

# Analiza povećanja integracije različitih tipova OIE na adekvatnost mikromreže

---

**Pavelka, Stjepan**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:613730>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-29**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURAJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA POVEĆANJA INTEGRACIJE RAZLIČITIH TIPOVA OIE NA  
ADEKVATNOST MIKROMREŽE**

**Diplomski rad**

**Stjepan Pavelka**

**Osijek, 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

Osijek, 27.02.2024.

**Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Stjepan Pavelka
<b>Studij, smjer:</b>	Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	D-1420, 07.10.2021.
<b>OIB studenta:</b>	89657055701
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Predrag Marić
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	Marko Vukobratović
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	izv. prof. dr. sc. Goran Knežević
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	prof. dr. sc. Predrag Marić
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Ružica Kljajić, mag. ing. el.
<b>Naslov diplomskog rada:</b>	Analiza povećanja integracije različitih tipova OIE na adekvatnost mikromreže
<b>Znanstvena grana diplomskog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak diplomskog rada:</b>	
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	27.02.2024.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 15.03.2024.

Ime i prezime studenta:

Stjepan Pavelka

Studij:

Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

D-1420, 07.10.2021.

Turnitin podudaranje [%]:

8

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza povećanja integracije različitih tipova OIE na adekvatnost mikromreže**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Predrag Marić

i sumentora,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak diplomskog rada.....	2
2. PREGLED LITERATURE.....	3
3. MIKROMREŽA.....	4
3.1. Koncept mikromeža .....	4
3.2. Prednosti i izazovi mikromreža.....	5
3.3. Uloga obnovljivih izvora energije u mikromrežama.....	6
3.3.1. Solarna energija.....	6
3.3.2. Vjetroenergija.....	8
3.3.3. Hidroenergija.....	9
3.3.4. Biomasa .....	10
4. ANALIZA ADEKVATNOSTI PROIZVODNJE.....	12
4.1. Tehnička pozadina.....	12
4.1.1 Monte Carlo metoda .....	13
4.2. Objekti i modeli baze podataka (PowerFactory).....	15
4.2.1. Stohastički model za proizvodnju.....	15
4.2.2. Vrsta krivulje snage .....	16
4.2.3. Meteorološka stanica .....	16
4.3. Dodjela stohastičkog modela za proizvodnju električne energije.....	17
4.3.1. Definicija stohastičkog modela s više stanja .....	17
4.3.2. Definicija stohastičkog modela za nekonvencionalnu proizvodnju.....	17
4.3.3. Vremensko serijska karakteristika za proizvodnju vjetroelektrana .....	18
4.4. Pokretanje naredbe za analizu adekvatnosti proizvodnje.....	19
5. ANALIZA ADEKVATNOSTI U DIGSILENT POWERFACTORY PROGRAMSKOM PAKETU	
21	
5.1. Analiza adekvatnosti mikromreže napajana fotonaponom.....	22
5.1.1. Prva simulacija analize adekvatnosti .....	25
5.1.2. Druga simulacija analize adekvatnosti .....	30
5.1.3. Treća simulacija analize adekvatnosti.....	35
5.1.4. Četvrta simulacija analize adekvatnosti .....	39
5.2. Analiza adekvatnosti mikromreže napajane vjetrogeneratorom.....	43
5.2.1. Prva simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima .....	45

5.2.2.	Druga simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima .....	50
5.2.3.	Treća simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima.....	55
5.2.4.	Četvta simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima .....	58
6.	ZAKLJUČAK .....	63
	LITERATURA.....	64
	SUMMARY .....	67

## 1. UVOD

U današnjem svijetu, s porastom potražnje za električnom energijom i rastućom sviješću o zaštiti okoliša, pronalazak održivih izvora energije postaje ključan prioritet. Obnovljivi izvori energije, kao što su solarna energija, vjetar, hidroenergija i biomasa, pružaju mogućnost stvaranja čistih i obnovljivih izvora električne energije. No, integracija tih izvora u postojeće elektroenergetske sustave postavlja izazove, posebno kada je riječ o mikromrežama.

Mikromreže, također poznate kao distribuirani energetske sustavi, predstavljaju manje električne mreže koje su obično povezane s glavnim elektroenergetskim sustavom, ali također imaju sposobnost funkcioniranja neovisno o njemu. Mikromreže nude brojne prednosti, uključujući povećanu pouzdanost opskrbe, veću energetske učinkovitost i sposobnost integracije obnovljivih izvora energije. Međutim, povećanje integracije različitih tipova obnovljivih izvora energije može značajno utjecati na adekvatnost mikromreže, što zahtijeva detaljnu analizu. Cilj ovog diplomskog rada je pružiti sveobuhvatnu analizu povećanja integracije različitih tipova obnovljivih izvora energije na adekvatnost mikromreže. U prvom dijelu rada fokus će biti na analizi same mikromreže kako bi se utvrdilo njezino trenutno stanje i performanse. Nakon toga, u drugom dijelu rada će se pristupiti integraciji različitih obnovljivih izvora energije u mikromrežu. Integracija različitih obnovljivih izvora energije, poput solarnih panela, vjetroelektrana ili hidroelektrana, predstavlja dodatni izazov u pogledu pravilnog upravljanja i ravnoteže ponude i potražnje električne energije. Kroz ovaj rad, cilj je dobiti dublji uvid u povećanje integracije različitih obnovljivih izvora energije na adekvatnost mikromreže. U nastavku rada će se detaljnije opisati metodologija istraživanja, te će se provesti analiza mikromreže integracijom obnovljivih izvora energije. Na kraju rada će se iznijeti zaključak i prikazati moguće smjernice za buduća istraživanja.

Simulacija analize povećanja integracije obnovljivih izvora energije na mikromrežu bit će provedeno u programskom paketu DIgSILENT Power Factory.

## **1.1. Zadatak diplomskog rada**

Zadatak diplomskog rada je napraviti analizu povećanja integracije obnovljivih izvora energije na adekvatnost mikromreže. U radu će se prvo analizirati adekvatnost mikromreže bez povećanja integracije obnovljivih izvora energije, zatim će se povećavati integracija različitih tipova obnovljivih izvor energije te će se detaljnije analizirati adekvatnost mikromreže.



## 2. PREGLED LITERATURE

Literatura [1] govori o konceptu mikromreže, radu i upravljanju mikromrežom, problemu prognoze potrošnje električne energije, te opisuje postojeću infrastrukturu mikromreže diljem svijeta. U praktičnom dijelu rada dana je analiza optimalnog sustava mikromreže.

Literatura [2] govori o mikromrežama, što su mikromreže, povijest mikromreža, o izvorima za proizvodnju električne energije za mikromreže, primjenama mikromreža te zbog čega su dobre i potrebne mikromreže.

Susretanje današnjih energetske i klimatskih izazova zahtijeva ne samo tehnološki napredak, već i dobro razumijevanje percepcija sudionika, političke osjetljivosti, informiranih analiza politike te inovativnih interdisciplinarnih rješenja. Autori literature [3] izdali su knjigu koja pruža cjelovito i integrirano razumijevanje interakcija tehnologije-sudionika-politike u području pametnih mrežnih tehnologija. Jedinstvene značajke knjige uključuju interdisciplinarni pristup - uvođenjem političkih dimenzija u područje pametnih mrežnih tehnologija, globalnu i azijsku perspektivu te učenje iz nacionalnih studija.

Literatura [4] prikazuje obradu glavnih tehničkih izazova otočnog pogona, implementaciju koncepta virtualne mreže te razvoj kontrolnih tehnika potrebnih za uspostavu mikromreže kako bi se održala opskrba električnom energijom u slučaju značajnog događaja na mreži koji rezultira gubitkom povezanosti s glavnom mrežom.

Literatura [5] prikazuje istraživanje koje razvija statistički okvir za kvantificiranje otpornosti mrežno povezanih mikromreža kako bi se osiguralo da se kritična opterećenja servisiraju tijekom scenarija otočnog pogona. Glavna tema je otpornost mikromreže i izražava se kao vjerojatnost da će mikromreža zadovoljiti zahtjeve kritičnog opterećenja tijekom događaja otočnog pogona.

Literatura [16] obrađuje pojmove vezane uz biomasu i kogeneracijska postrojena, teorije pouzdanosti. Obuhvaća procjenu pouzdanosti distribucijske mreže u koju je uključena elektrana na biomasu. Procjena pouzdanosti mreže provedena je pomoću analitičke metode pobrojavanja stanja, a zatim i procjena dostatnosti proizvodnje pomoću Monte Carlo simulacije. Literatura navodi da je pouzdanost mreže bolja ukoliko se elektrana napaja samo iz jednog izvoda.

Literatura [18] analizira utjecaj planiranih velikih kombiniranih kogeneracijskih elektrana koje se priključuju na 110 kV mrežu, kao i manje KKE koje se priključuju na 110 kV mrežu, na pokazatelje pouzdanosti prijenosne mreže. Uzet je u obzir prekogranični prijenos snage kao i dnevna maksimalna/minimalna opterećenja 110 kV stanica u prijenosnoj mreži.

### **3. MIKROMREŽA**

Mikromreža je elektroenergetski sustav s distribuiranim izvorima energije. Ona predstavlja inovativni pristup koji se može koristiti neovisno ili paralelno s postojećom mrežom. Mikromreža omogućuje fleksibilnu i učinkovitu integraciju obnovljivih izvora energije, smanjuje gubitke u prijenosu električne energije te osigurava kontinuiranu opskrbu čak i u slučaju kvarova ili poremećaja u glavnoj mreži. Ova tehnologija omogućuje bolje iskorištavanje lokalnih izvora energije, smanjuje ovisnost o tradicionalnim mrežama i pridonosi energetskej učinkovitosti.[1]

#### **3.1. Koncept mikromeža**

Koncept mikromreže postao je poznat kada je superoluja Sandy pogodila Sjedinjene Američke Države 2012. godine. Došlo je do nestanka struje na mnogim mjestima na sjeveroistoku SAD-a, uključujući New York City, ali mnogi su primijetili da nisu svi ostali bez struje. Neki objekti u New Yorku, New Jerseyju i Connecticutu imali su napajanje električnom energijom jer su imali distribuiranu proizvodnju ili mikromreže instalirane. Ovaj događaj privukao je pažnju odgovornih političara zbog njihovih birača. Kao posljedica toga, mikromreže su uključene u rekonstrukciju elektroenergetskih mreža u tom području i kako se kaže, ostalo je povijest.[2]

Koncept mikromreža predstavlja inovativan pristup organizaciji elektroenergetskih sustava koji omogućuje lokalno proizvođenje, distribuciju i potrošnju električne energije na manjoj razini. Mikromreže se sastoje od lokalno povezanih izvora energije, potrošača i energetske skladišta, te su sposobne funkcionirati neovisno ili povezano s glavnim elektroenergetskim mrežama.

Prema [3] koncept mikromreža razvija se kao odgovor na sve veće izazove tradicionalnih elektroenergetskih sustava, kao što su nestabilnost opskrbe, ovisnost o fosilnim gorivima i negativni utjecaji na okoliš. Mikromreže nude alternativno rješenje koje je fleksibilno, energetskej učinkovito i održivo.

Mikromreže se često implementiraju na lokalnoj razini, poput naselja, otoka, industrijske postrojenja ili sveučilišne kampusa. One imaju vlastiti distribucijski sustav, kontrolu i upravljanje, što im omogućuje autonomiju u opskrbi električnom energijom. Prema [4], mikromreže mogu biti izvor i potrošač električne energije, što pruža mogućnost lokalne proizvodnje i upotrebe obnovljivih izvora energije.

U mikromrežama se često koriste različite obnovljivi izvori energije, poput solarnih panela, vjetroelektrana, hidroelektrana ili biomase. Ovi obnovljivi izvori energije imaju prednost jer su čisti, dostupni i obnovljivi, te pridonose smanjenju emisije stakleničke plinove i ovisnosti o fosilnim

gorivima. Integracija obnovljivih izvora energije u mikromreže omogućuje diversifikaciju izvora energije i povećava energetske sigurnost.

Ukratko, koncept mikromreža predstavlja inovativan pristup organizaciji elektroenergetskih sustava koji omogućuje lokalnu proizvodnju, distribuciju i potrošnju električne energije. Mikromreže imaju potencijal za integraciju obnovljivih izvora energije, što ih čini energetski učinkovitim, održivim i manje ovisnim o tradicionalnim elektroenergetskim mrežama.[3]



Slika 3.1. Primjer mikromreže.[1]

### 3.2. Prednosti i izazovi mikromreža

Prema [4], mikromreže nude brojne prednosti u usporedbi s tradicionalnim elektroenergetskim sustavima. Jedna od glavnih prednosti je povećana pouzdanost opskrbe energijom. Mikromreže su dizajnirane tako da omogućuju lokalnu proizvodnju i potrošnju električne energije, što smanjuje ovisnost o udaljenim elektroenergetskim mrežama. Ova autonomija pruža otpornost na kvarove u glavnom elektroenergetskom sustavu i poboljšava sposobnost mikromreže da ostane operativna čak i u slučaju prekida u vanjskom napajanju.

Druga prednost mikromreža je mogućnost integracije različitih izvora energije, posebno obnovljivih izvora energije. Budući da su mikromreže često smještene na lokalnoj razini, one su idealno

pozicionirane za iskorištavanje obnovljivih izvora energije koji su dostupni u tom području. solarna energija, vjetroenergija, hidroenergija i biomasa mogu se lako integrirati u mikromrežu kako bi se povećala udio obnovljive energije u ukupnoj proizvodnji električne energije. Ovo ima dvostruki učinak - smanjuje emisije stakleničkih plinova i smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima.

Unatoč brojnim prednostima, mikromreže također susreću izazove koji zahtijevaju strateško planiranje i upravljanje. Stabilnost mikromreže predstavlja ključni izazov. Budući da mikromreže često imaju promjenjive izvore energije, poput solarnih panela i vjetroelektrana, upravljanje ravnotežom između ponude i potražnje električne energije postaje izazovno. Potrebno je osigurati da proizvodnja i potrošnja električne energije budu sinkronizirane kako bi se održala stabilnost napona i frekvencije u mikromreži [5]

Osim toga, optimalno upravljanje opterećenjem i energetske resursima također je važno za postizanje energetske učinkovitosti u mikromrežama. Učinkovito raspoređivanje i korištenje dostupnih resursa, kao i primjena pametnih sustava upravljanja, mogu značajno poboljšati performanse mikromreže i optimizirati energetske potrošnje.[4]

Ukratko, mikromreže donose brojne prednosti u smislu pouzdanosti, lokalne proizvodnje i integracije obnovljivih izvora energije. Međutim, suočavaju se s izazovima u stabilnosti, optimalnom upravljanju opterećenjem i resursima. Razumijevanje ovih prednosti i izazova ključno je za analizu adekvatnosti mikromreže prije nego što se integriraju različiti obnovljivi izvori energije.[6]

### **3.3. Uloga obnovljivih izvora energije u mikromrežama**

Obnovljivi izvori energije imaju ključnu ulogu u mikromrežama. Integracija obnovljivih izvora energije omogućuje smanjenje emisija stakleničkih plinova, smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima i povećanje energetske održivosti. Solarna energija, vjetroenergija, hidroenergija i biomasa mogu se uspješno integrirati u mikromreže kako bi se povećao udio obnovljive energije u ukupnoj proizvodnji električne energije.[8]

#### **3.3.1. Solarna energija**

Solarna energija može imati važnu ulogu u mikromreži na nekoliko načina:[9][10][11]

- Izvor obnovljive energije: Solarna energija koristi energiju Sunca za proizvodnju električne energije. Instalacija solarnih panela u mikromreži omogućuje proizvodnju električne energije iz obnovljivog izvora, čime se smanjuje potreba za tradicionalnim izvorima energije poput fosilnih goriva.

- Lokalna proizvodnja energije: Solarni paneli instalirani u mikromreži mogu proizvoditi električnu energiju izravno na mjestu potrošnje. To omogućuje lokalnu proizvodnju energije i smanjuje gubitke tijekom prijenosa električne energije preko velikih udaljenosti.

- Neovisnost o mreži: U mikromreži, solarna energija omogućuje neovisnost o tradicionalnoj elektroenergetskoj mreži. Mikromreže mogu biti povezane s glavnom elektroenergetskom mrežom, ali također imaju sposobnost funkcioniranja samostalno ako je veza s glavnom mrežom prekinuta. Solarna energija može biti glavni izvor energije u takvim situacijama.

- Pohrana energije: Solarna energija se može pohraniti u baterijama ili drugim pohranjivačima energije u mikromreži. To omogućuje korištenje solarno generirane energije čak i kada Sunce nije prisutno, poput noću ili tijekom oblačnih razdoblja. Pohranjivanje energije omogućuje bolje iskorištavanje solarnog potencijala i optimizaciju uporabe energije u mikromreži.

- Smanjenje emisija stakleničkih plinova: Korištenje solarnih sustava za proizvodnju električne energije u mikromreži doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova. Kao obnovljivi izvor energije, solarna energija ne proizvodi emisije stakleničkih plinova tijekom rada, što je ekološki prihvatljivija opcija u usporedbi s konvencionalnim izvorima energije.

Ukratko, solarna energija u mikromreži pruža mogućnost lokalne proizvodnje obnovljive energije, neovisnost o glavnoj mreži, mogućnost pohrane energije te smanjenje emisija stakleničkih plinova. Sve to zajedno pridonosi održivijem i učinkovitijem energetsom sustavu u mikromrežama.



**Slika 3.2.** *Mini solarna elektrana*[2]

### 3.3.2. Vjetroenergija

Vjetroelektrane koriste kinetičku energiju vjetra za generiranje električne energije. Vjetroenergija je učinkovit i stabilan obnovljivi izvor energije koji se može integrirati u mikromreže s povoljnim vjetrovima. Vjetroelektrane su čiste i ne proizvode emisije tijekom rada, ali mogu biti osjetljive na fluktuacije vjetra i zahtijevaju pažljivo planiranje i upravljanje za održavanje stabilnosti mikromreže.[11]

Vjetroenergija može igrati važnu ulogu u mikromreži na nekoliko načina:[9][12]

- **Izvor energije:** Vjetroelektrane mogu biti izvor energije u mikromreži. Mikrovjetroelektrane, koje se obično sastoje od manjih vjetroagregata, mogu biti postavljene u blizini mikromreže kako bi pružile lokalni izvor električne energije. Vjetroturbine pretvaraju kinetičku energiju vjetra u električnu energiju koja se može koristiti za napajanje mikromreže.

- **Integracija s ostalim izvorima energije:** Vjetroenergija se može kombinirati s drugim izvorima energije u mikromreži kako bi se osigurala kontinuirana opskrba električnom energijom. Na primjer, mikromreža može uključivati i solarnu energiju, hidroenergiju ili baterijske sustave za pohranu

energije kako bi se nadoknadio nedostatak energije kada vjetroenergija nije dovoljna. Kombinirajući različite izvore energije, mikromreža može osigurati pouzdanu opskrbu električnom energijom.

- **Dijeljenje viška energije:** Ako vjetroelektrane proizvode više energije nego što je potrebno u mikromreži, taj višak energije može se iskoristiti na druge načine. Na primjer, višak energije može se preusmjeriti prema većoj mreži ili prodavati drugim entitetima. Ovo može stvoriti dodatni izvor prihoda za mikromrežu i pomoći u financijskoj održivosti.

- **Smanjenje emisija stakleničkih plinova:** Korištenje vjetroenergije u mikromreži smanjuje potrebu za tradicionalnim izvorima energije koji koriste fosilna goriva. Budući da vjetroelektrane ne proizvode emisije stakleničkih plinova tijekom proizvodnje električne energije, mikromreže koje koriste vjetroenergiju doprinose smanjenju emisija CO<sub>2</sub> i drugih štetnih plinova.

Ukratko, vjetroenergija u mikromreži može služiti kao izvor električne energije, biti integrirana s drugim izvorima energije, omogućiti dijeljenje viška energije i smanjiti emisije stakleničkih plinova. To pomaže osigurati održivu i neovisnu opskrbu električnom energijom na lokalnoj razini.

### **3.3.3. Hidroenergija**

Hidroelektrane koriste snagu vode za proizvodnju električne energije. Prema [13], hidroenergija je pouzdan izvor energije koji se može koristiti u mikromrežama, posebno ako postoji dostupnost vodnih izvora poput rijeka, jezera ili potoka. Hidroelektrane su čiste, a proizvodnja električne energije može se prilagoditi prema potrebama mikromreže.

Hidroenergija također može imati značajan utjecaj na mikromrežu. Hidroenergija koristi energiju vode za generiranje električne energije, a njezin utjecaj na mikromrežu može biti sljedeći:[13][14]

- **Izvor energije:** Hidroelektrane mogu biti ključni izvor energije u mikromreži. Mikrohidroelektrane su manje hidroelektrane koje se mogu postaviti u blizini mikromreže. One koriste snagu tekuće vode, poput rijeke ili potoka, za proizvodnju električne energije. Ovisno o veličini, mikrohidroelektrane mogu pružiti dovoljno energije za pokrivanje potreba lokalne zajednice ili objekta.

- **Pouzdan izvor:** Hidroenergija je stabilan i pouzdan izvor energije. Protok vode može biti relativno konstantan, osiguravajući kontinuiranu proizvodnju električne energije. To je posebno važno u mikromrežama koje se nalaze u područjima s obiljem vodenih resursa.

- **Pohrana energije:** U nekim slučajevima, hidroenergija se može koristiti i za pohranu energije u mikromreži. Sustavi hidroakumulacija mogu koristiti višak energije iz drugih izvora, poput solarnih panela ili vjetroelektrana, za pumpanje vode u više položaje. Kasnije, ta pohranjena voda može se puštati nizbrdo kroz turbine kako bi se proizvela električna energija kada je potrebno. Ovo pruža mogućnost regulacije u mikromreži.

- **Održivost i ekološki utjecaj:** Hidroenergija se smatra obnovljivim izvorom energije i ima relativno nizak utjecaj na okoliš u usporedbi s fosilnim gorivima. Hidroelektrane ne emitiraju stakleničke plinove tijekom proizvodnje električne energije i ne ovise o ograničenim izvorima fosilnih goriva. Korištenje hidroenergije u mikromreži može pridonijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i održivijem energetsom sustavu.

Ukratko, hidroenergija u mikromreži može služiti kao izvor stabilne i održive električne energije, pružajući lokalnoj zajednici ili objektu neovisnu opskrbu energijom. Također može pružiti mogućnost pohrane energije i smanjenja negativnog utjecaja na okoliš.

### **3.3.4. Biomasa**

Biomasa se odnosi na organski materijal poput drva, biljnog otpada, šumske biomase i ostataka poljoprivrednih kultura koji se mogu koristiti za proizvodnju energije. Prema [15], biomasa ima veliki potencijal u mikromrežama, pružajući stabilan izvor energije koji se može lokalno proizvesti. Korištenje biomase kao obnovljivog izvora energije smanjuje odlaganje otpada i emisije stakleničkih plinova.

Biomasa također može imati značajan utjecaj na mikromrežu. Biomasa se odnosi na biološke materijale, poput biljnih ostataka, drvnih peleta, poljoprivrednih ostataka ili otpada koji se koriste za proizvodnju energije. Evo nekoliko načina na koje biomasa može utjecati na mikromrežu:[15][16]

- **Izvor energije:** Biomasa se može koristiti kao izvor energije u mikromreži. Biomasne elektrane ili kogeneracijski sustavi mogu pretvoriti biomasne materijale u toplinsku energiju ili električnu energiju. Ovi sustavi mogu biti prilagođeni potrebama mikromreže i koristiti lokalno dostupne izvore biomase, kao što su poljoprivredni ostaci, drveni otpad ili otpad iz prehrambene industrije.

- **Pohrana energije:** Biomasa se može koristiti za pohranu energije u mikromreži. Na primjer, sustavi za proizvodnju bioplina iz biomase mogu pohraniti višak energije u obliku plina koji se može koristiti kasnije za proizvodnju električne energije. Ovo omogućuje ravnotežu ponude i potražnje energije u mikromreži.



- Održivost i smanjenje otpada: Korištenje biomase za proizvodnju energije u mikromreži može imati pozitivan utjecaj na održivost i okoliš. Umjesto da se biomasa jednostavno odlaže ili sagorijeva bez kontrole, pretvaranje biomase u korisnu energiju smanjuje otpad i emisije stakleničkih plinova. Također, upotreba lokalno dostupne biomase u mikromreži može smanjiti ovisnost o uvozu energije i potaknuti lokalni gospodarski razvoj.

- Dijeljenje lokalnih resursa: Biomasa se može koristiti kao zajednički resurs u mikromreži. Lokalni poljoprivrednici, šumari ili drugi sudionici mogu surađivati u prikupljanju biomase i njezinoj pretvorbi u energiju. Ovo potiče lokalnu zajednicu i osnažuje lokalne dionike u proizvodnji i korištenju obnovljive energije.

Ukratko, biomasa u mikromreži može poslužiti kao lokalni izvor obnovljive energije, pomoći u pohrani energije, smanjiti otpad i emisije stakleničkih plinova te potaknuti suradnju i održivost u lokalnoj zajednici.[16]

Odabir i kombinacija obnovljivih izvora ovisi o lokalnim uvjetima, resursima i potrebama zajednice. Integracija obnovljivih izvora energije u mikromreže zahtijeva analizu adekvatnosti mreže, planiranje kapaciteta i upravljanje energetske tokovima kako bi se postigla stabilnost i održivost sustava.

## 4. ANALIZA ADEKVATNOSTI PROIZVODNJE

Sposobnost elektroenergetskog sustava da opskrbljuje sustavno opterećenje pod svim mogućim uvjetima opterećenja poznata je kao sustavna adekvatnost. Konkretno, ovo se odnosi na sposobnost proizvodnje da zadovolji zahtjeve potrošnje uzimajući u obzir tipična sustavna ograničenja kao što su[17]:

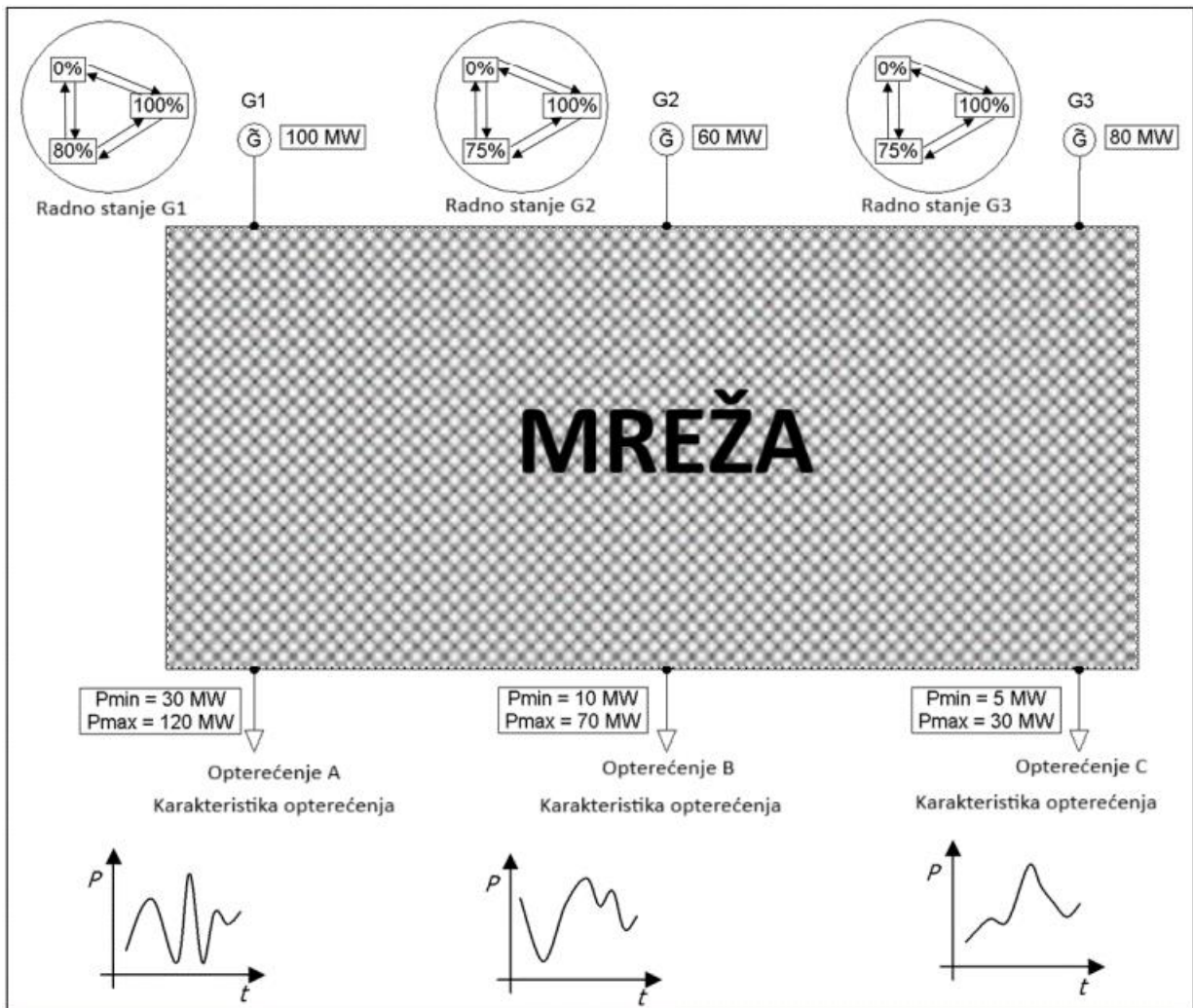
- Nedostupnost proizvodnje zbog kvarova ili potreba za održavanjem;
- Promjene u opterećenju sustava na mjesečnoj, satnoj i minutoj osnovi;
- Promjene u proizvodnji obnovljive energije (posebno proizvodnji vjetra), što utječe na raspoloživ kapacitet proizvodnje.

Alat PowerFactory za analizu adekvatnosti proizvodnje posebno je dizajniran za ispitivanje sustavne adekvatnosti. Upotrebom ovog alata moguće je utvrditi vjerojatnost deficita snage proizvodnje (LOLP) i očekivanu neisporučenu potražnju (EDNS) [17].

### 4.1. Tehnička pozadina

Analitička procjena adekvatnosti proizvodnje zahtijeva da se svakom generatoru u sustavu dodijeli niz probabilističkih stanja koja određuju vjerojatnost da će generator raditi na različitim razinama isporučene snage. Isto tako, svako opterećenje sustava može dobiti vremenski zasnovane karakteristike koje određuju stvarnu razinu opterećenja sustava u bilo kojem trenutku. Pojednostavljeni opći prikaz analize adekvatnosti proizvodnje u DIGSILENT PowerFactory prikazan je na slici 4.1. [17]

Na ovom malom primjeru moguće je analitički odrediti adekvatnost proizvodnje u relativno kratkom vremenu. Međutim, kako se povećava broj generatora, stanja generatora, opterećenja i stanja opterećenja, stupanj slobode za analizu brzo se povećava tako da postaje nemoguće riješiti ga u razumnom vremenskom roku. Takav problem idealno odgovara Monte Carlo simulaciji. [17]



Slika 4.1 Pojednostavljeni opći prikaz analize adekvatnosti proizvodnje[17]

#### 4.1.1 Monte Carlo metoda

U metodi Monte Carlo provodi se simulacija uzorkovanja. Korištenjem niza uniformnih slučajnih brojeva generira se slučajno stanje sustava. To stanje sustava sastoji se od slučajnih stanja rada generatora i slučajnih vremenskih točaka. Stanja rada generatora imat će odgovarajući izlaz snage proizvodnje, dok će vremenske točke imati odgovarajuće zahtjeve za snagom. Tada se izračunava vrijednost nezadovoljene potrošnje (DNS) za takvo stanje. Ovaj postupak se izvodi za određeni broj iteracija. Na kraju simulacije, izračunavaju se vrijednosti vjerojatnosti deficita snage proizvodnje (LOLP), očekivane gubitke opterećenja (LOLE), očekivane nezadovoljene potražnje (EDNS) i očekivane gubitke energije (LOEE) kao prosječne vrijednosti iz svih izvedenih iteracija.

Monte Carlo simulacija oslanja se na generiranje slučajnih brojeva. Budući da sva računala pokreću deterministički kod za generiranje slučajnih brojeva, softverski generator slučajnih brojeva poznat je kao generator pseudo slučajnih brojeva (PRNG). Postoje različiti PRNG-ovi dostupni, od kojih neki ne pokazuju odgovarajuće statističke kvalitete za upotrebu u Monte Carlo simulacijama, gdje su potrebni vrlo dugi nizovi neovisnih slučajnih brojeva. PowerFactory koristi implementaciju PRNG-a poznatog kao 'RANROT'. [17]

Za svaku iteraciju, operativno stanje svakog generatora nasumično se bira generiranjem slučajnog broja. Za svako od ovih stanja, izračunava se odgovarajući izlaz snage generatora. Ukupna snaga proizvodnje sustava izračunava se zbrajanjem svih izlaza generatora. [17]

Za istu iteraciju nasumično se odabire vremenska točka u sustavu. Za tu vremensku točku dobivaju se zahtjevi za snagom svakog opterećenja. Ukupna potražnja sustava izračunava se zbrajanjem svih zahtjeva opterećenja. Tada je moguće dobiti vrijednost nezadovoljene potrošnje (DNS) za tu iteraciju, pri čemu se DNS definira kako je prikazano u jednadžbi 3.1. [17]

$$DNS = \sum \text{potražnja} - \sum \text{proizvodnja} \quad (3-1)$$

Nakon što se izračun pokazatelja vrijednosti nezadovoljene potražnje izvrši za svaku zadanu iteraciju, varijable koje pokazuju kvalitetu tržišta LOLP i EDNS se računaju na sljedeći način: [17]

$$LOLP = \frac{N_{DNS}}{N} \cdot 100\% \quad (3-2)$$

$$EDNS = \frac{\sum DNS}{N} \quad (3-3)$$

gdje  $N_{DNS}$  predstavlja broj iteracija u kojima je  $DNS > 0$ , dok je  $N$  ukupni broj iteracija.

Statička pouzdanost (Adekvatnost) sposobnost je EES - a da opskrbljuje potrošače električnom snagom i energijom s nazivnim vrijednostima opterećenja komponenata i naponskih ograničenja, uzimajući u obzir planirane i neplanirane otkaze komponenata u sustavu.[18]

Dinamička pouzdanost (Sigurnost) sposobnost je EES - a da se odupre iznenadnim poremećajima kao što su nepredviđeni ispadi elemenata zbog kvarova u EES – u. [18]

## 4.2. Objekti i modeli baze podataka (PowerFactory)

U PowerFactory alatu postoje nekoliko objekata baze podataka specifično povezanih s analizom adekvatnosti proizvodnje, kao što su: [17]

- Stohastički model za proizvodnju,
- Vrsta krivulje snage
- Meteorološka stanica

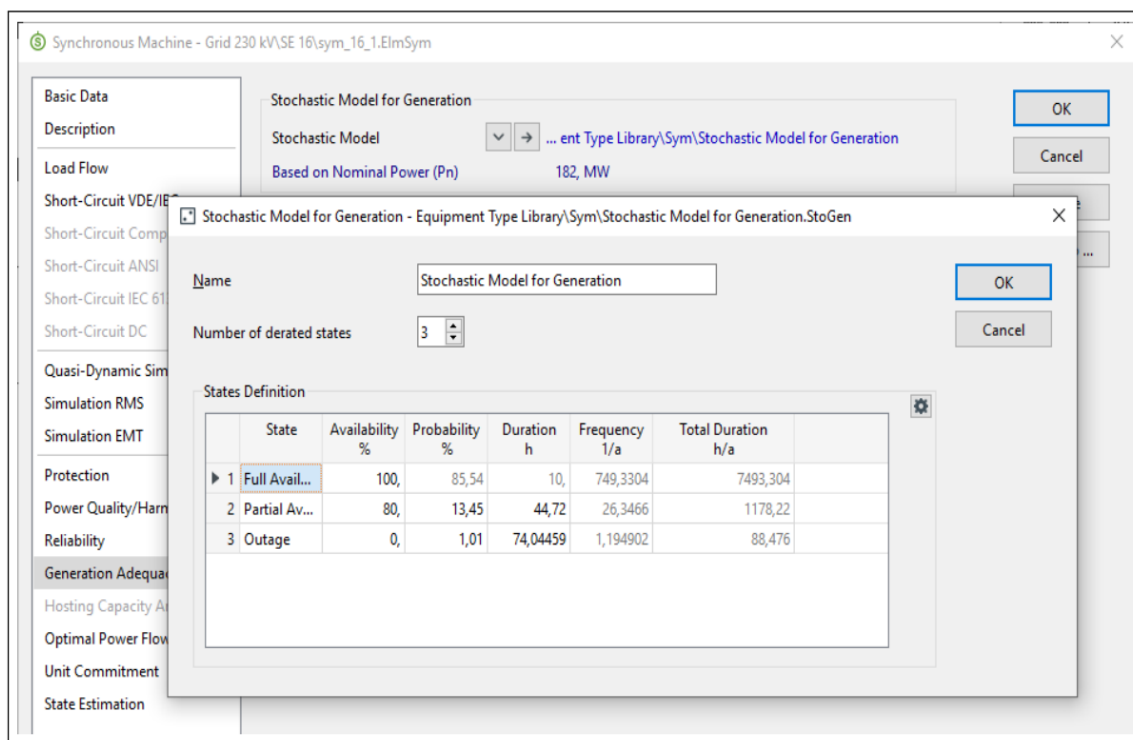
### 4.2.1. Stohastički model za proizvodnju

Objekt stohastičkog modela za proizvodnju koristi se za definiranje raspoloživih stanja generatora, a primjer je prikazan na slici 4.2. Moguće je imati neograničen broj stanja, pri čemu je svako stanje podijeljeno na: [17]

- Stanje: naziv stanja
- Raspoloživost [%]: postotak nominalne snage koja je dostupna
- Vjerojatnost [%]: vjerojatnost da je ovo stanje valjano (zbroy svih vjerojatnosti uvijek mora biti 100 %)
- Trajanje [h]: vrijeme potrebno za rješavanje određenog kvara
- Frekvencija [1/g]: broj incidenata koji uzrokuju navedeno stanje godišnje
- Ukupno trajanje [h/g]: ukupno trajanje određenog stanja godišnje

Iako se za analizu adekvatnosti proizvodnje koriste samo parametri raspoloživosti i vjerojatnosti, svi parametri koriste se za procjenu pouzdanosti.

To znači da za svako stanje mora biti navedena ukupna raspoloživa sposobnost proizvodnje u postotku maksimalnog izlaza zajedno s vjerojatnošću pojave ove raspoloživosti. Stupac vjerojatnosti automatski je ograničen tako da zbroj vjerojatnosti svih stanja mora biti jednak 100 %.[17]



**Slika 4.2** *Primjer objekta stohastičkog modela za proizvodnju*[17]

Važno je napomenuti da je maksimalna djelatna snaga izračunata prema (4-4), gdje je  $S_{nom}$  nominalna prividna snaga, a  $\cos\Theta$  je nominalni faktor snage. [17]

$$S_{nom} \cdot \cos\Theta \quad (4-4)$$

#### 4.2.2. Vrsta krivulje snage

Vrsta krivulje snage koristi se za specificiranje brzine vjetra (u m/s) naspram nominalnog izlaza snage (u p.u ili MW) za vjetroelektrane.

Za vrijednosti brzine vjetra između navedenih vrijednosti krivulje, PowerFactory interpolira koristeći metodologiju navedenu u padajućem izborniku aproksimacije. [17]

#### 4.2.3. Meteorološka stanica

Ako grupa vjetrogeneratora ima karakteristike brzine vjetra koje su međusobno povezane, to se može prikazati kroz objekt meteorološke stanice

Važno je napomenuti da kada su dva vjetrogeneratora povezana kao članovi iste meteorološke stanice, mogu i dalje imati različite prosječne brzine vjetra definirane unutar svoje stranice za adekvatnost proizvodnje. Tijekom Monte Carlo analize, za svaku meteorološku stanicu izvlači se nasumična brzina

vjetra. Ta brzina vjetra se zatim primjenjuje na svaki vjetrogenerator u toj meteorološkoj stanici koristeći stohastički Weibull-ov model. Dakle, snaga se izračunava prema individualnoj krivulji snage generatora. [17]

Kada generator koristi vremenske karakteristike kao vjetro model, tada je korelacija određena vremenom koje crta Monte Carlo, a koje je isto za sve generatore u sustavu.

### **4.3. Dodjela stohastičkog modela za proizvodnju električne energije**

U analizi adekvatnosti proizvodnje postoji razlika konvencionalne i nekonvencionalne proizvodnje. Konvencionalna proizvodnja odnosi se na proizvodnju električne energije iz konvencionalnih termoelektrana, hidroelektrana i nuklearnih elektrana, dok se nekonvencionalna proizvodnja temelji na obnovljivim izvorima energije, solarnu i energiju vjetra u nastavku ovog rada [17]

#### **4.3.1. Definicija stohastičkog modela s više stanja**

Za oba tipa proizvodnje, konvencionalne i nekonvencionalne, moguće je dodijeliti stohastički model s više stanja kako bi se definirala raspoloživost svake jedinice. Raspoloživost se definira u nekoliko "Stanja", svako s određenom vjerojatnošću. [17]

#### **4.3.2. Definicija stohastičkog modela za nekonvencionalnu proizvodnju**

Kao i za konvencionalnu proizvodnju, trofazni modeli mogu koristiti objekt stohastičkog modela za proizvodnju, pod uvjetom da su definirani kao generatori, a ne kao motori: [17]

- Sinkroni stroj postavljen kao vjetrogenerator;
- Statički generator postavljen kao vjetrogenerator, fotonaponski ili drugi obnovljivi izvor;
- Asinkroni generator postavljen kao vjetrogenerator;
- Asinkroni generator s dvostrukim napajanjem postavljen kao vjetrogenerator

Objekti koji se ne razmatraju u analizi adekvatnosti proizvodnje su vanjske mreže, modeli strujnih i naponskih izvora, te se ignoriraju u analizi adekvatnosti proizvodnje. [17]

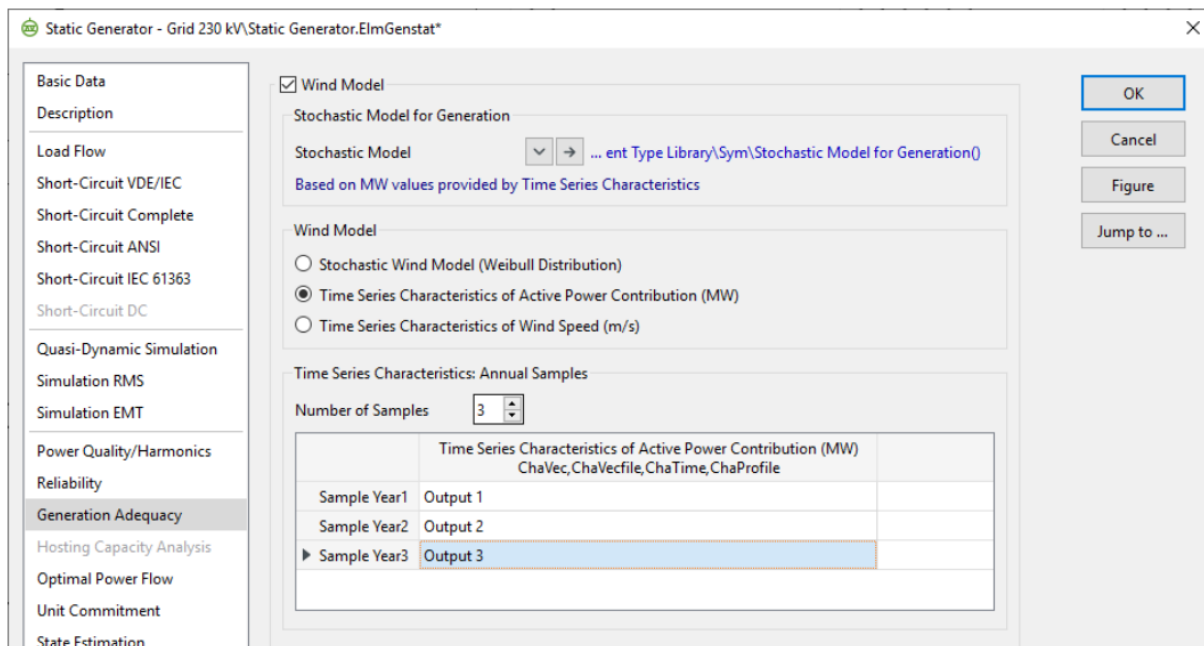
### 4.3.3. Vremensko serijska karakteristika za proizvodnju vjetroelektrana

Ako su dostupni detaljni podaci o izlazu vjetra tijekom vremena ili brzini vjetra tijekom vremena, to se može koristiti umjesto stohastičkog modela. Podaci se mogu čitati u PowerFactory-u kao karakteristika ChaVec (karakteristika vektorskog parametra) ili iz vanjske datoteke koristeći karakteristiku ChaVecFile (parametarska karakteristika iz datoteke). U oba slučaja potrebne su informacije o jednoj godini podataka u satnim intervalima, iako se mogu navesti i ne cjelobrojne vrijednosti u navedenim podacima. [17]

Ako je odabrana opcija vremensko serijska karakteristika za brzinu vjetra, tada se stvarni izlaz snage vjetrogeneratora za svaku iteraciju automatski izračunava iz krivulje snage vjetra. Ako je odabrana opcija vremensko serijske karakteristike aktivnog doprinosa snage, tada krivulja snage nije potrebna.

Podaci za više godina također se mogu koristiti pozivanjem dodatne karakteristike za svaku godinu. Algoritam adekvatnost proizvodnje zatim odabire nasumičnu vrijednost brzine vjetra ili snage iz jedne od ulaznih godina. [17]

Na slici 4.3. prikazan je snimak zaslona vjetrogeneratora s tri godine podataka o njegovoj izlaznoj snazi.

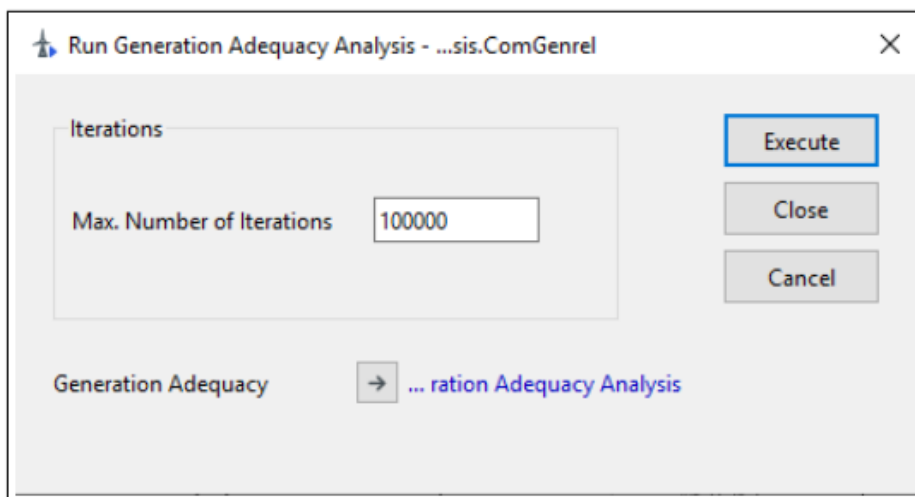


**Slika 4.3** Model vjetra u PowerFactory-u pomoću izlaznih podataka o vjetru[17]

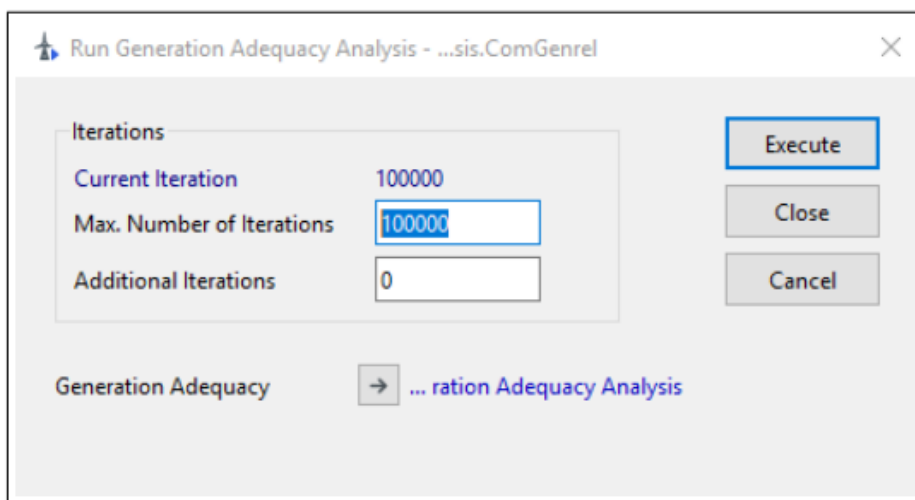


#### 4.4. Pokretanje naredbe za analizu adekvatnosti proizvodnje

Naredba za pokretanje analize adekvatnosti proizvodnje pojavljuje se u dva stila ovisno o statusu izračuna. Ako se izračun prvi put pokreće, tada se pojavljuje dijaloški okvir kao što je prikazano na slici 4.4. S druge strane, ako su neke iteracije već završene, tada se izračun može nastaviti i dijalog se pojavljuje kao što je prikazano na slici 4.5. [17]



Slika 4.4 Dijalog naredbe za pokretanje analize adekvatnosti proizvodnje (nova simulacija)



Slika 4.5 Dijalog naredbe za pokretanje analize adekvatnosti proizvodnje (nakon simulacije)

Pritiskom na "Izvrši" (Execute) provodi se analiza adekvatnosti proizvodnje. Gumb se može koristiti za prekid analize prije nego što se dovrši postavljeni broj iteracija, ako je potrebno. Kasnije se

simulacija može nastaviti od zaustavnog mjesta korištenjem naredbe za pokretanje analize adekvatnosti proizvodnje. [17]

### **Maksimalan broj iteracija**

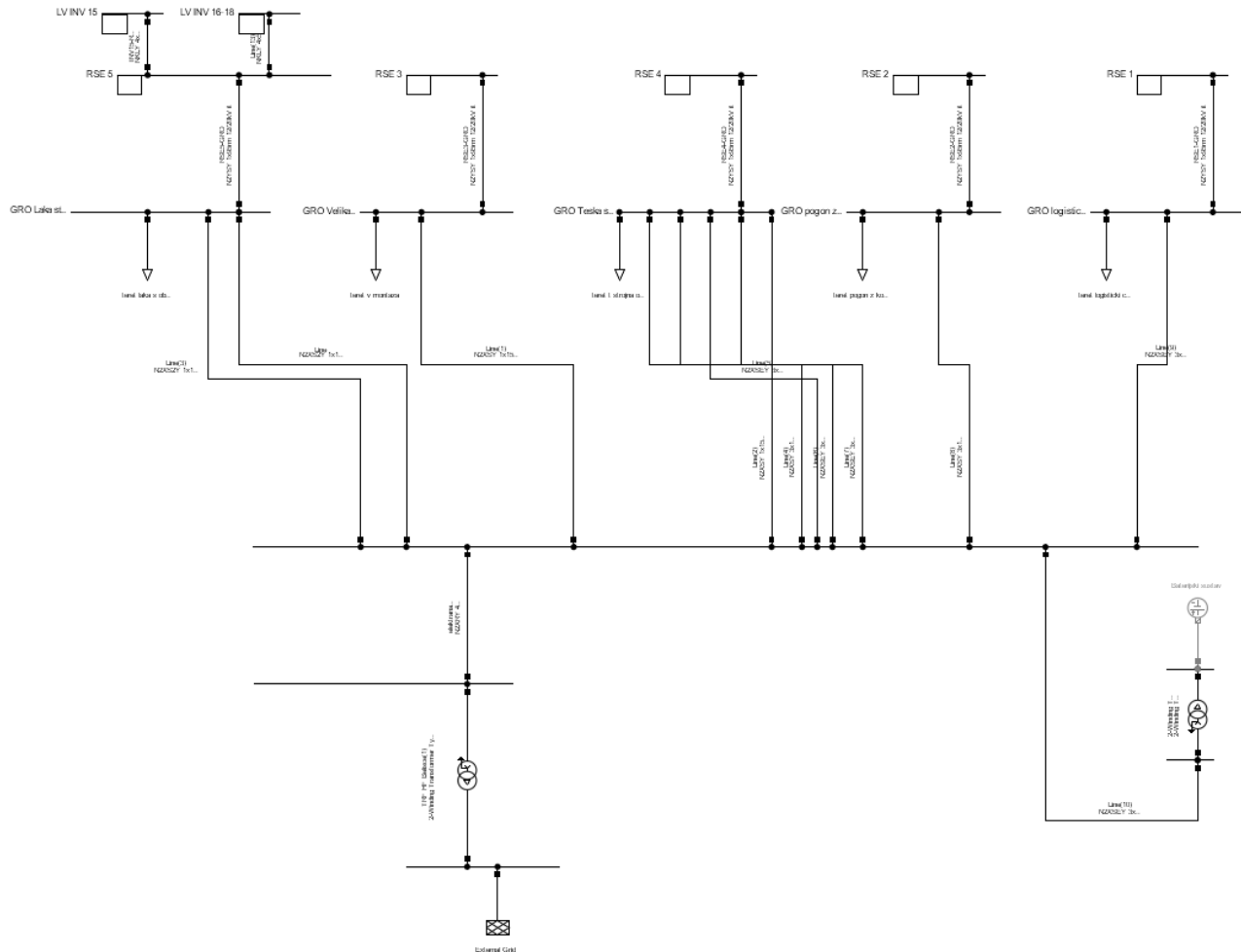
Ovo određuje broj iteracija koje će biti dovršene Monte Carlo analizom. Zadana postavka je 100.000. [17]

### **Dodatne iteracije**

Nakon što se jedna analiza dovrši, analiza adekvatnosti proizvodnje može se proširiti za određeni broj dodatnih iteracija. Posebice u vrlo velikim sustavima, korisno je pokrenuti prvu simulaciju s manjim brojem početnih iteracija, recimo 20.000, a zatim pokrenuti dodatne iteracije po potrebi koristeći ovu opciju. [17]

## 5. ANALIZA ADEKVATNOSTI U DIGSILENT POWERFACTORY PROGRAMSKOM PAKETU

Simulacija i analiza adekvatnosti provedene su na primjeru mreže koja se nalazi na području Belišća, Hrvatska. Unutar sustava se nalaze transformatori, podzemni i nadzemni vodovi, opterećenja, u daljnoj analizi obnovljivi izvori kao fotonaponski sustavi, te vjetrogeneratori.



Slika 5.1. Shematski prikaz mreže u Belišću bez integriranih OIE

U prvom scenariju provodi se analiza bez integriranih obnovljivih izvora energije. Slika 5.1. prikazuje shematski prikaz mreže u Belišću bez OIE. Provodi se analiza adekvatnosti te se u izlaznom prozoru programskog paketa pojavljuju rezultati za LOLP i EDNS. Rezultati analize dobivenih u izlaznom prozoru programskog paketa prikazani su na slici 5.2.

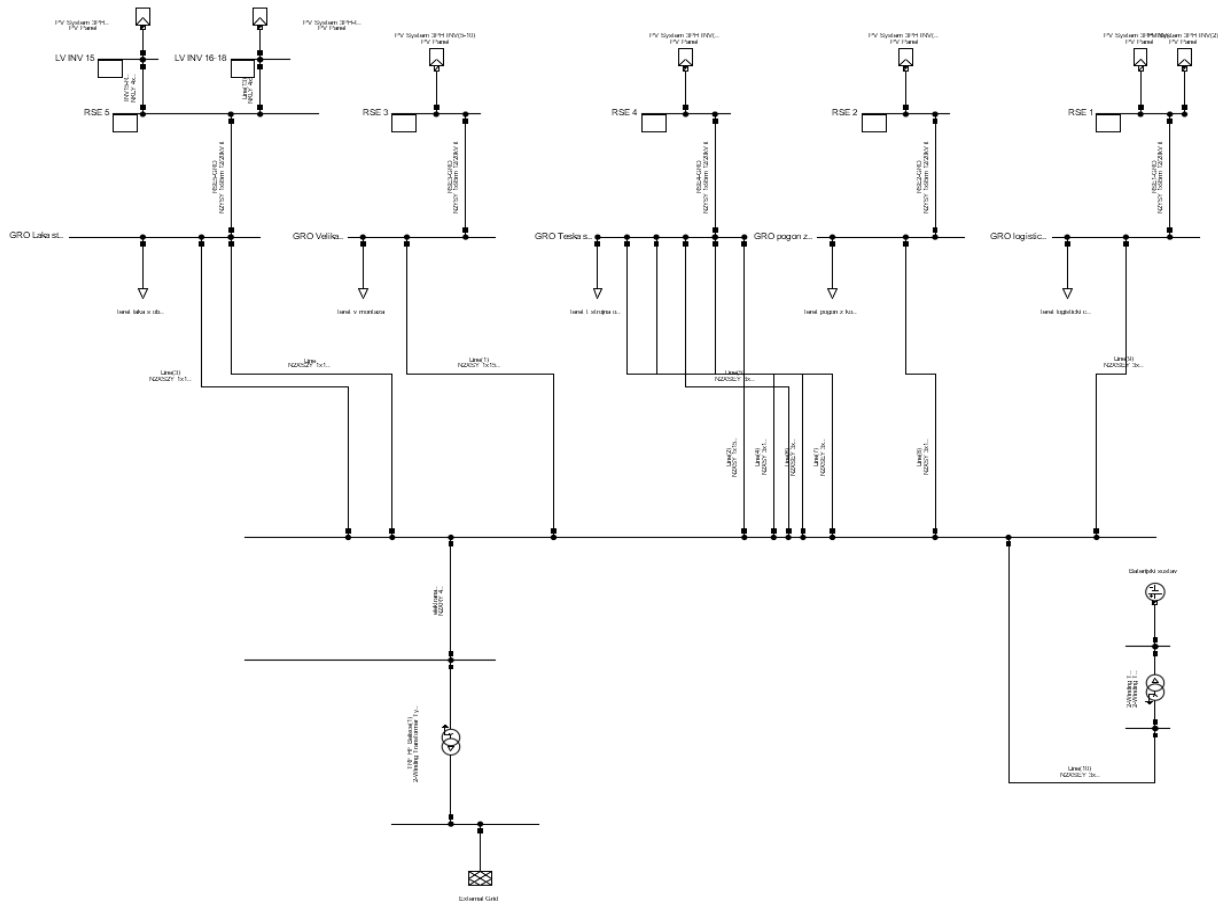
Generation Adequacy Analysis				DigSILENT PowerFactory 22.0.6.0		Project: Date:	
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>				Annex: / 1			
Maximum Number of Iterations: 100000				Current Iteration: 100000			
System Losses: 8,00 %							
Consider Load Characteristics: Yes							
Grid	Loss Of Load Probability		Confidence Levels		Expected Demand Not Supplied		
	Average (LOLP) %	Lower	Upper	Average (EDNS) kW	Lower	Upper	
System	100,00000	100,00000	100,00000	900,000	900,000	900,000	

**Slika 5.2.** Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

Prema podacima u izlaznom prozoru programskog paketa prikazuju se prosječne vrijednosti LOLP-a od 100% te EDNS koji iznosi 900kW kada obnovljivi izvori energije nisu integrirani u mreži. Pokazatelji adekvatnosti su vrlo nepovoljni budući da ovako modelirana mreža nema priključenih izvora energije, a model vanjske mreže višeg napona preko kojeg se ova mreža napaja se prema postavkama modula adekvatnosti ne koristi u proračunu.

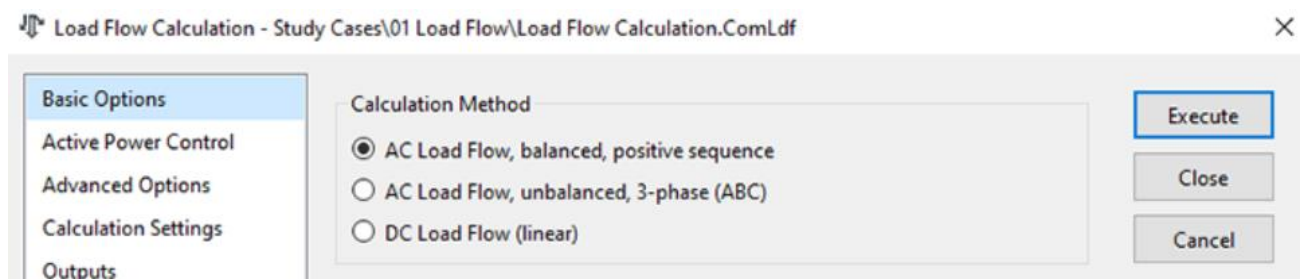
### 5.1. Analiza adekvatnosti mikromreže napajana fotonaponom

U drugom slučaju provedena je analiza adekvatnosti mikromreže sa fotonaponskim sustavom napajanja. Primjer sheme za ovaj primjer analize prikazana je kao na slici 5.3.



**Slika 5.3.** Shematski prikaz mreže u Belišću s integriranim OIE

Da bi se analiza adekvatnosti uopće izvršila, postavke tokova snaga moraju bit postavljene na izmjenični tok snaga, simetričan, direktan sustav, slika 5.4.



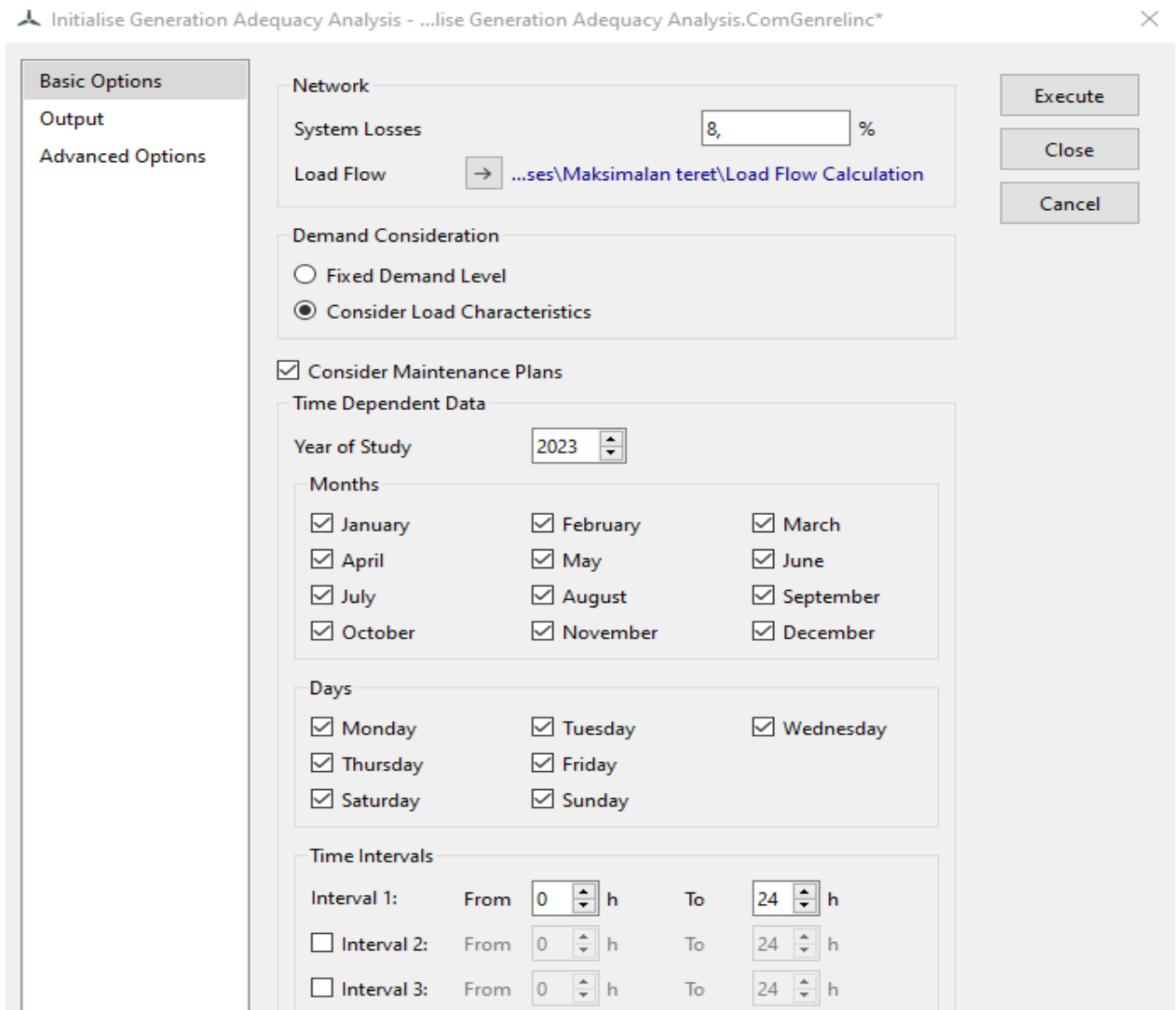
**Slika 5.4.** Postavke tokova snage

U analizi je provedeno po četiri simulacije za svaki obnovljivi izvor u kojima su se mijenjale dostupnosti i vjerojatnosti rada, odnosno kvara.

Za provedbu analize adekvatnosti prvo je potrebno inicijalizirati analizu adekvatnosti. Postavke za inicijalizaciju prikazane su na slici 5.5. Ovdje se postavljaju gubici sustava u postotcima. U ovom

slučaju je uzeto da su gubici sustava 8%. Također uključuje se i opcija razmatranja planova održavanja.

Nakon postavljenih postavki pokreće se analiza adekvatnosti opisana u četvrtom poglavlju. Pojavljuje se prozor iteracija, Slika 4.4., te se postavlja maksimalan broj iteracija. U ovoj analizi broj iteracija je postavljen na 100000 te se izvršava analiza adekvatnosti.



**Slika 5.5.** Postavke za inicijalizaciju analize adekvatnosti

Za rezultate analize adekvatnosti dobiju se različiti dijagrami poput dijagrama distribucije električne energije (kumulativnih vjerojatnosti), konvergenzijski dijagrami, te dijagrami Monte-Carlo iteracija, dok su vrijednosti LOLP-a i EDNS-a prikazani u prozoru „*Output Window*“.

### 5.1.1. Prva simulacija analize adekvatnosti

Kod analize adekvatnosti postavljene su vjerojatnosti rada i kvara, te je dodana stanja „derated“ odnosno smanjenog kapaciteta i isključenja. Kako je već spomenuto ranije, zbroj svih vjerojatnosti mora biti 100%. Za prvu analizu vjerojatnost pojave stanja rada je postavljena na 80%, kvara na 15%, a ostatak na stanje smanjenog kapaciteta, prikazano na slici 5.6.

Stochastic Model for Generation - ...rary\REF 542+\REF 542+\TCCs\Stochastic Model for Generation.StoGen\*

Name: Stochastic Model for Generation

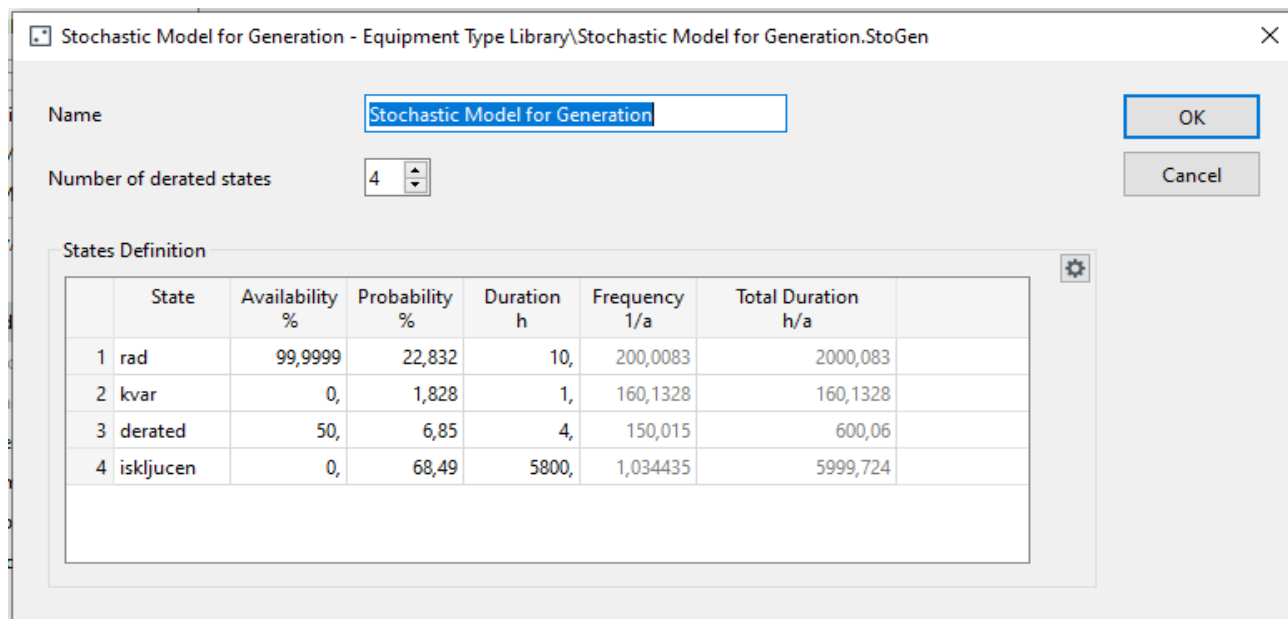
Number of derated states: 3

States Definition

	State	Availability %	Probability %	Duration h	Frequency 1/a	Total Duration h/a	
1	rad	100,	80,	10,	700,8	7008,	
▶ 2	kvar	0,	15,	7,5	175,2	1314,	
3	derated	50,	5,	10,	43,8	438,	

**Slika 5.6.** Stohastički model za proizvodnju

No, ukoliko se prihvati činjenica da tijekom godine dana na području grada Belišća (Osijeka) nema više od 2000 sunčanih sati, 30% od tog vremena (600 sati) se može pretpostaviti da izlazna snaga elektrane nije 100% nazivne snage nego primjerice 50%, a trajanje mogućeg kvara invertera 10% od ukupnog trajanja insolacije, dakle 200 sati; ostatak vremena tijekom godine je stanje neraspoloživosti fotonaponskog sustava zbog nepostojanja insolacije (noći), stohastički model proizvodnje fotonaponskog sustava poprima oblik kao na slici 5.7.. [19]



Slika 5.7. Stohastički model za proizvodnju

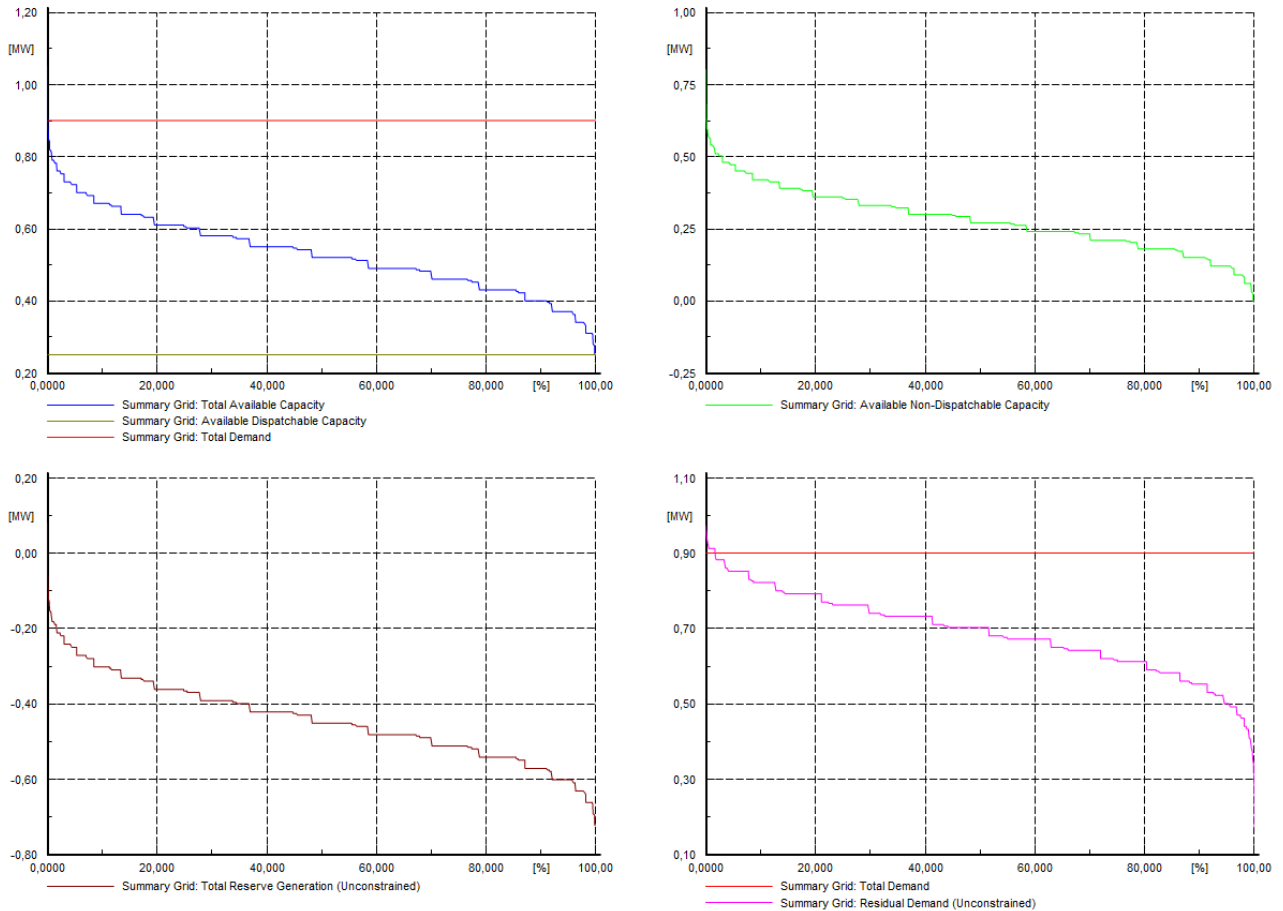
Nakon obavljenih iteracija dobili smo rezultate analize u „Output Window“, kao i navedene dijagrame. Prikaz stanja u izlaznom prozoru prikazani su na slici 5.8..

			DIGSILENT PowerFactory 22.0.6.0	Project: Date:	
Generation Adequacy Analysis					
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>			Annex: / 1		
Maximum Number of Iterations:		100000	Current Iteration: 100000		
System Losses:		8,00 %			
Consider Load Characteristics:		Yes			
Grid	Loss Of Load Probability			Expected Demand Not Supplied	
	Average (LOLP) %	Confidence Levels Lower Upper		Average (EDNS) kW	Confidence Levels Lower Upper
System	99,99500	99,99132	99,99868	410,343	409,833 410,853

Slika 5.8. Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

Kod dobivenih rezultata analize može se vidjeti prosječnu vrijednost vjerojatnosti deficita snage proizvodnje (LOLP) koja za ovu analizu iznosi 99,995% dok iznos očekivane potražnje koja nije isporučena (EDNS) iznosi u prosjeku 410,343kW. Što je vrijednost LOLP-a manja, sustav je pouzdaniji, te je manja vjerojatnost da će doći do prekida opskrbe električnom energijom.





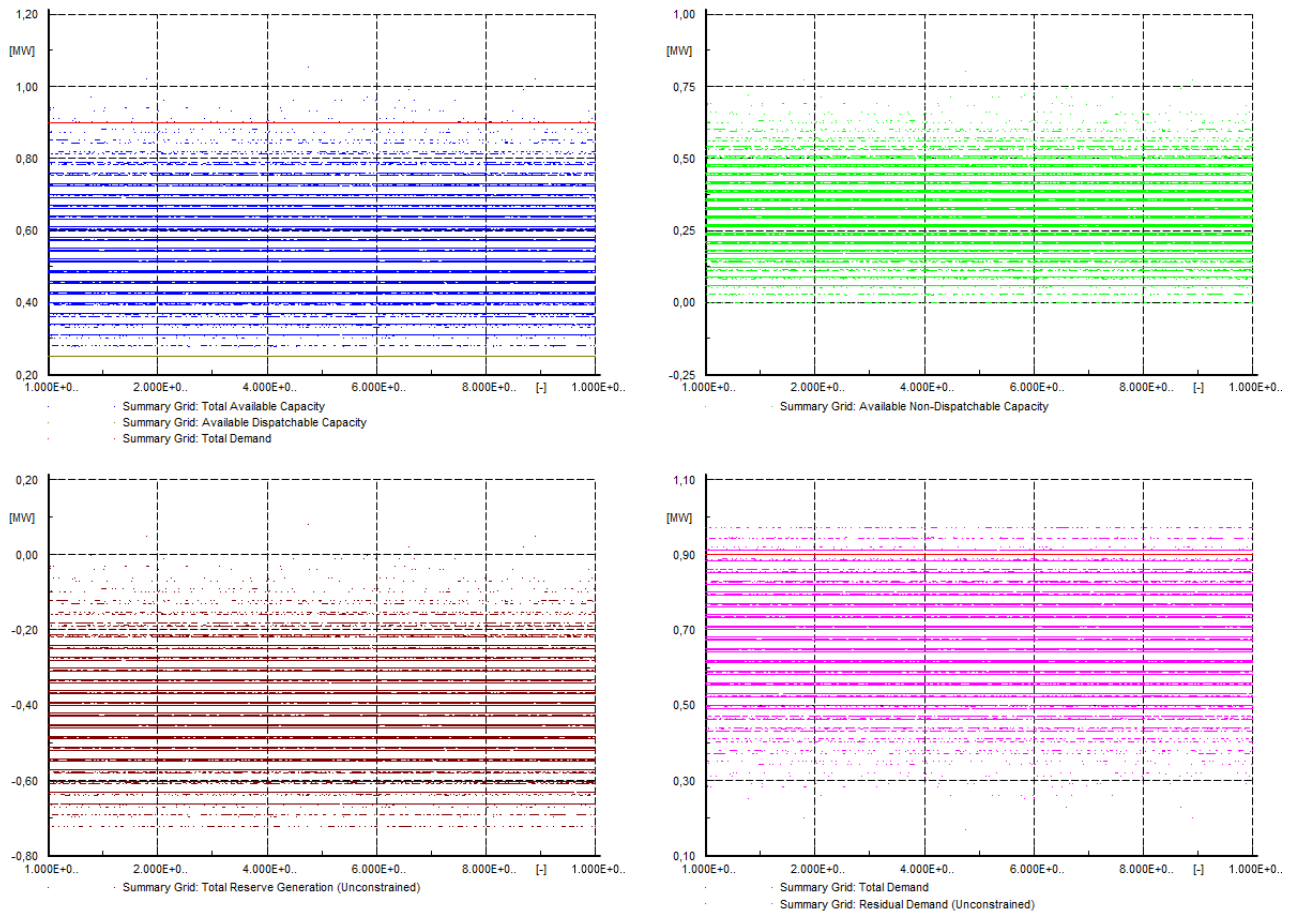
**Slika 5.9.** Dijagrami distribucije djelatne snage

Na slici 5.9. prikazani su dijagrami distribucije djelatne snage. Na prvom (gore lijevo) dijagramu prikazani su ukupni raspoloživi kapacitet u MW koji je prikazan plavom bojom, raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti u MW prikazana zelenom bojom, te ukupna potražnja u MW prikazana crvenom bojom. Drugi dijagram (gore desno) prikazuje raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW. Treći dijagram (lijevo dolje) prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) i četvrti dijagram (desno dolje) pokazuje opet ukupnu potražnju prikazano crvenom bojom i preostalu (neograničenu) potražnju prikazano ružičastom bojom. Kod sva četiri dijagrama x-os prikazuje vjerojatnost u postocima.

LOLP indeks može se dobiti izravno analizom distribucijskih dijagrama ako je potražnja konstantna. LOLP se može čitati izravno na sjecištu krivulje ukupne proizvodnje i krivulje ukupne potražnje. Kada je potražnja varijabilna, tada se LOLP indeks ne može izvesti iz gornjeg dijagrama. Nema točke sjecišta iako je izračunati LOLP indeks u ovom slučaju 99,995%. U takvim situacijama, LOLP indeks

se može izvesti iz distribucijskog dijagrama ukupne rezervne proizvodnje. Sjecište ove krivulje s x-osi daje LOLP indeks.

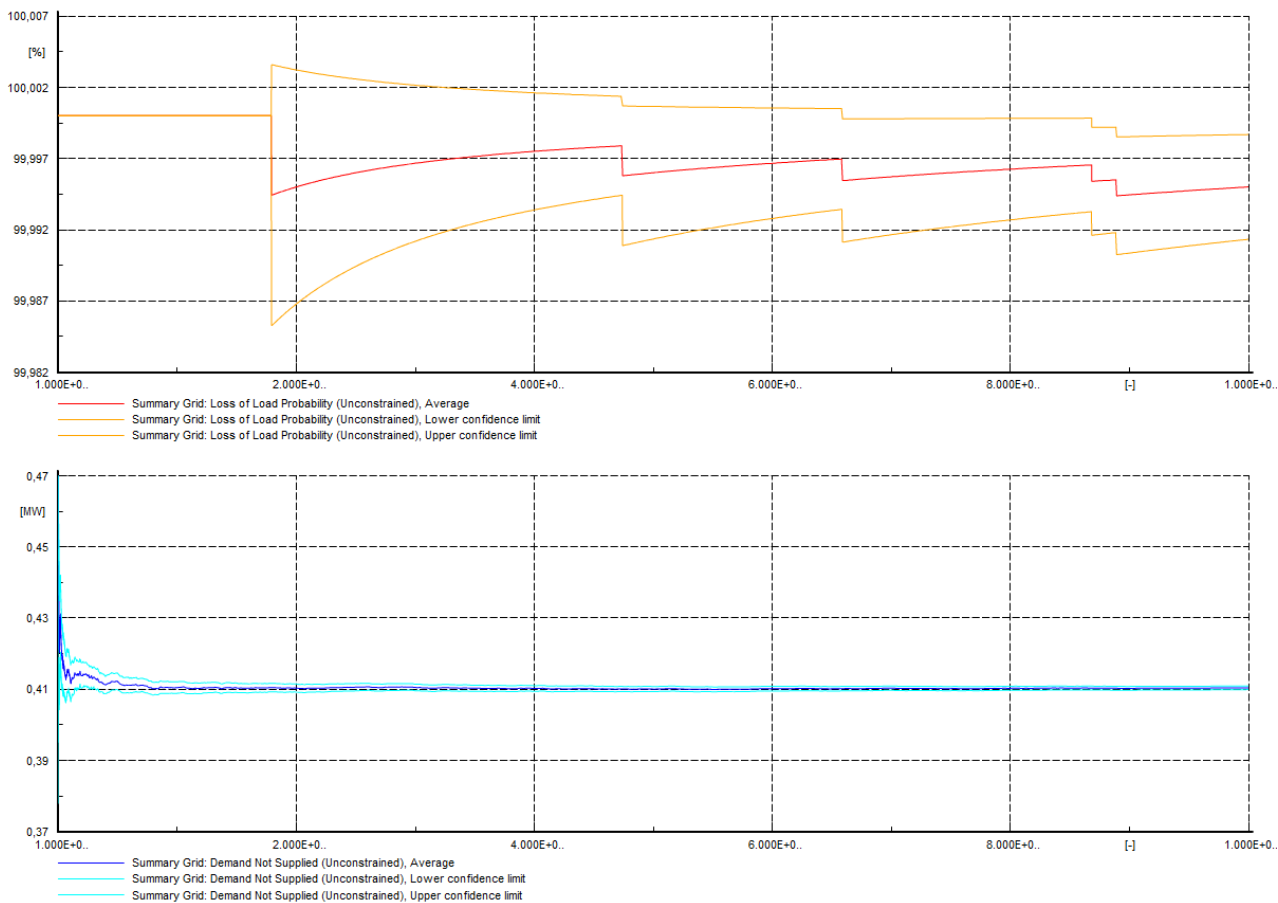
Kao još jedan od rezultata analize adekvatnosti, tu su i dijagrami Monte-Carlo iteracija. Ovi dijagrami se generiraju ako je opcija „MC Draws“ omogućena na izlaznoj stranici naredbe za inicijalizaciju, ili alternativno, pritiskom na opciju „MC Draws“. Ova opcija, zadana, crta četiri dijagrama kako je prikazano na slici 5.10. Svaka točka podataka na dijagramima predstavlja pojedinu Monte Carlo simulaciju.



Slika 5.10. Dijagrami Monte Carlo iteracija

Prvi dijagram (gore lijevo) pruža pregled ukupne raspoložive snage u MW označene plavom bojom na dijagramu, isto tako i raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti označena zelenom bojom te ukupnu potražnju koja je na dijagramu prikazana crvenom bojom. Vidi se kako je ukupna potražnja u MW iznad raspoloživog otpremnog kapaciteta dok iteracije ukupne raspoložive snage variraju oko ukupne potražnje, ali pretežito ispod nje. Drugi dijagram (gore desno) fokusira se na raspoloživu

djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW, dok treći dijagram (dolje lijevo) prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) izraženu u MW. Četvrti dijagram (dolje desno) detaljno prikazuje ukupnu potražnju u MW opet označene crvenom bojom, zajedno s preostalom potražnjom koja je prikazana ružičastom bojom. Preostala potražnja manja je od ukupne potražnje.



**Slika 5.11.** *Dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS*

U ovoj analizi također imamo i dijagrame konvergencije za LOLP i EDNS. Kako broj iteracija postaje velik, LOLP indeks će konvergirati prema svojoj konačnoj vrijednosti, isto vrijedi i za EDNS. Dijagrami konvergencije su načini vizualizacije ovog procesa. Primjer dijagrama konvergencije prikazan je na slici 5.11. Gornji dijagram prikazuje konvergenciju za LOLP, crvenom bojom prikazana je prosječna vrijednost LOLP-a, dok su žutom bojom prikazane gornja i donja granica pouzdanosti LOLP-a. Na donjem dijagramu prikazana je konvergencija za EDNS, tamno plavom bojom prikazana je prosječna vrijednost EDNS-a, dok su svjetlo plavom bojom prikazane gornje i doje granice pouzdanosti EDNS-a.

### 5.1.2. Druga simulacija analize adekvatnosti

U drugoj simulaciji analize adekvatnosti promijenjene su vjerojatnosti rada i kvara, kao i dodanog stanja smanjenja kapaciteta. Kako zbroj vjerojatnosti opet mora biti jednak 100%, u ovom slučaju vjerojatnost za rad postavljena je na 22,66%, za kvar na 2%, a stanje smanjenog kapaciteta na 6,85% i stanje isključenja na 68,49% kao u prošloj analizi, kako je prikazano na slici 5.12.

	State	Availability %	Probability %	Duration h	Frequency 1/a	Total Duration h/a
1	rad	99,9999	22,66	10,	198,5016	1985,016
2	kvar	0,	2,	1,094092	160,1328	175,2
3	derated	50,	6,85	4,	150,015	600,06
4	isključen	0,	68,49	5800,001	1,034435	5999,724

**Slika 5.12.** Stohastički model za proizvodnju električne energije

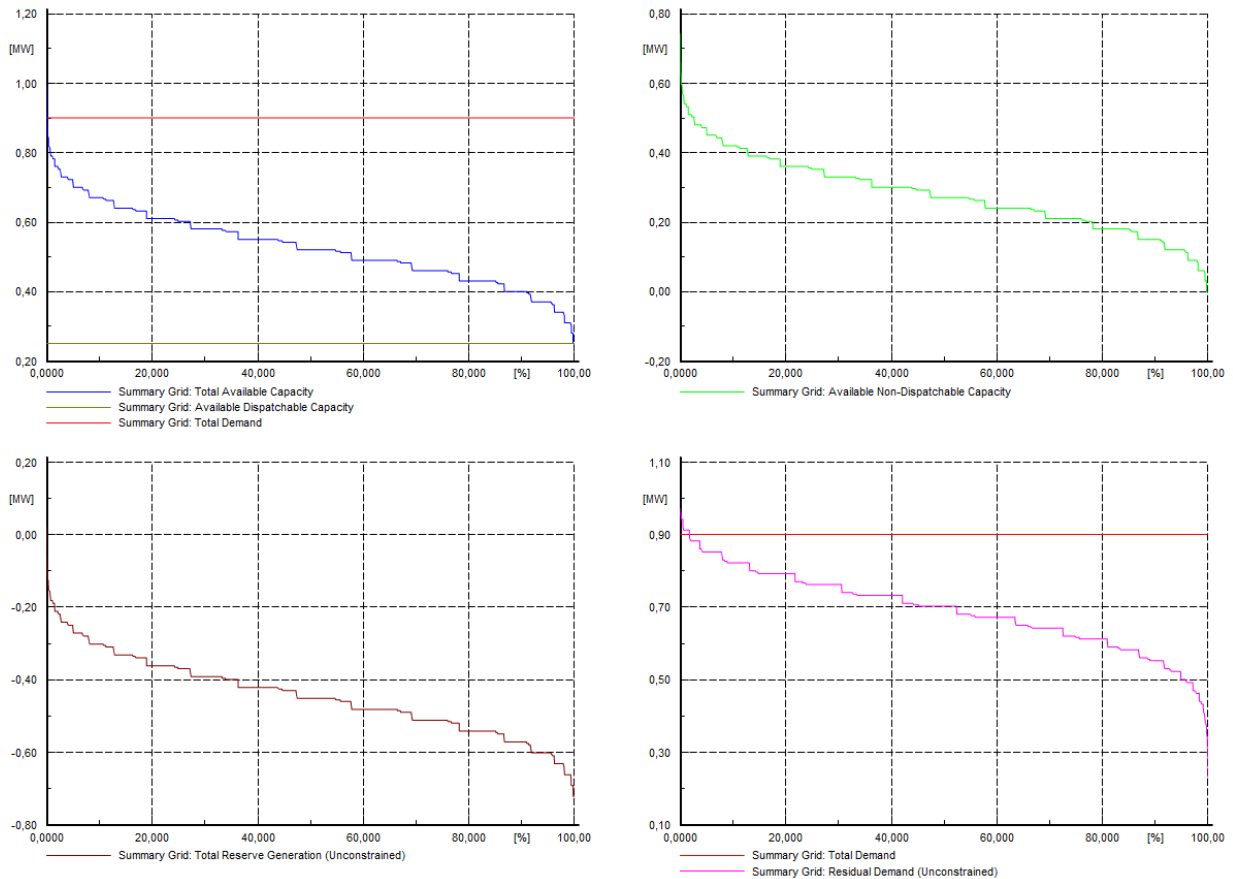
Sa promjenom vjerojatnosti može se primijetiti kako su se i trajanja za određeno stanje promijenili, kao i vrijeme potrebno za rješavanje određenog kvara. Također se i broj incidenata koji uzrokuju navedeno stanje godišnje, odnosno frekvencija [1/g], promijenila kao i ukupno trajanje određenog stanja godišnje.

Nakon obavljenih iteracija, rezultati analize opet su prikazani u „*Output Window*“ programskog paketa, kao i dijagrami iz prijašnje analize. Prikaz stanja u izlaznom prozoru prikazani su na slici 5.11.

				DigSILENT PowerFactory 22.0.6.0	Project: Date:	
Generation Adequacy Analysis						
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>				Annex: / 1		
Maximum Number of Iterations: 100000				Current Iteration: 100000		
System Losses: 8,00 %						
Consider Load Characteristics: Yes						
Grid	Loss Of Load Probability			Expected Demand Not Supplied		
	Average (LOLP) %	Confidence Levels Lower	Upper	Average (EDNS) kW	Confidence Levels Lower	Upper
System	99,99600	99,99271	99,99929	412,430	411,923	412,937

**Slika 5.13.** Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

U ovom slučaju analize adekvatnosti ponovo se vidi prosječna vrijednost vjerojatnosti deficita snage proizvodnje, odnosno LOLP-a, koja u ovoj analizi iznosi 99,996%, Prosječna vrijednost očekivane neisporučene potražnje, odnosno EDNS-a, iznosi 412,430kW. Uz manju vjerojatnost rada i veću vjerojatnost kvara, vidi se da su i prosječne vrijednosti LOLP-a i EDNS-a porasle u odnosu na prošli slučaj.

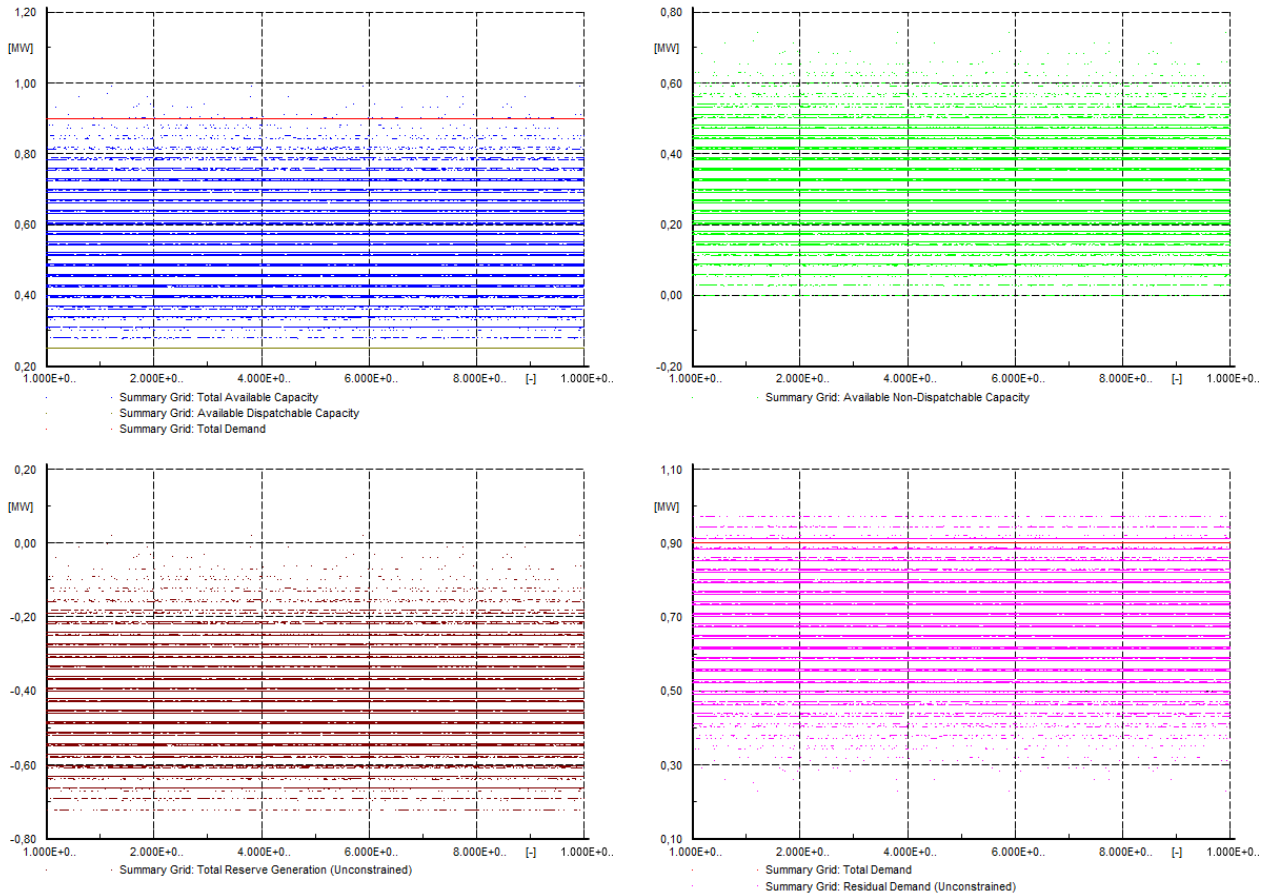


**Slika 5.14.** Dijagrami distribucije djelatne snage

Na slici 5.14. prikazani su dijagrami distribucije djelatne snage za drugu simulaciju analize. Kao u prošloj analizi dijagrami su postavljeni i označeni isto. Prvi dijagram pokazuje ukupni raspoloživi kapacitet u MW koji je prikazan plavom bojom, raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti u MW prikazan zelenom bojom, te ukupna potražnja u MW prikazana crvenom bojom. Drugi dijagram prikazuje raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW. Treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) i četvrti dijagram pokazuje opet ukupnu potražnju prikazanu crvenom bojom i preostalu (neograničenu) potražnju prikazanu ružičastom bojom. Za sva četiri dijagrama x-os opet prikazuje vjerojatnost u postotcima.

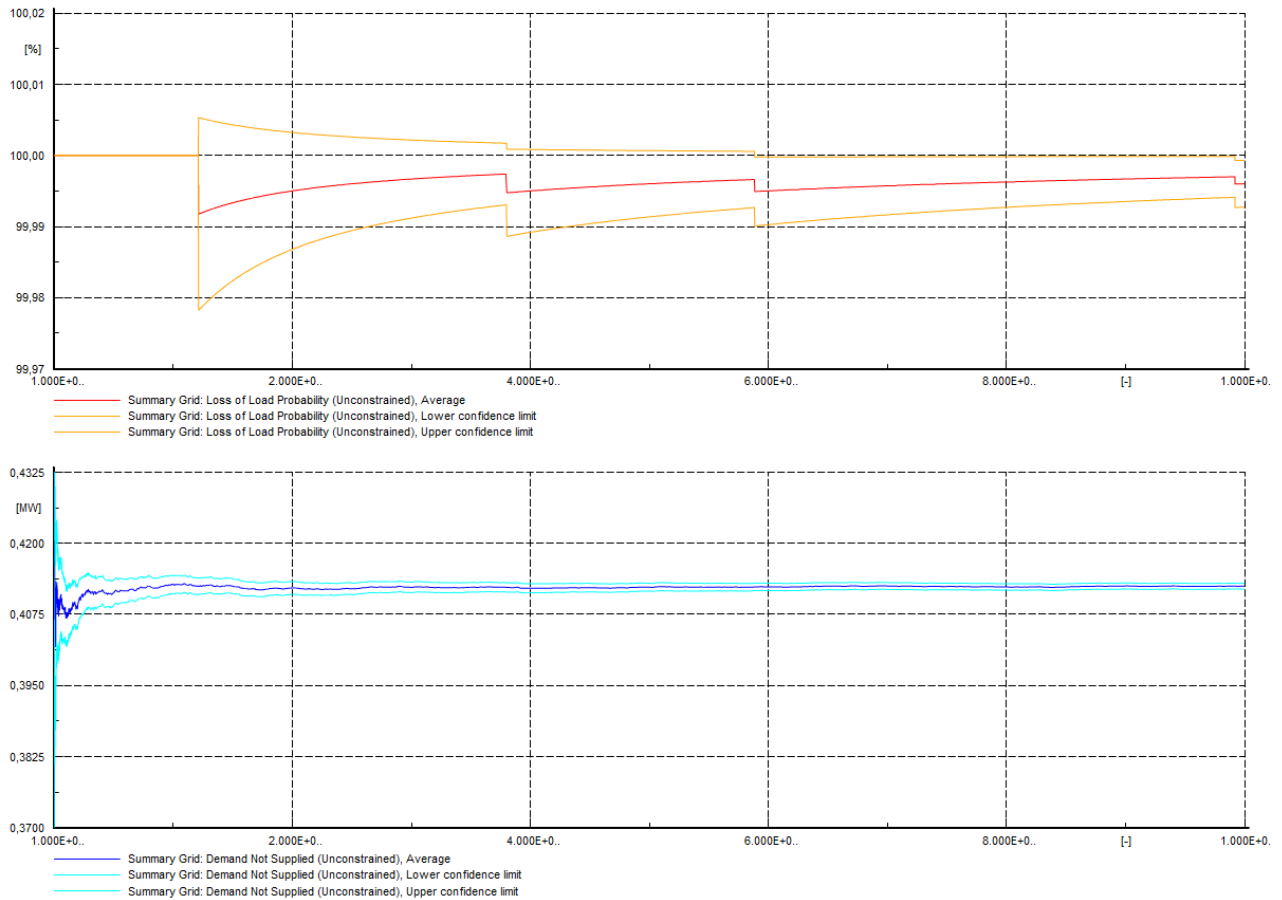
Kod sva četiri dijagrama, u odnosu na prošlu analizu, može se primijetiti kako su dijagrami nijansu niži, odnosno vrijednosti su im manje. To je upravo zbog te promjene vjerojatnosti kod rada i kvara, odnosno smanjenog kapaciteta vjerojatnosti rada i povećanja vjerojatnosti kvara. To nam pokazuje i vrijednost LOLP-a koja je porasla, prikazana u izlaznom prozoru programskog paketa, ali i viđena iz distribucijskog dijagrama ukupne rezervne proizvodnje.

Kao u prošlom slučaju, tu su i dijagrami Monte-Carlo iteracija, generirani na isti način. Ponovo su dobivena četiri dijagrama, prikazana na slici 5.15., gdje svaka točka na dijagramima predstavlja pojedinu Monte Carlo iteraciju.



**Slika 5.15.** *Dijagrami Monte Carlo iteracija*

Poput dijagrama Monte Carlo iteracija u prošlom slučaju, i ovi dijagrami imaju isti redoslijed. Prvi dijagram pruža pregled ukupne raspoložive snage u MW označene plavom bojom na dijagramu. U odnosu na prošlu analizu, vidljivo je kako postoji za nijansu veći raspon ukupne raspoložive snage. Raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti označena zelenom bojom ima jednaku vrijednost kao i u prošlom slučaju kao i ukupna potražnja koja je na dijagramu prikazana crvenom bojom. Vidi se kako je ukupna potražnja u MW iznad raspoloživog otpremnog kapaciteta dok iteracije ukupne raspoložive snage variraju oko ukupne potražnje, ali pretežito iznad nje. Drugi dijagram fokusira se na raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW koji u ovom slučaju ima veći raspon u odnosu na prvu analizu. Treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) izraženu u MW koji i u ovome slučaju ima veći raspon iteracija. Četvrti dijagram detaljno prikazuje ukupnu potražnju u MW opet označene crvenom bojom, koja je jednaka kao i u prošloj analizi, zajedno s preostalom potražnjom prikazanom ružičastom bojom, kojem iteracije ponovo prelaze 0,9MW, kao i u prošlom slučaju.



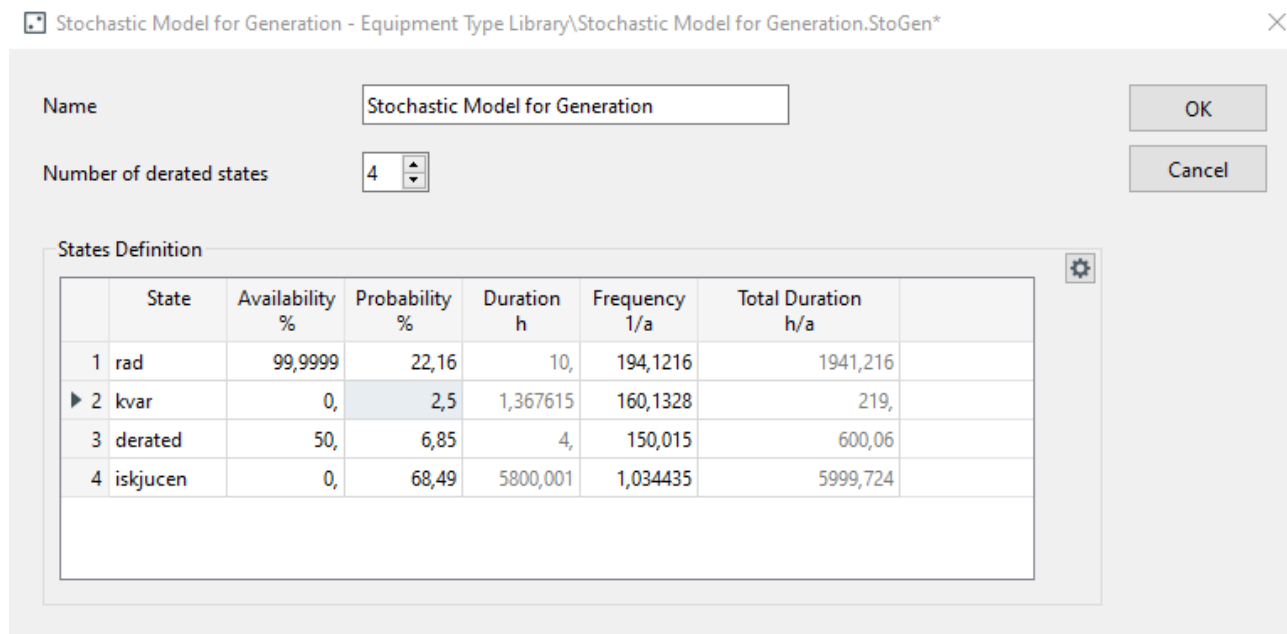
**Slika 5.16.** *Dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS*

Također, tu su dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS prikazane na slici 5.16. Kako broj iteracija raste, tako i LOLP i EDNS konvergiraju prema svojoj konačnoj vrijednosti. Gornji dijagram prikazuje konvergenciju za LOLP, crvenom bojom prikazana je prosječna vrijednost LOLP-a, dok su žutom bojom prikazane gornja i donja granica pouzdanosti LOLP-a. Na donjem dijagramu prikazana je konvergencija za EDNS, tamno plavom bojom prikazana je prosječna vrijednost EDNS-a, dok su svjetlo plavom bojom prikazane gornje i doje granice pouzdanosti EDNS-a. Na oba dijagrama vidljivo je povećanje indeksa LOLP-a i EDNS-a u odnosu na proslu analizu.



### 5.1.3. Treća simulacija analize adekvatnosti

Za treću simulaciju analize adekvatnosti, vjerojatnosti rada i kvara, kao i dodanog stanja smanjenog kapaciteta, prikazane su na slici 5.17.



	State	Availability %	Probability %	Duration h	Frequency 1/a	Total Duration h/a
1	rad	99,9999	22,16	10,	194,1216	1941,216
▶ 2	kvar	0,	2,5	1,367615	160,1328	219,
3	derated	50,	6,85	4,	150,015	600,06
4	isključen	0,	68,49	5800,001	1,034435	5999,724

Slika 5.17. Stohastički model za proizvodnju električne energije

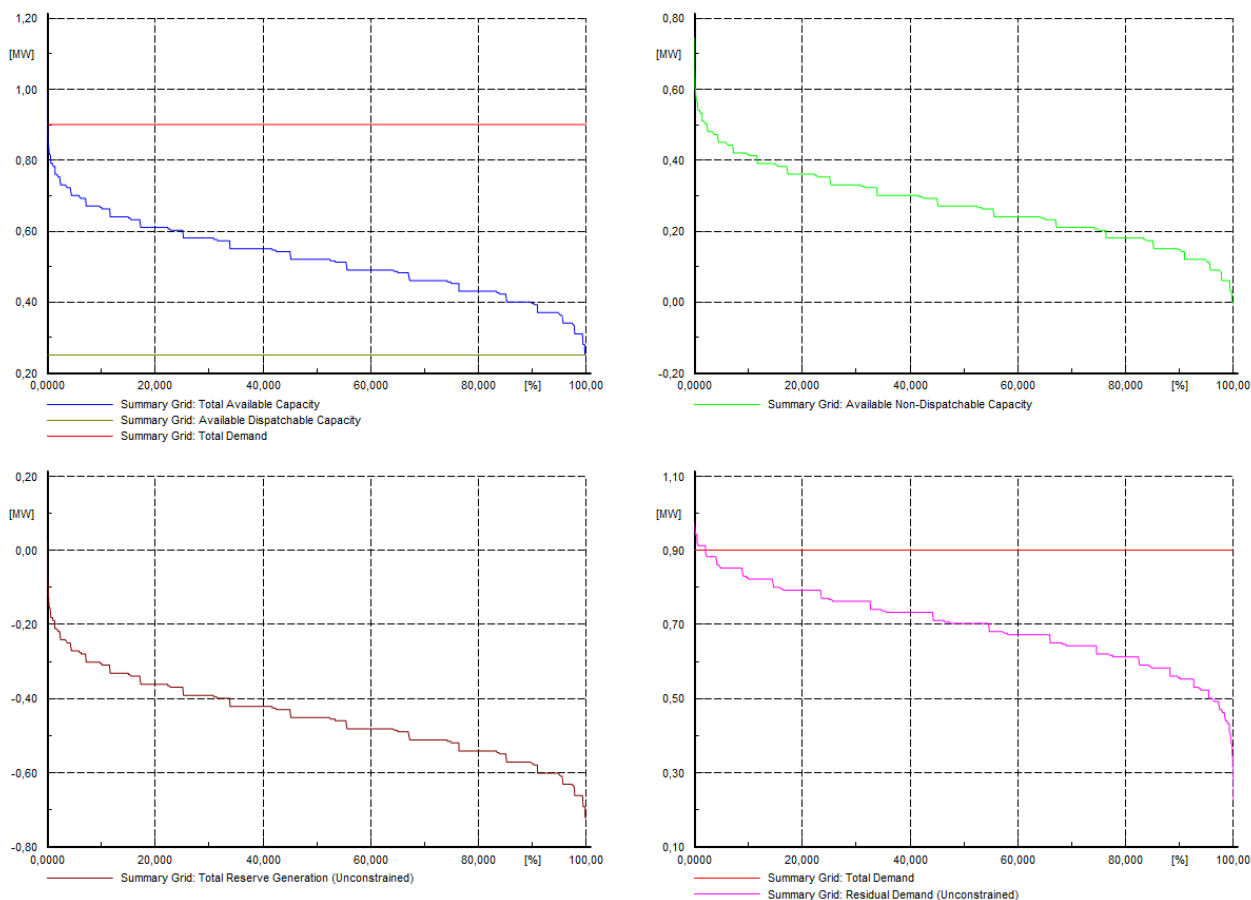
Zbroj vjerojatnosti svih stanja iznosi 100%, kako i mora biti. Sa promjenom vjerojatnosti može se primijetiti kako se i trajanje za stanje kvara promijenilo, odnosno vrijeme potrebno za rješavanje određenog kvara, u odnosu na prošli slučaj. Također se i broj incidenata koji uzrokuju navedeno stanje godišnje, odnosno frekvencija [1/g], kod stanja rada smanjila. Ukupno trajanje određenog stanja godišnje, za stanje rada i stanje kvara, znatno se promijenilo u odnosu na prošla dva slučaja.

Pokretanje simulacije analize adekvatnosti ponovo daje rezultate prikazane u izlaznom prozoru programskog paketa, kao i do sada navedene dijagrame. Rezultati dobiveni u izlaznom prozoru prikazani su na slici 5.18.

				DIGSILENT PowerFactory 22.0.6.0	Project: Date:	
Generation Adequacy Analysis						
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>					Annex: / 1	
Maximum Number of Iterations: 100000				Current Iteration: 100000		
System Losses: 8,00 %						
Consider Load Characteristics: Yes						
Grid	Loss Of Load Probability			Expected Demand Not Supplied		
	Average (LOLP) %	Confidence Levels Lower	Upper	Average (EDNS) kW	Confidence Levels Lower	Upper
System	99,99900	99,99735	100,00064	418,212	417,707	418,717

**Slika 5.18.** Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

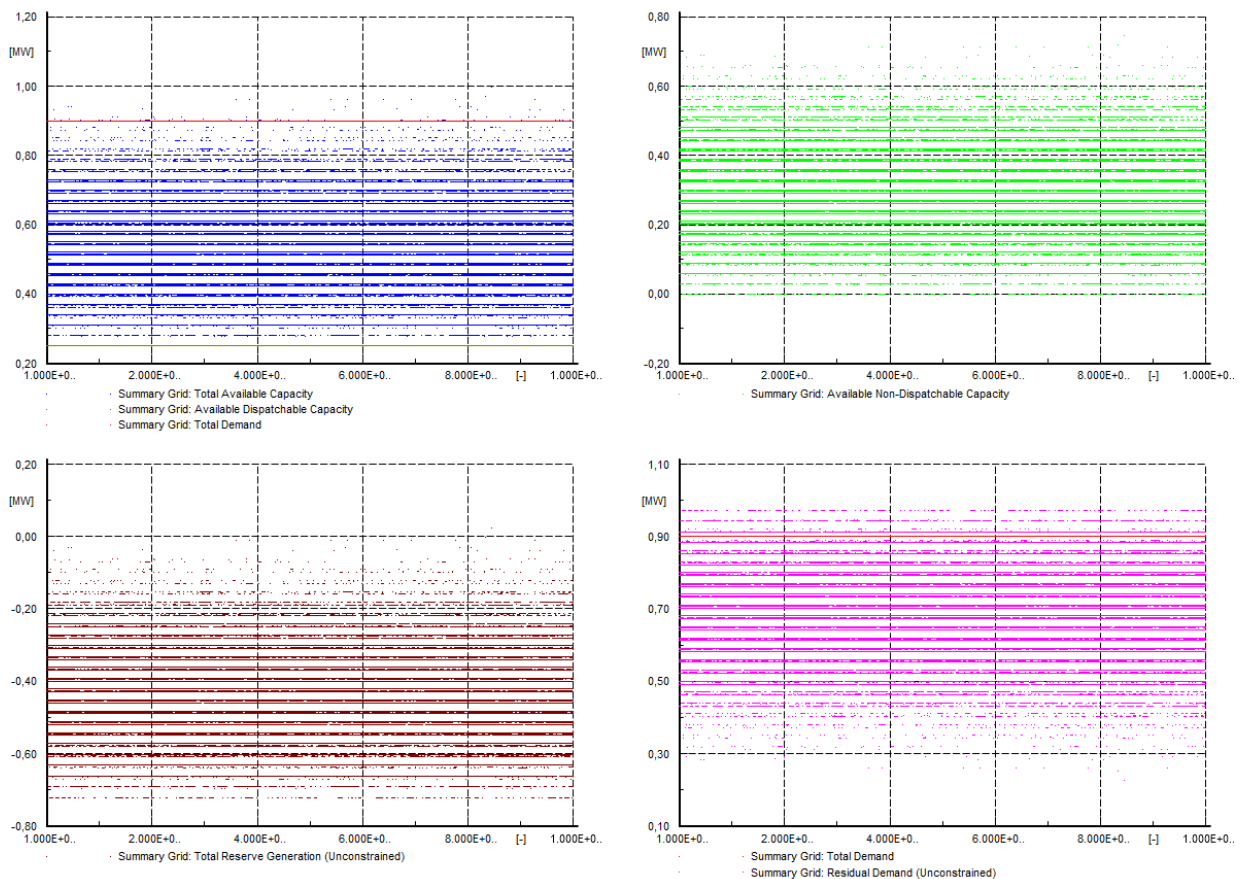
Kod ovog slučaja vidljiv je veliki porast prosječne vjerojatnosti deficita snage proizvodnje, odnosno LOLP-a, koji u ovoj analizi iznosi 99,999%. Prosječna vrijednost očekivane neisporučene potražnje, odnosno EDNS-a, također osjeti porast, te sada iznosi 418,212kW. Uz još veće smanjenje vjerojatnosti rada i povećanje vjerojatnosti kvara dolazi do još većeg porasta LOLP-a i EDNS-a.



**Slika 5.19.** Dijagrami distribucije djelatne snage

Na slici 5.19. prikazani su dijagrami distribucije djelatne snage treće simulacije analize. Kao u prošlim analizama dijagrami su postavljeni i označeni isto. Prvi dijagram pokazuje ukupni raspoloživi kapacitet u MW koji je prikazan plavom bojom, u ovom slučaju niži od prijašnjih, odnosno manjih vrijednosti. Raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti u MW prikazana zelenom bojom, te ukupna potražnja u MW prikazana crvenom bojom, jednaki su kao u prethodnim analizama. Drugi dijagram prikazuje raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW nešto manji od prethodnih dijagrama. Treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) otprilike 0,05MW manju od prošle analize i četvrti dijagram pokazuje opet ukupnu potražnju prikazanu crvenom bojom, jednaku kao u prijašnjim primjerima i preostalu (neograničenu) potražnju prikazanu ružičastom bojom također manjih vrijednosti u usporedbi sa prethodnim analizama. Za sva četiri dijagrama x-os opet prikazuje vjerojatnost u postotcima

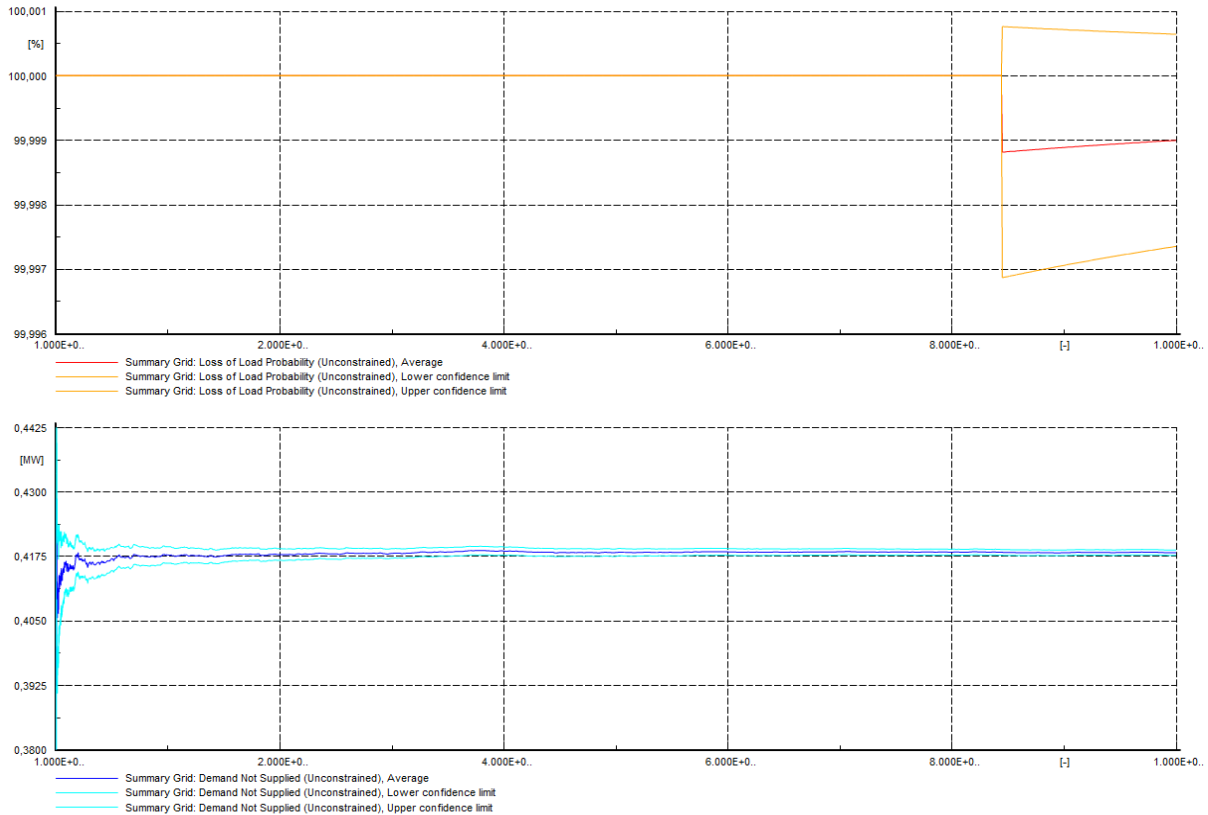
Dijagrami Monte Carlo iteracija, dobiveni na isti način, ponovo prikazuju četiri dijagrama, prikazana na slici 5.20., u kojoj svaka točka dijagrama predstavlja jednu Monte Carlo iteraciju.



Slika 5.20. Dijagrami Monte Carlo iteracija

Kao dosadašnji dijagrami Monte Carlo iteracija, i ovi dijagrami imaju isti redoslijed. Prvi dijagram pruža pregled ukupne raspoložive snage u MW označene plavom bojom na dijagramu. U odnosu na prošlu analizu, vidljivo je kako raspon ukupne raspoložive snage, u puno manje iteracija prelazi 0,80MW, te se rezultati iteracije pojavljuju puno više puta ispod vrijednosti od 0,8MW. Raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti označena zelenom bojom ima jednaku vrijednost kao i u prošlom slučaju kao i ukupna potražnja koja je na dijagramu prikazana crvenom bojom. Vidi se kako je ukupna potražnja u MW iznad raspoloživog otpremnog kapaciteta dok iteracije ukupne raspoložive snage variraju oko ukupne potražnje. Drugi dijagram fokusira se na raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW koji u ovom slučaju opet ima veći raspon u odnosu na prvu analizu, ali ne puno veći od raspona u drugoj analizi. Treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) izraženu u MW koji i u ovome slučaju ima veći raspon iteracija u odnosu na prethodne analize. Četvrti dijagram detaljno prikazuje ukupnu potražnju u MW opet označene crvenom bojom, koja je jednaka kao i u prošloj analizi, zajedno s preostalom potražnjom prikazanom ružičastom bojom, kojem iteracije dolaze i do vrijednosti od 0,9MW, pa i prelaze ih, što je također ostvareno i u prošlim analizama.

Dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS, prikazani na slici 5.21., sa porastom iteracija konvergiraju prema svojoj konačnoj vrijednosti. Gornji dijagram prikazuje konvergenciju za LOLP, crvenom bojom prikazana je prosječna vrijednost LOLP-a, dok su žutom bojom prikazane gornja i donja granica pouzdanosti LOLP-a. Kako vrijednost prosječnog LOLP-a, dobivenog u izlaznom prozoru programskog paketa, iznosi 99,999%, na dijagramu se jasno vidi kako konvergira oko te vrijednosti. Isto tako i dijagram konvergencije za EDNS, kojem je prosječna vrijednost iznosila 418,212kW, vidljivo konvergira oko te vrijednosti na donjem dijagramu konvergencija. Tamno plavom bojom prikazana je prosječna vrijednost EDNS-a, dok su svjetlo plavom bojom prikazane gornje i doje granice pouzdanosti EDNS-a.



Slika 5.21. Dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS

#### 5.1.4. Četvrta simulacija analize adekvatnosti

Kod četvrte analize adekvatnosti, vjerojatnosti rada i kvara kao i dodanog stanja smanjenog kapaciteta postavljene kako je prikazano na slici 5.22..

Stochastic Model for Generation - Equipment Type Library\Stochastic Model for Generation.StoGen\*

Name: Stochastic Model for Generation

Number of derated states: 4

States Definition

	State	Availability %	Probability %	Duration h	Frequency 1/a	Total Duration h/a
1	rad	99,9999	21,71	10,	190,1796	1901,796
2	kvar	0,	2,95	1,613786	160,1328	258,42
3	derated	50,	6,85	4,	150,015	600,06
4	iskjucen	0,	68,49	5800,001	1,034435	5999,724

Slika 5.22. Stohastički model za proizvodnju električne energije

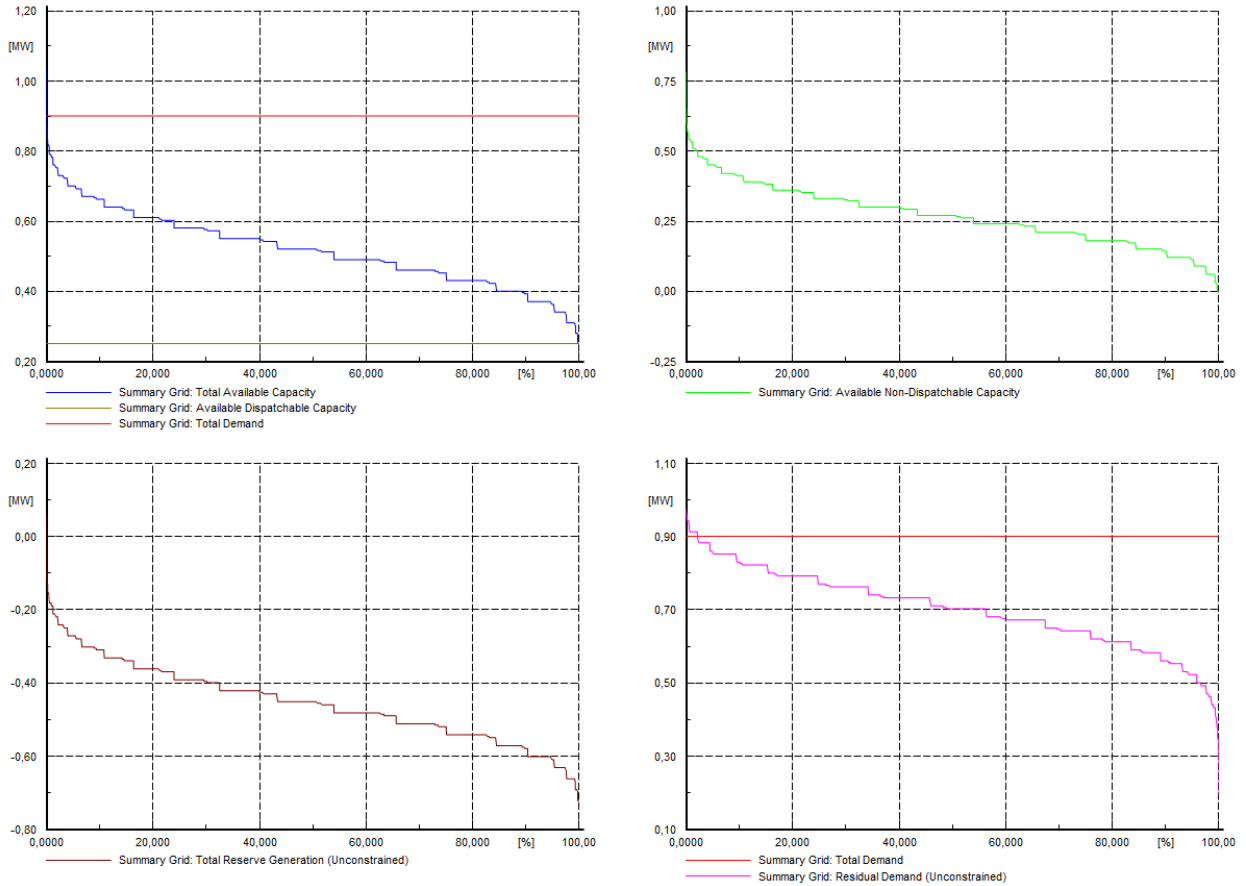
Promjenom dostupnosti, u usporedbi sa prvom analizom istih vjerojatnosti, može se primijetiti kako su i trajanja za određeno stanje, kao i vrijeme potrebno za rješavanje određenog kvara ostali ne promijenjeni. Također je i broj incidenata koji uzrokuju navedeno stanje godišnje, odnosno frekvencija [1/g], ostala ista kao i ukupno trajanje određenog stanja godišnje.

Nakon postavljenog stohastičkog modela, poreće se naredba za analizu adekvatnosti proizvodnje. Broj iteracija, kao i do sada, postavljen je na 100000 iteracija. U izlaznom prozoru programskog paketa pojavljuju se rezultati analize adekvatnosti prikazani na slici 5.23.

			DIGSILENT PowerFactory 22.0.6.0	Project: Date:		
Generation Adequacy Analysis						
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>			Annex: / 1			
Maximum Number of Iterations: 100000			Current Iteration: 100000			
System Losses: 8,00 %						
Consider Load Characteristics: Yes						
Grid	Loss Of Load Probability			Expected Demand Not Supplied		
	Average (LOLP) %	Confidence Levels		Average (EDNS) kW	Confidence Levels	
		Lower	Upper		Lower	Upper
System	99,99700	99,99415	99,99985	422,088	421,586	422,590

**Slika 5.23.** Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

U dobivenim rezultatima analize prikazane su prosječne vrijednosti vjerojatnosti deficita snage proizvodnje, odnosno LOLP-a, koji u ovom slučaju iznose 99,997% i prosječnu vrijednost očekivane neisporučene potražnje, odnosno EDNS-a, koji iznosi 422,088kW.

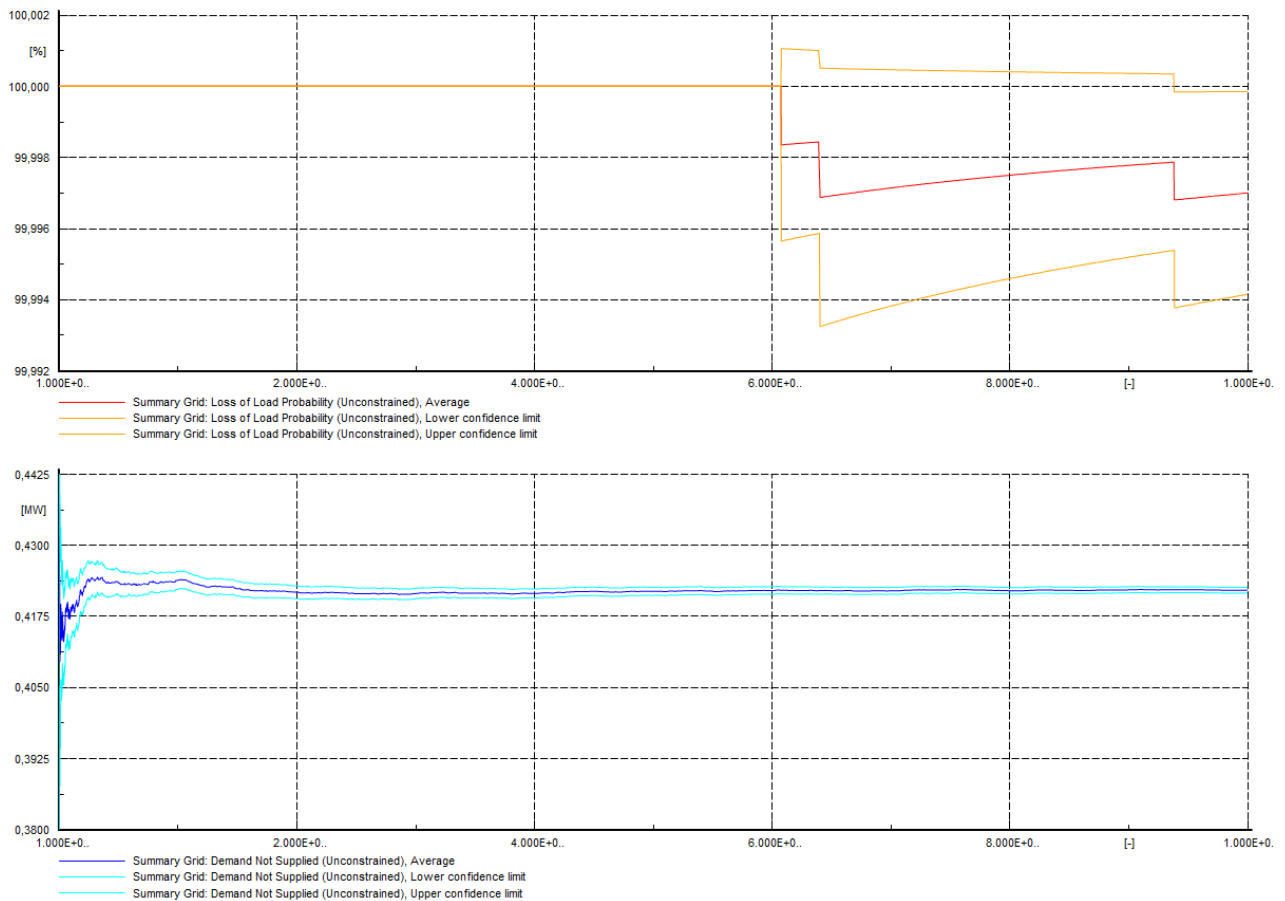


**Slika 5.24.** *Dijagrami distribucije djelatne snage*

Na slici 5.24. prikazani su dijagrami distribucije djelatne snage. Pozicija i raspored dijagrama postavljeni su kao u dosadašnjim primjerima. Na prvom dijagramu prikazani su ukupni raspoloživi kapacitet u MW koji je prikazan plavom bojom, kojem su vrijednosti približne onima u prvoj analizi, raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti u MW prikazana zelenom bojom, te ukupna potražnja u MW prikazana crvenom bojom. Drugi dijagram prikazuje raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW. Treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju i četvrti dijagram pokazuje opet ukupnu potražnju prikazano crvenom bojom i preostalu (neograničenu) potražnju prikazano ružičastom bojom. Kod sva četiri dijagrama x-os prikazuje vjerojatnost u postocima. Primjećuje se kako rezultati ove analize, nisu puno veći od analize u prvom slučaju analize adekvarnosti.

Također, LOLP indeks se ponovo može izvesti iz distribucijskog dijagrama ukupne rezervne proizvodnje, sjecište ove krivulje s x-osi daje LOLP indeks, gdje je njegova vrijednost iz dijagrama, jednaka dobivenoj vrijednosti u izlaznom prozoru programskog paketa.

Dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS u četvrtoj analizi, prikazani na slici 5.25., porastom broja iteracija konvergiraju prema svojoj konačnoj vrijednosti. Gornji dijagram prikazuje konvergenciju za LOLP, crvenom bojom prikazana je prosječna vrijednost LOLP-a, dok su žutom bojom prikazane gornja i donja granica pouzdanosti LOLP-a. Na donjem dijagramu prikazana je konvergencija za EDNS, tamno plavom bojom prikazana je prosječna vrijednost EDNS-a, dok su svjetlo plavom bojom prikazane gornje i doje granice pouzdanosti EDNS-a. Jasno je vidljivo kako vrijednosti na dijagramima konvergiraju oko vrijednosti dobivenih kao u izlaznom prozoru programskog paketa.

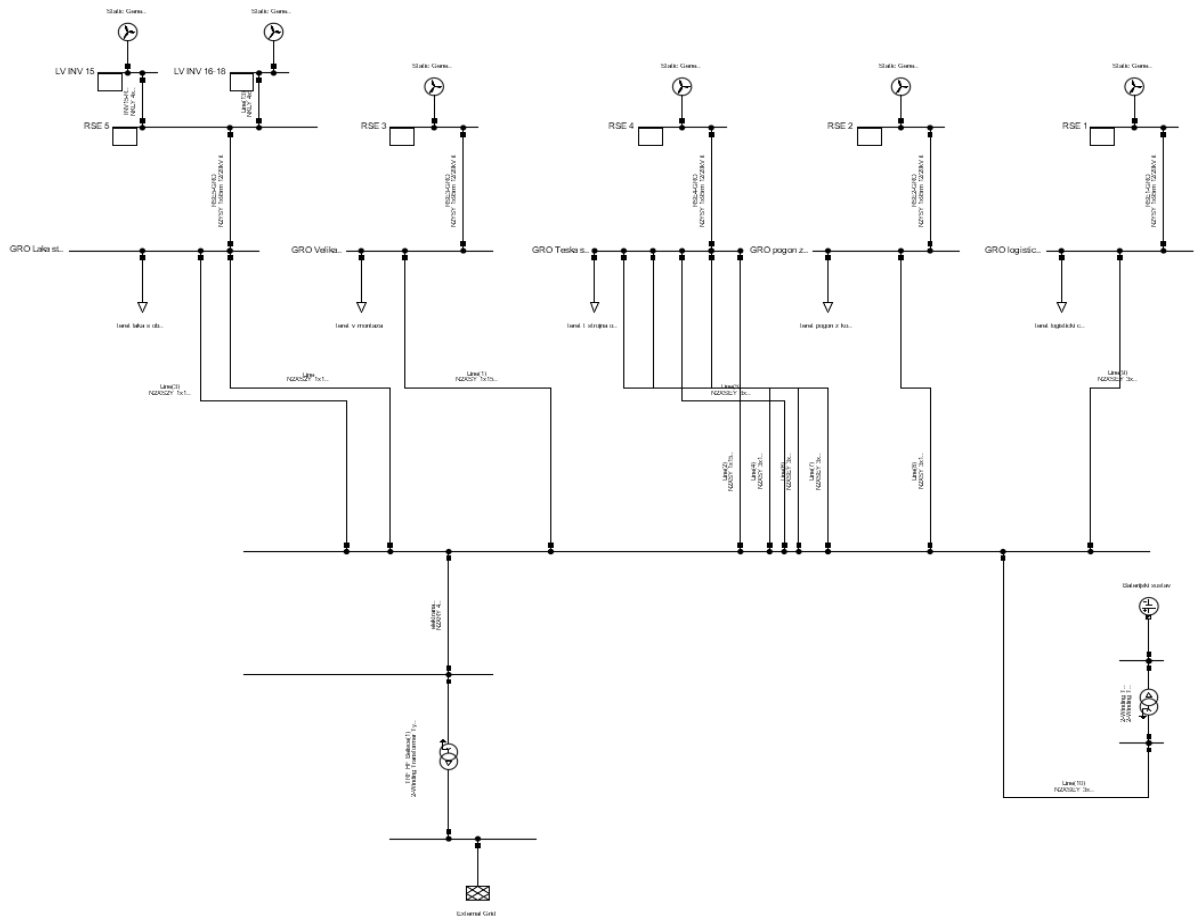


Slika 5.25. Dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS



## 5.2. Analiza adekvatnosti mikromreže napajane vjetrogeneratorom

Druga dio analize adekvatnosti mikromreže provedena je sa napajanjem vjetrogeneratora. Primjer sheme za ovaj primjer analize prikazana je na slici 5.26. U ovom primjeru sheme vidljiva je zamjena fotonaponskih sustava za sustave napajanja vjetrogeneratorom.

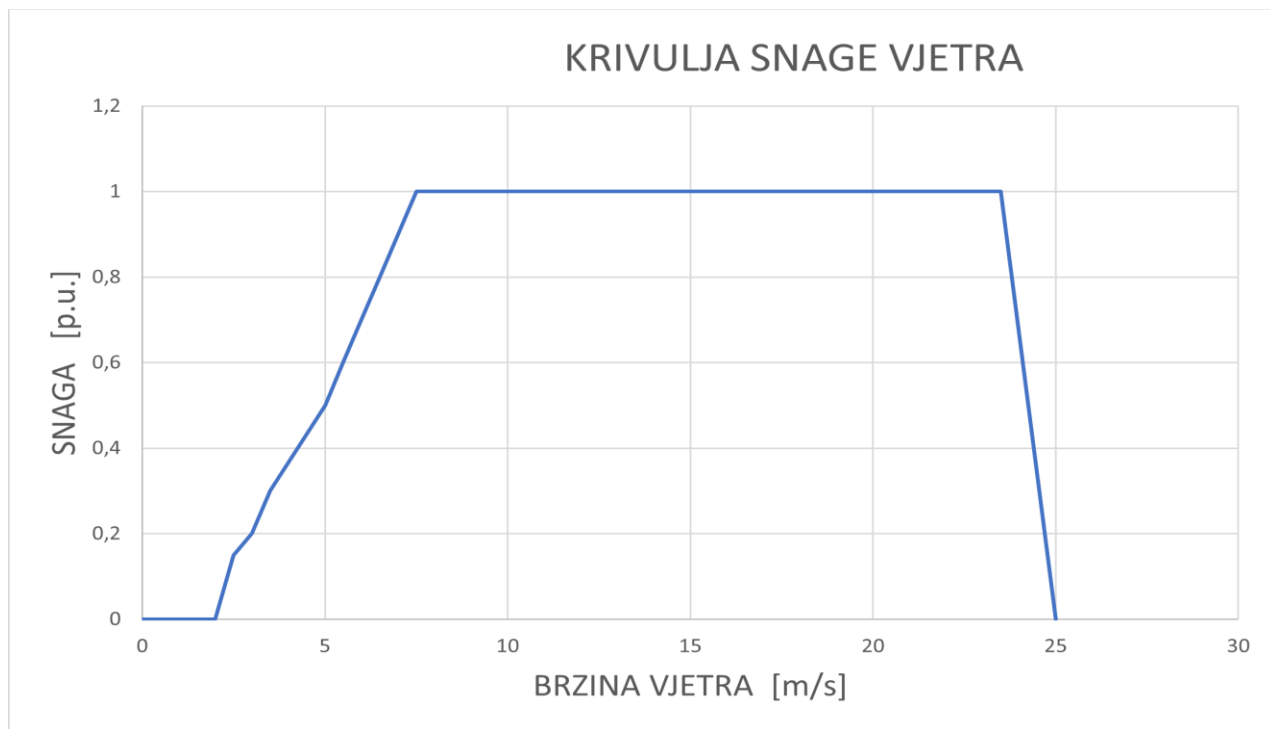


Slika 5.26. Shematski prikaz mreže napajane vjetrogeneratorima

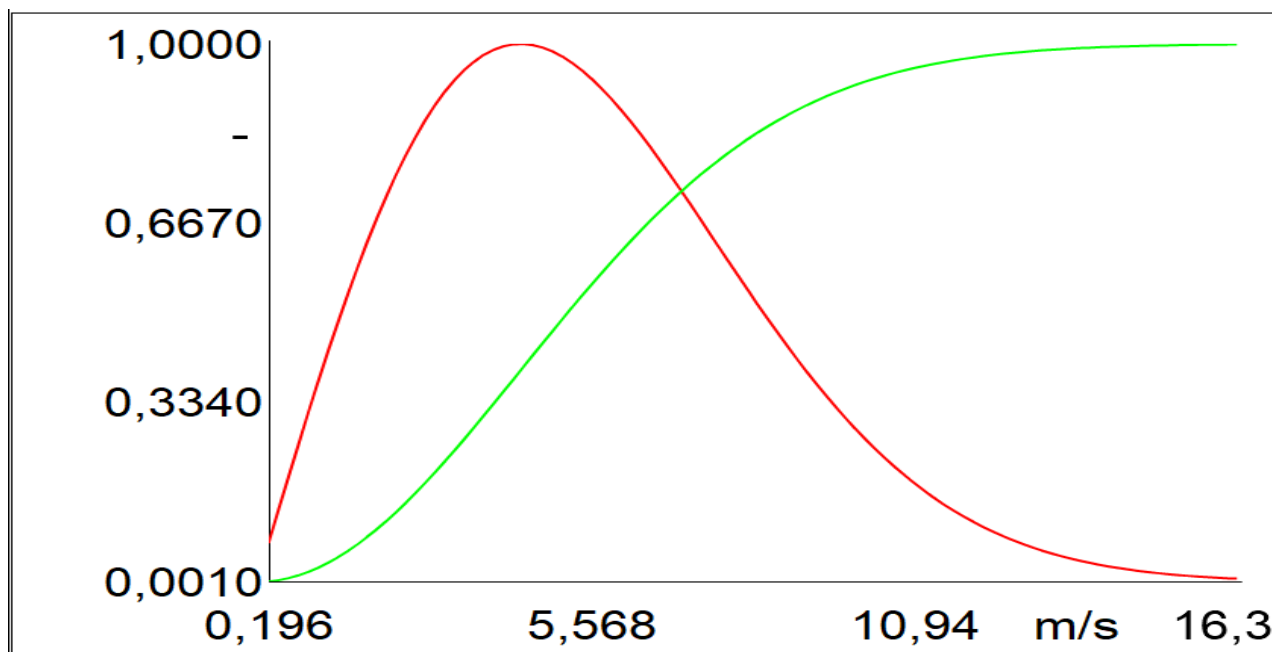
U analizi je provedeno po četiri simulacije za svaki obnovljivi izvor u kojima su se mijenjane dostupnosti i vjerojatnosti rada, odnosno kvara. Kao kod analize adekvatnosti sa fotonaponima i ovom slučaju, postavke tokova snaga moraju biti postavljene na izmjenični tok snaga, simetričan, direkatan niz.

Za provedbu analize adekvatnosti ponovno je potrebno postaviti postavke za inicijalizaciju. Postavke inicijalizacije postavljene su kao i u analizi sa fotonaponima. Gubitci sustava u postotcima iznose 8%, te je opcija razmatranja planova održavanja ponovo uključena.

Kod ove analize potrebno je postaviti i krivulju snage vjetra. Krivulja snage vjetra postavljena je kao na slici 5.27.. Također potrebno je postaviti i krivulju pretpostavljene razdiobe gustoće vjerojatnosti brzine vjetra, prikazanu slikom 5.28.



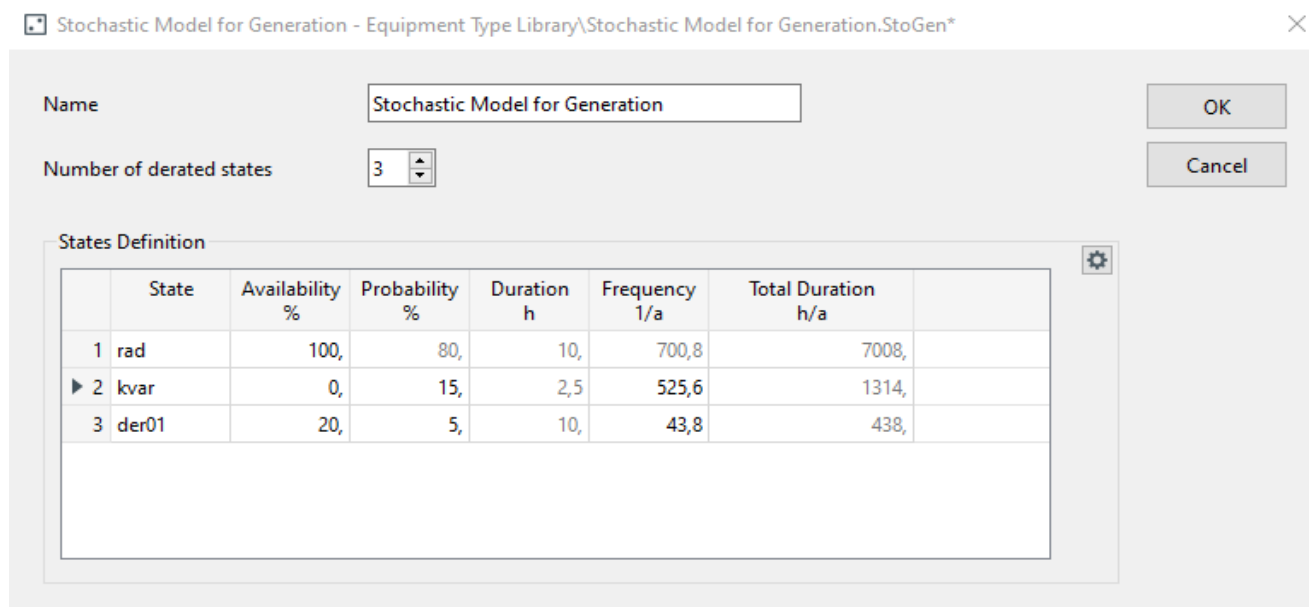
Slika 5.27. Postavke krivulje snage vjetra



Slika 5.28. Pretpostavljena razdioba gustoće vjerojatnosti brzina vjetra

### 5.2.1. Prva simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima

Kod analize adekvatnosti postavljene su vjerojatnosti rada i kvara, te je dodano stanje „derated“, odnosno smanjenog kapaciteta. Kako je već spomenuto ranije, zbroj svih vjerojatnosti mora biti 100%. Za prvu analizu rad je postavljen na 80%, kvar na 15%, a ostatak na smanjenje kapaciteta, dok je dostupnost postavljena kako je prikazano na slici 5.29.



	State	Availability %	Probability %	Duration h	Frequency 1/a	Total Duration h/a
1	rad	100,	80,	10,	700,8	7008,
▶ 2	kvar	0,	15,	2,5	525,6	1314,
3	der01	20,	5,	10,	43,8	438,

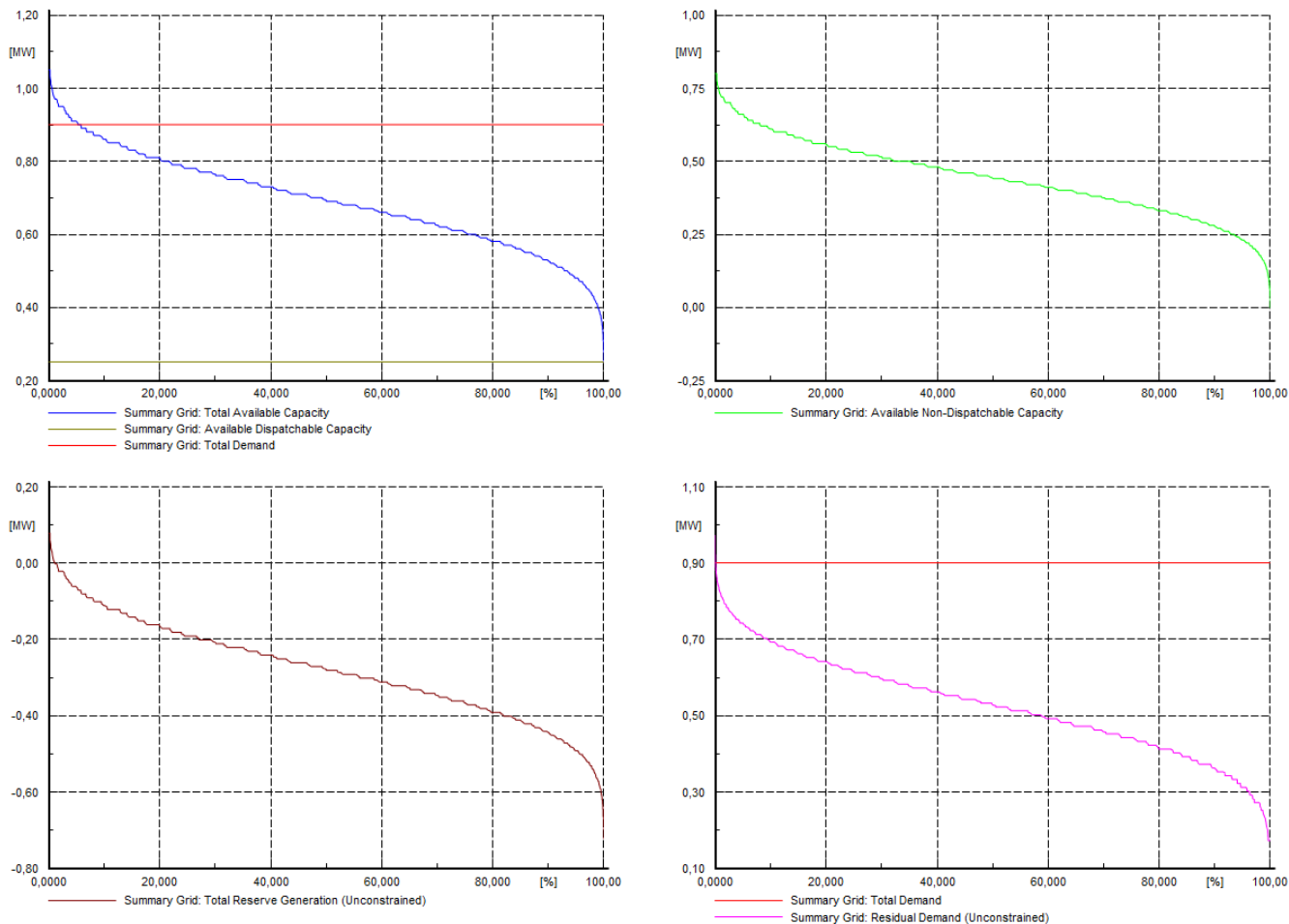
**Slika 5.29.** Stohastički model za proizvodnju električne energije

Nakon postavljenih postavki stohastičkog modela, pokreće se analiza adekvatnosti. Broj iteracija u ovoj analizi iznosi 1000000. U izlaznom prзору programskog paketa pojavljuju se rezultati, prikazani na slici 5.30., gdje su prosječne vrijednosti vjerojatnosti deficita snage proizvodnje (LOLP) i očekivane neisporučene potražnje (EDNS) veći u odnosu na analize adekvatnosti sa fotonaponskim sustavom napajanja. Vidi se da prosječna vrijednost LOLP-a iznosi 99,817%, dok prosječna vrijednost EDNS-a iznosi 261,633kW.

		DIGSILENT PowerFactory 22.0.6.0		Project: Date:		
Generation Adequacy Analysis						
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>				Annex: / 1		
Maximum Number of Iterations:		1000000		Current Iteration:		1000000
System Losses:		8,00 %				
Consider Load Characteristics:		Yes				
Grid	Loss Of Load Probability			Expected Demand Not Supplied		
	Average (LOLP) %	Confidence Levels		Average (EDNS) kW	Confidence Levels	
		Lower	Upper		Lower	Upper
System	98,81720	98,79942	98,83498	261,633	261,440	261,826

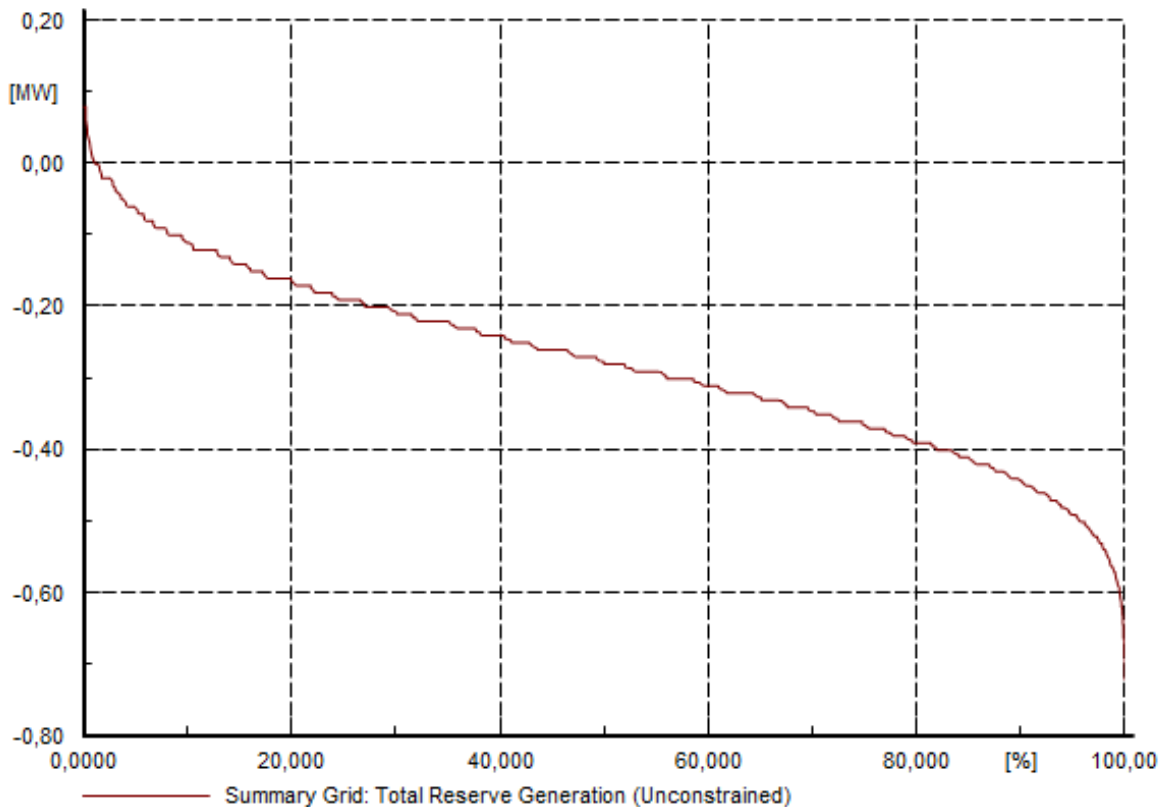
**Slika 5.30.** Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-  
u

Dijagrami distribucije djelatne snage, prikazani na slici 5.31. imaju isti raspored kao i u dosadašnjem dijelu analiza. Na prvom dijagramu prikazani su ukupni raspoloživi kapacitet u MW koji je prikazan plavom bojom, kojem snaga pada s većim postotkom, raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti u MW prikazana zelenom bojom, te ukupna potražnja u MW prikazana crvenom bojom. Drugi dijagram prikazuje raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW koji također ima pad sa porastom postotka prikazan x-osi na dijagramu. Treći dijagra prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) i četvrti dijagram pokazuje opet ukupnu potražnju prikazano crvenom bojom i preostalu (neograničenu) potražnju prikazanu ružičastom bojom. Kod sva četiri dijagrama x-os prikazuje vjerojatnost u postocima.



**Slika 5.31.** *Dijagrami distribucije djelatne snage*

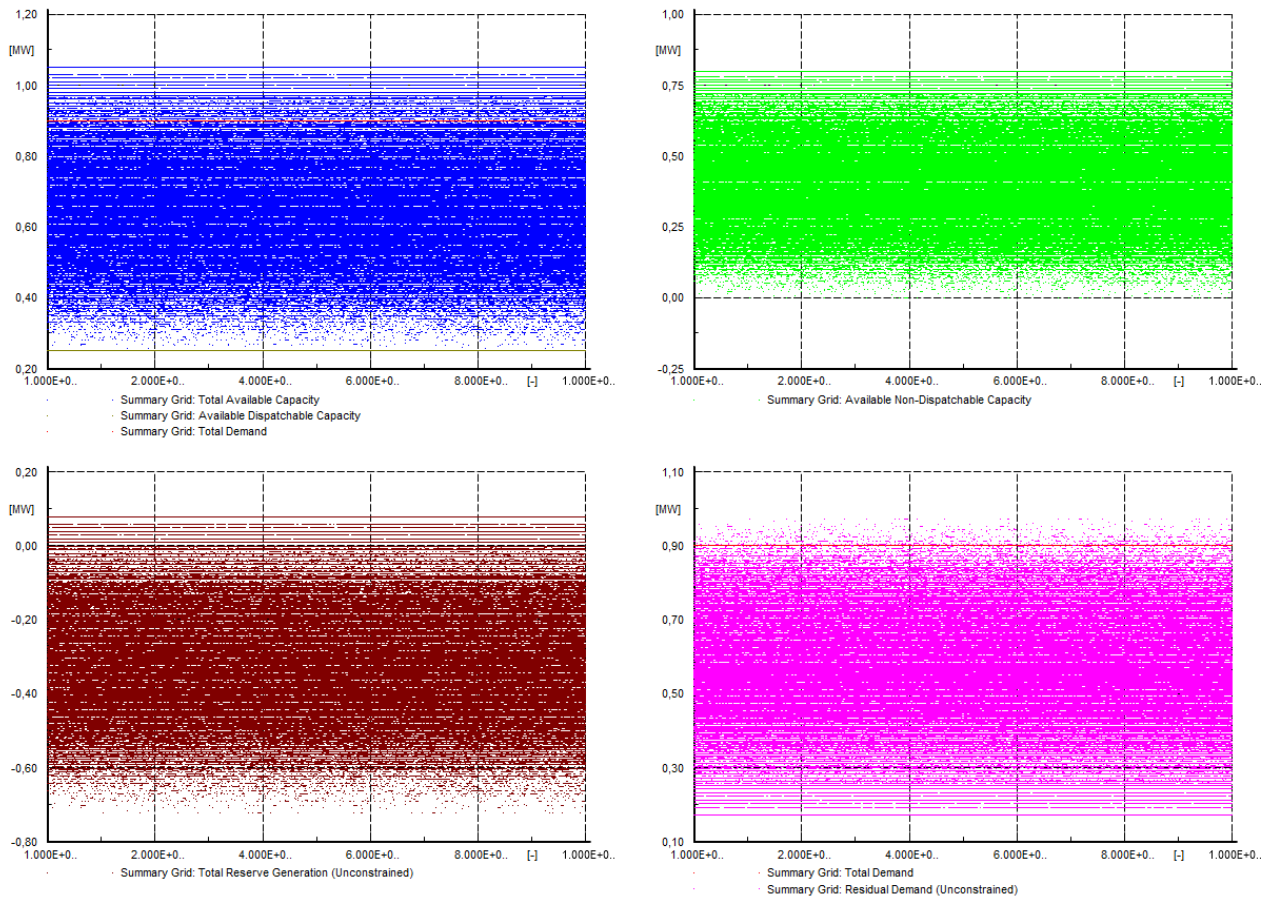
Vrijednost LOLP indeksa može se vidjeti i na dijagramu ukupne rezervne proizvodnje, prikazan na slici 5.32. Sjecište ove krivulje s x-osi daje LOLP indeks.



**Slika 5.32.** Prikaz LOLP indeksa izvedenog iz distribucijskog dijagrama ukupne rezervne proizvodnje

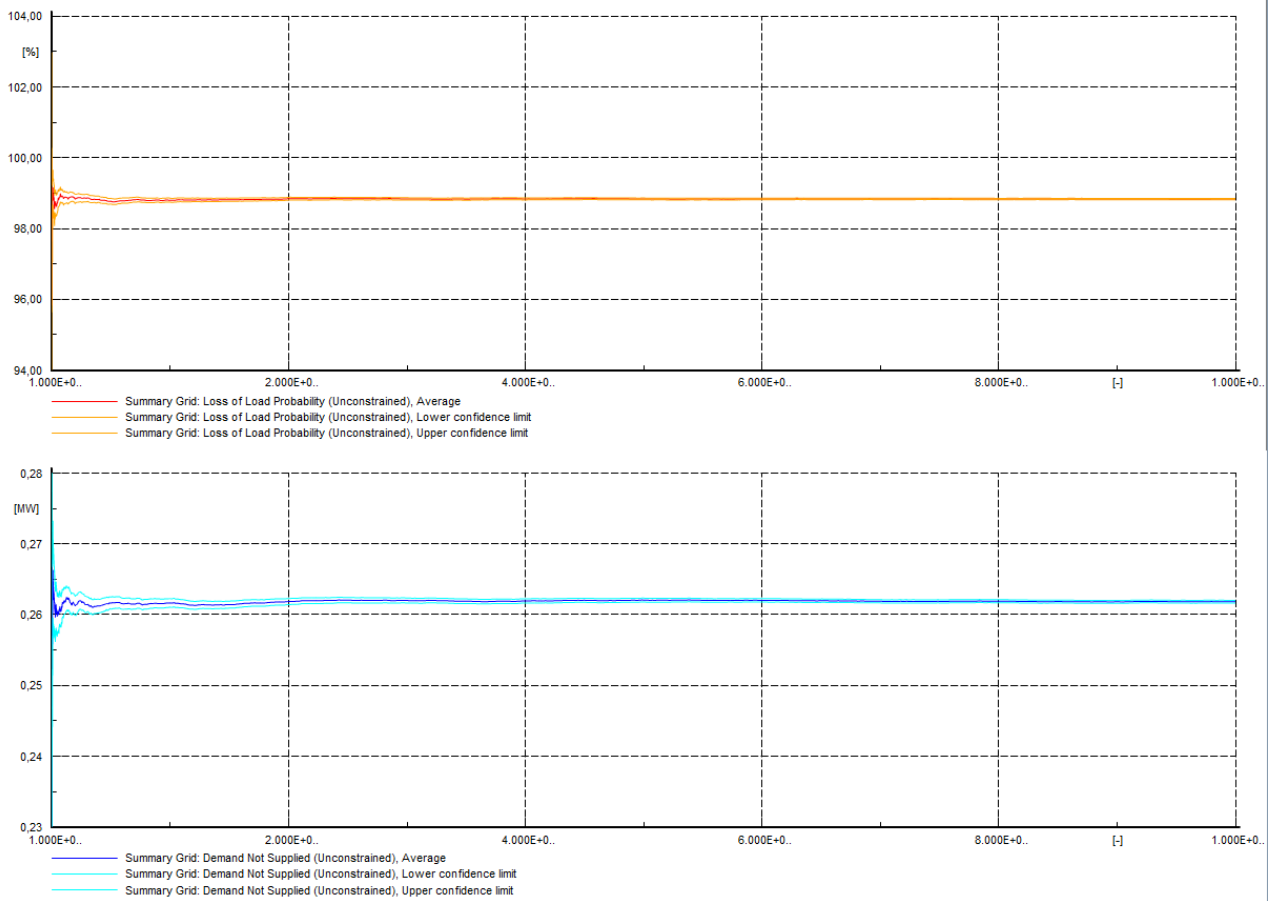
Dijagrami Monte-Carlo iteracija se ponovno generiraju ako je opcija „MC Draws“ omogućena na izlaznoj stranici naredbe za inicijalizaciju ili pritiskom na opciju „MC Draws“. Ova opcija crta četiri dijagrama kako je prikazano na slici 5.33. Svaka točka podataka na dijagramima predstavlja pojedinu Monte Carlo simulaciju.

Prvi dijagram pruža pregled ukupne raspoložive snage u MW označene plavom bojom na dijagramu, isto tako i raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti označena zelenom bojom te ukupnu potražnju koja je na dijagramu prikazana crvenom bojom. Drugi dijagram fokusira se na raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW, dok treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) izraženu u MW. Četvrti dijagram detaljno prikazuje ukupnu potražnju u MW opet označene crvenom bojom, zajedno s preostalom potražnjom koja je prikazana ružičastom bojom.



Slika 5.33. Dijagrami Monte Carlo iteracija

Na slici 5.34. prikazani su dijagrami konvergencije. Kako broj iteracija raste, LOLP indeks će konvergirati prema svojoj konačnoj vrijednosti, isto vrijedi i za EDNS. Gornji dijagram prikazuje konvergenciju za LOLP, crvenom bojom prikazana je prosječna vrijednost LOLP-a, dok su žutom bojom prikazane gornja i donja granica pouzdanosti LOLP-a. Na donjem dijagramu prikazana je konvergencija za EDNS, tamno plavom bojom prikazana je prosječna vrijednost EDNS-a, dok su svjetlo plavom bojom prikazane gornje i donje granice pouzdanosti EDNS-a. Uspore li se vrijednosti rezultata LOLP-a i EDNS-a, dobivenih u izlaznom prozoru programskog paketa, sa rezultatima na dijagramima konvergencije, vidljivo je kako dijagrami konvergiraju oko vrijednosti dobivenim u izlaznom prozoru.

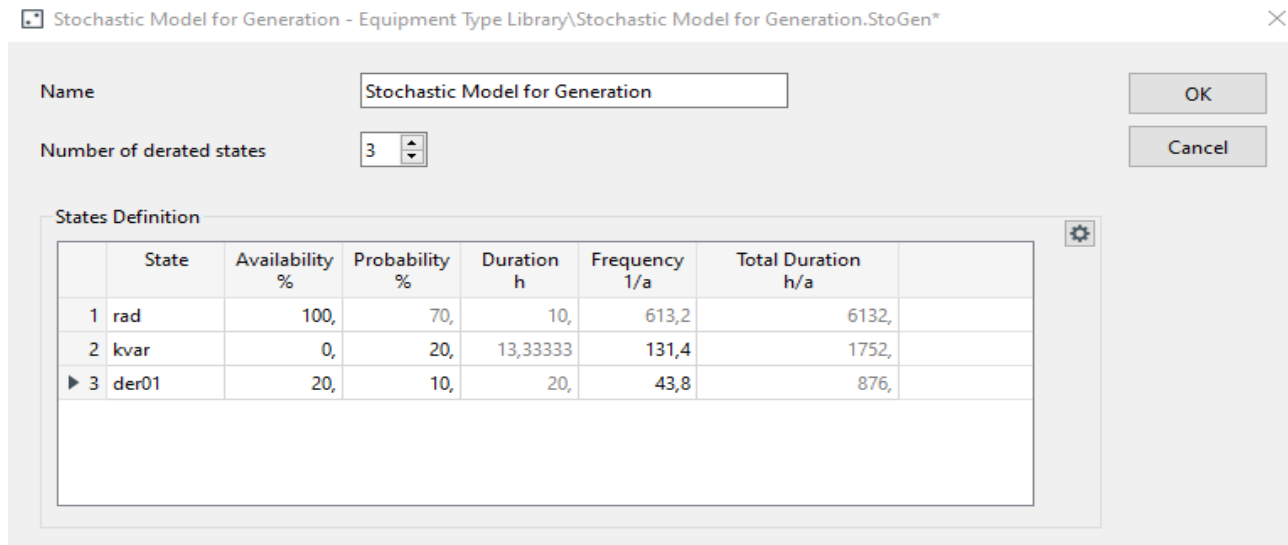


**Slika 5.34.** *Dijagrami konvergencije*

### 5.2.2. Druga simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima

U drugoj analizi adekvatnosti postvake vjerojatnosti rada i kvara postavljene su kao na slici 5.35., dok su dostupnosti u ovoj analizi ostale iste kao u prošlom slučaju.





**Slika 5.35.** Stohastički model za proizvodnju električne energije

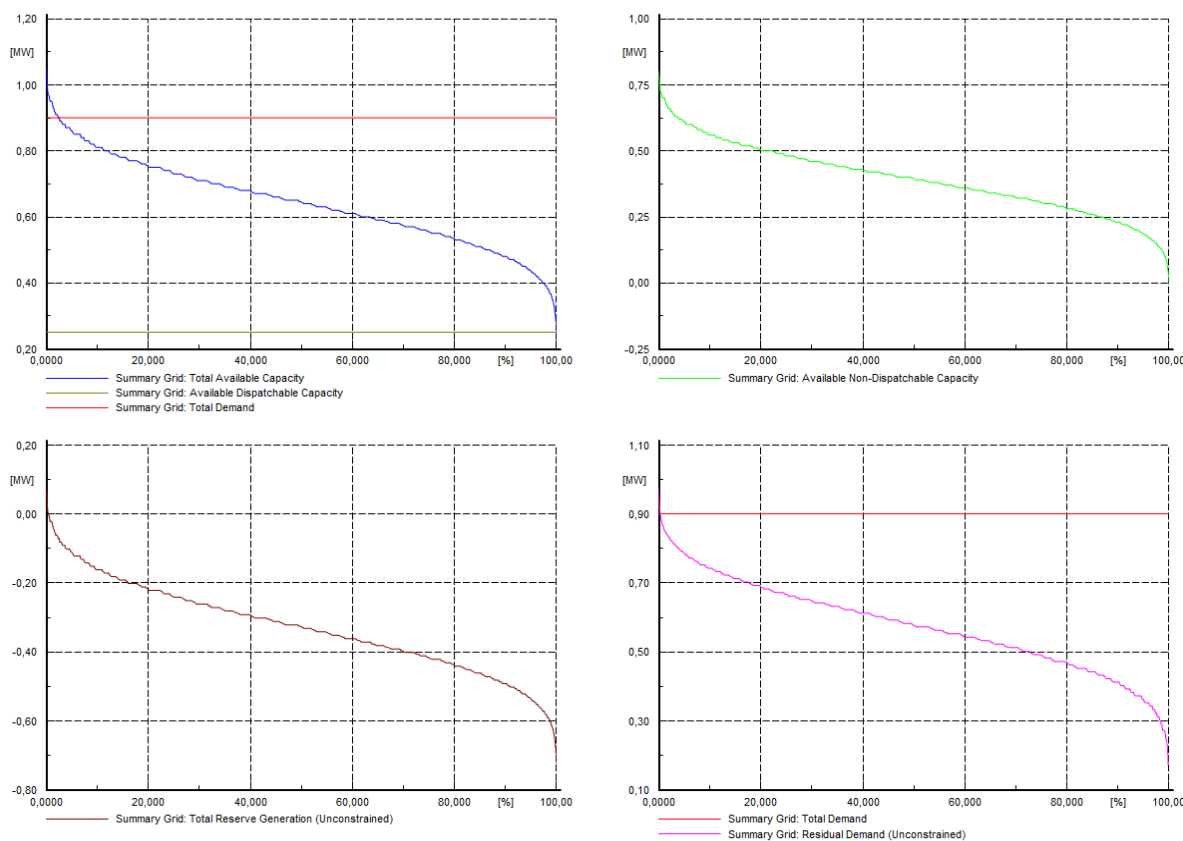
Sa promjenom vjerojatnosti može se primijetiti kako se i trajanje za stanje kvara promijenilo, odnosno vrijeme potrebno za rješavanje određenog kvara, u odnosu na prošli slučaj. Također se i broj incidenata koji uzrokuju navedeno stanje godišnje, odnosno frekvencija [1/g], kod stanja rada smanjila. Ukupno trajanje određenog stanja godišnje, za stanje rada i kvara, kao i stanje smanjenog kapaciteta, ima druge vrijednosti u odnosu na prošlu analizu. Za stanje rada nešto manju vrijednost od prošle analize, dok je stanje kvara i smanjenog kapaciteta imaju porast.

Pokreće se analiza adekvatnosti, sa 1000000 iteracija. Na izlaznom prozoru pojavljuju prosječne vrijednosti LOLP-a, kojem je iznos porastao u odnosu na prošlu analizu, i sada iznosi 99,589% i prosječne vrijednosti EDNS-a, koji također ima veću vrijednost od vrijednosti u prošloj analizi, i iznosi 306,705kW. Još jednom se vidi kako se sa smanjenjem vjerojatnosti stanja rada i povećanjem vjerojatnosti stanja kvara prosječne vrijednosti vjerojatnosti deficita snage proizvodnje (LOLP) povećavaju, kao i prosječne vrijednosti očekivane neisporučene potražnje (EDNS). Prikaz stanja na izlaznom prozoru prikazan je na slici 5.36.

			DIGSILENT PowerFactory 22.0.6.0	Project: Date:
Generation Adequacy Analysis				
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>			Annex: / 1	
Maximum Number of Iterations:		1000000	Current Iteration: 1000000	
System Losses:		8,00 %		
Consider Load Characteristics:		Yes		
Grid	Average (LOLP) %	Loss Of Load Probability Confidence Levels Lower Upper	Expected Demand Not Supplied Average (EDNS) kW	Confidence Levels Lower Upper
System	99,58890	99,57837 99,59943	306,705	306,511 306,899

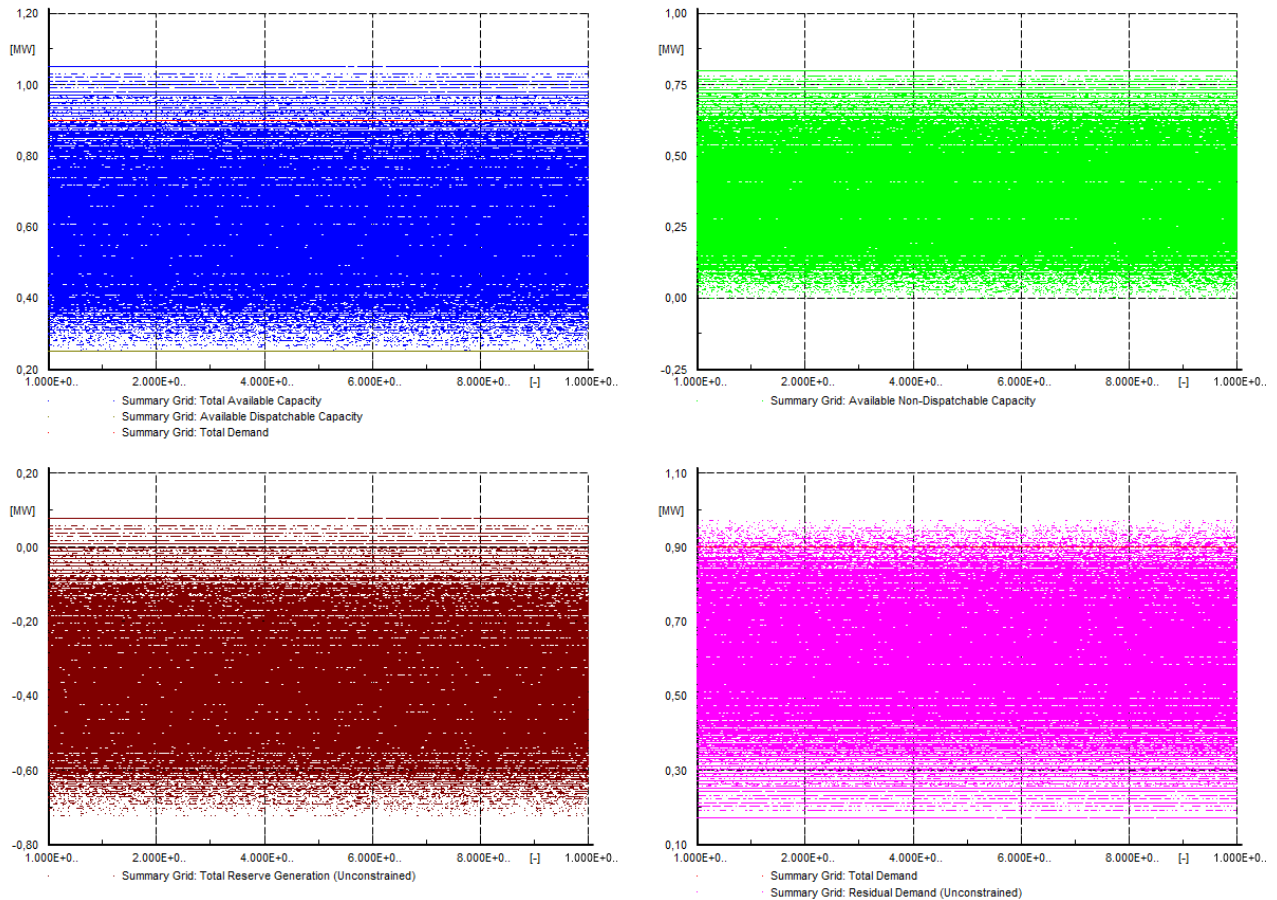
Slika 5.36. Rezultat analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

Dijagrami distribucije djelatne snage i u ovoj su analizi tvore isti raspored kao u dosadašnjim analizama. Prikazani su na slici 5.37., a na njima se može primijetiti kako su im oblici i vrijednosti približni onima iz prve analize. Uz male promjene vjerojatnosti stanja, kao i promjene LOLP-a i EDNS-a, male su promjene vrijednosti i oblika na distribucijskim dijagramima. Vrijednost LOLP indeksa može se vidjeti i na dijagramu distribucije električne energije ukupne rezervne proizvodnje, Sjecište ove krivulje s x-osi daje LOLP indeks.



Slika 5.37. Dijagrami distribucije djelatne snage

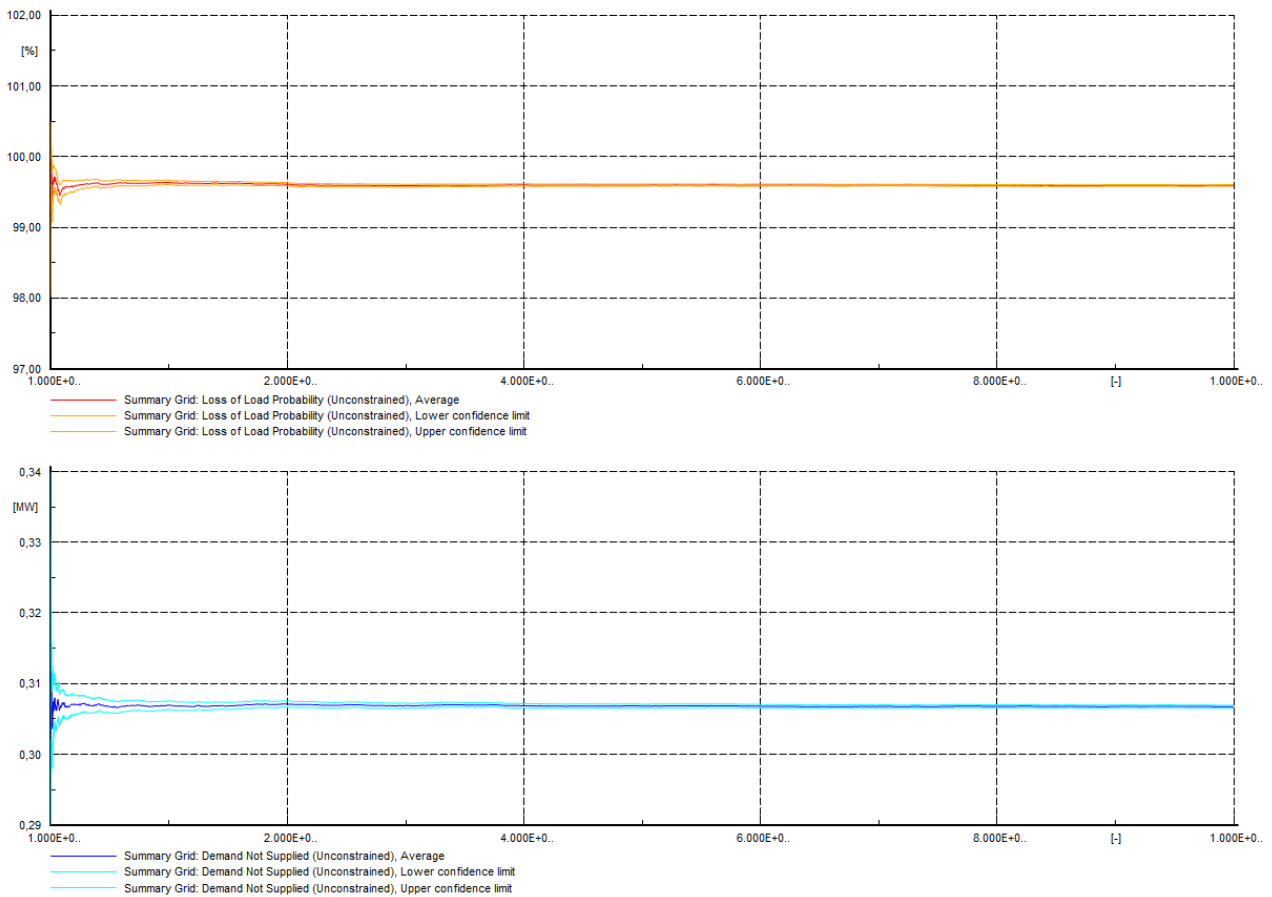
Dijagrami Monte-Carlo iteracija se ponovno generiraju na isti način, te kao rezultat crta četiri dijagrama prikazana na slici 5.38. Svaka točka podataka na dijagramima predstavlja pojedinu Monte Carlo simulaciju.



**Slika 5.38.** *Dijagrami Monte Carlo iteracija*

Prvi dijagram Monte Carlo iteracija pruža pregled ukupne raspoložive snage u MW označene plavom bojom na dijagramu, gdje se vidi da se broj iteracija na dijagramu manji nakon 0,9MW, isto tako i raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti označena zelenom bojom te ukupnu potražnju koja je na dijagramu prikazana crvenom bojom. Drugi dijagram fokusira se na raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW, gdje se također vidi manji broj iteracija iznad 0,6MW, dok treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) izraženu u MW, poput prethodno opisanih dijagrama, sa nešto manjim brojem iteracija oko vrijednosti 0,1MW. Četvrti dijagram prikazuje ukupnu potražnju u MW opet označene crvenom bojom, zajedno s preostalom potražnjom koja je prikazana ružičastom bojom, gdje dijagram preostale potražnje Monte Carlo iteracija imaju vrijednosti između 0,1MW i 1MW.

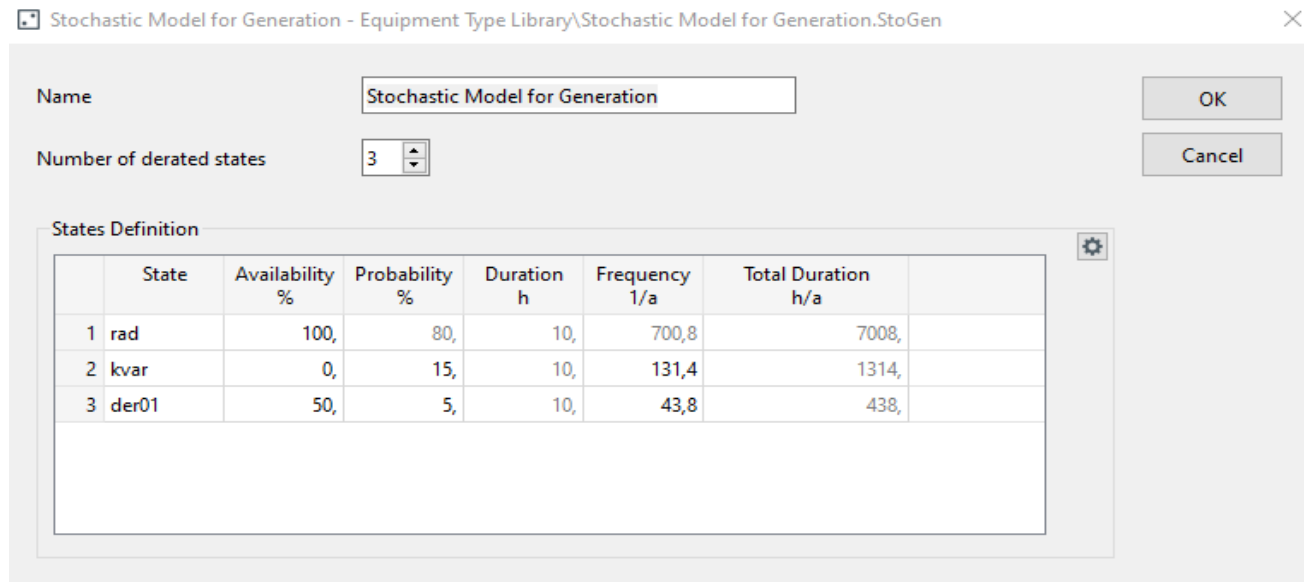
Dijagrami konvergencije prikazani su na slici 5.39. S porastom broja iteracija, LOLP indeks će konvergirati prema svojoj konačnoj vrijednosti, isto vrijedi i za EDNS. Gornji dijagram prikazuje konvergenciju za LOLP, crvenom bojom prikazana je prosječna vrijednost LOLP-a, dok su žutom bojom prikazane gornja i donja granica pouzdanosti LOLP-a. Na donjem dijagramu prikazana je konvergencija za EDNS, tamno plavom bojom prikazana je prosječna vrijednost EDNS-a, dok su svjetlo plavom bojom prikazane gornje i doje granice pouzdanosti EDNS-a. Uspore li se vrijednosti rezultata LOLP-a i EDNS-a, dobivenih u izlaznom prozoru programskog paketa, sa rezultatima na dijagramima konvergencije, vidljivo je kako dijagrami konvergiraju oko vrijednosti dobivenim u izlaznom prozoru.



**Slika 5.39.** *Dijagrami konvergencije*

### 5.2.3. Treća simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima

Kod treće analize adekvatnosti, vjerojatnosti stanja rada i stanja kvara postavljene su kao one u prvoj analizi, dok je dostupnost kod stanja smanjenog kapaciteta povećana, kako je prikazano na slici 5.40..



Slika 5.40. Stohastički model za proizvodnju električne energije

Ponovno promjenom dostupnosti, u usporedbi sa prvom analizom istih vjerojatnosti, se može primijetiti kako je vrijeme potrebno za rješavanje određenog kvara ostalo ne promijenjeno. Također je i broj incidenata koji uzrokuju navedeno stanje godišnje, odnosno frekvencija [1/g], ostala ista, te ukupno trajanje određenog stanja godišnje.

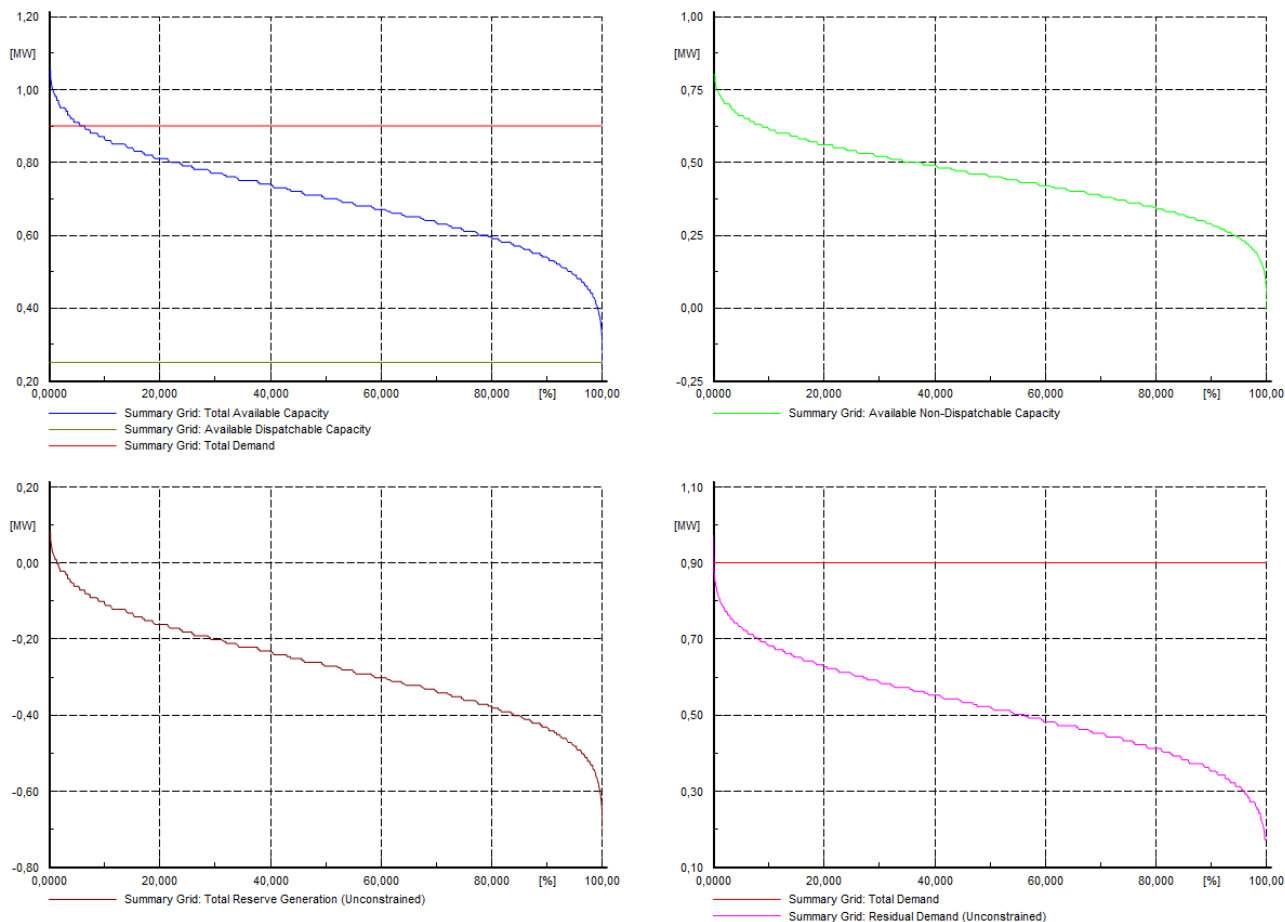
Pokretanjem analize adekvatnosti, broj iteracija postavljen je na 100000 iteracija. U izlaznom prozoru programskog paketa pojavljuju se rezultati analize adekvatnosti, prikazani na slici 5.41.

Grid		Loss Of Load Probability		Expected Demand Not Supplied	
Average (LOLP) %	Confidence Levels Lower Upper	Average (EDNS) kW	Confidence Levels Lower Upper		
System	98,60400	98,54297	98,66503	254,206	253,604   254,809

Slika 5.42. Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

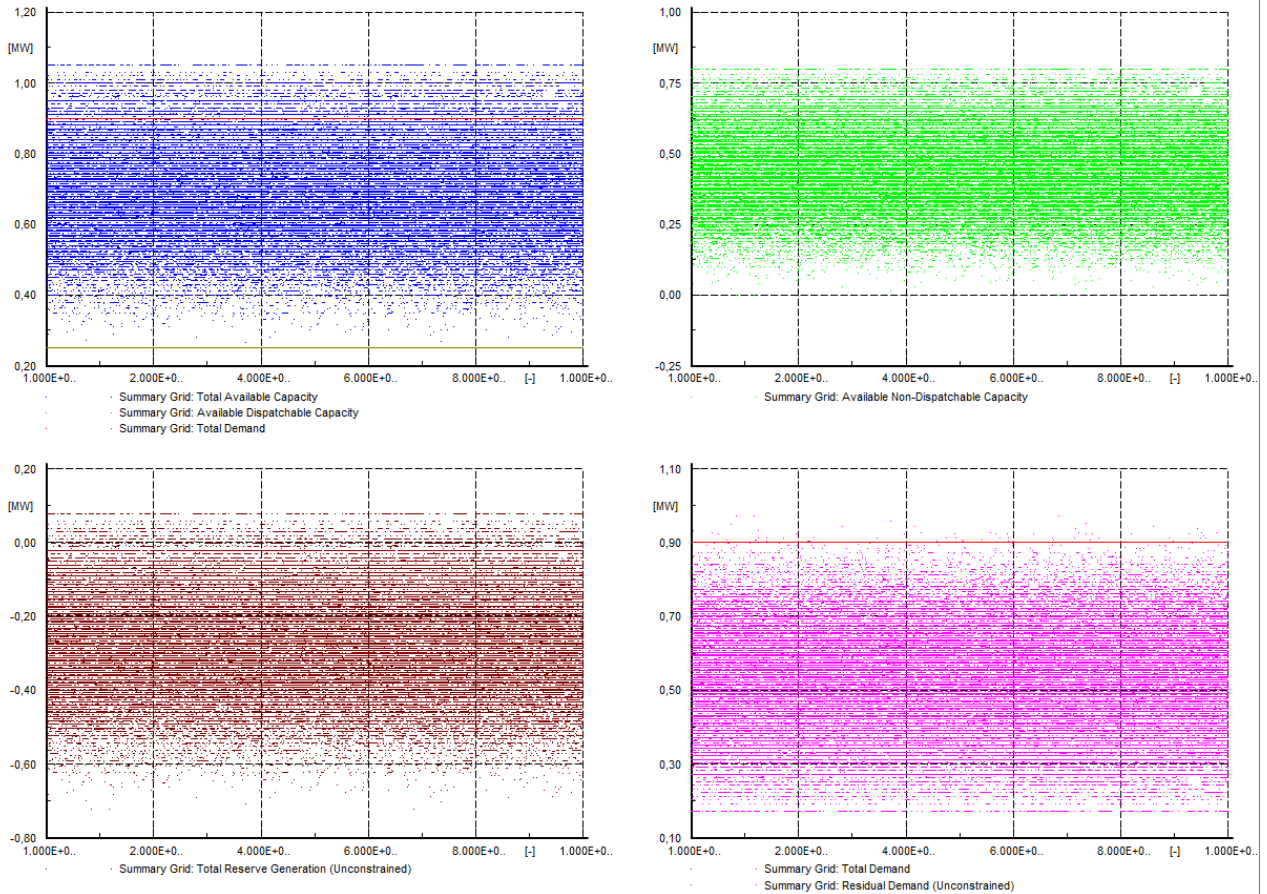
Usporedi li se rezultati ove analize, sa prvom analizom istih vjerojatnosti stanja, može se primijetiti kako rezultati ne odstupaju puno jedno od drugih. Kod ove analize prosječna vrijednost LOLP-a iznosi 98,604%, što je naspram prve analize manje za 1,2132%. Prosječna vrijednost EDNS-a iznosi 254,206kW, koja je manja za 7,427kW u odnosu na prvu analizu istih vjerojatnosti.

Dijagrami distribucije djelatne snage ove analize, prikazani na slici 5.43. imaju isti raspored kao i u dosadašnjem dijelu analiza.



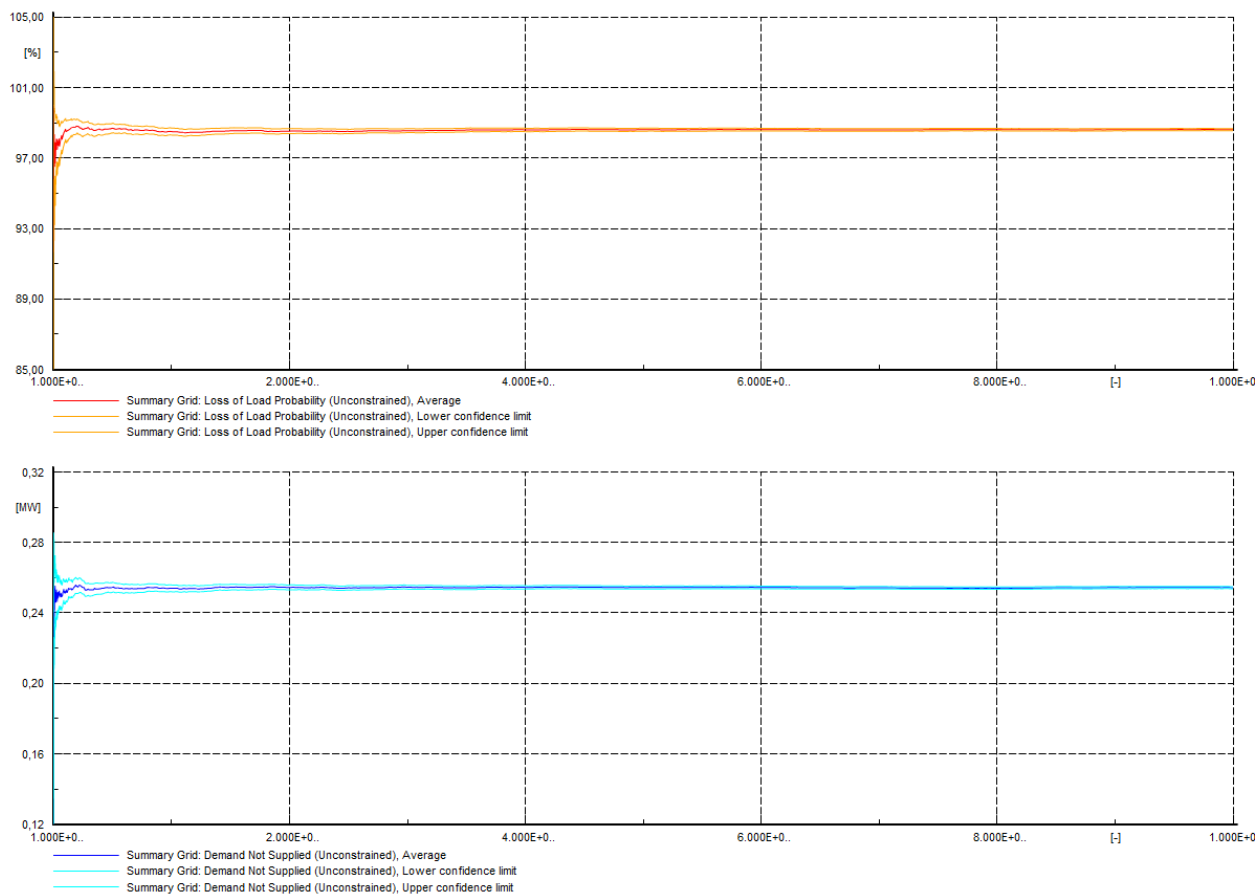
**Slika 5.43.** *Dijagrami distribucije djelatne snage*

Dijagrami distribucije djelatne snage u ovoj analizi ne razlikuju previše po obliku od dijagrama distribucije električne energije dobivenih u prvoj analizi različitih dostupnosti stanja. Vrijednosti snaga kod sva četiri dijagrama opada s porastom postotka, poput dijagrama u prvoj analizi. Vrijednost LOLP indeksa može se vidjeti na dijagramu ukupne rezervne proizvodnje.



**Slika 5.44.** Dijagrami Monte Carlo iteracija

Prvi dijagram Monte Carlo iteracija pruža pregled ukupne raspoložive snage u MW označene plavom bojom na dijagramu, gdje se vidi da se broj iteracija na dijagramu ima raspon od 0,3MW pa do preko 1MW, raspoloživa djelatna snaga koja se može isporučiti označena je zelenom bojom te ukupnu potražnju koja je na dijagramu prikazana crvenom bojom. Drugi dijagram fokusira se na raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW, gdje se također vidi da su vrijednosti iteracija u rasponu od 0,1MW do 0,8MW, dok treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) izraženu u MW, poput prethodno opisanih dijagrama, sa nešto manjim brojem iteracija oko vrijednosti 0,1MW. Četvrti dijagram prikazuje ukupnu potražnju u MW opet označene crvenom bojom, zajedno s preostalom potražnjom koja je prikazana ružičastom bojom, gdje dijagram preostale potražnje Monte Carlo iteracija imaju vrijednosti između 0,16MW i 1MW.



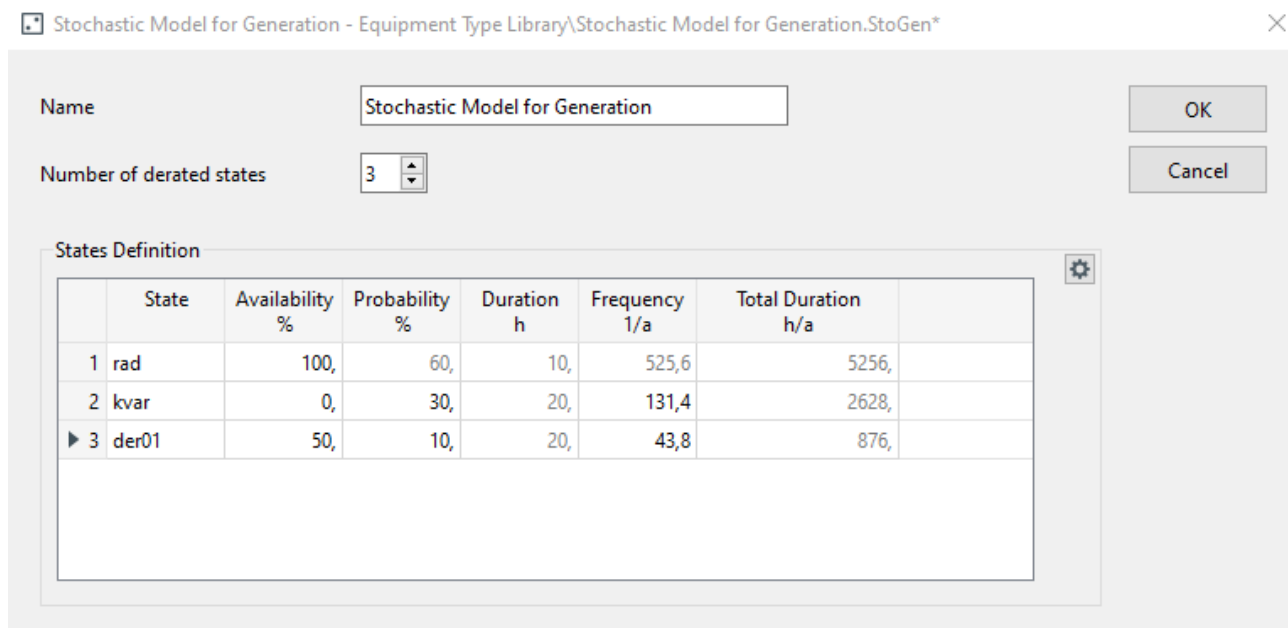
**Slika 5.45.** *Dijagram konvergencije*

Dijagrami konvergencije za LOLP i EDNS će konvergirati prema svojoj konačnoj vrijednosti, porastom broja iteracija. Vidljivo je da dijagrami imaju vrijednosti približne onima dobivenih u izlaznom prozoru programskog paketa, gdje je prosječna vrijednost LOLP-a iznosila 98,604%, a prosječna vrijednost EDNS-a 254,206kW.

#### **5.2.4. Četvta simulacija analize adekvatnosti napajana vjetrogeneratorima**

Kod četvrte analize adekvatnosti, vjerojatnosti stanja se mijenjaju, dok vjerojatnosti dostupnosti ostaju iste kao u prošloj analizi. Vjerojatnosti stanja rada sada su postavljene na 60%, a vjerojatnost stanja kvara iznosi 30%, ostatak je na smanjenju. Ukupna vjerojatnost svih stanja mora biti 100%.





**Slika 5.46.** Stohastički model za proizvodnju električne energije

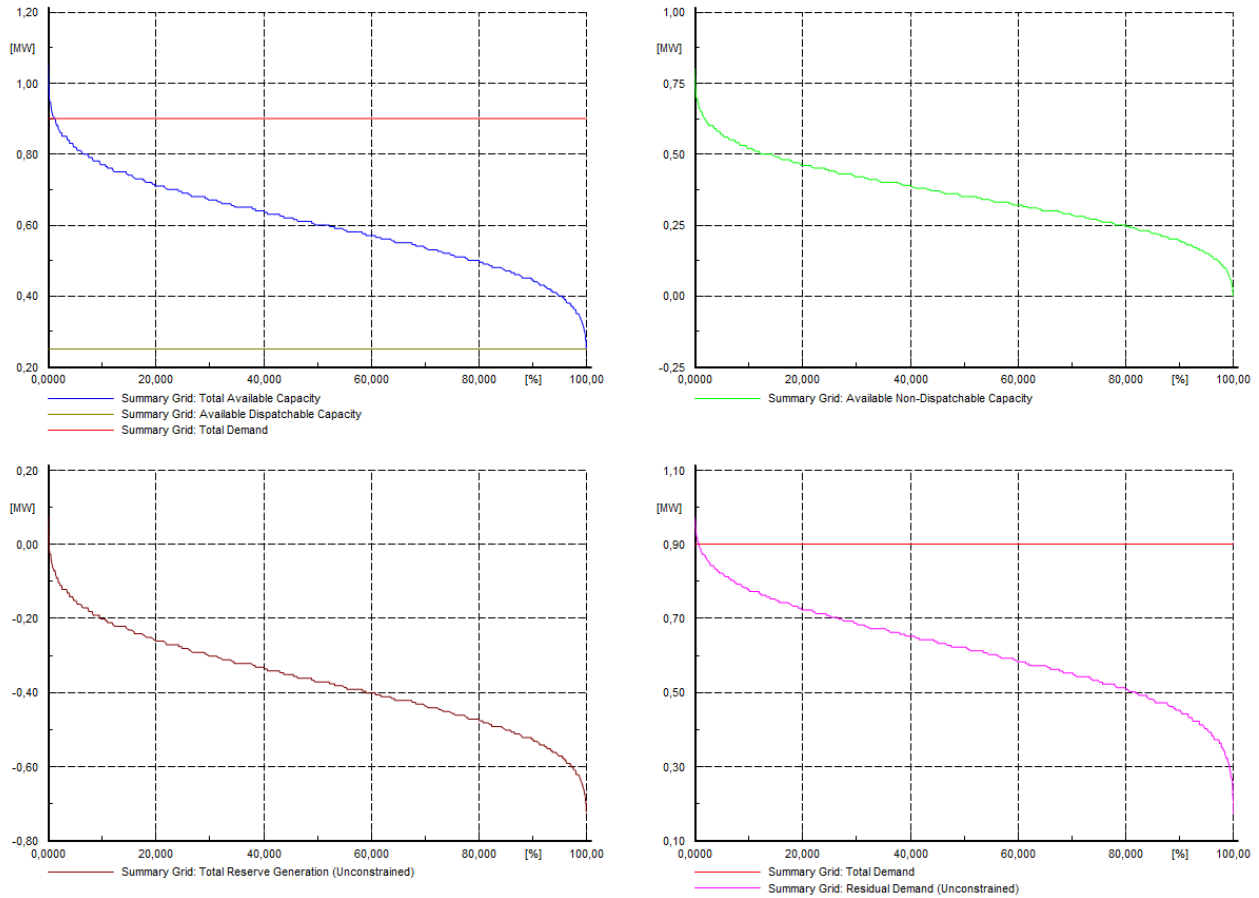
Nakon postavljenih vjerojatnosti stanja na stohastičkom modelu prikazanom na slici 5.46., primijeti se kako se vrijeme potrebno za rješavanje određenog kvara promijenilo, u odnosu na vjerojatnosti iz prošle analiza. Također, broj incidenata koji uzrokuju navedeno stanje godišnje za stanje rada ima drugačije vrijednosti. Dok sva stanja imaju druge vrijednosti ukupnog trajanja stanja.

Pokretanjem analize sa 100000 iteracija, na izlaznom prozoru pojavljuju se rezultati prikazani na slici 5.47., u kojima prosječna vrijednosti za LOLP iznosi 99,849%, a prosječna vrijednost za EDNS iznosi 342,579%.

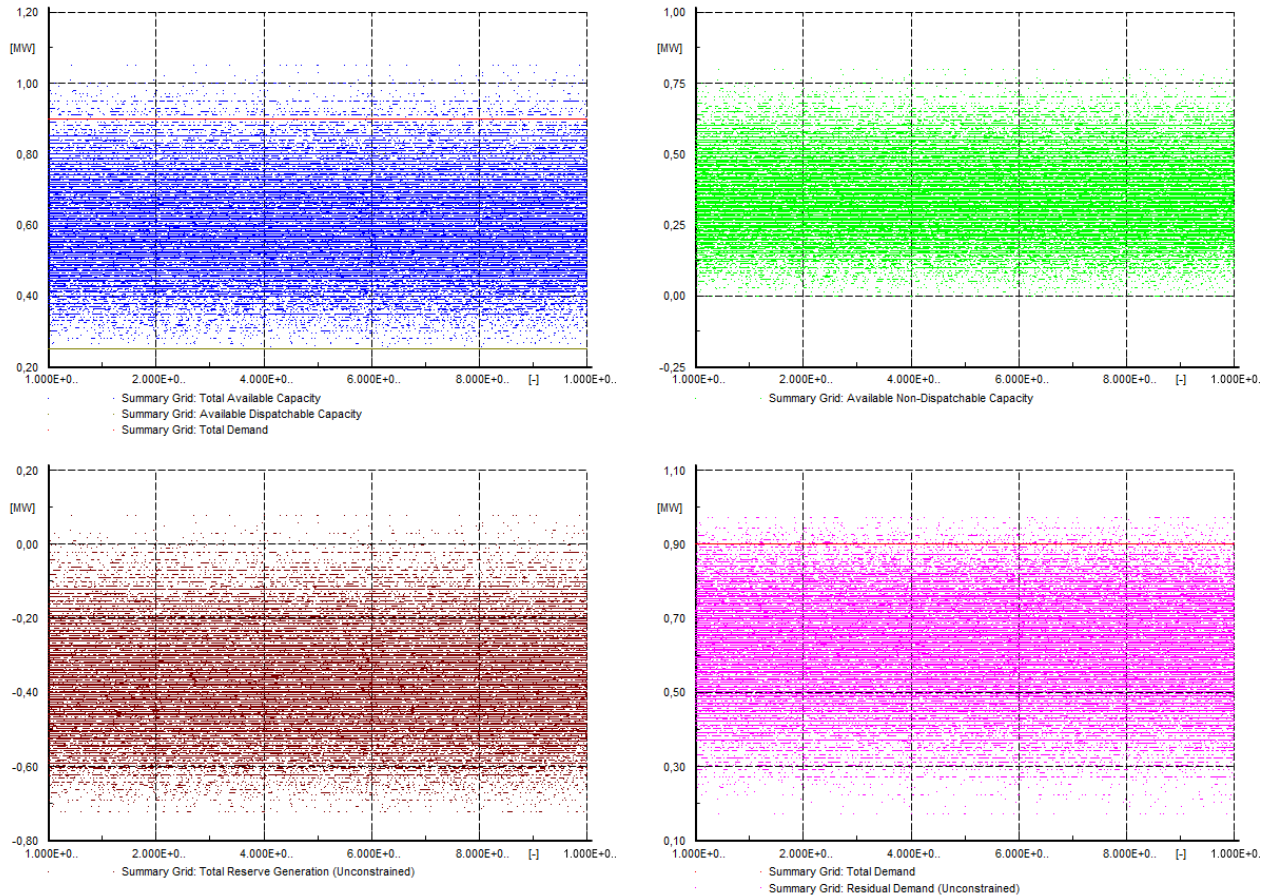
				DIGSILENT PowerFactory 22.0.6.0	Project: Date:	
Generation Adequacy Analysis						
Study Case: <b>Maksimalan teret</b>					Annex: / 1	
Maximum Number of Iterations:				100000	Current Iteration: 100000	
System Losses:				8,00 %		
Consider Load Characteristics:				Yes		
Grid	Loss Of Load Probability			Expected Demand Not Supplied		
	Average (LOLP)	Confidence Levels		Average (EDNS)	Confidence Levels	
	%	Lower	Upper	kW	Lower	Upper
System	99,84900	99,82880	99,86920	342,579	341,972	343,185

**Slika 5.47.** Rezultati analize adekvatnosti prikazane u izlaznom prozoru u DigSilent PowerFactory-u

Na dijagramima distribucije električne energije, prikazanim na slici 5.48, za ukupni raspoloživi kapacitet vidljiv je pad krivulje od 0,95MW do 0,3MW sa porastom postotka, za raspoloživu djelatnu snagu koja se može isporučiti vrijednosti na krivulji opadaju od 0,7MW. Na dijagramima ukupne rezervne proizvodnje (bez ograničenja) i preostale (neograničene) potražnje vrijednosti snaga, kao i u dosadašnjoj analizi opadaju s porastom postotka. Kod sva četiri dijagrama x-os prikazuje vjerojatnost u postocima.

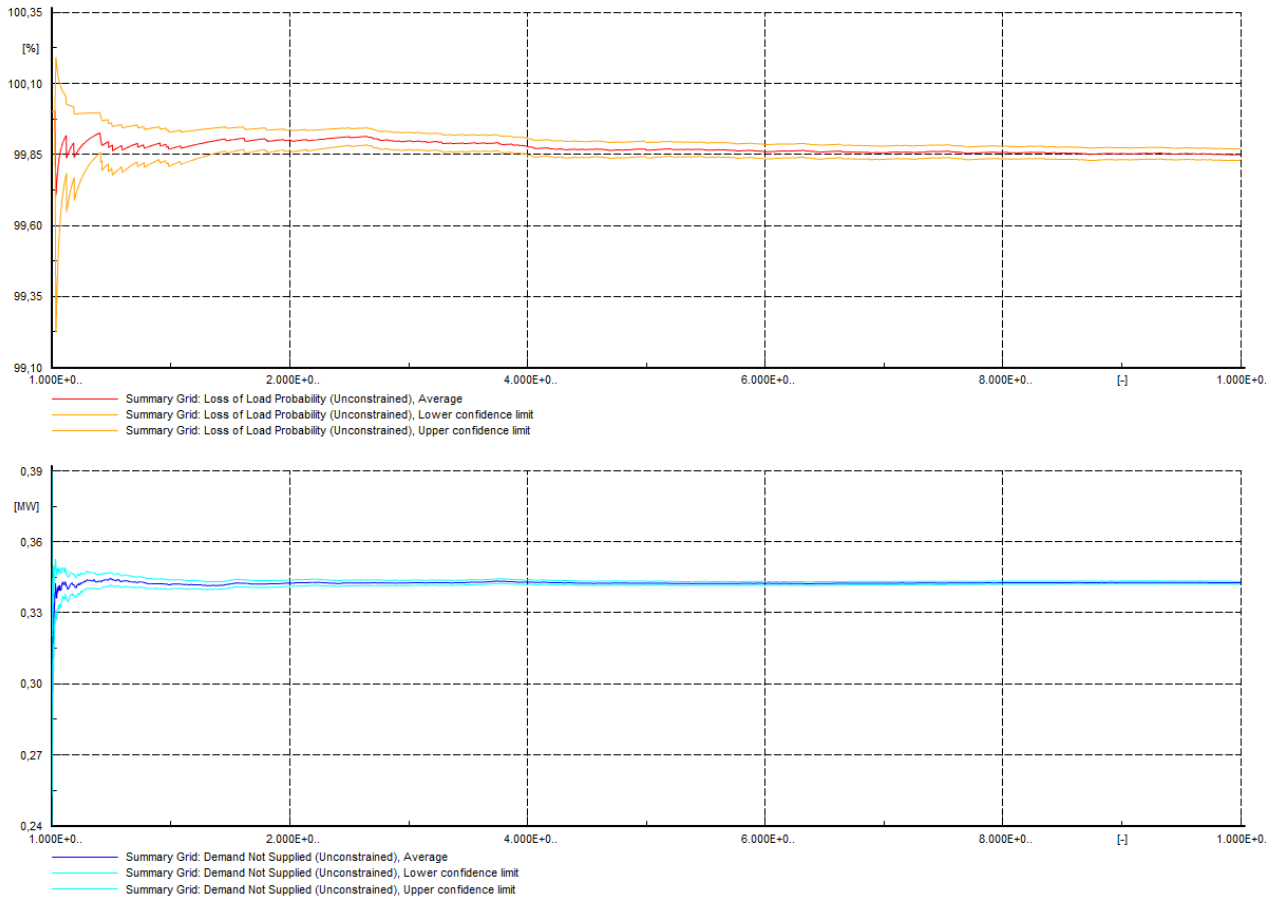


**Slika 5.48.** *Dijagrami distribucije djelatne snage*



**Slika 5.49.** *Dijagrami Monte Carlo iteracija*

Prvi dijagram Monte Carlo iteracija pruža pregled ukupne raspoložive snage u MW označene plavom bojom na dijagramu, gdje se vidi da se broj iteracija na dijagramu ima raspon od 0,3MW pa do preko 1MW. Drugi dijagram fokusira se na raspoloživu djelatnu snagu koja se ne može isporučiti u MW, gdje se također vidi da su vrijednosti iteracija u rasponu od 0MW do 0,8MW, dok treći dijagram prikazuje ukupnu rezervnu proizvodnju (bez ograničenja) izraženu u MW, poput prethodno opisanih dijagrama, sa nešto manjim brojem iteracija oko vrijednosti 0,1MW. Četvrti dijagram prikazuje ukupnu potražnju u MW opet označene crvenom bojom, zajedno s preostalom potražnjom koja je prikazana ružičastom bojom, gdje dijagram preostale potražnje Monte Carlo iteracija ponovo imaju vrijednosti između 0,16MW i 1MW.



**Slika 5.50.** *Dijagram konvergenције*

Porastom broja iteracija dijagrami konvergenције za LOLP i EDNS će konvergirati prema svojim konačnim vrijednostima. Vidljivo je da dijagrami imaju vrijednosti približne onima dobivenih u izlaznom prozoru programskog paketa, gdje je vrijednost LOLP-a prelazi 99%, a vrijednost EDNS-a preko 340kW.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je adekvatnost mikromreže sa obnovljivim izvorima energije sunca i vjetra. S obzirom na provedene analize adekvatnosti mikromreže u programskom paketu DIgSILENT PowerFactory, može se zaključiti da je istraživanje pružilo značajne uvide u ponašanje mikromreže pod različitim uvjetima pogona. Fokus analize bio je na integraciji fotonaponskih izvora napajanja i vjetrogeneratora, s posebnim naglaskom na varijacijama vjerojatnosti stanja sa smanjenim kapacitetom.

U analizama s fotonaponskim izvorima može se primijetiti da se smanjenjem vjerojatnosti stanja rada smanjila adekvatnost mikromreže, što je odraženo kroz povećanje prosječne vrijednosti vjerojatnosti deficita snage proizvodnje (LOLP-a). LOLP je mjera pouzdanosti elektroenergetskog sustava i predstavlja vjerojatnost da će doći do deficita snage proizvodnje u određenom vremenskom razdoblju. Što je LOLP manji, znači da je sustav pouzdaniji i da je manja vjerojatnost da će doći do prekida opskrbe električnom energijom. Povećanje LOLP indeksa obično ukazuje na veći rizik od nestanka električne energije i može uzrokovati ekonomske gubitke. Stoga je cilj minimizirati LOLP kako bi se osigurala pouzdana opskrba električnom energijom.

Analize adekvatnosti mreže vjetrogeneratorima pokazale su visoke vrijednosti LOLP-a. Ovo može biti posljedica niskih brzina vjetra na području Belišća, gdje je mikromreža smještena, odnosno koincidencije stanja rada i stanja sa smanjenim kapacitetom s niskom izlaznom snagom vjetroagregata zbog male brzine vjetra

U konačnici, preporučuje se daljnje istraživanje i razvoj održivih strategija za mikromreže s obnovljivim izvorima energije, uz poseban naglasak na smanjenju LOLP-a kao ključnog pokazatelja adekvatnosti sustava.

## LITERATURA

- [1] I. Jovanovac, Mikromreže [Online], Diplomski rad, Hrvatska, 2016.  
Dostupno na: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos%3A784>
- [2] Aimal Khan, All You Need to Know About Microgrids – Concept Explained, dostupno na: <https://www.engineeringpassion.com/all-you-need-to-know-about-microgrids-concept-explained/>
- [3] D. Mah, P. Hills, V. O. K. Li, R. Balme, Smart Grid Applications and Developments, SpringerVerlag, 2014. Godine
- [4] L. Cipcigan, N. Jenkins, I.G.Unda, P. Papadopoulos, Microgrid Intentional Islanding for Network Emergencies, ResearchGate, 2009, dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/224123953\\_Microgrid\\_intentional\\_islanding\\_for\\_network\\_emergencies](https://www.researchgate.net/publication/224123953_Microgrid_intentional_islanding_for_network_emergencies) [Pristupljeno 20.6.2023.]
- [5] J. Nelson, N. G. Johnson, K. Fahy, T. A. Hansen, Statistical development od microgrid resilience during islanding operations, ScienceDirect, 2020, dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261920312150>  
[Pristupljeno 20.6.2023]
- [6] M. H. Saeed, W. Fangzong, B. A. Kalwar and S. Iqbal, "A Review on Microgrids' Challenges & Perspectives," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 166502-166517, 2021, dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9648165> [Pristupljeno 24.5.2023]
- [7] E. Hossain, E. Kabalcı, R. Bayindir, R. Perez, "A comprehensive study on microgrid technology" in *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 4, pp. 1094-1104, 2014, dostupno na: [Pristupljeno 20.6.2023]  
[https://www.researchgate.net/publication/286382695\\_A\\_comprehensive\\_study\\_on\\_microgrid\\_technology](https://www.researchgate.net/publication/286382695_A_comprehensive_study_on_microgrid_technology)
- [8] Xuan Liu and Bin Su, "Microgrids — an integration of renewable energy technologies," *2008 China International Conference on Electricity Distribution*, Guangzhou, 2008, pp. 1-7, dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5211651> [Pristupljeno 20.6.2023]
- [9] M. Kiehadroudzhad, A. Merabet, A.G. Abo-Khalil, T. Salameh, C. Ghaouki, Intelligent and Optimized Microgrids for Future Supply Power from Renewable Energy Resources: A Review, ResearchGate, 2022, dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/360393598\\_Intelligent\\_and\\_Optimized\\_Microgrids\\_for\\_Future\\_Supply\\_Power\\_from\\_Renewable\\_Energy\\_Resources\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/360393598_Intelligent_and_Optimized_Microgrids_for_Future_Supply_Power_from_Renewable_Energy_Resources_A_Review)

- [10] M. D. Phung, M. De La Villefromoy and Q. Ha, "Management of solar energy in microgrids using IoT-based dependable control," *2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Sydney, NSW, Australia, 2017, pp. 1-6, dostupno na:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8056441>
- [11] A. U. Rehman, S. Zeb, H. U. Khan, S. S. U. Shah and A. Ullah, "Design and operation of microgrid with renewable energy sources and energy storage system: A case study," *2017 IEEE 3rd International Conference on Engineering Technologies and Social Sciences (ICETSS)*, Bangkok, Thailand, 2017, pp. 1-6, dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8324151>
- [12] T. Aziz, S. I. M. Salman, M. S. Islam, A. Razzaq, R. A. Chowdhury and M. I. H. Mitun, "Integration of wind energy system in microgrid considering static and dynamic issues," *2015 International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*, Savar, Bangladesh, 2015, pp. 1-5, dostupno na:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7307479>
- [13] Z. Zhang, X. Yang, Z. Wang, Z. Chen, Y. Zheng, Highly applicable small hydropower microgrid operation strategy and control technology, ScienceDirect, 2020, dostupno na:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484720312877>
- [14] C. P. Ion and C. Marinescu, "Autonomous micro-grid based on micro hydro power plants," *2012 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, Brasov, Romania, 2012, pp. 941-946, dostupno na:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6231918>
- [15] Y. Zheng, B. M. Jenkins, K. Kornbluth, A. Kendall, C. Træholt, Optimization of a biomass-integrated renewable energy microgrid with demand side management under uncertainty, ResearchGate, 2018, dostupno na:  
[https://www.researchgate.net/publication/327515386\\_Optimization\\_of\\_a\\_biomass-integrated\\_renewable\\_energy\\_microgrid\\_with\\_demand\\_side\\_management\\_under\\_uncertainty](https://www.researchgate.net/publication/327515386_Optimization_of_a_biomass-integrated_renewable_energy_microgrid_with_demand_side_management_under_uncertainty)
- [16] T. Mišević, Analiza pouzdanosti distribucijskih mreža s povećanim udjelom distribuirane proizvodnje [Online], Diplomski rad, Hrvatska, 2015.
- [17] DigSilent PowerFactory, User Manual, version 2022
- [18] A. Topić, Analiza pouzdanosti mreže PrP Osijek sa utjecajem mogućih novih izvora [Online], Diplomski rad, Hrvatska, 2016.

[19] Hrvatski hidrometeorološki zavod

[https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_pracenje&param=klel&Grad=osijek&Mjesec=03&Godina=2024](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracenje&param=klel&Grad=osijek&Mjesec=03&Godina=2024)



## **SAŽETAK**

U radu je opisana analiza adekvatnosti mikromreže provedena u Digsilent PowerFactory programskom paketu koja pruža ključne uvide u ponašanje sustava s fotonaponskim izvorima i vjetrogeneratorima. U radu su opisane mikromreže te utjecaj obnovljivih izvora energije na mikromrežu i provedena je analiza adekvatnosti mikromreže za različite obnovljive izvore energije. Promjene vjerojatnosti stanja rada i stanja kvara pri analizi ukazuje na izazove u održavanju pouzdanosti mikromreže. Rezultati istraživanja, prikazani slikama i dijagramima, pružaju važan uvid u dinamiku mikromreže, a preporučuje se daljnje istraživanje s fokusom na strategije za smanjenje LOLP-a radi održavanja stabilnosti sustava.

Ključne riječi: analiza adekvatnosti, mikromreža, obnovljivi izvori energije, vjerojatnost deficita snage proizvodnje (LOLP), očekivana neisporučena potražnja (EDNS)

## **SUMMARY**

The paper describes the adequacy analysis of a microgrid conducted in the DigSilent PowerFactory software package, providing key insights into the behavior of the system with photovoltaic sources and wind generators. The paper outlines microgrids and the impact of renewable energy sources on the microgrid, conducting an adequacy analysis for various renewable energy sources. Changes in the probability of operating states and fault conditions during the analysis indicate challenges in maintaining the reliability of the microgrid. The research results, presented through images and diagrams, offer significant insights into the dynamics of the microgrid, with a recommendation for further research focusing on strategies to reduce Loss of Load Probability (LOLP) for sustaining system stability.

Key words: adequacy analysis, microgrid, renewable energy sources, loss of load probability (LOLP), expected demand not supplied (EDNS).

## **ŽIVOTOPIS**

Stjepan Pavelka rođen je 15.9.1996. godine u Vinkovcima. Nakon završetka Osnovne škole Vladimir Nator u Vinkovcima, upisuje Tehničku školu Ruđera Boškovića Vinkovci, smjer Elektrotehničar. Nakon završetka srednje škole, 2015. godine, svoja prva radna iskustva skuplja u građevinskom sektoru, kao i u ugostiteljstvu u Frankfurtu, Njemačka. Tu se odlučuje na akademsku karijeru i 2016. godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Nakon završetka preddiplomskog studija elektrotehnike, 2021. godine, upisuje diplomski studij elektrotehnike, izborni blok DEA - Elektroenergetski sustavi. Za vrijeme diplomskog studija, pohađao je stručnu praksu u NOVA-LUX d.o.o. za projektiranje i nadzor.