



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Inženir elektroenergetike
Modul: Varovanje okolja in varstvo pri delu

VZDRŽEVANJE IN PREGLEDI POSTROJEV V ELEKTROENERGETSKIH SISTEMIH

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Irena Žunko, prof. slov.

Kandidat: Andraž Pirc

Senožeti, maj 2026

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju g. dr. Viktorju Lovrenčiču, univ. dipl. inž. el., za strokovno vodenje, dragocene usmeritve in konstruktivne pripombe, s katerimi je pomembno prispeval k vsebinski kakovosti in končni podobi diplomskega dela.

Za pomoč pri izdelavi in nastajanju diplomskega dela, zlasti pri zbiranju informacij ter tehnični podpori s področja vzdrževanja elektroenergetskih sistemov, se iskreno zahvaljujem g. Mateju Zorku, inž. el.

Zahvaljujem se tudi ge. Ireni Žunko, prof. slov., za natančen jezikovni in slovnični pregled diplomske naloge ter za prispevek k njeni jasnosti in jezikovni ustreznosti.

IZJAVA

Študent Andraž Pirc izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole in v institucionalnem oz. nacionalnem repozitoriju (COBISS).

Dne: 19. 5. 2026

Podpis: _____

POVZETEK

V tem delu želim prikazati in opisati pojem vzdrževanja elektroenergetskih postrojev, njegov pomen in prispevek k rednemu kontinuiranemu vzdrževanju. Prikazati želim razvoj vzdrževanja čez čas na primerih iz tujine in Slovenije. Razložiti želim osnovne pojme različnega vzdrževanja, ki se uporabljajo v distribuciji in tudi pri sistemskih operaterjih, ter povzeti strategije, ki jih uporabljamo v podjetju ELES, d. o. o. Na konkretnem primeru preventivnega vzdrževanja želim prikazati postopke pred, med in po uspešni izvedbi revizijskega postopka 110 kV DV polja.

KLJUČNE BESEDE

- Visoka napetost
- Elektroenergetski sistemi
- Visokonapetostne naprave
- Pregledi, vzdrževanje
- Oprema

SUMMARY

In this section, I aim to present and describe the concept of maintenance of electrical power facilities (electro-energetic installations), its significance, and its contribution to regular and continuous asset upkeep. I intend to illustrate the development of maintenance practices over time, using examples from abroad and from Slovenia.

Furthermore, I will explain the fundamental concepts of different maintenance strategies - including corrective maintenance, preventive maintenance, condition-based maintenance, and predictive maintenance - and identify which of these are applied within distribution networks as well as by transmission system operators (TSOs). I will also summarize the maintenance and asset management strategies implemented within ELES, d.o.o.

Using a concrete example of preventive maintenance, I aim to present the procedures carried out before, during, and after the successful execution of the 110 kV overhead transmission line (OHL) bay overhaul procedure.

KEYWORDS

- High voltage
- Power systems
- High voltage devices
- Inspections, maintenance
- Equipment

KAZALO

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | UVOD | 1 |
| 1.1 | Predstavitev problema | 1 |
| 1.2 | Cilji naloge | 1 |
| 1.3 | Predstavitev okolja | 1 |
| 1.3.1 | Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja | 3 |
| 1.3.2 | Center za infrastrukturo prenosnega omrežja Ljubljana | 3 |
| 1.4 | Predpostavke in omejitve | 5 |
| 1.5 | Metode dela | 5 |
| 1.6 | Vrednote | 5 |
| 2 | ELEKTRIČNA OMREŽJA | 7 |
| 2.1 | Zgodovina in razvoj prenosa EE | 7 |
| 3 | DELITEV ELEKTRIČNIH OMREŽIJ | 9 |
| 3.1 | Po napetosti (U) | 9 |
| 3.2 | Po vrsti toka (I) | 9 |
| 3.3 | Po izvedbi | 10 |
| 3.4 | Po obliki ali konfiguraciji omrežja een | 10 |
| 3.5 | Po številu vodnikov | 11 |
| 3.6 | Po namenu | 12 |
| 4 | VZDRŽEVANJE NA SPLOŠNO | 14 |
| 4.1 | Splošna določila | 14 |
| 4.2 | Opredelitev in razvoj vzdrževanja | 16 |
| 4.3 | Strategije vzdrževanja | 20 |
| 4.3.1 | Korektivno (kurativno) vzdrževanje..... | 20 |
| 4.3.2 | Preventivno vzdrževanje..... | 22 |
| 4.3.3 | Preventivno vzdrževanje po času | 27 |
| 4.3.4 | Celovito produktivno vzdrževanje (TPM) | 28 |
| 4.3.5 | Zanesljivo orientirano vzdrževanje (RCM) | 29 |
| 4.3.6 | Računalniško podprto vzdrževanje | 29 |
| 4.3.7 | Plansko vzdrževanje | 30 |
| 4.3.8 | Razvoj in smeri vzdrževanja po letu 2000 | 30 |
| 5 | VARNOSTNI VIDIKI IN VZDRŽEVANJE EEN POSTROJEV | 32 |
| 5.1 | Splošni varnostni vidiki pri delu na postrojih EEN | 32 |
| 5.1.1 | Varnostni vidiki pri reviziji VN naprav | 32 |
| 5.1.2 | Nevarnosti in tveganja pri delu na EEN | 33 |
| 5.1.3 | Ocena tveganja in varnostna dokumentacija | 34 |
| 5.1.4 | Osebna varovalna oprema..... | 37 |
| 5.1.5 | Organizacijski ukrepi za zagotavljanje varnosti | 38 |
| 5.1.6 | Temeljna pravila in postopki varnega dela..... | 39 |
| 5.1.7 | Pet zlatih pravil varnega dela..... | 40 |
| 5.1.8 | Delo v breznapetostnem stanju | 40 |
| 5.1.9 | Delo v bližini naprav, ki so pod napetostjo..... | 44 |

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.10 | Delo pod napetostjo (DPN)..... | 47 |
| 5.1.11 | Varnostni postopki pri revizijskih delih VN naprav | 48 |
| 5.2 | Vzdrževalna dela na splošno..... | 50 |
| 5.2.1 | Definicije pojmov..... | 50 |
| 5.2.2 | Dokumentacija o vzdrževanju | 57 |
| 5.3 | Pregledi in vzdrževanje daljnovodov (DV) | 57 |
| 5.3.1 | Klasični pregled DV..... | 57 |
| 5.3.2 | Pregledi in vzdrževanje DV s pomočjo helikopterske posadke..... | 58 |
| 5.3.3 | Novi pristopi (pregledi z BPL) | 60 |
| 5.3.4 | Dejavniki okvar na daljnovodih (DV)..... | 62 |
| 5.4 | Pregledi in vzdrževanje stikališč v RTP..... | 64 |
| 5.4.1 | Revizija VN naprav daljnovodnega polja v RTP | 64 |
| 5.5 | Ukrepanje ob nezgodah in izrednih dogodkih | 80 |
| 5.5.1 | Ravnanje ob nezgodah pri delu na EEN..... | 80 |
| 5.5.2 | Ukrepanje ob izrednih dogodkih | 80 |
| 5.5.3 | Preventivni ukrepi in pripravljenost na izredne razmere | 80 |
| 5.5.4 | Protokol ukrepanja ob električnem udaru | 81 |
| 6 | ZAKLJUČKI..... | 83 |
| 7 | LITERATURA IN VIRI | 84 |

KAZALO SLIK

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Slika 1: Organigram podjetja ELES, d. o. o., 2026..... | 2 |
| Slika 2: Radialno omrežje | 11 |
| Slika 3: Zaprto zankasto omrežje..... | 11 |
| Slika 4: Delitev vzdrževalnih del..... | 15 |
| Slika 5: Potek odprave napake (popravilo) | 21 |
| Slika 6: Izvajanje korektivnih zamenjav enot sistema | 22 |
| Slika 7: Sistem preventivnega vzdrževanja..... | 23 |
| Slika 8: Razmerja med načrtovanim in nenačrtovanimi posegi..... | 23 |
| Slika 9: Delitev preventivnega vzdrževanja..... | 24 |
| Slika 10: Metode preventivnega vzdrževanja..... | 24 |
| Slika 11: Preventivno vzdrževanje po času – periodično preventivno vzdrževanje . | 27 |
| Slika 12: Uporaba pet zlatih pravil..... | 41 |
| Slika 13: Preverjanje breznapetostnega stanja z VN indikatorjem..... | 42 |
| Slika 14: Ozemljevanje s prenosnimi ozemljitvenimi kompleti | 43 |
| Slika 15: Zavarovanje delovnega mesta | 43 |
| Slika 16: Pregrevanje spoja | 56 |
| Slika 17: Pregrevanje spoja – slika odklopnika | 57 |
| Slika 18: Odklopnik Q0..... | 65 |
| Slika 19: Popis števca delovanj odklopnika | 66 |
| Slika 20: Shema vezave merilnega instrumenta pri meritvi padcev napetosti na odklopniku | 67 |
| Slika 21: Instrument za merjenje časov na odklopnikih – MEGGER TM1600 | 67 |
| Slika 22: Izpis rezultatov meritev vklopnih in izklopnih časov odklopnika (Y1) | 68 |
| Slika 23: Meritve istočasnosti odklopnika (PSA)..... | 68 |
| Slika 24: Čiščenje in mazanje kontaktov 400-kV ločilnika..... | 69 |
| Slika 25: Instrument za merjenje padcev napetosti na ločilnikih in odklopnikih | 71 |
| Slika 26: Točki (A-B) namestitve tokovnih in merilnih vezi..... | 71 |
| Slika 27: Prikaz padcev napetosti VN naprav_1/3 (PSA)..... | 72 |
| Slika 28: Prikaz padcev napetosti VN naprav_2/3 (PSA)..... | 72 |
| Slika 29: Prikaz padcev napetosti VN naprav_2/3 (PSA)..... | 73 |
| Slika 30: Merjenje izolacijske trdnosti | 76 |
| Slika 31: Rezultati meritev..... | 77 |

KAZALO TABEL

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Generacije vzdrževanja in značilnosti | 18 |
| Tabela 2: Razvoj vzdrževanja | 19 |
| Tabela 3: Generacije vzdrževanja..... | 19 |
| Tabela 4: Ocena tveganja pri delu na elektroenergetskih napravah (EEN) | 36 |
| Tabela 5: Osnovna uporaba osebne varovalne opreme (OVO)..... | 38 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 6: Najmanjša varnostna razdalja med deli pod napetostjo in izolacijsko pregrado..... | 45 |
| Tabela 7: Najmanjša varnostna razdalja pri izvajanju del..... | 46 |
| Tabela 8: Najmanjša varnostna razdalja pri izvajanju gradbenih del..... | 46 |
| Tabela 9: Primerjava metod pregledovanja DV..... | 62 |
| Tabela 10: Osn. podatki EE TR..... | 76 |
| Tabela 11: Rezultati meritev izolacijske prebojne trdnosti TR olja..... | 77 |
| Tabela 12: primeri nezgod, izrednih dogodkov pri delu na EEN in ukrepanje..... | 81 |

POJMOVNIK

IZOLATORSKA VERIGA: Element za pritrdjevanje in izoliranje vodnikov ali naprav

KRATICE IN AKRONIMI

| | |
|---------|---------------------------------------------|
| AKZ: | Antikorozijska zaščita |
| BCM: | Poslovanje usmerjeno vzdrževanje |
| BPL: | Brezpilotno letalo |
| DCV: | Distribucijski center vodenja |
| DSO: | Distribucijski operater (EL LJ) |
| DV: | Daljnovid |
| EE: | Električna energija |
| EEL: | Elektroenergetska infrastruktura |
| EEO: | Elektroenergetsko omrežje |
| EES: | Elektroenergetski sistem |
| EPRI: | Electric Power Research Institute |
| EZ: | Energetski zakon |
| GZ: | Gradbeni zakon |
| HD: | Slika visoke ločljivosti |
| HE: | Hidroelektrarna |
| KV: | Kilovolt |
| LCC: | Analiza stroškov življenjske dobe |
| MAXIMO: | Baza tehničnih podatkov |
| NN: | Nizka napetost |
| NNO: | Nizko napetostno omrežje |
| NOV: | Navodila za obratovanje in vodenje |
| PAS: | Pre fabricated Air insulated Substation |
| PGD: | Projekt gradbenih del |
| PID: | Projekt izvedenih del |
| RBI: | Kontrola, ki temelji na tveganju |
| RCM: | Zanesljivo orientirano vzdrževanje |
| RCV: | Republiški center vodenja |
| RP: | Razdelilna postaja |
| RTP: | Razdelilno transformatorska postaja |
| SCADA: | Sistem za spremljanje in nadzor omrežja |
| SM: | Stojno mesto |
| SN: | Srednja napetost |
| SODO: | Sistemski operater distribucijskega omrežja |
| TP: | Transformatorska postaja |
| TPM: | Celovito produktivno vzdrževanje |
| TSO: | Sistemski operater (ELES) |
| UCPTE: | Zahodnoevropski EES (vezana tudi Slovenija) |

| | |
|------|-------------------------|
| VAC: | Izmenična napetost |
| VDC: | Enosmerna napetost |
| VN: | Visoka napetost |
| VPD: | Varstvo pri delu |
| ZDA: | Združene države Amerike |

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Zaradi stalne rasti in širitve prenosnega elektroenergetskega omrežja se pojavlja potreba po dodatnih virih napajanja, kar neposredno vpliva na obseg vzdrževalnih aktivnosti. Ob tem ostaja ključen cilj zagotavljanje zanesljive in neprekinjene oskrbe uporabnikov z električno energijo, kar dodatno povečuje zahteve po ustreznem vzdrževanju infrastrukture.

Napredek tehnologije je bistveno preoblikoval pristope k vzdrževanju, ki postaja vse bolj zahtevno in kompleksno. Uvajanje sodobnih diagnostičnih metod omogoča učinkovitejše izvajanje pregledov ter prispeva k zmanjšanju stroškov in izboljšanju varnosti zaposlenih. Poleg tega na strategije vzdrževanja pomembno vplivata tudi staranje opreme in dotrajanost elektroenergetskih komponent.

V okviru te naloge smo obravnavali sodobne pristope in metodologije vzdrževanja ter predstavili izvedbeni postopek revizije 110-kV daljnovidnega polja v okviru RTP. Dodatno smo osvetlili vlogo vzdrževanja pri varovanju okolja, zlasti z vidika zmanjšanja emisij toplogrednih plinov, ter poudarili pomen zagotavljanja varnega delovnega okolja za zaposlene, ki delujejo v elektroenergetskem sistemu (EES).

1.2 Cilji naloge

Namen naloge je prikazati učinkovitost in pomen preventivnega vzdrževanja, zlasti na podlagi časovno načrtovanih intervalov. Posebna pozornost je namenjena uvedbi ukrepov za izboljšanje varnosti pri delu na napravah, ki jih upravlja podjetje ELES, d. o. o. Analizirana je tudi uporaba termografske diagnostike, ki omogoča hitrejše zaznavanje slabih električnih spojev tako na tokovnih vodih daljnovodov kot tudi v prostozračnih transformacijskih in daljnovodnih poljih ter na primarni opremi. Ključno vodilo naloge je hipoteza, da izboljšave na področju vzdrževanja pomembno prispevajo k večji varnosti delavcev, hitrejši izvedbi del in večji okoljski sprejemljivosti postopkov.

1.3 Predstavitev okolja

Organiziranost podjetja ELES, d. o. o., je formirana po naslednji organizacijski shemi oz. organigramu:

| Vodstvo | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Vodstvo družbe | SL za sisteme upravljanja | SL za korporativno varnost | SL za upravljanje in razvoj kadrov | Notranja revizija | Kabinet vodstva | SL za odnose z javnostmi | SL za splošne zadeve | Varnostno operativni center |
| Področje za upravljanje s sredstvi in projekti | Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja | Področje za obratovanje sistema | Področje za podporne dejavnosti | Področje za informatiko in telekomunikacije | Področje za strateške inovacije | | | |
| Vodstvo področja za upravljanje s sredstvi in projekti | Vodstvo področja za infrastrukturo prenosnega omrežja | Vodstvo področja za obratovanje sistema | Vodstvo področja za podporne dejavnosti | Vodstvo področja za informatiko in telekomunikacije | Vodstvo Področja za strateške inovacije | | | |
| SL za upravljanje portfelja investicijskih projektov | SL za pripravo gradenj | SL za relacije s trgov | SL za javna naročila | SL za poslovne informacijske storitve | SL za strateško inovacijske programe in koncepte | | | |
| SL za načrtovanje omrežja | SL za nadzor gradenj | SL za procesne sisteme | Pravna služba | SL za infrastrukturne informacijske storitve | SL za koordinacijo strateško inovacijskih projektov | | | |
| SL za prostorsko in infrastrukturno skladnost | CIPO Ljubljana | SL za sekundarne sisteme | Finančno računovodska sl. | SL za TK in TK infrastrukturo | SL za komercialne projekte | | | |
| SL za elektroenergetske naprave | CIPO Maribor | SL za obratovanje | SL za kontroling | Storitveni center ITK | SL za polnilne parke velikih moči | | | |
| Diagnostično analitski center | CIPO Podlog | SL za podporo obratovanju | SL za operativno podporo | SL za napredne tehnologije in načrtovanje IT storitev | SL za strateške inovacije v distribucijskih sistemih | | | |
| SL za obvladovanje distribucijske infrastrukture | CIPO Divača | SL za soglasja in nadzor nad obratovanjem | SL za regulativo in obračun omrežnine | | | | | |
| | SL za projektno vodenje investicij | | | | | | | |
| | SL za pripravo del | | | | | | | |
| | SL za tehnično podporo graditve in vzdrževanja | | | | | | | |
| | SL za upravljanje z brezpilotnimi letalniki | | | | | | | |

Slika 1: Organigram podjetja ELES, d. o. o., 2026
(Vir: ELES, 2026)

Družbo ELES sestavlja šest glavnih področij delovanja. To so:

- področje za upravljanje s sredstvi in projekti,
- področje za infrastrukturo prenosnega omrežja,
- področje obratovanja sistema,
- področje podpornih dejavnosti,
- področje za informatiko in telekomunikacije in
- področje za strateške inovacije.

1.3.1 Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja

V nadaljevanju se bomo osredotočili na področje, in sicer na področje za infrastrukturo prenosnega omrežja – PIPO, ki se deli na naslednje službe, ki delujejo znotraj upravljanja (PIPO):

- vodstvo področja za infrastrukturo prenosnega omrežja,
- služba za pripravo gradenj,
- služba za nadzor gradenj,
- služba za projektno vodenje investicij,
- služba za pripravo del,
- služba za tehnično podporo graditve in vzdrževanja,
- CIPO Ljubljana,
- CIPO Maribor,
- CIPO Podlog,
- CIPO Divača (ELES, 2026).

1.3.2 Center za infrastrukturo prenosnega omrežja Ljubljana

CIPO Ljubljana – Center za infrastrukturo prenosnega omrežja Ljubljana deluje in nadzira objekte, ki so locirani na pretežno osrednjeslovenskem območju EES. Njegove naloge so naslednje:

- načrtovanje preventivnih vzdrževalnih del,
- izvajanje kurativnih vzdrževalnih del kot posledica napak oz. havarij,
- priprava plana izklopov elektroenergetskih naprav (EEN),
- nabava materiala za vzdrževalna dela,
- izvajanje nadzora EEN in lokalnega vodenja RTP-jev v primeru nezmožnosti daljinskega vodenja iz pristojnega Območnega centra vodenja (OCV),
- izvajanje vzdrževalnih del za zunanje naročnike,
- elektromontažna dela za lastne potrebe,
- sodelovanje na projektih in vodenje manjših projektov,
- sodelovanje pri rekonstrukcijah in gradnjah objektov,
- izvajanje spremljanja investicij in rekonstrukcij zaradi prevzema objektov,
- sodelovanje v projektih in drugih delovnih skupinah,
- vodenje vzdrževalnih pogodb, ki so vezane na obratovanje EEN,
- koordinacija in nadzor izvajanja del zunanjih izvajalcev,
- priprava in vodenje celotne tehnične dokumentacije za posamezno EEN,
- izdelava dokumentacije za varno delo in usposabljanje delavcev,
- vzdrževanje elektroenergetskih naprav kot tudi infrastrukturnih objektov RTP-ja in okolice RTP-ja.

CIPO Ljubljana obvladuje naslednje RTP- in RP-postaje:

- **RTP 400/220/110 kV Beričevo**

Predstavlja največji objekt RTP v Sloveniji in obsega 400-, 220- in 110-kV napetostne nivoje. Na lokaciji je tudi TSEB poslovni objekt, v katerem sta tudi OCV in RCV. Polja so grajena v prostozračni tehniki.

- **RTP 400/110 kV Okroglo**

Polja so prostozračna in obsegajo 400- in 110-kV napetostna nivoja.

- **RTP 220/110/35 kV Kleče**

Je najstarejša postaja v Sloveniji, ki deluje že od leta 1954, in sicer na 220-, 110- in 35-kV napetostnem nivoju, ki je v opuščenju oz. je opuščena. Polja so prostozračna.

- **RTP 400/110 kV Krško**

Polja so prostozračna. Postaja deluje na 400- in 110-kV napetostnih nivojih. 400-kV zbiralnice RTP Krško so neposredno povezane s stikališčem NEK-a (JEK – jedrska nuklearna elektrarna Krško), katerega del je tudi v Elesovi pristojnosti upravljanja in nadzora.

- **RTP 110/20 kV Brestanica**

Tudi tukaj so polja v izvedbi GIS (Gas insulated sistem – plinsko izolirane stikalne naprave) stikališča. Deluje na 110-kV nivoju.

- **110 kV stikališče TE Trbovlje**

Je prostozračna razdelilna postaja in deluje na 110-kV nivoju.

- **RTP 110/20 kV Medvode**

Polja so v izvedbi GIS (Gas insulated sistem – plinsko izolirane stikalne naprave) stikališča. Deluje na 110-kV nivoju.

- **RTP 110/20 kV Moste**

Polja so v izvedbi GIS (Gas insulated sistem – plinsko izolirane stikalne naprave) stikališča. Deluje na 110-kV nivoju. Vključujejo daljnovidna, zvezna in merilna ter ozemljilna polja.

- **HE 110/10 kV Mavčiče**

Je PASS stikališče, ki deluje na 110-kV nivoju.

- **RTP 110/35 kV Jeklarna**

Je prostozračno stikališče, ki vključuje daljnovidna, zvezna in merilna polja. Deluje na 110- in 35-kV nivoju.

- **RTP 110/20 kV Domžale**

Je prostozračno stikališče, v katerem so v lasti daljnovidna polja, prečna ločitev in sistemska ločilnika. Deluje na 110-kV nivoju.

- **110 kV stikališče TE-TOL**

Polja so v izvedbi GIS (Gas insulated sistem – plinsko izolirane stikalne naprave) stikališča. Obratuje na 110-kV nivoju.

- **RTP 110/20 kV Dobruška vas**

Je prostozračno stikališče, v katerem so v lasti daljnovidna polja in vzdolžna ločilnika. Deluje na 110- in 20-kV nivoju.

- **RP 110 kV Hudo**

Je razdelilna postaja, ki deluje na 110-kV nivoju. Grajena je kot prostozračno stikališče.

1.4 Predpostavke in omejitve

ELES kot sistemski operater skrbi za zanesljivo in varno delovanje elektroenergetskega sistema, kar je ključnega pomena za stabilnost in trajnostni razvoj države ter njeno preobrazbo v nizkoogljeno družbo. Glede na svojo vlogo in državno lastništvo se podjetje zavezuje k delovanju, ki presega zgolj gospodarske interese, saj oskrba z električno energijo predstavlja temelj delovanja družbe kot celote. Neprekinjena razpoložljivost električne energije omogoča tehnološki napredek, gospodarsko rast ter energetski prehod v okoljsko bolj trajnostno prihodnost – tako na ravni energetskega sistema kot končnih uporabnikov.

1.5 Metode dela

Vizija podjetja ELES temelji na vzpostavljanju učinkovitih povezav med elektroenergetskimi sistemi in njihovimi uporabniki. Ker ELES ne proizvaja niti ne trži električne energije, je njegova osnovna naloga ustvarjanje vrednosti s pomočjo zanesljive povezanosti in razpoložljivosti sistema. Ta vizija omogoča fleksibilno prilagajanje sodobnim tehnološkim, družbenim in okoljskim spremembam. Podjetje se pri tem pozicionira kot ključni akter v medsektorskem upravljanju energetike, kjer ima osrednjo vlogo pri prehodu v pametne, trajnostne in povezane energetske rešitve.

1.6 Vrednote

Vrednote, ki jih podjetje ELES zagovarja in uresničuje v svojem delovanju, izhajajo iz dolgoletne prakse in se razvijajo v skladu s potrebami časa. Danes te vrednote niso

le notranja usmeritev podjetja, temveč predstavljajo temelj za ustvarjanje zaupanja in zadovoljstva med uporabniki ter širšo družbo.

Zanesljivost je ključna vrednota, saj zagotavljanje neprekinjene in stabilne oskrbe z električno energijo predstavlja osnovno pričakovanje javnosti in trga.

Prožnost omogoča prilagajanje spremenljivim razmeram v energetiki, zlasti ob povečani vlogi obnovljivih virov energije, kjer je ključna sposobnost hitrega in učinkovitega odziva.

Odgovornost se izraža tako v odnosu do družbe kot tudi znotraj podjetja – v vsakodnevnem delovanju, sodelovanju in odločanju, kar krepi zaupanje in ugled podjetja v širšem okolju.

Te vrednote predstavljajo osnovo za uresničevanje vizije in poslanstva ter usmerjajo zaposlene pri opravljanju svojih nalog v kompleksnem in hitro spreminjajočem se energetskega okolju.

2 ELEKTRIČNA OMREŽJA

2.1 Zgodovina in razvoj prenosa EE

Z razvojem prvih naprav za proizvodnjo električne energije se je pojavila potreba po učinkovitem prenosu energije od vira do porabnikov. Prvi delujoči generator je bil izdelan leta 1866 v podjetju Siemens in je temeljil na enosmernem toku. Takšni generatorji so se uporabljali predvsem za napajanje razsvetljave, zlasti žarnic z ogleno nitko. Pomemben mejnik predstavlja leto 1882, ko je Thomas Edison zgradil eno prvih elektrarn, ki je obratovala pri napetosti 103 V. Zaradi takratnih lastnosti vodnikov in njihovih relativno visokih uporov je bil doseg prenosa električne energije omejen na zelo kratke razdalje.

Kmalu zatem so začeli uporabljati elektrarne z višjo enosmerno napetostjo, in sicer okoli 220 V, kar je omogočilo napajanje večjega števila porabnikov, vključno z enostavnimi elektromotorji. Razvil se je tudi sistem trovodnega napajanja, ki je temeljil na uporabi dveh enosmernih generatorjev. Med zunanijima vodnikoma je bila vzpostavljena napetost 440 V DC za pogon motorjev, medtem ko je bila napetost med notranjim in enim zunanjim vodnikom namenjena razsvetljavi.

Ob hitrem razvoju industrije v drugi polovici 19. stoletja je sledil tudi pomemben tehnološki napredek na področju elektroenergetike. Prelomno vlogo je imel Nikola Tesla, ki je leta 1887 patentiral trifazni izmenični sistem ter asinhronski motor z vrtilnim magnetnim poljem. Uporaba izmenične napetosti je omogočila enostavno transformacijo napetostnih nivojev, kar je bistveno zmanjšalo tokovne obremenitve vodnikov, povečalo prenosne razdalje in znatno zmanjšalo izgube pri prenosu električne energije.

Pomembni primeri zgodnjega razvoja prenosnih sistemov so znani tako v Evropi kot v Združenih državah Amerike. Leta 1891 je bila na reki Neckar zgrajena izmenična elektrarna, ki je z napetostjo 25 kV oskrbovala Frankfurt, oddaljen približno 180 km. Dve leti kasneje je bila na Niagarskih slapovih zgrajena izmenična elektrarna z nazivno močjo 3×11 MW. Nadaljnji razvoj je privedel do izgradnje prvega daljnovoda napetostnega nivoja 110 kV leta 1908, kmalu zatem pa še 150-kV vodov, ki so bili kasneje nadgrajeni na 220 kV.

Tudi na območju Slovenije se je elektroenergetsko omrežje postopno razvijalo. Prvi 10-kV sistemi so se pojavili leta 1914, leta 1925 pa je bila z izgradnjo hidroelektrarne Fala na Dravi uvedena napetost 80 kV. Leta 1943 je bil zgrajen prvi 110-kV daljnovod med Dravogradom in Velenjem. Sistem 220 kV je bil uveden leta 1966 z vzpostavitvijo mednarodnih povezav z Italijo in Avstrijo, medtem ko je najvišji napetostni nivo 400 kV začel obratovati leta 1976. Ta nivo še danes predstavlja osnovo prenosnega

sistema ter omogoča vključevanje Slovenije v evropsko sinhrono omrežje UCPTE (ELES, 2022).

Prenos električne energije z izmeničnim tokom je povezan z več tehničnimi omejitvami, kot so vpliv frekvence na induktivno in kapacitivno reaktanco vodov, omejena dolžina daljnovodov ter zahtevno usklajevanje delovanja različnih elektroenergetskih sistemov. Posebne težave predstavljajo tudi povezave na otoke in večje razdalje prenosa.

Zaradi navedenih omejitev se je v sodobnem času znova povečalo zanimanje za prenos električne energije z enosmernim tokom. Enosmerni sistemi omogočajo prenos z enim ali dvema vodnikoma, pri čemer lahko povratni tok v določenih primerih poteka tudi preko zemlje. Pomembno vlogo pri tem ima tudi širina koridorja daljnovoda. Ker generatorji še vedno proizvajajo izmenično napetost, se uporabljajo sodobni usmerniški in razsmerniški elementi, ki omogočajo učinkovito pretvorbo in lažje povezovanje različnih elektroenergetskih sistemov. Pri tem so dovoljena tudi določena odstopanja od nazivne frekvence 50 Hz, ki se razlikujejo glede na posamezen sistem.

Ključnega pomena pri mednarodnem pretoku električne energije je dejstvo, da pretok ni omejen z ideološkimi ali političnimi dejavniki, temveč temelji predvsem na tehničnih in obratovalnih kriterijih (Razpet, 2007).

3 DELITEV ELEKTRIČNIH OMREŽIJ

Delimo jih po naslednjih kriterijih:

- napetost (U),
- tok (I),
- izvedba,
- oblika,
- število vodnikov in
- namen.

3.1 Po napetosti (U)

Delitev glede na napetostni nivo:

- **Nizkonapetostno omrežje (NN)**

Omrežje z napetostjo do 1 kV. Običajno napaja končne odjemalce, kot so gospodinjstva in manjši poslovni uporabniki. Standardna napetost znaša 230 V oziroma 400 V za trifazni priklop.

- **Sredjenapetostno omrežje (SN)**

V to kategorijo uvrščamo omrežja z nazivno napetostjo od 1 kV do 35 kV. Povezujejo transformatorske postaje in večje industrijske ali komunalne porabnike.

- **Visokonapetostno omrežje (VN)**

Obsega napetosti med 35 kV in 220 kV. Uporablja se predvsem za prenos električne energije na regionalni ravni.

- **Zelo visokonapetostno omrežje (ZVN)**

Zajema napetostne nivoje 400 kV in več. Predstavlja hrbtenico nacionalnega in mednarodnega prenosnega sistema, ki omogoča velike prenose električne energije na dolge razdalje in povezovanje z drugimi sistemi.

3.2 PO VRSTI TOKA (I)

Delitev glede na vrsto toka:

- **Izmenični tok (AC)**

Najpogosteje uporabljen tok v elektroenergetskem sistemu, saj omogoča učinkovito transformacijo napetosti in prenos energije na večje razdalje.

- **Enosmerni tok (DC)**

V uporabi je pri posebnih primerih, kot so dolge razdalje prenosa, podmorski kabli ali povezave med nesinhronimi sistemi. Zahteva uporabo usmernikov in razsmernikov, vendar omogoča manjše prenose izgub in večjo stabilnost v določenih aplikacijah.

3.3 PO IZVEDBI

Delitev glede na konstrukcijsko izvedbo:

- **Prostozračno omrežje**

Omrežje, kjer so vodniki napeti med nosilnimi drogovi. Uporablja se predvsem zunaj urbanih območij. Prednost je v enostavnosti izgradnje in nižjih stroških, slabost pa izpostavljenost vremenskim vplivom.

- **Kabelsko omrežje**

Omrežje, ki poteka pod zemljo ali po kabelskih kanalih. Uporablja se predvsem v mestih ali tam, kjer prostozračna izvedba ni primerna. Prednosti sta večja zanesljivost in estetski vidik, slabost pa višji stroški investicije in vzdrževanja.

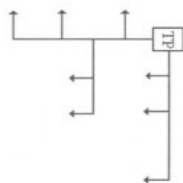
3.4 PO OBLIKI ALI KONFIGURACIJI OMREŽJA EEN

Konfiguracija elektroenergetskega omrežja (EEO) je odvisna od načina medsebojnega povezovanja njegovih elementov ter od števila napajalnih točk. Glede na te kriterije ločimo več različnih izvedb, med katerimi sta najpogostejši **radialna (žarkasta)** in **zankasta (zaprta) struktura**.

Radialna (odprta, žarkasta) konfiguracija

Radialna omrežja se uporabljajo predvsem v manjših nizkonapetostnih omrežjih (NNO), kjer obstaja le en vir napajanja. Iz napajalne točke se energija razdeli po posameznih vodih, ki žarkasto segajo proti porabnikom. Takšna zasnova omogoča enostavno izvedbo in dober pregled nad omrežjem, kar so njene glavne prednosti.

Slabost radialne konfiguracije pa je nizka obratovalna varnost – v primeru izpada napajalnega voda porabniki ostanejo brez oskrbe z električno energijo. Prav tako se na skrajnem delu vodov pojavljajo večji padci napetosti, kar vpliva na kakovost napajanja. Zaradi navedenih značilnosti je radialna izvedba najprimernejša za podeželska in manj gosto poseljena območja.

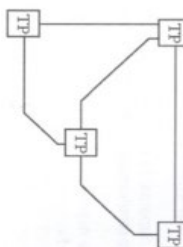


Slika 2: Radialno omrežje
(Vir: Razpet, 2007)

Zankasta (zaprta) konfiguracija

Pri zankasti zasnovi so porabniki napajani z dveh ali več strani, bodisi iz enega vira z dvema napajalnima potema bodisi iz več napajalnih točk. Ta konfiguracija omogoča, da v primeru okvare enega voda napajanje nemoteno poteka iz druge smeri, kar bistveno poveča zanesljivost in obratovalno varnost sistema.

Zaradi porazdelitve obremenitve med več potmi se zmanjšajo napetostni padci, obenem pa so tudi priključni vodi manj obremenjeni, kar omogoča uporabo manjših presekov kablov in s tem zmanjšanje izgub. Zankasta omrežja so še posebej primerna za urbana območja, kjer je zanesljivost napajanja ključnega pomena.



Slika 3: Zaprto zankasto omrežje
(Vir: Razpet, 2007)

3.5 PO ŠTEVILU VODNIKOV

Glede na število vodnikov v elektroenergetskih vodih ločimo več različnih izvedb. Število vodnikov je neposredno povezano s konfiguracijo sistema, ki ga vod prenaša, in s funkcionalnimi zahtevami omrežja.

Vrste vodov glede na število aktivnih vodnikov:

- **Enovodni vod**

Uporablja se predvsem pri železniškem napajanju in posebnih industrijskih aplikacijah.

- **Dvovodni vod**

Prisoten je pri enosmernih (DC) sistemih ter pri enofaznih izmeničnih (AC) napajalnih sistemih.

- **Trovodni vod**

Predstavlja osnovno strukturo trifaznega sistema, kjer vsak vodnik prenaša eno fazo.

- **Štirivodni vod**

Gre za trifazni sistem, ki vključuje še nevtralni vodnik (N). Ta se uporablja zlasti pri nizkonapetostnih omrežjih, kjer je pomembna stabilnost napetosti pri neuravnoveženih obremenitvah.

- **Večvodni vod**

Uporablja se v večsistemskih ali paralelnih trifaznih vodih, kjer je cilj povečanje prenosne zmogljivosti ali redundanca sistema.

Poleg vodnikov, ki prenašajo električno energijo (tokovni vodniki), so na daljnovodih prisotni tudi vodniki brez tokovne funkcije. Ti opravljajo zaščitne naloge in vključujejo:

- **Zaščitni vodniki**

Uporabljajo se za ozemljitev naprav in preprečevanje nevarnih napetosti.

- **Strelovodne vrvi**

Potekajo nad faznimi vodniki in služijo zaščiti pred neposrednimi udari strele, saj s tem zmanjšujejo verjetnost poškodb na opremi in prekinitve oskrbe (Pelko, 2009).

3.6 PO NAMENU

Elektroenergetska omrežja lahko razvrščamo tudi glede na njihov namen oziroma vlogo znotraj sistema. Glede na to ločimo naslednje osnovne tipe omrežij:

- napajalna omrežja,
- prenosna omrežja,
- razdelilna omrežja,
- omrežja glede na vrsto porabnikov,
- interkonekcijska omrežja.

Prenosna omrežja

Kot prenosna visokonapetostna (VN) omrežja označujemo tista omrežja, ki so neposredno povezana z elektrarnami in omogočajo prenos električne energije na večje razdalje. Značilni napetostni nivoji so 110 kV, 220 kV in 400 kV. Primer takšnega omrežja je daljnovod 400 kV Beričevo – Krško 1, ki je neposredno napajen na 400-kV nivoju iz proizvodnega vira.

Manjše proizvodne enote, kot so hidroelektrarne, so običajno vključene v napajalna omrežja na nižjih napetostnih nivojih, kot je 110 kV, pogosto preko transformatorskih postaj, ki napetost prilagodijo sistemskim zahtevam.

Razdelilna omrežja

Razdelilna omrežja služijo prenosu električne energije od transformatorskih postaj do končnih uporabnikov. Ta omrežja delujejo večinoma na napetostnih nivojih 35 kV (v fazi opuščanja), 20 kV in 10 kV. Odjemalci so lahko neposredno priključeni na te napetosti, ali pa je za oskrbo potrebna dodatna transformacija na nizkonapetostni nivo (0,4 kV).

Omrežja glede na vrsto porabnikov

V elektroenergetskem sistemu obstajajo tudi namenska omrežja, ki so prilagojena določenim vrstam porabnikov (npr. industrijska območja, železniške proge, bolnišnice ipd.). Zasnova teh omrežij je optimizirana glede na specifiko porabe, obratovalno zanesljivost in redundanco napajanja.

Zvezni vodi

V okviru napajalnih omrežij obstajajo tudi zvezni vodi, katerih namen je povezovanje napetostnih virov na istem napetostnem nivoju. Tovrstne povezave omogočajo večstransko napajanje in povečujejo obratovalno zanesljivost sistema, saj ob izpadu enega napajalnega vira omogočajo preklon na drug vir napajanja.

Interkonekcijska omrežja

Interkonekcijski vodi povezujejo prenosne sisteme različnih sistemskih operaterjev, zlasti na meddržavni ravni. Ti vodi omogočajo mednarodno izmenjavo električne energije, povečujejo stabilnost celotnega evropskega elektroenergetskega sistema in so ključni za delovanje notranjega energetskega trga (Razpet, 2007).

4 VZDRŽEVANJE NA SPLOŠNO

4.1 SPLOŠNA DOLOČILA

Navodila o vzdrževanju elektroenergetskih objektov in opreme (EEO) določajo način izvajanja vzdrževanja, vrste vzdrževalnih del ter posamezna opravila. Poleg tega opredeljujejo tudi časovne roke za izvedbo posegov na posameznih segmentih opreme, ki opravljajo funkcijo razdeljevanja električne energije končnim porabnikom. Pri tem lastništvo objektov in naprav nima bistvenega vpliva, saj so zahteve za vzdrževanje enotne in temeljijo na zagotavljanju varnega in zanesljivega obratovanja sistema.

V navodilih so jasno določeni roki za izvajanje vzdrževalnih aktivnosti, kot so pregledi in revizije. Pripravljalna in administrativna dela niso obravnavana ločeno, saj so neločljiv in nujen del vsakega vzdrževalnega posega v elektroenergetskem sistemu (EES).

Vzdrževanje obsega skupek vseh tehničnih, administrativnih in menedžerskih dejavnosti, vključno z nadzorom, katerih namen je ohraniti ali ponovno vzpostaviti normalno obratovalno stanje naprav ter zagotoviti njihovo funkcionalnost, zaradi katere so bile zasnovane in zgrajene.

Sistem vzdrževanja lahko razdelimo na naslednje osnovne sklope:

- koncepte vzdrževanja,
- metode oziroma načine vzdrževanja,
- vzdrževalna dela in
- vzdrževalna opravila.

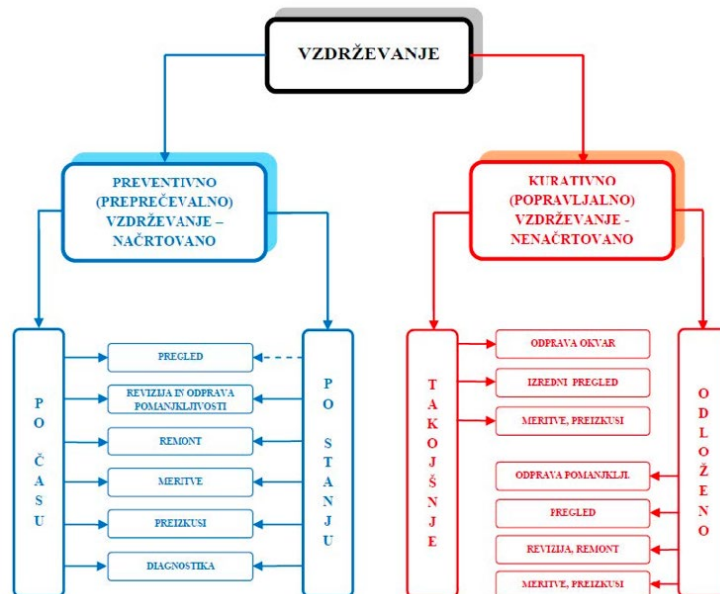
V Sloveniji se v praksi najpogosteje uporablja koncept zanesljivosti usmerjenega vzdrževanja (RCM – Reliability Centered Maintenance). Ta pristop zahteva vzpostavitev mehanizmov za spremljanje stanja naprav, stroškov vzdrževalnih posegov, beleženje dogodkov in analiziranje vloge posamezne naprave v elektroenergetskem sistemu. Na podlagi teh podatkov se določi najprimernejša metoda vzdrževanja. V primeru uvajanja upravljanja s sredstvi je treba ta koncept izvajati dosledno in podrobno.

Standard SIST EN 13306:2010 – Vzdrževanje: Terminologija s področja vzdrževanja opredeljuje razvrstitev vzdrževanja, ki se uporablja tudi v elektroenergetiki (Slovenski inštitut za standardizacijo, 2010).

Metode oziroma načini vzdrževanja:

- Preventivno (preprečevalno) vzdrževanje, ki vključuje:

- preventivno vzdrževanje po času,
- preventivno vzdrževanje po stanju.
- Kurativno (popravljalno) vzdrževanje, ki obsega:
 - takojšnje kurativno oziroma interventno vzdrževanje,
 - odloženo kurativno vzdrževanje.



Slika 4: Delitev vzdrževalnih del
(Vir: ELES, 2024b)

Vzdrževalna dela vključujejo:

- popravila naprav oziroma odpravo okvar,
- izredne preglede,
- redne preglede,
- revizije in odpravo ugotovljenih pomanjkljivosti,
- remont (ki se v distribuciji praviloma ne izvaja),
- diagnostične postopke,
- meritve,
- preizkuse,
- obnovo oziroma revitalizacijo opreme.

Vzdrževalna opravila obsegajo:

- ugotavljanje stanja z vizualnimi in tehničnimi pregledi,
- preverjanje nivojev olja, tesnil, mehanskih pritrditev in podobno,
- preverjanje pravilnega delovanja opreme,
- čiščenje,

- poseke tras daljnovodov,
- mazanje,
- protikorozijsko zaščito (AKZ),
- nastavitve naprav,
- zamenjavo delov oziroma popravila ter druga sorodna opravila.

Pri izvajanju vzdrževalnih del na EEO in postrojih je treba dosledno upoštevati naslednjo dokumentacijo:

- navodila za vzdrževanje distribucijskega EEO,
- pravilnik o vzdrževanju EES,
- Energetski zakon (EZ),
- veljavne zakone, standarde in pravilnike s področja elektroenergetike,
- projektno dokumentacijo (PGD, PID in drugo), ki predstavlja osnovo za pridobitev gradbenega in uporabnega dovoljenja,
- predpise s področja varstva pri delu (VPD),
- predpise s področja meroslovja,
- navodila proizvajalcev opreme,
- interne akte (NOV) in drugo dokumentacijo s področja vzdrževanja,
- predpise s področja požarne varnosti.

Podjetje, ki izvaja vzdrževalna dela, mora razpolagati z ustrezno usposobljenim kadrom in imeti primerno organizirano strukturo za izvajanje del. V obravnavanem primeru so za izvajanje teh nalog v okviru ELES, d. o. o., in bodisi EDP usposobljeni služba za zaščito ter služba za vzdrževanje primarne opreme (ELES, 2024a).

4.2 OPREDELITEV IN RAZVOJ VZDRŽEVANJA

Vzdrževanje lahko opredelimo kot niz ukrepov, s katerimi zagotavljamo zanesljivo delovanje naprav in sistemov. Ti ukrepi vključujejo tako redne preglede, odpravo napak kot tudi preventivne zamenjave obrabljenih delov. Namen vzdrževanja je, da oprema ostane v brezhibnem stanju oziroma se ob okvari čim prej povrne v delovno stanje.

Poleg tehničnega pomena ima vzdrževanje pomembno vlogo tudi pri trajnostnem razvoju, saj omogoča energetske in okoljske prihranke ter prispeva k večji konkurenčnosti podjetja. Ključno je, da podjetje razvije in izvaja konsistenten vzdrževalni program, saj to neposredno vpliva na učinkovitost delovanja naprav in sistemov.

Dobro načrtovan in izveden sistem vzdrževanja omogoča zmanjšanje izpadov, stroškov ter povečanje zanesljivosti, kar pomembno vpliva na poslovni uspeh. Vzdrževanje tako ni le tehnična potreba, temveč tudi ekonomska in strateška

dejavnost, ki omogoča obvladovanje življenjskega cikla naprav in povečanje donosnosti naložb.

Vzdrževalna dejavnost se v osnovi deli na dve glavni strategiji:

- korektivno vzdrževanje, ki se izvaja po odpovedi opreme, in
- preventivno vzdrževanje, katerega cilj je ohranjanje naprave v delujočem stanju čim dlje, ob minimalnih stroških čez celotno amortizacijsko obdobje.

Korektivno vzdrževanje je najstarejša znana oblika, ki se izvaja po pojavu napake. Medtem preventivno vzdrževanje temelji na načrtovanih aktivnostih, ki naj bi zmanjšale možnost odpovedi ter zagotovile optimalno delovanje sistemov, tudi z minimalnim številom vzdrževalnega osebja.

Podjetja, ki upravljajo distribucijske ali prenosne sisteme, si prizadevajo za zanesljivo in neprekinjeno oskrbo odjemalcev z električno energijo, ob tem pa stremijo k zmanjšanju stroškov in izpadov. Napake, ki se pojavljajo v sistemu, delimo na:

- kratkotrajne, ki so bolj pogoste in jih povzročajo npr. gibanje dreves, živali, atmosferske motnje in ekstremne vremenske razmere,
- dolgotrajne, ki so redkejše, a praviloma bolj zahtevne za odpravo.

Čeprav na vremenske razmere ni mogoče vplivati, je mogoče z dobro načrtovanim vzdrževalnim programom pomembno vplivati na druge dejavnike in tako zmanjšati izpad električne energije ter posledične stroške. Zato je vzdrževanje ključnega pomena za celoten življenjski cikel elektroenergetskih sistemov (EES).

S širitvijo prenosnega in distribucijskega omrežja so se pojavile nove potrebe po obsežnejših vzdrževalnih pristopih, kar je vodilo v razvoj sodobnih metod in strategij. Okoli leta 1930 se je v industriji začelo bolj sistematično razmišljati o popravilih naprav, kar je predstavljalo začetke organiziranega vzdrževanja. Takrat se še ni razmišljalo o posledicah okvar, ki so pogosto povzročale strojelome in obsežno obrabo. Kmalu pa so ugotovili, da redno čiščenje, mazanje in pregledovanje naprav pomembno prispevajo k zmanjšanju okvar in zastojev.

Med letoma 1930 in 1940 se je v elektroenergetiki začela uvajati sistematika vzdrževanja, še posebej na področju maziv, kar je predstavljalo uvod v razvoj stroke tribologije – znanosti o trenju, obrabi in mazivih. Analize so pokazale, da je kar 43 % stroškov vzdrževanja povezanih prav z uporabo maziv (Gabrovšek, 2015).

V tabeli 1 je prikazana časovnica vzdrževanja.

| Garancija/leto | Značilnosti |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prva generacija 1930–1950 | Korektivno vzdrževanje (popravi, ko se pokvari). |
| Druga generacija 1950–1980 | Časovno določeni pregledi, preventivno vzdrževanje, sistemi za načrtovanje, pojav računalnikov, kompetenca na področju vzdrževanja. |
| Tretja generacija 1980–1995 | Nadzor stanja, oblikovanje za zanesljivost in možnost vzdrževanja, študije prisotnih faktorjev, že bolj razvita podpora računalništva, prikaz napak in analiza učinka. Strokovni sistemi: Analiza LCC*, upravljanje, usmerjeno v celovito kakovost. |
| Četrta generacija 1995–2000 | Investicije v vzdrževanje, splošni pregledi upravljanja, multiusposabljanje in skupinska dela, benchmarking, menedžment, storilnost, standardi, tehnična dokumentacija, okolje. Sodobni koncepti: RCM**, TPM***, BCM****, RB*****. Vzdrževanje, usmerjeno v rezultate, dokumentacija. |

Tabela 1: Generacije vzdrževanja in značilnosti
(Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Legenda izrazov za tabelo 1 so navedeni v kraticah.

Kot je bilo navedeno, je bilo v štiridesetih letih prejšnjega stoletja vzdrževanje v industriji organizirano kot centraliziran sistem, v katerem so naprave obratovale do odpovedi, nato pa so bile predmet popravil. Sčasoma so se pristopi začeli razvijati, vzdrževanje pa je prešlo iz osnovne operativne funkcije v samostojno tehnično disciplino s svojo teorijo, metodologijo in sistematičnim pristopom.

Danes velja vzdrževanje za eno ključnih področij sodobnih tehniških sistemov, ki močno vpliva na zanesljivost, učinkovitost in varnost delovanja opreme. Medtem ko je bilo vzdrževanje v preteklosti pogosto razumljeno kot fizično zahtevno in manj cenjeno delo, sodobni pristopi zahtevajo visoko usposobljen kader, ki obvlada diagnostične metode ter razume delovanje kompleksnih sistemov.

Sodobni vzdrževalec je strokovnjak, ki pri svojem delu uporablja napredno tehnologijo za odkrivanje, analizo in odpravo napak. V okviru t. i. četrte generacije vzdrževanja je ključnega pomena pristop vzdrževanja po stanju (CBM), kjer se ukrepi izvajajo na podlagi spremljanja dejanskih parametrov delovanja naprav.

Vse več sistemov – ne le v elektroenergetiki, temveč tudi v panogah, kot so avtomobilska industrija, letalstvo in proizvodnja – že vključuje vgrajene funkcije samodiagnostike, ki omogočajo zaznavanje odstopanj in potencialnih napak v realnem času. S tem se vzdrževanje pomika v smer inteligentnih in samovzdrževalnih sistemov, kjer je človeška vloga usmerjena predvsem v načrtovanje, analizo in optimizacijo že v fazi projektiranja.

Naloga sodobnih vzdrževalcev se torej vse bolj osredotoča na napovedovanje napak in preprečevanje njihovih posledic že v najzgodnejših fazah življenjskega cikla naprave ali sistema (Aberšek in Flašker, 2005).

Generacijski razvoj vzdrževanja je prikazan v naslednji tabeli 2.

| PRVA GENERACIJA | DRUGA GENERACIJA | TRETJA GENERACIJA | ČETRТА GENERACIJA |
|------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| korektivno vzdrževanje | časovno določeni pregledi | nadzor stanja | investiranje v vzdrževanje |
| | preventivno vzdrževanje | oblikovanje za zanesljivost in možnost vzdrževanja | splošni pregled upravljanja |
| | sistemi za načrtovanje | študije različnih faktorjev | multiusposabljanje ali skupinsko delo |
| | veliki počasni računalniki | majhni hitri računalniki | benchmarking |
| | kompetenca na področju vzdrževanja | prikaz napak in analiza učinka | menedžment storilnosti |
| | | strokovni sistemi: | standardi |
| | | analiza LCC | tehnična dokumentacija |
| | | upravljanje usmerjeno v celovito kakovost | okolje |
| | | | sodobni koncepti |
| | | | RCM |
| | | | TPM |
| | | | BCM |
| | | | RBI |
| | | | vzdrževanje usmerjeno v rezultate |
| | | | dokumentacija |
| | | | motivacijski pristop |
| | | | integrirana računalniška podprti vzdrževalni sistem |
| | | | kompetenca / certifikacija |
| | | | politika predpogodb |

leto 50 80 95 2000

Tabela 2: Razvoj vzdrževanja
(Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Iz spodnje tabele 3 so razvidne generacije vzdrževanja glede na strategijo razvoja, strukturo, odpravljanje napak ob okvarah, upravljanje s podatki in razne meritve, opravljene med vzdrževanjem.

| Generacija | Prva | Druga – po II. sv. voj. | Tretja – danes | Četrta – jutri |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Strategija | porušitev | Preventiva | napredovanje | zanesljivost |
| Struktura | centralizirano vzdrževanje | timi različnih strokovnjakov | široko usposobljeni vzdrževalci | širše usposobljeni tehniki |
| Upravljanje napak | delovanje do porušitve | načrtovani remont | X | samoanaliza |
| Upravljanje s podatki | kartične datoteke | računalniško podprto | popolno računalniško vodene naprave | popolnoma mrežni sistem |
| Meritve | produktivnost | Uporabnost | efektivnost | verjetnost |

Tabela 3: Generacije vzdrževanja
(Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

4.3 STRATEGIJE VZDRŽEVANJA

Ena izmed prvih in najpomembnejših odločitev pri načrtovanju vzdrževalnega sistema je izbira ustrezne strategije vzdrževanja. Ta odločitev ne temelji zgolj na iskanju najcenejše rešitve, temveč zahteva celovit pogled na vpliv vzdrževalnih ukrepov na zanesljivost, stroške in učinkovitost sistema.

Učinkovita strategija vzdrževanja je tista, ki dolgoročno omogoča najnižjo skupno ceno obratovanja, obenem pa zagotavlja visoko razpoložljivost opreme in nemoteno delovanje sistema. V kontekstu visokonapetostnih daljnovodov (DV) se to neposredno odraža v manjši verjetnosti izpadov in v stabilni oskrbi uporabnikov z električno energijo.

V osnovi ločimo dve temeljni obliki vzdrževanja, omenjeni že v poglavju 4.2 – korektivno (popravljalno) vzdrževanje in preventivno (preprečevalno) vzdrževanje. V praksi pa se pogosto uveljavlja kombiniran pristop, ki združuje elemente obeh strategij. Takšna mešana strategija omogoča prilagodljivost in optimalno ravnovesje med stroški, učinkovitostjo in zanesljivostjo delovanja sistema. Z razvojem tehnologije in izkušenj iz prakse so se iz osnovnega koncepta preventivnega vzdrževanja razvile tudi naprednejše strategije, ki vključujejo vzdrževanje po stanju, zanesljivostno orientirano vzdrževanje, računalniško podprte sisteme in druge oblike, prilagojene kompleksnosti sodobnih tehničnih okolij.

4.3.1 Korektivno (kurativno) vzdrževanje

Korektivno ali kurativno vzdrževanje, pogosto imenovano tudi popravljalno vzdrževanje, se nanaša na posege, ki se izvedejo po nastanku okvare ali poškodbe elementa v sistemu (postroja ali voda), z namenom vzpostavitve njegove normalne funkcionalnosti (ELES, 2024b).

Predstavlja eno najstarejših oblik vzdrževanja, ki temelji na odzivu na napake. V praksi pomeni, da se vzdrževalna dela začnejo šele po tem, ko pride do izpada ali odpovedi sistema. Kljub podobnosti s tradicionalnim kurativnim pristopom pa ima korektivno vzdrževanje nekatere organizacijske posebnosti – predvsem to, da je sistem nanj že delno pripravljen. To vključuje:

- ustrezno zalogo nadomestnih delov in orodja,
- vnaprej pripravljen načrt odpravljanja napak,
- usposobljene vzdrževalce za hitro intervencijo.

Korektivno vzdrževanje je najbolj smiselno v okoljih, kjer:

- ni ogrožena varnost ljudi,
- ni pričakovati večjih poškodb ali strojelomov,
- so stroški izpada nizki,

- zastoji nimajo pomembnega vpliva na proizvodnjo ali oskrbo.

Ena izmed glavnih značilnosti tovrstnega vzdrževanja je, da ni mogoče natančno načrtovati časa posega, saj se okvare pojavljajo nenapovedano. Zato tovrstna vzdrževalna dela spadajo v kategorijo neplaniranih posegov.

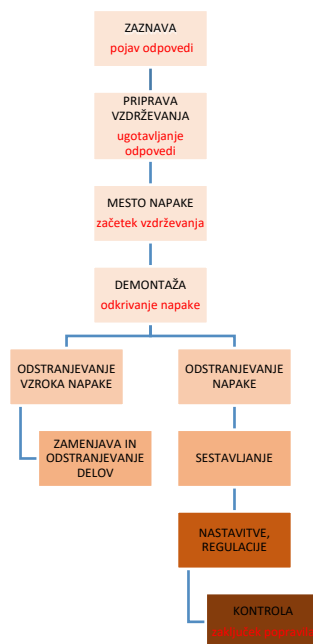
Kljub izvajanju preventivnih strategij se tudi v dobro vzdrževanih sistemih ni mogoče popolnoma izogniti izpadom – še posebej v primeru nenadnih okvar. Korektivno vzdrževanje v takih primerih obsega naslednje korake:

- identifikacija napake ali pomanjkljivosti,
- določitev mesta in vzroka okvare,
- izvedba potrebnega popravila,
- preverjanje delovanja ter ponovni zagon sistema.

Ključni pristopi za odpravo napak vključujejo:

- nastavitve parametrov (regulacija, kalibracija, uskladitev),
- mehansko obdelavo (zagotavljanje skladnosti z dokumentacijo),
- zamenjavo poškodovanih ali obrabljenih delov z novimi ali delujočimi nadomestnimi komponentami.

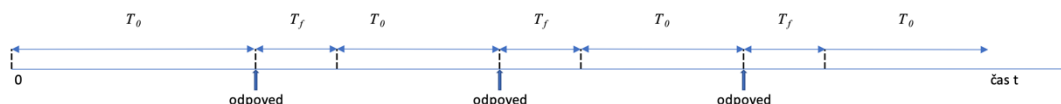
Takšna oblika vzdrževanja je nepogrešljiva v vseh tehničnih sistemih, kjer popolna predvidljivost odpovedi ni mogoča, a mora biti zagotovljen hiter in učinkovit odziv.



Slika 5: Potek odprave napake (popravilo)
(Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Okvara na enem delu sistema pogosto vpliva tudi na druge sestavne elemente, kar lahko privede do dodatnih poškodb, povečanih stroškov in podaljšanega časa sanacije. Zaradi tega se celoten proizvodni proces lahko zaustavi za daljše obdobje, kar posledično povzroči povečanje neposrednih in posrednih stroškov poslovanja. V praksi se zato pogosto uporablja kombinacija korektivnega in preventivnega vzdrževanja, da se zmanjša tveganje dolgotrajnih zastojev.

Ker pri korektivnem pristopu običajno ni mogoče natančno predvideti časa pojava okvare, načrtovanje tovrstnih posegov ni možno. Ta način dela, pogosto označen kot "delovanje do okvare", je posebej značilen za obvladovanje okvar pri elektronskih komponentah, kjer se poseg izvede šele po odpovedi (Aberšek in Flašker, 2005).



Slika 6: Izvajanje korektivnih zamenjav enot sistema
(Lastni vir)

T_0 – čas delovanja sistema/enote sistema do odpovedi

T_f – čas zastoja zaradi odpovedi sistema/enote sistema

V obdobju med letoma 1930 in 1950 se je uveljavila metoda vzdrževanja, ki danes velja za prvo generacijo pristopov k vzdrževanju. Temeljila je na pristopu, kjer se napake in poškodbe odpravljajo šele po njihovem dejanskem nastanku. V strokovni literaturi (Aberšek in Flašker, 2005) je ta pristop pogosto opisan z izrazom »počakaj, poglej in popravi«, kar nakazuje, da se na morebitne okvare vnaprej računa.

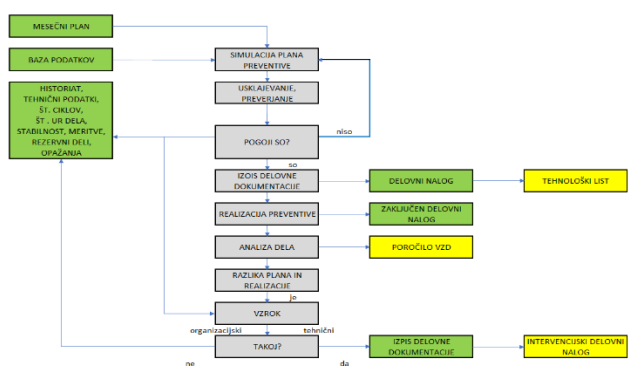
Glavna razlika med korektivnim in kurativnim vzdrževanjem je v stopnji pripravljenosti. Medtem ko nas kurativno vzdrževanje običajno preseneti, saj do napake pride nepričakovano, je korektivno načrtovano tako, da sistem že vključuje rezervne dele, orodja in natančno določen postopek odprave napak. Tako je odziv hiter in učinkovit (Aberšek in Flašker, 2005).

4.3.2 Preventivno vzdrževanje

Metoda se je razvila in začela uporabljati v ZDA po II. svetovni vojni. Postopoma se je začela uporabljati tudi drugod. Temelj metode je raznolika aktivnost, kot so odprava okvar, izvedba planiranih del, periodične oz. ciklične meritve delovnih sredstev in periodični pregledi objektov oz. sredstev. Ključno za ta način dejavnosti je, da se aktivnosti dogajajo, še preden okvara nastane. Dejstvo je tudi, da je za tak način vzdrževanja pomembna stalna kontrola obratovanja tehničnega sistema. Na tak način

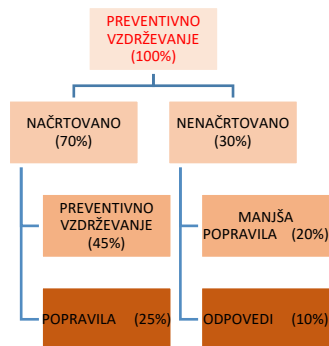
naj bi se zmanjšalo število okvar, zastojev in defektov. Ta pristop zahteva strokovno izobražen kader in mnogo več udeležencev. Uporabi se v ciklih. Zahteva ogromno materiala in rezervnih delov (Aberšek in Flašker, 2005).

Cilj takega vzdrževanja je, da sistem v vsakem trenutku deluje, torej je v operativnem stanju. Aktivnosti, ki so zajete v preventivnem vzdrževanju, se izvajajo na opremi ali sistemu, ki ni okvarjen, in sicer z namenom, da se preprečuje oz. zmanjšuje možnost odpovedi. Preventivni posegi v sisteme so časovno vnaprej planirani. Procesi takega vzdrževanja uporabljajo različne tehnike in v različnih intervalih. Ta strategija ima največjo težo.



Slika 7: Sistem preventivnega vzdrževanja (Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Ob pravilni izbiri preventivnega vzdrževanja in izbiri tehnologije izvajanja poskušamo doseči minimalno število okvar in podaljšati življenjsko dobo naprav v sistemu, zagotoviti nemoteno dobavo in povečati delovno storilnost in kakovost. Planiranje sistema preventivnega vzdrževanja je v neposredni povezavi s planom odjema (Aberšek in Flašker, 2005).



Slika 8: Razmerja med načrtovanim in nenačrtovanimi posegi (Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Preventivno vzdrževanje delimo na:



Slika 9: Delitev preventivnega vzdrževanja
(Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Vsekakor je pri strategiji preventivnega vzdrževanja treba upoštevati dejstvo, da se ni moč izogniti delnemu kurativno-korektivnemu vzdrževanju, kar smo prikazali na sliki 9.

Dejstvo je tudi, da tak način vzdrževanja temelji na delih, ki se planirajo, preden se pojavi okvara ali zastoj. Takšen način vzdrževanja zahteva kvalificirane strokovnjake, veliko opreme za dovolj dobro in kakovostno diagnostiko ter rezervne dele, servisni in pomožni material.



Slika 10: Metode preventivnega vzdrževanja
(Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Običajni postopki preventivnega vzdrževanja so zajeti na sliki 10.

Organizacijski ukrepi tehničnega značaja in aktivnosti, povezane s preventivnim vzdrževanjem, so naslednje:

- tekoče vzdrževanje (operativno),
- periodično preventivni pregledi (mesečni),
- periodična menjava tekočin (olja),
- periodična kontrola natančnosti,
- vzdrževanje po stanju (tehnična diagnostika),
- obnovitvena popravila (mala, srednja, velika – generalna).

Tekoče dnevno vzdrževanje

Je pogoj in osnova za učinkovito preventivno vzdrževanje in vključuje naslednje aktivnosti: razna čiščenja in mazanja (predvsem v obratih), kontrola hladilnih sistemov in sistemov mazanja (predvsem v obratih), kontrola ležajev, kontrola pogonskih elementov, kontrola pritrditev.

Pod tekoče vzdrževanje spadajo tudi opravila, pri katerih ni potrebna motnja delovnega procesa, dobave ali proizvodnje pa ni treba zaustavljati. Od takšnega vzdrževanja so večinoma odvisna tudi nadaljnja časovna obdobja in obseg drugih posegov na sredstvu sistema.

Periodični preventivni pregledi

Pod tovrstne preglede štejemo meritve, periodične preglede z opazovanjem, preverjanjem. Namen takšnih pregledov je ugotavljanje stanja sredstva ali sklopov sistema in pravočasnega odkritja napak, ki bi nastale pri obratovanju. Preventivne preglede delimo še na:

- preglede brez poseganja v tehnični sistem in
- preglede z razstavljanjem.

Glede na obseg poznamo:

- celoten ali generalni pregled – tehnični sistem se pregleda v celoti;
- specifični pregled – posamezni deli, sklopi imajo različno periodiko;
- specializirani pregled – omejen le na posamezni sklop, element.

Periodična kontrola natančnosti

Pri takšnih pregledih ugotavljamo sposobnost posameznega elementa ali sklopa opravljanja funkcije, za katero je bil grajen, in potrebo po popravilu. Načeloma se izvaja pred vsakim srednjim in generalnim popravilom. Izvedejo ga tudi po opravljenem popravilu. S tem se potrди kakovost opravljenih del.

Vzdrževanje po stanju

Ob izvajanju kontrolne diagnostike sestavnega dela oz. sredstva lahko iz tega ugotovimo stanje. Stroški takega posega so vedno nižji od stroškov ob okvari. Obrabljeni del se zamenja preventivno. Načeloma se taka diagnostika izvaja večkrat, nato se sklepa o zamenjavi.

Metode tehnične diagnostike:

- vizualna kontrola,
- tehnična kontrola,
- ultrazvok, rentgen,
- vibracijska kontrola,
- kontrola korozije,
- termovizija,
- kontrola pritiska, pretoka, moči.

Obnovitvena opravila

Metoda se prakticira takrat, ko želimo zamenjati obrabljeni del tehničnega sredstva ali pa zamenjavo tehničnega sredstva v celoti. Kadar so obnovitvena dela izbrana pravočasno, po navadi podaljšamo življenjsko dobo sredstvu in tako ohranimo njegovo uporabnost. Ta način lahko privede do visokih stroškov. Preden uporabljamo obnovitvena dela, je smotno ugotoviti ekonomsko upravičenost dejanja oz. posega. Obnovitvena popravila imajo podobno funkcijo kot zamenjava sestavnih elementov pri preventivnem vzdrževanju.

Obnovitvena opravila delimo na:

- Mala popravila. Izvajamo le na segmentih ali elementih, ki imajo kratko dobo uporabe. Sredstva se ne premikajo, vendar so izključena. Obenem se opravi tudi preventivni kontrolni pregled.
- Srednja popravila. Obseg takšnih popravil zajema popravilo elementov, sredstev, ki imajo srednjo dobo uporabe. Sredstvo, na katerem se izvajajo dela, se največkrat premesti v servisne prostore. V primeru, da gre za večji sistem, se le-to opravi na terenu. Čas, potreben za izvajanje, je daljši kot pri malem popravilu. Obenem se izvede preventivni kontrolni pregled tudi v drugih sestavnih delih sistema.
- Velika oz. generalna popravila. Največkrat so imenovana tudi **remont**. Štejemo jih v najvišjo stopnjo obnovitve ali regeneracije celotnega tehničnega sistema. Pri generalnih popravilih se zamenjajo deli, ki imajo najdaljšo dobo obratovanja. Izvede se razstavljanje sistema v celoti, največkrat do najmanjšega sestavnega dela. Takšno popravilo vključuje tudi preventivne kontrolne preglede. Trajanje del poteka najdlje od vseh popravil. Opravljamo

jih načeloma v času, ko je motnja dobave oz. proizvodnje najmanjša (kolektivni dopusti).

4.3.3 Preventivno vzdrževanje po času

Ta pristop temelji na predhodno znanih informacijah o zanesljivosti komponent ter času njihovega obratovanja – do točke, ko lahko pride do odpovedi (Aberšek in Flašker, 2005).

Danes je metoda vzdrževanja po določenem časovnem intervalu (ang. Time-Based Maintenance – TBM) ena izmed pogosto uporabljenih strategij. Njen namen je pravočasno zaznavanje in preprečevanje okvar z izvajanjem pregledov in vzdrževalnih del v rednih, vnaprej določenih presledkih.

Intervali vzdrževanja so običajno določeni na podlagi priporočil proizvajalcev opreme ali pa izhajajo iz dolgoletnih izkušenj delavcev na terenu. Vendar pa obstaja nevarnost, da so ta časovna obdobja napačno določena – bodisi preveč pogosta, kar povzroča nepotrebne stroške, ali pa prerodka, kar poveča tveganje za izpade (Ahmad in Kamaruddin, 2012).



Slika 11: Preventivno vzdrževanje po času – periodično preventivno vzdrževanje
(Vir: Aberšek in Flašker, 2005)

Preventivno vzdrževanje po stanju

Vzdrževanje po stanju (ang. Condition-Based Maintenance – CBM) temelji na sprotne spremljanju ključnih kazalnikov, ki prikazujejo trenutno stanje naprave ali sistema. Ta pristop uporablja diagnostične metode za oceno obrabljenosti ali morebitnih nepravilnosti, preden pride do dejanske odpovedi.

Takšen nadzor zahteva zbiranje podatkov o obratovalnih razmerah v realnem času, pri čemer se uporabljajo napredni senzorji, merilni in zapisovalni sistemi. Strategija temelji na naslednjih predpostavkah:

- znani so diagnostični postopki in kazalniki stanja,
- med parametri in stanjem opreme obstaja korelacija,

- določeni so mejni pogoji delovanja,
- znana je narava možne okvare.

Nadzor se lahko izvaja v mirovanju ali med delovanjem sistema. Zbrani podatki omogočajo oceno stopnje obrabe in odločitev, ali naj naprava ostane v delovanju, se takoj servisira ali nadomesti.

Učinkovitost CBM je v veliki meri odvisna od tega, kako dobro so znane meje izrabe komponent. Ker strategija temelji na podatkih, omogoča podaljševanje operativnega časa in zmanjševanje nepotrebnih izpadov.

V praksi se CBM pogosto kombinira s TBM, saj se včasih kljub sprotnemu spremljanju stanje lahko nenadno poslabša (Ahmad in Kamaruddin, 2012).

Tehnične in organizacijske zahteve CBM

Čeprav je CBM učinkovit, pa njegova uvedba zahteva pomembne vložke. Podjetje mora zagotoviti merilno opremo za spremljanje stanja v realnem času ter vzpostaviti sistem za obdelavo in shranjevanje teh podatkov. Pomemben izziv predstavlja tudi analiza teh podatkov in odločanje o nadaljnjih vzdrževalnih ukrepih.

CBM je še posebej uporaben pri spremljanju staranja naprav, kjer je zgodnje zaznavanje obrabe ključno za preprečitev okvar. Uspešna implementacija CBM zahteva dobro informacijsko podporo in ustrezna programska orodja za odločanje (Ahmad in Kamaruddin, 2012).

4.3.4 Celovito produktivno vzdrževanje (TPM)

Celovito produktivno vzdrževanje (ang. Total Productive Maintenance – TPM) temelji na načelu doseganja najvišje možne učinkovitosti tehnične opreme. Glavni cilj te metode je izboljšanje poslovanja podjetja s sistematičnimi spremembami na organizacijski in kadrovski ravni. Ključno vlogo imajo pri tem vzdrževalni strokovnjaki in manjše, dobro usklajene delovne skupine.

V vsaki ekipi morajo biti prisotni operaterji, ki redno poročajo o opaženih spremembah na napravah. Takšen pristop bistveno prispeva k zgodnjemu zaznavanju potencialnih napak in pomaga zmanjševati njihovo pojavnost. Vendar je treba upoštevati, da kljub vsem naporom popolna odprava vseh okvar ni vedno mogoča.

TPM izhaja iz japonskega industrijskega okolja, kjer se je uveljavil kot ena ključnih strategij za povečanje proizvodne učinkovitosti in zmanjšanje operativnih stroškov. Poleg tega pomembno prispeva k večji varnosti pri delu, saj zmanjšuje tveganja za nesreče.

Predstavlja strategijo, ki sodi med metode četrte generacije vzdrževanja, kjer je v ospredju harmonizacija delovanja med človekom in strojem ter doseganje čim višje razpoložljivosti opreme ob minimalnih izpadih (Aberšek in Flašker, 2005).

4.3.5 Zanesljivo orientirano vzdrževanje (RCM)

Zanesljivo usmerjeno vzdrževanje (ang. Reliability-Centered Maintenance – RCM) predstavlja ključno strategijo četrte generacije vzdrževanja, katere osrednji namen je zagotavljanje visoke zanesljivosti delovanja sistemov čez celotno življenjsko dobo tehničnih sredstev.

Za razliko od drugih pristopov je pri RCM organizacijska struktura podjetja drugotnega pomena. Strategija se je razvila predvsem v tehnološko zahtevnih panogah, kjer lahko že manjša napaka povzroči izjemno resne posledice ali celo katastrofalne izpade. Takšni sektorji vključujejo letalstvo, vesoljske tehnologije in jedrsko energetiko.

RCM temelji na inženirskem pristopu, pri katerem se načrtovanje vzdrževanja izvaja na podlagi sistematične analize zanesljivosti naprav ter njihovih možnih odpovedi. Temeljna predpostavka metode je, da je mogoče oblikovati vzdrževalni program, ki upošteva logistično podporo, funkcionalne zahteve sistema ter vplive posameznih odpovedi na delovanje celote.

Posebna pozornost je usmerjena v identifikacijo najbolj kritičnih komponent sistema ter v analizo posledic njihove morebitne odpovedi. Na podlagi teh ugotovitev se razvijejo ciljno usmerjeni vzdrževalni ukrepi, ki zmanjšujejo tveganja in optimizirajo učinkovitost vzdrževanja.

4.3.6 Računalniško podprto vzdrževanje

V sodobnih industrijskih sistemih se vse pogosteje uveljavlja vzdrževanje, ki temelji na uporabi računalniške podpore. Tak pristop omogoča spremljanje in nadzor tehničnih sklopov bodisi v posameznih fazah proizvodnje bodisi v okviru celotnega procesa. Na podlagi sprotno zbranih podatkov lahko ocenjujemo kakovost procesov ter načrtujemo ukrepe za odpravljanje morebitnih zastojev ali napak v delovanju (Aberšek in Flašker, 2005).

Ta koncept se razvija v dveh glavnih smereh:

- Računalniško podprto vzdrževanje (CMMS) vključuje programske rešitve, ki omogočajo sistematično vodenje vzdrževalnih nalog. Ti programi podpirajo arhiviranje podatkov, razporejanje delovnih nalogov, spremljanje zaloge rezervnih delov in beleženje razpoložljivosti vzdrževalnega osebja. S tem

omogočajo večjo preglednost, sledljivost in učinkovitost izvajanja vzdrževalnih aktivnosti.

- Samovzdrževanje (Self-Maintenance) temelji na uporabi pametnih sistemov, ki vključujejo tako strojno kot programsko opremo. Ti sistemi, podprti z algoritmi odločanja ali podatkovnimi bazami, samodejno zaznajo odstopanja od normalnega delovanja, predlagajo rešitve ali celo samostojno izvedejo vzdrževalne ukrepe.

Danes so številni industrijski procesi že opremljeni s sistemi, ki omogočajo delovanje v realnem času ter samodejno zaznavanje sprememb v obratovalnih pogojih. Senzorji zbirajo ključne informacije, ki jih programski sistemi sproti obdelujejo. Napredni samodiagnostični moduli so sposobni brez posredovanja uporabnika prepoznati potrebo po posegu in ga tudi sprožiti.

Zaradi modularne zasnove teh sistemov je mogoče posamezne dele zamenjati zelo hitro, pogosto tudi samodejno s pomočjo robotiziranih enot. Posledično se čas izpada zmanjša, zanesljivost in razpoložljivost opreme pa se znatno povečata (Aberšek in Flašker, 2005).

4.3.7 Plansko vzdrževanje

Plansko vzdrževanje je del strategije preventivnega vzdrževanja in vključuje vnaprej določene preglede ter popravila opreme. Med te ukrepe uvrščamo manjša, srednja in večja popravila, ki so običajno načrtovana v določenih časovnih intervalih. Poleg tega ta pristop zajema tudi načrtne zamenjave posameznih delov ali celotnih sklopov ter njihovo rekonstrukcijo.

Za to obliko vzdrževanja so značilne določene posebnosti:

- priprava na poseg zahteva daljši čas,
- časovni razmik med posameznimi vzdrževalnimi cikli je večji,
- po izvedbi posega se praviloma izboljšata delovanje in učinkovitost celotnega tehničnega sistema.

Kadar se ta vrsta vzdrževanja izvede celovito in obsežno, govorimo o remontu, ki predstavlja najvišjo stopnjo planskega vzdrževalnega posega (Aberšek in Flašker, 2005).

4.3.8 Razvoj in smeri vzdrževanja po letu 2000

Pomemben preboj na področju vzdrževanja se je zgodil, ko se je uveljavilo spoznanje, da je mogoče vzdrževalne aktivnosti izvajati že pred dejanskimi okvarami ali napakami. S tem se je preventivno vzdrževanje uveljavilo kot rezultat sistematičnega pristopa, ki vključuje tudi ekonomsko optimizacijo in učinkovito upravljanje procesov.

Vpeljevanje novih znanj, večja vloga usposobljenosti in motivacije tehnikov ter upoštevanje okoljskih dejavnikov so oblikovali sodobne pristope, kot so celovito produktivno vzdrževanje (TPM), zanesljivo usmerjeno vzdrževanje (RCM) in najnovejši koncepti samovzdrževanja.

S pospešeno avtomatizacijo in robotizacijo proizvodnih procesov se zmanjšuje potreba po stalni prisotnosti delavcev na proizvodnih mestih. Hkrati pa podjetja zaradi konkurenčnega pritiska pričakujejo visoko razpoložljivost sistemov, hitro odzivnost ter zanesljivo delovanje opreme. V tem kontekstu se pojavljata dve ključni usmeritvi razvoja:

- napredno organizirano vzdrževanje, zasnovano po principih TPM,
- integrirani proizvodni sistemi s sposobnostjo samodiagnostike in samodejnega vzdrževanja.

Kljub temu pa popolna odprava človeškega dejavnika ni realna – specializirani strokovnjaki bodo še vedno ključni za kompleksnejše posege, popravila in optimizacijo delovanja.

Cilji sodobnega vzdrževanja ostajajo nespremenjeni:

- maksimiranje razpoložljivosti in učinkovitosti opreme,
- zmanjševanje okvar in uvajanje preventivnih ukrepov,
- usklajeno delovanje vzdrževalnih ekip z jasnimi nalogami,
- znižanje stroškov vzdrževanja na konkurenčno raven.

Ključna področja sprememb v prihodnosti bodo:

- naraščajoče tržne in tehnološke zahteve,
- večja pričakovanja lastnikov po učinkovitosti in zanesljivosti,
- razvoj metod in tehnologij proizvodnje,
- posodobitev vzdrževalne opreme in pristopov,
- nadgradnja kompetenc zaposlenih v vzdrževanju,
- širša uporaba orodij za upravljanje podatkov in informacij.

Za dolgoročno konkurenčnost bo nujno celostno prilagajanje vzdrževalnih sistemov – tako z vidika organizacije in znanja kot tudi strategij in orodij. Tisti, ki se tem spremembam ne bodo pravočasno prilagodili, bodo težko sledili dinamičnim razmeram na trgu.

5 VARNOSTNI VIDIKI IN VZDRŽEVANJE EEN POSTROJEV

5.1 SPLOŠNI VARNOSTNI VIDIKI PRI DELU NA POSTROJIH EEN

Delo na elektroenergetskih napravah (postrojih EEN) predstavlja povečano tveganje za nastanek poškodb in nesreč zaradi izpostavljenosti električni energiji, višinam ter zahtevnim delovnim pogojem. Zato je dosledno upoštevanje splošnih varnostnih vidikov in postopkov ključno za zagotavljanje varnosti delavcev ter zanesljivega obratovanja elektroenergetskega sistema.

Osnova varnega dela na postrojih EEN je izvajanje petih temeljnih varnostnih korakov. Ti vključujejo izklop naprav in vidno ločitev od napajalnih virov, preprečitev ponovnega vklopa z mehanskimi in organizacijskimi ukrepi, ugotovitev breznapetostnega stanja z ustreznimi preizkusnimi napravami, ozemljitev in kratkostično povezavo ter jasno označitev oziroma ograditev delov, ki so lahko še vedno pod napetostjo. Vsak izmed teh korakov zmanjšuje tveganje za električni udar, oblok ali druge nevarne pojave.

Pri delu v postrojih EEN je posebna pozornost namenjena pravilni uporabi osebne varovalne opreme, izolacijskih orodij in pripomočkov ter vzdrževanju varnostnih razdalj. Pomemben vidik varnosti je tudi pravilna izvedba ozemljitev, ki zagotavljajo, da se morebitne nevarne napetosti varno odvedejo v zemljo in ne predstavljajo tveganja za osebje. Grafični prikazi in shematske predstavitve ozemljitvenih povezav omogočajo boljše razumevanje tokovnih poti in pravilnega zaporedja delovnih postopkov.

Splošni varnostni vidiki vključujejo tudi organizacijske ukrepe, kot so ustrezno usposabljanje delavcev, jasna komunikacija, dosledno upoštevanje navodil za delo ter nadzor nad izvajanjem del. Le s kombinacijo tehničnih, organizacijskih in osebnih varnostnih ukrepov je mogoče zagotoviti visoko raven varnosti pri delu na postrojih EEN in zmanjšati verjetnost nezgod ter poškodb.

5.1.1 Varnostni vidiki pri reviziji VN naprav

Revizija visokonapetostnih (VN) naprav predstavlja zahteven in potencialno nevaren proces, saj se izvaja v okolju z visokimi električnimi napetostmi, kompleksnimi napravami ter omejenimi delovnimi prostori. Zaradi tega sta poznavanje in dosledno upoštevanje varnostnih vidikov ključna za preprečevanje poškodb osebja, materialne škode ter motenj v obratovanju elektroenergetskega sistema.

Temelj varnega izvajanja revizijskih del na VN napravah je dosledna uporaba predpisanih varnostnih postopkov. Ti vključujejo izklop naprav in njihovo vidno ločitev od vseh virov napajanja, preprečitev ponovnega vklopa z ustreznimi mehanskimi in organizacijskimi ukrepi ter preverjanje breznapetostnega stanja z namensko preizkusno opremo. Poseben poudarek je namenjen pravilni ozemljitvi in kratkostični povezavi, ki zagotavljata varno odvajanje morebitnih induciranih ali povratnih napetosti med izvajanjem revizije.

Pri reviziji VN naprav je bistvena tudi uporaba ustrezne osebne varovalne opreme in izolacijskih pripomočkov, ki zmanjšujejo tveganje za električni udar in druge nevarne vplive. Delo se mora izvajati ob doslednem upoštevanju varnostnih razdalj ter z uporabo izolacijskih palic, orodij in merilnih naprav, ki so prilagojene napetostnemu nivoju obravnavanih naprav. Grafični in shematski prikazi ozemljitev ter delovnih mest prispevajo k boljšemu razumevanju tveganj in pravilnemu izvajanju postopkov.

Poleg tehničnih ukrepov imajo pomembno vlogo tudi organizacijski in človeški dejavniki. To vključuje ustrezno usposobljenost osebja, jasno razdeljene odgovornosti, natančno načrtovanje revizijskih del ter učinkovito komunikacijo med vsemi udeleženci. Le s celostnim pristopom, ki združuje tehnične, organizacijske in osebne varnostne ukrepe, je mogoče zagotoviti varno in učinkovito izvajanje revizij VN naprav ter zmanjšati tveganje za nezgode in napake pri delu (Špenko, 2016).

5.1.2 Nevarnosti in tveganja pri delu na EEN

Delo na elektroenergetskih napravah (EEN) je zaradi prisotnosti električne energije in specifičnega delovnega okolja povezano s povečanim tveganjem za nastanek nezgod. Nevarnosti izhajajo tako iz neposrednega vpliva električnega toka kot tudi iz okoljskih, tehničnih in človeških dejavnikov. Zato je prepoznavanje tveganj osnovni pogoj za varno načrtovanje in izvajanje del na EEN.

Električne nevarnosti

Največje tveganje pri delu na EEN predstavlja električni tok. Nevarnost električnega udara nastane ob neposrednem stiku z deli pod napetostjo ali ob posrednem dotiku zaradi okvar izolacije, induciranih napetosti ali povratnega napajanja. Posebej nevarne so situacije, ko naprave niso pravilno izklopljene, ko breznapetostno stanje ni preverjeno ali ko ozemljitev in kratkostična povezava nista pravilno izvedeni.

Dodatno nevarnost predstavlja električni oblok, ki lahko nastane ob napačnem rokovanju z napravami, meritvah ali priključevanju ozemljitvenih vodnikov. Električni oblok povzroča ekstremne temperature, močno svetlobno sevanje in tlačne učinke, kar lahko povzroči hude telesne poškodbe ter poškodbe opreme. Tveganje za njegov nastanek je večje v zaprtih prostorih in v bližini delov pod napetostjo.

Nevarnosti, povezane z delovnim okoljem

Poleg električnih nevarnosti so pri delu na EEN prisotna tudi tveganja, povezana z delovnim okoljem. Delo se pogosto izvaja na višini, na ozkih delovnih mestih ali v bližini kovinskih konstrukcij, kar povečuje nevarnost padcev in poškodb. Pri zunanjih napravah EEN dodatno tveganje predstavljajo vremenski vplivi, kot so dež, veter, nizke temperature ali poledica, ki lahko zmanjšajo stabilnost in koncentracijo delavcev.

Prisotnost ozemljenih delov in kovinskih konstrukcij povečuje nevarnost napetosti dotika in koraka, zlasti ob neustrezni ozemljitvi ali ob pojavu napetostnih razlik v postroju.

Človeški in organizacijski dejavniki

Pomemben vir tveganja pri delu na EEN so tudi človeški in organizacijski dejavniki. Mednje sodijo pomanjkljiva usposobljenost osebja, nepoznavanje delovnih postopkov, slaba komunikacija med udeleženci ter časovni pritiski pri izvajanju del. Tveganje se poveča tudi ob nepravilni ali nedosledni uporabi osebne varovalne opreme ter neustreznih delovnih pripomočkov.

Zaradi navedenih dejavnikov je nujno, da so dela na EEN skrbno načrtovana, izvajana v skladu s predpisi ter pod stalnim nadzorom odgovorne osebe. Le s celovitim obvladovanjem električnih, okoljskih in organizacijskih tveganj je mogoče zagotoviti varno delo na elektroenergetskih napravah (GIZ distribucijske električne energije, 2008).

5.1.3 Ocena tveganja in varnostna dokumentacija

Ocena tveganja predstavlja temeljni element zagotavljanja varnosti pri delu na elektroenergetskih napravah (EEN). Namenjena je sistematičnemu prepoznavanju nevarnosti, vrednotenju tveganj ter določitvi ustreznih preventivnih in varnostnih ukrepov. Ustrezna varnostna dokumentacija pa zagotavlja, da so postopki, odgovornosti in ukrepi jasno opredeljeni ter dostopni vsem udeležencem delovnega procesa.

Pomen ocene tveganja pri delu na EEN

Delo na EEN je zaradi visokih napetosti, kompleksnih delovnih postopkov in vpliva delovnega okolja povezano s povečano stopnjo tveganja. Ocena tveganja omogoča pravočasno prepoznavanje nevarnosti, kot so električni udar, električni oblok, napetosti dotika in koraka, padci z višine ter vplivi vremenskih razmer. Na podlagi

ocene se določi stopnja tveganja in sprejmejo ustrezni tehnični, organizacijski in osebni varnostni ukrepi.

Sistematična ocena tveganja je še posebej pomembna pri revizijah, vzdrževalnih delih in posegih v VN naprave, kjer se delovni pogoji pogosto spreminjajo. Redno posodabljanje ocene tveganja omogoča prilagajanje varnostnih ukrepov dejanskemu stanju naprav in delovnega okolja.

Varnostna dokumentacija in njena vloga

Varnostna dokumentacija predstavlja formalno podlago za varno izvajanje del na EEN. Vključuje dokumente, kot so ocena tveganja, navodila za varno delo, delovni postopki, dovoljenja za delo, sheme ozemljitev ter zapisi o usposabljanju zaposlenih. Namen dokumentacije je zagotoviti enotno razumevanje varnostnih zahtev in preprečiti nesporazume med udeleženci del.

Dobro pripravljena dokumentacija jasno določa odgovornosti posameznikov, zaporedje delovnih korakov ter ukrepe v primeru nevarnih situacij ali izrednih dogodkov. Poseben pomen ima pri delu v skupinah, kjer sta potrebni natančna koordinacija in komunikacija.

Povezanost ocene tveganja in varnostne prakse

Ocena tveganja in varnostna dokumentacija nista zgolj formalni zahtevi, temveč ključni orodji za učinkovito obvladovanje tveganj pri delu na EEN. Njuna dosledna uporaba omogoča zmanjšanje verjetnosti nezgod, poškodb ter materialne škode. Poleg tega prispevata k večji varnostni kulturi in ozaveščenosti zaposlenih o pomenu varnega dela.

Z ustrežno oceno tveganja in celovito varnostno dokumentacijo je mogoče zagotoviti, da se dela na elektroenergetskih napravah izvajajo načrtno, pregledno in v skladu z veljavnimi predpisi ter dobrimi strokovnimi praksami (GIZ distribucijske električne energije, 2008).

V tabeli 4 je predstavljena ocena tveganja pri delu na elektroenergetskih napravah (EEN).

| Stopnja tveganja (po ukrepih) | Nizka | Srednja | Nizka | Nizka | Nizka | Nizka | Nizka | Nizka | Nizka |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|
| Varnostni / preventivni ukrepi | Izklop in vidna ločitev, preprečitev ponovnega vklopa, preverjanje breznapetostnega stanja, osebna varovalna oprema | Izolacijska orodja, zaščitna oblačila, upoštevanje varnostnih razdalj | Pravilna ozemljitev in kratkostična povezava, preverjena oprema | Ustrežna ozemljitev postroja, izolacijska obutev | Varovalna oprema proti padcu, varni dostopi, usposabljanje | Prilagoditev delovnih pogojev, zaščitna oblačila | Delovna dovoljenja, nadzor odgovorne osebe, koordinacija | Redno usposabljanje, preverjanje kompetenc | |
| Stopnja tveganja (pred ukrepi) | Visoka | Visoka | Srednja | Srednja | Srednja | Srednja | Srednja | Visoka | |
| Možne posledice | Hude poškodbe, smrt | Opekline, poškodbe vida, materialna škoda | Električni udar | Električni udar, padci | Padci, zlomi | Zdresi, zmanjšana stabilnost | Napačni posegi, nezgode | Povečano tveganje nezgod | |
| Opis tveganja | Neposreden ali posreden stik z deli pod napetostjo | Nastanek oblika pri meritvah ali napočnem rokovanju | Napetost na izklopljenih vodnikih | Razlika potencialov med tlemi in konstrukcijo | Delo na konstrukcijah VN postrojev | Dež, veter, poledica | Slaba komunikacija, nejasna odgovornost | Neznanje postopkov in tveganj | |
| Nevarnost | Električni udar | Električni oblok | Inducirane napetosti | Napetost dotika in koraka | Delo na višini | Vremenski vplivi | Organizacijske napake | Neusposobljenost osebja | |

Tabela 4: Ocena tveganja pri delu na elektroenergetskih napravah (EEN)

(Vir: GIZ distribucijske električne energije, 2008)

5.1.4 Osebna varovalna oprema

Osebna varovalna oprema (OVO) predstavlja enega izmed ključnih elementov zagotavljanja varnosti pri delu na elektroenergetskih napravah (EEN). Namen OVO je zaščita delavca pred tveganji, ki jih ni mogoče v celoti odpraviti s tehničnimi ali organizacijskimi ukrepi. Pri delu na EEN imajo pravilna izbira, uporaba in vzdrževanje OVO bistven pomen za zmanjšanje tveganja za poškodbe in druge škodljive posledice.

Vrste osebne varovalne opreme

Pri delu na EEN se uporablja več vrst osebne varovalne opreme, ki so prilagojene specifičnim nevarnostim delovnega okolja. Osnovno zaščito predstavlja zaščitna delovna obleka, izdelana iz materialov, odpornih proti ognju in električnemu obloku. Za zaščito glave se uporablja zaščitna čelada z ustrezno električno izolacijo, pogosto opremljena z zaščitnim vizirjem za zaščito obraza in oči.

Zaščita rok je zagotovljena z izolacijskimi rokavicami, ki morajo ustrezati napetostnemu nivoju naprav, na katerih se delo izvaja. Poleg rokavic se uporabljajo tudi izolacijska obuvala, ki zmanjšujejo nevarnost električnega udara zaradi napetosti dotika ali koraka. Pri delu na višini so obvezni tudi varovalni pasovi in druga oprema za zaščito pred padci.

Pomen pravilne uporabe osebne varovalne opreme

Učinkovitost osebne varovalne opreme je neposredno odvisna od njene pravilne in dosledne uporabe. OVO mora biti izbrana glede na vrsto dela, napetostni nivo in ocenjena tveganja ter mora ustrezati veljavnim standardom in predpisom. Pred uporabo je treba preveriti brezhibnost opreme, saj poškodovana ali nepravilno vzdrževana OVO ne zagotavlja ustrezne zaščite.

Pomembno je tudi redno usposabljanje delavcev za pravilno uporabo osebne varovalne opreme. Nepravilna uporaba ali opuščanje uporabe OVO bistveno poveča tveganje za nezgode, zlasti pri delu na visokonapetostnih napravah, kjer so posledice lahko zelo resne.

Osebna varovalna oprema kot del celostnega varnostnega sistema

Osebna varovalna oprema ne more nadomestiti tehničnih in organizacijskih varnostnih ukrepov, temveč jih dopolnjuje. Njena uporaba mora biti vključena v celovit sistem varnosti pri delu, ki temelji na oceni tveganja, jasno določenih postopkih in nadzoru nad izvajanjem del. Le z dosledno uporabo ustrezne OVO je mogoče

zagotoviti dodatno raven zaščite in varno izvajanje del na elektroenergetskih napravah (GIZ distribucijske električne energije, 2008).

V tabeli 5 je prikazana osnovna uporaba osebne varovalne opreme (OVO).

| Vrsta del | Obleka | Čevlji | Čelada | Rokavice | Izol. rokavice | Signal. oblačila | Delo na višini | Očala / ščitnik | Izol. klešče VN | Izol. ročka NN |
|---------------------------------------------------|--------|--------|--------|----------|----------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Vsa dela | X | X | | X | | | | | | |
| Posluževanje in stikalne manipulacije na nap. | X | X | X | | X | | | X | | |
| Zamenjava VN varovalk | X | X | X | | X | X* | X* | X | X | |
| Zamenjava NN nožastih varovalk | X | X | X | X | | X* | | X | | X |
| Pregled in nadzor TP, RP, RTP | X | X | X | | | X* | | | | |
| Vzdrževanje in delo v TP, RP, RTP | X | X | X | X | | X* | X* | | | |
| Pregled in nadzor NN vodov | X | X | | | | X* | | | | |
| Vzdrževanje in delo na NN vodih | X | X | X | X | | X* | X* | | | |
| Pregled in nadzor VN vodov | X | X | | | | X* | | | | |
| Vzdrževanje in delo na VN vodih | X | X | X | X | | X* | X* | | | |
| Meritve | X | X | X | | X* | X* | | X | | |
| Montaža in zamenjava merilnih in stikalnih naprav | X | X | | X | | | | | | |

*Tabela 5: Osnovna uporaba osebne varovalne opreme (OVO)
(Vir: GIZ distribucijske električne energije, 2008)*

5.1.5 Organizacijski ukrepi za zagotavljanje varnosti

Organizacijski ukrepi predstavljajo pomemben del sistema varnosti pri delu na elektroenergetskih napravah (EEN), saj dopolnjujejo tehnične in osebne varnostne ukrepe. Njihov namen je zagotoviti jasno organizacijo dela, učinkovito komunikacijo ter ustrezno usposobljenost osebja, s čimer se bistveno zmanjša tveganje za nastanek nezgod.

Organizacija dela in odgovornosti

Učinkovita organizacija dela je ključna za varno izvajanje del na EEN. Pred začetkom del je treba jasno opredeliti delovne naloge, zaporedje delovnih korakov ter odgovornosti posameznih udeležencev. Poseben pomen imajo delovna dovoljenja, s katerimi se formalno potrdi, da so izpolnjeni vsi pogoji za varno delo, vključno z izklopom naprav, ozemljitvijo in označitvijo delovišča.

Jasno določena odgovorna oseba zagotavlja nadzor nad izvajanjem del in skrbi za dosledno upoštevanje varnostnih postopkov. S tem se zmanjšajo možnosti napačnih posegov, nesporazumov in nevarnih situacij.

Usposabljanje in ozaveščenost zaposlenih

Usposabljanje zaposlenih je eden najpomembnejših organizacijskih ukrepov za zagotavljanje varnosti. Osebe, ki dela na EEN, mora biti ustrezno strokovno usposobljeno in redno seznanjeno z nevarnostmi, delovnimi postopki ter novimi tehničnimi rešitvami. Redna teoretična in praktična usposabljanja prispevajo k večji ozaveščenosti in pravilnemu odzivanju v nevarnih situacijah.

Poleg formalnega usposabljanja je pomembna tudi stalna varnostna kultura, ki spodbuja odgovorno ravnanje, dosledno uporabo varnostnih ukrepov in pravočasno poročanje o nevarnostih ali nepravilnostih.

Komunikacija in nadzor

Učinkovita komunikacija med vsemi udeleženci delovnega procesa je ključna za varno delo na EEN. Jasna in pravočasna izmenjava informacij zmanjšuje tveganje za napačne posege in omogoča hitro ukrepanje v primeru sprememb delovnih pogojev. Redni nadzori in preverjanje izvajanja varnostnih ukrepov dodatno prispevajo k zagotavljanju varnosti in preprečevanju nezgod (GIZ distribucijske električne energije, 2008).

5.1.6 Temeljna pravila in postopki varnega dela

Temeljna pravila in postopki varnega dela predstavljajo osnovo varnega izvajanja del v elektroenergetiki. Njihovo dosledno upoštevanje je nujno za zaščito zdravja delavcev ter za zanesljivo in varno obratovanje elektroenergetskega sistema.

Osnovna pravila varnega dela

Osnovna pravila varnega dela v elektroenergetiki temeljijo na preprečevanju stika z deli pod napetostjo ter zagotavljanju varnih delovnih pogojev. Pred začetkom del je treba zagotoviti, da so naprave izklopljene, vidno ločene od napajalnih virov in

ustrezno označene. Ponovni vklop mora biti preprečen z mehanskimi in organizacijskimi ukrepi.

Pomembno pravilo je tudi obvezno preverjanje breznapetostnega stanja ter izvedba ozemljitve in kratkostične povezave. Ta postopka bistveno zmanjšujeta tveganje za električni udar zaradi preostalih ali induciranih napetosti.

Postopki varnega izvajanja del

Postopki varnega dela določajo zaporedje in način izvajanja posameznih delovnih korakov. Ti postopki vključujejo uporabo ustreznih delovnih pripomočkov, osebne varovalne opreme ter dosledno upoštevanje varnostnih razdalj. Dela se morajo izvajati v skladu z navodili za varno delo in pod nadzorom odgovorne osebe.

Posebna pozornost je namenjena delu v bližini delov pod napetostjo, kjer je tveganje za nezgode največje. V takšnih primerih so nujni dodatna previdnost, uporaba izolacijskih orodij in dosledno spoštovanje predpisanih postopkov.

Pomen doslednega upoštevanja pravil

Dosledno upoštevanje temeljnih pravil in postopkov varnega dela bistveno prispeva k zmanjšanju tveganj in preprečevanju nezgod v elektroenergetiki. Pravila niso zgolj formalna zahteva, temveč temeljni pogoj za varno in odgovorno delo. Njihova uporaba v praksi zahteva stalno pozornost, disciplino in zavedanje o nevarnostih, ki so prisotne pri delu na elektroenergetskih napravah.

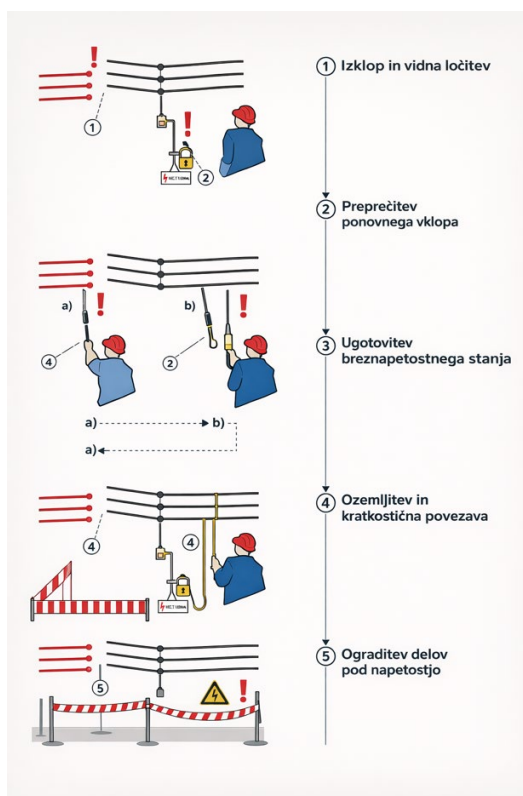
5.1.7 Pet zlatih pravil varnega dela

Pred začetkom dela v breznapetostnem stanju je treba delovno mesto zavarovati v skladu z varnostnimi pravili, znanimi kot **PET ZLATIH PRAVIL**, ki se izvajajo v predpisanem zaporedju (slika 12):

- 1. izklopiti in vidno ločiti,**
- 2. preprečiti ponovni vklop,**
- 3. ugotoviti breznapetostno stanje,**
- 4. ozemljiti in kratkostičiti,**
- 5. ograditi mesto dela od delov, ki so pod napetostjo.**

5.1.8 Delo v breznapetostnem stanju

Pred začetkom dela v breznapetostnem stanju je treba delovno mesto zavarovati z upoštevanjem petih varnostnih pravil (pet »zlatih« pravil) po pravilnem vrstnem redu.



Slika 12: Uporaba pet zlatih pravil
(Vir: GIZ distribucijske električne energije, 2008)

1. Izklopiti in vidno ločiti naprave od napetosti z vseh strani.

Elektroenergetski objekti, postroji ali naprave, na katerih se bodo izvajala dela, morajo biti izklopljeni, vidno ločeni od napetosti z vseh strani, od koder bi napetost lahko prišla. Pri tem morajo biti vzpostavljene varnostne razdalje. Izklop se opravi z odklopnikom, vidno ločimo z ločilnikom in ozemljimo z ozemljilnim nožem.

2. Preprečiti ponovno vklopitev.

Preprečitev ponovnega vklopa se lahko izvede na različne načine:

- mehansko preprečevanje ponovnega vklopa z zaklepanjem ali blokiranjem pogonskih mehanizmov,
- izklopitvijo krmilne napetosti,
- blokiranjem vira energije za pogon stikala,
- odstranitvijo vzvodov in ročic za upravljanje ipd.,
- vidno z namestitvijo opozorilnih tablic na mestih upravljanja z napravami, vratih celice, komandnem potrdilnem stikalu za daljinsko krmiljenje ipd.

NE VKLAPLJAJ – DELO NA NAPRAVI!

Pri delih z računalniškimi sistemi preprečujemo ponovni vklop z:

- zaporo določenih računalniških komand,
- označevanjem izklopljenih mest z opozorilnimi simboli.

3. Ugotoviti breznepetostno stanje.

Spodnja slika 13 prikazuje ugotavljanje breznepetostnega stanja s pomočjo indikatorja prisotnosti napetosti. Če na indikatorju prisotnosti napetosti gori zelena luč (v tem primeru gori), pomeni, da je polje izklopljeno oziroma ni prisotna napetost. Breznepetostno stanje je treba ugotoviti pred začetkom ozemljevanja in kratkostičenja, in to v vseh treh fazah. Breznepetostno stanje ugotavljamo bodisi z indikatorjem napetosti za ustrezno napetost ali z merilnimi instrumenti za ustrezno napetost. Indikator prisotnosti napetosti je pred uporabo treba preizkusiti skladno z navodili proizvajalca. Preizkus lahko izvedemo na nazivni napetosti z napravo, ki je vgrajena v indikator, ali z ročnim indikatorjem. Indikator preizkusimo tudi po uporabi zaradi kontrole delovanja indikatorja.



*Slika 13: Preverjanje breznepetostnega stanja z VN indikatorjem
(Lastni vir)*

4. Izvršiti ozemljitev in kratkostično povezavo naprave.

Spodnja slika 14 prikazuje ozemljevanje z ozemljitveno (izolirno) palico in prenosno delovno ozemljitvijo. Ozemljevanje se izvede na vseh povezavah na ločilniku ali odklopniku, ki so v normalnem obratovanju pod napetostjo, in se izvaja na mestu dela in na vseh mestih ločevanja od delov pod napetostjo. Prenosne naprave za ozemljitev in kratkostično povezavo se nameščajo tako, da se najprej z enim krakom s sponko

spojijo na ozemljitev oziroma ozemljilno konstrukcijo VN naprave in se nato s pomočjo izolirne palice spoji sponka drugega kraka ozemljitvene vrvi na VN povezavo oziroma na elemente naprav, ki se ozemljijo oziroma kratkostično povežejo. Vrstni red snemanja prenosne naprave za ozemljitev in kratkostično povezavo je obraten. Po odstranitvi ozemljitve in kratkostične povezave obravnavamo napravo, kot da je pod napetostjo.



Slika 14: Ozemljevanje s prenosnimi ozemljitvenimi kompleti
(Lastni vir)

5. Ograditi mesto dela od delov, ki so pod napetostjo.

Ograditev se izvaja na deloviščih, kjer se dela izvajajo v bližini napetosti. Ograjevanje od delov pod napetostjo izvajamo večinoma z ograjami, vrvicami z zastavicami, opozorilnimi znaki in napisi, katerih namen je preprečevanje nehotenega dostopa in vstopa na delovišče in zgrešitve izklopljenega dela naprave z delom, ki je pod napetostjo. Ko zaključimo z deli v tretjem nevarnostnem območju, se pet varnostnih pravil izvaja v obratnem vrstnem redu (Špenko, 2016).



Slika 15: Zavarovanje delovnega mesta
(Lastni vir)

5.1.9 Delo v bližini naprav, ki so pod napetostjo

Delo v bližini naprav, ki so pod napetostjo, predstavlja eno izmed najnevarnejših oblik dela v elektroenergetiki in sorodnih dejavnostih. Električna energija, čeprav nujna za sodobno družbo, ob nepravilnem ravnanju pomeni resno nevarnost za zdravje in življenje ljudi ter za varno delovanje naprav in objektov. Zaradi tega je treba takšna dela izvajati v skladu s strogimi varnostnimi zahtevami, ki določajo zaščitne ukrepe, varnostne razdalje ter usposobljenost delavcev.

Splošne nevarnosti pri delu v bližini napetosti

Delo v bližini delov, ki so pod napetostjo, predstavlja povečano tveganje zaradi možnosti električnega udara, preskoka električnega obloka ali mehanskih poškodb. Zato je obvezno, da so vsi delavci pred začetkom del jasno opozorjeni na prisotnost delov pod napetostjo. Prav tako je treba natančno določiti obseg delovnega mesta in dovoljeno področje gibanja delavcev, s čimer se zmanjša možnost nenamernega približevanja nevarnim delom.

Zaščita nezaščitanih delov pod napetostjo

Pri takšnih pregledih ugotavljamo sposobnost posameznega elementa ali sklopa opravljanja funkcije, za katero je bil grajen, in potrebo po popravilu. Načeloma se izvaja pred vsakim srednjim in generalnim popravilom. Izvedejo ga tudi po opravljenem popravilu. S tem se potrди kakovost opravljenih del.

Pri izvajanju del v neposredni bližini nezaščitanih delov pod napetostjo je obvezna uporaba ustreznih zaščitnih sredstev, ki preprečujejo naključni dotik ali nevarno približevanje. Za zaščito se uporabljajo:

- izolacijske particije,
- izolacijske plošče,
- zaščitna pokrivala ter
- druga mehansko trdna in zanesljivo nameščena izolacijska sredstva.

Zaščita mora biti nameščena tako, da zagotavlja električno in mehansko varnost v celotnem času izvajanja del.

Najmanjše varnostne razdalje

Varnostne razdalje glede na nazivno napetost

Med deli pod napetostjo in izolacijskimi pregradami morajo biti zagotovljene najmanjše varnostne razdalje, ki so odvisne od nazivne napetosti naprave. Te

razdalje segajo od 90 mm pri napetostih do 1 kV do 2900 mm pri napetostih do 400 kV. Namen teh razdalj je preprečiti električni preskok in zagotoviti varno delovno okolje.

Zmanjšane razdalje pri napetostih do 35 kV

Pri nazivnih napetostih do 35 kV je v določenih primerih dovoljeno uporabljati manjše varnostne razdalje, vendar le, če so deli pod napetostjo zaščiteni z električno trdnimi, ustrezno dimenzioniranimi izolacijskimi materiali, ki zagotavljajo tako električno trdnost kot mehansko stabilnost ter so skladni z veljavnimi standardi.

Razdalje pri izvajanju del

Izolacijske pregrade ali plošče se lahko uporabljajo brez dodatnih zaščitnih sredstev le v primeru, da ni možnosti njihovega premikanja ali zdrsa. V takšnih primerih morajo biti varnostne razdalje skladne s predpisanimi vrednostmi, ki so višje kot osnovne razdalje in so namenjene zagotavljanju dodatne varnosti pri delu.

| Nazivna napetost | Varnostna razdalja | V prostoru / na prostem |
|-------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| do 1 kV | Površina dela, ki je pod napetostjo | v prostoru in na prostem |
| nad 1 do 6 kV | 90 mm | v prostoru |
| nad 6 do 10 kV | 115 mm | v prostoru |
| nad 1 do 10 kV | 150 mm | na prostem |
| nad 10 do 20 kV | 215 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 20 do 35 kV | 325 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 35 do 110 kV | 1100 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 110 do 220 kV | 2200 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 220 do 400 kV | 2900 mm | v prostoru in na prostem |

Tabela 6: Najmanjša varnostna razdalja med deli pod napetostjo in izolacijsko pregrado

(Vir: ELES, 2024a)

Usposobljenost delavcev in osebna varovalna oprema

Delavci, ki opravljajo dela v bližini naprav pod napetostjo, morajo uporabljati ustrezno osebno varovalno opremo, biti posebej usposobljeni za takšna dela ter delo izvajati izključno pod nadzorom odgovorne osebe. Usposabljanje mora zajemati poznavanje nevarnosti, pravilno uporabo zaščitnih sredstev ter postopke v primeru izrednih dogodkov.

Uporaba opreme in pripomočkov

Pri uporabi lestev, večjih predmetov in transportnih sredstev v zaprtih prostorih ali na prostem je treba zagotoviti, da so varnostne razdalje pri približevanju delom pod napetostjo vsaj enake predpisanim vrednostim. Posebna previdnost je potrebna pri vnosu dolgo vodljivih predmetov v prostore z elektroenergetskimi napravami, kjer je nujno zagotoviti neprekinjen nadzor, jasno določene poti gibanja ter stalno opozarjanje delavcev na nevarnost.

Zložljive lestve, dvizne naprave in podobna oprema se smejo predstavljati izključno v položaju, ki je predviden za transport, saj se s tem zmanjša možnost nenadzorovanega približevanja delom pod napetostjo. Uporaba pomožnih lestev v elektroenergetskih postrojih in pri delu v bližini naprav pod napetostjo je prepovedana.

| Nazivna napetost | Varnostna razdalja | V prostoru / na prostem |
|-------------------|--------------------|--------------------------|
| do 1 kV | 400 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 1 do 10 kV | 700 mm | na prostem |
| nad 10 do 35 kV | 700 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 35 do 110 kV | 1150 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 110 do 220 kV | 2300 mm | v prostoru in na prostem |
| nad 220 do 400 kV | 3300 mm | v prostoru in na prostem |

Tabela 7: Najmanjša varnostna razdalja pri izvajanju del
(Vir: ELES, 2024a)

Gradbena in druga dela v bližini napetosti

Pri gradbenih in drugih delih, kot so postavljanje opažev, uporaba dvigal, gradbenih strojev in transportnih sredstev, je treba ne glede na lokacijo izvajanja del dosledno upoštevati najmanjše varnostne razdalje glede na nazivno napetost. Pri tem je treba upoštevati tudi možnost nihanja bremen, konstrukcij ali transportnih sredstev, kar lahko dodatno poveča nevarnost.

| Nazivna napetost | Najmanjša razdalja |
|----------------------|--------------------|
| do 1 kV | 1000 mm |
| nad 1 kV do 110 kV | 3000 mm |
| nad 110 kV do 220 kV | 4000 mm |
| nad 220 kV do 400 kV | 5000 mm |

Tabela 8: Najmanjša varnostna razdalja pri izvajanju gradbenih del
(Vir: ELES, 2024a)

Upoštevanje predpisanih varnostnih ukrepov pri delu v bližini naprav, ki so pod napetostjo, je ključnega pomena za zagotavljanje varnosti delavcev in nemotenega

delovanja elektroenergetskih sistemov. Dosledna uporaba zaščitnih sredstev, spoštovanje varnostnih razdalj ter ustrezna usposobljenost delavcev bistveno zmanjšujejo tveganje za nezgode in nesreče pri delu (GIZ distribucijske električne energije, 2008).

5.1.10 Delo pod napetostjo (DPN)

Oprelitev dela pod napetostjo

Delo pod napetostjo predstavlja posebno tveganje v primerih, ko niso izvedeni ustrezni električni in organizacijski ukrepi za zaščito delavcev, elektroenergetskih objektov in postrojev, električnih naprav, električne opreme, električnih inštalacij ter okolice.

Nevarnosti dela pod napetostjo

Če varnostni ukrepi niso izvedeni ali niso ustrezno zagotovljeni, delo pod napetostjo pomeni veliko nevarnost za življenje in zdravje delavcev ter za varnost elektroenergetskih objektov, naprav in okolja. Takšno delo je praviloma prepovedano.

Dovoljenost dela pod napetostjo

Delo pod napetostjo na delih elektroenergetskih objektov, elektroenergetskih postrojev ter električnih naprav oziroma opreme je dovoljeno le v izjemnih primerih. V takšnih primerih mora biti to delo natančno in podrobno urejeno z internimi predpisi delodajalca.

Zahteve za interne predpise

Posebni interni predpisi morajo obvezno vsebovati podrobna določila za varno izvajanje dela pod napetostjo. Ti predpisi morajo vključevati zlasti:

- opredelitev nalog delavcev, ki izvajajo delo pod napetostjo,
- zahteve glede strokovne usposobljenosti delavcev,
- opredelitev vrst del in stopnje nevarnosti,
- pogoje glede zdravstvene sposobnosti delavcev,
- zahteve glede ustreznega preizkusa znanja.

Organizacija in izvajanje dela

Dela pod napetostjo lahko opravljajo izključno zdravstveno pregledani in zdravstveno sposobni delavci. Izbrani sistem dela pod napetostjo ter posamezni delovni postopki morajo biti vnaprej določeni in ustrezno dokumentirani.

Delavci morajo glede na izbran način dela uporabljati predpisana zaščitna sredstva, ustrezno orodje, pripomočke za varno delo ter osebno varovalno opremo. Za vsako vrsto dela pod napetostjo morajo biti izdelana pisna navodila.

V primeru poškodbe delavca z električnim tokom mora biti zagotovljena takojšnja in učinkovita prva pomoč. Osebna varovalna oprema mora omogočati hitro in varno posredovanje.

Prepoved izvajanja dela pod napetostjo

Delo pod napetostjo je prepovedano v naslednjih primerih:

- kadar obstaja neposredna nevarnost za življenje ali zdravje delavcev zaradi načina izvajanja del,
- kadar delovnih operacij iz kakršnega koli razloga ni mogoče izvajati varno,
- kadar na mestu dela obstaja nevarnost požara ali eksplozije,
- kadar niso izpolnjeni pogoji, določeni v točkah 5.9.4 in 5.9.5 teh pravil (GIZ distribucijske električne energije, 2008).

5.1.11 Varnostni postopki pri revizijskih delih VN naprav

Vsi spodaj naštetih dokumenti niso zgolj formalnost – predstavljajo osnovni steber varnosti, zakonitosti in sledljivosti v elektroenergetskem sistemu. Brez dosledne uporabe teh orodij bi bila vsaka intervencija na visokonapetostnih objektih izjemno tveganje.

Dokumenti, ki se uporabljajo pri delih na EEN, so naslednji:

- delovni program (se izda, ko sodeluje več skupin na istem delovišču),
- delovni nalog,
- depeša,
- dovoljenje za delo,
- obvestilo o prenehanju del.

Delovni program:

Delovni program je organizacijski dokument, ki se uporablja v primerih, ko je na istem delovišču prisotnih več delovnih skupin, morda celo različnih izvajalcev (npr. lastne ekipe podjetja, zunanji pogodbeniki, montažerji zaščite itd.). Takšna kompleksnost zahteva natančno koordinacijo del, saj napačna zaporednost postopkov ali pomanjkljiva komunikacija med ekipami lahko vodi do resnih napak, nesreč ali celo poškodb.

Kaj določa delovni program:

- natančno določa časovni potek del,
- usklajuje delo več skupin, ki lahko delujejo na različnih delih istega objekta (npr. primarna oprema, zaščita, energetika),

- vključuje ime odgovornih oseb, ki vodijo posamezne skupine,
- vsebuje pregled dovoljenj za delo, predvidenih manipulacij, ukrepov za zaščito kot tudi morebitne omejitve zaradi drugih del (npr. vklop drugih delov omrežja),
- je osnova za nadzornika RTP, ki vodi nadzor nad varnostjo in operativnostjo celotnega sistema.

Delovni nalog:

Delovni nalog je osnovni upravni in tehnični dokument, s katerim se posamezni vzdrževalni ali operativni poseg formalno odobri in dokumentira. Uporablja se predvsem pri:

- manjših delih,
- kadar je na objektu prisotna samo ena delovna skupina,
- rednih vzdrževalnih posegih (pregledi, menjave, merilni postopki).

V delovnem nalogu so zabeleženi:

- podatki o objektu, napravi in vrsti dela,
- datum in ura začetka ter predvideni zaključek del,
- odgovorna oseba in ostali člani skupine,
- morebitna zaščitna sredstva in orodja,
- potrditve nadzornika o izvedbi zaščitnih ukrepov.

Pomembno: Delovni nalog je pravna osnova za začetek del in mora biti vedno potrjen.

Depeša:

Depeša je pisna (ali elektronska) komunikacija, ki ima ključno vlogo v varnostno-operativnem procesu. Predstavlja kratko, uradno obvestilo nadzornika RTP (ali systemskega operaterja) ekipam na terenu. Lahko jo razumemo kot ukaz ali potrdilo, ki zagotavlja, da:

- so stikalne manipulacije opravljene (odklop, ozemljitev, preverjanje breznapetostnega stanja),
- je delovišče varno za začetek del,
- so se izpolnili pogoji za ponovni vklop sistema po koncu del.

Depeša vsebuje:

- naziv naprave,
- čas izklopa/ozemljitve,
- kdo je izvajalec del in
- kdo potrjuje, da so vsi pogoji izpolnjeni.

Vse depeše se vpisujejo v posebni operativni dnevnik.

Dovoljenje za delo:

Dovoljenje za delo je dokument, s katerim nadzornik potrdi, da je objekt pripravljen za izvajanje del – to pomeni, da so izvedeni vsi varnostni ukrepi:

- izklop naprave,
- fizična ločitev iz sistema (ločilniki),
- ozemljitev vodov in naprav,
- ograja ali označitev delovišča,
- signalizacija.

Brez pisnega dovoljenja za delo ni dovoljeno izvajati nobenega posega na napravah v EES. Dokument podpišeta nadzornik in vodja del ter ga je treba imeti ves čas pri sebi na delovišču.

Obvestilo o prenehanju del:

Ko se dela zaključijo, je vodja del dolžan nadzorniku nemudoma poslati obvestilo o prenehanju del. To pomeni, da:

- so vsa dela zaključena,
- so vsi člani skupine varno umaknjeni z objekta,
- je delovišče očiščeno in pripravljeno na ponovno vključitev v obratovanje,
- so odstranjeni vsi ozemljitveni elementi in zaščitna sredstva, razen če ni dogovorjeno drugače.

Šele po prejemu teh obvestil iz vseh delovišč lahko nadzornik začne postopek ponovne napetostne vključitve naprave (ELES, 2024).

5.2 VZDRŽEVALNA DELA NA SPLOŠNO

5.2.1 Definicije pojmov

Naloga se osredotoča na visokonapetostna omrežja, torej od nivoja 110 kV naprej. Izrazi oziroma definicije pojmov za namene vzdrževanja imajo naslednji pomen:

Vzdrževalna dela v širšem pomenu

Zajemajo izvajanje del, s katerimi se zagotavlja ohranjanje naprav v ustreznem stanju. Ta dela obsegajo:

- korektivna (popravljalna) vzdrževalna dela,
- preventivna (preprečevalna) vzdrževalna dela,
- vzdrževalna dela v javno korist.

Definicije pojmov, povezanih z obsegom vzdrževanja, so naslednje:

Diagnostična metoda

Je postopek ugotavljanja parametrov, značilnih za delovanje posamezne naprave.

Diagnostika

Je proces določanja stanja naprave na podlagi velikosti značilnih parametrov ali analize trendov njihovih sprememb.

Dogodek

Je sprememba tehničnega stanja naprave, ki povzroči izpad delovanja naprave ali dela omrežja. Dogodek je lahko nenačrtovan, kadar zahteva korektivni vzdrževalni poseg, ali načrtovan, kadar se naprava izklopi zaradi izvajanja preventivnih vzdrževalnih del.

Odpoved

Je stanje, v katerem je naprava prenehala delovati ali ni delovala kljub pravilno sprejetemu sprožilnemu ukazu.

Okvara

Pomeni stanje, v katerem naprava ni več sposobna opravljati funkcije, za katero je bila namenjena.

Pomanjkljivost

Je stanje naprave ali objekta, ki omogoča delovanje s polno ali zmanjšano funkcionalnostjo, hkrati pa povečuje tveganje za nastanek okvare.

Odprava manjših pomanjkljivosti

Je skupek vzdrževalnih opravil, ki se izvajajo pred nastankom okvare na vklopljeni napravi z namenom zagotavljanja njenega brezhibnega stanja.

Odprava pomanjkljivosti

Zajema vzdrževalna opravila, ki se izvajajo pred nastankom okvare na izklopljeni napravi z namenom ohranjanja stanja, ki omogoča njeno normalno delovanje.

Havarija

Je nenačrtovan dogodek, katerega posledica je uničenje naprave ali omrežja, in zahteva obsežne posege za vzpostavitev prvotnega stanja.

Korektivno (popravljalno) vzdrževanje

Obsega dela, ki se izvajajo po ugotovitvi okvare z namenom vzpostavitve zahtevanega delovanja naprave. Obseg del in stroški so praviloma srednje veliki, posegi pa se izvajajo na izklopljeni napravi ali vodu ter prispevajo k ohranjanju življenjske dobe naprave.

Posodobitev

Je vzdrževalno delo na elektroenergetskem objektu, pri katerem se z zamenjavo posameznih delov in vgradnjo sodobnejših komponent objekt ohranja na ravni najnovejšega stanja tehnike, pri čemer se življenjska doba naprave ne podaljšuje.

Obnova (revitalizacija)

Je poseg na elementih postroja ali voda, katerega namen je podaljšanje njihove življenjske dobe.

Rekonstrukcija

Zajema dela, s katerimi se spreminjajo tehnične značilnosti obstoječega objekta zaradi prilagoditve spremenjeni namembnosti ali potrebam. Pri tem se bistveno ne spreminjata velikost in zunanji videz objekta, spreminjajo pa se njegovi konstrukcijski elementi, zmogljivost in funkcionalnost, kar praviloma vodi v podaljšanje življenjske dobe objekta.

Opravo

Je neposredna fizična naloga, ki jo mora izvesti delavec z namenom ohranjanja takšnega stanja naprave, da je sposobna izvajati funkcije, za katere je bila zasnovana.

Pregled

Je skupek opravil, ki se izvajajo na vklopljeni napravi pred nastankom okvare z namenom ugotavljanja njenega dejanskega stanja.

Celovit pregled

Je skupek opravil, ki se izvajajo na izklopljeni napravi pred nastankom okvare z namenom ugotavljanja njenega tehničnega stanja.

Izredni pregled

Je delo, ki se izvaja po nastanku okvare na elementih postroja ali voda z namenom ugotavljanja stanja naprave oziroma voda ter določitve potrebnih ukrepov, s čimer se prispeva k ohranjanju življenjske dobe naprave.

Preizkus

Je postopek, s katerim se ugotavljata funkcionalnost naprave in njena sposobnost obratovanja.

Kontrolne meritve

So dela, s katerimi se ugotavljajo posamezne fizikalne in tehnične veličine, pomembne za oceno stanja naprave.

Revizija

Je skupek opravil, ki se izvajajo pred nastankom okvare na izklopljeni napravi ali v okviru celovitega pregleda, z namenom ugotavljanja stanja naprave ter odprave ugotovljenih pomanjkljivosti na podlagi pregledov, meritev, preizkusov in diagnostike.

Remont

Predstavlja obsežnejši nabor vzdrževalnih opravil na napravah ali vodih, ki se izvajajo pred nastankom okvare z namenom ohranjanja njihovega brezhibnega stanja in življenjske dobe. Izvaja se v skladu z navodili proizvajalca v predpisanih časovnih intervalih ali glede na tehnično stanje naprave oziroma voda. Med remontom so naprave ali vodi v breznapetostnem stanju.

Preventivno (preprečevalno) vzdrževanje

Zajema dela na elementih postroja ali voda, ki se izvajajo pred nastankom okvare z namenom ohranjanja ali povrnitve naprave v stanje, v katerem je sposobna opravljati naloge, za katere je bila zasnovana. Ta dela se izvajajo v vnaprej določenih časovnih intervalih ali glede na stanje naprave oziroma voda.

Preventivno (preprečevalno) vzdrževanje po stanju

Izvaja se na podlagi dejanskega stanja naprave ali voda, ki se določi z upoštevanjem rezultatov diagnostike, podatkov o ključnih obratovalnih veličinah ter preteklega obratovanja.

Preventivno (preprečevalno) vzdrževanje po času

Je način izvajanja vzdrževalnih del v stalnih ali prilagodljivih časovnih intervalih. Namen takšnega vzdrževanja je preprečevanje okvar in ohranjanje življenjske dobe naprav.

Stanje naprave

Je lastnost, ki se opredeljuje na podlagi ugotavljanja in spremljanja značilnih obratovalnih in vzdrževalnih parametrov naprave.

Vzdrževalna dela v ožjem pomenu

Namenjena so ohranjanju življenjske dobe naprav in obsegajo pregled, revizijo in remont. Sem sodijo tudi meritve, diagnostika in preizkusi naprav. Med dela za podaljšanje življenjske dobe naprav sodita obnova (revitalizacija) in rekonstrukcija.

Vzdrževanje

Je kombinacija tehničnih, administrativnih in vodstvenih dejavnosti, ki se izvajajo v življenjski dobi naprave z namenom ohranjanja ali ponovne vzpostavitve stanja, v katerem naprava lahko opravlja predvideno funkcijo. Obseg teh dejavnosti neposredno vpliva na življenjsko dobo naprave.

Vzrok dogodka

So nezaželeni pojavi, pomanjkljivosti ali okvare, nastale pri izdelavi, montaži, vzdrževanju ali obratovanju, ki povzročijo spremembo tehničnega stanja naprave in posledično delno ali popolno prenehanje njenega delovanja. Vzrok dogodka je lahko tudi izvajanje načrtovanih del, ki zahtevajo izklop vzdrževane naprave.

Življenjska doba

Je časovno obdobje od vgradnje naprave do njene izločitve iz obratovanja, ki je posledica zmanjšanja sposobnosti opravljanja funkcij, za katere je bila naprava zasnovana. Pri tem se predpostavljajo normalni pogoji obratovanja, redno izvajanje vzdrževalnih del ter minimalen čas skladiščenja naprave.

Življenjski cikel

Je časovno obdobje, ki zajema vse faze obstoja naprave, od idejne zasnove, konstrukcije in projektiranja, preko izdelave, montaže ter poskusnega in rednega obratovanja do vzdrževanja in končne izločitve iz obratovanja.

Kazalniki vzdrževanja

So spremenljivke, povezane z vzdrževanjem elektroenergetskih naprav, ki se nanašajo na obseg naprav, njihovo učinkovitost, stroške vzdrževalnih del ter storitve na posamezno vzdrževano enoto.

Metoda

Je oblika načrtnega in premišljenega delovanja za doseg vnaprej določenega cilja, ki opredeljuje način oziroma postopek izvedbe.

Metodologija

Predstavlja skupek metod, ki se uporabljajo pri raziskovanju, analizi in sistematičnem razmišljanju. (ELES, 2024b).

Termografski pregled – termovizija

Infrardeča termografija ali termografija je neinvazivna, nedestruktivna in nekontaktna metoda merjenja temperature in prikaz porazdelitve toplote po površini kakršnega koli objekta. Infrardeča termografija omogoča hitro, enostavno in brezkontaktno merjenje površinske temperature. Te lastnosti termografiji omogočajo široke možnosti uporabe na različnih področjih.

Namen termografskega pregleda je ugotoviti trenutno stanje pregledanih naprav ter tako zmanjšati verjetnost nepredvidenih okvar, zastojev in požarov.

Termografija je brezkontaktna metoda merjenja temperature in zato podvržena vsem specifičnim fizikalnim motnjam, ki lahko vplivajo na rezultat, kot so nizka emisivnost površine, optično zaslonjena merilna pot ali za IR neprepustne ovire (steklo, pleksi) itd.

Neobičajno pregrevanje se lahko odkrije samo v primeru, da naprave obratujejo. Zaželeno je, da so naprave med pregledom vsaj 40 % obremenjene. V primeru, da naprave med snemanjem niso delovale ali so bile minimalno obremenjene, morebitne napake ostanejo skrite.

Za določitev resnosti pregrevanja so pomembne tri temperaturne vrednosti:

- Tobj: absolutna temperatura objekta (mesta pregrevanja), ki se greje bolj kot objekt z referenčno temperaturo.
- Tref: referenčna temperatura, to je normalna temperatura objekta. Običajno je ta temperatura izmerjena na enakem ali podobnem mestu, v isti ali sosednji fazi, ki se ne pregreva. Pri tem predvidevamo, da ima to mesto enako emisivnost in vodi enak tok.
- Tpre: temperatura pregrevanja, ki je razlika zgornjih vrednosti. Ta podatek pove, za koliko se neko mesto greje bolj kot referenčno in je najbolj pomemben za oceno resnosti pregrevanja.

S pomočjo termovizijske kamere je bilo ugotovljeno, da se v razdelilni transformatorski postaji 400,200/110 kV Beričevo v 400 kV Zvezno polje (Q1-Q20) pregreva spoj priključka proti tokovnemu merilnemu transformatorju (Terming, 2024).

Datum: 30. 1. 2024

Lokacija: 400 kV stikališče

Polje: ZVEZNO POLJE (Q1-Q20)

It(A): 930

Id(A): 1900

It(%): 49

Element: ODKLOPNIK (S)

Faza: S

Tov. Številka: 8139534

Opis: slab spoj priključka proti tokovniku

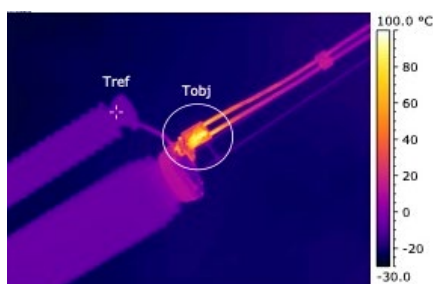
Tref: $-5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tobj: $92.6\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tpre: $97.8\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tpre(50 %): $101\text{ }^{\circ}\text{C}$

Priporočeno je takojšnje ukrepanje.



Slika 16: Pregrevanje spoja
(Vir: Terming, 2024)



Slika 17: Pregrevanje spoja – slika odklopnika
(Vir: Terming, 2024)

5.2.2 Dokumentacija o vzdrževanju

Izvajanje vzdrževalnih del temelji na ustrezno urejeni dokumentaciji in podpori informacijskega sistema, ki omogočata sprotno vnašanje, obdelavo in analizo parametrov, pomembnih za učinkovito vzdrževanje posameznih elektroenergetskih naprav in vodov.

Pri družbi ELES, d. o. o., je vzdrževanje organizirano in izvajano v skladu s sistematično urejeno dokumentacijo, ki vključuje zlasti:

- projekte izvedenih del,
- navodila proizvajalcev opreme za obratovanje in vzdrževanje,
- enopolne sheme elektroenergetskih objektov in naprav,
- bazo tehničnih podatkov opreme in naprav,
- razvidno dokumentacijo iz vodilne mape »Dokazilo o zanesljivosti objekta«,
- obratovalna navodila.

Vsako izvajanje vzdrževalnih del je pri ELES, d. o. o., obvezno vezano na predpisan delovni nalog (NZD), ki se vodi v informacijskem sistemu Maximo. Takšen način dela omogoča ustrezno načrtovanje, pripravo in izvedbo vzdrževalnih aktivnosti, celovit zajem podatkov o opravljenih delih ter izvedbo podrobnejših tehničnih in organizacijskih analiz, kar prispeva k večji zanesljivosti in preglednosti vzdrževanja elektroenergetskega sistema (ELES, 2024a).

5.3 PREGLEDI IN VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV (DV)

5.3.1 Klasični pregled DV

Z dolgoletnimi izkušnjami se je izkazalo, da najbolj zanesljive podatke pri pregledih pridobijo ustrezno usposobljeni strokovnjaki. Njihovo delo se praviloma opravlja na terenu, pogosto v zahtevnih vremenskih in geografskih razmerah. Ključnega pomena sta učinkovito zbiranje podatkov neposredno iz terena ter pravilna interpretacija vzrokov in izvora morebitnih napak. Zaradi specifične lege daljnovodnih (DV) koridorjev – ti praviloma potekajo izven naseljenih območij – je dostop do trase

pogosto otežen ali skoraj nemogoč. Zaradi teh pogojev je pregled pod vodniki zahteven, dolgotrajen in v določenih primerih tudi nevaren.

V določenih primerih, kot na primer pri izrednih pregledih, je treba iz varnostnih razlogov izklopiti celoten DV ali njegov del, kar za podjetje predstavlja dodatne stroške in logistične izzive. Kljub temu pa je to pogosto edina možna pot za natančno oceno stanja.

V podjetju ELES, d. o. o., se še vedno najpogosteje uporablja klasičen način pregleda DV koridorjev, pri čemer se letno nadzoruje več kot 1500 km daljnovodov. Povprečna dnevna učinkovitost posameznega preglednika je ocenjena na približno 5 do 6 kilometrov trase. Kadar teren ni dostopen z vozilom, se kakovost pregleda občutno zmanjša zaradi omejenega vidnega polja, kar pomeni večje tveganje za spregled napak. Čeprav je klasični način pregleda manj učinkovit, je še vedno najcenejši in zato pogosto uporabljen.

Ko se ob pregledu zaznajo poškodbe na nosilnih elementih, spojkah, vodnikih ali drugih komponentah, se te odpravljajo v najkrajšem možnem času, odvisno od resnosti ugotovljenega stanja. V primeru kritične napake v posameznem sektorju DV je treba ukrepati takoj. Postopek odprave običajno vključuje vzpon vzdrževalca na steber (SM), kjer se nato s pomočjo posebnega vozička premakne do mesta okvare in izvede popravilo.

Zbrani podatki o stanju se beležijo v za to predpisane obrazce, ki se nato arhivirajo v oblaku. Ti obrazci so del elektronskega sistema vodenja vzdrževalnih nalog preko informacijskega sistema MAXIMO, ki ga uporablja večina večjih distributerjev električne energije v Sloveniji. ELES, d. o. o., je med prvimi uvedel to rešitev in jo uporablja že več kot desetletje (ELES, 2024).

5.3.2 Pregledi in vzdrževanje DV s pomočjo helikopterske posadke

Z razvojem tehnologije in naraščajočimi zahtevami po hitrejšem, bolj zanesljivem in učinkovitem nadzoru elektroenergetskih omrežij so podjetja v prenosnem in distribucijskem sektorju začela izvajati zračne preglede daljnovodov (DV). Pregledi se načrtujejo v vnaprej določenih časovnih intervalih ter predstavljajo tehnološki napredek v primerjavi s klasičnimi ročnimi pregledi.

Standardna posadka za izvedbo tovrstnega pregleda obsega pilota, kopilota in operaterja, ki skrbi za upravljanje senzorjev in zajem podatkov. Čeprav so helikopterski pregledi časovno bistveno učinkovitejši od ročnih, so obenem finančno precej zahtevnejši. Stroški se gibljejo med 1.000 in 10.000 EUR na uro, odvisno od vrste helikopterja in obsega zajema ter obdelave podatkov (ENS, 2017).

Varnost in tehnična zahtevnost

Pomembno tveganje predstavlja varnostni vidik, saj se pregled izvaja v neposredni bližini visokonapetostnih vodnikov. Za kakovosten vizualni in senzorski zajem se mora helikopterska ekipa približati daljnovodu na razdalji 10 do 15 metrov, kar zahteva izjemno natančnost in koncentracijo. Zaradi te bližine je izvajanje takšnih pregledov povezano z visokimi varnostnimi standardi, strogimi postopki in dobro usposobljenimi piloti. V zadnjem desetletju je bilo po svetu zabeleženih več nesreč, povezanih s helikopterskimi pregledi DV, vendar nobena v Sloveniji. Podatki podjetja FlyCom (2022) navajajo pet večjih nesreč do tistega leta.

Pomembno je poudariti, da je ena od zadnjih zabeleženih nesreč v Sloveniji povezana z vojaškim helikopterjem, ki se je vračal z vojaške vaje "Jadranski udar" in trčil v DV v bližini Brestanice. Pri incidentu ni bilo smrtnih žrtev, nastala pa je materialna škoda tako na vojaškem helikopterju španskih oboroženih sil kot tudi na elektroenergetskem vodu. Izpad DV je povzročil dodatno ekonomsko škodo zaradi prekinjene dobave električne energije.

Prednosti in tehnološki napredek

Kljub višjim stroškom in varnostnim izzivom helikopterski pregled omogoča pregled nad težko dostopnimi in zahtevnimi tereni, kjer bi bil klasičen pregled bodisi zamuden bodisi nemogoč. Pregled je kompleksen, a omogoča hitrejše odzive na morebitne napake. Sodobni helikopterji so opremljeni z napredno tehnologijo: optičnimi in termografskimi kamerami, senzorji za zaznavanje stanja infrastrukture ter sistemi za monitoring vegetacije in prisotnosti živali ob DV.

Uporaba termovizijskih kamer je še posebej pomembna, saj omogoča identifikacijo toplotnih anomalij, ki lahko nakazujejo morebitne napake, pregrevanja ali nevarnosti na vodnikih in spojiščih. Te tehnologije se nenehno razvijajo in nadgrajujejo, kar še povečuje učinkovitost in uporabnost helikopterskih pregledov.

Zgodovina in uporaba v Sloveniji

Metoda se je začela aktivno uporabljati v Sloveniji po osamosvojitvi leta 1991. Od takrat se je utrdila kot nepogrešljivo orodje za pregledovanje omrežja, predvsem tam, kjer je fizičen dostop do DV močno omejen. Zaradi svoje natančnosti, hitrosti in obsega zaznavanja je postala nepogrešljiv del sodobnega koncepta vzdrževanja elektroenergetskih sistemov. (Glavič idr., 2003)

5.3.3 Novi pristopi (pregledi z BPL)

Zaradi nenehnega tehnološkega napredka in potrebe po optimizaciji vzdrževalnih procesov v elektroenergetskem sistemu (EES) so se v zadnjih letih vse bolj začeli uveljavljati pregledi z uporabo brezpilotnih letalnikov (BPL) oz. dronov. Ta sodobna metoda pregledovanja prenosnih in distribucijskih omrežij predstavlja pomemben premik v smeri digitalizacije in avtomatizacije vzdrževanja.

Prednosti uporabe BPL

Uporaba brezpilotnih letalnikov omogoča:

- dostop do težko prehodnih in nevarnih terenov (gore, gozdovi, rečna območja),
- zmanjšanje tveganja za ljudi, saj se pregled izvaja na daljavo brez izpostavljanja delavcev nevarnim razmeram,
- znižanje stroškov v primerjavi s helikopterskimi pregledi,
- večjo fleksibilnost pri planiranju in izvedbi,
- natančno vizualno in termografsko diagnostiko z uporabo visoko zmogljivih kamer in senzorjev,
- sprotno zbiranje, arhiviranje in analiziranje podatkov, ki se lahko integrirajo v informacijske sisteme (npr. MAXIMO).

Tehnologija in oprema

Sodobni droni so opremljeni z:

- visokoločljivostnimi optičnimi kamerami,
- termovizijskimi kamerami,
- LiDAR senzori (za 3D mapiranje in določanje razdalj do vegetacije),
- GPS / RTK sistemi (za natančno lociranje napak),
- avtopilotnimi funkcijami in programirano traso,
- programsko opremo za avtomatsko prepoznavo napak in poročanje.

Praktična uporaba

Najpogostejša področja uporabe BPL vključujejo:

- vizualne in termografske preglede nadzemnih daljnovodov (DV),
- kontrolo izolatorjev, spojev in opreme na stebrih,
- preverjanje koridorjev in vegetacije pod DV,
- intervencijske preglede po naravnih nesrečah (nevihtah, žledu, požarih),
- nadzor v sklopu preventivnega vzdrževanja.

Omejitve:

- pravne omejitve (dovoljenja za letenje, zasebnost),
- vremenske razmere (veter, dež, megla),
- omejena avtonomija baterije (običajno 20–40 minut),
- potreba po usposobljenem upravljavcu in analitiku.

Kot primer dobre prakse iz Slovenije lahko navedemo podjetje ELES, d. o. o., ki je med prvimi v Sloveniji sistematično uvedlo preglede s pomočjo dronov. Uporabljajo jih predvsem za vizualne preglede izolatorjev, korozije na nosilnih konstrukcijah in za

preverjanje zaraščanja koridorjev DV. Droni so integrirani v sistem za zajem podatkov, kamor se shranjujejo posnetki in poročila, ter z informacijskim sistemom MAXIMO. Prednost je možnost dostopa do teh podatkov v realnem času, kar omogoča hitrejšo odzive vzdrževalnih ekip. S tem je dosežena večja natančnost pri diagnostiki, manjši stroški obhodov ter zmanjšano tveganje za poškodbe zaposlenih (Zorko, 2023).

| Metoda pregleda | Cena | Dostopnost | Tveganje | Kakovost podatkov | Hitrost pregleda |
|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|----------|-----------------------------|------------------|
| Klasični (ročni) pregled | Nizka | Omejena (teren) | Srednje | Srednja | Počasna |
| Helikopterski pregled | Zelo visoka (1.000–10.000 €/h) | Zelo dobra (tudi za oddaljene predele) | Visoko | Visoka (tudi termografija) | Zelo hitra |
| Pregled z BPL (droni) | Zmerna | Zelo dobra (tudi težki tereni) | Nizko | Zelo visoka (HD, IR, LiDAR) | Hitra |

Tabela 9: Primerjava metod pregledovanja DV
(Lastni vir)

5.3.4 Dejavniki okvar na daljnovodih (DV)

Pomemben vzrok za nastanek okvar na daljnovodih (DV) in pripadajočih konstrukcijah predstavljajo predvsem vremenske razmere. Poleg tega ne smemo zanemariti procesa staranja komponent, ki so vključene v delovanje DV.

Okvare v grobem delimo na:

- kratkotrajne okvare, ki so največkrat posledica vremenskih vplivov (npr. atmosferske razelektritve),
- trajnejše okvare, ki povzročijo daljše prekinitve v dobavi električne energije,
- kratke stike, ki jih lahko razdelimo na fazne, medfazne in zemeljske stike.

Trajne okvare zajemajo denimo poškodbe izolatorjev ali izolatorskih verig, obrabo vodnikov in mehanske poškodbe zaradi medfaznih stikov. Statistični podatki kažejo, da kar 50–90 % vseh okvar na DV predstavljajo kratkotrajne okvare, ki povzročijo zgolj kratkotrajne prekinitve v delovanju elektroenergetskega sistema (EES).

Organizacija EPRI (Electric Power Research Institute) je že v 80. letih izvedla obsežno raziskavo, ki je vključevala 13 operaterjev ter 50 distribucijskih in prenosnih sistemov. Ugotovitve raziskave so pokazale, da približno 40 % vseh okvar nastane zaradi vremenskih vplivov, kot so:

- dež in nevihte,

- sneg in žled,
- močni vetrovi.

Najpogostejši vzroki izpadov DV:

- atmosferske razelektritve (strele) – najpogostejši vzrok okvar;
- stiki z drevesi – v naših razmerah drugi najpogostejši vzrok okvar, kar poudarja pomen redne sečnje in obrezovanja vegetacije v koridorjih DV;
- napake na opremi – vključujejo okvare komponent DV, izolatorjev, vodnikov ipd.;
- stiki živali z deli pod napetostjo – predstavljajo še vedno previsok delež napak;
- gradbena dela in izkopi – zlasti v bližini koridorjev DV;
- prometne nesreče – trki vozil v drogove ali konstrukcije DV;
- led in žled – primer zadnjega večjega dogodka: december 2018;
- vandalizem – namerna poškodovanja objektov EES;
- dela na elektroenergetskem sistemu – npr. pri vzdrževalnih ali gradbenih posegih (EPRI, 2026).

Vpliv podnebnih sprememb

Glede na napovedi vremenoslovcev se bodo ekstremni vremenski pojavi v prihodnosti le še stopnjevali. Povečuje se število poplav, dolgotrajne suše in močnih neurij s točo, hkrati pa se pozimi povečuje tveganje za žled in zmrzal. Zaradi staranja obstoječe infrastrukture (zlasti DV, ki so starejši od 30 let) prihaja do vedno večjega števila okvar.

Preventivno vzdrževanje lahko znatno prispeva k zmanjšanju števila okvar, čeprav določen delež še vedno ostaja nepredvidljiv. Ključni ostajata hitrost in učinkovitost odziva v primeru izpadov.

Ukrepi za zmanjševanje okvar in izpadov

Za zmanjšanje števila okvar in s tem zagotavljanje bolj zanesljive dobave električne energije se izvajajo naslednji ukrepi:

- sistematično obrezovanje dreves v koridorjih DV,
- intervencijska sečnja ob zaznanih nevarnostih v vegetaciji,
- gradnja podzemnih kablovodov (KB) v občutljivih območjih,
- identifikacija in nadzor ključnih točk opreme DV,
- preventivni pregledi z infrardečo kamero (IR-termografija),
- pregledi z brezpilotnimi letalniki (BPL) za zgodnje zaznavanje napak,
- namestitev zaščitnih elementov pred živalmi,
- zaščita konstrukcij z zaščitnimi vodniki (npr. proti streli).

Spremljanje in analiza napak

Zelo pomembno je stalno spremljanje lokacij in vrst okvar. Na ta način pridobimo pomembne podatke za razvrščanje napak v kategorije, kar močno pripomore k učinkovitejšemu:

- načrtovanju vzdrževalnih aktivnosti,
- odločanju o potrebnih investicijah,
- nadgradnji in modernizaciji EES.

Zmanjšanje števila okvar pomeni neposredno zmanjšanje prekinitev dobave električne energije, kar je osnovni cilj vseh sistemskih operaterjev in distribucijskih podjetij (Zorko, 2023).

5.4 PREGLEDI IN VZDRŽEVANJE STIKALIŠČ V RTP

Vsa načrtovana in nenačrtovana dela se izvajajo na podlagi Navodil o vzdrževanju EE naprav, navodil proizvajalca VN opreme in dokumentov, kjer je opredeljen plan del, nalog za delo, poročanje o delu. Pred začetkom izvajanja del v III. nevarnostnem območju mora vodja del – vodja delovne skupine – od pooblaščenega osebe pridobiti dokumente za varno delo:

- delovni program (se izda, ko sodeluje več skupin na istem delovišču),
- delovni nalog,
- dovoljenje za delo,
- obvestilo o prenehanju del.

Ko so vsi dokumenti pripravljeni za varno delo na elektroenergetskih napravah in postrojih v III. nevarnostnem območju, lahko vodja delovne skupine zavaruje mesto dela. Sledi izvedba del, večji del delovnih nalog se izvaja v VN stikališču. Delovne skupine morajo biti dobro seznanjene, kakšna je njihova naloga, kar je pogoj, da si pripravijo vso potrebno varnostno opremo in orodje ter opremo in material za izvedbo dela. Veliko del se izvaja po enakih delovnih postopkih na vseh treh napetostnih nivojih – 110 kV, 220 kV in 400 kV, zato je potrebna podrobna seznanitev delavcev glede dodeljenih nalog. Način in okoliščine dela od nas zahtevajo, da pri delu uporabljamo delovna sredstva (dvižne ploščadi, merilne inštrumente itd.) in osebno varovalno in zaščitno opremo (delovno obleko, delovne čevlje, čelado itd.) (Zorko, 2024).

5.4.1 Revizija VN naprav daljnovodnega polja v RTP

ODKLOPNIK

Odklopnik ima funkcijo prekinitve tokokroga, vendar brez vidne ločitve. Večinoma se uporabljajo samo še plinski odklopniki. Ta plin imenujemo žveplov heksafluorid (SF₆).

SF₆ ima zelo dobro dielektrično trdnost, zato ga uporabljamo za gašenje obloka, ki nastane pri prekinitvi tokokroga. Uporaba SF₆ zmanjša dimenzije ohišja odklopnikov in omogoča lažje vzdrževanje, saj nanj ne vplivajo zunanji vplivi.



*Slika 18: Odklopnik Q0
(Lastni vir)*

Pri izvajanju del na odklopniku je podobno kot na ločilniku. Najprej izvedemo vse varnostne in zaščitne ukrepe. Odklopnik ima prav tako kot ločilnik tri pole za tri faze: L1, L2, L3. Za ugotavljanje morebitne obrabe kontaktov in pregrevanje kontaktov z mikroohmetrom izmerimo padce napetosti na posameznih polih odklopnika. Na odklopniku izmerimo še čase delovanja, ki nam povejo, v kolikšnem času odklopnik vklopi-izklopi. Po meritvah pregledamo in očistimo izolatorje, pregledamo sekundarno opremo, gretje v omarici, položajno signalizacijo in funkcionalni preizkus.

Vsa opravila, ki jih opravimo na odklopniku:

- stanje VN povezav in priključnih sponk na odklopniku,
- stanje mehanske zveze pogonskega mehanizma – pogonski drog,
- stanje komponent, pogona in krmiljenja odklopnika,
- stanje vijačnih in konektorskih spojev na sekundarni el. opremi,
- stanje pogonskega mehanizma odklopnika,
- stanje ozemljitev konstrukcije in odklopnika,
- stanje in ustreznost označb na odklopniku,
- stanje tesnjenja oljnih zavor pogona,
- stanje ščetk pogonskega motorja,
- stanje tesnjenja pogonskih omaric,

- stanje AKZ nosilne konstrukcije odklopnika,
- stanje čistosti izolatorjev,
- delovanje grelcev in zračenja v pogonskih omaricah,
- tlak plina SF₆,
- nivo olja v oljnih zavorah pogona,
- električni parametri VN kondenzatorja,
- popis števec delovanj odklopnika,
- prehodne upornosti VN tokovne poti in priključnih sponk,
- delovanje krmilnih, zaščitnih, alarmnih in položajnih signalizacij,
- delovanje blokad odklopnika,
- funkcionalno delovanje odklopnika z zaščito,
- časi delovanja odklopnika,
- termovizija odklopnika in tokovnih povezav,
- kontrola s korona kamero,
- tovarniški servis odklopnika.

Popis števec delovanj odklopnika

Spodnja slika prikazuje izpis zajetih odčitkov iz števec priklopov odklopnika.

| POROČILO O OPRAVLJENIH MERITVAH | | ELES | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|
| STANJE ŠTEVCEV | | Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja CIPO Ljubljana | | | |
| RTP Beričevo-400 kV polje Krško 1 | | | | | |
| ND: NZD1094981 | | | | | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto protz. |
| QO L1 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/C | 2009 |
| Naziv | | Stanje | Opombe | | |
| Števec delovanj odklopnika | | 443 | | | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto protz. |
| QO L2 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/A | 2009 |
| Naziv | | Stanje | Opombe | | |
| Števec delovanj odklopnika | | 427 | | | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto protz. |
| QO L3 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/B | 2009 |
| Naziv | | Stanje | Opombe | | |
| Števec delovanj odklopnika | | 418 | | | |

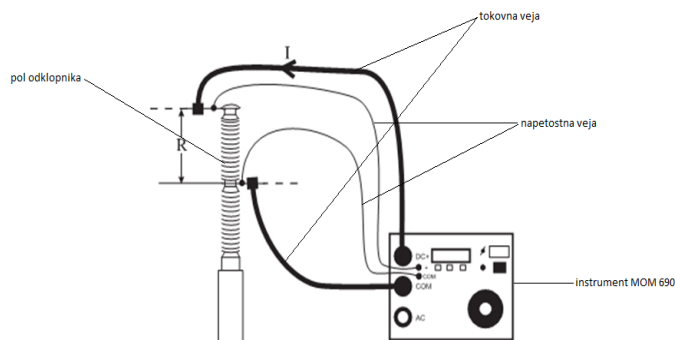
Opombe:

Datum meritve: 21.5.2024 Meritve opravil: Podlogar Tine

*Slika 19: Popis števec delovanj odklopnika
(Vir: ELES, 2024c)*

Meritev padcev napetosti na odklopniku

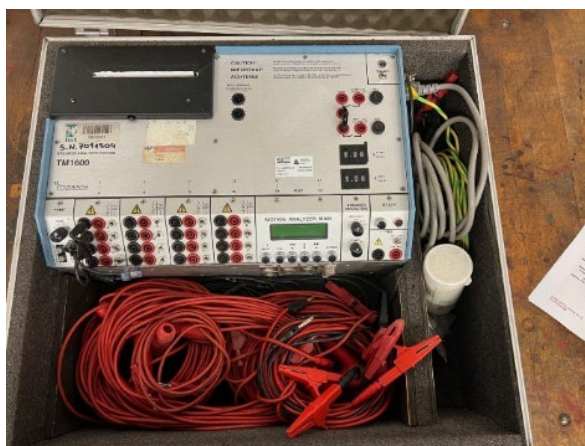
Pri meritvi padcev napetosti na odklopniku je postopek enak kot pri meritvah na ločilnikih. Tudi tukaj meritve opravimo na vseh treh fazah. Shema priklučitve merilnega inštrumenta pri meritvi padcev napetosti na odklopniku je prikazana na sliki 20.



Slika 20: Shema vezave merilnega instrumenta pri meritvi padcev napetosti na odklopniku
(Lastni vir)

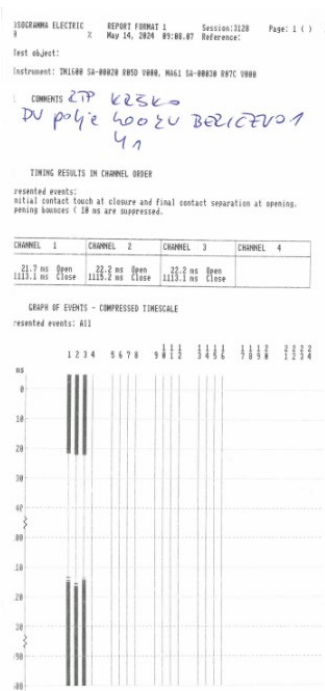
Meritev vklopnih in izklopnih časov odklopnika

Pri odklopniku se merijo vklopni in izklopni časi vsakega pola. Ker ima stikalo po dve vklopno-izklopni tuljavi (navitji) Y1 in Y2, je treba opraviti dve meritvi, za vsako tuljavo posebej. Meritev opravimo z operacijo "O – C" (izklop – vklop).



Slika 21: Instrument za merjenje časov na odklopnikih – MEGGER TM1600
(Lastni vir)

Na sliki 22 je prikazan izpis rezultatov meritev vklopnih in izklopnih časov odklopnika (Y1). Uporabili smo MEGGER TM 1600 analizador VN naprav.



Slika 22: Izpis rezultatov meritev vklopnih in izklopnih časov odklopnika (Y1)
 (Vir: ELES, 2024c)

POROČILO O OPRAVLJENIH MERITVAH
 ISTOČASNOSTI DELOVANJA ODKLOPNIKOV



RTP Beričevo-400 kV polje Krško 1
 ND: NZD1094981

Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja
 CIPO Ljubljana

| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto proiz. |
|----------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------|--------------------|-------------|
| Q0 L1 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/C | 2009 |
| Akcija | | Vrednost [ms] | | Opombe | |
| Meritev istočasnosti delovanja odklopnika – izklop | | 19,10 | | | |
| Meritev istočasnosti delovanja odklopnika – vklop | | 63,10 | | | |
| | | | | MI | |
| | | | | 1 | |
| | | | | 1 | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto proiz. |
| Q0 L2 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/A | 2009 |
| Akcija | | Vrednost [ms] | | Opombe | |
| Meritev istočasnosti delovanja odklopnika – izklop | | 18,90 | | | |
| Meritev istočasnosti delovanja odklopnika – vklop | | 64,00 | | | |
| | | | | MI | |
| | | | | 1 | |
| | | | | 1 | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto proiz. |
| Q0 L3 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/B | 2009 |
| Akcija | | Vrednost [ms] | | Opombe | |
| Meritev istočasnosti delovanja odklopnika – izklop | | 18,80 | | | |
| Meritev istočasnosti delovanja odklopnika – vklop | | 64,80 | | | |
| | | | | MI | |
| | | | | 1 | |
| | | | | 1 | |

Opombe:

MI: Uporabljeni merilni instrumenti

| Poz. | Inv. št. | Naziv | Serijska št. |
|------|----------|----------------|--------------|
| 1 | P8302501 | MEGGER, TM1600 | 7011504 |

Datum meritev: 21.5.2024

Meritve opravil: Podlogar Tine

Slika 23: Meritve istočasnosti odklopnika (PSA)
 (Vir: ELES, 2024c)

LOČILNIK

Po izvedbi vseh varnostnih in zaščitnih ukrepov se z dvižno ploščadjo povzpne do roke ločilnika. Ločilnik ima tri pole za tri faze: L1, L2, L3. Vsak pol ima dve roki, kjer je na eni kontaktni nož, na drugi pa kontaktna čeljust. Začnemo čiščenje in odstranjevanje stare masti iz kontaktov s čistilom in krpo. Očiščene kontakte natančno pregledamo. Tako lahko določimo morebitne poškodbe, obrabo ali ožganine drsnega kontakta. V primeru ugotovitve, da sta kontakta brezhibna in da ni potrebnih dodatnih popravil, na drsne dele kontakta ločilnika nanese mast, ki jo je predpisal proizvajalec v navodilih za vzdrževanje. Ta postopek opravimo na vseh treh polih (L1, L2, L3) ločilnika.



*Slika 24: Čiščenje in mazanje kontaktov 400-kV ločilnika
(Lastni vir)*

Po opravljenem delu na rokah (servisiranje kontaktov, pregled VN povezav in priključnih sponk, gibljivost VN kontaktov na VN povezavah) vklopimo ločilnik. Za ugotavljanje morebitne obrabe kontaktov in pregrevanje kontaktov v glavah ločilnikov z mikroohmetrom izmerimo padce napetosti na posameznih polih ločilnika. Po meritvah pregledamo in očistimo izolatorje, čiščenje in mazanje vrtljivih delov prenosnih vzvodov, pravilno delovanje mehanskih in električnih blokad, pregled sekundarne opreme, gretje v omarici, položajne signalizacije in funkcionalni preizkus.

Vsa opravila, ki jih opravimo na ločilniku (MX):

- stanje komponent ločilnika,
- stanje ozemljitev konstrukcije in ločilnika,
- stanje pritrditev ločilnika na konstrukcijo,
- stanje in ustreznost označb na ločilniku,
- stanje izolatorja in prirobnic,

- stanje vijačnih spojev na sekundarni električni opremi,
- stanje komponent pogonskega mehanizma,
- stanje kontaktnih nožev in čeljusti s komponentami,
- stanje VN povezav in priključnih sponk,
- stanje AKZ konstrukcije in ločilnika,
- delovanje grelcev in zračenja v pogonski omarici ločilnika,
- stanje čistosti izolatorjev,
- čiščenje in mazanje glavnega kontakta v glavi tokovne poti,
- čiščenje in mazanje kontaktnih nožev in čeljusti,
- čiščenje in mazanje vrtljivih zvez prenosnih vzvodov,
- delovanje mehanske blokade ločilnika,
- prehodne upornosti VN tokovnih poti in priključnih sponk,
- delovanje električne blokade ločilnika,
- funkcionalno delovanje in položajne signalizacije ločilnika,
- kontrola s korona kamero,
- termovizija ločilnika in tokovnih povezav.

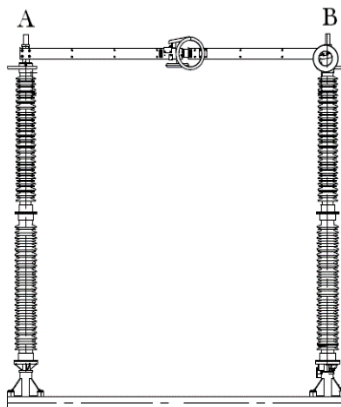
Meritev padcev napetosti na ločilniku

Na ločilniku izmerimo padec napetosti na kontaktih ločilnika. To meritev opravimo na vseh treh polih (fazah). Meritev se izvaja v našem podjetju z merilnim instrumentom MOM 690 proizvajalca merilne tehnike Megger iz Švedske, s katerim generiramo enosmeren tok 100 A in izmerimo padec napetosti v mV. Tokovne povezave namestimo na VN povezave ločilnika in na merilni instrument, merilne povezave pa namestimo znotraj tokovnih vezi, kot prikazuje slika 25. Ko so nameščene vse povezave na merilnem instrumentu, začnemo s podstokom. Generiramo enosmerni tok 100 A in na zaslonu odčitamo padec napetosti v mV. Postopek ponovimo na vseh treh ločilnikih. Izmerjena napetost ne sme presegati maksimalnih dovoljenih vrednosti po navodilu proizvajalca VN opreme.

V primeru, da so meritve ustrezne, poda vodja delovne skupine zadolžitev skupini, da razzemlji, odstrani orodje, pribor za zavarovanje (opozorilna vrvica) ter zahteva, da se delovna skupina oddalji od mesta del. V primeru, da meritve niso ustrezne, pomeni, da je prišlo do obrabe kontaktov ali pregrevanja kontaktov; če je prišlo do tega, ustrezno ukrepamo (zamenjamo kontakt, očistimo kontakt). Prikaz zajema meritev je prikazan na slikah od 22 do 23.



Slika 25: Instrument za merjenje padcev napetosti na ločilnikih in odklopnikih
(Lastni vir)



Slika 26: Točki (A-B) namestitve tokovnih in merilnih vezi
(Vir: ELES, 2024c)

Prikaz poročila meritev padcev napetosti za VN naprave

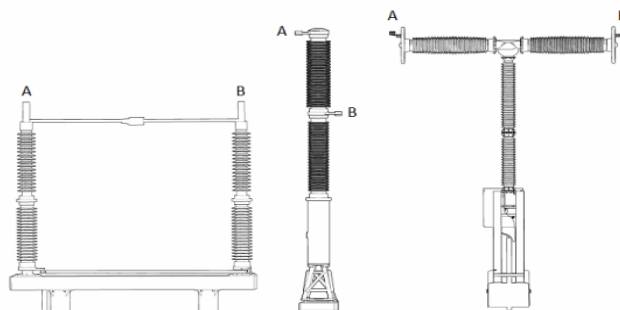
Na slikah od št. 27 do št. 29 so prikazani tabelarni rezultati merenj padcev napetosti za odklopnik in vseh pripadajočih ločilnikov 400 kV DV polja Krško 1 v RTP Beričevo. Vsi podatki se vpisujejo preko tablic, ki jo ima vsak zaposleni. Vodje del so pooblaščen in skrbijo za pravilen vnos in zbiranje podatkov meritev med revizijo.

POROČILO O OPRAVLJENIH MERITVAH
PADCEV NAPETOSTI NA VN NAPRAVAH

RTP Beričevo-400 kV polje Krško 1
ND: NZD1094981



Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja
CPO Ljubljana



| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto proiz. |
|--------------------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------|-------------|
| Q0 L1 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/C | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 9,77 | | | 1 |
| Q0 L2 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/A | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 10,10 | | | 1 |
| Q0 L3 | ODKLOPNIK 400kV | ABB | LTB 420E2 | 1HSB009150 60/B | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 10,03 | | | 1 |

1

Slika 27: Prikaz padcev napetosti VN naprav_1/3 (PSA)
(Vir: ELES, 2024c)

POROČILO O OPRAVLJENIH MERITVAH
PADCEV NAPETOSTI NA VN NAPRAVAH

RTP Beričevo-400 kV polje Krško 1
ND: NZD1094981



Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja
CPO Ljubljana

| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto proiz. |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| Q1 L1 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDA | A31996/B | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 7,45 | | | 1 |
| Q1 L2 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDA | A31996/A | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 7,02 | | | 1 |
| Q1 L3 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDA | A31996/C | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 8,26 | | | 1 |
| Q2-Q3 L1 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDAT | A31999/B | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 8,11 | | | 1 |
| Q2-Q3 L2 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDAT | A31999/A | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 9,03 | | | 1 |
| Q2-Q3 L3 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDAT | A31999/C | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 8,03 | | | 1 |
| Q7-Q8 L1 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDAT | A32002/B | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 7,68 | | | 1 |
| Q7-Q8 L2 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDAT | A32002/A | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 8,24 | | | 1 |
| Q7-Q8 L3 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D SpA | SZDAT | A32002/C | 2009 |
| Naziv | | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opombe | MI |
| Meritev padcev napetosti | | 7,95 | | | 1 |

2

Slika 28: Prikaz padcev napetosti VN naprav_2/3 (PSA)
(Vir: ELES, 2024c)

| POROČILO O OPRAVLJENIH MERITVAH PADCEV NAPETOSTI NA VN NAPRAVAH | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|
| RTP Beričevo-400 kV polje Krško 1 ND: NZD1094981 | | | Področje za infrastrukturo prenosnega omrežja CPO Ljubljana | | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto protz. |
| Q9+Q52 L1 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D 5pA | SZDAT | A31998/B | 2009 |
| Naziv | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opomba | MI | |
| Meritev padcev napetosti | 7,51 | | | 1 | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto protz. |
| Q9+Q52 L2 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D 5pA | SZDAT | A31998/A | 2009 |
| Naziv | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opomba | MI | |
| Meritev padcev napetosti | 8,11 | | | 1 | |
| Naprava | Opis | Proizv. | Tip | Serijska št. | Leto protz. |
| Q9+Q52 L3 | LOČILNIK 400kV | AREVA T&D 5pA | SZDAT | A31998/C | 2009 |
| Naziv | Izmer. dV [mV] | Dovol. dV [mV] | Opomba | MI | |
| Meritev padcev napetosti | 7,49 | | | 1 | |
| Meritve opravljene pri toku 100 A = stab. 1 (IEC 694) PADEČ NAPETOSTI JE IZMERJEN MED TOČKAMA A in B. | | | | | |
| Opombe: | | | | | |
| MI: Uporabljene merilni instrumenti | | | | | |
| Poz. | Invt. št. | Naziv | Serijska št. | | |
| 1 | P8304640 | MEGGER, MOM 690 | 8500959 | | |
| Datum meritev: 21.5.2024 | | | | | |
| Meritve opravil: Podlogar Tine | | | | | |

Slika 29: Prikaz padcev napetosti VN naprav_2/3 (PSA)
(Vir: ELES, 2024c)

Napetostni merilni transformator (NMT)

Napetostni merilni transformator (NIT) mora biti dimenzioniran tako, da ga breme, ki je v tem primeru merilni instrument, čim manj obremenjuje, kar pomeni, da mora biti njegova nazivna moč mnogo večja od moči, ki jo troši instrument. Zaradi obremenitve se v transformatorju pojavijo notranji padci napetosti, ki pomenijo merilno napako, tako v velikosti napetosti kakor tudi v kotu med primarno in sekundarno napetostjo. Napaka v kotu ima pomemben vpliv pri merjenju moči in energije.

Vsa opravila, ki jih opravimo na napetostnem merilnem transformatorju (MX):

- nivo olja,
- položaj membrane,
- stanje tesnjenja,
- stanje primarnih priključkov in povezav,
- stanje izolatorskih komponent,
- stanje izolatorja in prirobnic,
- stanje ozemljitve konstrukcije in merilnega transformatorja,
- stanje primarne in sekundarne povezave,
- izolacijski parametri.

Tokovni merilni transformator (TMT)

Tokovnik je merilni instrument, zato je eden njegovih bistvenih podatkov tudi razred točnosti. Nazivni tokovi so standardizirani: 1, 5, 10 A.

Običajno znaša nazivni sekundarni tok $I_n = 1$ A, redkeje 5 A, zelo poredko pa 10 A. Označevanje priključnih sponk je glede na standarde različno. V Sloveniji so sponke praktično vseh tokovnikov označene s K in L za primarne ter k in l za sekundarne sponke. Skladno s predpisi IEC pa se uvajajo oznake 1P1 in 1P2 ter 1S1 in 1S2. Pri tokovnem merilnem transformatorju opravimo ista opravila kot pri napetostnem merilnem transformatorju (navedeno v sklopu 5.4.4).

Prenapetostni odvodnik

Glavni namen prenapetostnih odvodnikov je varovanje VN naprav in sistemov pred prenapetostmi, ki nastanejo ob udarih strel, hitre razbremenitve itd.

Vsa opravila, ki jih opravimo na prenapetostnem odvodniku (MX):

- stanje komponent odvodnika,
- popis števec delovanj,
- instrument odvodnega toka,
- stanje primarne povezave,
- stanje ozemljitev konstrukcije in odvodnika,
- stanje pritrditve na konstrukcijo,
- čiščenje izolatorjev.

Elektroenergetski transformator

Elektroenergetski TR je elektroenergetska naprava, s katero transformiramo napetost iz višjega napetostnega nivoja na nižji napetostni nivo ali obratno. Pri nas uporabljamo EE TR samo za transformiranje iz višje napetosti na nižjo napetost. Transformator deluje na spremembe magnetnega pretoka, ki skozi tokovno zanko po Faradayevem zakonu inducira napetost.

Na elektroenergetskem transformatorju se opravijo naslednja opravila (MX):

- stanje kotla transformatorja,
- nivo olja v konzervatorju transformatorja in regulacijskem stikalu,
- stanje hladilnega sistema transformatorja (hladilniki, ventilatorji in oljne črpalke),
- nivo olja v skoznikih,
- stanje silikagela v sušilniku zraka,
- stanje skoznikov VN, SN, NN,
- nivo olja v sušilniku zraka,
- delovanje avtomatskega sušilnika zraka,
- stanje zasunov in ventilov,
- stanje cevi za odzračevanje,
- stanje tesnil,

- stanje povratnega ventila konzervatorja,
- stanje ozemljitev kotla,
- stanje pritrditve transformatorja,
- prisotnost in izpuščanje vode v kotlu in konzervatorju,
- stanje izolacije kotla (pri TR s kotlovsko zaščito),
- stanje priključnih sponk na skozišču,
- nastavitev iskrišč,
- čiščenje skoziščikov in temeljnih površin,
- stanje onesnaženosti hladilnikov,
- AKZ kovinskih delov,
- stanje oddušnika na kotlu,
- delovanje Buchholzevega plinskega releja in pretočnega releja transformatorja,
- delovanje Buchholzevega plinskega releja in pretočnega releja regulacijskega stikala,
- delovanje oljekazov, indikatorjev pretoka olja,
- delovanje krmiljenja in signalizacije hladilnega sistema,
- delovanje termoslike (hlajenje, zaščita TR),
- delovanje kontaktnega termometra (zaščita TR),
- delovanje termostata (zaščita TR),
- stanje sistema za stalni nadzor TR,
- magnetilni tokovi,
- izolacijske upornosti navitij TR,
- tg δ in kapacitivnosti navitij,
- stresane induktivnosti,
- plinsko kromatografska preiskava olja,
- kemijska analiza olja,
- prebojna trdnost olja,
- tekočinska kromatografska preiskava olja,
- frekvenčni odziv transformatorja.

Merjenje prebojne trdnosti izolacijskega olja

Vzorec olja smo vzeli na spodnjem iztoku olja iz transformatorja. V laboratoriju smo ga nato nalili v instrument za merjenje prebojne trdnosti olja. V posodo smo dodali še magnet, ki je namenjen mešanju olja med samo meritvijo. Razmik med elektrodama je 2,5 mm. Instrument samodejno povečuje napetost s hitrostjo 2 kV/s toliko časa, da v olju pride do preboja. Napetost, pri kateri je prišlo do preboja, se zabeleži. Meritev instrument ponovi šestkrat. Po opravljeni zadnji meritvi se rezultati izpišejo in na podlagi izpisov izračunamo povprečno prebojno trdnost olja.



Slika 30: Merjenje izolacijske trdnosti
(Vir: Špenko, 2016)

V tabeli 10 so navedeni osnovni podatki EE TR, na katerem se je izvajalo vzorčenje.

| RTP | Kleče |
|------------------------------|---------------|
| Polje | TR T212 |
| Naprava | T212 |
| Vzorec, vzet dne | 5. 4. 2016 |
| Temperatura zraka | 14 °C |
| Temperatura olja | 15 °C |
| Temperatura prostora | 23 °C |
| Datum meritve | 7. 4. 2016 |
| Merilni inštrument | BAUR - DPA 75 |
| Hitrost dvigovanja napetosti | 2 kV/s |
| Razdalja med elektrodami | 2,5 mm |
| Temperatura olja | 21 °C |

Tabela 10: Osn. podatki EE TR
(Vir: Špenko, 2016)

Analizator prebojne trdnosti olja izpiše rezultate za kasnejšo analizo in izračun srednje vrednosti.



Slika 31: Rezultati meritev
(Vir: Špenko, 2016)

Tabela 11 prikazuje zajete rezultate obdelanega EE TR.

| Št. Meritev | kV/2,5 mm |
|-------------------------|--------------|
| 1 | 75,1 |
| 2 | 63,1 |
| 3 | 66,1 |
| 4 | 69,5 |
| 5 | 69,6 |
| 6 | 75,1 |
| Σ | 418,5 |
| Srednja vrednost | 69,75 |

Tabela 11: Rezultati meritev izolacijske prebojne trdnosti TR olja
(Vir: Špenko, 2016)

Preizkus signalizacije in končnih pozicij elementov EES

Po končanju vseh opravil na visokonapetostnih napravah oziroma elementih (ločilniki, odklopniki, merilni transformatorji ...) daljnovodnega ali transformatorskega polja je treba izvesti še preizkus signalizacije. Opazujejo se položajni zaščitni in alarmni signali, ki se generirajo.

Preizkus opravljati dve osebi, in sicer: prva, po navadi vodja delovne skupine, izklaplja avtomatske varovalke, stikala in kontaktorje, istočasno pa druga oseba oz. nadzornik

v komandni sobi opazuje, ali prihajajo signali na računalnik, in zabeleži ustrezen signal v zato vnaprej pripravljeno listo, ki se razlikuje od polja do polja.

Po uspešno opravljenem preizkusu in ob upoštevanju, da so vsi udeleženci odstranjeni v skladu z izdanim programom, se lahko izvede preklon v normalno obratovalno stanje v obratnem vrstnem redu.

Podroben in natančen opis vračanja v normalno obratovanje stanje je opisano v sklopu – Delo nadzornika RTP.

Delo nadzornika RTP-ja ob reviziji daljnovidnega polja

Delo nadzornika je izredno zahtevno in odgovorno. V večini primerov je nadzornik v vlogi KD (koordinator dela). EEN oz. EEO sta kompleksna sistema, zato je za njihov nadzor treba izobraziti in usposobiti kader, kot je nadzornik RTP. Njegovo delo postane še bolj zapleteno, ko se izvaja revizija na obeh straneh DV. DV namreč povezujejo tudi distribucije s prenosnim omrežjem. V večini primerov so osebe za zavarovanje neznane in tu sta potrebni posebna pazljivost in doslednost izvajanja posebnega protokola, ki ga obvladajo nadzorniki.

Nadzornik razdelilne transformatorske postaje lahko prejme:

- delovni program,
- delovni nalog.

Delovni program prejme, ko na istem delovišču dela izvaja več skupin hkrati, sicer pa prejme delovni nalog. Skladno z letnim planom izklopov mora nadzornik območnemu centru vodenja napovedati plan izklopov, da v OCV-ju umestijo določen izklop oziroma manipulacijo na dnevni urnik izklopov. Dežurni operater območnega centra vodenja (OCV) mora nato poskrbeti, da se za izvedbo predvidenih del postroj, naprava ali oprema izklopijo in vidno ločijo od napetosti ter ozemljijo na določenih mestih. Po izvedbi omenjenih manipulacij nadzorniku objekta izda pisno depešo, da je DV obojestransko izklopljen, vidno ločen in ozemljen. Vse depeše nadzornik zapiše v poseben dnevnik (obrazec) depeš. Nadzornik RTP nato pregleda, ali ni prišlo do nehotenih napak. Izvede pregled daljnovidnega polja. To stori na naslednji način:

- sistemski ločilniki morajo biti odprti (v izklopljenem položaju),
- ozemljitveni noži morajo biti dvignjeni in sklenjeni z ozemljitveno točko.

Polje je tedaj ozemljeno. Prepriča se o stanju polja, v katerem se bodo izvajala dela. Nato pa mora poskrbeti za preprečitev nehotenega ponovnega vklopa naprav, ograditev in ozemljitev delovišča. Kot smo omenili, je nadzornik postaje običajno tudi koordinator del oziroma odgovorni vodja vseh programskih del. Ko konča z izvedbo zavarovalnih ukrepov, vodji del izda dovoljenje za delo. Preden vodja delovne skupine nadzorniku RTP izda obvestilo o prenehanju del, se opravi še preizkus signalizacije,

pri katerem nadzornik RTP v komandni sobi na postajnem računalniku spremlja, ali prejme vse signale, ki jih v stikališču proži vodja delovne skupine. Ko je delo končano na postroju, opremi, napravi, za katero je bilo izdano dovoljenje za delo, vodja del izda nadzorniku RTP-ja obvestilo o prenehanju del. Le-ta preveri, ali so odstranjeni vsi varnostni ukrepi in ali na delovišču, kjer so potekala dela, ni prisotnih ljudi, ali so odstranjene vse delovne ozemljitve in je polje pripravljeno na ponovni vklop. V primeru, da je KD in da se dela izvajajo na več deloviščih, počaka in pridobi povratne depeše vseh delovnih skupin vzdolž naprave. Šele takrat, ko so vrnjena vsa dovoljenja, se šteje, da so dela tudi uradno zaključena. Ko nadzornik objekta odda depešo o zaključku vseh del dežurnemu operaterju, ta lahko začne postopek vključevanja elektroenergetskih naprav v obratovanje. Vrstni red stikalnih manipulacij pri vklopu je obraten kot pri izklopu.

Vodja delovne skupine

Vodja delovne skupine preveri, ali je odgovorna oseba izvedla vse zavarovalne ukrepe, ogradila sosednje dele pod napetostjo in izvedla potrebne dodatne zavarovalne ukrepe na delovišču (ozemljila z delovnimi ozemljitvami napravo, na kateri potekajo dela, zavarovala delovišče od naprav pod napetostjo).

Pred začetkom izvajanja del mora vodja del seznaniti in opozoriti delavce na sosednje dele pod napetostjo in na nevarnosti, ki se lahko med delom pojavijo. Samo vodja del je pristojen izdati ustni nalog za začetek dela. Prepovedano je začeti dela samo na osnovi predhodno dogovorjenega časa izklopa in brez izvedbe varstvenih ukrepov. Izvedeni ukrepi za zavarovanje mesta dela se ne smejo opustiti pred zaključkom dela. Izjemoma se smejo odstraniti delovne ozemljitve samo v primeru meritev, če merilna metoda zahteva tak postopek. Po končani meritvi je treba ponovno zavarovati delovno mesto.

Stikalne manipulacije

Sistem SCADA je namenjen postajnemu spremljanju, nadzoru, upravljanju, javljanju napak in prikazu stanja sistema. Vsaka razdelilna transformatorska postaja ima stikalnico, v kateri je računalnik, na katerem je nameščen sistem SCADA. Postaje so navadno krmiljene daljinsko, kar pomeni, da jih spremljajo in vodijo iz območnega centra vodenja. Ob revizijah, preklopih ali kateri drugi manipulaciji pa nadzornik razdelilne transformatorske postaje pokliče dežurnega v OCV in mu javi, da bo postajo preklopil na postajno vodenje. To pomeni, da lahko zdaj nadzornik RTP izvaja stikalne manipulacije, ob zaključku manipulacij pa je nadzornik dolžan sporočiti, da postajo predaja nazaj v daljinsko vodenje. Vsak prevzem postaje na postajno oz. daljinsko vodenje se zabeleži v obratovalni dnevnik, zabeležita se tudi datum in ura izdaje dovoljenja za delo, prejem obvestila o končanju del in vsaka stikalna manipulacija (Zorko, 2024).

5.5 UKREPANJE OB NEZGODAH IN IZREDNIH DOGODKIH

Ukrepanje ob nezgodah in izrednih dogodkih je nepogrešljiv del sistema varnosti pri delu na elektroenergetskih napravah (EEN). Kljub doslednemu upoštevanju tehničnih, organizacijskih in osebnih varnostnih ukrepov tveganj ni mogoče v celoti odpraviti. Zato je nujno, da so zaposleni ustrezno usposobljeni za pravilno ravnanje v primeru nezgode ali izrednega dogodka. Pravočasno in pravilno ukrepanje lahko bistveno zmanjša posledice za zdravje ljudi, prepreči nadaljnje nevarnosti ter omeji materialno škodo (ELES, 2024b).

5.5.1 Ravnanje ob nezgodah pri delu na EEN

Pri nezgodah, povezanih z delom na EEN, gre najpogosteje za električni udar, opekline zaradi električnega obloka, padce z višine ali mehanske poškodbe. Ob nastanku nezgode je najpomembnejše zagotoviti lastno varnost in preprečiti dodatno ogroženost drugih oseb. Poškodovani osebi se ne smemo približati, dokler obstaja možnost, da je še vedno v stiku z deli pod napetostjo.

Po zagotovitvi varnosti je treba nemudoma obvestiti pristojne službe ter začeti nudenje prve pomoči v skladu z usposobljenostjo osebja. Posebna pozornost je namenjena nezgodam z električnim tokom, saj so posledice pogosto notranje in se lahko pokažejo z zamikom. Zato je vsak električni udar obravnavan kot resna nezgoda, ki zahteva strokovno zdravstveno obravnavo (ELES, 2024b).

5.5.2 Ukrepanje ob izrednih dogodkih

Izredni dogodki v elektroenergetiki vključujejo požare, eksplozije, nenadne okvare VN naprav, razlitje izolacijskih tekočin ter vplive naravnih dejavnikov, kot so neurja ali potresi. Ob takšnih dogodkih je ključnega pomena hitro in organizirano ukrepanje, ki temelji na vnaprej pripravljenih načrtih za izredne razmere.

V primeru izrednega dogodka je treba takoj zagotoviti varnost oseb, omejiti območje dogodka, po potrebi izvesti evakuacijo ter obvestiti gasilske in druge intervencijske službe. Hitra komunikacija in jasna razdelitev nalog bistveno zmanjšujeta posledice izrednih dogodkov (ELES, 2024b).

5.5.3 Preventivni ukrepi in pripravljenost na izredne razmere

Preventiva ima ključno vlogo pri zmanjševanju števila nezgod in izrednih dogodkov. Med pomembne preventivne ukrepe sodijo redna usposabljanja zaposlenih, vaje za ravnanje ob nezgodah, periodični pregledi opreme ter stalna dostopnost sredstev za prvo pomoč in gašenje požarov.

Pomemben del preventive je tudi analiza nezgod in skorajšnjih dogodkov. Na podlagi ugotovitev se uvedejo korektivni ukrepi, s katerimi se izboljšujejo delovni postopki in splošna raven varnosti pri delu na EEN (ELES, 2024b).

Možni primeri nezgode in izredni dogodki pri delu na EEN ter njihovo ukrepanje je prikazano v tabeli 12.

| Vrsta dogodka | Možne posledice | Takojšnji ukrepi | Odgovorna oseba |
|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Električni udar | Poškodbe, smrt | Izklop napajanja, prva pomoč, klic nujne pomoči | Vodja del / prisotno osebje |
| Električni oblok | Opekline, poškodbe vida | Umik na varno, oskrba poškodb, obvestilo nadrejenim | Vodja del |
| Požar v VN postroju | Materialna škoda, ogrožanje oseb | Izklop naprav, uporaba gasilnih sredstev, evakuacija | Pooblaščen osebje |
| Padec z višine | Zlomi, poškodbe | Prva pomoč, zavarovanje območja | Vodja del |
| Okvara naprave | Nevarnost za osebje | Prekinitev dela, zavarovanje naprave | Odgovorna oseba |
| Vremenski izredni dogodek | Povečano tveganje nezgod | Prekinitev del, umik osebja | Vodja del |

Tabela 12: Primeri nezgod, izrednih dogodkov pri delu na EEN in ukrepanje (Lastni vir)

5.5.4 Protokol ukrepanja ob električnem udaru

Ob električnem udaru se ravnamo po naslednjih korakih:

1. Zagotavljanje lastne varnosti:

- ne dotikamo se poškodovane osebe, dokler ni izključen vir napajanja,
- uporabljamo izolacijske pripomočke (izolacijske palice, suha izolacijska sredstva).

2. Prekinitev električnega toka:

- izklopimo naprave ali odstranimo vire napajanja,
- če izklop ni mogoč, varno ločimo poškodovanca z izolacijskim sredstvom.

3. Ocena stanja poškodovanca:

- preverimo zavest, dihanje in življenjske znake,
- po potrebi začnemo temeljne postopke oživljanja.

4. Nudjenje prve pomoči:

- a. oskrbimo opekline, preprečimo podhladitve,
- b. do prihoda reševalne službe izvajamo stalni nadzor.

5. Obveščanje in poročanje:

- a. obvestimo nadrejene in pristojne službe,
- b. dokumentiramo nezgode in analiziramo vzroke (Eles 2024a).

6 ZAKLJUČKI

Priprava te naloge je predstavljala dragoceno priložnost za poglobitev znanja o vzdrževanju elektroenergetskih sistemov ter razumevanje širše slike, ki presega zgolj tehnično izvajanje nalog na terenu. Ob obravnavi različnih metod vzdrževanja sem lahko povezal teoretična znanja s praktičnimi izkušnjami, pridobljenimi v podjetju, kjer sem zaposlen, kar je pomembno prispevalo k boljšemu razumevanju obravnavane problematike.

Med pisanjem naloge sem se srečeval z izzivom usklajevanja strokovne literature s specifičnimi postopki in praksami, ki se izvajajo v našem podjetju. Pri tem se je pokazalo, da številni sodobni pristopi, kot so preventivno vzdrževanje po stanju, uporaba termografije, tehnologije BPL ter računalniško podprti sistemi za upravljanje vzdrževanja (npr. Maximo), niso več zgolj teoretični koncepti, temveč se že uspešno vključujejo v vsakodnevne delovne procese. Posebej izrazito se to kaže pri pregledih in revizijah visokonapetostnih naprav ter daljnovodov, kjer imajo sodobne metode pomembno vlogo pri zagotavljanju zanesljivosti in varnosti obratovanja.

Eden večjih izzivov, ki jih obravnava tudi naloga, je usklajevanje kompleksne zakonodaje, tehničnih smernic in predpisov z dejansko izvedbo del na terenu. Delovni pogoji so pogosto odvisni od vremenskih razmer, konfiguracije terena in razpoložljivosti opreme, kar zahteva prilagodljivost, strokovno presojo in odgovorno odločanje. Prav v tem se kaže posebna posebnost in zahtevnost dela v elektroenergetiki, kjer sta poleg tehničnega znanja ključnega pomena tudi izkušnje in zavedanje pomena varnosti.

Naloga mi je omogočila sistematičen pregled področja, ki ga dobro poznam iz prakse, hkrati pa me je spodbudila k razmišljanju o nadaljnjem razvoju in nadgradnji obstoječih pristopov k vzdrževanju elektroenergetskih sistemov. Pridobljeno znanje predstavlja pomembno osnovo za nadaljnje strokovno delo ter za aktivno sodelovanje pri uvajanju izboljšav, ki prispevajo k večji zanesljivosti, varnosti in učinkovitosti delovanja elektroenergetskega sistema. Prepričan sem, da bo vsebina naloge koristna tako zame osebno kot tudi za prakso v podjetju, v katerem delujem.

Naloga potrjuje, da je sodoben in sistematičen pristop k vzdrževanju elektroenergetskih sistemov, ki temelji na strokovnem znanju, praktičnih izkušnjah in doslednem upoštevanju varnostnih zahtev, ključen za dolgoročno zanesljivo in varno obratovanje elektroenergetske infrastrukture.

Pridobljena spoznanja bodo pomembno vplivala na moje nadaljnje strokovno delo ter prispevala k še bolj zavestnemu in odgovornemu pristopu k praksi.

7 LITERATURA IN VIRI

Aberšek, B. in Flašker, J. (2005). *Vzdrževanje: sistemi, strategije, procesi in optimiranje*. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.

Ahmad, R. in Kamaruddin, S. (2012). *An overview of time-based and in industrial application*. Computers in Industrial Engineering, Volume 63, Issue 1, 135–149. Pridobljeno 13. 2. 2026 z naslova <https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-industrial-engineering/vol/63/issue/1>

Electric Power Research Institute – EPRI. (2026). *Test Confirm Viability of Using Drones to Assess Storm damage on Distribution Systems*. Compact magazin. Pridobljeno 27. 3. 2026 z naslova <https://compactequip.com/archives/airborn-drones-can-assess-storm-damage-on-distribution-systems-2/>.

ELES, d. o. o. (2022). *90 let prenosnih poti*. Pridobljeno 13. 12. 2025 z naslova <https://www.eles.si/Portals/0/Publikacije/Brosure/Knjiga%2090let%20prenosnih%20poti.pdf>

ELES, d. o. o. (2024a). Interno gradivo: *Varnostna pravila za delo na EN, avgust 2024*.

ELES, d. o. o. (2024b). Navodilo: *Navodilo o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav*, izdaja – interno gradivo 13, 24. 6. 2024

ELES, d. o. o. (2024c). *PSA – Interno gradivo*.

ELES, d. o. o. (2026). *Organiziranost družbe*. Pridobljeno 3. 3. 2026 z naslova <https://elesnet.eles.si/druzba/Strani/organiziranost.aspx>

ENS, d. o. o. (2017). Interno gradivo: *Poročilo o uporabi in razvoju večnamenskega brezpilotnega letala za vzdrževanje daljnovodov*. Ljubljana: ENS, d. o. o.

FLYCOM. (2022). *Snemanje s kamero*. Pridobljeno 22. 6. 2022 z naslova <https://www.flycom.si/daljinsko-zaznavanje/>

Gabrovšek, L. (2015). *Upravičenost uporabe novih tehnologij pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov : primer uporabe brezpilotnega letala*. Diplomsko delo, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta.

GIZ distribucijske električne energije. (2008). *Varnostna pravila za delo na elektroenergetskih postrojih*, 2. izd., november 2008).

Glavič, R., Lovrenčič, V. in Furlan, T. (2003). *Helikopterski pregled nadzemnih vodov*. Konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE ŠK 3–16, 79. Pridobljeno 23. 1. 2026 z naslova <https://www.cigre-cired.si/rezultati/>
<https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-industrial-engineering/vol/63/issue/1>

Pelko, A. (2009). Seminarско gradivo ZDES: *Upravljalci energetske naprave v elektroenergetskem sistemu*. Ljubljana: Zveza društev energetikov Slovenije.

Razpet, A. (2007). Elektroenergetski sistemi: *Učbenik za program Elektrotehnik in Elektronik (PTI)* / Alojz Razpet. 4 natis. - Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST). (2010). *Vzdrževanje – Terminologija s področja vzdrževanja*. Pridobljeno 23. 1. 2026 z naslova <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/30889/ee374eed8f384a24bccd9957bd86fa9d/SIST-EN-13306-2010.pdf>

Špenko, A. (2016). Dnevnik. *Pripravniško delo*. Ljubljana: ELES.

Terming, d. o. o. (2024). Termografija. Pridobljeno 18. 03. 2026 z naslova <https://terming.eu/>

Zorko, M. (2023). *Vzdrževanje in pregledi postrojev v elektroenergetskih sistemih: vzdrževanje daljnovodov*. Diplomsko delo, Ljubljana: ICES, Višja strokovna šola.

Zorko, M. (2024). *Pisna naloga za pristop k izdaji pooblastila II*. Ljubljana: ELES.