

Kruno Trupinić
HEP ODS
kruno.trupinic@hep.hr

Marijo Brkić
HEP ODS
marijo.brkic@hep.hr

Renato Ćućić
HEP ODS
renato.cucic@hep.hr

Ante Višić
HEP ODS
ante.visic@hep.hr

PREGLED AKTIVNOSTI OPERATORA DISTRIBUCIJSKIH SUSTAVA U PLANIRANJU I PROVEDBI MJERA ZA POVEĆANJE OTPORNOSTI NA EKSTREMNE VREMENSKE UVJETE

SAŽETAK

Distribucijski sustavi su osjetljivi na ekstremne vremenske događaje kao što su oluje, poplave i šumski požari. Otpornost je mjera sposobnosti sustava u sprječavanju i ograničavanju oštećenja komponenti sustava tijekom ekstremnih događaja i što bržem oporavku funkcija sustava nakon takvih događaja. U budućnosti se očekuje povećanje značaja otpornosti distribucijskog sustava zbog sve većeg oslanjanja na električnu energiju u svakodnevnom životu te sve češćih i intenzivnijih pojava ekstremnih vremenskih događaja zbog klimatskih promjena.

U referatu je dan pregled aktivnosti i iskustava drugih ODS-ova u planiranju i provedbi mjera za povećanje otpornosti na ekstremne vremenske uvjete, kako bi se mogao steći uvid o zastupljenosti i specifičnostima navedenih mjera.

Ključne riječi: otpornost distribucijskog sustava, ekstremni vremenski uvjeti, klimatske promjene

OVERVIEW OF DISTRIBUTION SYSTEM OPERATORS' ACTIVITIES IN PLANNING AND IMPLEMENTING MEASURES TO INCREASE RESILIENCE TO EXTREME WEATHER CONDITIONS

SUMMARY

Distribution systems are vulnerable to extreme weather events such as storms, floods and forest fires. Resilience is a measure of the system's ability to prevent and limit damage to system components during extreme events and to recover system functions as quickly as possible after such events. In the future, the importance of distribution system resilience is expected to increase due to the increasing reliance on electricity in everyday life and the increasing frequency and intensity of extreme weather events due to climate change.

The paper provides an overview of the activities and experiences of other DSOs in planning and implementing measures to increase resilience to extreme weather conditions, in order to gain insight into the prevalence and specificities of the aforementioned measures.

Key words: distribution system resilience, extreme weather conditions, climate change

1. UVOD

Jedna od ključnih razlika između ekstremnih vremenskih događaja i slučajnih događaja u distribucijskim sustavima je razina predvidljivosti. ODS može predvidjeti nadolazeći ekstremni vremenski događaj i njegove posljedice, što je nemoguće kod slučajnih događaja, stoga može pripremiti sustav poduzimanjem odgovarajućih radnji za rješavanje nadolazećeg događaja.

Za razliku od pouzdanosti koja se odnosi na poremećaje visoke vjerojatnosti s malim utjecajem, otpornost se odnosi na poremećaje niske vjerojatnosti s velikim utjecajem, stoga su i mjere za njeno povećanje specifične. Strategija za povećanje otpornosti može se podijeliti na operativnu fazu i fazu planiranja.

Operativna faza određuje najbolje korištenje postojećih resursa kao što su spojni vodovi, distribuirani izvori i slično, kako bi se minimizirao utjecaj poremećaja.

Faza planiranja određuje optimalnu raspodjelu novih komponenti sustava kako bi se iste mogle koristiti za obnovu nakon poremećaja. S aspekta planiranja postoje tri glavna pristupa za povećanje otpornosti. Prvi je ugradnja čvršćih i otpornijih mrežnih komponenti u kritičnim dijelovima sustava. Drugi je izgradnja više redundantnih spojnih veza za potrebe rekonfiguracije mreže. Treći je povećanje prodora svih vrsta distribuiranih izvora u dubinu distribucijske mreže koji će moći formirati mikromreže tijekom i neposredno nakon poremećaja.

2. MEĐUNARODNA ISKUSTVA SA POVEĆANJEM OTPORNOSTI DISTRIBUCIJSKIH SUSTAVA

2.1 Utjecaj Regulatora na otpornost distribucijskih sustava

Otpornost distribucijskog sustava postala je kritična tema u trenutnom kontekstu globalnog zatopljenja i energetske tranzicije. Dok se naš planet suočava s učincima klimatskih promjena, značajno se povećala učestalost i ozbiljnost utjecajnih događaja kao što su oluje, poplave, snježne oluje, šumski požari i toplinski valovi. Ovi događaji predstavljaju izazove za elektrodistribucijsku infrastrukturu. Naši energetske sustavi se dekarboniziraju, što dovodi do povećane elektrifikacije krajnje potrošnje energije. Kako ovaj trend elektrifikacije raste, društvo se sve više oslanja na elektroenergetsku mrežu kako bi zadovoljilo osnovne potrebe. Posljedično, prijetnje povezane s klimom zahtijevaju veću otpornost elektroenergetske infrastrukture, budući da kvarovi u uslugama pojačavaju utjecaj na produktivnost i društvo u cjelini.

Trenutačni propisi daju prioritet troškovnoj učinkovitosti i stabilnoj pokrivenosti i pristupu distribucijskim sustavima. Međutim, tim propisima nedostaje fleksibilnost da bi se nosili s rastućom varijabilnošću klime i promjenama okoliša jer distribucijski sustav otporan na događaje velikog utjecaja nudi višestruke prednosti za sigurnost opskrbe korisnika mreže. Nedavne studije sugeriraju da prednosti otpornih distribucijskih sustava daleko nadmašuju troškove u većini scenarija, uzimajući u obzir rastuće utjecaje klimatskih promjena. Ulaganje jednog dolara u infrastrukturu otpornu na klimatske promjene može uštedjeti šest dolara. Prema Svjetskoj banci, odgađanje akcija izgradnje otpornosti za deset godina gotovo udvostručuje trošak. Na primjer, u ranjivim zemljama, podzemne mreže mogu značajno smanjiti potencijalnu štetu od klimatskih utjecaja i uštedjeti troškove oporavka, čak i ako njihova početna ulaganja premašuju one u nadzemne mreže. Otpornost također olakšava energetske prijelaz, omogućujući bolja rješenja za elektrifikaciju i ubrzavajući usvajanje obnovljivih izvora energije, koji su često osjetljivi na klimatske promjene. Značajni događaji mogu imati štetne posljedice za elektrodistribucijsku infrastrukturu i kontinuitet usluge. Dok su neki od tih učinaka dobro poznati, drugi ostaju nedovoljno proučeni i nedovoljno dokumentirani. Općenito govoreći, distribucijska infrastruktura pokazuje različite razine ranjivosti na različite kategorije događaja visokog utjecaja. [1]

U regulaciji distribucije električne energije, tretman događaja velikog utjecaja igra ključnu ulogu u određivanju odgovornosti i naknada koje ODS mora platiti korisnicima mreže. Ovi događaji, zbog svoje nepredvidive i često destruktivne prirode, zahtijevaju poseban razvoj unutar regulatornih okvira kako bi se ODS-ovi zaštitili od nepravednih kazni, dok se istodobno potiču potrebna ulaganja za povećanje otpornosti distribucijskih sustava. Već dugi niz godina, operatori prijenosnih i distribucijskih sustava suočeni s ekstremnim vremenskim događajima, pozivali su se na izuzeće od kompenzacije odgovornosti koju duguju korisnicima mreže pribjegavajući zakonskom konceptu "više sile", koji nije specifičan samo za energetske sektor i široko se primjenjuje na sve aktivnosti podložne vanjskim utjecajima. Osim toga,

regulatori prilagođavaju pokazatelje kvalitete usluge kako bi isključili razdoblja na koja utječu događaji više sile ili slučajni događaji, osiguravajući da operatori ne budu kažnjeni zbog okolnosti koje su izvan njihove kontrole.

Koncept "izvanrednog događaja" prihvatili su svi europski regulatori, iako s varijacijama među različitim zemljama. Pri ocjenjivanju izvanrednih događaja mogu se koristiti statističke metode ili drugi kriteriji, kao što je broj korisnika mreže pogođenih prekidima opskrbe ili trajanje tih prekida. ODS-ovi trebaju osigurati dokumentirane dokaze na temelju unaprijed definiranih meteoroloških parametara. Nije potrebno čekati da nadležna državna ili lokalna uprava proglasi događaj visokog utjecaja.

Europska mreža operatora prijenosnog sustava za električnu energiju (ENTSO-E) uspostavlja smjernice za kvalifikaciju događaja velikog utjecaja, kategorizirajući ih na temelju ozbiljnosti i učestalosti. Događaji visokog utjecaja nameću kritične odgovornosti tvrtkama za distribuciju energije kako bi osigurale kontinuitet usluge, minimizirale štete i zaštitile korisnike mreže. Te se obveze protežu od pripreme prije događaja i planiranja do trenutne reakcije nakon što se događaj dogodi, oporavka i rehabilitacije nakon događaja te usklađenosti s propisima.

Kreatori politika i regulatori igraju ključnu ulogu u promicanju otpornih distribucijskih sustava procjenom rizika i utjecaja povezanih s klimom, čineći otpornost središnjim elementom energetske planova, identificirajući troškovno učinkovite mjere, stvarajući odgovarajuće poticaje za distribucijske tvrtke i ocjenjujući njihovu učinkovitost. Kako bi to postigla, regulatorna tijela moraju primijeniti najbolje prakse koje holistički promiču otpornost. Te prakse uključuju akcijske planove, metodologije izračuna indeksa otpornosti, regulatorne signale za nadoknadu ulaganja i usvajanje novih tehnologija i rješenja u nastajanju. Parametri otpornosti mreže ne bi trebali ostati ugrađeni samo u pokazatelje kvalitete usluge, s obzirom na ekstremnu i netipičnu prirodu događaja s velikim utjecajem. Bitno je definirati metodologiju za izračun pokazatelja otpornosti kako bi se akcije usmjerile prema željenoj razini. Ovi se pokazatelji mogu kategorizirati u tri vrste: pokazatelji oporavka, robusnosti i prilagodljivosti. Prema studiji koju je proveo EPRI, metrika za procjenu otpornosti trebala bi pokazivati sljedeće atribute: mogućnost provjere, lakoću tumačenja, objektivnost, dostupnost, usporedivost, jasne definicije i povezanost s područjima izvedbe. Radnje povezane s poboljšanjem otpornosti mreže mogu se uključiti u detaljne investicijske planove s ulaganjima povezanim s tehnologijama i rješenjima. Ovi naponi mogu biti usmjereni na smanjenje veličine utjecaja događaja (otpornost fizičke infrastrukture) ili minimiziranje vremena oporavka sustava (operativna otpornost).

ODS-ovi trebaju te planove dostaviti Regulatoru i uključiti ih u svoje postupke revizije tarifa. Da bi se to postiglo, potrebno je definirati eksplicitne signale za ex ante (prethodnu) naknadu ODS-u za ulaganja u projekte i rješenja za povećanje otpornosti sustava. Ovi signali mogu biti popraćeni bonusima za tvrtke koje premašuju određene pragove otpornosti na temelju prethodno definiranih pokazatelja. S druge strane, bitno je da planovi za nepredviđene situacije budu integrirani kroz Grupe za uzajamnu pomoć koje koordiniraju radnje između obližnjih ODS-ova za razmjenu opreme. To uključuje uspostavljanje pokazatelja za tvrtke koje pružaju i primaju resurse, kao i posljedice za pripadajuće korisnike mreže.

2.2 Metodologije i primijenjene prakse za povećanje otpornosti distribucijskih sustava

2.2.1 Procjena i ublažavanje rizika

Otpornost sustava za distribuciju električne energije sve je prioritetniji cilj u regulaciji nekih razvijenih zemalja kako bi se odgovorilo na izazove koje postavljaju događaji velikog utjecaja. Nekoliko zemalja uvelo je smjernice za klimatske rizike i procjene utjecaja. Na primjer, vlada Sjedinjenih Američkih Država razvila je vodič za procjene ranjivosti povezane s klimatskim promjenama kao početni korak u planiranju otpornosti na klimatske promjene za sektor električne energije. US Climate Resilience Toolkit pruža alate za istraživanje klimatskih opasnosti i procjenu ranjivosti i rizika. Ove inicijative mogu se nadopuniti stvaranjem posebnih fondova za odgovor na katastrofe, poboljšanim upravljanjem u proglašenjima izvanrednih situacija, širokim društvenim raspravama o definiranju događaja s velikim učinkom i najboljim načinima za njihovu prevenciju i borbu protiv njih, protokolima uzajamne pomoći među distributerima za mobilizaciju dodatnih timova i resursa tijekom ekstremnih događaja i integriranih planova klimatskih promjena sa zajedničkim upravljanjem koje uključuje distributere, regulatore te državne i lokalne vlasti. Osim toga, sveobuhvatne procjene rizika moraju biti popraćene mjerama ublažavanja, kao što je čišćenje trasa nadzemnih vodova i mreža od raslinja, razmatranje kriterija otpornosti elektroenergetske infrastrukture u urbanističkom planiranju i poboljšanje svijesti zajednice kako

bi se izbjegla ponašanja koja povećavaju rizik. Učinkovito upravljanje rizikom zahtijeva koordinaciju između državnih tijela, elektrodistribucijskih poduzeća i agencija za hitne slučajeve (vatrogasci i civilna zaštita). S obzirom na prethodne slučajeve i dokaze da će ekstremni vremenski događaji postati sve češći, poboljšanje procesa i upravljanja u suradnji između ovih subjekata je ključno.

2.2.2 Mehanizmi predviđanja

Europski sustav ranog upozoravanja, koji se koristi u nekoliko europskih zemalja, kombinira meteorološke, geološke i tehničke podatke za predviđanje događaja velikog utjecaja i koordiniranje brzih odgovora. U Italiji tvrtke koriste alate kao što je *Weather Alerting* za izradu prognoza i izračunavanje utjecaja vremenskih uvjeta na mrežnu infrastrukturu. Izlaz daje razinu rizika koja ukazuje na vjerojatnost pojave hitnog slučaja na mreži unutar sljedeća 72 sata. Ova aplikacija također omogućuje praćenje specifičnih informacija o vjetru, kiši i temperaturi svakog sata za određeno područje. Indeks otpornosti (IRI) uključuje vjerojatnost pojave događaja prije i nakon mjerenja (u ovom slučaju, množenjem projekcije s brojem pogođenih korisnika mreže). U Sjedinjenim Američkim Državama, Nacionalni energetske centar za predviđanje i analizu koristi „Big data“ i prediktivnu analitiku za predviđanje događaja velikog utjecaja na elektroenergetsku mrežu. Alati poput Geografskih informacijskih sustava (GIS) pomažu mapirati rizike i planirati odgovore. Osim toga, Ministarstvo energetike financira istraživanje za razvoj naprednih prediktivnih modela koji predviđaju kvarove infrastrukture uslijed prirodnih ili kibernetičkih događaja.

2.2.3 Planovi za nepredviđene situacije i upravljanje krizama

Ujedinjeno Kraljevstvo, Francuska i Italija razvile su detaljne planove za nepredviđene situacije koji uključuju posebne protokole za različite vrste događaja, od oluja do kibernetičkih napada. Ti se planovi redovito pregledavaju i ažuriraju. U Sjedinjenim Američkim Državama, Savezna agencija za upravljanje u hitnim situacijama (FEMA) surađuje s elektroprivrednim tvrtkama kako bi razvila snažne planove za nepredviđene situacije. Ovi planovi usmjereni su na koordinaciju među agencijama i brzu mobilizaciju resursa. Točnije, Kalifornija, sklona šumskim požarima i potresima, razvila je napredni sustav upravljanja kriznim situacijama koji uključuje kontrolirano isključivanje elektroenergetske mreže kako bi se spriječili požari i brza obnova usluge. Na jugoistoku Sjedinjenih Država i u Meksičkom zaljevu provodi se godišnja obuka kao priprema za sezonu uragana. Na primjer, Florida Power & Light testira svoj plan za nepredviđene situacije putem simulacija povezanih s lociranjem prekida, procjenom štete, komunikacijom s korisnicima mreže i zaposlenicima te pokretanjem obnove usluge.

2.2.4 Mehanizmi odgovora i koordinacija

U Sjedinjenim Američkim Državama postoji duga tradicija elektroprivrednih poduzeća koja pružaju pomoć u odgovoru na teške vremenske prilike. Ova praksa je standardizirana kroz sedam Regionalnih grupa za uzajamnu pomoć (RMAG). Kada tvrtka treba pomoć, podnosi zahtjev preko regionalne grupe koja procjenjuje potrebe za kadrovima i opremom. Dodatno, postoji Program upravljanja raspodjelom resursa (RAMP UP) koji omogućuje čelnicima RMAG-a da online aktiviraju događaj, dajući odobrenje tvrtki koja zahtijeva pristup susjednim resursima. Nacionalni okvir za reakciju (NRE) također je uspostavljen kako bi se proširila pomoć diljem zemlje. U Japanu, Plan suradnje u slučaju katastrofa ima za cilj brz i fleksibilan oporavak tijekom događaja s velikim utjecajem. Plan pokriva uzajamnu potporu između operatora prijenosnog i distribucijskog sustava, koordinaciju tijekom normalnih vremena za spremnost na ekstremne događaje na temelju pouka iz prethodnih prirodnih katastrofa, podjelu zemlje na područja, izradu priručnika za uzajamnu potporu za obnovu distribucije, izradu popisa bitnih objekata, suradnju s telekomunikacijskim tvrtkama, hitnim službama i lokalnom upravom, komunikacijsko planiranje između tvrtki, vlade i poslovnih udruga te zajedničku obuku timova za prijenos i distribuciju. U Brazilu je zbog poplava u državi Rio Grande do Sul između kraja travnja i početka svibnja 2024. došlo do neviđene mobilizacije susjednih ODS-ova. Tvrtke poput Enela i Lighta poslale su timove i materijale kako bi pomogle Equatorialu i CPFL-u u upravljanju krizama.

2.2.5 Regulatorni poticaji za ulaganja u otpornost

U Italiji je regulatorno tijelo definiralo početne odredbe za mehanizme bonusa kao poticaje za razvoj distribucijske mreže u očekivanju ekstremnih događaja. Ove odredbe nude poticaje za ulaganja s višim omjerima koristi i troškova, kao što je proširenje podzemnih mreža (ili zamjene nadzemnih u podzemne). Slični poticaji postoje u Ujedinjenom Kraljevstvu, gdje je Ured za tržište plina i električne energije (OFGEM) implementirao model RIIO (Prihodi = Poticaji + Inovacije + Rezultati) počevši od 2010.

Prema ovom novom modelu, prihodi od tarifa određuju se putem poticaja za pružanje inovacija i proizvoda korisnicima mreže. Što se tiče otpornosti sustava, tvrtke mogu dobiti resurse kao dio tarifnog sporazuma. Ti se resursi mogu koristiti za pokrivanje zaštite od poplava, aktivaciju crnog starta, fizičku sigurnost kritične infrastrukture i zaštitu nadzemnih vodova čišćenjem trasa od raslinja. U Sjedinjenim Američkim Državama, Ministarstvo energetike osigurava sredstva i bespovratna sredstva za projekte usmjerene na poboljšanje otpornosti elektroenergetske mreže, potičući usvajanje naprednih tehnologija. Osim toga, Savezna regulatorna komisija za energiju (FERC) provodi propise koji tvrtkama omogućuju povrat troškova povezanih s ulaganjima u otpornost putem tarifa.

2.2.6 Pokazatelji za mjerenje otpornosti

U Italiji se otpornost mreže mjeri koristima u smislu manjeg broja isključenih korisnika mreže (delta IRI). Bonusi za ulaganja u predviđanja ekstremnih događaja definirani su na temelju učinka u kategorijama kao što su smanjeni prekidi rada, izbjegnuti troškovi, smanjeni gubici proizvodnje obnovljivih izvora energije zbog prekida, očekivano smanjenje ozbiljnih padova napona, izbjegnuti troškovi rada i održavanja, očekivano smanjenje troškova proizvodnje električne energije pomoćnih izvora napajanja i smanjene emisije CO₂ zbog očekivanih varijacija u gubicima u mreži. Francuska i Španjolska također unapređuju sustave ocjenjivanja koji kombiniraju metriku tehničkih performansi, brzinu odziva i redundanciju mreže za procjenu otpornosti distribucijskih sustava. U Sjedinjenim Američkim Državama, ministarstvo energetike razvilo je alate koji tvrtkama omogućuju procjenu svoje otpornosti koristeći kombinaciju povijesnih podataka, simulacija i prediktivne analize.

3. PRIMJERI ODGOVORA NA EKSTREMNE DOGAĐAJE

3.1 Ljetne i zimske oluje u Finskoj od 2001. do 2017. godine

U Finskoj je 3,5 milijuna korisnika mreže priključeno na 20/0,4 kV distribucijski sustav. Distribucijski sustavi 77 operatora distribucijskog sustava sastoje se od 148.000 km srednjenaponskih (SN) distribucijskih vodova i 246 000 km niskonaponskih (NN) vodova sa stopom kabliranja od 27 % u SN mrežama i 47 % u NN mrežama (2017. godina). U ruralnim područjima trase distribucijskih vodova uglavnom se nalaze u šumskim područjima. Tijekom proteklih 20 godina postoji sve veći trend jakih oluja i velikih opterećenja snijegom na drveću što je dovelo do značajnih poremećaja u distribucijskim mrežama.

Teški poremećaji u elektrodistribucijskim sustavima dogodili su se 2001., 2003., 2010., 2011., 2012. i 2017. godine. Veliki broj stabala pao je na nadzemne vodove kao posljedica jakih ljetnih i zimskih vjetrova ili velikih količina mokrog snijega na stablima. U najtežim poremećajima, 100.000 – 400.000 korisnika mreže imalo je dugotrajne prekide u isto vrijeme. Najdulji prekidi trajali su od 4 do 14 dana zimi i od 14 do 30 dana ljeti. Analizom postupanja tijekom i nakon ovih ekstremnih događaja mogu se potvrditi najbolji postupci prevencije, odgovora i oporavka za rješavanje jakih oluja i velikog snijega, kao i ono što je još potrebno za buduće događaje i kritične naučene lekcije. [2]

Kada se dogodi jaka oluja, u prvim trenucima broj korisnika mreže bez struje naglo raste. Najveći broj korisnika mreže bez struje ovisi o vrsti distribucijske mreže (otporna na oluju ili ne) i snazi oluje ili veličini snježnog opterećenja kao i geografskom opsegu oluje. Po završetku nevremena smanjuje se broj korisnika mreže bez struje što je posljedica automatizacije na SN mrežama (rastavljači na daljinsko upravljanje) i sanacijskih aktivnosti. Popravak kvara u SN mreži značajno smanjuje broj korisnika mreže bez struje, a nakon 12-48 sati većina korisnika mreže ponovno je priključena na mrežu. Ostatak vremena oporavka ovisi o strukturi (otpornoj na oluje ili ne) NN mreže i resursima za popravak. Popravak preostalih pojedinačnih kvarova na SN i NN mrežama ima mali utjecaj na broj korisnika mreže bez struje zbog malog broja korisnika mreže iza jednog kvara. Opterećenje drveća snijegom druga je vrsta ozbiljnog poremećaja. Broj istodobnih kvarova obično nije velik, ali se novi aktivni kvarovi javljaju tjednima.

3.1.1 Aspekti otpornosti - prevencija i spremnost za reagiranje na nacionalnoj razini

Zakon o tržištu električne energije i ekonomska regulativa ODS-ova koju provodi Finska energetska uprava uključuju poticaje i sankcije povezane s pouzdanošću distribucijskih mreža. Ekonomska regulativa ODS-ova koju provodi Uprava za energetiku uključuje poticaje/sankcije za kvalitetu na temelju troškova ispada na razini korisnika. U regulatornom modelu vrijednost neisporučene energije (trošak ispada) iznosi cca 13 €/kWh. Poticaj za kvalitetu koristi se od 2008. godine.

Nakon nevremena 2001. i 2003. godine, naknade korisnicima mreže vezane uz dugotrajne prekide (> 12 h) uključene su u Zakon o tržištu električne energije 2003. Godine 2013. utjecaj vrlo produženih prekida (> 8 dana) dodan je u Zakon o tržištu električne energije. Naknada po prekidu varira od 10 % do 200 % godišnjeg računa korisnika za ODS. Maksimalna isplata naknade po korisniku po prekidu rada ograničena je na 2.000 €. Naknade korisnicima su poput sankcija za ODS-ove i smanjuju njihov prihvatljiv povrat.

Nakon ozbiljnih poremećaja 2010. i 2011., finski parlament prihvatio je 2013. godine izmijenjeni Zakon o tržištu električne energije sa strogim ciljevima za uklanjanje dugotrajnih prekida kod korisnika mreže na temelju oluja i snježnih opterećenja (npr. tehnički kvar ili ledena kiša prihvatljivi su razlozi za duge prekide). Najdulji prihvatljivi prekidi su 6 sati u gradskim i 36 sati u ruralnim područjima. Prijelazno razdoblje za postizanje ovih ciljeva je do kraja 2028. U najudaljenijim ruralnim područjima prijelazno razdoblje se produljuje do 2036. Do kraja 2019. minimalno 50 %, a do kraja 2023. minimalno 75 % korisnika mreže mora biti unutar gore navedenih ciljeva.

3.1.2 Aspekti otpornosti - prevencija i spremnost za reagiranje na razini ODS-ova

Ekonomska regulacija ODS-a i zahtjevi definirani Zakonom o tržištu električne energije značajno su utjecali na operativne i investicijske strategije ODS-a. Glavne radnje i funkcije ODS-a su sljedeće:

- ODS-ovi moraju pripremiti svoje operativne i investicijske razvojne planove kako bi ispunili zahtjeve sigurnosti opskrbe unutar prijelaznih razdoblja. ODS-ovi moraju dostavljati svoje ažurirane projekte Upravi za energiju jednom u dvije godine. Nadalje, ODS-ovi moraju prijaviti broj korisnika mreže unutar zahtjeva.
- ODS-ovi moraju poboljšati svoju sposobnost sprječavanja i popravka kvarova. To uključuje aktivnosti kao što su:
 1. on-line spremnost za prelazak s uobičajene dnevne organizacije na organizaciju značajnih smetnji (upravljanje, održavanje osoblja u radu 24/7, informiranje korisnika mreže, medijska komunikacija itd.),
 2. dugoročni ugovori s lokalnim i nacionalnim pružateljima usluga,
 3. dnevna proaktivna priprema s pružateljima usluga,
 4. stalno praćenje vremenske prognoze i aktivna pripravnost resursa (osoblje i oprema za popravke, helikopteri, rezervni dijelovi, komunikacije, šumari itd.),
 5. proaktivna priprema trasa vodova u šumama, uklanjanje rizičnih stabala,
 6. korištenje proširenih trasa (šumskih koridora) za postojeće nadzemne vodove (40 m umjesto 10 m) kako bi se osigurali vodovi otporni na oluje najmanje sljedećih 20 godina,
 7. ažurirane strategije ulaganja u mrežu:
 - a) zamjena nadzemnih vodova podzemnim kabelima (Slika 1.),
 - b) premještanje nadzemnih vodova iz šuma na rubove cesta (gotovo otporno na oluju i brzo se popravljaju u slučaju kvara) ili na otvorena područja (polja),
 - c) zabrana novih nadzemnih vodova u šumama.

3.1.3 Aspekti otpornosti - pravovremeni oporavak i mogućnosti poboljšanja

Mreža otporna na oluje

Zahtjev za elektrodistribucijskom mrežom otpornom na oluje zahtijevao je brojne razvojne aktivnosti ODS-a. Uz operativna poboljšanja, ODS-ovi su morali izvršiti značajna ulaganja u sustave otporne na oluje (kabliranje, premještanje nadzemnih vodova na rubove cesta) po ubrzanom rasporedu.

Distribucijske tarife

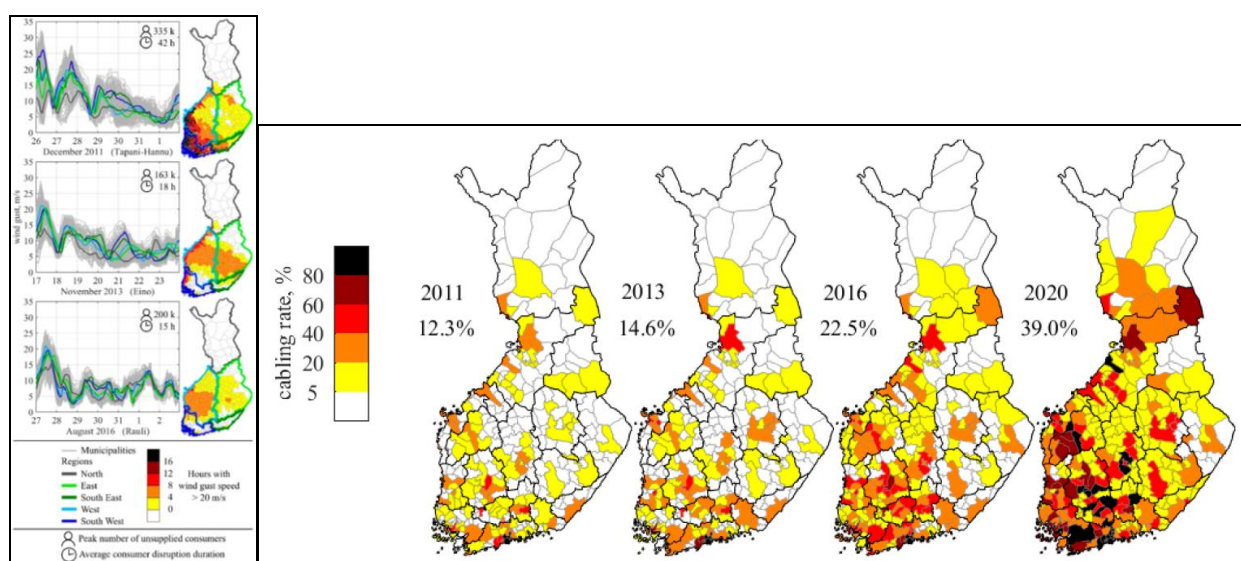
Investicijski troškovi kabliranja u SN sustavima skuplji su od nadzemnih vodova. U NN sustavima, s druge strane, investicijski troškovi nadzemnih vodova i kabela su slični. Ukupna dodatna ulaganja u distribucijske sustave otporne na oluje iznose oko 3–3,5 milijarde eura u razdoblju 2015.–2028. (Ministarstvo gospodarstva i zapošljavanja u Finskoj), što je oko 50 % dodatka „normalnim” zamjenskim

ulaganjima u komponente s maksimalnom starošću od 40–60 godina. Za nekoliko ODS-ova ulaganja čine više od 50 % njihovog godišnjeg prihoda. Kao rezultat toga, ODS-ovi koji rade uglavnom u ruralnim područjima suočavaju se sa značajnim izazovima s tarifama za distribuciju. Posljedično, moraju povećati svoje distribucijske tarife zbog velikih ulaganja (dugoročno za 30-50 %).

Pouzdanost opskrbe

Pouzdanost opskrbe poboljšana je temeljem gore opisanih zahtjeva i povezanih organizacijskih poboljšanja i ulaganja. Trenutačni troškovi ispada na razini korisnika iznose oko 100 milijuna €/god. Najveća godišnja vrijednost od 400 milijuna €/a dosegnuta je 2011. godine. Istovremeno su znatno smanjene naknade isplaćene korisnicima mreže zbog dugih prekida. Očekuje se da će troškovi ispada i naknade korisnicima biti vrlo niske nakon 2028. godine.

Pozitivna su bila i iskustva iz zime 2019. Iako su opterećenja snijegom na stablima bila ogromna i u šumama je došlo do značajnih šteta, broj dugih prekida bio je malen. Na primjer, ruralni ODS koji ima oko 100.000 korisnika mreže radio je s četiri helikoptera kontinuirano mjesec dana kako bi promatrao stabla koja predstavljaju rizik za distribucijski sustav. Na temelju dobivenih informacija uklonili su rizična stabla prije nego što su uzrokovala oštećenja na vodovima.



Slika 1. Intenziteti i trajanje vjetrova tijekom tri oluje (lijevo), napredak kabliranja SN mreže (desno) u Finskoj

3.1.4 Naučene lekcije za dinamičku otpornost

Iznimno je važno imati jasan pregled događaja, uključujući tisuće pojedinačnih događaja na velikom geografskom području. Helikopteri su izvrstan alat ako vrijeme ne sprječava njihovu upotrebu.

Automatizacija mreže znatno olakšava upravljanje operativnim radom, ali ne smanjuje broj kvarova.

Poremećajima velikih razmjera, kao takvima, ne može se upravljati bez dugih prekida napajanja korisnika mreže električnom energijom. Spremnost za održavanje i popravak tisuća istovremenih kvarova zahtijeva "neograničene" resurse. Uz poboljšanje operativnih radnji, postoji jasna potreba za ažuriranjem strategija razvoja mreže/ulaganja.

3.2 Šumski požari u Australiji 2009. godine

Savezna država Victoria, Australija, doživjela je rekordne vremenske uvjete i ekstremne šumske požare u siječnju i veljači 2009. Događaji Crne subote (7. veljače) doveli su do smrti mnogih, kao i do uništenja šuma i cijelih zajednica. Nakon ovog događaja, *Victorian Bushfires Royal Commission* provela je istragu o uzrocima, pripremama, reakcijama i učincima šumskih požara te objavila detaljno izvješće o svojim nalazima. Izvješće sadrži ukupno 67 preporuka čiji je cilj da se događaji takvih razmjera više ne ponove. Prema vladinom povjerenstvu, pet od 15 velikih požara koji su izbili na Crnu subotu uzrokovano je neispravnostima na nadzemnim vodovima. Zastarjela infrastruktura pridonijela je trima od ovih pet

požara. Smatra se da su nestanak električne energije i telekomunikacija spriječili pravovremeno pružanje pomoći. U nekim slučajevima električna energija je bila isključena na dva tjedna.

Nakon Crne subote, pokrenuta je izrada izvješća vladine komisije koja je istraživala događaj. U sklopu svoje preporuke, veći fokus stavljen je na smanjenje rizika od šumskih požara uzrokovanih nadzemnim dalekovodima. Formirana je tehnička radna grupa i kreiran je Program zaštite od šumskih požara na nadzemnim dalekovodima uz ulaganje od 750 milijuna australskih dolara. Ovaj se program usredotočio na tehnologiju kao i na prateće okvire koji omogućuju tehnologiju i pokušavaju je učiniti standardnom praksom. Rad na prevenciji ima različite komponente:

- Kabliranje nadzemnih dalekovoda: U početku su mnogi željeli kablirati sve nadzemne dalekovode, ali vrijeme za provedbu i visina investicije (oko 60 milijardi australskih dolara) bili su preveliki. 250 milijuna australskih dolara upotrijebljeno je za podzemne dalekovode u visokorizičnim područjima. Do kraja 2019. je otprilike 500 km nadzemnih vodova povučeno iz upotrebe i zamijenjeno podzemnim kabelima.
- Uvođenje novih tehnologija: Istraživanje primjenjivih tehnologija dovelo je do implementacije brzih limitatora struje zemljospoja (Rapid Earth Fault Current Limiter - REFCLS) i automatskih sklopova za ponovno uključivanje. REFCLS je vrsta neutralizatora zemljospoja. Tehnologija se široko koristi u Europi, ali ne za prevenciju šumskih požara. Provedeno je mnogo istraživanja u pokušaju razumijevanja kako će tehnologija djelovati u distribucijskoj mreži i njezinih implikacija. Također se uvode recloseri za ponovno uključivanje kojima će se u danima proglašene opasnosti od šumskih požara blokirati automatsko ponovno uključivanje, u pokušaju sprječavanja izazivanja šumskih požara.
- Politika i okviri: Bilo je potrebno puno rada da se omogućí uvođenje ove tehnologije na mreži. To je uključivalo regulatorne i zakonodavne promjene.
- Centralizirani odgovor vlade: Od Crne subote, središnja agencija za upravljanje u hitnim slučajevima koja koordinira ove događaje mnogo je istaknutija unutar vlade.

Program je blisko surađivao s CSIRO-om (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* - nacionalno državno tijelo za znanstveno istraživanje u Australiji) na izradi modela i alata za mapiranje koji preklapaju distribucijske i prienosne sustave s kartama države i Tolhurst modela požara, koji replicira uvjete Crne subote. To pomaže u prepoznavanju područja s najvećim rizikom.

Također je korišten hibridni pristup riziku pri čemu je modeliranje rizika uravnoteženo sa znanjem i iskustvom na terenu. Računalno modeliranje i analiza rizika preklapljeno je s perspektivom upravljanja hitnim situacijama na terenu. Važno je uzeti u obzir blizinu gradova, pristupne rute i sposobnost suzbijanja požara unutar 20 minuta do pola sata – što je kritično vremensko razdoblje.

Nakon šumskih požara na Crnu subotu 2009. godine, *Victorian Bushfire Royal Commission* dala je nekoliko preporuka u vezi s požarima izazvanim distribucijskim mrežama. Naknadno je osnovana stručna radna skupina za sigurnost u slučaju požara izazvanih nadzemnim dalekovodima kako bi razmotrila na koji način provesti preporuke koje se odnose na zamjenu nadzemnih dalekovoda podzemnim (preporuka 27) i ažuriranje funkcije ponovnog uključivanja (preporuka 32).

Izvjeshće Radne skupine pokazalo je da je optimalno sredstvo za smanjenje rizika od šumskog požara kombinacija aktivnosti zamjene dalekovoda, ugradnje automatskih sklopova za ponovno uključivanje (ACR) na nadzemnim vodovima i selektivne instalacije REFCL-a. Radna skupina također je utvrdila potrebu za daljnjim istraživanjem i razvojem, posebice zato što se REFCL-ovi prije nisu koristili za suzbijanje šumskih požara.

U prosincu 2011. Vlada je prihvatila preporuke Radne skupine i uspostavila Program zaštite od šumskih požara na dalekovodu (PBSP) kako bi odredila optimalnu metodu za postavljanje REFCL-ova za prevenciju šumskih požara. Istraživački programi konačno su kvantificirali standard izvedbe koji bi mogao zadovoljiti prihvatljivo smanjenje rizika od šumskog požara od 90% od faznog spoja na zemlju na distribucijskim nadzemnim dalekovodima nazivnog napona 22 kV. Standard izvedbe REFCL specificirao je detekciju kvara, odgovor na kvar i kapacitet upravljanja kvarom koji se moraju postići u slučaju jednopolnog kratkog spoja – zemljospoja na nadzemnom vodu kako bi se rizik od paljenja požara smanjio na nisku razinu.

Nakon završetka istraživačkog projekta o nadzemnim vodovima kao uzrocima šumskih požara, Vlada je 2016. izmijenila i dopunila Pravilnik o sigurnosti električne energije (ublažavanje šumskog

požara) iz 2013. (Pravilnik) kako bi uključila standard izvedbe REFCL čije su osnovne tehničke karakteristike navedene u nastavku:

- a) ograničavanje napona na vodiču s kvarom u odnosu na uzemljenje napojne TS za kvarove sa visokom impedancijom na 250 volti unutar 2 sekunde,
- b) ograničavanje napona na vodiču s kvarom u odnosu na uzemljenje napojne TS za kvarove sa niskom impedancijom na:
 - 1900 V unutar 85 ms,
 - 750 V unutar 500 ms,
 - 250 V unutar 2 sekunde,
- c) tijekom dijagnostičkih testova za kvarove sa visokom impedancijom, ograničavanje:
 - struje kvara do maksimalno 0,5 A,
 - toplinske energije na mjestu kvara do maksimalne vrijednosti i^2t od 0,1 J.

3.3 Olujni vjetrovi i poplave u Japanu 2018. godine

Dana 4. rujna, tajfun 21 (Jebi), najsnažniji tajfun koji je pogodio Japan u 25 godina, harao je zapadnim dijelom zemlje. Tajfun je izazvao jake kiše i vjetrove veće od 200 km/h kod japanskih gradova Osake, Kyota, Kobea i Nagoye. Izazvao je veliku štetu na elektroenergetskoj infrastrukturi zbog letećih krhotina, srušenih stabala, poplava i odrona. Više od 2,2 milijuna kućanstava pretrpjelo je prekide opskrbe u regiji Kansai. Tajfun 24 (Trami), koji je Japan pogodio 30. rujna, također je izazvao veliku štetu u regiji Chubu, a prekide opskrbe je doživjelo 1,2 milijuna kućanstava.

Unatoč činjenici da su elektroenergetske tvrtke jačale sustave za hitne slučajeve kako bi se pripremile za prirodne katastrofe koristeći prikupljeno iskustvo, tajfuni Jebi i Trami otkrili su mnoge izazove koje je potrebno prevladati, kao što su problemi u širenju informacija javnosti o stanju prekida isporuke električne energije i izgledima za obnovu opskrbe.

Tvrtka Kansai EPCO (Electrical Power Co.) posjeduje 18.803 km prijenosnih dalekovoda, 132.137 km distribucijskih vodova, 1596 trafostanica i 2.823.598 jedinica nosivih konstrukcija (stupovi i dr.), dok tvrtka Chubu EPCO posjeduje 12.220 km prijenosnih dalekovoda, 937 trafostanica, 134.297 km distribucijskih vodova, te 2.563.294 jedinica nosivih konstrukcija (stupovi i dr.).

Oko 95% kvarova popravljeno je u 3 dana, ali ostatak sanacije trajao je 17 dana, najdulje u ograničenim područjima kao što su planinska sela.

3.3.1 Aspekti otpornosti - prevencija i trenutni odgovor

Prije dolaska tajfuna, i Kansai i Chubu EPCO aktivirali su hitne sustave za kontrolu katastrofa koji su uključivali:

- zaustavljanje bilo kakvih planiranih radova zbog osiguranja potrebnog osoblja i pripremu opreme za obnovu nakon katastrofe,
- slanje osoblja iz područja gdje se očekuje da će šteta biti manja u područja gdje se očekuje da će šteta biti značajna,
- provođenje rezanja drveća u suradnji s lokalnom samoupravom na područjima koja će biti najviše izložena oštećenjima (tj. gdje je u prošlosti dolazilo do prekida rada zbog srušenih stabala),
- postavljanje brtvenih naprava za sprječavanje plavljenja objekata trafostanice,
- uključenje redundantnih prijenosnih dalekovoda i trafostanica,
- odabir mjesta izgradnje dalekovodnih stupova s obzirom na klizišta,
- jačanje otpornosti opreme za distribuciju, kao što je zamjena golih vodiča sa izoliranim i izgradnja pomoćnih sidrenja stupova.

Nadalje, obje tvrtke imaju vrlo koristan alat za predviđanje štete od tajfuna. Sustav procjene rizika i upravljanja za *Power Lifeline - Typhoon* (RAMPT) koji je razvio Japanski središnji istraživački institut za elektroprivredu (CRIEPI). RAMPT može procijeniti razmjere i područja oštećenja kako bi uspostavio strategiju obnove.

Trenutno obavješćavanje vlasti i korisnika mreže o prekidima opskrbe bio je ključni korak u strategijama odgovora za obje tvrtke. No, Kansai EPCO-u je to teško palo jer je informacijski sustav zakazao zbog prekoračenja kapaciteta. EPCO-i su se potrudili proširiti informacije o prekidu rada putem svoje web stranice, društvenih medija i radija, njihova procjena vremena oporavka nije bila dovoljno pravovremena ili točna. Osim toga, klizišta i srušena stabla oštetila su ceste i spriječila timove za popravke u pristupu oštećenom području.

3.3.2 Aspekti otpornosti - popravak štete i oporavak sustava

Nakon događaja tajfuna 21, Kansai EPCO je uspostavio "Odbor za provjeru odgovora na tajfun 21" za primjenu lekcija naučenih kroz ovo iskustvo u odgovoru na buduće katastrofe. Ovo je povjerenstvo kategoriziralo pitanja u tri skupine:

- minimiziranje štete i skraćivanje vremena popravka štete,
- poboljšanje komunikacije s korisnicima mreže širenjem informacija s većom brzinom i točnošću,
- ojačanje suradnje s lokalnim vlastima razmjenom informacija i suradnjom na poslovima oporavka.

Sljedeći aspekti smatraju se nužnima za buduću otpornost:

- sustav za oporavak opreme sa istraživanjem mjera za povećanje učinkovitosti oporavka slanjem osoblja za popravak štete unaprijed na mjesta za koja se očekuje da će ih pogoditi oluja i raspravljajući o metodama za brzo shvaćanje stanja štete,
- širenje informacija korisnicima proučavanjem metoda za brzo i učinkovito prenošenje statusa prekida i informacija o oporavku,
- razmjena informacija i suradnja s lokalnim vlastima izgradnjom sustava koji brzo prikuplja i dijeli informacije potrebne za suradnju.

Navedeni EPCO-i podijelili su naučene lekcije u odboru Ministarstva gospodarstva, trgovine i industrije (METI), Organizaciji za međuregionalnu koordinaciju operatora prijenosa (OCCTO) i Federaciji elektroprivreda (FEPC).

METI je uspostavio radnu skupinu za otpornost električne energije (WG) za pregled važnih infrastruktura i raspravu o izazovima i mjerama za stvaranje otpornih sustava učeći iz iskustava nacionalnih katastrofa, kao što su tajfuni 21 i 24.

3.3.3 Aspekti otpornosti - predviđanje i priprema za buduće događaje

EPCO-i predviđaju da će se šteta od prirodnih katastrofa u budućnosti povećati. Na primjer, na zapadu Japana, moguće je da se razorni potres dogodi sa 80% vjerojatnosti u sljedećih 30 godina. Oni također razumiju potrebu za jačanjem otpornosti kako bi se smanjila šteta, olakšao rani oporavak i poboljšao odgovor korisnika mreže i lokalnih vlasti. Stoga su razvili mjere politike protiv potresa velikih razmjera i tsunamija. U isto vrijeme, vježbe su provedene kako bi se ojačale sposobnosti odgovora, a CRIEPI je surađivao s elektroprivredama na poboljšanju funkcija RAMPT-a. Osim toga, EPCO-i su organizirali redovite sastanke kako bi raspravljali o odgovoru na hitne katastrofe u distribucijskom sektoru i kako bi poboljšali učinkovitost međusobne podrške u hitnim slučajevima. Dogovorili su se da će zajedno raditi na:

- ojačanju sustava potpore šireg područja s drugim elektroprivredama,
- implementiranju naprednih brojlara za dobivanje brzih podataka o prekidima i poboljšanju širenja informacija uvođenjem „aplikacije informacijskog sustava o prekidima“ koje mogu obavijestiti javnost o prekidima,
- poboljšanju pristupa informacijama u stvarnom vremenu o prohodnim prometnim pravcima kako bi se vozilima terenskih posada omogućio siguran prolaz,
- korištenju tehnologije dronova za procjenu štete na daljinu,
- stjecanju informacija o korisnicima mreže kojima je potrebno prioritarno vratiti opskrbu,
- implementiranju sustava obnove mrežne opreme koji može pomoći u preventivnom raspoređivanju osoblja, brzom prepoznavanju štete i korištenju kontrolnih procesa za radove obnove i logističku podršku,

- pružanju brzih i točnih informacija korisnicima mreže, što zahtijeva jačanje ljudskih resursa u pozivnim centrima, višestruke načine razmjene informacija, segmentaciju informacija o prekidu opskrbe i proširenje kapaciteta call centara korištenjem interaktivnog glasovnog odgovora (ivr sustav),
- razmjeni informacija i suradnji s lokalnim samoupravama, kao što su međusobna razmjena internih informacija o upravljanju katastrofama i preventivna sjeća stabala u suradnji s lokalnim samoupravama.

Naučene lekcije za dinamičku otpornost mogu se ukratko opisati kao:

- napredna priprema za oporavak, kao npr. pouzdan rad distribucijskog automatiziranog sustava, osiguranje potrebne opreme za popravke, priprema timova za popravke,
- napredna komunikacija, kao npr. pružanje pravovremenih informacija putem društvenih mreža, razvoj aplikacije za pružanje informacija o prekidima opskrbe u stvarnom vremenu.

4. ZAKLJUČAK

Povećanje otpornosti distribucijskog sustava na ekstremne događaje skup je multidisciplinarnih aktivnosti u kojima sudjeluju svi sudionici na tržištu električne energije te državna i lokalna uprava. Sastavnice ovih aktivnosti su prevencija i to planska dugoročna te konkretna pred sam događaj, zatim trenutni odgovor na posljedice događaja kao sposobnost kvalitetnog vođenja sustava, slijedi organizacija popravaka šteta i oporavka sustava koja značajno ovisi o preventivnim pripremama, te zaključno učenje na stečenim iskustvima i priprema za buduće događaje.

Obzirom na povećanje značaja otpornosti distribucijskog sustava zbog sve većeg oslanjanja na električnu energiju u svakodnevnom životu te sve češćih i intenzivnijih pojava ekstremnih vremenskih događaja zbog klimatskih promjena, ODS-ovi moraju prilagoditi svoje poslovanje, stoga i prilagodba distribucijskih sustava ekstremnim vremenskim uvjetima treba biti jedan od kriterija za planiranje i razvoj mreže.

U referatu su opisane aktivnosti na povećanju otpornosti distribucijskih sustava koje se provode u nizu država, kao i nekoliko primjera reakcija ODS-ova na ekstremne vremenske događaje s naučenim lekcijama koje će se implementirati u pripreme aktivnosti za buduće događaje.

5. LITERATURA

- [1] A. Pessanha i ostali „The resilience of power distribution systems: Recommendations for a new regulatory paradigm“, Summary DSO brief; 2023; www.adelat.com
- [2] „Dynamic Resilience to Extreme Weather: Learning from best practice examples“, World Energy Council; 2024; www.worldenergy.org