Broj rada: R4-06
DOI:10.46793/CIRED2026.R4-06_107

TIPIČNI IZAZOVI TOKOM PROJEKATA ZA DIGITALIZACIJU ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

TYPICAL CHALLENGES DURING POWER SYSTEMS DIGITALIZATION PROJECTS

Ilija IVETIĆ, Schneider Electric, Republika Srbija
Jovan LUKIĆ, Schneider Electric, Republika Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Digitalizacija elektroenergetskih sistema donosi širok spektar rizika, od organizacionih do tehničkih, pri čemu pojedini rizici mogu prerasti u kritične izazove sa značajnim negativnim uticajem na projekte i njihov ukupan doprinos digitalizaciji elektroenergetskih sistema. Ključno pitanje za projektne timove jeste pravovremena identifikacija rizika i izbor adekvatnih strategija za njihovo upravljanje, posebno onih koji imaju najveći potencijalni uticaj na realizaciju projekata, na njegove učesnike i na sam proces digitalizacije elektroenergetskog sistema. U ovom radu izvedena je analiza uobičajenih projektnih rizika i rizika specifičnih za projekte digitalizacije elektroenergetskih sistema. Analiza je zasnovana na stručnoj literaturi i iskustvima diversifikovanog skupa anketiranih profesionalaca. Dobijeni rezultati identifikuju najučestalije rizike i izazove, kao i najefikasnije strategije mitigacije primenjene u praksi. Ovi nalazi omogućavaju budućim projektima za digitalizaciju elektroenergetskih sistema da u veoma ranoj fazi prepoznaju ključne rizike i primene proverene proaktivne pristupe u detekciji i upravljanju rizicima, čime se povećava uspešnost projekata i ubrzava proces digitalizacije elektroenergetskih sistema.

Ključne reči: Digitalizacija elektroenergetskih sistema, Upravljanje rizicima, Mitigacione strategije, Projekti u elektrodistribuciji, Analiza rizika

ABSTRACT

The digitalization of power systems introduces a wide spectrum of risks, ranging from organizational to technical, with some risks potentially developing into challenges that significantly impact projects and their overall contribution to the digitalization of power systems. A key question for project teams is the timely identification of risks and the selection of appropriate strategies for managing them, especially those with the greatest potential to impact on project execution, project team, stakeholders, and the digitalization process itself. This paper presents an analysis of common project risks and those specific to power system digitalization projects. The analysis is based on professional literature and the experiences of a diverse group of surveyed industry experts. The results identify the most frequent risks and challenges, as well as the most effective mitigation strategies applied in practice. These findings enable future projects to recognize key risks early on and apply proactive approaches to risk

* Ilija Ivetić ilija.ivetic@se.com; Jovan Lukić jovan.lukic@se.com

General

detection and management, thereby increasing project success and accelerating the digitalization of power systems.

Keywords: Power System Digitalization, risk management, mitigation strategies, Smart Grid projects, Risk Analyses

1 UVOD

Modernizacija konvencionalnih elektroenergetskih sistema u digitalne elektroenergetske sisteme, uspostavljanjem pametnih mreža (engl. *Smart Grid*), smatra se revolucijom elektroenergetskog sektora. Pametne mreže nisu samo nadogradnja postojećih elektroenergetskih sistema, već se smatraju suštinskom promenom. One koriste savremene komunikacione, automatizacione i digitalne tehnologije kako bi optimizovale proizvodnju, prenos, distribuciju i potrošnju električne energije [1]. Ne postoji jedinstvena definicija pametne mreže. Prema dokumentu o strateškom uvođenju evropskih elektroenergetskih mreža budućnosti, pametna mreža je elektroenergetski sistem koji inteligentno integriše aktivnosti svih priključenih korisnika. Cilj je da se obezbedi pouzdano, održivo, ekonomski isplativo i bezbedno snabdevanje električnom energijom [2].

Glavne karakteristike savremenih pametnih mreža su [3]:

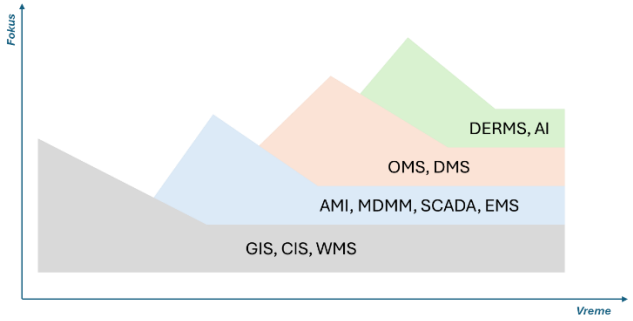
1) Napredna komunikacija i analitika podataka.
2) Integrisana decentralizovana proizvodnja.
3) Unapređeno upravljanje i bezbednost.
4) Aktivna uključenost potrošača.

Tehnologije koje učestvuju u digitalizaciji elektroenergetskih sistema, tj. tehnologije koji ovakav sistem čine pametnim, povećavajući njegovu otpornost i održivost su [1], [4]:

- Napredni komunikacioni sistemi (npr. Wi-Fi, 5G, Fiber-Optic, itd.).
- Pametna brojila (engl. *Advanced Metering Infrastructure* – AMI).
- MDMS (engl. *Meter Data Management System*).
- GIS (engl. *Geographic Information System*).
- CIS (engl. *Customer Information System*).
- WMS (engl. *Work Management System*)
- SCADA (engl. *Supervisory Control and Data Acquisition Systems*).
- OMS (engl. *Outage Management System*).
- DMS (engl. *Distribution Management System*).
- EMS .(engl. *Energy Management System*).
- DERMS (engl. *Distributed Energy Resource Management Systems*).
- IoT senzori (engl. *Internet of Things*)
- AI platforme (engl. *Artificial Intelligence*).
- Itd.

Potreba za digitalizacijom elektroenergetskih sistema raste zbog sve veće kompleksnosti sistema i zahteva koje moraju da ispune. Dodatni pritisak dolazi od rasta udela distribuiranih energetski resursa (DER) [1], rasta potrošnje [5] i porasta bezbednosnih rizika i zahteva za privatnost podataka [6].

Operatori elektroenergetskih sistema (OES), implementiraju ove tehnologije uglavnom postepeno, u zavisnosti od potreba, ali i mogućnosti. Tipična evolucija [4] je prikazana na *Slika 1*.



Slika 1 - Evolucija implementacije tehnologija za digitalizaciju elektroenergetskog sistema

OES navedena digitalna rešenje, implementira kroz jedan ili više projekata. Institut za projektni menadžment (engl. *Project Management Institute PMI*) [7] definiše projekat kao privremenu inicijativu u jedinstvenom kontekstu, preduzetu radi stvaranja vrednosti. Privremena priroda projekta ukazuje na početak i kraj projektnog rada ili faze projektnog rada. Jedinstveni kontekst projekta može biti uslovljen njegovim posebnim ciljevima, uslovima okruženja, pristupima, zainteresovanim stranama ili drugim dimenzijama.

U skladu sa time, projekat za digitalizaciju elektroenergetskih sistema, definiše se kao privremena inicijativa, u jedinstvenom tehničkom i poslovnom kontekstu. Ovakav projekat uvodi ili unapređuje digitalne tehnologije, sisteme i procese, kako bi se povećala efikasnost, pouzdanost, ekonomska isplativost i bezbednosti u snabdevanju električnom energijom. Glavni elementi implementacije ovakvih projekata [4] su prikazani na *Slika 2*.



Slika 2 - Glavni elementi implementacije pametnih mreža

Ovakvi projekti su kompleksniji nego prosečni, jer implementiraju više tehnologija, menjaju veliki broja biznis procesa i angažuju krajnje korisnike u paraleli. U proseku traju nekoliko godina, uključuju više desetina-stotina ljudi, a vrednost investicija je reda miliona i desetina miliona €. Dodatno, kompleksnost povećava i činjenica da su proizvođači tehnologija različiti po zrelosti i robusnosti svojih proizvoda [4].

Izazov predstavlja širi pojam i odnosi se na zahtevnu ili novu situaciju koja zahteva dodatni napor, prilagođavanje ili inovativna rešenja, pri čemu postoji potencijal za napredak ukoliko se izazov uspešno savlada. Ključna karakteristika izazova jeste da on implicitno uključuje neizvesnost, ali je fokusiran na proces suočavanja i mogućnost unapređenja.

Rizik, u smislu kako ga definiše PMI [8], predstavlja formalizovanu manifestaciju te neizvesnosti u okviru izazova. Konkretno, rizik je neizvestan događaj ili uslov koji, ako se

ostvari, može imati pozitivan ili negativan uticaj na ostvarenje projektnih ili drugih ciljeva. Pozitivni rizici su prilike, dok su negativni rizici pretnje (u daljem tekstu rizici).

U ovom radu, izazov opisuje situaciju kao celinu (kontekst i zahtevnost), dok rizik identifikuje i operacionalizuje pojedinačne izvore neizvesnosti unutar tog izazova.

Zbog značaja i kompleksnosti elektroenergetskih sistema, postavlja se pitanje kako proaktivno identifikovati izazove, prepoznati ključne rizike i implementirati adekvatna rešenja, tj. primeniti adekvatne mitigacione strategije kako bi se umanjio njihov uticaj.

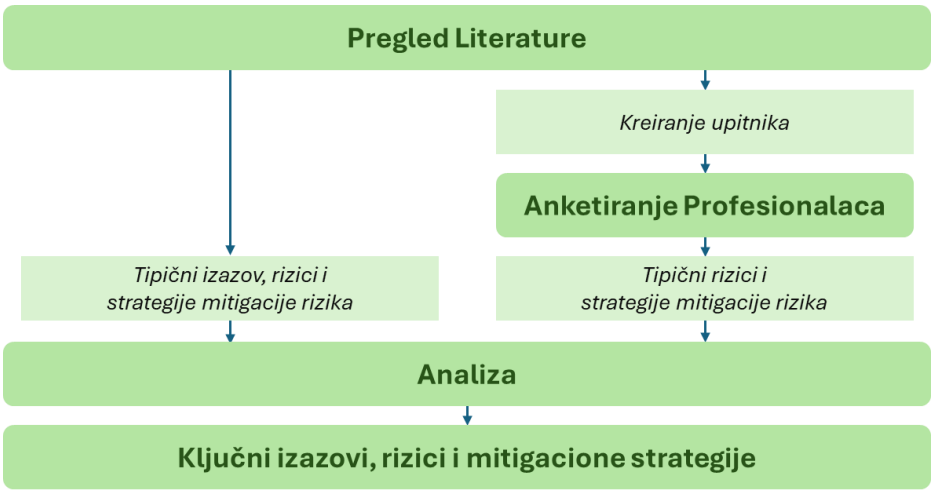
Glavni doprinos rada je: (1) identifikacija tipičnih izazova na projektima digitalizacije elektroenergetskih sistema, (2) izdvajanje najbitnijih rizika na osnovu literature i ankete stručnjaka, (3) predlog mitigacionih strategija za proaktivno upravljanje rizicima tokom realizacije projekta, i (4) algoritma koraka za uspešno izvođenje projekata digitalizacije.

Shodno tome, rad se može smatrati uputstvom za rešavanje izazova sa kojima se susreću projektni timovi tokom implementacije navedenih projekata. Time je industriji omogućena pouzdanija realizacija projekata, kao i brža i sigurnija digitalizacija elektroenergetskih sistema.

U poglavlju 2, opisana je metodologija prikupljanja, analize i obrade podataka o rizicima. U poglavlju 3 su ključni rezultati rada, sa prikazom tipičnih izazova, najbitnijih rizika i mitigacionih strategija, kao i preporuka algoritam za uspešni izvođenje projekata digitalizacije. U poglavlju 4 prikazan je doprinos rada kao i zaključak autora.

2 METODOLOGIJA

Istraživanje izazova i rizika je sprovedeno kombinovanjem sistematskog pregleda literature i ankete profesionalaca iz industrije, čime je obezbeđena veća robusnost i validacija dobijenih nalaza. Postupak istraživanja rizika, analize i sumiranja ključnih rezultata prikazan je na dijagramu na *Slika 3*. Ključni koraci navedenog postupka opisani su u narednim poglavljima.



Slika 3 – Dijagram postupka istraživanja

2.1 Pregled dosadašnjih istraživanja

Radi identifikovanja relevantnih radova i rezultata iz oblasti rizika u implementaciji projekata i projekta digitalizacije elektroenergetskih sistema, sprovedena je pretraga literature. Pretražene su baze *Scopus* (*https://www.scopus.com*), *Web of Science* (*https://www.webofscience.com*) i *IEEE Xplore* (*https://ieeexplore.ieee.org*), koje obuhvataju značajni deo akademske produkcije.

Rezultati analize, prikazani u formi tipičnih kategorija projektnih rizika predstavljeni su u poglavlju 3.1.

2.2 Anketiranje profesionalaca

U cilju dopune rezultata dobijenih pregledom literature i obezbeđivanja uvida u praktična iskustva iz realnih projekata, sprovedeno je anketiranje iskusnih profesionalaca - stručnjaka. U pitanju su stručnjaci sa velikim iskustvom u implementaciji projekte za digitalizacije elektroenergetskih sistema. Navedeni stručnjaci su iz OES kompanija, iz kompanija koje proizvode rešenja za digitalizaciju, kao i sistem integratori. Primarni cilj anketiranja bio je da se, na osnovu iskustva stručnjaka iz industrije, identifikuju najbitniji izazovi, tj. rizici i odgovarajuće mitigacione strategije.

Anketiranje je sprovedeno onlajn metodom, uz korišćenje strukturisanog upitnika. Stručnjacima je unapred objašnjena svrha istraživanja, uz jasno navođenje da se prikupljeni odgovori koriste isključivo u akademske i istraživačke svrhe. Navedeni upitnik je opisan u poglavlju 2.2.1, a uzorak anketiranih stručnjaka u poglavlju 2.2.2.

2.2.1 Upitnik

Upitnik je dizajniran tako da omogući prikupljanje jasnih, uporedivih i relevantnih podataka o iskustvima stručnjaka. Kreiran je na engleskom jeziku, sa ciljem da se prikupe iskustva profesionalaca sa svih kontinenata. Upitnik se sastoji se iz četiri logički povezane celine:

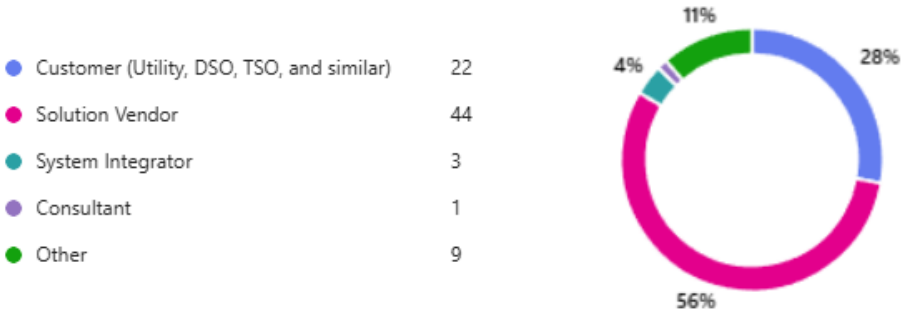
1) **Opšti podaci o ispitaniku:** tip organizacije kojoj stručnjak pripada, region u kom dominantno izvršava projekte, broj godina profesionalnog iskustva, profesionalna uloga koju dominanto ima u projektima.
2) **Podaci o projektu:** tipična kompleksnost projekta, tip projekta.
3) **Identifikacija rizika**: stručnjaci su ocenjivali učestalost i uticaj unapred definisanih rizika iz literature. Takođe su imali mogućnost da navedu dodatne rizike iz prakse koji nisu bili obuhvaćeni upitnikom.
4) **Mitigacione strategije**: u ovoj celini stručnjaci su označavali koje strategije ublažavanja rizika smatraju najefikasnijim, uz mogućnost da navedu i dodatne pristupe koji nisu obuhvaćeni početnom listom.

Upitnik je struktuiran kombinacijom pitanja sa višestrukim izborom, Likert (engl. *Likert, Rensisu*) skalama za procenu uticaja rizika na uspešnost projekta, kao i otvorenih tekstualnih polja za kvalitativne komentare.

2.2.2 Uzorak

Nakon isključivanja nevladinih unosa, dobijen je uzorak ispitanika od 79 stručnjaka sa relevantnim iskustvom u projektima digitalizacije elektroenergetskih sistema. U istraživanju su

učestvovali stručnjaci iz različitih profila, kako bi se dobio sveobuhvatan i reprezentativan uvid u izazove u praksi (videti *Slika 4*).



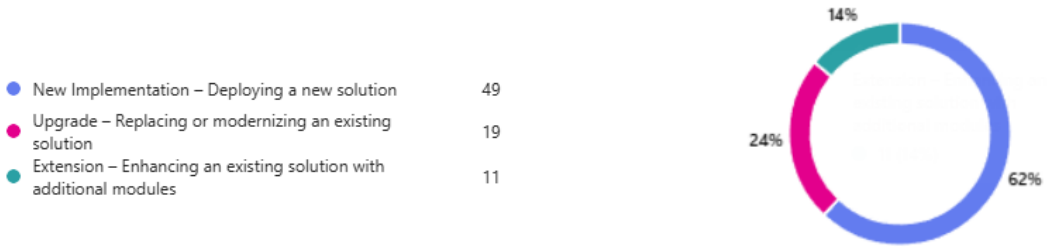
Slika 4 - Uzorak po tipu organizacije

Stručnjaci istraživanja dolaze iz različitih geografskih tržišta (videti *Slika 5*), što je omogućilo da se identifikuju najčešći rizici koji se pojavljuju bez obzira na specifični kontekst projekta.



Slika 5 - Uzorak po tržištu

Uzorak je takođe prikazao raznolikost u pogledu tipa samih projekta (videti *Slika 6*).



Slika 6 - Uzorak po tipu implementacije

3 KLJUČNI REZULTATI

U ovom delu najpre su predstavljeni tipični rizici identifikovani u projektima digitalizacije (videti poglavlje 3.1) na osnovu pregleda dosadašnjih istraživanja. Potom je dat uvid u rezultate ankete u poglavlju 3.2.

Poglavlje 3.3 prikazuje ključne rezultate i daje detaljan uvid u tipični izazove, najbitnije rizike i odgovarajuća strategije mitigacije za iste, kao i predlog koraka za uspešnu realizaciju projekata digitalizacije.

3.1 Tipične kategorije rizika dobijene na osnovu analize dosadašnjih istraživanja

Na osnovu dosadašnjih istraživanja [1]-[6], [9]- [19], izdvojene su tipične kategorije rizika u implementaciji projekata prikazane u *Tabela 1*.

Tabela 1 – Tipične kategorije rizika u implementaciji projekata digitalizacije

Tipične kategorije rizika	Opis rizika
Eksterni rizici (engl. *External Risks*)	• Promena zakona i regulativa • Prirodne pojave i nepogode • Birokratija i dobijanje dozvole od državnih institucija • Politika • Zaštita životne sredine, zdravlja i bezbednosti • Tržište i konkurencija
Projektni, operacioni i finansijski rizici (engl. *Project management, Operations & Finance Risks*)	• Neadekvatno planirano vreme isporuke • Produžetak faze dizajna • Neadekvatno vreme za fazu testiranja • Neadekvatna komunikacija i koordinacija • Neadekvatna upravljanje promenama • Obučenost, veštine i znanje • Nedostatak ljudskih resursa na strani kupca • Nedostatak ljudskih resursa na strani dobavljača • Različito razumevanje projektnih zahteva • Sporo donošenje odluka • Produktivnost i motivacija • Bezbednost i zaštita na radu • Neusklađenost prioriteta • Neadekvatan model upravljanja • Razvojni tim dobavljača nije uključen u ugovaranje prilagođavanja rešenja • Nedostatak zvanične dokumentacije dobavljača • Neadekvatan budžet • Visoki inicijalni troškovi • Inflacija • Naplata • Kontradiktorni ugovori
Rizici lanca snabdevanja i dobavljača (engl. *Supply Chain & Supplier Risks*)	• Nepouzdanost dobavljača i podizvođača • Međusobne zavisnosti između proizvođača • Logistika • Zalihe • Nedostupnost materijala • Nedostupnost opreme trećih strana • Zastarevanje ili gubitak podrške za opremu trećih strana • Kašnjenja u isporuci sistema trećih strana
Tehnički rizici (engl. *Technical Risks*)	• Kompleksnost tehnologije • Tehničke izmene • Tehnički interfejsi • Neadekvatan kvalitet rešenja • Neadekvatne performansi rešenja • Kontrola kvaliteta • Neadekvatno planiranje i dizajn, izmene dizajna
Integracioni rizici (engl. *Integration & Interoperability Risks*)	• Zastarela oprema i sistemi • Nedovoljan kvalitet osnovnih podataka • Potcenjen obim rada na izradi i čišćenju mrežnog modela • Neusklađeni zahtevi dizajna između kupca (OES) i dobavljača • Potcenjena složenost interfejsa komponenti sistema pametne mreže

	• Nespremnost sistema sa strane kupca za integraciju • Nespremnost sistema sa strane dobavljača za integraciju • Neusklađenost specifikacija sa odobrenim dizajnom
Bezbednosni rizici (engl. *Cybersecurity Risks*)	• Privatnost podataka krajnjih potrošača • Neadekvatna arhitektura bezbednosti • Ranjivosti komunikacionih mreža, daljinskog pristupa i terenskih uređaja • Neusklađenost sa okvirima sajber-bezbednosti • Slabo upravljanje identitetima i pristupom
Rizici upravljanja promenama i zainteresovanim stranama (engl. *Change Management & Stakeholders Risks*))	• Neadekvatno upravljanje promenama • Sporo donošenje odluka • Neusklađenost korporativnih kultura • Saradnja i timski rad • Zajednička posvećenost uspehu projekta • Neusklađenost prioriteta • Različito razumevanje projektnih zahteva između kupca i dobavljača • Neadekvatna uključenost krajnjih korisnika • Otpor krajnjih korisnika prema usvajanju rešenja • Nedovoljni podsticaji • Pravičnost • Mentalitet podele dobitaka i gubitaka
Strategijski rizici (engl. *Strategical Risks*)	• Pogrešan izbor strategije • Strateški prioriteti i planiranje • Strateška partnerstva • Zavisnost od jedne tehnologije

3.2 Rezultati anketiranja profesionalaca

Rezultati upitnika sa tipičnom kategorijom i rizicima unutar kategorije su prikazani u *Tabela 2*. Rizici unutar kategorije sortirani su od bitnijeg ka manjem bitnom, uzimajući ocene profesionalaca koje su dali na osnovu svog iskustva i profesionalnog mišljenja. U tabeli su zadržani originalni termini iz upitnika (na engleskom jeziku) radi tačnosti.

Tabela 2 – Prikaz rizika na osnovu rezultata upitnika

Kategorija rizika	Opis rizika
Stakeholder & Change Management	*(Un)availability of key leaders (decision makers), decision-making bottlenecks*
	Misalignment among customer and vendor teams
	Insufficient engagement of end-users (e.g. control room operators) in requirements, leading to poor usability and low adoption
	Resistance to change by end-users of the solution
Organizational & Governance	*Misaligned expectations of business sponsors*
	Governance model inadequate for the project (not functioning)
	Vendor's Development Team not involved in customization agreements
	Lack of official vendor documentation (functional specification, design, testing, deployment, security, and similar)
Supply Chain	*3rd Party hardware / equipment availability issues*
	3rd Party hardware / equipment becoming obsolete or unsupported before full rollout
	Delays/Issues in 3rd-party systems delivery
	Tight project schedule
	Prolonged design period

Kategorija rizika	Opis rizika
Scope / Schedule / Cost	*Short (need extension of) testing phases*
	Lack of Vendor resources to meet deadlines
	Lack of Customer resources to meet deadlines
	Insufficient budget allocated to the project
Integration & Interoperability	*Poor master data quality leading to incorrect network models*
	Underestimation of effort for network model build and cleansing
	Design requirements not aligned between Customer & Vendor
	Interfaces between Smart Grid components and other systems are more complex than originally estimated
	Customer systems not ready for integration
	Vendor systems not ready for integration
	Specifications not meeting approved design
Technology Maturity & Quality	*Lower than expected solution quality*
	Solution performance not meeting expectations/specifications
Cybersecurity & Data Privacy	*Inadequate security architecture*
	Vulnerabilities in communication networks, remote access, and field devices
	Non-compliance with utility or national cybersecurity frameworks
	Weak identity and access management across multiple vendors and systems
Regulatory Requirements	*Misalignment with current or emerging regulatory requirements*
	Long or uncertain approvals from regulators, energy ministries, or data protection authorities

Pored analiziranih rizika anketirani stručnjaci dodatno navode i sledeće rizike:

- Generički zahtevi (navedeno tri puta).
- Rizik jezičke barijere, za slučaj kada projekat izvršavaju stručnjaci sa različitih govornih područaja (navedeno dva puta).
- Manjak znanja i stručnosti (navedeno dva puta).

Korišćenjem istih principa rezultati za svaku od mitigacionih strategija su prikazani u *Tabela 3*.

Tabela 3 – Prikaz mitigacionih strategija na osnovu rezultata upitnika

Kategorija rizika	Mitigaciona strategija
Stakeholder & Change Management	*Early and continuous stakeholder engagement - Regular alignment between customer, vendor, operators, and sponsors ensures clarity of objectives.*
	End-user involvement in requirements definition - Early participation of roles such as control room operators improves usability and feature adoption.
	Structured Change Management program - Formalizing communication, training, and readiness processes to support large digital transformations.
	Clear decision-making framework - Defined escalation rules and delegated authority reduce delays caused by unavailable decision makers.
	Joint governance between customer and vendor teams - Steering committees and cross-functional forums maintain alignment across teams during the project lifecycle.
Organizational & Governance	*Cross-functional governance model - Joint representation of IT, OT, operations, planning, cybersecurity, and vendors improves coordination.*
	Expectation management with business sponsors - Aligning outcomes, KPIs, and benefits realization prevents future dissatisfaction and escalation.

Kategorija rizika	Mitigaciona strategija
	Vendor development team involvement early in design and customization - Early engagement of vendor development teams ensures feasibility and reduces later rework.
	Mandatory vendor documentation package - Standardized deliverables for design, testing, deployment, and security reduce ambiguity.
	Knowledge transfer between vendor and utility - Formal handover, training, and documentation support long-term operational readiness.
Supply Chain	*Early procurement and long-lead material planning - Planning critical components with sufficient lead time reduces delays.*
	Multi-vendor sourcing strategy - Using alternative suppliers reduces dependency on a single vendor.
	Lifecycle and obsolescence management - Aligning with vendor roadmaps ensures components remain supported during rollout.
	Readiness gates for third-party systems - Formal readiness checkpoints ensure external systems are available for integration.
Scope / Schedule / Cost	*Realistic project scheduling with contingency reserves - Stabilization windows and reserved testing cycles reduce schedule slippage.*
	Strict change control framework - Change control boards maintain scope integrity and prevent uncontrolled additions.
	Dedicated and extended testing phases - Allocating sufficient time and resources reduces quality issues at deployment.
	Ensuring resource availability on both vendor and customer side - Capacity alignment prevents bottlenecks in development, testing, and field work.
	Budget contingency and transparent cost management - Contingencies absorb overruns caused by integration or data correction effort.
Integration & Interoperability	*Standardized interfaces and protocols - Using CIM, IEC 61850, DNP3, MultiSpeak, and harmonized API models reduces integration complexity.*
	Master Data Governance and continuous data quality checks - Strong governance ensures accurate ADMS/OMS/GIS models and reduces operational errors.
	Early and detailed ICD (Interface Specification Design) definition - Clear interface specifications reduce integration rework and prevent misalignment.
	Integration readiness gates - Defined criteria ensure vendor and customer systems are ready before FAT/SIT/SAT.
	Performance and load testing for real-time systems - Testing under realistic network and operational loads validates system readiness.
Technology Maturity & Quality	*Quality gates (FAT, SIT, SAT, UAT, NFR testing) - Structured testing cycles catch defects before deployment.*
	Alignment with vendor technology roadmap - Version control and lifecycle planning reduce adoption of unstable or unsupported releases.
Cybersecurity & Data Privacy	*Security-by-Design architecture - Defining cybersecurity requirements before system design ensures full coverage.*
	Network segmentation and OT device hardening - Segmented networks and hardened RTUs/IEDs reduce cyber exposure.
	Compliance with established cybersecurity frameworks - Applying NERC CIP, ISO 27001, or local critical infrastructure standards ensures compliance.
	Centralized IAM (Identity Access Management) and privileged access control - Centralized identity management reduces credential misuse and blind spots.
	Regular Vulnerability Assessments - Recurrent assessments identify weaknesses in interfaces, networks, and field devices.
Regulatory Requirements	*Continuous monitoring of regulatory changes - Tracking evolving standards ensures long-term compliance.*
	Early engagement with regulators and ministries - Proactive engagement reduces approval-cycle uncertainty.
	Scenario modeling for tariff and cost-recovery risk - Business-case simulation helps anticipate regulatory or tariff impacts.

Pored analiziranih mitigacionih strategija anketirani stručnjaci dodatno navode i sledeću mitigaciju:

- Uvesti fazu upoznavanja sa tehnološkim rešenjima pre faze dizajna (navedeno dva puta).

3.3 Ključni nalazi

Ključni nalazi su prikazani u ovom deli i organizovani su u tri celine:

1) Tipični izazovi tokom projekata za digitalizaciju elektroenergetskih sistema su prikazani u poglavlju 3.3.1.
2) Najbitniji rizici i odgovarajuće mitigacione strategije za njihovo rešavanje navedeni su u poglavlju 3.3.2.
3) Ključni saveti za projektne timove predstavljeni su u poglavlju 3.3.3.

3.3.1 Tipični izazovi

Na osnovu urađene analize izdvojeni su sledeći tipični izazovi, koji se sreću tokom projekata za digitalizaciju elektroenergetskih sistema su:

1. Usklađivanje prioriteta i osmišljavanje projekta digitalizovanje elektroenergetskih sistema.
2. Prikupljanje svih potrebnih resursa za izvedbu projekta digitalizacije.
3. Digitalizacija poslovnih procesa, digitalizacija i kvalitet podataka, i pravljenje digitalnih blizanaca elektroenergetskog sistema.
4. Realizacija projekta digitalizacije.
5. Upravljanje promenama i organizaciona spremnost za promene.
6. Integracija digitalizovanog elektroenergetskog sistema u poslovno i tehničko okruženje OES kompanije.
7. Skalabilnost i dugoročna održivost digitalnih rešenja.

3.3.2 Najbitniji rizici i mitigacione strategije

U ovom radu, pored identifikovanih izazova, analizirani su i prateći rizici. Rizici su prepoznati kombinovanjem nalaza iz relevantne literature i rezultata upitnika prosleđenih stručnjacima koji su radili na ovim projektima. Za svaki uočeni rizik definisane su mitigacione strategije koje mogu doprineti njegovom ublažavanju ili potpunom otklanjanju.

Važno je naglasiti da ne postoji univerzalna mitigacija primenljiva na pomenute rizike. Zbog toga je za svaki rizik definisano više relevantnih mitigacionih strategija, kako bi timovi mogli da izaberu jednu ili više njima odgovarajućih. Izbor mitigacije zavisi od konteksta organizacije, raspoloživih resursa i vremena, kao i od procene koliko je određeni rizik relevantan za konkretnu kompaniju i projekat.

Na osnovu sprovedene analize izdvojeno je deset najbitnijih rizika (videti *Tabela 4*), koji su upareni sa odgovarajućim rešenjima, tj. mitigacionim strategijama.

Tabela 4 - Najbitniji rizici i mitigacione strategije u projektima za digitalizaciju elektroenergetskih sistema

Kategorija rizika	Opis rizika	Mitigacione strategije
Projektni, operacioni i finansijski rizici	**Neadekvatno planirano vreme isporuke**	✓ Realistično planiranje projekta uz rezervu za nepredviđene okolnosti. ✓ Redovno praćenje kritičnog puta, međuzavisnosti aktivnosti i resursnih ograničenja. ✓ Proaktivno planiranje stabilizacionih perioda i rezervisani ciklusi testiranja. ✓ Fazno planiranje i redovno re-planiranje. Detaljno planiranje kratkoročnih faza uz postupno razrađivanje daljih faza projekta. ✓ Uspostavljanje procesa stroge kontrole promenama. Uspostavljanje odbora za kontrolu promena. ✓ Proaktivno planiranje i obezbeđivanje dostupnosti resursa na strani dobavljača i OES. ✓ Konsultovanje istorijskih podataka, iskustava i studija o sličnim projektima.
	Nedostatak OES ljudskih resursa, za ispunjavanje rokova	✓ Proaktivno planiranje i obezbeđivanje dostupnosti resursa na strani OES. Rano potvrđivanje obaveza i dostupnosti resursa. ✓ Redovno praćenje opterećenja i ranih indikatora rizika. ✓ Jasno definisane odgovornosti i prioriteta. Formalizacija odgovornosti OES resursa i jasno rangiranje projektnih prioriteta u odnosu na redovne operativne aktivnosti. ✓ Usklađivanje projektnog plana sa operativnim opterećenjem OES resursa, kroz zajedničko kapacitetsko planiranje. ✓ Identifikovanje alternativnih resursa ili angažovanje dobavljača i/ili podizvođača. ✓ Formalizacija eskalacionih kanala ukoliko ključni resursi postanu nedostupni. ✓ Realistično planiranje projekta uz rezervu za nepredviđene okolnosti.
	Produžena faza dizajna	✓ Definisati prioritete očekivanih ishoda i benefita. ✓ Uključivanje ključnih poslovnih i tehničkih donosioca odluka od samog početka. ✓ Planirati period upoznavanja sa karakteristikama novog sistemom pre početka dizajna. ✓ Primena iterativnog, vremenski ograničenog dizajna sa unapred definisanim izlazima po iteraciji. ✓ Uspostavljanje procesa stroge kontrole promenama. Uspostavljanje odbora za kontrolu promena. ✓ Realistično planiranje projekta uz rezervu za nepredviđene okolnosti.

Kategorija rizika	Opis rizika	Mitigacione strategije
	Neadekvatan budžet za izvršavanje projekta	✓ Realistično planiranje troškova, uključivanje budžetskih rezervi. ✓ Transparentno upravljanje i praćenje troškova. Redovno finansijsko izveštavanje. ✓ Uspostavljanje procesa stroge kontrole promenama. Uspostavljanje odbora za kontrolu promena. ✓ Konsultovanje istorijskih podataka, iskustava i studija o sličnim projektima. ✓ Aktivno uključivanje biznis sponzora u potvrđivanje prioriteta, kompromisa i eventualnih korekcija budžeta.
Rizici upravljanja promenama i zainteresovanim stranama	**(Ne)dostupnost donosioca odluka**, uska grla u donošenju odluka	✓ Definisanje jasnog okvira za donošenje odluka. Definisanje vremenskih rokova za donošenje odluka. ✓ Definisanje pravila eskalacije i delegiranje ovlašćenja. ✓ Uvođenje redovnih sastanaka upravljačkih odbora (engl. *steering committee*) sa unapred definisanim temama i odlukama za donošenje. ✓ Posebno praćenje i eskalacija odluka koje direktno utiču na kritični put i ključne rokove.
	Otpor promenama od strane krajnjih korisnika rešenja. Nedovoljno uključivanje krajnjih korisnika (npr. operatera kontrolne sobe) u definisanje zahteva, što dovodi do loše upotrebljivosti i slabog usvajanja rešenja	✓ Uključivanje krajnjih korisnika u definisanje zahteva. Rano učešće krajnjih korisnika, kao što su operateri kontrolne sob. ✓ Uvođenje strukturiranog programa upravljanja promenama koji obuhvata komunikaciju, obuke, procene spremnosti i pripremu korisnika za novo rešenje. ✓ Komunikacija fokusirana na konkretne koristi za krajnje korisnike (olakšan rad, smanjenje grešaka, veća sigurnost), a ne samo na tehničke funkcionalnosti. ✓ Identifikovanje i uključivanje „super korisnika" predstavnika iz operativnih timova koji učestvuju u dizajnu i promociji rešenja među kolegama. ✓ Razvoj obuka zasnovanih na realnim operativnim scenarijima, uz praktične vežbe pre produkcionog puštanja sistema. ✓ Planirati period pojačane operativne podrške. Osigurati prisustvo predstavnika proizvođača tokom produkcionog puštanja sistema, kao i u periodu nakon toga. ✓ Uspostavljanje metrika za praćenje usvajanja rešenja, upotrebljivosti i zadovoljstva krajnjih korisnika nakon implementacije.
	Neusklađenost između timova OES i dobavljača	✓ Formalno definisanje odgovornosti OES timova i dobavljača kroz RACI matricu ili ekvivalentan model. ✓ Uspostavljanje zajedničke strukture upravljanja (engl. *joint governance*), sa jasno definisanim eskalacionim putevima.

Kategorija rizika	Opis rizika	Mitigacione strategije
		✓ Zajednički model upravljanja između klijentskih i dobavljačkih timova, kroz uspostavljanje upravljačkih odbora i međufunkcionalnih foruma radi kontinuiranog usklađivanja tokom životnog ciklusa projekta. ✓ Usklađivanje planova rada, rokova i ključnih ciljeva između OES timova i dobavljača tokom planiranja i ključnih faza projekta.
	Neadekvatno upravljanje promenama. Nekontrolisano širenje obima projekta.	✓ Jasno definisan i formalno odobren početni obim projekta (engl. *baseline*). ✓ Redovno upoređivanje stvarno izvršenog rada sa odobrenim obimom. ✓ Uspostavljanje procesa stroge kontrole promenama. Uspostavljanje odbora za kontrolu promena. ✓ Jasna komunikacija prema svim zainteresovanim stranama da se izmene van formalnog procesa neće realizovati, bez obzira na urgentnost ili izvor zahteva. ✓ Obavezna analiza uticaja svake promene na raspored, troškove, resurse, kvalitet i rizike pre odobrenja. ✓ Konstantno usklađivanje očekivanja zainteresovanih strana u pogledu obima, prioriteta i kompromisa između vremena, troškova i funkcionalnosti.
	Neusklađena očekivanja biznis sponzora	✓ Dokumentovanje i formalno odobrenje projektnih ciljeva, očekivanih ishoda i opsega na početku projekta. ✓ Upravljanje očekivanjima biznis sponzora, kroz usklađivanje ishoda, KPI-jeva i realizacije benefita. ✓ Uspostavljanje redovnih statusnih i upravljačkih sastanaka fokusiranih na ishode, napredak i odstupanja u odnosu na očekivanja. ✓ Imenovanje odgovornog vlasnika za realizaciju svakog ključnog benefita, uz jasno definisane odgovornosti.
Integracioni rizici	**Loš kvalitet podataka**, koji dovodi do netačnih modela mreže. Potcenjivanje potrebnog napora za izgradnju modela mreže i čišćenje podataka.	✓ Sprovođenje inicijalne analize radi utvrđivanja potpunosti, tačnosti, konzistentnosti i logičke ispravnost podataka pre početka projekta. ✓ Uspostavljanje formalnih pravila kvaliteta podataka (npr. obavezni atributi, dozvoljene vrednosti). ✓ Iterativni pristup čišćenju podataka uz redovnu validaciju i potvrdu kvaliteta podataka pre daljeg proširenja mrežnog modela. ✓ Definisanje odgovornosti između projektnih timova, domenskih eksperata i vlasnika podataka. ✓ Konsultovanje istorijskih podataka, iskustava i studija o sličnim projektima.

Rezultati ukazuju da organizacioni i ljudski faktori snažno utiču na uspeh projekata digitalizacije. Tehnička rešenja su neophodna, ali sama po sebi nisu dovoljan uslov uspeha.

3.3.3 Saveti za projektne timove

Preporuke autora za obezbeđivanje uspešne realizacije projekata digitalizacije i smanjenje uticaja identifikovanih izazova prikazane su u formi uprošćenog algoritma na *Slika 7*. U koracima 3–5 mogu se koristiti izazovi, rizici i mitigacione strategije predloženi u ovom radu, uz mogućnost prilagođavanja i dopune u skladu sa specifičnostima konkretne OES kompanije i projekta.



Slika 7 – Algoritam za uspešno izvođenje projekata za digitalizaciju elektroenergetskog sistema

4 ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirani su tipični izazovi tokom implementacije projekata digitalizacije elektroenergetskih sistema, kroz prikaz konkretnih projektnih rizika i povezivanje sa odgovarajućim mitigacionim strategijama. Analiza je zasnovana na pregledu stručne literature i uvidima anketiranih stručnjaka iz različitih tržišta, čime su identifikovani tipični izazovi i najbitniji rizici koji mogu ugroziti uspešnost projekta (rokove, budžet, kvalitet i usvajanje rešenja).

Rezultati rada omogućavaju projektnim timovima da u ranoj fazi prepoznaju ključne izazove, rizike i primene proaktivne mere za njihovo ublažavanje ili otklanjanje. Pored pregleda izazova, rizika i mitigacija, predložen je i uprošćeni algoritam koraka za uspešniju realizaciju projekata digitalizacije, koji se može prilagoditi specifičnostima svake OES kompanije i konkretnog projekta.

Dalji rad biće usmeren na detaljniju analizu izazova po fazama projekta i po tipovima projekata digitalizacije, kako bi se preporuke dodatno operacionalizovale za različite kontekste primene.

LITERATURA

[1] Rameez A. and Abdullah A. K., "Smart Grids: A Comprehensive Review of Technologies, Challenges, and Future Directions", *Journal of Engineering and Computational Intelligence Review (JECIR)*, Volume 2, Issue 2, 2024, pp. 45-70.
[2] Maria L. T., Michael L. A., "A review of the development of Smart Grid technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 2016, pp. 710-715. DOI: 10.1016/j.rser.2016.01.011
[3] Bikram S., Harkamaldeep S., Santosh K., "Overview of Implementation of Smart Grid Technology", *Journal of Engineering, Management and Information Technology (JEMIT)*, Vol. 02, No. 04, 2024, pp.185 -194, DOI:10.61552/JEMIT.2024.04.003
[4] James A. K., "Successful Smart Grid Implementation", *PennWell*, 2015, pp.1-284, ISBN: 978-1-59370-351-6
[5] Herath H.M.D.M, Weerasekara N.A., Perera K.L.D.P, "An Extensive Review of Smart Grid Technology: Enhancing Energy Efficiency and Reliability", *Journal of Research Technology and Engineering (JRTE)*, 5 (4), 2024, pp. 169-202.
[6] Wanyu X., "Research on Risk Assessment of Smart Grid Project", *4th National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (NCEECE 2015)*, 2015, pp. 558-562.
[7] Uputstvo i standard: "A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Eighth Edition and The Standard for Project Management", *Project Management Institute*, 2025, pp.1-294, ISBN: 978-1-62825-829-5
[8] Uputstvo i standard: "Risk Management in Portfolios, Programs, and Projects: A Practice Guide", *Project Management Institute*, 2024, pp. 1-150, ISBN: 978-1-62825-816-5
[9] Christian A. R., Stefan S., ""Key risks in the supply chain of large scale engineering and construction projects", *Supply Chain Management: An International Journal*, 2018, pp. 336-350, DOI: 10.1108/SCM-09-2017-0292
[10] Davide A., Riccardo D., Valeria M., Simone P., "Supply chain management: a review of implementation risks in the construction industry", *Business Process Management Journal*, 2012, pp.735-761, DOI: 10.1108/14637151211270135
[11] Budi H., "*From project risk to complexity analysis: a systematic classification*", *International Journal of Managing Projects in Business*, 2018, pp. 734-760, DOI:10.1108/IJMPB-09-2017-0108
[12] Laila M. K., Mohamed N., "Identifying key risks in infrastructure projects – Case study of Cairo Festival City project in Egypt", *Ain Shams Engineering Journal*, 2019, pp. 613-621, DOI: 10.1016/j.asej.2018.11.003
[13] Zvonko S., Mladen R., "Risk Breakdown Structure for Construction Projects on Existing Buildings", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2014, pp.894-901, DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.03.100
[14] Ali R., Chike F. O., "Key risks in construction projects in Italy: contractors' perspective", *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2017, pp. 451–462, DOI: 10.1108/ECAM-09-2015-0142
[15] Roy S., Kalle L., Mark K., Paul C., "Identifying Software Project Risks: An International Delphi Study", *Journal of Management Information Systems*, 2015, pp. 5-36, DOI: 10.1080/07421222.2001.11045662
[16] Ahmed A. A., Tarek M. H., "Smart grid (SG) properties and challenges: an overview", *Discovery Energy*, Vol 2:8, 2022, DOI: 10.1007/s43937-022-00013-x

[17] Dongming F., Yi R., Qiang F., Yiliu L., Zili W., Jing L, "Restoration of smart grids: Current status, challenges, and opportunities", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol 143, 2021, DOI: 10.1016/j.rser.2021.110909

[18] Surender R. S., "Challenges, issues and opportunities for the development of smart grid", *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 2020, pp. 1179-1186, DOI: 10.11591/ijece.v10i2

[19] Golam R, Fahad B. R. C., Abdulla A. M., Rakib H., Sayeed M., "Summary of Smart Grid: Benefits and Issues", *International Journal of Scientific & Engineering Research* , Vol 4, 2013, ISSN 2229-5518