojećih 95 MW na 110 MW. Ovaj završni rad provjerava izvedivost i zahtjeve za ponovno priključenje rekonstruiranih proizvodnih jedinica HE Varaždin nakon ažuriranja Mrežnih pravila prijenosnog sustava. Završni rad uključuje komparativnu analizu starih i revidiranih propisa, osiguravajući usklađenost s novouspostavljenim standardima. Ocjenjivanjem projektnih dokumenata prema ovim ažuriranim normama, ovaj dokument identificira područja usklađenosti i nesukladnosti. Rezultati će dati potrebne prilagodbe projekta rekonstrukcije, osiguravajući poštivanje najnovijih standarda priključenja na mrežu te će biti dostavljeni HEP Proizvodnji na provedbu.

## 2. Hidroelektrane

### 2.1. Osnove hidroelektrana

Hidroelektrane proizvode električnu energiju iskorištavanjem energije tekuće ili padajuće vode. Ovaj oblik obnovljive energije jedan je od najstarijih i najuvrženijih načina proizvodnje električne energije. Glavni dijelovi hidroelektrane su prikazani na slici 2.1.

Osnovni princip proizvodnje električne energije je sljedeći: Potencijalna energija vode koja je pohranjena na visini u rezervoarima ima potencijalnu energiju zbog gravitacije. Kada se voda ispusti, ona teče prema dolje, pretvarajući potencijalnu energiju u kinetičku energiju. Tekuća voda pokreće turbine, pretvarajući kinetičku energiju u mehaničku energiju, a zatim turbine, koje su spojene na generatore, mehaničku energiju pretvaraju u električnu.



Slika 2.1 Shema hidroelektrane

Prednosti:

- Obnovljiv izvor energije: Hidroelektrana se oslanja na ciklus vode, koji se prirodno obnavlja oborinama i rijekama, što je čini obnovljivim resursom te održivim i neiscrpnim izvorom energije;
- Niske emisije: Proizvodi vrlo niske razine stakleničkih plinova u usporedbi s fosilnim gorivima;

- Pouzdanost i stabilnost: Hidroelektrane se mogu brzo prilagoditi potražnji za električnom energijom i osigurati stabilnu opskrbu;
- Dugi životni vijek: Hidroelektrane mogu raditi desetljećima uz pravilno održavanje.

Nedostaci:

- Utjecaj na okoliš: Izgradnja brane može poremetiti lokalne ekosustave, utjecati na riblje populacije i promijeniti kvalitetu i protok vode, dok stvaranje rezervoara može zahtijevati preseljenje zajednica i divljih životinja;
- Visoki početni troškovi: Izgradnja brana i infrastrukture može biti skupa i dugotrajna;
- Ovisnost o dostupnosti vode: Suše i promjene u obrascima padalina mogu utjecati na proizvodnju električne energije.

## 2.2. Podjela hidroelektrana prema načinu proizvodnje

Prema načinu proizvodnje hidroelektrane se dijele na sljedeće četiri vrste:

- Pribranske, kod kojih je strojarnica uz ili u brani;
- Derivacijske, kod kojih je strojarnica izmještena dalje od brane;
- Reverzibilne, koje su akumulacijske HE s dvije akumulacije (gornja i donja). Proizvode energiju klasično padom vode iz gornje akumulacije, ali mogu raditi i kao crpke koje crpe vodu iz donje akumulacije u gornju akumulaciju kako bi se ta voda mogla ponovno energetski iskorištavati, a za crpljenje se koristi električna energija iz elektroenergetskog sustava u vrijeme kada ima viška energije (npr. noću);
- Crpne, hidroenergetska postrojenja kojima je osnovni zadatak crpljenje (sakupljanje) vode u višim akumulacijama za potrebe neke klasične HE (u čijem su tehnološkom sastavu), a kada se voda iz akumulacije koristi u osnovnoj HE, rade kao klasična HE te i one koriste energiju iste vode povećavajući ukupni stupanj iskoristivosti. [1]

## 2.3. HE Varaždin

HE Varaždin je smještena na rijeci Dravi na dionici dugoj skoro 20 kilometara, od granice sa Slovenijom kod grada Ormoža do grada Varaždina. Strojarnica je smještena kod mjesta Sračinec, a brana kod mjesta Strmec Podravski. Ima više namjena: brani zemljište i naselja od poplava i erozivnog djelovanja, opskrbljuje okolna mjesta vodom, odvodnjava prekomjerno vlažno zemljište te stvara uvjete za gravitacijsku odvodnju doline i gravitacijsko natapanje zemljišta. HE Varaždin je izgrađena u relativno kratkom vremenu od 4,5 godine.

Početak izgradnje bio je 1970., a završetak i puštanje u rad elektrane 1975. Hidroelektrane na Dravi počele su se projektirati ranih sedamdesetih godina prošlog stoljeća na visokoj stručnoj razini (Elektroprojekt, Zagreb, u suradnji Građevinskim fakultetom u Zagrebu, institut Geoexpert i Institut građevinarstva Hrvatske, istražni radovi Geotehnika, Zagreb, i Institut za građevinsko inženjerstvo, Zagreb). [2]

Tehničke cjeline HE Varaždin su akumulacijsko jezero, brana, dovodni derivacijski kanal, strojnica, odvodni derivacijski kanal.

Tablica 2.1 Osnovni tehnički podaci HE Varaždin

|   |   |
|---|---|
| protok kroz derivacijski kanal (kroz turbine) | $q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ (2 x 250 $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
| koristan obujam umjetnog jezera               | $v = 2,8 \text{ hm}^3$  |
| nazivni pad                                   | $h = 22,6 \text{ m}$  |
| maksimalna snaga turbina (radna snaga)        | $P_t = 96 \text{ MW}$ (2 x 48 MW)                               |
| nazivna prividna snaga generatora             | $S_n = 53,5$ (50) MVA   |
| nazivni napon generatora                      | $U_n = 10,5 \text{ kV}$   |
| prijenosni omjer blok transformatora          | $k_u = 10,5 / 115 \text{ kV}$                                   |
| prosječna godišnja proizvedena radna energija | $E = 454 \text{ GWh}$   |

Električnu energiju u HE Varaždin proizvode dva agregata (proizvodne jedinice A i B). Svaki se sastoji od trofaznog sinkronog generatora s istaknutim polovima (hidrogenerator) proizvodnje tvrtke Končar i Kaplanove turbine snage 48 MW iz 1975. Za niske padove (do približno 40 m) koriste se Kaplanove turbine, koje rade slično kao i Francisove, s tim da je broj lopatica daleko manji. Uz HE Varaždin se nalazi i MHE Varaždin (Mala hidroelektrana Varaždin) koja ima jedan cijevni agregat snage 0,635 MW (proizvodna jedinica C) s desne strane brane koja služi za ispuštanje biološkog minimuma (8  $\text{m}^3/\text{s}$ ) nizvodno u staro korito rijeke. Rekonstrukcija male hidroelektrane izvedena je u razdoblju od 2014. do 2016. godine. [3]

## 2.4. Rekonstrukcija HE Varaždin

Gotovo sve HEP-ove hidroelektrane, među kojima i tri dravske (HE Varaždin, HE Čakovec, HE Dubrava) sa srednjom godišnjom proizvodnjom oko 1,15 milijardi kWh u potpunosti pokrivaju potrebe elektroenergetskog sustava na sjeveru Hrvatske.

S ciljem produljenja životnog vijeka i povećanja proizvodnje, HEP u razdoblju od 2012. do 2030. godine provodi ciklus revitalizacija 12 hidroelektrana ukupne vrijednosti 570 milijuna eura.

Nakon rekonstrukcije i revitalizacije najveće HEP-ove hidroelektrane – Zakučac, najveće planirano ulaganje, vrijedno čak 100 milijuna eura, realizirat će se u HE Varaždin. [4]



Slika 2.2 Zgrada strojarnice HE Varaždin izvana

#### 2.4.1. Opći podaci rekonstrukcije HE Varaždin

Planiranom rekonstrukcijom HE Varaždin, želi se povećati snaga elektrane u odnosu na trenutačno stanje. Da bi se postigli očekivani rezultati slijedom rekonstrukcije HE Varaždin potrebno je zamijeniti kompletnu opremu agregata. [5]

Tablica 2.2 Osnovne predvidive karakteristike HE Varaždin nakon planirane rekonstrukcije

|   |   |
|---|---|
| protok kroz novi derivacijski kanal           | $q = 550 \text{ m}^3/\text{s}$ (2 x 275 $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
| maksimalna snaga novih turbina (radna snaga)  | $P_t = 110 \text{ MW}$ (2 x 55 MW)                              |
| nazivna prividna snaga novih generatora       | $S_n = 130 \text{ MVA}$ (2 x 65 MVA)                            |
| nazivni napon generatora                      | $U_n = 10,5 \text{ kV}$   |
| faktor snage                                  | $\cos\varphi = 0,85$  |
| promjer radnog kola                           | $d = 5900 \text{ mm}$   |
| prosječna godišnja proizvedena radna energija | $E = 483,71 \text{ GWh}$  |

Poredivši podatke iz tablice 2.1 i tablice 2.2 vidimo da dolazi do povećanja protoka za ukupno 50  $\text{m}^3/\text{s}$ , maksimalne snage turbina za ukupno 14 MW, nazivne prividne snage generatora za ukupno 23 MVA te prosječne godišnje proizvodnje od gotovo 30 GWh.



Rekonstrukcija hidroelektrane planirana je u više faza u skladu s lokacijskom dozvolom. Prva faza rekonstrukcije uključuje zamjenu proizvodne jedinice B, dok druga faza predviđa zamjenu proizvodne jedinice A.

Od značajnijih zahvata, rekonstrukcija HE Varaždin podrazumijeva:

- zamjenu kompletne turbinske opreme agregata;
- zamjenu postojećih generatora i uzbuđenog sustava;
- zamjenu blok transformatora;
- zamjenu spojnih vodova od generatora do blok transformatora;
- zamjenu generatorskog postrojenja 10,5 kV;
- zamjenu turbinske regulacije;
- zamjenu postrojenja regulatora protoka;
- rekonstrukciju i sanaciju hidromehaničke opreme strojarnice;
- zamjenu dizalica strojarnice;
- izgradnju nove pogonske zgrade postrojenja 110 kV (u vlasništvu HOPS-a);
- zamjena kompletne opreme sustava AUSZM strojarnice i brane;
- premještanje kompletne opreme AUSZM postrojenja 110 kV, dosad smještene unutar strojarnice HE Varaždin, u novu pogonsku zgradu HOPS-a;
- rekonstrukciju postrojenja 35 kV;
- izgradnju nove TS 35 / 0,4 kV;
- rekonstrukciju postrojenja 10,5 kV;
- zamjenu transformatora napajanja vlastite potrošnje 35 / 0,4 kV i 10,5 / 0,4 kV;
- zamjenu kompletne opreme postrojenja 0,4 kV te kablenskog razvoda;
- zamjenu kompletnog sustava unutarnjeg uzemljenja strojarnice, SN postrojenja napajanja vlastite potrošnje i blok transformatora;
- zamjenu sustava zaštite od munje strojarnice i ulazne građevine;
- rekonstrukciju vanjskog uzemljivača elektrane polaganjem dodatnih uzemljivača koji se spajaju na postojeći;
- zamjenu postrojenja rashladne vode;
- rekonstrukciju drenaže strojarnice;
- rekonstrukciju sustava grijanja, hlađenja i ventilacije strojarnice;
- zamjenu kompletnog postrojenja uljnog gospodarstva;
- zamjenu vanjske rasvjete i unutarnje rasvjete čvora strojarnice (rasvjetna tijela i kabelski razvod);
- zamjenu sustava protupožarne zaštite (PPZ);

- zamjenu hidromehaničke opreme brane ispred, iza i u protočnom traktu agregata biološkog minimuma (ABM);
- rekonstrukciju elektropostrojenja i elektroinstalacija brane;
- rekonstrukcija vanjske i unutarnje rasvjete na lokaciji brane;
- zamjena sustava tehničke zaštite strojarnice i brane HE Varaždin. [6]

#### **2.4.2. Zakonodavni okvir i ulazne podloge**

Pri izradi ovog rada korišteni su sljedeći propisi:

- NN 67/2017 (12.07.2017.), Mrežna pravila prijenosnog sustava
- NN 10/2024 (26.01.2024.), Mrežna pravila prijenosnog sustava

Mrežna pravila prijenosnog sustava su osnovni podzakonski i tehnički propis kojim se uređuje sve vezano uz pogon elektroprijenosnog sustava. Donio ih je Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS) na osnovi Zakona o tržištu električne energije (NN 22/2013, 95/2015 i 102/2015, zatim NN 111/2021 i 83/2023) uz prethodnu suglasnost Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA). Ona se primjenjuju na sve korisnike prijenosnog sustava i njima se, između ostaloga, propisuju tehnički i drugi uvjeti za priključenje korisnika na prijenosnu mrežu, za sigurno preuzimanje električne energije od proizvođača i iz drugih elektroenergetskih sustava te siguran pogon prijenosne mreže radi pouzdane opskrbe krajnjih kupaca električnom energijom propisane kvalitete, za pristup prijenosnoj mreži i njezino korištenje i održavanje. Isto tako, propisane su i obveze korisnika prijenosne mreže u tehničkom pogledu, planiranje pogona i upravljanje prijenosnim sustavom, postupci pri pogonu EES-a u normalnom pogonu prijenosne mreže i u slučaju više sile, poremećenog i izvanrednog pogona i drugih izvanrednih okolnosti. Konačno, njima su propisane i obveze HOPS-a za utvrđivanje standardnih tehničkih rješenja za prijenosnu mrežu i priključke, uključujući obračunska mjerna mjesta korisnika mreže. [7]

Također su za izradu ovog rada bile na raspolaganju sljedeće podloge:

- Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja (EOTRP) HE Varaždin na prijenosnu elektroenergetsku mrežu, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, rujan 2018.
- Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin, Institut za elektroprivredu, prosinac 2017.
- Preliminarna analiza mogućnosti priključenja (PAMP) rekonstruirane HE Varaždin 110 MW na prijenosnu mrežu, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, svibanj 2017.

### **3. Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na rekonstruirane proizvodne jedinice HE Varaždin nakon promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava**

#### **3.1. Podaci o kvaliteti električne energije**

Poglavlje 3.8 EOTRP-a „Podaci o kvaliteti električne energije“ govori nam da postrojenje Korisnika mreže (rekonstruirana HE Varaždin) ne smije imati povratni utjecaj na mrežu koji bi narušio propisanu razinu kakvoće opskrbe električnom energijom. Ukoliko negativno povratno djelovanje Korisnika mreže na mrežu bude uzrokovalo odstupanje parametara kakvoće napona od propisanih u Mrežnim pravilima, Korisnik mreže je obavezan ugraditi opremu koja će njegovo negativno djelovanje na mrežu svesti u propisima dozvoljene okvire.

Nadalje, analiza povratnog djelovanja je obveza Korisnika mreže koji HOPS-u mora u pokusnom radu mjerenjem dokazati da ne narušava dopuštene granice povratnog djelovanja na prijenosnu i distributivnu mrežu.

Korisnik mreže mora dimenzionirati svoje postrojenje prema zahtjevima utvrđenim Mrežnim pravilima za priključak postrojenja Korisnika mreže na prijenosnu mrežu, kao i prema tehničkim preporukama i normama koje se temelje na načelima određivanja negativnog povratnog djelovanja na mrežu (emisija viših harmoničkih komponenti, flikeri, nesimetrije i slično).

Operator prijenosnog sustava osigurava na mjestu priključka korisnika mreže zadovoljenje minimalnih temeljnih tehničkih značajki. [6]

##### **3.1.1. Odstupanje frekvencije**

###### EOTRP 3.8.1 Odstupanje frekvencije:

„Nazivna frekvencija u hrvatskom elektroenergetskom sustavu iznosi 50,00 Hz.

U normalnim pogonskim uvjetima i pri radu hrvatskog sustava u interkonekciji, frekvencija se održava u granicama od 49,95 Hz do 50,05 Hz.

U normalnim pogonskim uvjetima u izoliranom radu hrvatskog sustava, frekvencija se održava u granicama od 49,50 Hz do 50,50 Hz.

U poremećenim uvjetima pogona, frekvencija se može kretati od 47,50 Hz do 51,50 Hz.“ [6]

###### Mrežna pravila 4.1.3 Odstupanje frekvencije, čl. 91.:

„(1) Nazivna frekvencija u hrvatskom elektroenergetskom sustavu iznosi 50,00 Hz.

(2) U normalnim pogonskim uvjetima i pri radu hrvatskog elektroenergetskog sustava u interkonekciji, frekvencija se održava u granicama od 49,95 Hz do 50,05 Hz. Frekvencija izvan granica od 49,95 Hz do 50,05 Hz smije biti maksimalno 15000 minuta godišnje.

(3) U normalnim pogonskim uvjetima u izoliranom radu hrvatskog elektroenergetskog sustava, frekvencija se održava u granicama od 49,50 Hz do 50,50 Hz. Frekvencija u granicama od 49,00 Hz do 51,00 Hz mora biti održavana tijekom svakog tjedna u 95,0 % prosjeka 10 sekundnih mjernih intervala.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.9.2 Odstupanje frekvencije, čl. 137.:

„(1) Pri frekvencijama jednakim ili manjim od 47,50 Hz proizvodna jedinica može se odvojiti od prijenosne mreže.

(2) Proizvodne jedinice od kojih je operator prijenosnog sustava zahtijevao otočni rad i prazni hod uz osiguranje napajanja vlastite potrošnje te za isto sklopio ugovor, moraju pri frekvenciji jednakoj ili manjoj od 47,50 Hz prijeći u otočni rad, odnosno u prazni hod uz osiguranje napajanja vlastite potrošnje i biti spremne za ponovnu sinkronizaciju.

(3) Pri frekvencijama između 47,50 Hz i 51,50 Hz dopušteno je odvajanje od prijenosne mreže proizvodne jedinice na način kako je to prikazano na [slikama 3.2 i 3.5].“ [8]

#### Zaključak:

„EOTRP 3.8.1 Odstupanje frekvencije“ zadovoljava sva Mrežna pravila.

### **3.1.2. Odstupanje napona**

#### EOTRP 3.8.2 Odstupanje napona:

„Nazivni napon prijenosne mreže na koju je priključena HE Varaždin je 110 kV.

U normalnim pogonskim uvjetima, iznos napona na mjestima priključka korisnika na prijenosnu mrežu održava se u granicama  $110 \pm 10\% = 99-121$  kV.

U poremećenom pogonu, iznos napona na mjestima priključka korisnika na prijenosnu mrežu može biti u granicama  $110 \text{ kV} \pm 15\% = 94-127$  kV.“ [6]

#### Mrežna pravila 4.1.4 Odstupanje napona, čl. 92.:

„(1) Nazivni naponi u prijenosnoj mreži hrvatskog elektroenergetskog sustava su 400 kV, 220 kV i 110 kV.

(2) U normalnim pogonskim uvjetima iznos napona na mjestima priključka korisnika na prijenosnu mrežu održava se u granicama iz članka 25. stavka 2. ovih Mrežnih pravila.

(3) U skladu s ovim Mrežnim pravilima, posebnim odredbama ugovora o priključenju postrojenja korisnika prijenosne mreže i uslugama elektroenergetskog sustava može se za pojedini priključak sporazumno ugovoriti i veće ili manje dopušteno odstupanje napona od nazivne vrijednosti na mjestu priključka.“ [8]

#### Mrežna pravila 2.2.3 Održavanje napona, čl. 25.:

„(1) U prijenosnoj mreži hrvatskog elektroenergetskog sustava, odnosno na sučelju operatora prijenosnog sustava, korisnika mreže i operatora distribucijskog sustava, koriste se referentni naponi za bilježenje vrijednosti 1 p.u. iznosa prikazanih u sljedećoj tablici:

|                             |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|
| Referentni napon mreže (kV) | 110 | 220 | 400 |
|-----------------------------|-----|-----|-----|

(2) U normalnim pogonskim uvjetima iznos napona održava se u sljedećim granicama:

- u mreži 400 kV (-10 % +5 % ): = 360 – 420 kV,
- u mreži 220 kV (-10 % +11,8 % ): = 198 – 246 kV,
- u mreži 110 kV (-10 % +11,8 % ): = 99 – 123 kV.

(3) U poremećenom pogonu napon može odstupati unutar graničnih vrijednosti najdulje 60 minuta:

- u mreži 400 kV: 400 kV -15 % +10 % = 340 – 440 kV,
- u mreži 220 kV: 220 kV ±15 % = 187 – 253 kV,
- u mreži 110 kV: 110 kV ±15 % = 94 – 127 kV.“ [8]

#### Zaključak:

„EOTRP 3.8.2 Odstupanje napona“ zadovoljava sva Mrežna pravila, osim dijela koji se odnosi na iznos napona u normalnim pogonskim uvjetima u mreži 110 kV (čl. 25. st. 2. novih Mrežnih pravila), zato što se, prema novim pravilima, dopušta iznos gornje granice odstupanja za 1.8 % više. Dakle, gornja granica napona iznosi 123 kV, a ne 121 kV.

### **3.1.3. Valni oblik napona**

#### EOTRP 3.8.3 Valni oblik napona:

„U normalnim pogonskim uvjetima, vrijednost faktora ukupnog harmonijskog izobličenja napona (THD) uzrokovanog priključenjem proizvođača i/ili kupca na mjestu preuzimanja ili predaje može iznositi najviše 3,0 % na naponu 110 kV. Navedena vrijednost odnosi se na 95 % 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona za razdoblje od tjedan dana.“ [6]

#### Mrežna pravila 4.1.5 Kvaliteta napona, čl. 93. st. 1.:

„(1) U normalnim pogonskim uvjetima, planirana razina ukupnog harmoničkog izobličenja napona (THDU) na mjestu preuzimanja ili predaje iznosi:

– 1,5 % na 400 kV i 220 kV,

– 3,0 % na 110 kV.

Navedene vrijednosti harmoničkog izobličenja odnose se na 95 % 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona za razdoblje od tjedan dana.“ [8]

#### Zaključak:

„EOTRP 3.8.3 Valni oblik napona“ zadovoljava sva Mrežna pravila.

### **3.1.4. Treperenje i nesimetričnost napona**

#### EOTRP 3.8.4 Treperenje i nesimetričnost napona:

„Planirana razina jakosti dugotrajnih treperenja napona u prijenosnoj mreži iznosi  $P_{lt} = 1,0$ . U normalnom pogonu u bilo kojem razdoblju od tjedan dana jakost dugotrajnih treperenja napona ne smije u 95 % 120 minutnih intervala premašiti planiranu razinu.

S ciljem ograničavanja kumulativnog utjecaja svih krajnjih kupaca, proizvođača ili ODSa na iznos planirane razine jakosti dugotrajnih treperenja napona, granične vrijednosti jakosti dugotrajnih treperenja napona svakog pojedinog krajnjeg kupca, proizvođača ili ODS-a se određuju proporcionalno njegovoj priključnoj snazi. Za određivanje granične vrijednosti se primjenjuje postupak dan u IEC/TR 61000-3-7.

Planirana razina nesimetričnosti napona u prijenosnoj mreži iznosi 1,4 %. Navedena vrijednost nesimetričnosti napona odnosi se na 95 % 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti inverzne komponente napona za razdoblje od tjedan dana.

Ponovno, u cilju ograničavanja kumulativnog utjecaja svih krajnjih kupaca, proizvođača ili ODS-a na iznos planirane razine nesimetričnosti napona, granične vrijednosti emisije nesimetričnosti napona svakog pojedinog krajnjeg kupca, proizvođača ili ODS-a se određuju proporcionalno udjelu njegove priključne snage u snazi kratkog spoja na mjestu priključenja. Za određivanje granične vrijednosti se primjenjuje postupak dan u IEC/TR 61000-3-13.

(...)“ [6]

#### Mrežna pravila 4.1.5 Kvaliteta napona, čl. 94.:

„(1) Planirana razina jakosti dugotrajnih treperenja napona u prijenosnoj mreži iznosi  $P_{lt} = 1,0$ . U normalnom pogonu u bilo kojem razdoblju od tjedan dana jakost dugotrajnih treperenja napona ne smije u 95 % 120 minutnih intervala premašiti planiranu razinu.

(2) U cilju ograničavanja kumulativnog utjecaja svih krajnjih kupaca, proizvođača, susjednih operatora sustava ili operatora distribucijskog sustava na iznos planirane razine jakosti dugotrajnih treperenja napona, granične vrijednosti jakosti dugotrajnih treperenja napona svakog pojedinog korisnika mreže ili operatora distribucijskog sustava određuju se proporcionalno njegovoj priključnoj snazi prema normi IEC/TR 61000-3-7.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.1.5 Kvaliteta napona, čl. 95.:

„(1) Planirana razina nesimetričnosti napona u prijenosnoj mreži iznosi 1,4 %. Navedena vrijednost nesimetričnosti napona odnosi se na 95 % 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti inverzne komponente napona za razdoblje od tjedan dana.

(2) U cilju ograničavanja kumulativnog utjecaja svih krajnjih kupaca, proizvođača, susjednog operatora sustava ili operatora distribucijskog sustava na iznos planirane razine nesimetričnosti napona, granične vrijednosti emisije nesimetričnosti napona svakog pojedinog krajnjeg kupca, proizvođača, susjednog operatora sustava ili operatora distribucijskog sustava određuju se proporcionalno udjelu njegove priključne snage u snazi kratkog spoja na mjestu priključenja. Za određivanje granične vrijednosti se primjenjuje postupak dan u IEC/TR 61000-3-13.“ [8]

#### Zaključak:

„EOTRP 3.8.4 Treperenje i nesimetričnost napona“ zadovoljava sva Mrežna pravila.

### **3.1.5. Mjerenje kvalitete električne energije za potrebe HE Varaždin**

#### EOTRP 3.8.5 Mjerenje kvalitete električne energije za potrebe HE Varaždin:

„(...)

Sustav za mjerenje i nadzor parametara kvalitete električne energije mora omogućiti:

- mjerenje svih parametara kvalitete električne energije mjernim uređajima klase A prema važećim međunarodnim standardima;

- lokalnu pohranu, pregled, analizu i obradu podataka u HE Varaždin.

Sustav za mjerenje i nadzor parametara kvalitete električne energije treba pružati mogućnost trajnog praćenja kvalitete predane / preuzete električne energije, odnosno napajanja električnom energijom i potvrdu sukladnosti s međunarodnim normama kvalitete (najčešće EN 50160).

(...)“ [6]

#### Mrežna pravila 5.2.1.3 Mjerila kvalitete električne energije, čl. 193.:

„Uređaji za mjerenje kvalitete električne energije služe za mjerenje pokazatelja kvalitete napona i negativnog povratnog djelovanja korisnika prijenosne mreže na kvalitetu napona prijenosne mreže. Uređaji za mjerenje kvalitete električne energije spajaju se na sekundarne mjerne jezgre strujnih, odnosno namote naponskih transformatora. Tehničke značajke uređaja za mjerenje kvalitete propisuje operator prijenosnog sustava u tehničkim pravilima kojima se uređuju obračunska mjerna mjesta.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.1.5 Kvaliteta napona, čl. 96.:

„Kvaliteta napona na sučelju prijenosne i distribucijske mreže u uvjetima normalnog pogona, osim za slučajeve nastale uslijed poremećaja i prekida napajanja ili nedopuštenog negativnog povratnog djelovanja iz distribucijske mreže propisana je u skladu s normom HRN EN 50160.“ [8]

#### Zaključak:

„EOTRP 3.8.5 Mjerenje kvalitete električne energije za potrebe HE Varaždin“ zadovoljava sva Mrežna pravila.

### **3.2. Isporuka djelatne snage, održavanje frekvencije, održavanje napona i kompenzacija jalove snage, odvajanje proizvodne jedinice od mreže s obzirom na sigurnost sustava i ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži**

Poglavlje 3.13 EOTRP-a gore navedenog naslova nalaže da proizvodne jedinice trebaju biti dimenzionirane tako da omogućavaju:

- pouzdan trajni rad u svim radnim točkama u području između tehničkog minimuma i trajne maksimalne snage;
- rezervu za održavanje frekvencije (primarnu regulaciju), automatsku rezervu za ponovnu uspostavu frekvencije (sekundarnu regulaciju) i ručnu rezervu za ponovnu uspostavu frekvencije (tercijarnu regulaciju);
- regulaciju napona i jalove snage;
- napajanje vlastite potrošnje proizvodnih jedinica s izvoda vlastitih generatora;
- otočni pogon proizvodne/ih jedinice/a;
- crni start proizvodne/ih jedinice/a. [6]



### 3.2.1. Isporuca djelatne snage u mrežu

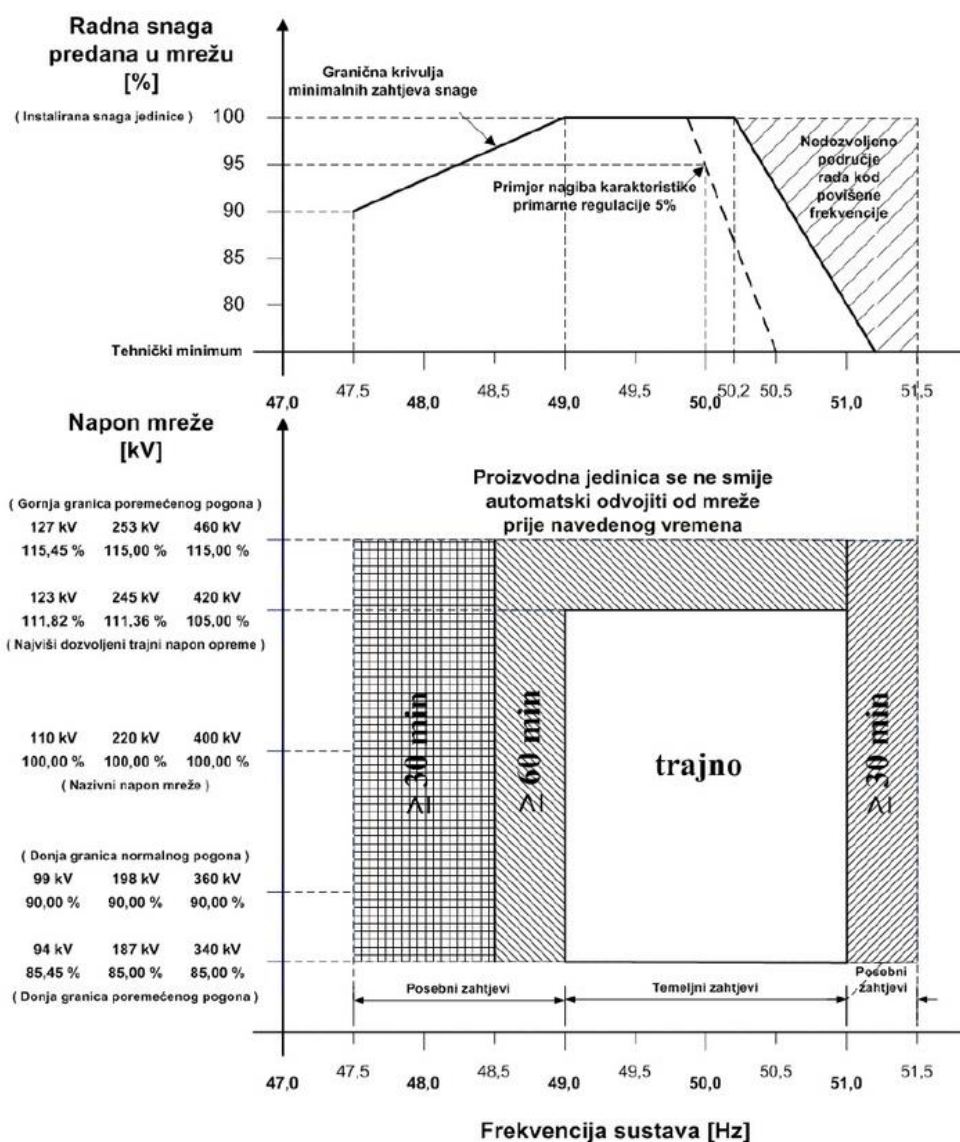
#### EOTRP 3.13.1 Isporuca djelatne snage u mrežu:

„U skladu s čl. 123. MPPS-a definirani su osnovni i posebni zahtjevi za isporuku djelatne snage koju proizvodne jedinice HE Varaždin moraju biti sposobne davati pri normalnom pogonu i prilikom dugotrajnijeg odstupanja pogonske frekvencije i napona elektroenergetskog sustava na visokonaponskoj strani blok-transformatora.

Normalni pogonski uvjeti smatraju se:

- brzina promjene frekvencije:  $\leq 0,5$  % u minuti i
- brzina promjene napona:  $\leq 5$  % u minuti.

Nadalje, prema čl. 124. MPPS-a, svaka proizvodna jedinica HE Varaždin mora pri povišenoj frekvenciji ( $f > 50,20$  Hz) raditi pri smanjenoj izlaznoj snazi, slika [3.1].



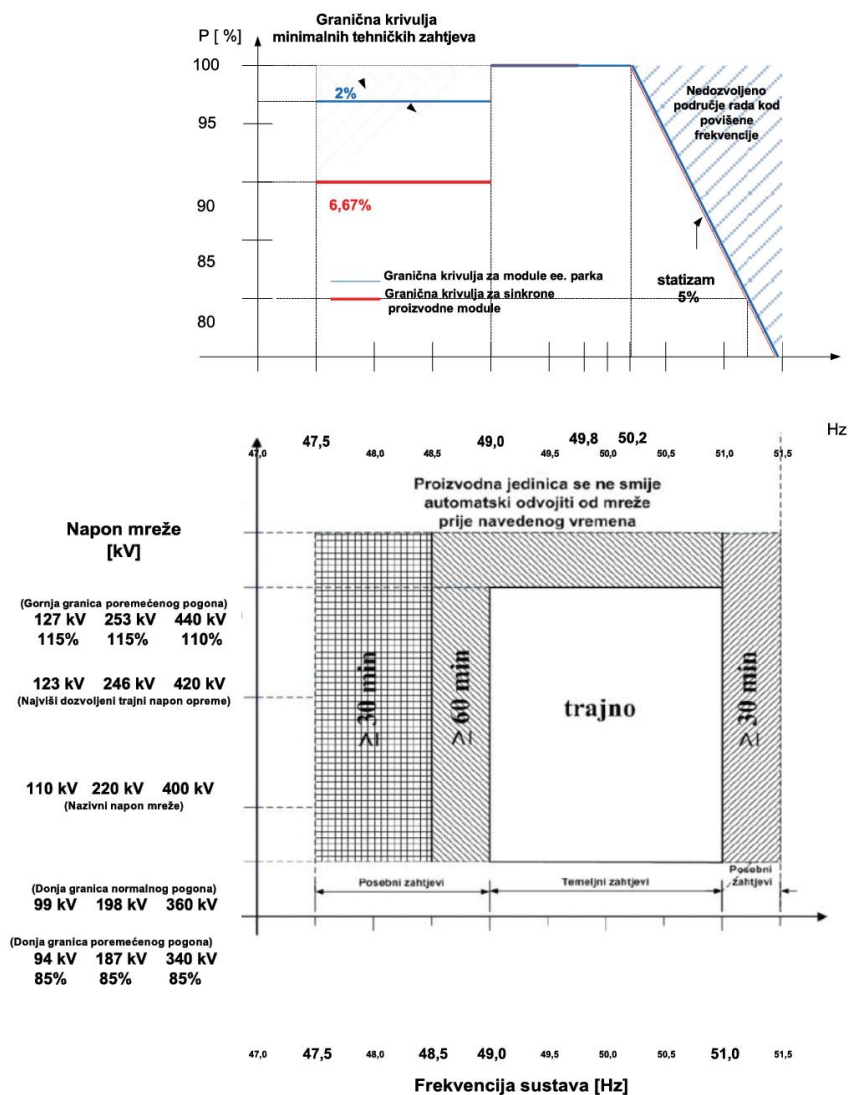
Slika [3.1] Zajamčena snaga koju proizvodna jedinica mora dati u prijenosnu mrežu u određenom vremenu u ovisnosti o frekvenciji sustava i naponu mreže

Za hidro proizvodne jedinice, prema čl. 125. MPPS-a, mora se omogućiti kontinuirana brzina promjene djelatne snage proizvodne jedinice od 1%  $P_n$  u sekundi (između tehničkog minimuma i nazivne djelatne snage).

Konačno, prema čl. 126. MPPS-a, svaka proizvodna jedinica HE Varaždin mora biti osposobljena za trajni pogon sa snagom tehničkog minimuma. Iznos snage tehničkog minimuma mora se dogovoriti između proizvođača i operatora prijenosnog sustava tijekom postavljanja zahtjeva za izdavanje uvjeta za priključenje proizvodne jedinice.“ [6]

### Mrežna pravila 4.3.6 Isporuka djelatne snage, čl. 118.:

„Osnovni i posebni zahtjevi za djelatnu snagu koju proizvodna jedinica mora biti sposobna davati prilikom dugotrajnijeg odstupanja pogonske frekvencije i napona elektroenergetskog sustava u točki priključenja, definirani su dijagramima na [slici 3.2].



Slika [3.2] Zajamčena snaga koju proizvodna jedinica mora dati u prijenosnu mrežu u određenom vremenu u ovisnosti o frekvenciji sustava i naponu mreže“ [8]

Mrežna pravila 4.3.6 Isporuca djelatne snage, čl. 119.:

„Proizvodni moduli tipa D moraju ostati priključeni na mreži do brzine promjene frekvencije 2 Hz/s, unutar promatranog vremenskog razdoblja od 500 ms.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.6 Isporuca djelatne snage, čl. 120.:

„(1) Proizvodni modul tipa D mora pri povišenoj frekvenciji ( $f > 50,20$  Hz) raditi pri smanjenoj izlaznoj snazi kako je prikazano na [slici 3.2].

(2) Opseg podešenja statizma proizvodnih modula tipa D mora biti između 2 % i 12 % .

(3) Zadana postavka statizma proizvodnog modula tipa D je 5 % .

(4) Početno kašnjenje frekvencijskog odziva proizvodnih modula tipa D prema stavcima 1. i 2. ovoga članka moraju biti kraći od 2 s.

(5) Svaki proizvodni modul tipa D mora moći pri sniženoj frekvenciji aktivirati frekvencijski osjetljiv način rada pri sniženoj frekvenciji ( $f < 49,8$  Hz) uz odziv do 2 s.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.6 Isporuca djelatne snage, čl. 121. st. 2.:

„(2) Za hidro proizvodne jedinice mora se omogućiti kontinuirana brzina promjene djelatne snage proizvodne jedinice od 1%  $P_n$  u sekundi (između tehničkog minimuma i nazivne djelatne snage.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.6 Isporuca djelatne snage, čl. 122.:

„Svaka proizvodna jedinica mora biti osposobljena za trajni pogon sa snagom tehničkog minimuma. Iznos snage tehničkog minimuma mora se dogovoriti između proizvođača i operatora prijenosnog sustava tijekom postavljanja zahtjeva za izdavanje uvjeta za priključenje proizvodne jedinice. (...)“ [8]

Zaključak:

„EOTRP 3.13.1 Isporuca djelatne snage u mrežu“ koristi podatke iz zastarjelih Mrežnih pravila i dok su neke norme u novoj verziji ostale nepromijenjene, neke se značajno razlikuju od stare verzije Mrežnih pravila. Treba obratiti posebnu pažnju na razlike u dijagramima (stari na slici 3.1 i ažurirani na slici 3.2).

### 3.2.2. Održavanje frekvencije

#### EOTRP 3.13.2 Održavanje frekvencije:

„Operator prijenosnog sustava, sukladno čl. 128. MPPS, zahtijeva da svaka hidro proizvodna jedinica, snage jednake ili veće od 10 MW, mora biti osposobljena za pružanje rezerve za održavanje frekvencije (primarna regulacija frekvencije).

Za hidro proizvodne jedinice vrijedi još i sljedeće:

- statika sustava regulacije brzine vrtnje mora biti podesiva prema zahtjevu operatora prijenosnog sustava u rasponu od 2 % do 5 %,
- neosjetljivost regulatora je 10 mHz (zbroj podešene neosjetljivosti u regulatoru i zbog konstrukcijske neosjetljivosti) za nove i revitalizirane proizvodne jedinice.

Točnost mjerenja frekvencije u elektroenergetskom sustavu regulacije brzine vrtnje proizvodne jedinice mora biti jednaka 10 mHz ili bolja.

Nove i revitalizirane proizvodne jedinice u pravilu moraju biti osposobljene za rad u režimu automatske rezerve za ponovnu uspostavu frekvencije (sekundarna regulacija frekvencije i snage razmjene) i ručne rezerve za ponovnu uspostavu frekvencije (tercijarna regulacija frekvencije i snage razmjene).“ [6]

#### Mrežna pravila 4.3.7.1 Proces održavanja frekvencije (FCP), čl. 124.:

„Svaki proizvodni modul tipa D, mora biti osposobljen za rad u procesu održavanja frekvencije. Taj uvjet vrijedi i za proizvodne module u postrojenjima krajnjeg kupca izravno priključenih na prijenosnu mrežu.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.7.1 Proces održavanja frekvencije (FCP), čl. 126.:

„Za hidro proizvodni modul, kao jedan od proizvodnih modula iz članka 124. ovih Mrežnih pravila vrijedi sljedeće:

- statika sustava regulacije brzine vrtnje mora biti podesiva prema zahtjevu operatora prijenosnog sustava u rasponu od 2 % do 12 % ,
- neosjetljivost regulatora je 10 mHz (zbroj podešene neosjetljivosti u regulatoru i zbog konstrukcijske neosjetljivosti) za nove i revitalizirane proizvodne jedinice.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.7.1 Proces održavanja frekvencije (FCP), čl. 127.:

„Točnost mjerenja frekvencije u elektroenergetskom sustavu regulacije brzine vrtnje proizvodne jedinice mora biti jednaka 10 mHz ili bolja.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.7.2 Automatski i ručni FRP proces, čl. 128.:

„Nove i revitalizirane proizvodne jedinice u pravilu moraju biti osposobljene za rad u automatskom i ručnom FRP-u.“ [8]

#### Zaključak:

„EOTRP 3.13.2 Održavanje frekvencije“ koristi podatke iz zastarjelih Mrežnih pravila. Neki podaci u novoj inačici su ostali nepromijenjeni, no u članku 126. novih Mrežnih pravila, statika sustava regulacije brzine vrtnje mora biti podesiva prema zahtjevu operatora prijenosnog sustava u rasponu (po novom) od 2 do 12 %, a ne (po starom) od 2 do 5 %.

### **3.2.3. Regulacija napona**

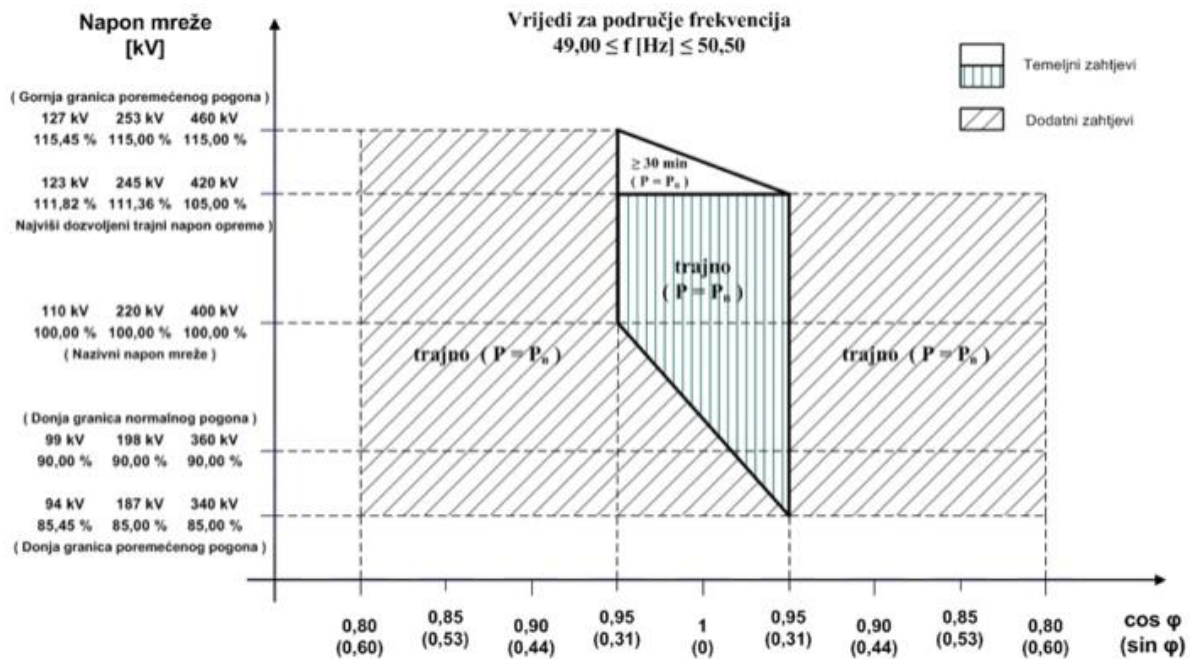
#### EOTRP 3.13.3 Regulacija napona:

„S aspekta održavanja napona, a u skladu s MPPS, ključna su tri aspekta, definirana u čl. 135.:

- (1) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice moraju imati automatske regulatore napona s točnošću održavanja zadanog napona u granicama od  $\pm 0,5\%$  nazivnog napona ( $U_n$ )
- (2) Opseg regulacije napona generatora treba iznositi najmanje  $\pm 5\% U_n$ . Za svaki konkretni slučaj, operator prijenosnog sustava i proizvođač mogu na temelju odgovarajućih analiza utvrditi veći opseg regulacije što se regulira ugovorom o priključenju.
- (3) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice u pravilu moraju imati blok-transformatore s regulacijom prijenosnog omjera pod opterećenjem i automatske regulatore napona. Za svaki konkretan slučaj operator prijenosnog sustava utvrđuje opseg i korak regulacije.

S obzirom na problematiku isporuke/proizvodnje jalove snage u skladu s MPPS, važne su još i sljedeće odredbe dane u čl. 136.:

- (1) Faktor snage za nove i revitalizirane proizvodne jedinice treba minimalno biti u području od 0,85 induktivno do 0,9 kapacitivno. U svakom konkretnom slučaju nove ili revitalizirane proizvodne jedinice operator prijenosnog sustava i proizvođač mogu na temelju odgovarajućih analiza utvrditi veći opseg faktora snage ( $\cos\phi$ ) sinkronog generatora što se regulira ugovorom o priključenju. Za reverzibilne hidroelektrane, zahtjev za opseg faktora snage ( $\cos\phi$ ) definira se zasebno za motorski rad.
- (2) Svaka termo proizvodna jedinica veća od 30 MW i hidro proizvodna jedinica veća od 10 MW mora ispuniti zahtjev operatora prijenosnog sustava za proizvodnju jalove snage prema sljedećoj slici [3.3], koja je sastavni dio MPPS-a.



Slika [3.3] Zahtjevi za isporuku jalove snage u prijenosnu mrežu proizvodne jedinice, MPPS

(3) Generator proizvodne jedinice mora biti dimenzioniran da pri nazivnoj djelatnoj snazi može proći kroz cijelo projektirano područje faktora snage unutar nekoliko minuta. Postupak se mora moći ponavljati bez ograničenja.

(...)" [6]

#### Mrežna pravila 4.3.8.1 Regulacija napona, čl. 131.:

„(1) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice moraju imati automatske regulatore napona s točnošću održavanja zadanog napona u granicama od  $\pm 0,5 \%$  nazivnog napona ( $U_n$ ).

(2) Opseg regulacije napona generatora treba iznositi najmanje  $\pm 5 \%$   $U_n$ . Za svaki konkretni slučaj, operator prijenosnog sustava i proizvođač mogu na temelju odgovarajućih analiza utvrditi veći opseg regulacije što se regulira ugovorom o priključenju.

(3) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice u pravilu trebaju imati blok-transformatore s regulacijom prijenosnog omjera pod opterećenjem i automatske regulatore napona. Za svaki konkretan slučaj operator prijenosnog sustava utvrđuje opseg i korak regulacije.“ [8]

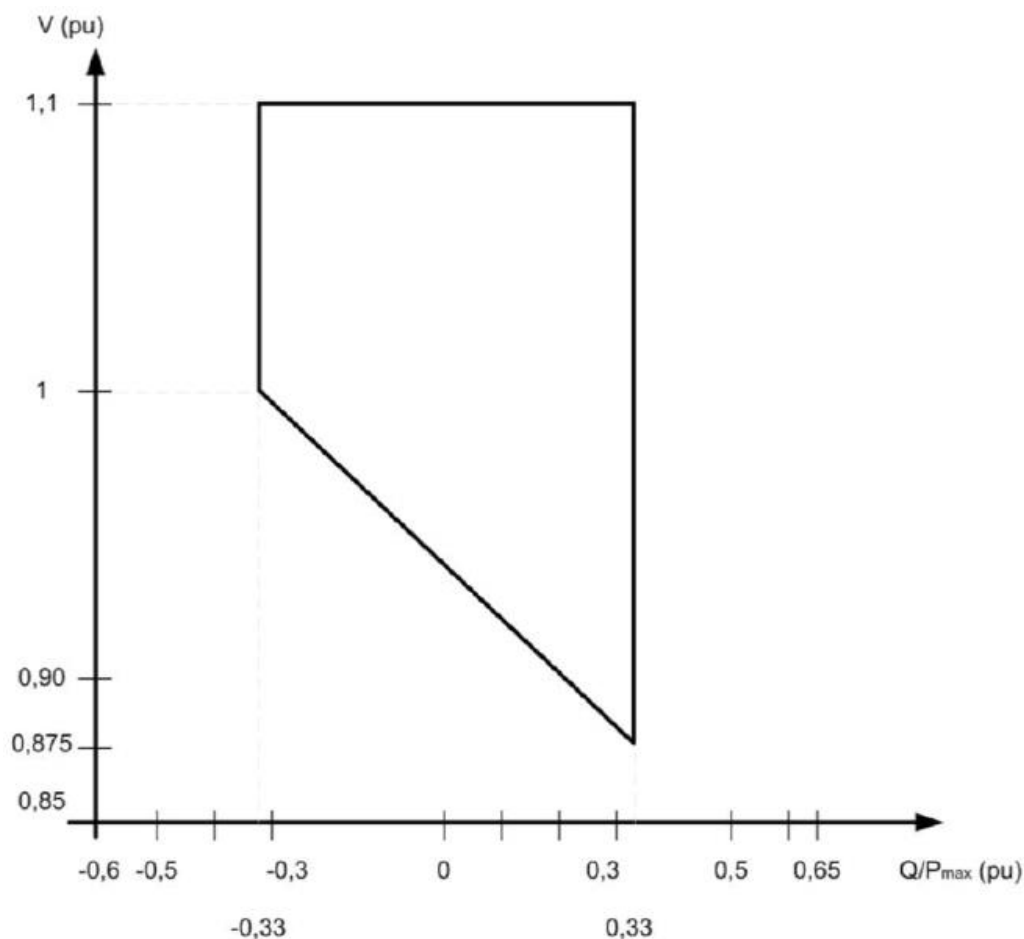
#### Mrežna pravila 4.3.8.2 Kompenzacija jalove snage, čl 132.:

„(1) Za nove i revitalizirane proizvodne module na mjestu priključka kapaciteti za proizvodnju jalove snage moraju biti u opsegu ( $Q/P_{\max} < 0,33$ , induktivno ili kapacitivno) te prema zahtjevu operatora u opsegu  $Q/P_{\max} > 0,33$  (induktivno ili kapacitivno). U svakom konkretnom slučaju nove ili revitalizirane proizvodne jedinice operator prijenosnog sustava i proizvođač mogu na temelju odgovarajućih analiza utvrditi i veći opseg sinkronog generatora što se regulira ugovorom o

priključenju. Za pumpnoakumulacijske hidroelektrane, zahtjev za opseg faktora snage ( $\cos\phi$ ) definira se zasebno za motorski rad.

(2) Svaki sinkroni proizvodni modul tipa D mora ispuniti zahtjev operatora prijenosnog sustava za proizvodnju jalove snage prema [slici 3.4].

(3) Generator proizvodne jedinice mora biti dimenzioniran da pri nazivnoj djelatnoj snazi može proći kroz cijelo projektirano područje faktora snage unutar nekoliko minuta. Postupak se mora moći ponavljati bez ograničenja.



Slika [3.4] Karakteristika U-Q/P<sub>max</sub> za sinkrone proizvodne module tipa D“ [8]

#### Zaključak:

„EOTRP 3.13.3 Regulacija napona“ koristi podatke iz zastarjelih Mrežnih pravila. Podaci iz članka 131. novih Mrežnih pravila su ostali nepromijenjeni, no u članku 132. je došlo do značajnih promjena. Posebnu pažnju treba obratiti prema slici 3.4 (nova) na kojoj se podaci razlikuju od slike 3.3 iz EOTRP-a (zastarjela).

### 3.2.4. Odvajanje od mreže s obzirom na sigurnost sustava

#### EOTRP 3.13.4 Odvajanje od mreže s obzirom na sigurnost sustava:

„(...)

Posebnim i dodatnim uvjetima za priključenje proizvodne jedinice na prijenosnu mrežu MPPS-a, definirano je sljedeće:

(1) Električna zaštita proizvodne jedinice treba dati nalog za odvajanje jedinice od prijenosne mreže za slučaj:

- neispravnosti i kvarova na proizvodnoj jedinici,
- otkaza ili neispravnog djelovanja zaštitnih uređaja prijenosne mreže kod kvarova u prijenosnoj mreži, odnosno kvarova u elektroenergetskom sustavu i
- odstupanja napona i frekvencije elektroenergetskog sustava od utvrđenih granica i gubitka stabilnosti iz članaka 140. do 143. MPPS-a.

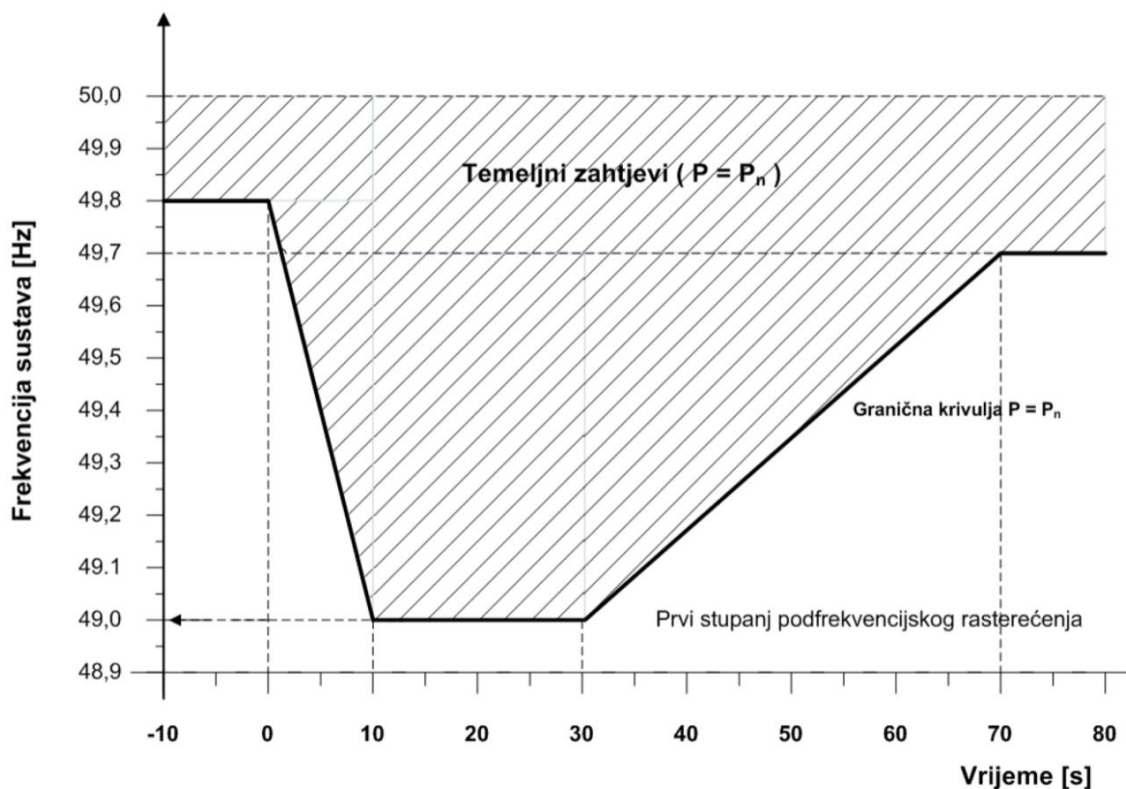
(2) Podešenja onih električnih zaštita proizvodne jedinice, čije djelovanje može biti izazvano greškama u prijenosnoj mreži, moraju biti usklađena između operatora prijenosnog sustava i proizvođača električne energije vodeći pritom računa o selektivnosti i koordinaciji djelovanja sustava zaštita.

(3) Zaštite iz prethodnog stavka trebaju odvojiti proizvodnu jedinicu od prijenosne mreže isključenjem prekidača polja proizvodne jedinice, nakon čega proizvodna jedinica treba prijeći u prazni hod i osiguranje napajanja vlastite potrošnje kako bi bila spremna za ponovnu sinkronizaciju.

MPPS, posebice članak 141. definira podfrekventne, odnosno nadfrekventne okolnosti pri kojima se proizvodne jedinice mogu odvojiti od sustava, konkretno:

- Pri frekvencijama jednakim ili manjim od 47,50 Hz proizvodna jedinica može se odvojiti od prijenosne mreže.
- Proizvodne jedinice od kojih je operator prijenosnog sustava zahtijevao otočni rad i prazni hod uz osiguranje napajanja vlastite potrošnje te za isto sklopio ugovor, moraju pri frekvenciji jednakoj ili manjoj od 47,50 Hz prijeći u otočni rad, odnosno u prazni hod uz osiguranje napajanja vlastite potrošnje i biti spremne za ponovnu sinkronizaciju.
- Pri frekvencijama između 47,50 Hz i 51,50 Hz dopušteno je odvajanje od prijenosne mreže proizvodne jedinice na način kako je to prethodno prikazano na slici [3.1] i [slici 3.5]. I jedna i druga slika preuzete su iz mrežnih pravila prijenosnog sustava.





Slika [3.5] Zajamčena snaga koju proizvodna jedinica predaje u prienosnu mrežu u kratkom vremenskom intervalu

Proizvodne jedinice rekonstruirane HE Varaždin, sukladno čl. 127 MPPS-a, se ne smiju odvojiti od prienosne mreže niti smanjiti djelatnu snagu koju daju u elektroenergetski sustav ni u slučaju da su neposredno prije kratkotrajnog intervala odstupanja frekvencije radile s nazivnom djelatnom snagom, ako se pritom frekvencija u kratkotrajnom vremenskom intervalu kreće iznad granične krivulje kao što je prikazano na prethodnoj slici.

Pri gubitku statičke ili prijelazne stabilnosti, višekratno proklizavanje rotora generatora (asinkroni pogon) mora se izbjeći njegovim automatskim odvajanjem od prienosne mreže (čl. 142 MPPS). Za taj se slučaj mora predvidjeti zaštita od proklizavanja rotora u skladu s člankom 116. MPPS-a.

(...)“ [6]

Mrežna pravila 4.3.4 Električna zaštita proizvodne jedinice i usklađivanje s mrežnim zaštitama, čl. 111.:

„(1) Električna zaštita proizvodne jedinice treba dati nalog za odvajanje jedinice od prienosne mreže za slučaj:

- neispravnosti i kvarova na proizvodnoj jedinici,

– otkaza ili neispravnog djelovanja zaštitnih uređaja prijenosne mreže kod kvarova u prijenosnoj mrežnih, odnosno kvarova u elektroenergetskom sustavu i

– odstupanja napona i frekvencije elektroenergetskog sustava od utvrđenih granica i gubitka stabilnosti određenih ovim Mrežnim pravilima.

(2) Podešenja onih električnih zaštita proizvodne jedinice, čije djelovanje može biti izazvano greškama u prijenosnoj mreži, moraju biti usklađena između operatora prijenosnog sustava i proizvođača električne energije vodeći pritom računa o selektivnosti i koordinaciji djelovanja sustava zaštita.

(3) Zaštite iz stavka 2. ovog članka trebaju odvojiti proizvodnu jedinicu od prijenosne mreže isključenjem prekidača polja proizvodne jedinice, nakon čega proizvodna jedinica treba prijeći u prazni hod i osiguranje napajanja vlastite potrošnje kako bi bila spremna za ponovnu sinkronizaciju.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.9.2 Odstupanje frekvencije, čl. 137.:

„(1) Pri frekvencijama jednakim ili manjim od 47,50 Hz proizvodna jedinica može se odvojiti od prijenosne mreže.

(2) Proizvodne jedinice od kojih je operator prijenosnog sustava zahtijevao otočni rad i prazni hod uz osiguranje napajanja vlastite potrošnje te za isto sklopio ugovor, moraju pri frekvenciji jednakoj ili manjoj od 47,50 Hz prijeći u otočni rad, odnosno u prazni hod uz osiguranje napajanja vlastite potrošnje i biti spremne za ponovnu sinkronizaciju.

(3) Pri frekvencijama između 47,50 Hz i 51,50 Hz dopušteno je odvajanje od prijenosne mreže proizvodne jedinice na način kako je to prikazano na [slikama 3.2 i 3.5]“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.6 Isporuka djelatne snage, čl. 123.:

„Proizvodna jedinica se ne smije odvojiti od prijenosne mreže niti smanjiti djelatnu snagu koju daje u elektroenergetski sustav ni u slučaju da je neposredno prije kratkotrajnog intervala odstupanja frekvencije radila s nazivnom djelatnom snagom, ako se pritom frekvencija u kratkotrajnom vremenskom intervalu kreće iznad granične krivulje kao što je prikazano na [slici 3.5].“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.9.3 Gubitak stabilnosti, čl. 138.:

„Pri gubitku statičke ili prijelazne stabilnosti, višekratno proklizavanje rotora generatora (asinkroni pogon) mora se izbjeći njegovim automatskim odvajanjem od prijenosne mreže. Za taj se slučaj mora predvidjeti zaštita od proklizavanja rotora u skladu s člankom 111. stavkom 1. ovih Mrežnih pravila.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.4 Električna zaštita proizvodne jedinice i usklađivanje s mrežnim zaštitama, čl 111. st. 1.:

„(1) Električna zaštita proizvodne jedinice treba dati nalog za odvajanje jedinice od prijenosne mreže za slučaj:

- neispravnosti i kvarova na proizvodnoj jedinici,
- otkaza ili neispravnog djelovanja zaštitnih uređaja prijenosne mreže kod kvarova u prijenosnoj mrežnih, odnosno kvarova u elektroenergetskom sustavu i
- odstupanja napona i frekvencije elektroenergetskog sustava od utvrđenih granica i gubitka stabilnosti određenih ovim Mrežnim pravilima.“ [8]

Zaključak:

„EOTRP 3.13.4 Odvajanje od mreže s obzirom na sigurnost sustava“ poštuje sva Mrežna pravila, osim dijela koji se poziva na zastarjeli dijagram sa slike 3.1 sa zastarjelih Mrežnih pravila.

### **3.2.5. Ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži**

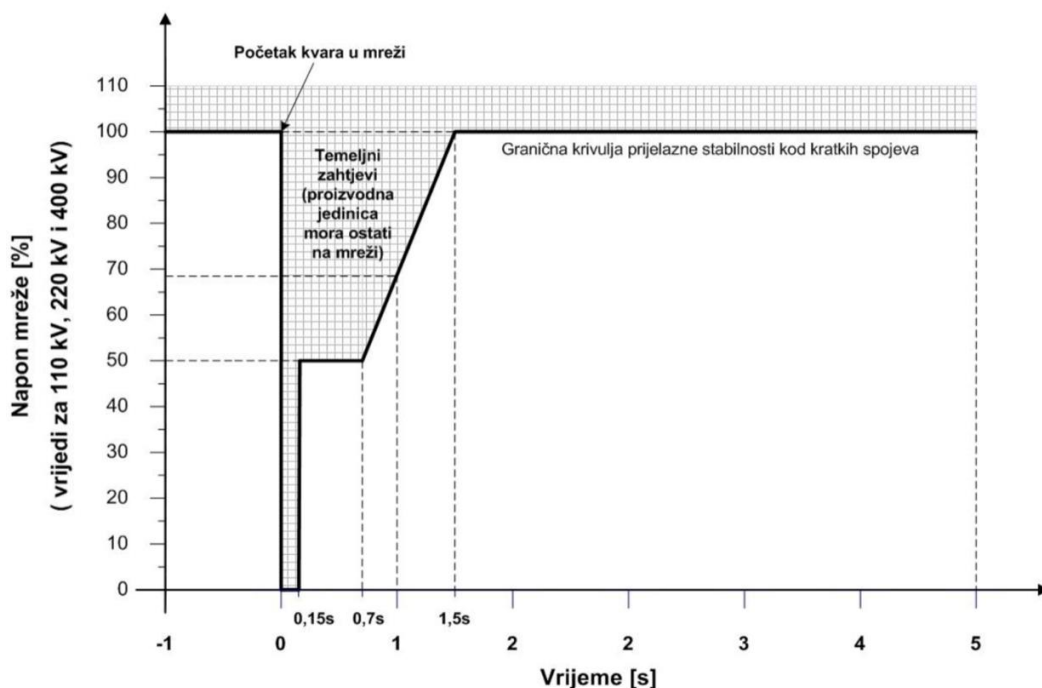
EOTRP 3.13.5 Ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži:

„Sukladno čl. 145 MPPS-a, kratki spojevi u blizini elektrane pri ispravnom djelovanju sustava zaštite, ako se otklone unutar 150 ms, ne smiju dovesti u cijelom pogonskom području generatora do nestabilnosti ili odvajanja jedinica rekonstruirane HE Varaždin od prijenosne mreže, pod uvjetom da je na sučelju prijenosne mreže i proizvodnih jedinica snaga bliskog trolnog kratkog spoja, nakon isključenja kvara šesterostruko veća od nazivne djelatne snage proizvodnih jedinica.

Ako nastupi prethodno opisani slučaj ne smije doći do automatskog prespajanja vlastite potrošnje na rezervni izvor energije.

Prema čl. 146. MPPS-a, proizvodne jedinice HE Varaždin se ne smiju odvojiti od prijenosne mreže sve dokle god je napon prijenosne mreže na visokonaponskoj strani blok-transformatora iznad granične krivulje prikazane na slici [3.6].

Pri kratkim spojevima udaljenim od elektrane, sukladno čl. 147. MPPS-a, ako se kvar otkloni djelovanjem zaštite prijenosne mreže unutar 5 sekundi, ne smije doći do prespajanja vlastite potrošnje na rezervni izvor, a niti do preventivnog odvajanja proizvodne jedinice od prijenosne mreže zbog nepovoljnog utjecaja napona prijenosne mreže na napon vlastite potrošnje.



Slika [3.6] Granična krivulja napona na priključku na prijenosnu mrežu vezana uz prijelaznu stabilnost proizvodne jedinice, MPPS

Novi i revitalizirani sustavi uzbude sinkronih generatora, u skladu s čl. 148. MPPS-a, moraju ispravno funkcionirati uz napon na priključnicama generatora od 20% nazivne vrijednosti napona.

Elektromehanička njihanja proizvodne jedinice (vlastita elektromehanička njihanja) i sistemska elektromehanička njihanja, prema dosadašnjim iskustvima, u hrvatskom elektroenergetskom sustavu imaju frekvenciju od 0,2 do 3 Hz. Ta njihanja ne smiju izazvati isključivanje proizvodne jedinice proradom zaštite, ili smanjenje djelatne snage jedinice.

Najslabije prigušena oscilatorna komponenta elektromehaničkih njihanja, čije je pretežito izvorište u hrvatskom elektroenergetskom sustavu, ne smije imati relativno prigušenje manje od 0,05. Njihanja s većim prigušenjem od 0,05 ne smiju prouzročiti isključivanje proizvodne jedinice proradom zaštite, ili smanjenje djelatne snage jedinice.

Sukladno čl. 150. MPPS-a, generatori proizvodnih jedinica, na temelju zahtjeva operatora prijenosnog sustava, moraju imati mogućnost prigušenja vlastitih i sistemskih elektromehaničkih njihanja stabilizatorom elektroenergetskog sustava (PSS – Power System Stabilizer). Svrha ove mjere je osiguranje statičke stabilnosti pogona proizvodne jedinice u cijelom području njenog pogonskog dijagrama, uz uvjet da je snaga trolnog kratkog spoja na visokonaponskoj strani najmanje jednaka četverostrukoj nazivnoj djelatnoj snazi, a napon najmanje jednak nazivnom naponu prijenosne mreže (što pri  $\cos\varphi=0,85$  i naponskom faktoru 1 znači da ekvivalentna impedancija elektroenergetskog sustava gledana od mjesta priključka proizvodne jedinice iznosi najviše 30 % nazivne impedancije generatora).

Sustav regulacije brzine vrtnje/snage novih i revitaliziranih proizvodnih jedinica, mora biti podešen i usklađen s ostalim regulacijskim sustavima proizvodne jedinice tako da prigušenje vlastitih i sistemskih elektromehaničkih njihovanja, u svim režimima pogona, bude u dopuštenim granicama, a u skladu s gore navedenim (čl. 149. MPPS).“ [6]

Mrežna pravila 4.3.10.1 Prijelazna stabilnost (kratki spojevi), čl. 141.:

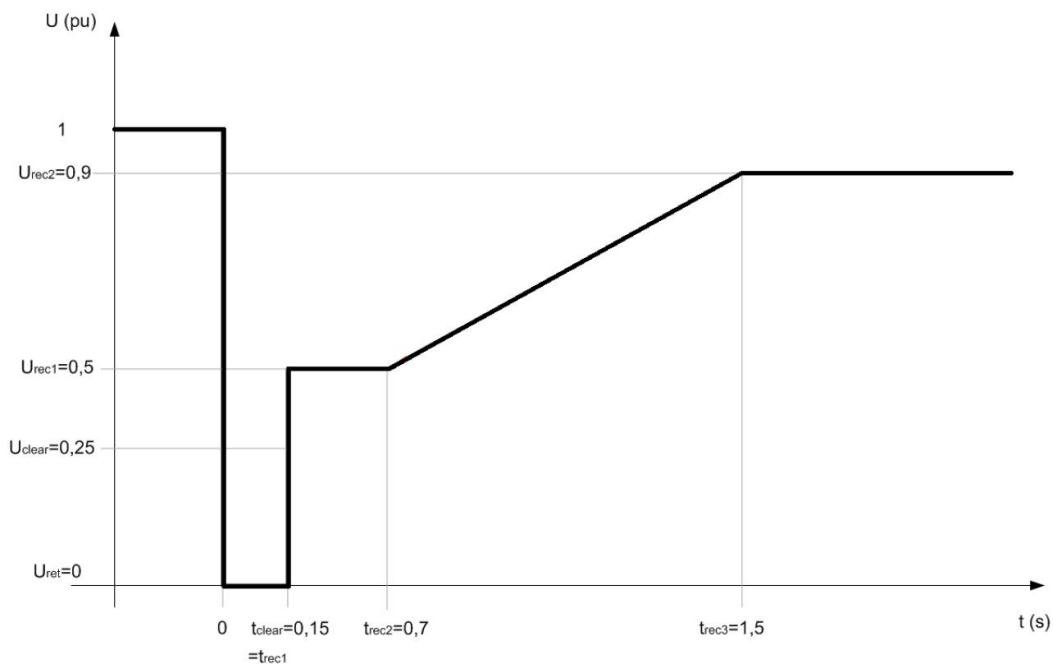
„(1) Kratki spojevi u blizini elektrane pri ispravnom djelovanju sustava zaštite, ako se otklone unutar 150 ms, ne smiju dovesti u cijelom pogonskom području generatora do nestabilnosti ili odvajanja jedinice od prijenosne mreže, pod uvjetom da je na sučelju prijenosne mreže i proizvodnog modula snaga bliskog trolnog kratkog spoja, nakon isključenja kvara šesterostruko veća od nazivne djelatne snage proizvodne jedinice.

(2) U slučaju iz stavka 1. ovog članka ne smije doći do automatskog prespajanja vlastite potrošnje na rezervni izvor energije.

(3) Pogon proizvodne jedinice koja ne zadovoljava zahtjeve iz stavka 1. ovog članka moguć je samo uz posebno odobrenje operatora prijenosnog sustava.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.10.1 Prijelazna stabilnost (kratki spojevi), čl. 142.:

„Proizvodni modul ne smije se odvojiti od prijenosne mreže sve dokle god je napon prijenosne mreže u točki priključenja iznad granične krivulje prikazane slikom [3.7] za proizvodni modul tipa D. Ovaj zahtjev vrijedi i za proizvodne module priključene na naponske razine niže od 110 kV, a koje su pod središnjim nadzorom operatora prijenosnog sustava.



Slika [3.7] Dijagram prolaska kroz stanje kvara u mreži proizvodnog modula tipa D“ [8]

Mrežna pravila 4.3.10.1 Prijelazna stabilnost (kratki spojevi), čl. 143.:

„Pri kratkim spojevima udaljenim od elektrane, ako se kvar otkloni djelovanjem zaštite prijenosne mreže unutar 5 sekunda, ne smije doći do prespajanja vlastite potrošnje na rezervni izvor, a niti do preventivnog odvajanja proizvodnog modula od prijenosne mreže zbog nepovoljnog utjecaja napona prijenosne mreže na napon vlastite potrošnje.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.10.1 Prijelazna stabilnost (kratki spojevi), čl. 144.:

„Novi i revitalizirani sustavi uzbude sinkronih generatora moraju ispravno funkcionirati uz napon na priključnicama generatora od 20 % nazivne vrijednosti napona.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.10.2 Statička stabilnost, čl. 145. st. 1. i 2.:

„(1) Elektromehanička njihanja proizvodne jedinice (vlastita elektromehanička njihanja) i sistemska elektromehanička njihanja, prema dosadašnjim iskustvima, u hrvatskom elektroenergetskom sustavu imaju frekvenciju od 0,2 do 3 Hz. Ta njihanja ne smiju izazvati isključivanje proizvodne jedinice proradom zaštite, ili smanjenje djelatne snage jedinice.

(2) Najslabije prigušena oscilatorna komponenta elektromehaničkih njihanja, čije je pretežito izvorište u hrvatskom elektroenergetskom sustavu, ne smije imati relativno prigušenje manje od 0,05. Njihanja s većim prigušenjem od 0,05 ne smiju prouzročiti isključivanje proizvodne jedinice proradom zaštite, ili smanjenje djelatne snage jedinice.“ [8]

Mrežna pravila 4.3.10.2 Statička stabilnost, čl. 146.:

„(1) Generatori proizvodnih jedinica, na temelju zahtjeva operatora prijenosnog sustava, moraju imati mogućnost prigušenja vlastitih i sistemskih elektromehaničkih njihanja stabilizatorom elektroenergetskog sustava (PSS – Power System Stabilizer). Svrha ove mjere je osiguranje statičke stabilnosti pogona proizvodne jedinice u cijelom području njenog pogonskog dijagrama, uz uvjet da je snaga tropskog kratkog spoja na visokonaponskoj strani najmanje jednaka četverostrukoj nazivnoj djelatnoj snazi, a napon najmanje jednak nazivnom naponu prijenosne mreže (što pri  $\cos\varphi=0,85$  i naponskom faktoru 1 znači da ekvivalentna impedancija elektroenergetskog sustava gledana od mjesta priključka proizvodne jedinice iznosi najviše 30 % nazivne impedancije generatora).

(2) Sustav regulacije brzine vrtnje/snage novih i revitaliziranih proizvodnih jedinica, mora biti podešen i usklađen s ostalim regulacijskim sustavima proizvodne jedinice tako da prigušenje vlastitih i sistemskih elektromehaničkih njihanja, u svim režimima pogona, bude u dopuštenim granicama prema članku 145. stavku 2. ovih Mrežnih pravila.“ [8]

### Zaključak:

„EOTRP 3.13.5 Ponašanje proizvodne jedinice pri poremećajima u mreži“ poštuje sva Mrežna pravila, osim dijela koji se odnosi zastarjeli dijagram na slici 3.6 koji se razlikuje od novog dijagrama na slici 3.7 preuzetog s novih Mrežnih pravila.

## **3.3. Zahtjevi ESS od interesa**

Drugo poglavlje dokumenta „Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin“ glasi „Zahtjevi ESS od interesa“ i govori o održavanju napona i isporuci jalove snage te o odstupanju napona.

### **3.3.1. Održavanje napona i isporuka jalove snage**

#### Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin

##### 2.1 Održavanje napona i isporuka jalove snage:

„S aspekta održavanja napona, sukladno mrežnim pravilima EES RH (MP, točka 4.3.4.8.1) ključni su [sljedeći] zahtjevi (citat):

„(1) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice moraju imati automatske regulatore napona s točnošću održavanja zadanog napona u granicama od  $\pm 0,5$  % nazivnog napona ( $U_n$ ).

(2) Opseg regulacije napona generatora treba iznositi najmanje  $\pm 5$  %  $U_n$ . Za svaki konkretni slučaj operator prijenosnog sustava i proizvođač, na temelju odgovarajućih analiza, utvrđuju opseg regulacije.

(3) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice u pravilu moraju imati bloktransformatore s regulacijom prijenosnog omjera pod opterećenjem i automatske regulatore napona. Za svaki konkretan slučaj operator prijenosnog sustava i proizvođač, na temelju odgovarajućih analiza, utvrđuju opseg i korak regulacije.“ (završen citat)

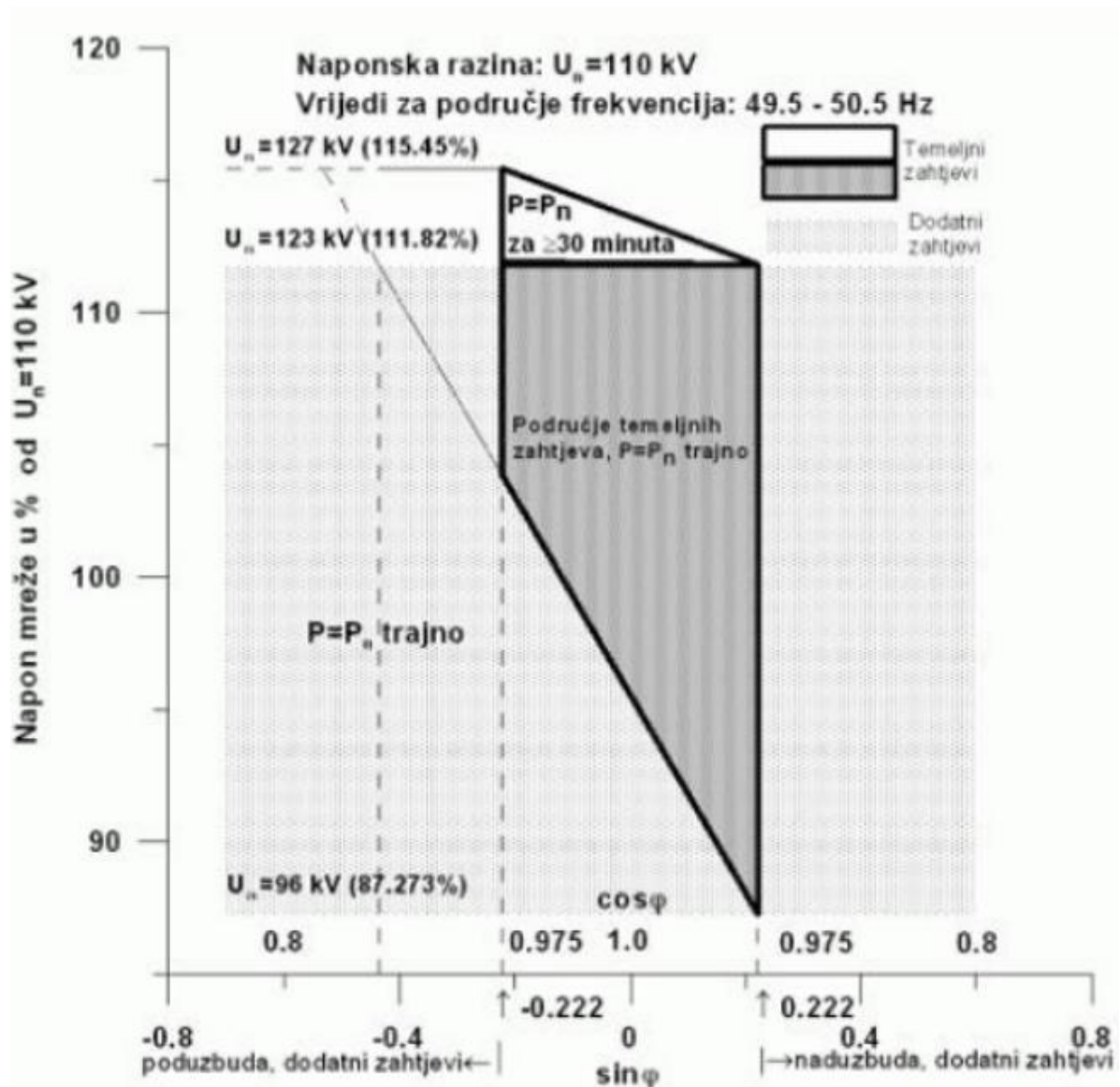
Po pitanju isporuke / proizvodnje jalove snage, sukladno mrežnim pravilima EES RH (MP, točka 4.3.4.8.2 (...)) važni su sljedeći zahtjevi (citat):

„(1) Faktor snage za nove i revitalizirane proizvodne jedinice, u pravilu, treba iznositi od 0,85 induktivno do 0,9 kapacitivno. U svakom konkretnom slučaju nove ili revitalizirane proizvodne jedinice, operator prijenosnog sustava i proizvođač dogovaraju iznos faktora snage ( $\cos n$ ) sinkronog generatora, kako u induktivnom, tako i u kapacitivnom području pogona generatora. Za reverzibilne hidroelektrane, operator prijenosnog sustava zahtjev za  $\cos n$  definira odvojeno za motorski rad.

(2) Svaka termo proizvodna jedinica veća od 30 MW i hidro proizvodna jedinica veća od 10 MW mora ispuniti [zahtjev] operatora prijenosnog sustava za proizvodnju jalove snage prema slici 4.6. za slučaj priključka na nazivnu naponsku razinu 110 kV, prema slici 4.7. na nazivnu naponsku razinu 220 kV i prema slici 4.8. na nazivnu naponsku razinu 400 kV.“ (završen citat)

(...)

Kako je prije spomenuto, zahtjevi na proizvodnu jedinicu za isporuku jalove snage u prijenosnu mrežu priključenu na nazivnu naponsku razinu 110 kV odnosno pripadna Q-U karakteristika za naponsku razinu 110 kV prema mrežnim pravilima EES RH (MP, točka 4.3.4.8.2, slika 4.6) (...) prikazana je na slici [3.8].



Slika [3.8] Zahtjevi za proizvodnu jedinicu za isporuku jalove snage u prijenosnu mrežu priključenu na nazivnu naponsku razinu 110 kV odnosno Q-U karakteristika za naponsku razinu 110 kV prema mrežnim pravilima EES RH

(...)“ [9]



#### Mrežna pravila 4.3.8.1 Regulacija napona, čl. 131.:

„(1) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice moraju imati automatske regulatore napona s točnošću održavanja zadanog napona u granicama od  $\pm 0,5$  % nazivnog napona ( $U_n$ ).

(2) Opseg regulacije napona generatora treba iznositi najmanje  $\pm 5$  %  $U_n$ . Za svaki konkretni slučaj, operator prijenosnog sustava i proizvođač mogu na temelju odgovarajućih analiza utvrditi veći opseg regulacije što se regulira ugovorom o priključenju.

(3) Nove i revitalizirane proizvodne jedinice u pravilu trebaju imati blok-transformatore s regulacijom prijenosnog omjera pod opterećenjem i automatske regulatore napona. Za svaki konkretan slučaj operator prijenosnog sustava utvrđuje opseg i korak regulacije.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.3.8.2 Kompenzacija jalove snage, čl. 132. st. 1. i 2.:

„(1) Za nove i revitalizirane proizvodne module na mjestu priključka kapaciteti za proizvodnju jalove snage moraju biti u opsegu ( $Q/P_{max} \leq 0,33$ , induktivno ili kapacitivno) te prema zahtjevu operatora u opsegu  $Q/P_{max} > 0,33$  (induktivno ili kapacitivno). U svakom konkretnom slučaju nove ili revitalizirane proizvodne jedinice operator prijenosnog sustava i proizvođač mogu na temelju odgovarajućih analiza utvrditi i veći opseg sinkronog generatora što se regulira ugovorom o priključenju. Za pumpnoakumulacijske hidroelektrane, zahtjev za opseg faktora snage ( $\cos\varphi$ ) definira se zasebno za motorski rad.

(2) Svaki sinkroni proizvodni modul tipa D mora ispuniti zahtjev operatora prijenosnog sustava za proizvodnju jalove snage prema Slici [3.4].“ [8]

#### Zaključak:

„Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin 2.1 Održavanje napona i isporuka jalove snage“ koristi podatke iz zastarjelih Mrežnih pravila. Podaci iz čl. 131. novih Mrežnih pravila su ostali nepromijenjeni, no u čl. 132. je došlo do značajnih promjena. Posebnu pažnju treba obratiti prema slici 3.4 (nova) na kojoj se podaci razlikuju od slike 3.8 (zastarjela).

### **3.3.2. Odstupanje napona**

#### Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin

##### 2.2 Odstupanje napona:

„Po pitanju odstupanja napona, za hrvatski EES prema važećim Mrežnim pravilima (točka 4.1.6.5) (...) valja znati da vrijede [sljedeći] podaci (citati):

„(11) U normalnim pogonskim uvjetima iznos napona održava se u sljedećim granicama:

- u mreži 400 kV:  $400 - 10 \% + 5\% = 360 - 420$  kV,
- u mreži 220 kV:  $220 \pm 10 \% = 198 - 242$  kV,
- u mreži 110 kV:  $110 \pm 10 \% = 99 - 121$  kV.

(12) U poremećenom pogonu, iznosi napona mogu biti u sljedećim granicama:

- u mreži 400 kV:  $400 \text{ kV} \pm 15 \% = 340 - 460$  kV,
- u mreži 220 kV:  $220 \text{ kV} \pm 15 \% = 187 - 253$  kV,
- u mreži 110 kV:  $110 \text{ kV} \pm 15 \% = 94 - 127$  kV.

(13) Dopuštena odstupanja od nazivnog napona u uvjetima normalnog pogona, osim za slučajeve nastale uslijed poremećaja i prekida napajanja, utvrđuju se tijekom razdoblja od tjedan dana tako da 95 % 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona mora biti u spomenutim granicama.“ (završen citat)“ [9]

#### Mrežna pravila 2.2.3 Održavanje napona, čl. 25. st. 2. i 3.:

„(2) U normalnim pogonskim uvjetima iznos napona održava se u sljedećim granicama:

- u mreži 400 kV (-10 % +5 % ): =  $360 - 420$  kV,
- u mreži 220 kV (-10 % +11,8 % ): =  $198 - 246$  kV,
- u mreži 110 kV (-10 % +11,8 % ): =  $99 - 123$  kV.

(3) U poremećenom pogonu napon može odstupati unutar graničnih vrijednosti najdulje 60 minuta:

- u mreži 400 kV:  $400 \text{ kV} - 15 \% + 10 \% = 340 - 440$  kV,
- u mreži 220 kV:  $220 \text{ kV} \pm 15 \% = 187 - 253$  kV,
- u mreži 110 kV:  $110 \text{ kV} \pm 15 \% = 94 - 127$  kV.“ [8]

#### Mrežna pravila 4.1.5 Kvaliteta napona, čl. 93. st. 1.:

„(1) U normalnim pogonskim uvjetima, planirana razina ukupnog harmoničkog izobličenja napona (THDU) na mjestu preuzimanja ili predaje iznosi:

- 1,5 % na 400 kV i 220 kV,
- 3,0 % na 110 kV.

Navedene vrijednosti harmoničkog izobličenja odnose se na 95 % 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona za razdoblje od tjedan dana.“ [8]

#### Zaključak:

„Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin 2.2 Odstupanje napona“ koristi podatke iz zastarjelih Mrežnih pravila. Ne podudara se dio koji se odnosi na iznos napona u normalnim pogonskim uvjetima u mreži 110 kV (čl. 25. st. 2. novih Mrežnih pravila), zato što se, prema novim pravilima, dopušta iznos gornje granice odstupanja za 1.8 % više. Dakle, gornja granica napona iznosi 123 kV, a ne 121 kV. Ostali navedeni podaci zadovoljavaju nova Mrežna pravila.

## 4. Analiza rezultata

### 4.1. Ključne promjene Mrežnih pravila

Ključne promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava od 2017. do 2024. godine su:

- Regulatorna ažuriranja: Verzija iz 2024. uključuje usklađenost s novijim EU propisima, odražavajući ažuriranja u regulatornom okruženju energetskog sektora;
- Tehničke specifikacije: Poboļšani tehnički uvjeti za priključenje korisnika na prijenosnu mrežu, uključujući ažurirane zahtjeve za mjernu opremu i održavanje mreže;
- Operativne procedure: Uvođenje detaljnih procedura za upravljanje sustavom u normalnim i izvanrednim uvjetima te poboljšanih protokola za upravljanje i razmjenu podataka;
- Obveze korisnika: Proširene obveze za korisnike mreže, koje pokrivaju tehničke aspekte i upravljanje potrošnjom i proizvodnjom energije;
- Fleksibilne usluge: Nove odredbe za pomoćne usluge i fleksibilnost, koje se bave potrebama modernog upravljanja mrežom. [8] [10]

### 4.2. Analiza EOTRP-a

EOTRP je izrađen prema staroj inačici Mrežnih pravila iz srpnja 2017. (NN 67/2017). I dok je velika većina sadržaja nepromijenjena u novoj inačici, postoje značajne razlike između stare i nove: nadopunjavanja, izmjena i novih pravila. Od velike važnosti su novi dijagrami s drugim podacima. Iako EOTRP poštuje većinu novih Mrežnih pravila (one koje su ostale nepromijenjene), neke ne zadovoljava i zbog toga bi dokument trebalo ažurirati da bude u skladu s novim Mrežnim pravilima. U protivnom, ne bi se smio koristiti u svrhu revitalizacije HE Varaždin.

Konkretni dijelovi dokumenta koji se ne podudaraju s novim Mrežnim pravilima:

- Poglavlje 3.8.2 EOTRP-a: Različit iznos gornje granice odstupanja napona u normalnim pogonskim uvjetima;
- Poglavlje 3.13.1 EOTRP-a: Zastarjeli dijagram;
- Poglavlje 3.13.2 EOTRP-a: Različiti raspon statike sustava regulacije brzine vrtnje;
- Poglavlje 3.13.3 EOTRP-a: Zastarjeli dijagram;
- Poglavlje 3.13.4 EOTRP-a: Zastarjeli dijagram;
- Poglavlje 3.13.5 EOTRP-a: Zastarjeli dijagram.

### **4.3. Analiza Analize potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin**

Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin verzija *RI* je izrađena prema staroj inačici Mrežnih pravila iz ožujka 2006. (NN 36/2006). Kao i u prijašnjem potpoglavlju, velika većina pravila je ostala nepromijenjena do najnovije inačice Mrežnih pravila, ali treba uvažiti značajne razlike. Kao i EOTRP, ovu Analizu je potrebno ažurirati da bude u skladu s novim Mrežnim pravilima. U protivnom, ne bi se smjela koristiti u svrhu revitalizacije HE Varaždin.

Konkretni dijelovi dokumenta koji se ne podudaraju s novim Mrežnim pravilima:

- Poglavlje 2.1 Analize: Zastarjeli dijagram;
- Poglavlje 2.2 Analize: Različit iznos gornje granice odstupanja napona u normalnim pogonskim uvjetima.

## 5. Zaključak

Hidroelektrična energija vitalna je komponenta održive i otporne energetske budućnosti, koja nudi obnovljivu, pouzdanu i čistu električnu energiju. Njezine višestruke prednosti podupiru i ekološke i ekonomske ciljeve, što je čini ključnim igračem u rješavanju globalnih energetske izazova i klimatskih promjena, a istovremeno postavljajući izazove kojima je potrebno pažljivo upravljanje i ublažavanje.

Regulacija hidroelektrana u Europskoj uniji je sveobuhvatna i osigurava da te elektrane rade učinkovito, pouzdanu i održivo unutar mreže prijenosnog sustava. Propisi pokrivaju tehničke zahtjeve, operativnu koordinaciju, utjecaj na okoliš, financijske mehanizme i usklađenost, podržavajući ciljeve Europske unije integracije tržišta, usvajanja obnovljive energije i stabilnosti mreže.

Regulacija prema NN 10/2024, Mrežnim pravilima prijenosnog sustava uključuje poštivanje niza pravila i standarda utvrđenih direktivama i propisima. Ova pravila osiguravaju da se hidroelektrane učinkovito i pouzdanu integriraju u širu mrežu europskog prijenosnog sustava te su osmišljene za održavanje stabilnosti, učinkovitosti i sigurnosti mreže.

## 6. Literatura

- [1] <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> , dostupno 25.06.2024.
- [2] Danijel Režek: Hidroelektrane na Dravi, 15.12.2003. <https://hrcak.srce.hr/10834> , dostupno 25.06.2024.
- [3] <https://www.hep.hr/proizvodnja/elektrane/hidroelektrane-1528/he-varazdin/1532> , dostupno 25.06.2024.
- [4] <https://sjever.hr/2022/11/20/uskoro-zapocinje-rekonstrukcija-hidroelektrane-varazdin-vrijedna-vrtoglavih-760-milijuna-kuna/> , dostupno 25.06.2024.
- [5] Preliminarna analiza mogućnosti priključenja (PAMP) rekonstruirane HE Varaždin 110 MW na prijenosnu mrežu, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, svibanj, 2017.
- [6] Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja (EOTRP) HE Varaždin na prijenosnu elektroenergetsku mrežu, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, rujan 2018.
- [7] <https://www.energetika-net.com/energetsko-gospodarstvo/objavljena-mrežna-pravila-prijenosnog-sustava-25109> , dostupno 25.06.2024.
- [8] NN 10/2024 (26.01.2024.), Mrežna pravila prijenosnog sustava [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2024\\_01\\_10\\_199.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2024_01_10_199.html) , dostupno 25.06.2024.
- [9] Analiza potrebe ugradnje regulacijskih blok transformatora pri rekonstrukciji HE Varaždin verzija R1, Institut za elektroprivredu, prosinac 2017.
- [10] NN 67/2017 (12.07.2017.), Mrežna pravila prijenosnog sustava [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2017\\_07\\_67\\_1585.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2017_07_67_1585.html) , dostupno 25.06.2024.

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| Slika 2.1 Shema hidroelektrane, Autor Hydroelectric dam.svg: TomiaMaGa - Datoteka:<br>Hydroelectric dam.svg, CC BY 2.5<br><a href="https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18407271">https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18407271</a> ..... | 2  |
| Slika 2.2 Zgrada strojarnice HE Varaždin izvana<br><a href="https://www.hep.hr/proizvodnja/elektrane/hidroelektrane-1528/he-varazdin/1532">https://www.hep.hr/proizvodnja/elektrane/hidroelektrane-1528/he-varazdin/1532</a> .....                              | 5  |
| Slika 3.1 Zajamčena snaga koju proizvodna jedinica mora dati u prijenosnu mrežu u određenom vremenu u ovisnosti o frekvenciji sustava i naponu mreže, EOTRP.....  | 14 |
| Slika 3.2 Zajamčena snaga koju proizvodna jedinica mora dati u prijenosnu mrežu u određenom vremenu u ovisnosti o frekvenciji sustava i naponu mreže.....   | 15 |
| Slika 3.3 Zahtjevi za isporuku jalove snage u prijenosnu mrežu proizvodne jedinice, MPPS ...  | 19 |
| Slika 3.4 Karakteristika U-Q/Pmax za sinkrone proizvodne module tipa D .....  | 20 |
| Slika 3.5 Zajamčena snaga koju proizvodna jedinica predaje u prijenosnu mrežu u kratkom vremenskom intervalu .....  | 22 |
| Slika 3.6 Granična krivulja napona na priključku na prijenosnu mrežu vezana uz prijelaznu stabilnost proizvodne jedinice, MPPS .....  | 25 |
| Slika 3.7 Dijagram prolaska kroz stanje kvara u mreži proizvodnog modula tipa D .....   | 26 |
| Slika 3.8 Zahtjevi za proizvodnu jedinicu za isporuku jalove snage u prijenosnu mrežu priključenu na nazivnu naponsku razinu 110 kV odnosno Q-U karakteristika za naponsku razinu 110 kV prema mrežnim pravilima EES RH .....                                   | 29 |



## **Popis tablica**

|  |   |
|--|---|
| Tablica 2.1 Osnovni tehnički podaci HE Varaždin .....  | 4 |
| Tablica 2.2 Osnovne predvidive karakteristike HE Varaždin nakon planirane rekonstrukcije ..... | 5 |

**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Gordan Vuglač (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/~~diplomskog~~ (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na rekonstruirane proizvodne jedinice HE Varaždin nakon promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

*(upisati ime i prezime)*Gordan Vuglač*(vlastoručni potpis)*

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Gordan Vuglač (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/~~diplomskog~~ (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Provjera mogućnosti priključenja i zahtjeva na rekonstruirane proizvodne jedinice HE Varaždin nakon promjene Mrežnih pravila prijenosnog sustava (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

Student/ica:

*(upisati ime i prezime)*Gordan Vuglač*(vlastoručni potpis)*