

Predstavitev distribucijskega elektroenergetskega sistema (DEES)

(Predavanje na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani 7. 1. 2013)

dr. Zvonko Toroš, zvonko.toros@elektro-primorska.si

Elektro Primorska, d. d., Nova Gorica, Erjavčeva ulica 22, 5000 Nova Gorica, Slovenija

POVZETEK: Distribucijsko elektroenergetsko omrežje je del elektroenergetskega sistema. Sestavljajo ga postroji, postaje ter nadzemni in podzemni vodi. Zaradi kompleksnosti izvajanja nalog razdeljevanja električne energije, in če želimo podrobneje predstaviti distribucijsko elektroenergetsko omrežje, ga obravnavamo kot sistem. Imenujemo ga distribucijski elektroenergetski sistem (DEES), ki za delovanje potrebuje poleg prej navedenega še vrsto sodobnih sekundarnih naprav, poslovne in obratne stavbe in usposobljene kadre za posamezna področja. Za trajno zagotovitev delovanja DEES je potrebno še: dolgoročno načrtovanje, zagotavljanje potrebnih finančnih in človeških virov ter v zadnjem obdobju aktualna izvedljivost umeščanja objektov v prostor.

Obravnavani DEES ima nekatere posebnosti, kot na primer veliko količino naprav, ki jih je potrebno upoštevati v vseh fazah delovanja, od načrtovanja, gradnje, obratovanja in vzdrževanja.

Osnovna naloga DEES je delovanje v skladu z zahtevami, ki jih določa regulator trga z električno energijo ter drugi predpisi. Na ta način zagotavlja skupaj s proizvodnjo in prenosom električne energije temeljni pogoj za delovanje vseh procesov v družbi. Ti uporabljajo električno energijo bodisi neposredno ali posredno.

V preteklosti je DEES sledil tehnološkim novostim in bil v koraku z evropskimi in svetovnimi trendi. Uvedena je bila vrsta novosti: daljinsko vodenje objektov (brez posadke), uvedba sodobnih rešitev nadzemnih in podzemnih vodov, avtomatizacija vodenja sredjenapetostnih vodov, prehod na nazivno napetost 230 V, uvedba poenostavljenih tehnoloških rešitev in postopkov, tehnološka posodobitev zaščitnih naprav, intenzivno vključevanje informacijskih tehnologij za podporo delovanja sistemu, uvajanje sodobnih metod pri vzdrževanju.

Trenutno je slovenski DEES v mnogih elementih primerljiv z najrazvitejšimi. Uvajanje novih zahtev do DEES, na primer zmanjševanje števila prekinitev in zmanjševanje trajanja prekinitev, pa pomenijo poglobljeno analizo vzrokov in iskanje optimalnih rešitev. Na ta način bo slovenski DEES primerljiv z najbolj razvitimi DEES.

V prihodnosti bo potrebno zadostiti novim zahtevam za DEES. Med pomembnejše nove zahteve spadajo: prilagoditev in določitev nove strukture distribucijskega elektroenergetskega omrežja zaradi množičnega pojava majhnih razpršenih virov električne energije iz obnovljivih virov (zlasti sončne elektrarne) in predvidenega napovedanega še večjega števila majhnih razpršenih virov; električna energija bo lahko tekla tudi v smeri proti višjemu napetostnemu nivoju na primer iz nizkonapetostnega omrežja v sredjenapetostno omrežje; zahteve direktive po zamenjavi klasičnih merilnih naprav; nov način obratovanja z množico majhnih proizvajalcev električne energije z vidika varnosti; izpolnitev zahtev standarda SIST EN 50160, bodisi s strožimi predpisi do proizvajalcev opreme in proizvajalcev električne energije, bodisi z aktivnimi napravami za kompenzacijo teh vplivov; vključiti zahteve aktivnih omrežij, ki so šele v nastajanju; prilagoditev omrežja, zlasti nizkonapetostnega, sorazmerno s pojavom električnih avtomobilov; uvajanje novih kompleksnih informacijskih tehnologij kot podpora za izvajanje naštetih zahtev.

Navedene že napovedane nove zahteve bodo DEES dale še večjo pomembnost. Pričakovati je nove povezave z mejnimi področji, kot na primer uporaba distribucijskih vodov za informacijske povezave.

Ne glede na navedeno bo še vedno potrebno skrbno načrtovati, obratovati in vzdrževati obstoječe relativno velike količine elektroenergetskih naprav in postrojev z uvajanjem sodobnih optimizacijskih metod in izobraževanjem obstoječega inženirskega kadra ter zaposlovanjem visoko usposobljenih tehničnih kadrov.

Ključne besede: elektroenergetski sistem, elektroenergetski distribucijski sistem, kazalci kakovosti, optimizacija, pametna omrežja.

1 SPLOŠNO O DEES, POSEBNOSTI

Distribucijsko elektroenergetsko omrežje je del elektroenergetskega sistema (EES) [1]. Sestavljajo ga postroji, postaje ter nadzemni in podzemni vodi. Zaradi kompleksnosti izvajanja nalog v zvezi z razdeljevanjem električne energije, in če želimo podrobneje predstaviti distribucijsko elektroenergetsko omrežje, ga obravnavamo kot sistem. Imenujemo ga distribucijski elektroenergetski sistem (DEES), ki za delovanje potrebuje poleg prej navedenega še vrsto sodobnih sekundarnih naprav, poslovne in obratne stavbe in usposobljene kadre za posamezna področja. Za trajno zagotovitev delovanja DEES je potrebno še: dolgoročno načrtovanje, zagotavljanje potrebnih finančnih in človeških virov ter v zadnjem obdobju aktualna izvedljivost umeščanja objektov v prostor.

Distribucijski elektroenergetski sistem je nujno potreben za delovanje vseh tehnoloških procesov, ki temeljijo na uporabi električne energije. Skorajda ni več poslovnih procesov, ki ne bi uporabljali električne energije. Tudi v gospodinjstvih poraba električne energije sledi razvoju tehnoloških rešitev in uporabi novih aparatov in naprav, ki so odvisni od električne energije.

Pričakovati je nove zahteve do električne energije kot posledica globalizacije, pri čemer je mišljena neposredna povezava med zahtevami in zmožnostmi. Tehnološki razvoj je v zadnjem času še posebej hiter in praviloma vedno povezan z uporabo električne energije. Posledično je s tem postala tudi kakovost le - te zelo pomembna. DEES dobavlja storitev odjemalcem, to je električna energija predpisane ali dogovorjene kakovosti. Pojem kakovost se v elektroenergetskem sektorju uporablja v različnih oblikah in pomenih. V trenutno veljavnih dokumentih najdemo ne povsem poenoteno terminologijo v zvezi s kakovostjo električne energije. Tako podzakonski akt o posredovanju podatkov o kakovosti [2] uporablja pojem kakovosti oskrbe z električno energijo, medtem ko v sistemski študiji [3] najdemo v samem naslovu kot tudi v tekstu pojem kakovost električne energije. Obvladovanje kakovosti električne energije, ki zajema načrtovanje kakovosti, spremljanje kakovosti in zagotavljanje želenega nivoja kakovosti električne energije distribucijskega elektroenergetskega sistema, je bilo podrobneje obravnavano v [4]. Podlaga za določitev kakovosti električne energije distribucijskega elektroenergetskega sistema izhaja iz [5], [6], [7] in [8] in je določena na tri načine. Zaradi enotnega razumevanja so v nadaljevanju ti načini predstavljeni na treh ravnih: stalnost (neprekinjenost) napajanja, kakovost napetosti po standardu SIST EN 50160, komercialna kakovost. V prehodnem obdobju, dokler ni kakovost v celoti določena z

zakonodajo in ni medsebojno terminološko usklajena ter v praksi sprejeta, lahko prihaja do različnih razlag kakovosti, zlasti v zvezi s prvo ravno kakovosti.

Vsaka izmed ravni je določena za ločeno vrednotenje in spremljanje. Vrednost posamezne ravni kakovosti se izrazi s kazalci, ki imajo ali dosegajo ustrezen nivo. Kazalec prekinitev SAIFI = 5 na primer pomeni nivo petih prekinitev v opazovanem časovnem okviru, praviloma v enem letu. Kakovost električne energije je v slovenski zakonodaji obravnavana v predpisih [5], [6], [7], [9], [10], [11], [12] in [13]. Zagotavljanje finančnih sredstev za kakovost električne energije je določeno administrativno [10]. Prakse v svetu so različne, vendar so enotne v tem, da se določajo administrativno [14] in da se vedno upošteva samo posamezni kazalec kakovosti [15], [16], [17]. Primerjave med sistemskimi operaterji distribucijskega omrežja, ki zajamejo področje kakovosti električne energije, se izvaja praviloma s primerjalnimi »benčmarking« študijami [18]. Pri tem se izpostavlja predvsem učinkovitost poslovanja, ki je praviloma povezana z zmanjševanjem stroškov.

DEES ima posebnosti glede na ostale udeležence v EES. Najpomembnejše posebnosti:

- Je neposredno povezan do vsakega odjemalca in občana.
- Praviloma deluje po radialnem principu. Ob prekinitvi radialnega voda pride tudi do prekinitve napajanja z električno energijo. Pri načrtovanih prekinitvah, to so prekinitve, ki jih sistemski operater distribucijskega omrežja napove najmanj 48 ur pred izvedbo, se pri odprtih zankah najprej sklene zanko (paralelno obratovanje) in šele nato odklopi vod. S tem se zmanjšuje število prekinitev oziroma se minimizira obseg odklopljenih naprav.
- Veliko število naprav. Veliko število naprav razložimo s tem, da moramo vedno celotno proizvedeno električno energijo distribuirati (razdeliti) vsem odjemalcem in to v času in prostoru. Poraba posameznega odjemalca, prevladujejo gospodinjski odjemalci, je relativno majhna, zato je število distribucijskih naprav temu sorazmerno veliko. Podatka o napravah za Slovenijo:
 - ≈62.525 km vseh vodov,
 - ≈16.198 transformatorskih postaj (SN/NN); srednja napetost (SN) pomeni 20 kV in 10 kV, nizka napetost (NN) pomeni 0,4 kV.
- Je zelo izpostavljen atmosferskim in drugim zunanjim vplivom. Zlasti je tu problem atmosferskih prenapetosti, ki so praviloma večje vrednosti od izolacijskega nivoja distribucijskih SN in NN vodov.

- Predstavlja nevarnost električnega udara pri neposrednem dotiku in pri neustreznih sistemih zaščite pri posrednem dotiku.
- Električna energija, ko jo razdeljuje, je oblika energije, ki jo potrebujejo praktično vsi sodobni procesi vseh dejavnosti, bodisi kot energijo za posamezen proces, na primer gretje, bodisi kot napajanje drugih naprav, na primer krmilnih sistemov.
- Upravlja z »nevidno« obliko energije, kar je zelo povezano z varnostjo. Da je električni tok nevaren moramo »verjeti«. Da se prepreči nevarnosti pred električnim udarom je potrebno postroje tako zgraditi, da se neposredni dotik fizično prepreči, prav tako je potrebno z ustreznimi ukrepi preprečiti posredni dotik in s posebnimi ukrepi (ozemljevanje, izenačevanje potencialov, način tretiranja nevtralne točke transformatorja, ...) preprečiti nevarnost električnega udara pri morebitnem posrednem dotiku.
- Električna energija se zaenkrat še ne more neposredno shranjevati. Kljub temu jo moramo v vsakem trenutku proizvesti natančno toliko kot jo potrebujemo oziroma porabimo v opazovanem trenutku. Bilanca proizvedene in porabljene energije mora biti vedno izpolnjena-izenačena.

2 ZAKAJ POTREBUJEMO DEES

Električna energija, ki jo razdeljuje DEES, je oblika energije, ki jo potrebujejo praktično vsi sodobni procesi vseh dejavnosti, bodisi neposredno kot energijo za posamezen proces, bodisi kot napajanje pomožnih naprav, na primer krmilnih sistemov.

Iz navedenega zaključimo, da je EES in posledično DEES osnovni temeljni (pred)pogoj za delovanje vseh sistemov in sodobne družbe kot celote. Regulator električne energije (Javna agencija Republike Slovenije za energijo) usklajuje interese, pričakovanja odjemalcev glede kakovosti s finančnimi zmožnostmi družbe. Osnovna veličina regulacije je kakovost električne energije. V zadnjem obdobju intenzivneje naraščajo zahteve glede kakovosti električne energije s strani vseh odjemalcev in drugih institucij, ki skrbijo ali nadzirajo delovanje DEES.

Tehnološki razvoj je v globalnem svetu v zadnjem času še posebej hiter in praviloma vedno povezan z uporabo električne energije. To potrjuje pomembnost EES in posledično DEES.

Sodoben DEES omogoča in bo v bodoče moral omogočati uvajanje novih tehnologij in tehnoloških rešitev [19] skladno s politiko regulatorja trga z električno energijo.

3 OSNOVNE ZAHTEVE DEES

Prva osnovna zahteva je izpolnitev zahtev po kakovosti električne energije. Ta zajema:

- a) stalnost (neprekinjenost); sistemski kazalci za število prekinitev SAIFI in trajanja prekinitev SAIDI,
- b) obliko napetosti (SIST EN 50160); izpolnjevanje vseh predpisanih parametrov,
- c) komercialna kakovost; izpolnitev vseh predpisanih zahtev.

Podrobnosti s poglobljeno obravnavo kakovosti in nov način prikazovanja kakovosti električne energije distribucijskega elektroenergetskega sistema so obdelane v [20]. Podlago za poglobljeno obravnavo kakovosti najdemo v poglavju o prekinitvah napajanja [21]. V tem prispevku je prikazana samo prva raven kakovosti, to je stalnost (neprekinjenost) napajanja, ki se nanaša na število in čas prekinitev.

Z vstopom v Evropsko unijo je Slovenija sprejela vrsto obveznosti, med njimi tudi to, da prenese direktive s področja električne energije v nacionalno zakonodajo. Takoj po vstopu je Slovenija postala tudi članica Sveta evropskih energetskega regulatorjev CEER (Council of European Energy Regulators). Združenje redno izdaja poročila. V podpoglavju navedenega poročila je podan pregled obravnave kakovosti električne energije znotraj EU s poudarkom na prvi ravni kakovosti električne energije – stalnost (neprekinjenost napajanja). V poročilu združenja, poglavje 2 građiva [18], obravnava vse tri ravni kakovosti. V uvodu najdemo zapis, da bi v popolnem svetu morala biti električna energija stalno na razpolago. V realnem svetu, ki ima omejitve, je prva raven kakovosti električne energije, stalnost (neprekinjenost napajanja) najpomembnejša, vendar omejena znotraj tehničnih in finančnih možnosti. Pojasnjeni so osnovni pojmi, kot na primer: prekinitev, načrtovane in nenačrtovane prekinitve. Poudarjeno je, da pretežni del prekinitev nastaja v srednjenapetostnem omrežju. Vse države EU izvajajo stalni nadzor nad kakovostjo električne energije (monitoring), vendar so precejšnje razlike med državami glede na vsebino, kot na primer definicija višje sile, kazalci spremljanja kakovosti.

V svetovnem merilu so začeli intenzivneje uporabljati kazalce zanesljivosti v zadnjih petnajstih letih [22], najprej množično v Združenih državah Amerike [23] in [24].

Prva raven kakovosti, stalnost (neprekinjenost napajanja), je določena s številom prekinitev in s trajanjem prekinitev. Uporabljena sta kazalca: SAIFI, ki prikazuje kolikokrat je bila končnemu odjemalcu povprečno letno prekinjena električna energija in SAIDI, ki prikazuje povprečni čas v enem letu, ko je končni odjemalec brez oskrbe z električno energijo.

Neprekinjenost napajanja z električno energijo je pogojena tako z izbranim sistemom delovanja (obratovanja) srednjenapetostnega omrežja, kot tudi z vlaganji v posodobitve in ima mejne vrednosti. Pri tem je mišljeno število prekinitev in trajanje prekinitev.

Za zmanjševanje števila prekinitev in zmanjševanje časa prekinitev se izvajajo naslednji pomembnejši ukrepi [4]:

- vzankanje z uporabo klasičnih rešitev in z uporabo sodobnih srednjenapetostnih vodov,
- kabliranje srednjenapetostnega omrežja,
- uporaba agregatov pri planiranih delih,
- vgradnja sistemov majhnih moči za brezprekinitveno napajanje napetostno občutljivih naprav pri odjemalcih,
- vgradnja shunt odklopnikov,
- drugi primeri, kot na primer avtomatizacija vodenja srednjenapetostnega omrežja.

Navedeni ukrepi doprinesejo h kakovosti, ker zmanjšujejo čase prekinitev, ne morejo pa prekinitev v celoti odpraviti. Vzankanje srednjenapetostnega omrežja pomeni, da imamo možnost napajanja odjemalcev tudi v primeru okvare na napajalnem vodu, ker v tem primeru odjemalca preklopimo na drugi del zanke, ki ni v okvari. Zaradi sistema ozemljevanja nevtralne točke ta ukrep doprinese k zmanjšanju časa brez napajanja, ne more pa preprečiti prekinitve. Zaradi navedenega je zelo pomembno, kako so nadzemni vodi občutljivi na zunanje vplive. Sodobni srednjenapetostni vodi imajo veliko manj prehodnih okvar, zato neposredno zmanjšujejo število prekinitev in tako povečujejo zanesljivost sistema. Drugi ukrep, kabliranje srednjenapetostnega omrežja, pomeni znatno zmanjševanje zunanjih vplivov na prekinitve. Istočasno se čas posamezne nenačrtovane prekinitve bistveno podaljša. Prav tako je potrebno spremeniti konfiguracijo omrežja, da se omili negativni vpliv kabliranja, to je čas trajanja prekinitev oziroma popravi. Prva dva ukrepa omogočata skrajšanje časa prekinitev, vendar ne odpravljata v celoti prekinitve. Tretji ukrep - uporaba agregatov, pomeni zmanjševanje načrtovanega trajanja prekinitev in se je že uveljavil v praksi. Četrty ukrep - vgradnja sistemov majhnih moči za brezprekinitveno napajanje napetostno občutljivih naprav pri odjemalcih - je v domeni odjemalcev in zunanjih vzpodbud. Poleg navedenih načinov za povečanje kakovosti električne energije, ki se že izvajajo, poznamo še nove sistemske načine, kot so:

- vgradnja shunt odklopnikov kot dopolnitev (večine) obstoječih načinov obratovanja srednjenapetostnih vodov,
- zamenjava ali dograditev sistema ozemljevanja srednjenapetostnega omrežja in

- drugi načini, kot na primer nadgradnja obstoječega distribucijskega elektroenergetskega sistema (avtomatizacija).

Prvi zgoraj navedeni način pomeni bistveno zmanjševanje števila kratkotrajnih prekinitev in je primeren za vgradnjo v obstoječi sistem ozemljevanja nevtralne točke sredjenapetostnega omrežja. Ta način povečanja zanesljivosti je tudi najcenejši [4] in po drugi strani vpliva na celotno distribucijsko omrežje. Poznamo še druge dopolnilne ukrepe, kot na primer povečanje kratkostične moči z ojačitvijo omrežja.

Pomemben ukrep je optimiranje razpoložljivih vlaganj [20], ki povečuje zanesljivost DEES.

Druga pomembna zahteva, ki jo mora izpolnjevati DEES, je zagotavljanje nediskriminatornega dostopa vseh odjemalcev do DEES za prenos dogovorjenih količin električne energije in kakovosti. Pri nas je uveljavljeno načelo poštna znamka. To pomeni, da vsi odjemalci plačamo enake dajatve ne glede na oddaljenost za enake količine električne energije. Dostop do DEES ali preprosto pravice in obveznosti systemskega operaterja distribucijskega omrežja in odjemalca se določijo v pogodbi o dostopu. Če upoštevamo, da je električna energija posebna oblika energije in potrebna za delovanje vseh sistemov in sodobne družbe kot celote, mora država poskrbeti in skrbeti za zagotavljanje te dobrine vsem občanom skladno s predpisi. To funkcijo opravlja regulator trga z energijo. V Sloveniji je to Javna agencija Republike Slovenije za energijo (JARSE). Za izvajanje dostopa in drugih zahtev načrtovanje, gradnja, obratovanje, vzdrževanje, je v Sloveniji zadolžen systemski operater distribucijskega omrežja SODOd.o.o..

Tretja pomembna zahteva je varno obratovanje in zagotovitev varnosti ljudi in živali skladno s predpisi. Na videz preprosta zahteva, ki je v praksi zelo kompleksna in zahteva dolgoročno obravnavo.

Četrta zahteva je povezana zanesljivostjo obratovanja skladno z zahtevami regulatorja in morebitnih drugih dodatnih zahtev. Pomeni izvajanje opisanih zahtev v prvi zahtevi tega podpoglavja (izpolnitev zahtev po kakovosti električne energije).

Ostale zahteve: vključevanje obnovljivih virov energije (OVE); vključevanje razpršenih virov električne energije (RV).

4 POGOJI ZA DELOVANJE DEES

Najpomembnejši pogoji za delovanje DEES so:

- a) Dolgoročno načrtovanje s periodičnim osveževanjem prognoz in razvoja; sedaj se to izvaja na dve leti;načrtovanje je vedno tesno povezano z določitvijo zahtev,
- b) Zagotovitev potrebnih virov; finančni viri, človeški viri,
- c) Zagotovitev pogojev za izvedljivost; predvsem je to mišljeno za poseganje v prostor; določena morajo biti sprejemljiva (pravična) merila za poseg in za odškodnine za vse udeležence v postopkih posegov v prostor.
- d) Določena mora biti povezava med zahtevami po kakovosti in potrebnimi viri,
- e) Informacijska podpora za izvajanje vseh procesov DEES,
- f) Drugi specifični pogoji.

5 DEES VČERAJ, DANES, JUTRI

5.1 DEES »včeraj« lahko opredelimo z naslednjimi koraki in obravnava začetke elektrifikacije:

- a) Tehnološke rešitve so bile v koraku s stanjem takratne tehnike. Novosti so relativno hitro bile uvedene tudi na našem območju. kot na primer daljinsko vodeni objekti RTP pred 35 leti, uvedba nazivne napetosti 230 V,
- b) Odjemalci so posedovali robustne in skromne naprave »neobčutljive« na prekinitve. Električna energija je bila predvsem privilegij premožnejših. Odjemalci so bili nezahtevni do prekinitvev iz več razlogov, na primer večje razumevanje, poseben odnos do napredka in drugo.
- c) Naprave so bile še »čiste«, niso povzročale onesnaženja sinusoide napetosti omrežja. Prevladovala so grela in sijalke, ki so jim takrat rekli žarnice, s praktično ohmskim karakterjem.

5.2 DEES »do danes« predstavlja dogajanja v DEES s poudarkom v zadnjih desetletjih v povojnem času:

- a) Uvedene so bile naslednje večje posodobitve DEES:
 1. Daljinsko vodenje objektov razdelilnih transformatorskih postajah (RTP) in razdelilnih postajah (RP) pred 35 leti,
 2. Uvedba nazivne napetosti 230 V,
 3. Uvajanje sodobnejših SN in NN kablovodov,
 4. Sodobnejše rešitve SN in NN vodov: betonski drogovi, drogovniki, samonosilni kabelski snop, avtomatizacija srednjenapetostnega omrežja, uvajanje transformatorjev s prilagojenimi karakteristikami,
 5. Sodobne rešitve transformatorskih postaj: na drogu, predfabricirane v betonskem ohišju, prenosne ,
 6. Sodobni distribucijski centri vodenja,
 7. Sodobna primarna in sekundarna oprema,

-
8. Številni pilot projekti na področjih povezanih z novimi možnostmi informacijskih sistemov, kot na primer internetni širokopasovni dostop preko modema v navadni vtičnici električne napetosti 230 V,
 9. Začetki (na nivoju pilot projektov) uvajanja konceptov pametnih omrežij zaradi velikega porasta proizvajalcev električne energije,
 10. Optimizacija posameznih sklopov vzdrževanja, dvokriterijska optimizacija kakovosti pri minimalnih vlaganjih, ...
- b) Doživeli smo tehnološko zamenjavo zaščitnih naprav s sodobnimi; izvedba je bila uspešna, ker so te naprave montirane znotraj objektov in s kontrolirano klimo ali vsaj z ne preveč agresivnimi atmosferskimi in drugimi vplivi, kot na primer vibracije.
- c) Doživeli smo intenzivno fazo informatizacije, zlasti z uvedbo digitalnega računalnika v praktično vse postopke načrtovanja, gradenj, obratovanja in vzdrževanja.

5.3 Kje smo danes?

- a) Slovenski DEES je v nekaterih pogledih primerljiv z najbolj razvitimi, kot na primer uporaba sodobnih tehnoloških rešitev, kot tudi uporaba sodobnih materialov oziroma sklopov.
- b) V pogledu strukture DEES predvsem sredjenapetostno omrežje, pa je razlika velika:
1. vzskanost : ciljna vrednost \Rightarrow 100% (sedaj \approx 60%),
 2. pokablitve: ciljna vrednost \Rightarrow 100% (sedaj \approx 30%),
 3. avtomatizacija (optimizacija) SN in NN omrežja: ciljna vrednost $\Rightarrow \approx$ 100% (sedaj \approx 5%),
 4. tehnološke posodobitve RTP, RP, TP (vgradnja novejših primarne in sekundarne opreme, meritve električne energije in kakovosti v vseh objektih!): ciljna vrednost \Rightarrow 100% (sedaj \approx 5%),
 5. Telemetrične meritve pri vseh odjemalcih, ciljna vrednost \Rightarrow 100% (sedaj \approx 20%),
 6. Uvedba geografsko informacijskega sistema GIS, ciljna vrednost \Rightarrow 100% (sedaj \approx 100% SN, 40% NN od \approx 45.000 km NNO),
- c) Še nimamo vetrnih elektrarn velike moči; za vetrno energijo potrebujemo močno prenosno omrežje in nadomestno klasično proizvedeno električno energijo ali ustrezno črpalno elektrarno.

- d) Pričenja se že obdobje onesnaževanja omrežja zaradi nekaterih novih aparatov ali praktično z vsemi novimi aparati, ki imajo nelinearne karakteristike.
- e) Določiti (dopolniti) bi bilo potrebno povezavo med zahtevami do DEES in potrebnimi sredstvi in človeškimi viri.
- f) Kakovost dobavljene električne energije je temeljna zahteva DEES. Najzahtevnejša je prva raven, stalnost, ki je neposredno odvisna od vplivnih veličin [4]: vzankanje, pokablitev, avtomatizacija, druge manj vplivne. Kakovost je v splošnem odvisna od vlaganj C , lahko splošno zapišemo $Q=Q(C)$. Obstajajo že rešitve večkriterijske optimizacije, kjer iščemo maksimalno kakovost $Q \Rightarrow Q_{max}$ pri minimalnih potrebnih vlaganjih $C \Rightarrow C_{min}$ [20]. Kot primer je v nadaljevanju podan izsek iz obravnave navedenega problema povezave med maksimalno kakovostjo in minimalnimi vlaganji, kar je doseženo z dvokriterijsko optimizacijo.

V globalnem svetu je vedno več zahtev in potreb za nove postopke, procese in sisteme. Zaradi kompleksnosti je potrebno uporabljati nove optimizacijske metode, ki imajo za posledico pozitivne ekonomske učinke [25], [26]. V našem primeru smo razrešili obravnavani problem; kolikšna sredstva so potrebna za vzpostavitev in zagotavljanje željenega nivoja kakovosti oziroma kakšen nivo kakovosti lahko pričakujemo pri vnaprej določenih finančnih sredstvih. Optimizacijo lahko opišemo kot postopek zmanjševanja neugodnega (neželenega) vpliva ob hkratnem povečevanju ugodnega (željenega) učinka pri opazovanem problemu. Optimizacijski problem v splošnem definiramo kot iskanje minimuma kriterijske funkcije f :

$$\min_{x \in \mathbb{R}^n} f(x) \quad (1)$$

Obravnavani problem iskanja potrebnih minimalnih sredstev za vzpostavitev in zagotavljanje željenega nivoja kakovosti oziroma vprašanje, kakšen nivo kakovosti lahko pričakujemo pri vnaprej določenih finančnih minimalnih (omejenih) sredstvih, sta funkcijsko nasprotujoča in zato zanimiva za optimizacijo. Splošno velja, da več vlaganj v kakovost pomeni večjo kakovost, oziroma manj vlaganj pomeni manjšo kakovost.

Kakovost Q in vlaganja C sta dve kriterijski funkciji spremenljivk: razmerje med dolžino kablovodov in vsoto vseh vodov (podzemni in nadzemni) r_{KB} , razmerje med dolžino vzankanih vodov in vsoto vseh vzankanih vodov (podzemni in nadzemni) r_{VZ} in čas popravila T_r .

Z večkriterijsko optimizacijo [27] iščemo optimalne rešitve za maksimalno kakovost pri pogoju minimalnih vlaganj.

$$\begin{aligned} Q(r_{KB}; r_{VZ}; T_r) &\Rightarrow Q(r_{KBopt}; r_{VZopt}; T_{ropt})_{\max} \text{ in} \\ C(r_{KB}; r_{VZ}; T_r) &\Rightarrow C(r_{KBopt}; r_{VZopt}; T_{ropt})_{\min} \end{aligned} \quad (2)$$

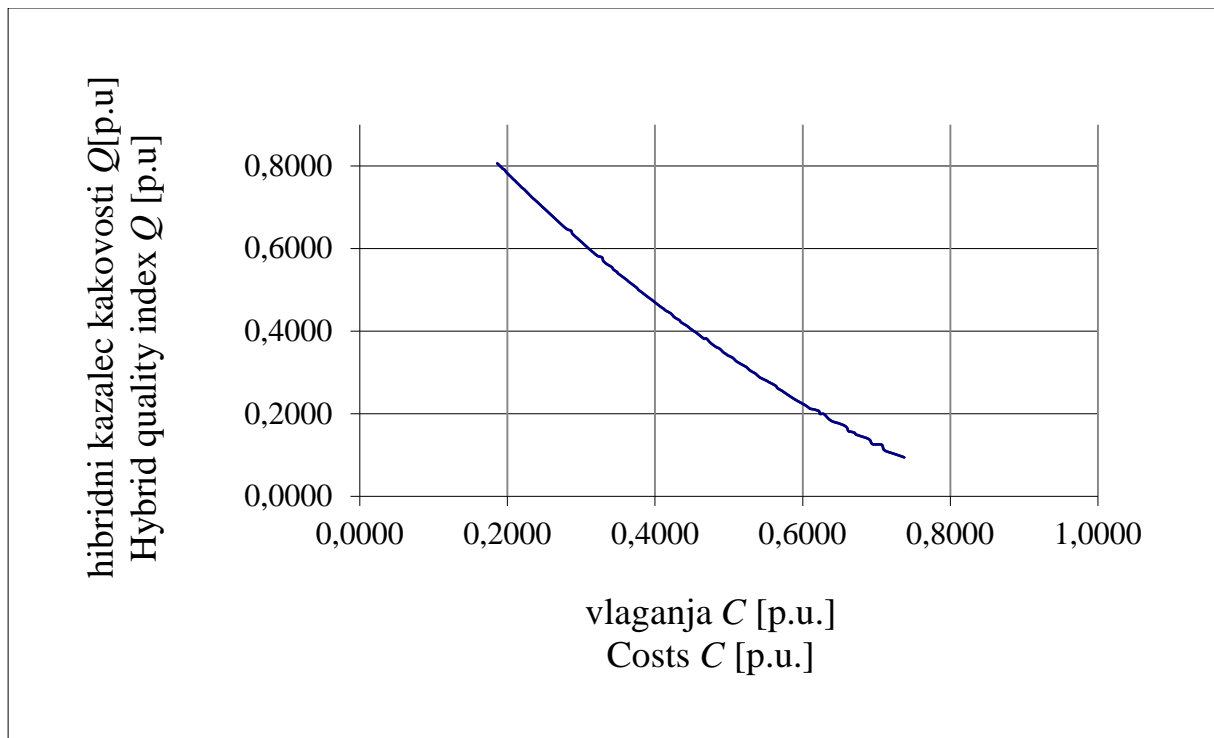
Kjer pomeni:

r_{KBopt} optimalno razmerje med dolžino kablovodov in vsoto vseh vodov (podzemni in nadzemni),

r_{VZopt} optimalno razmerje med dolžino vzankanih vodov in vsoto vseh vzankanih vodov (podzemni in nadzemni),

T_{ropt} optimalni čas popravila.

Z dvokriterijsko optimizacijo pridobimo množico optimalnih rešitev minimalnih vlaganj za izbrane željene vrednosti kakovosti v odvisnosti od spremenljivk. V splošnem ne moremo postaviti trditve o optimumu ene same rešitve »minimalna vlaganja za maksimalno kakovost«, ker zgornja mejna rešitev kakovosti limitira v danem trenutku v tehnološko omejeno rešitev in velja splošno načelo, da se kakovost stalno izboljšuje. Vsakokratni rešitvi željene kakovosti Q_x pripada množica vrednosti potrebnih vlaganj C_x . Tem rešitvam pripadajo optimalna kazalca kakovosti $SAIFI_{opt}$ in $SAIDI_{opt}$ oziroma vrednosti spremenljivk: optimalna stopnja pokablitve r_{KBopt} , optimalna stopnja vzankanosti r_{VZopt} in optimalni čas popravila T_{ropt} . Primer izračuna optimalnih rešitev vlaganj za željeno kakovost je predstavljen na sliki 1. Na sliki so podane vrednosti vseh možnih optimalnih rešitev vlaganj za željeno kakovost v relativnih vrednostih. Predstavljena dvokriterijska optimizacijska metoda pomeni, da imamo vedno minimalna vlaganja C_{xmin} za maksimalno vrednost kakovosti Q_{xmax} .



Slika 1: Prikaz večkriterijske optimizacije za kriterijsko funkcijo hibridni kazalec kakovosti Q in kriterijsko funkcijo pripadajoče optimalne rešitve vlaganj C

- g) Informacijska podpora pokriva sedanje zahteve za DEES. Številni pilot projekti predstavljajo zametek prihodnjih zahtev [19], tako z vidika oblikovanja zahtev, kot tudi z vidika izdelave ustreznih programskih orodij in tehnoloških rešitev, kot na primer poenotenje komunikacij med energetskimi objekti.

5.4 DEES »jutri« ali kaj danes vemo o zahtevah bližnje prihodnosti:

- a) Sedanji DEES se bo bistveno spremenil zlasti v naslednjem:
1. Energija ne bo več tekla samo od velikih proizvajalcev električne energije preko prenosnega omrežja do distribucijskega omrežja in naprej do vseh odjemalcev. S pojavom množice proizvodnih virov RV bo energija »tekla« tudi od posameznega proizvajalca električne energije do drugih odjemalcev električne energije znotraj distribucijskega omrežja in v določenih primerih lahko tudi v prenosno omrežje. Če imamo proizvodnjo električne energije iz malih hidro elektrarn, ki presega porabo na tem območju, se le ta transformira iz nizke napetosti na sredjenapetostni nivo ali celo

na visokonapetostni nivo. Tak primer je območje Tolmina oziroma zgornjesoška dolina.

2. DEES ne bo več obratoval samo radialno, potrebno bo poiskati tehnične možnosti za obratovanje v zanki, da bodo proizvodni viri sledili optimumu »čim več prodati«. Stanje bo podobno kot ga imamo danes na prenosnem omrežju. Potrebno bo spremeniti zakonodajo in dopolniti predpise, da bo zadoščeno varnosti, zanesljivosti, ekološkim zahtevam, pričakovanjem investitorjev v proizvodnjo iz obnovljivih virov.
 3. Nelinearni porabniki bodo povzročili veliko večje onesnaženje sinusoide napetosti, zato bo potrebno to sanirati bodisi s strožimi predpisi do proizvajalcev bodisi z aktivnimi napravami za kompenzacijo teh vplivov. Danes je že aktivno »dogovarjanje« med proizvajalci opreme široke potrošnje in operaterji. Prvi želijo minimalna odstopanja od nazivne napetosti 230 V, medtem ko drugi (upravičeno) zahtevajo uskladitev z veljavno toleranco $\pm\%$ oziroma čim večjo zaradi finančnih zahtev za minimalna odstopanja.
- b) Vprašanje varnosti pred električnim udarom bo potrebno vključiti v novo zakonodajo, predvsem zaradi novih postopkov dela, zahtev po delu pod napetostjo, novih množičnih malih proizvodnih virov oziroma zaradi doseganja čimvišje stopnje zanesljivosti.
 - c) Vse novosti, kot na primer zelo aktualni projekt »aktivnih omrežij« [19] in uvajanje električnega avtomobila, bo potrebno vključevati skladno z možnostmi in pri pogoju, da sedanji »klasični« DEES potrebuje tudi stalno posodabljanje in potrebno vzdrževanje zaradi zagotavljanja varnosti in zanesljivosti. Navedeno je neposredno povezano s potrebnimi minimalnimi sredstvi po načelu $Q \Rightarrow Q_{max}$ pri $C \Rightarrow C_{min}$.
 - d) Potrebno bo še več vlagati v človeške vire v znanje! Iz prakse in petintridesetletnega poznavanja te problematike distribucijskih podjetij, izhaja, da bomo ne glede na specialistična znanja za posamezni segment potrebovali »splošnega inženirja«, ki bo prepoznal zahteve osnovnih procesov v DEES in postopno vključeval novosti.

6 SKLEP

Distribucijski elektroenergetski sistem je nujno potreben za delovanje vseh procesov, ki temeljijo na uporabi električne energije. Skorajda ni več poslovnih procesov, ki ne bi uporabljali električne energije. Sodobni svet potrebuje za razvoj vedno električno energijo, zato je postala kakovost te dobrine zelo pomembna in potrebna. V zadnjem obdobju intenzivneje naraščajo zahteve glede kakovosti električne energije pri vseh odjemalcih in drugih institucijah, ki skrbijo za delovanje distribucijskega elektroenergetskega sistema, ali nadzirajo njegovo delovanje. Zaradi določenih neusklajenosti terminologije je v predstavitvi uporabljena naslednja terminologija: kakovost električne energije ima ravni kakovosti, posamezna raven kakovosti doseže nivo kakovosti in se izraža s kazalci.

Prikazan je primer dvokriterijske optimizacije pripadajočih minimalnih vlaganj za željeno maksimalno kakovost, ki zajemajo stroške zaradi prekinitev in trajanja nenačrtovanih in načrtovanih prekinitev, investicije (stroški) za zagotavljanje kakovosti in stroške zaradi vzdrževanja. Z vidika zmanjševanja stroškov pomeni predstavljena optimizacija vlaganj aktualen prispevek k poslovanju družb distribucije električne energije.

DEES je v dosedanjem času sledil zahtevam oziroma osnovnemu namenu. V nekaterih parametrih je povsem primerljiv z najsodobnejšimi. Razlike so predvsem v strukturi, ki neposredno vpliva na število in trajanje prekinitev dobave električne energije.

DEES ima nekatere posebnosti, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju, gradnji, vzdrževanju in obratovanju. Zlasti je potrebno posebnosti vključiti v vse potrebne ukrepe za zagotavljanje varnosti.

Za uspešno delovanje DEES je potrebno dolgoročno načrtovanje, sodobna gradnja in vzdrževanje. Zagotovljeni morajo biti ustrezni viri, tako finančni kot človeški, za izpolnitev postavljenih zahtev po kakovosti. Zelo pomembna se zlasti v zadnjem času kaže izvedljivost poseganja v prostor z načrtovanimi objekti.

Elektrotehnično stroko je potrebno ohraniti in zaradi pomembnosti DEES za družbo tudi povečati družbeni pomen.

LITERATURA

- [1] *Slovenski elektrotehniški slovar Področje elektroenergetika Poglavje 601 Proizvodnja, prenos in distribucija električne energije*, Mednarodna elektrotehniška komisija, IEC Elektrotehniška zveza Slovenije Sloko CIGRE, Ljubljana 1996,
- [2] *Akt o posredovanju podatkov o kakovosti oskrbe z električno energijo*, Uradni list RS, št. 89/2010).
- [3] Hlebčar B.: *Kriteriji za ocenjevanje vplivov investicij na kakovost električne energije*, EIMV, Ljubljana 2006,
- [4] Toroš Z.: *Izboljšanje zanesljivosti delovanja sistema Elektro Primorske*, magistrska naloga; Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor 2003,
- [5] *Energetski zakon*, Ur. l. RS št. (27/2007, 70/2008, 22/2010 in 37/2011 - Odl. US: U-I-257/09-22 in 10/2012),
- [6] *Splošni pogoji za dobavo in odjem električne energije iz distribucijskega omrežja električne energije*, Ur. l. RS št. (126/2007, 37/2011),
- [7] *Uredba o načinu izvajanja gospodarske javne službe dejavnosti systemskega operaterja distribucijskega omrežja električne energije in gospodarske javne službe, dobava električne energije tarifnim odjemalcem*, Ur. l. RS št. (117/2004, 23/2007),
- [8] *Pogodba o najemu elektrodistribucijske infrastrukture in izvajanju storitev za systemskega operaterja distribucijskega omrežja* sklenjena med SODO d. o. o. in Elektro Primorska d. d., interni dokument Elektro Primorska, d. d. lastnik elektrodistribucijske infrastrukture, Nova Gorica, februar 2012,
- [9] *Uredba o koncesiji gospodarske javne službe dejavnosti systemskega operaterja distribucijskega omrežja električne energije*, Ur. l. RS, št. (39/2007),
- [10] *Akt o metodologiji za določitev omrežnine in kriterijih za ugotavljanje upravičenih stroškov za elektroenergetska omrežja in metodologiji za obračunavanje omrežnine* (Ur. l. RS, št. 59/2010, 52/2011), ([Neuradno prečiščeno besedilo akta](#)), [81/2012](#),
- [11] *Sistemska obratovalna navodila za distribucijsko omrežje električne energije* (Ur. l. RS, št. 41/2011),
- [12] *Pravilnik o določitvi cen za uporabo elektroenergetskih omrežij in kriterijih za upravičenost stroškov*, Ur. l. RS, št. (134/2003),

-
- [13] *Kolektivna pogodba elektrogospodarstva Slovenije* Ur. l. RS, št. (38/1996, 45/1996, 40/1997, 39/1999, 29/2003, 100/2004, 81/2005, 105/2007),
- [14] E. Fumagalli, L. Lo Schiavo, F. Delestre: *Service Quality Regulation in Electricity Distribution and Retail*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007,
- [15] Bokal, D., Švajger, M.: *Kazalci zanesljivosti v DEES*, šesta konferenca slovenskih elektroenergetikov, ref. CIRED ŠK 3-22, Portorož, 26.- 29. maja 2003,
- [16] CEER: Council of European Energy Regulators, Seminar organised by Autorita per l'energia elettrica e il gas: *Regulation of electricity supply quality in European countries; New dimensions of quality regulation*, Milan, June 2001,
- [17] Warren, C., Pearson, D., Sheehan, M.: *A National wide Survey of Recorded Information Used for Calculating Distribution Reliability Indices*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 2, April 2003,
- [18] Ref: C08-EQS-24-04; 4TH Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply 2008, Issued by Council of European Energy Regulators ASBL 28 rue le Titien, 1000 Bruxelles; CEER 10 december 2008,
- [19] Jeriček L.G., Jurše J., Kernjak M., Kosmač J., Matvoz D., Omahen G., Papič I., Souvent A., Zlatarev G.: *Vizija razvoja koncepta smatrgreds v Sloveniji*, EIMV; Ljubljana, marec 2010,
- [20] Toroš Z.: *Hibridni kazalci kakovosti električne energije v distribucijskem elektroenergetskem sistemu*, doktorska disertacija; Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor 2009,
- [21] *Slovenski standard SIST EN 50160*, druga izdaja, marec 2001,
- [22] Bokal D., Matvoz D.: *Obvladovanje in spremljanje stalnosti dobave električne energije (zanesljivosti) v smislu parametrov stalnosti dobave*, EIMV, Ljubljana 2005,
- [23] Billinton R., Allan R.: *Reliability Evaluation of Power Systems*, Second edition, Plenum Press, New York 1996,
- [24] Warren C., Pearson D., Sheehan M.: *A Nationwide Survey of Recorded Information Used for Calculating Distribution Reliability Indices*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 2, April 2003,
- [25] M. Brežočnik: *Uporaba genetskega programiranja v inteligentnih proizvodnih sistemih*, Maribor, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru, 2000,

[26] Kitak P., Pihler J., Tičar I., Strmecki A., Biro O., Preis K., Magele C.: *Virtual design of insulation elements based on FEM and automated optimization process.* in *IEEE/ACES conference on Wireless communications and applied computational electromagnetics*, Honolulu, Hawaii, 2005,

[27] Kenneth V. Price, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen: *Differential Evolution A Practical Approach to Global Optimization*, Lappeenranta University of Technology Department of Information Technology, P. O. Box 20 Lappeenranta, Finland 2005.