

Sistemi za upravljanje distribuiranim energetske resursima: stanje u oblasti

Distributed Energy Resource Management Systems: State of the Art

Luka Strezoski

Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000, Novi Sad

Rezime - Ovaj rad istražuje sisteme za upravljanje distribuiranim energetske resursima (DERMS), inovativne softverske platforme dizajnirane da pruže operatorima distributivnog sistema (DSO) specijalizovani skup alata za optimizaciju integracije i upravljanja značajnom količinom distribuiranih energetske resursa (DER). U idealnom slučaju, DERMS bi trebalo da obuhvati širok spektar alata, pružajući prednosti kako DSO-ima, tako i krajnjim korisnicima. Međutim, s obzirom na to da se tehnologija DERMS još uvek razvija, njegova definicija ostaje nejasna, obuhvatajući različite nivoe softverske hijerarhije, od virtualnih elektrana i DER agregatora do centralizovanih sistema za kontrolne centre distributivnih preduzeća, poznatih kao "Mrežni DERMS." Iako se ove različite tehnologije često kolektivno nazivaju DERMS, one predstavljaju različite koncepte sa različitim skupovima alata, težeći da pruže različite usluge različitim interesnim stranama. Cilj ove studije je da se opiše struktura DERMS alata, da se istaknu izazovi i problemi sa kojima se DSO suočavaju zbog integracije velikog broja DER-ova, i da se izlože mogućnosti prevazilaženja ovih izazova korišćenjem i integracijom različitih nivoa DERMS rešenja.

Ključne reči - distribuirani energetske resursi, distributivni sistemi, DERMS, DMS.

Abstract - Distributed Energy Resource Management Systems (DERMS) are new software platforms designed to provide distribution system operators (DSO) with a specialized set of tools that enable them to maximize the benefits of integrating and managing a large amount of distributed energy resources (DER). Ideally, DERMS should cover a wide range of tools, offering advantages to both DSOs and end users. However, as DERMS technology is still evolving, its definition remains unclear and can refer to very different levels of software hierarchy, ranging from virtual power plants and DER aggregators to centralized systems intended for control centers of distribution companies, called Utility DERMS. Although all these different technologies are often simply referred to as DERMS, they are distinct concepts with different sets of tools and aim to provide different services to different stakeholders. The goal of this paper is to describe the structure of DERMS tools, to highlight the problems and challenges faced by DSOs due to the integration of a large amount of DERs, and to indicate the possibility of overcoming these challenges through the use and integration of different levels of DERMS solutions.

Index Terms - Distributed energy resources, Distribution systems, DERMS, DMS

I UVOD

S obzirom na sve veću integraciju distribuiranih energetske resursa (DER) širom sveta, distributivne mreže postaju sve složeniji sistemi [1-3]. DER obuhvata različite vrste resursa, uključujući distribuirane generatore (DG) poput solarnih panela i vetro-turbina, razne sisteme za skladištenje energije kao što su baterije ili zamajci, električna vozila (EV) i stanice za njihovo punjenje [4-5]. Ovi novi resursi nose veliku složenost u tradicionalno pasivne distributivne mreže, kao i u njihovo upravljanje, kontrolu i vođenje [6-7].

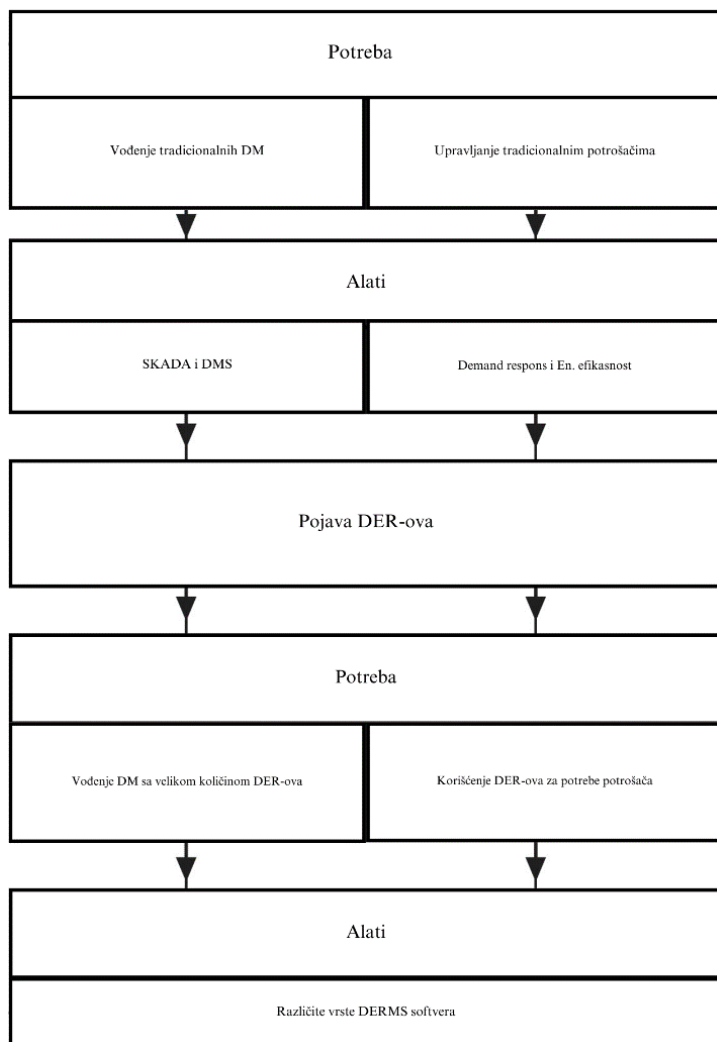
Izazovi usled stohastičke integracije DER-ova postaju sve izraženiji kod svih učesnika u distributivnim mrežama. Operatori distributivnih mreža (DNO) suočavaju se s preopterećenjima, naponskim problemima i problemima koordinacije zaštite zbog dinamičke i intermitentne prirode DER-ova [8-9]. Sa druge strane, krajnji potrošači sa DER-ovima, poznati kao "kupci-proizvođači", koji se nalaze iza brojlara i koji žele da trguju svojim viškom energije, često su premali da bi konkurisali na tržištu električne energije [10].

Da bi se premostio jaz između tradicionalnih praksi upravljanja distributivnim mrežama i novih izazova uzrokovanih integracijom velike količine DER-ova, tradicionalni DNO razvijaju se ka mnogo aktivnijim učesnicima, poznatim kao Operatori distributivnog sistema (DSO) [11]. Tradicionalno pasivni potrošači, takođe se razvijaju ka znatno dinamičnijim potrošačima, koji mogu da se agregiraju u takozvane DER grupe, i ponude svoje usluge na agregiranom nivou [12].

Međutim, ova tranzicija zahteva prateću digitalizaciju kontrolnih centara i razvoj mnogo inteligentnijih softverskih rešenja koja će omogućiti praćenje, kontrolu, agregaciju i zaštitu ovako složenog distributivnog sistema sa velikom količinom DER-ova, rasprostrtih po celoj mreži [13-14]. Ovde dolaze do izražaja nova softverska rešenja, poznata kao Sistemi za upravljanje DER-ovima (DERMS sistemi), koja imaju za cilj da obezbede bezbednu integraciju novih DER-ova i potrošača, kao i pouzdano i bezbedno upravljanje takvim distributivnim sistemima [15-16].

U idealnom slučaju, DERMS bi trebalo da pokrije širok skup alata, pružajući prednosti kako DSO-u, tako i krajnjim kupcima. Međutim, kako se DERMS tehnologija još uvek razvija, njena definicija je nejasna i može se odnositi na veoma različite nivoe softverske hijerarhije, koja se proteže od virtualnih elektrana i DER agregatora, do centralizovanih sistema, nazvanih "Mrežni DERMS". Iako se svi ovi sistemi često jednostavno nazivaju DERMS, ove softverske tehnologije imaju različite skupove alata i imaju za cilj da pruže

različite usluge različitim zainteresovanim stranama. Dva granična slučaja, koja se često nazivaju DERMS, jesu DER agregatori i Mrežni DERMS. Iako se njihov cilj može činiti sličnim, ova dva rešenja se uveliko razlikuju po svojoj prirodi i odgovornostima. Razvojni put ovih softverskih alata, prikazan je na Slici 1, u skladu sa literaturom [16].



Slika 1. Razvojni put DERMS softvera

Cilj ovog rada je da opiše strukturu DERMS alata, da ukaže na probleme i izazove sa kojima se DSO suočavaju usled integracije velike količine DER-ova, i da ukaže na mogućnost prevazilaženja tih izazova korišćenjem i integracijom različitih DERMS rešenja.

II INTEGRACIJA DER U DISTRIBUTIVNE MREŽE

Izazovi usled integracije DER-ova razlikuju se po svojoj prirodi. Prvo, integracija velike količine DER-ova u postojeće mreže, ako nije ispravno planirana i projektovana, može izazvati nestabilnost i probleme zagušenja, a može zahtevati i velika ulaganja u izgradnju novih kablova i/ili jačanje postojećih [1].

Dalje, distribuirani generatori (DG) i skladišta energije, kada se njima stohastički upravlja, mogu uneti ozbiljne tehničke izazove, s obzirom da mogu izazvati preopterećenja na postojećim fiderima i značajno povećati napon na lokacijama na kojima su priključeni na mrežu. Štaviše, u periodima niske potrošnje, ali visoke proizvodnje

obnovljivih DG (npr. visoko zračenje sunca ili energija vetra), javlja se novi fenomen obrnutog toka energije. To znači da bi u ovim kritičnim periodima struja mogla da teče iz distributivnih u prenosne sisteme, za čega tradicionalni električni sistemi nisu projektovani. Ovo posledično može da izazove neispravan rad zaštitne opreme, kao i probleme sa naponom duž fidera [13].

Zatim, većina DG je zasnovana na obnovljivim izvorima, pa je intermitentna po svojoj prirodi, što uzrokuje visok nivo neizvesnosti u njihovoj proizvodnji. Stoga, ako se njome ne upravlja na inteligentan način, ova intermitentnost može izazvati probleme u kratkoročnom i dugoročnom operativnom planiranju distributivnih sistema.

Sa druge strane, na strani potrošača, sve veća količina krovnih solarnih panela, malih skladišta energije i električnih vozila, ubrzano menjaju ponašanje tradicionalnih niskonaponskih mreža. Konačno, dinamičko ponašanje današnjih sistema uvodi još jednu promenu paradigme u upravljanju električnim sistemima. Naime, tradicionalan rast potrošnje od nekoliko procenata godišnje, brzo nestaje. U današnjim elektroenergetskim sistemima sa velikom količinom malih DG, kao i skladišta energije iza brojlara, povećanje opterećenja postaje minimalno ili čak negativno. Stoga tradicionalni balansni mehanizmi korišćenja ogromnih elektrana na uglj ili nuklearnih elektrana, više nisu prikladni i moraju se pojaviti novi načini brzih i fleksibilnih usluga balansiranja [14-15].

Dalje, novi koncepti poput mikromreža i programa za odziv na potražnju („Demand Response“), takođe unose izazove u tradicionalno vođenje distributivnih mreža. Mikromreže, kao lokalizovani sistemi za generisanje, skladištenje i distribuciju energije, mogu biti izazov za tradicionalne modele upravljanja električnom energijom, jer zahtevaju visok stepen automatizacije i sofisticiranog upravljanja da bi se osigurala pouzdanost i efikasnost. S druge strane, programi za odziv na potražnju, koji podstiču potrošače da prilagođavaju svoju potrošnju energije u skladu sa stanjem u mreži, donose dodatnu složenost. Ovi programi zahtevaju napredne tehnologije za praćenje i kontrolu potrošnje, kao i nove metode za predviđanje i odgovor na promenljive obrasce potrošnje. Ove inovacije dovode do potrebe za modernizacijom infrastrukture distributivnih mreža, što može biti skupo i vremenski zahtevno, ali su ključne za integraciju obnovljivih izvora energije i postizanje veće energetske efikasnosti.

Svi ovi izazovi su danas dobro poznati, a inicijative za pronalaženje odgovarajućeg rešenja za njihovo suočavanje su uveliko u toku. Iz ovog razloga DERMS sistemi širom sveta postaju sve aktuelniji [16]. Pored uspešnog suočavanja sa izazovima nametnutim DER-ovima i obezbeđivanja sistematskog i inteligentnog upravljanja širokim spektrom različitih DER-ova, DERMS tehnologije nastoje da postignu još više. Naime, cilj DERMS alata jeste da potencijalne izazove nametnute velikom količinom DER-ova pretvore u operativne i novčane benefite, kako za DSO, tako i za krajnje potrošače [13-16]. potrošače.

III SISTEMI ZA UPRAVLJANJE DISTRIBUIRANIM ENERGETSKIM RESURSIMA - DERMS

Kako se sam koncept DERMS-a još uvek razvija, njegova definicija i dalje nije jasno uspostavljena. DERMS, kao što sam naziv kaže, jeste softversko rešenje za upravljanje DER-ovima. Međutim, termin DERMS može se odnositi na veoma različite nivoe softverske hijerarhije [13].

S jedne strane, postoje decentralizovana softverska rešenja za

agregaciju velikih količina resursa malih snaga, koji se nalaze iza brojila, kao što su sistemi za klimatizaciju ili grejanje, krovni solarni paneli, mala skladišta energije ili EV, sa ciljem da obezbede bolju preglednost niskonaponske mreže i da omoguće ovim malim resursima pružanje svojih usluga na agregirani i mnogo korisniji način - na primer, ulazak na tržište električne energije kao i programe energetske efikasnosti [13-14].

S druge strane, postoje centralizovani sistemi koji obezbeđuju preglednost režima, ručnu/automatsku kontrolu DER-ova, rešavanje narušenja tehničkih ograničenja, kao i napredne aplikacije za optimizaciju i efikasno upravljanje srednjim i velikim DER-ovima i DER grupama koje se sastoje od puno malih DER-ova, sa ciljevima pružanja operativnih i novčanih benefita DSO-u [15].

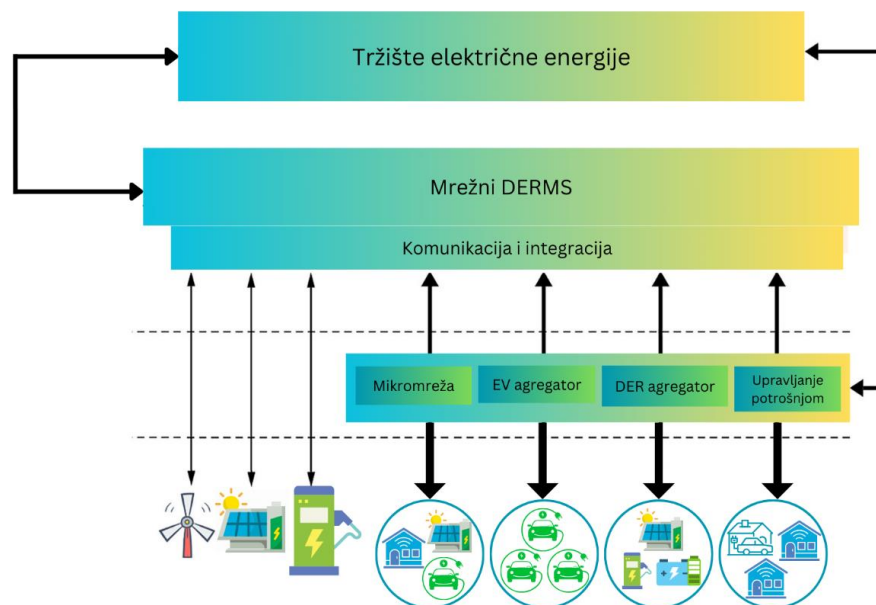
Dva granična slučaja, koja se često nazivaju DERMS, jesu DER agregator i Mrežni DERMS [13-15]. Iako njihovi ciljevi na prvi pogled mogu izgledati slično, ova rešenja se uveliko razlikuju po prirodi i odgovornostima. Međutim, oni se takođe savršeno dopunjuju u obezbeđivanju čitavog spektra usluga neophodnih za današnje DSO, odgovorne za obezbeđivanje bezbednog i optimalnog upravljanja sve većom količinom DER-ova.

Osnovni cilj DER agregatora je da agregira male DER-ove, uglavnom locirane iza brojila, u DER grupe, a zatim da pružaju različite usluge DSO-u, koristeći agregisanu snagu DER-ova. Usluge koje DER Agregatori mogu da pruže uključuju učešće na tržištu, angažovanje DER-ova u šemama za uštedu energije, programe za

smanjenje opterećenja, i druge usluge, uglavnom vezane za potrošački nivo [13-15]. Međutim, DER agregatori obično nemaju pristup tačnom mrežnom modelu i nisu svesni tehničkih ograničenja na nivou mreže, kao što su preopterećenja transformatora i vodova, ograničenja napona, itd.

S druge strane, Mrežni DERMS je inteligentna softverska platforma za optimalno upravljanje srednjim i velikim DER-ovima i DER grupama, sa ciljem da se svi ovi resursi iskoriste za postizanje optimalnog vođenja distributivnih mreža sa puno DER-ova, bez narušavanja tehničkih ograničenja [16]. Pored toga, Mrežni DERMS koristi sve svoje resurse (kao DER-ove tako i tradicionalne resurse) da reši već narušena ograničenja ili čak da proaktivno spreči predviđena narušavanja tehničkih granica. Prema tome, u pogledu velikih i srednjih DER-ova, čiji uticaj na mrežne uslove može biti značajan, Mrežni DERMS predstavlja prirodno okruženje za njihovo upravljanje i kontrolu [13-16].

Međutim, iako se i DER Agregator i Mrežni DERMS mogu koristiti kao samostalna rešenja i uspešno pružiti brojne prednosti, njihove pojedinačne vrednosti se značajno povećavaju kada se integrišu i koriste zajedno [13, 14]. Kada su pravilno integrisani da rade zajedno, ova dva softverska rešenja mogu da pokriju čitav spektar usluga u vezi sa pravilnim, bezbednim i sigurnim upravljanjem distributivnih mreža sa puno DER-ova. Drugim rečima, integrisani zajedno, DER agregator i Mrežni DERMS bi omogućili DSO-vima da iskoriste DER-ove kao vredne resurse u obavljanju širokog skupa neophodnih aplikacija.



Slika 2. Hibridno DERMS rešenje [16, 17]

Kroz komunikaciju sa Mrežnim DERMS-om, DER agregator bi u velikoj meri poboljšao vidljivost i sposobnost DSO-a da kontroliše i upravlja DER-ovima koji se nalaze iza brojila, posebno u aplikacijama koje se odnose na potrošače, kao što su učešće na tržištu električne energije, poboljšanje energetske efikasnosti, ili učešće u takozvanim „demand response“ programima. S druge strane, kroz svoje napredne aplikacije, i kroz integraciju sa DER agregatorima, Mrežni DERMS bi mogao da ponudi DSO-ima sposobnost da uspešno upravljaju i optimizuju svoje distributivne sisteme, sa velikom količinom različitih DER-ova, rasprostrtih po celoj mreži. Pored korišćenja DER agregatora kao resursa u svojim

naprednim aplikacijama, Mrežni DERMS bi stekao dodatni uvid u ponašanje DER-ova iza brojila, kroz komunikaciju sa DER agregatorom. Konačno, DER agregatori, ako su integrisani sa Mrežnim DERMS-om, mogli bi da obezbede mnogo bolji kvalitet usluga, pošto bi svi njihovi programi morali da budu validirani od strane Mrežnog DERMS-a i time bi osigurali da se tehnička ograničenja ne krše. Dakle, ova integracija bi značajno pomogla DSO-vima u prelasku u novu eru distributivnih sistema sa velikom količinom DER-ova, bez opasnosti da se ugrozi njihovo bezbedno funkcionisanje. Ova integracija je u skladu sa referencama [16, 17], prikazana na Slici 2, formirajući tzv. „Hibridno DERMS“ rešenje.

III-1 Hibridni DERMS

Hibridno DERMS rešenje integriše različite aspekte distribucije i potrošnje električne energije. Tržište električne energije deluje kao centralno mesto za trgovinu energijom, dok hibridni DERMS služi kao spona između tržišta i entiteta niže u hijerarhiji. Na ovom mestu je vrlo važno naglasiti da uključivanje DER u trgovinu električnom energijom još uvek nije regulisano na globalnom nivou, kao i da se i u državama gde jeste regulisano, ove regulative značajno razlikuju od države do države. Stoga, ovaj dijagram i ideju hibridnog DERMS rešenja treba shvatiti kao potencijalno rešenje u bližoj ili daljoj budućnosti.

U srži sistema su četiri ključna komponenta koja komuniciraju s mrežnim DERMS-om: mikromreže, EV agregatori, DER agregatori i upravljanje potrošnjom. Mikromreže su prikazane kao samodovoljne jedinice koje mogu efikasno upravljati lokalnom proizvodnjom i potrošnjom energije. EV agregatori organizuju i optimizuju punjenje električnih vozila kako bi se postigla veća energetska efikasnost. DER agregatori upravljaju izvorima energije kao što su solarni paneli i vetrogeneratori, obezbeđujući njihovu integraciju u distributivnu mrežu. Sistemi za upravljanje potrošnjom predstavljaju inicijative i tehnologije koje korisnicima omogućavaju prilagođavanje njihove potrošnje na temelju trenutnih uslova na tržištu i u mreži.

Ovaj hibridni DERMS pristup omogućava složenu i dinamičku interakciju između svih učesnika u energetskom sistemu, optimizujući distribuciju i potrošnju energije za postizanje održivosti i pouzdanosti u celokupnom energetskom lancu.

IV REPREZENTATIVNI PRIMERI UPOTREBE DERMS REŠENJA U PRAKSI

U ovoj sekciji biće prikazano nekoliko primera korišćenja industrijskog DERMS rešenja za prevazilaženje izazova koje unosi integracija velike količine DER-ova [7], [13-16].

IV-1 Integracija DER-ova

Planiranje integracije velike količine DER-ova predstavlja izazov u svetlu nove paradigme u elektroenergetskim sistemima. Tradicionalne planerske procedure, zasnovane na jednostavnim proračunima, više nisu primenljive zbog kompleksnosti koju donosi integracija DER-ova [16]. Intermitentna priroda većine DER-ova, gotovo stohastičko korišćenje električnih automobila, kao i mogućnost skladišta električne energije da injektiraju ili uzimaju električnu energiju iz sistema, zahtevaju napredne proračune za adekvatno planiranje njihove integracije.

DERMS sistemi pružaju kompletna planerska alata koja omogućavaju inženjerima u distributivnim preduzećima da pored različite scenarije integracije novih DER-ova, kao i potencijalna rešenja za ojačavanje mreže na mestima gde bi novi DER-ovi mogli ugroziti bezbedan rad sistema. Kako je opisano u referenci [16], Mrežni DERMS alati omogućavaju analizu i poređenje tradicionalnih planerskih procedura, recimo ojačavanja ugroženih delova mreže, nadogradnjom i/ili zamenom pod-dimenzionisanih elemenata jačim elementima, sa novim metodima korišćenja fleksibilnosti DER-ova u svrhu rešavanja tehničkih ograničenja bez ulaganja u nadogradnju i ojačavanje mreže.

Pored toga, kriterijumi poređenja mogu biti finansijske i/ili tehničke prirode. Na ovaj način, Mrežni DERMS alati pružaju mogućnost brže i efikasnije integracije velike količine DER-ova, usput omogućavajući distributivnim preduzećima da uštede i vreme i

novac, odlaganjem ili potpunim izbegavanjem nepotrebnih ulaganja u ojačavanje mreže.

IV-2 Opservabilnost velike količine DER-ova u distributivnoj mreži

S obzirom na različite vrste i tehnologije distribuiranih energetskih resursa (DER-ova), na njihovu dinamičku i stohastičku prirodu, kao i na činjenicu da DER-ovi mogu biti snage od svega nekoliko kW (npr. krovni solarni paneli), do nekoliko desetina MW (farme solarnih panela ili vetrogeneratora), kao i da oni mogu biti locirani u svim delovima distributivne mreže (i na niskom i na srednjem naponu), opservabilnost njihovog ponašanja u realnom vremenu je od ključnog značaja za operatore distributivnih mreža [7]. Mrežni DERMS pruža skup sofisticiranih alata koji operatorima pružaju uvid u ponašanje DER-ova u realnom vremenu, njihov uticaj na ostatak mreže, fleksibilnost snage koju skladišta električne energije i agregisane baterije električnih automobila mogu da ponude, kao i mogućnost upravljanja DER-ovima [7].

Pored toga, integracijom Mrežnog DERMS-a sa DER agregatorima, koji grupišu i upravljaju malim DER-ovima iza brojila, operatori distributivnih mreža dobijaju uvid i u ponašanje ovih DER-ova, lociranih na niskonaponskom delu mreže, kao i mogućnost njihove grupe kontrole [13, 14]. Ovo omogućava preciznije planiranje, analizu i reakciju na promene u mreži, poboljšavajući tako efikasnost i pouzdanost distributivnih sistema. Integracija ovih sistema takođe pruža mogućnost za implementaciju naprednih strategija upravljanja, uključujući demand response inicijative i optimizaciju rasporeda punjenja električnih vozila, čime se dodatno povećava fleksibilnost i otpornost distributivne mreže.

IV-3 Optimizacija napona pomoću DER-ova

Velika količina DER-ova, rasprostrtih svuda po distributivnoj mreži, može ugroziti naponske prilike duž distributivnih izvoda [1, 7]. Međutim, s obzirom da je većina DER-ova povezana na mrežu pomoću invertera, ukoliko bi se sa njihovim naponskim podešavanjima i proizvodnjom/apsorpcijom aktivne i reaktivne snage upravljalo na inteligentan način, DER-ovi bi mogli da posluže kao značajni resursi za regulaciju napona.

Mrežni DERMS alati pružaju upravo ovu mogućnost kroz centralizovane aplikacije za optimizaciju napona, aktivnih i reaktivnih snaga [14, 15]. Ove aplikacije koriste tradicionalne resurse kao što su regulacioni transformatori i baterije kondenzatora, u kombinaciji sa inteligentnim upravljanjem naponskih podešavanja, kao i aktivnih/reaktivnih snaga invertorskih DER-ova, u cilju postizanja optimalnih naponskih profila, smanjenja gubitaka, kao i ekonomičnog vođenja distributivnih mreža [14, 15].

Implementacija ovakvih alata omogućava operaterima mreže da efikasno upravljaju različitim izazovima koje predstavljaju DER-ovi, uključujući i one vezane za naponsku stabilnost. Korišćenje ovih alata takođe doprinosi većoj pouzdanosti distributivnih mreža, što je posebno važno u kontekstu sve većeg učešća obnovljivih izvora energije. Dodatno, integracija ovakvih sistema omogućava bolje upravljanje rizicima i efikasnije reagovanje na promenljive uslove rada mreže, što u konačnici vodi ka većoj energetskoj efikasnosti i održivosti distributivnih sistema.

IV-4 Korišćenje fleksibilnosti DER-ova u svrhu rešavanja tehničkih problema u distributivnoj mreži

Kao što je diskutovano u sekciji IV.A u kontekstu planiranja, fleksibilnost distribuiranih energetskih resursa (DER-ova) je možda još važnija u realnom vremenu, kao resurs za rešavanje narušenja

tehničkih ograničenja mreže, kao što su preopterećenja transformatora i izvoda, obrnuti tokovi snage, naponski problemi, itd. U tu svrhu, Mrežni DERMS pruža čitav skup alata nazvan „Upravljanje ograničenjima - Constraint Management“, koji detektujući narušenja tehničkih ograničenja, koristi slobodne kapacitete skladišta energije i grupisanih baterija električnih automobila, neiskorišćeni kapacitet obnovljivih izvora električne energije, kao i upravljanje potrošnje, kako bi na optimalan način, bez potrebe za drastičnim merama kao što su „sečenje potrošnje“ ili isključivanje DER-ova sa napajanja, rešili tehničke probleme i vratili mrežu u optimalan pogon [13-17].

U ovu svrhu, do posebnog izražaja dolaze DER agregatori i njihova integracija sa Mrežnim DERMS-om, s obzirom da se agregiranjem ogromne količine malih DER-ova u potpunosti koristi potpuni potencijal fleksibilnosti DER-ova, svih vrsta i veličina [13, 14]. Ovo omogućava efikasnije upravljanje distributivnom mrežom, smanjenje rizika od narušavanja stabilnosti mreže, i povećanje pouzdanosti napajanja za sve korisnike. Integracija DER agregatora sa Mrežnim DERMS-om takođe pruža dodatne mogućnosti za optimizaciju distributivne mreže, omogućavajući bolje iskorišćenje resursa i smanjenje troškova upravljanja mrežom. Ovakva integracija predstavlja ključan korak ka modernizaciji i digitalizaciji distributivnih sistema, čime se postavljaju temelji za buduće inovacije i razvoj u oblasti pametnih mreža.

IV-5 Proaktivno upravljanje DER-ovima u svrhu rasterećenja distributivnih izvoda

Konačno, vodeća Mrežna DERMS rešenja poseduju i module za „Upravljanje ograničenjima u budućnosti - Lookahead Constraint Management“, koji idu korak dalje, koristeći sofisticirane alate za prognozu stanja mreže u budućnosti. Ovi alati detektuju potencijalna narušenja tehničkih ograničenja i zatim, uz komunikaciju sa DER agregatorima i upravljivim DER-ovima, prognoziraju njihovu fleksibilnost u trenucima detektovanih preopterećenja u mreži kako bi manipulacijom njihove fleksibilnosti predupredili predviđene probleme [16]. Ovo se radi tako što se u DERMS-u prepoznaju planirane proizvodnje/potrošnje DER-ova, a zatim se kroz SCADA i internet protokole kojima je DERMS povezan sa DER-ovima i DER agregatorima, nove planirane proizvodnje/potrošnje komuniciraju ka krajnjim resursima. Na ovaj način se potpuno predupređuju narušenja tehničkih ograničenja distributivne mreže, pa se samim tim i značajno produžava životni vek elemenata.

Implementacija Lookahead Constraint Management modula unutar DERMS sistema predstavlja ključan korak ka proaktivnom upravljanju distributivnim mrežama, omogućavajući operaterima da ne samo reaguju na trenutna stanja, već i efikasno planiraju i prilagođavaju se budućim uslovima. Ova napredna funkcionalnost omogućava optimizaciju rada mreže, smanjenje rizika od otkaza i prekida, te povećanje efikasnosti i pouzdanosti celokupnog sistema. U konačnici, sofisticirani DERMS alati pružaju osnovu za stvaranje pametnijih, otpornijih i efikasnijih elektroenergetskih sistema, sposobnih da se nose sa izazovima moderne energetske tranzicije.

IV-6 Uključivanje DER-ova u trgovinu električnom energijom

Implementacija DER-ova može biti skupa, a njihova integracija u elektroenergetski sistem unosi izazove, kako je detaljno objašnjeno u članku. Regulatori, operatori tržišta i agregatori DER-ova počeli su da predlažu korišćenje njihovog potencijala za pružanje tržišnih usluga mreže koje mogu smanjiti ukupne troškove životnog ciklusa. Međutim, regulativa o učešću DER-a na tržištu je još uvek u povoju, i pravila se značajno razlikuju u različitim delovima sveta. Pored

toga, iako mogu biti privlačne, tržišne cene električne energije i pomoćne usluge, veličina pojedinačnih DER-ova predstavlja značajnu prepreku za njihov ulazak na tržište [19-21].

Da bi se stvorila značajna količina fleksibilnog kapaciteta DER-ova za učešće na tržištu električne energije, neophodno je dozvoliti agregaciju ovih resursa. Agregirani DER-ovi mogu pružati bitne usluge operaterima distributivnih sistema (DSO) i čak operaterima prenosnih sistema (TSO) i učestvovati na tržištima prodajom električne energije ili pomoćnih usluga [16]. Ipak, prvi i osnovni korak ka ostvarenju ovog cilja mora biti regulatorna reforma koja bi pružila podsticaj za iskorišćavanje potencijala DER-ova putem agregacije. Značajan korak ka regulisanju uključenosti DER-ova na tržišta električne energije i pomoćnih usluga bio je nalog br. 2222 Federalne energetske regulatorne komisije (FERC), Sjedinjenih Američkih Država (SAD) koji odobrava agregatorima DER-ova da učestvuju i budu ravnopravni igrači na veleprodajnim tržištima električne energije u SAD [22-23].

Ipak, kao što su novi entiteti koji prihvataju, sortiraju i komuniciraju ponude i aukcije nabavke od agregatora DER-ova postali stvarnost širom sveta, tako i lokalni operatori tržišta električne energije moraju imati uspostavljene komunikacione kanale s DERMS-om koji je svestan stanja mreže kako bi validirali dobijene rasporede na osnovu uslova i ograničenja mreže. Nekoliko pilot projekata testira ovakvu vrstu integracije između DERMS-a, agregatora DER-a i lokalnih operatera tržišta električne energije, obećavajući visoku stopu uspeha [16]. Međutim, da bi se ova rešenja primenila u punoj meri, na celoj distributivnoj mreži ili bar na njenim većim delovima, mnoga pitanja regulatornih odgovornosti još uvek treba razjasniti, kao što su: ko je odgovoran za uspostavljanje ugovora s DER-ovima i agregatorima DER-ova, ko može i sme da kontroliše pojedinačne DER-ove, treba li lokalno tržište električne energije biti centralizovano, decentralizovano ili hibridno, i konačno, treba li agregatori DER-ova da nude svoje usluge direktno TSO-u ili na lokalnom tržištu električne energije.

Sve navedeno su i dalje otvorena pitanja, i predstavljaju jedan od pravaca budućih istraživanja autora.

IV-7 Diskusija

Predstavljeni slučajevi ističu važnost DERMS rešenja za za DSO-e. Prvo, DERMS pruža DSO-ima mogućnost uvida u stvarno stanje vrlo dinamičkih uslova u nadolazećim distributivnim mrežama. Drugo, Mrežni DERMS i agregatori DER-ova pružaju DSO-ima sposobnost da pomognu operaterima prenosnih sistema (TSO) u njihovim potrebama za balansiranjem i drugim važnim uslugama, na primer, smanjenju vršnih opterećenja, inteligentnim korišćenjem fleksibilnosti dostupnih DER-ova i optimizacijom njihovog ponašanja u skladu sa zahtevima za agregiranom energijom.

Konačno, da bi se DER-ovima omogućilo učešće na tržištu električne energije, distributivne kompanije moraju biti sigurne da tehnička ograničenja neće biti prekršena rasporedima (agregiranih) DER-ova. Kako je diskutovano u radu, ovo je takođe omogućeno integracijom Mrežnog DERMS-a i agregatora DER-ova, gde Mrežni DERMS validira rasporede grupa DER-ova u odnosu na tehnička ograničenja distributivnih mreža. Cilj ovog rada, predstavljajući ključne slučajeve korišćenja DERMS-a, bio je da prikaže trenutno stanje tehnologije u razvoju industrije DERMS-a. Ovo su neki od najnovijih primera iz stvarnih industrijskih slučajeva upotrebe, koji pokazuju gde se trenutno nalazi zajednica elektroenergetskih sistema, kao i industrija, u razvoju DERMS-a, posebno sa integracijom Mrežnog DERMS-a i agregatora DER-ova.

Iako je već mnogo toga učinjeno na ovom polju, za postizanje idealnog slučaja koji bi omogućio integraciju i upravljanje nadolazećim distributivnim sistemima s vrlo velikom količinom DER-ova, potrebno je mnogo bolje razumeti različite nivoe rešenja DERMS-a kako bi se iskoristio njihov pun potencijal.

Autor se nada da će ovaj rad doprineti toj oblasti i pomoći u boljem razumevanju kako različiti hijerarhijski nivoi DERMS mogu raditi u skladu i doprineti transformaciji distributivnih mreža i primeni DERMS-a u kontrolnim centrima nadolazećih distributivnih mreža.

V ZAKLJUČAK

U radu je opisana struktura različitih DERMS alata. Na početku je ukazano na probleme i izazove sa kojima se Operatori distributivnog sistema (DSO) suočavaju usled integracije velike količine DER-ova. Potom su diskutovane različite vrste softverskih alata za upravljanje DER-ovima i ukazano je na mogućnost prevazilaženja navedenih izazova korišćenjem i integracijom različitih DERMS rešenja. Posebno su diskutovana dva granična slučaja - DER Agregator i Mrežni DERMS, kao i mogućnost njihove integracije u svrhu obezbeđivanja neophodnih alata operatorima distributivne mreže pri prevazilaženju izazova usled velike količine DER-ova. Konačno, kroz nekoliko ilustrativnih primera iz prakse, pokazano je kako DSO mogu iskoristiti DERMS alate kako bi obezbedili nesmetanu tranziciju ka elektroenergetskim sistemima zasnovanim na obnovljivim izvorima i distribuiranom proizvodnjom električne energije. U budućem radu autora, biće detaljno obrađene i različite mogućnosti korišćenja DERMS alata u svrhu zaštite distributivnih sistema i mikromreža, sa puno različitih vrsta DER tehnologija [18].

ZAHVALNICA/ACKNOWLEDGEMENT

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije u okviru realizacije projekta pod nazivom: "Istraživanja u cilju unapređenja nastavnog procesa i razvoja naučno-stručnih oblasti Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije".

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Sajadi, A., Strezoski, L., Strezoski, V., Prica, M., Loparo, K.A. Integration of renewable energy systems and challenges for dynamics, control, and automation of electrical power systems, *WIREs Energy Environment*, Vol. 8, No. 4, 2018. <https://doi.org/10.1002/wene.321>
- [2] Agüero, J.R., Takayasu, E., Novosel, D., Masiello, R. Modernizing the Grid: Challenges and Opportunities for a Sustainable Future, *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 15, No. 3, pp. 74-83, 2017, <https://doi.org/10.1109/MPE.2017.2660819>
- [3] Das, R., Madani, V., Aminifar, F., McDonald, J., Venkata, S.S., Novosel, D., Bose, A., Shahidepour, M. Distribution automation strategies: evolution of technologies and the business case, *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 6, No. 4, pp. 2166-2175, 2015. <https://doi.org/10.1109/TSG.2014.2368393>
- [4] Guerrero, J.M., Blaabjerg, F., Zhelev, T., Hemmes, K., Monmasson, E., Jemei, S., Comech, M.P., Granadino, R., Frau, J.I. Distributed Generation: Toward a New Energy Paradigm, *IEEE Industrial Electronics Magazine*, Vol. 4, No. 1, pp. 52-64, 2010. <https://doi.org/10.1109/MIE.2010.935862>
- [5] Smil, V. Distributed Generation and Megacities: Are Renewables the Answer?, *IEEE Power and Energy Magazine*, Vol. 17, No. 2, pp. 37-41, 2019. <https://doi.org/10.1109/MPE.2018.2884112>
- [6] Mozina, C.J. Impact of Green Power Distributed Generation, *IEEE Industry Applications Magazine*, Vol. 16, No. 4, pp. 55-62, 2010. <https://doi.org/10.1109/MIAS.2010.936970>
- [7] Strezoski, L., Stefani, I., Brbaklic, B. Active Management of Distribution Systems with High Penetration of Distributed Energy Resources, in Proc. *IEEE EUROCON 2019 - 18th International Conference on Smart*

Technologies, Novi Sad, Serbia, pp. 1-5, 1-4 July 2019.

<https://doi.org/10.1109/EUROCON.2019.8861748>

- [8] Driesen, J., Belmans, R. Distributed generation: challenges and possible solutions, in Proc. *2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 8, 18-22 June 2006. <https://doi.org/10.1109/PES.2006.1709099>
- [9] Strezoski, L., Vojnovic, N., Strezoski, V., Vidovic, P., Prica, M.D., Loparo, K.A. Modeling challenges and potential solutions for integration of emerging DERs in DMS applications: power flow and short-circuit analysis, *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, Vol. 7, pp. 1365-1384, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40565-018-0494-1>
- [10] IEEE Draft guide for distributed energy resources management systems (DERMS) Functional Specification, 2021. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2021.9447316>
- [11] Sadan, N., Renz, B. New DER Communications Platform Enables DERMS and Conforms with IEEE 1547-2018 Requirements, in Proc. *2020 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, Chicago, IL, USA, pp. 1-5, 12-15 October 2020. <https://doi.org/10.1109/TD39804.2020.9300002>
- [12] Pratt, A., Baggu, M., Veda, S., Ding, F., Mendoza, I., Lightner, E. A Test bed to Evaluate Advanced Distribution Management Systems for Modern Power Systems, in Proc. *IEEE EUROCON 2019 - 18th International Conference on Smart Technologies*, Novi Sad, Serbia, July 1-4, 2019. <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2019.8861563>
- [13] Strezoski, L. Utility DERMS and DER Aggregators: An Ideal Case for Tomorrow's DSO, in Proc. *2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, Novi Sad, Serbia, pp. 1-5, 2022. <https://doi.org/10.1109/ISGT-Europe54678.2022.9960384>
- [14] Strezoski, L., Padullaparti, H., Ding, F., Baggu, M. Integration of Utility Distributed Energy Resource Management System and Aggregators for Evolving Distribution System Operators, *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, Vol. 10, No. 2, pp. 277-285, 2022. <https://doi.org/10.35833/MPCE.2021.000667>
- [15] Strezoski, L., Stefani, I. Utility DERMS for Active Management of Emerging Distribution Grids with High Penetration of Renewable DERs, *Electronics*, Vol. 10, No. 16, 2021. <https://doi.org/10.3390/electronics10162027>
- [16] Strezoski, L. Distributed energy resource management systems-DERMS: State of the art and how to move forward, *WIREs Energy and Environment*, Vol. 12, No. 1, e460, 2023. <https://doi.org/10.1002/wene.460>
- [17] Schneider Electric Global. Powering and digitizing the economy, Available online at: <https://www.se.com/ww/fr/assets/342/document/24794/14-presentation-smartbuilding.pdf>, [pristupljeno 03.06.2023]
- [18] Simic, N., Strezoski, L., Simić, S., Čohadžić, D. Verification of Distributed Energy Resource Models for Microgrid Fault Calculations, *Energija, ekonomija, ekologija*, Vol 23, No. 4, pp. 53-58, 2021, <https://doi.org/10.46793/EEE21-4.53S>
- [19] Australian Renewable Energy Agency (ARENA). (2020). Report: On the calculation and use of dynamic operating envelopes. <https://arena.gov.au/knowledge-bank/on-the-calculation-and-use-of-dynamic-operating-envelopes/> [pristupljeno 03.06.2023]
- [20] Australian Renewable Energy Agency (ARENA). (2021a). Report: DER impacts on operational technology, 2021. <https://arena.gov.au/assets/2021/04/evolve-project-der-impacts-on-operational-technology.pdf> [pristupljeno 03.06.2023]
- [21] Australian Renewable Energy Agency (ARENA). (2021b). Report: On the implementation and publishing of operating envelopes. <https://arena.gov.au/knowledge-bank/on-the-implementation-and-publishing-of-operating-envelopes/> [pristupljeno 03.06.2023]
- [22] Autogrid. (2020). DERMS Data Sheet, 2020. AutoGrid. <https://www2.autogrid.com/DERMS-Datasheet> [pristupljeno 03.06.2023]
- [23] Earley, B. (2020). FERC opens electricity markets to distributed resource aggregators. <https://www.insideenergyandenvironment.com/2020/09/ferc-opens-electricity-markets-to-distributed-resource-aggregators/> [pristupljeno 03.06.2023]

AUTORI/AUTHORS

dr Luka Strezoski, vanredni profesor, Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, lukastrezoski@uns.ac.rs, ORCID [0000-0003-0109-4320](https://orcid.org/0000-0003-0109-4320)