Broj rada: R4-09
DOI:10.46793/CIRED2026.R4-09_143

IZAZOVI I ISKUSTVA SA PROJEKATA IMPLEMENTACIJE SOFTVERA ZA SISTEME UPRAVLJANJA DISTRIBUIRANIM RESURSIMA (DERMS)

CHALLENGES AND LESSONS LEARNED FROM IMPLEMENTING DISTRIBUTED ENERGY RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS (DERMS)

Branko MILJEVIĆ, Schneider Electric, Srbija*

KRATAK SADRŽAJ

Implementacija naprednih softverskih sistema za upravljanje distribuiranim resursima (DERMS) postaje ključni element transformacije elektrodistributivnih preduzeća koja prelaze iz tradicionalnog modela rada u digitalno podržane i automatizovane operacije. Kompleksnost savremenih mreža, značajan porast distribuiranih izvora energije (DER), kao i potreba za povećanjem operativne efikasnosti i pouzdanosti, zahtevaju integrisana rešenja koja obuhvataju kvalitetan mrežni model, napredne algoritme i orkestraciju podataka u realnom vremenu. Tokom implementacija ovakvih sistema u različitim distributivnim preduzećima identifikovani su brojni izazovi, od kvaliteta i dostupnosti podataka, preko integracije sa postojećim SCADA i GIS sistemima, do prilagođavanja rešenja specifičnostima lokalnih mreža i korisničkih procesa.

Ovaj rad daje pregled ključnih iskustava stečenih na više međunarodnih i regionalnih projekata, uz naglasak na tehničke, organizacione i procesne faktore koji imaju najveći uticaj na uspešnu realizaciju. Poseban fokus stavljen je na iskustva sa realnih projekata, naučene lekcije, kao i na razumevanje ključnih zahteva distributivnih preduzeća i problema sa kojima se ona suočavaju tokom uvođenja ovakvih sistema. Rad pokazuje da kombinacija standardizovanog pristupa, fleksibilnosti softverskog rešenja i bliske saradnje sa korisnikom predstavlja ključ za uspešno puštanje sistema u rad. Prikazana iskustva mogu poslužiti kao smernice za unapređenje budućih projekata i smanjenje rizika tokom implementacije naprednih sistema za upravljanje distribucijom energije.

Ključne reči: DERMS, distribuirani energetski resursi, elektrodistributivna mreža, implementacija softvera, integracija sistema, naučene lekcije

ABSTRACT

The implementation of advanced Distributed Energy Resource Management Systems (DERMS) is becoming a key component in the transformation of electric distribution utilities transitioning from traditional operating models to digitally enabled and automated operations. The complexity of modern distribution networks, the significant growth of distributed energy resources (DERs), and the need to improve operational efficiency and reliability require integrated solutions that encompass a high-quality network model, advanced algorithms, and

* Branko Miljević, branko.miljevich@gmail.com

real-time data orchestration. During the implementation of such systems across various distribution utilities, numerous challenges have been identified, ranging from data quality and availability issues, through integration with existing SCADA and GIS systems, to adapting solutions to the specific characteristics of local networks and utility business processes.

This paper provides an overview of the key experiences gained from several international and regional projects, with a particular emphasis on the technical, organizational, and process-related factors that have the greatest impact on successful implementation. Special attention is given to lessons learned from real-world projects, insights gained during deployment, and the understanding of the key requirements of distribution utilities and the challenges they face when introducing such systems. The paper demonstrates that a combination of a standardized approach, software solution flexibility, and close collaboration with the customer is essential for the successful commissioning of the system. The experiences presented may serve as valuable guidelines for improving future projects and reducing implementation risks associated with advanced energy distribution management systems.

Keywords: DERMS, Distributed Energy Resources (DER), Electric Distribution Network, Software Implementation, System Integration, Lessons Learned.

1. UVOD

Elektrodistributivne mreže prolaze kroz ubrzanu transformaciju uslovljenu porastom broja distribuiranih izvora energije (DER), elektrifikacijom transporta i sve većim zahtevima za upravljanjem mrežom u realnom vremenu. Masovna integracija fotonaponskih elektrana, baterijskih sistema za skladištenje energije (BESS) i upravljivih potrošača menja tradicionalno jednosmerne tokove snage i uvodi dvosmerne, promenljive i teško predvidive režime rada. Klasični sistemi za nadzor i upravljanje distributivnom mrežom projektovani su za pasivnu mrežu i ne mogu u potpunosti da odgovore na potrebe aktivnog upravljanja velikim brojem heterogenih resursa.

Kao odgovor na ove izazove razvijeni su sistemi za upravljanje distribuiranim resursima (DERMS), koji objedinjuju nadzor, upravljanje i prognozu rada DER-a, upravljanje mrežnim ograničenjima, proračun raspoloživog kapaciteta za priključenje i koordinisano dispečovanje resursa. DERMS se u praksi implementira kao nadogradnja ili proširenje naprednog sistema za upravljanje distribucijom (ADMS), oslanjajući se na kvalitetan mrežni model, integraciju sa nadzorno-upravljačkim sistemom (SCADA) i geografskim informacionim sistemom (GIS), kao i na razmenu podataka zasnovanu na industrijskim standardima [1], [2].

Iako je funkcionalnost ovakvih platformi sve zrelija, uspeh projekata implementacije u velikoj meri zavisi od faktora koji se retko formalno dokumentuju. Iskustva stečena na konkretnim projektima, o radu sa nepotpunim podacima, o usklađivanju očekivanja korisnika sa mogućnostima proizvoda i o koordinaciji većeg broja timova i sistema, često presuđuju o rokovima i kvalitetu isporuke. Ova iskustva su dragocena, ali najčešće ostaju rasuta i nesistematizovana.

Cilj ovog rada je sistematizacija izazova i naučenih lekcija sa više realnih projekata implementacije DERMS rešenja, sprovedenih u različitim distributivnim preduzećima i regulatornim okruženjima. Za razliku od radova koji opisuju pojedinačna tehnička rešenja, ovde

se daje objedinjen, praktičan uvid u to gde se u projektima najčešće javljaju problemi, kako se mogu predvideti ili ublažiti i koje se metodologije pokazuju najefikasnijim. Radi zaštite poverljivosti, konkretna preduzeća, partneri i proizvodi se ne imenuju, a projekti se u tekstu označavaju kao Projekat A do Projekat G.

Rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju opisani su tipičan opseg i aktivnosti implementacije DERMS rešenja. Treće poglavlje sistematizuje ključne izazove, grupisane po tematskim celinama. Četvrto poglavlje sumira naučene lekcije i preporuke, uključujući pregled najčešćih rizika. U zaključku su izloženi glavni nalazi i pravci daljeg rada.

2. OPSEG I AKTIVNOSTI IMPLEMENTACIJE DERMS REŠENJA

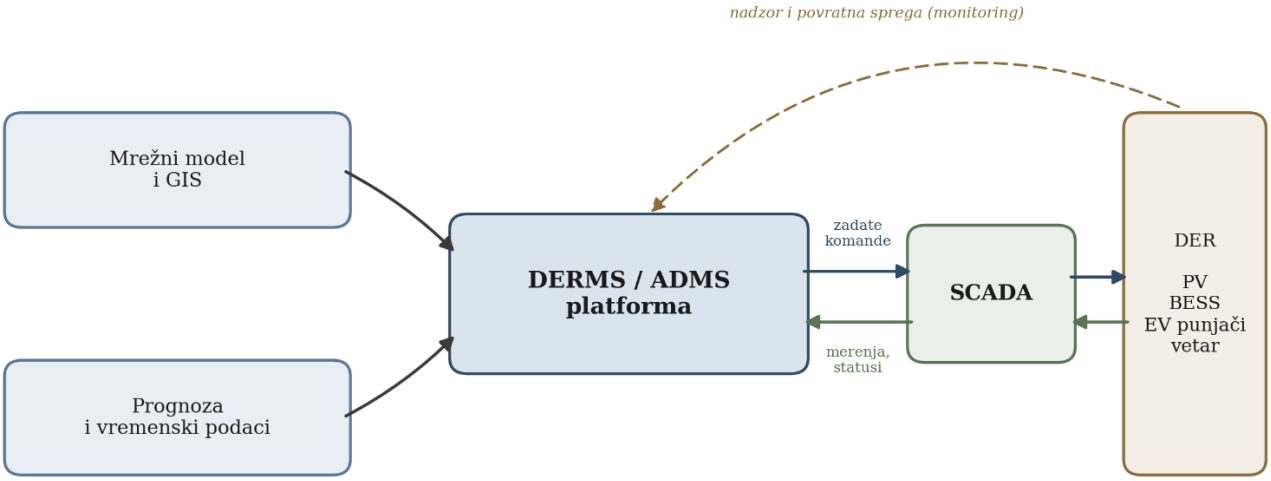
Uprkos razlikama u obimu i ciljevima, projekti implementacije DERMS rešenja dele zajedničko jezgro aktivnosti. Ona se mogu grupisati u pripremu i konverziju mrežnog modela, integraciju sa eksternim sistemima i validaciju i testiranje funkcija pre puštanja u rad. Tipičan spektar funkcija koje distribucije zahtevaju obuhvata nadzor i vidljivost DER-a, direktno upravljanje i dispečovanje, upravljanje termičkim i naponskim ograničenjima, prognozu i predviđanje proizvodnje i potrošnje, proračun raspoloživog kapaciteta za priključenje, analizu scenarija i planiranje mreže, kao i dinamičko upravljanje ograničenjima izvoza i uvoza snage.

2.1 Priprema i konverzija mrežnog modela

Mrežni model je osnova svake DERMS funkcije. Priprema modela obuhvata izdvajanje relevantnog dela mreže, njegovo sažimanje i podešavanje, kao i konverziju u ciljnu verziju softvera. U slučaju pilot projekata, opseg se namerno ograničava na mali broj transformatorskih stanica (TS) i izvoda, kako bi se rešenje brzo dokazalo pre uvođenja na celokupnu mrežu. U ovoj fazi unose se i podaci o distribuiranim resursima (lokacija, tip i karakteristike), prikupljaju i unose se kataloški podaci i SCADA signali, i pripremaju se ulazni podaci za prognozu, uključujući istorijske i vremenske podatke i integraciju sa provajderom vremenskih podataka.

2.2 Integracija i validacija

Nakon pripreme modela sledi integracija sa postojećim sistemima i validacija funkcija. Korisnički scenariji se usklađuju sa stvarnim operativnim procesima preduzeća, a zatim se pripremaju funkcionalni, integracioni i sistemski (end-to-end) testovi. Uspostavljaju se interfejsi prema SCADA sistemu i prema DER uređajima, za prijem merenja i statusa i za slanje zadatih vrednosti i komandi, po pravilu korišćenjem standardnih telekomunikacionih protokola [2]. Konfiguriše se logika ograničenja i redukcije proizvodnje (curtailment), a mrežni model se validira proračunima tokova snaga i procene (estimacije) stanja, uz proveru konektivnosti. Definišu se bezbednosne uloge i ovlašćenja, i sistematski se proverava kvalitet podataka iz SCADA sistema, vremenskih podataka i merenja DER-ova. Pojednostavljen prikaz tokova podataka u ovakvom rešenju dat je na Slici 1.



Slika 1 – Pojednostavljen prikaz tokova podataka u tipičnom DERMS rešenju

3. KLJUČNI IZAZOVI

Izazovi uočeni na projektima retko su izolovani i najčešće se prepliću kroz tehničku, organizacionu i procesnu dimenziju. U nastavku su grupisani u tematske celine, uz naznaku na kojim su projektima bili najizraženiji.

3.1 Definisanje opsega i korisničkih zahteva

Najčešći i najskuplji izvor problema je nedovoljno jasno definisan opseg funkcionalnosti i zahteva klijenata. Na više projekata (na primer Projekat A i Projekat G) korisnički scenariji bili su nedovoljno precizirani ili su počivali na visokom nivou regulatornih zahteva, bez razrađene operativne logike. Otvorene i neusmerene diskusije o obimu i opsegu zahteva dovodile su do sporog usaglašavanja i naknadnih izmena. Kod dinamičkih funkcija, poput dinamičkog upravljanja kapacitetom i dinamičkih operativnih limita (DOL), korisnici su neretko pogrešno razumeli očekivano ponašanje sistema, što je dodatno usporavalo usaglašavanje.

3.2 Kvalitet i dostupnost podataka

Rad sa nepotpunim i nedoslednim podacima pokazao se kao stalni izazov. Čest je slučaj da nedostaju SCADA signali ili podaci o DER-ovima, konfiguracije resursa bile su raznorodne, a definisanje svih potrebnih signala po pojedinačnom resursu bilo je otežano i iziskivalo je dosta vremena i rada (izraženo na Projektu B i Projektu E). Kod velikih sistema sa velikim brojem izvora, praznine u podacima za prognozu (Forecast) potrošnje i proizvodnje, direktno su uticale na performanse same prognoze. Nekvalitetna ili neujednačena merenja zahtevala su dodatnu logiku, poput usrednjavanja i slanja komandi u više koraka, kako bi se izbegle oscilacije i prekomerno slanje komandi na krajnje uređaje.

3.3 Integracija sa postojećim sistemima

Integracija je po pravilu složenija od očekivane. Kod rešenja koja povezuju više sistema (na primer prenosni i distributivni nivo upravljanja i tržišni sistem na Projektu B) tokovi podataka i logika validacije su brojni i zahtevaju strogo definisane interfejse. Nedostatak dokumentacije

o programskim interfejsima (API) i neuspostavljeni kanali za slanje stvarnih komandi (na primer neuspostavljen komunikacioni prolaz prema DER-u na Projektu G) onemogućavali su pravovremeno testiranje. Visoka učestanost instrukcija iz nadređenih sistema dodatno je opterećivala integraciju.

3.4 Mrežni model i upravljanje modelom

Prilagođavanje modela potrebama odgovarajućih funkcionalnosti iziskivalo je značajan i ponavljan napor. Na projektu sa širokim funkcionalnim opsegom (Projekat D) model se često menjao, a nije postojala standardizovana lista signala i SCADA tačaka koji su potrebni za svaku od funkcionalnosti za pojedinačne resurse. Bez osnovne, referentne validacije modela pre testiranja, greške su se otkrivale kasno, što je povećavalo obim dorade na modelu.

3.5 Proizvod naspram namenskog razvoja

Deo zahteva korisnika prevazilazi standardne mogućnosti proizvoda i traži namenski (Custom) razvoj. Specifična lokalna pravila, klasifikacije resursa i operativni tokovi (na primer prioritetne grupe, višeslojna logika ograničenja proizvodnje i posebni tržišni procesi na Projektu B) često nisu deo standardnog proizvoda, niti su široko ponovo iskoristivi. Kada razvojni timovi nemaju kapacitet u okviru planiranih rokova, obim i vreme isporuke teško je precizno predvideti, a namenski razvoj se lako potceni.

3.6 Koordinacija sa partnerima i timovima

Kada ključne komponente isporučuje partnerska kompanija (u daljem tekstu partner), koordinacija postaje kritičan faktor rizika. Na projektu sa integracijom partnerskog rešenja (Projekat C) postojala je snažna zavisnost od partnera, uz neusklađenu odgovornost, jer je ugovorna odgovornost ostajala na glavnom isporučiocu iako je veliki deo razvoja bio na partneru. Ograničena vidljivost u napredak procesa razvijanja partnerskog rešenja otežavala je planiranje i procenu rizika. Dodatno, tim distribucije koji nije upoznat sa ADMS okruženjem zahtevao je dodatno vreme za usvajanje osnovnih funkcija, terminologije i obučavanje zaposlenih.

3.7 Realno ponašanje resursa i ograničenja alata

Pretpostavke ugrađene u algoritme ne moraju odgovarati stvarnom ponašanju resursa, kao i njegovim ograničenjima. Na projektu aktivnog upravljanja mrežom i njenim DER-ovima (Projekat F) postojalo je ograničenje da je odziv pojedinih resursa kasnio (do nekoliko minuta), dok logika sistema pretpostavlja trenutnu reakciju. Zbog ovog ograničenja, moralo je biti primenjeno zaobilazno rešenje, koje je činilo primenu blažih operativnih limita, što je uzrokovalo većoj redukciji proizvodnje od idealne. Ovakvi slučajevi pokazuju značaj ranog usklađivanja scenarija sa realnim mogućnostima resursa, a ne sa idealizovanim pretpostavkama.

4. NAUČENE LEKCIJE I PREPORUKE

Iz opisanih izazova proizlazi skup lekcija koje se ponavljaju kroz projekte i koje se mogu primeniti kao preventivne mere. Ključne preporuke su rana i nedvosmislena definicija korisničkih scenarija uz radionice sa korisnikom, zamrzavanje opsega pre faze projektovanja i jasno razdvajanje neophodnih od poželjnih zahteva. Preporučuje se uvođenje kriterijuma spremnosti modela i standardizovane liste zahteva prema modelu po korisničkom scenariju, kao

i osnovna validacija modela pre testiranja. U organizacionom smislu, delotvorni su jasno vlasništvo nad svakim alatom i interfejsom, rano mapiranje međuzavisnosti, jedinstven i deljen plan aktivnosti kod projekata sa više organizacija, kao i redovni nedeljni pregledi resursa, napretka i rizika. Prema korisniku i partnerima, presudni su realno komuniciranje rokova i ograničenja, rana edukacija korisnika i kontrolna lista spremnosti partnera po fazama integracije.

Najčešći rizici uočeni na projektima sažeti su u Tabeli I, dok Tabela II povezuje glavne izazove sa odgovarajućim lekcijama i preporukama.

Tabela I – Najčešći rizici u DERMS projektima

Rb.	Rizik	Dimenzija
1	Nejasno definisani korisnički scenariji	procesna
2	Rokovi neusklađeni sa razvojnim timom proizvoda	organizaciona
3	Kašnjenja integracionih partnera	organizaciona
4	Nedostajući podaci o DER-u ili iz SCADA sistema	tehnička
5	Netačne pretpostavke u modelu mreže	tehnička
6	Praznine i nedostaci u istorijskim podacima za prognozu proizvodnje i potrošnje	tehnička
7	Očekivanja korisnika naspram mogućnosti proizvoda	procesna
8	Preširoko postavljen opseg pilot projekta	procesna
9	Nedostatak dokumentacije o interfejsima (API)	tehnička
10	Potcenjen obim namenskog razvoja	organizaciona

Tabela II – Mapiranje ključnih izazova na naučene lekcije

Izazov	Naučena lekcija / preporuka
Nejasan opseg i zahtevi	Rane radionice sa korisnikom, zamrzavanje opsega pre projektovanja, razdvajanje neophodnih od poželjnih zahteva
Nepotpuni i nedosledni podaci	Standardizovana lista signala po resursu, rana i sistematska provera kvaliteta podataka
Složena integracija više sistema	Strogo definisani interfejsi, rano mapiranje međuzavisnosti, jasno vlasništvo nad interfejsima
Česte izmene mrežnog modela	Kriterijum spremnosti modela i osnovna validacija modela pre testiranja
Zavisnost od partnera	Jasna ugovorna odgovornost, kontrolna lista spremnosti partnera, nedeljno praćenje napretka
Nerealna očekivanja korisnika	Rana edukacija korisnika i realno komuniciranje rokova i ograničenja
Idealizovane pretpostavke o ponašanju resursa	Rana validacija stvarnog ponašanja resursa, blaži operativni limiti kao zaobilazno rešenje

5. ZAKLJUČAK

Implementacija DERMS rešenja je tehnički i organizaciono zahtevan poduhvat u kome uspeh ne zavisi samo od zrelosti softvera, već i od kvaliteta podataka, jasnoće zahteva i saradnje svih učesnika. Iskustva sa razmatranih projekata pokazuju da se najveći deo rizika može ublažiti ranim i doslednim aktivnostima, preciznim definisanjem opsega, standardizovanim pristupom modelu i podacima, i realnim komuniciranjem mogućnosti i rokova. Kombinacija standardizovanog pristupa, fleksibilnosti rešenja i bliske saradnje sa korisnikom pokazuje se kao ključ za uspešno puštanje sistema u rad.

Prikazane lekcije mogu poslužiti kao praktične smernice za planiranje i vođenje budućih projekata i za smanjenje rizika u svim fazama implementacije. Dalji rad biće usmeren na unapređenje procesa upravljanja mrežnim modelom, algoritama i integracionih modula, kao i na razvoj standardizovanih obrazaca za definisanje zahteva prema modelu i podacima, čime bi se dodatno skratili rokovi i povećala predvidivost isporuke.

LITERATURA

[1] IEC 61968, *Application integration at electric utilities - System interfaces for distribution management*, International Electrotechnical Commission, Geneva

[2] IEC 60870-5-104:2006, *Telecontrol equipment and systems - Part 5-104: Transmission protocols - Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles*, International Electrotechnical Commission, Geneva, 2006