



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
inštalacije

VZDRŽEVANJE IN PREGLEDI POSTROJEV V ELEKTROENERGETSKIH SISTEMIH: VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV

Mentor: Matjaž Bobnar, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Irena Žunko, prof. slov.

Kandidat: Matej Zorko

Ljubljana, februar 2023

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Matjažu Bobnarju za nesebično in strokovno pomoč, uporabne nasvete in napotke pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala tudi za pomoč pri izdelavi in nastajanju diplomskega dela, zbiranju informacij in tehnični podpori g. Tomažu Pungartniku. Obenem bi se tudi rad zahvalil svojemu neposredno nadrejenemu g. Sašu Pirnovarju za izkazano podporo med študijem.

Zahvaljujem se tudi lektorici Ireni Žunko, prof. slov., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebno bi se rad zahvalil vsem mojim najbližjim in mojim prijateljem ter sošolcem, ki so mi pomagali v dobrih in slabih trenutkih med šolanjem.

IZJAVA

Študent Matej Zorko izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Matjaža Bobnarja, 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.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomski nalogi 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 in kateri se uporabljajo v distribuciji, povzeti strategije, ki jih uporabljamo tudi v podjetju Elektro Ljubljana, d. d. Prav tako želim primerjati izkušnje vzdrževanja z novimi naprednimi tehnologijami, ki so morda še zmeraj v razvoju v Sloveniji in nekatere od njih že kar globoko vpeljane v sistem v tujini. Na enostavnem primeru vzdrževanja želim prikazati prednosti, slabosti, nevarnosti in priložnosti v tabeli (SWOT). Ključnega pomena je uvedba novih, hitrejših, bolj varnih in ekonomsko bolj učinkovitih metod, s tem pa bolj pregledno in kakovostnejše zbiranje informacij posameznih sredstev. V nalogi torej prikažem, kako je implementacija pregledov s pomočjo BPL upravičena za elektro distribucije. Z raziskovanjem sem ugotovil in potrdil, da je za monterje najvarnejša metoda odkrivanja napak na DV z brezpilotniki. Morda je treba poudariti tudi dejstvo, da trenutne tehnologije ne morejo povsem izpodriniti najenostavnejšega načina pregleda, kot je obhod monterjev.

KLJUČNE BESEDE:

- Visoka napetost,
- elektroenergetski sistemi,
- visokonapetostne naprave,
- pregledi, vzdrževanje,
- brezpilotna plovila.

ABSTRACT

In my diploma thesis, I would like to show and describe the concept of maintenance at electric power system, its importance and contribution to regular continuous maintenance. The development of maintenance over time is shown on examples from abroad and Slovenia. The thesis also includes an explanation of the basic concepts of different maintenance and their use in distribution, as well as a summary of the strategy that we already use in the company Elektro Ljubljana d.d.. I also think it is important to compare the experience of maintenance with new advanced technologies that may still be in process of development in Slovenia, but abroad they are already deeply integrated into the system. Using a simple example of maintenance, I will present the strengths, weaknesses, threats and opportunities in tabel (SWOT table). It is crucial to introduce new, faster, safer and more economically efficient methods that enable a more transparent and better collection of information on single assets. I will also present the way in which the implementation of inspections with the help of BPL is justified for electrical distribution. Through research, I have found and confirmed that the safest method for installers to find faults on DV is by drones. Perhaps it is also necessary to emphasize the fact that current technologies cannot completely replace the simplest way of inspection, such as doing rounds by the installers.

KEYWORDS

- High voltage,
- Power systems,
- High voltage devices,
- Inspections, maintenance,
- Unmanned aerial vehicles.

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema	1
1.2	Cilji naloge	1
1.3	Predstavitev okolja.....	2
1.4	Predpostavke in omejitve	2
1.5	Metode dela.....	3
2	ELEKTRIČNA OMREŽJA.....	4
2.1	Zgodovina in razvoj prenosa EE	4
2.2	Lastnosti električnih omrežij.....	5
3	DELITEV ELEKTRIČNIH OMREŽIJ.....	6
3.1	Po napetosti (U).....	6
3.2	Po VRSTI toka (I)	6
3.3	Po izvedbi	7
3.4	Po obliki	7
3.5	Po številu vodnikov	8
3.6	Po namenu	8
4	VZDRŽEVANJE NA SPLOŠNO.....	9
4.1	Splošna določila.....	9
4.2	Opredelitev in razvoj vzdrževanja	11
4.3	Strategije vzdrževanja.....	15
4.3.1	Korektivno (kurativno) vzdrževanje	15
4.3.2	Preventivno vzdrževanje	17
4.3.3	Preventivno vzdrževanje po času.....	21
4.3.4	Celovito produktivno vzdrževanje (TPM).....	23
4.3.5	Zanesljivo orientirano vzdrževanje (RCM).....	23
4.3.6	Računalniško podprto vzdrževanje.....	24
4.3.7	Plansko vzdrževanje	24
4.3.8	Razvoj in smeri vzdrževanja po letu 2000	25
5	VZDRŽEVANJE NADZEMNIH VODOV (DV).....	26
5.1	Vzdrževalna dela na daljnovodih.....	26
5.1.1	Pregled	26
5.1.2	Izredni pregled	26
5.1.3	Revizija	26
5.1.4	Remont	27
5.1.5	Obnova – revitalizacija	27
5.1.6	Meritev	27
5.1.7	Preizkus	27
5.1.8	Termografski pregled – termovizija	27
5.2	Pregledi in vzdrževanje daljnovodov	27
5.2.1	Klasični pregled DV.....	27
5.2.2	Pregledi in vzdrževanje DV s pomočjo helikopterske posadke.....	28

5.2.3	Vzroki okvar DV	29
5.3	Večji Izpadi EE v SVETU V zadnjih nekaj letih	31
5.3.1	Kategorizacijska skala incidentov v Evropi – ICS	31
5.4	Nove tehnologije, materiali in pristopi	33
5.4.1	Napredki in spoznanja novih tehnologij, materialov in pristopov nadzemnih vodov	34
5.5	Napredne vrste tehničnega vzdrževanja DV	40
5.5.1	Talni roboti	40
5.5.2	Roboti na žicah	41
6	BREZPILOTNA LETALA ZA VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV	43
6.1	Brezpilotniki na splošno	43
6.2	Vrste in značilnosti bpl	44
6.2.1	Klasifikacija brezpilotnih zrakoplovov za izvajanje letalske dejavnosti ..	44
6.2.2	Klasifikacija področja letenja	45
6.2.3	Delovanje BPL	45
6.3	Predpisi in pravila o uporabi BPL	46
6.3.1	Predpisi na splošno v Evropi	47
6.3.2	Predpisi na splošno v Sloveniji	47
6.4	Uporaba brezpilotnikov v namen vzdrževanja dv	50
6.4.1	Ocena škode	50
6.4.2	Vegetacija	51
6.4.3	Pregledi in ocena sredstev s pomočjo BPL	51
6.5	Uporaba BPL za vzdrževanje dv v tujini	51
6.5.1	Uporaba BPL v ZDA	51
6.5.2	Primer in praksa finskega modela vzdrževanja s pomočjo BPL	54
6.6	Uporaba BPL v sloveniji	55
6.6.1	Uporaba BPL	56
6.7	Analiza podatkov, zajetih s pomočjo bpl	57
6.7.1	RGB-analiza zajema podatkov	57
6.7.2	LiDAR analiza podatkov	59
6.7.3	Uporaba zajema IR-slik s pomočjo BPL	60
6.8	SWOT-analiza BPL	60
6.8.1	Analiza SWOT na splošno	60
6.8.2	Analiza SWOT uporabnosti BPL	62
7	ZAKLJUČEK	65
8	LITERATURA IN VIRI	66

KAZALO SLIK

Slika 1: Radialno omrežje	8
Slika 2: Zaprto zankasto omrežje	8
Slika 3: Delitev vzdrževalnih del	10
Slika 4: Potek odprave napake (popravilo)	16
Slika 5: Izvajanje korektivnih zamenjav enot sistema	16
Slika 6: Sistem preventivnega vzdrževanja	18
Slika 7: Razmerja med načrtovanim in nenačrtovanimi posegi	18
Slika 8: Delitev preventivnega vzdrževanja	19
Slika 9: Metode preventivnega vzdrževanja	19
Slika 10: Preventivno vzdrževanje po času – periodično preventivno vzdrževanje ..	22
Slika 11: Povečanje kapacitete (amperov) glede na temperaturo vodnika za določen projekt	35
Slika 12: Načela dinamične ocene voda, močan veter in nizka temperatura omogočajo večji dovoljeni tok v vodnikih	35
Slika 13: FRP izvedba SM – slika levo, 110 kV kompozitni SM (cevna izvedba) – slika desno	36
Slika 14: SM »orel«, grajen je na Danskem	37
Slika 15: Nova zasnova SM z dvojnimi krogom in kombinacija kovinskih drogov, grajen je na Nizozemskem	37
Slika 16: Vidna sta dva dvosistemska 400 kV SM. Levi SM: iz pocinkanega jekla – jasno viden; desni SM: stolp "kamuflačne linije" temno zelene barve in prevlečeni vodniki, skoraj nevidni.	38
Slika 17: Brezpilotno letalo »multicopter«	39
Slika 18: Robot za čiščenje izolatorja pod napetostjo (Korejski raziskovalni inštitut za električno energijo)	39
Slika 19: Primer uporabe ROBTET	41
Slika 20: LineScout Robot pred oviro	42
Slika 21: BPL za pregledovanje DV	54
Slika 22: Konzola in BPL	54
Slika 23: Analiza HD-fotografije s pomočjo Hepta Airborn aplikacije	58
Slika 24: LiDAR analiza zajema točk sredstva	59
Slika 25: Pregrevanje elementa na SN DV	60

KAZALO TABEL

Tabela 1: Generacije vzdrževanja in značilnosti	13
Tabela 2: Razvoj vzdrževanja	14
Tabela 3: Generacije vzdrževanja	14
Tabela 4: Lestvica za kategorizacijo incidentov v pan – EU EES	32
Tabela 5: Kategorizacija med 2016 in 2020 glede na tabelo 1	32
Tabela 6: Podatek incidentov po mesecih za leto 2020 – ELES	33

Tabela 7: Število incidentov, razvrščenih po trajanju	33
Tabela 8: Vrste BPL	44
Tabela 9: Analiza stroškov in koristi uporabe BPL	52
Tabela 10: Analiza SWOT	62
Tabela 11: Prednosti vzdrževanja z BPL pred helikopterskim pregledom in metodo s plezanjem.....	63

POJMOVNIK

BCM	V poslovanje usmerjeno vzdrževanje (<i>Business Centred Maintenance</i>)
DLR	Dynamic Line Rating označuje dejansko temperaturo prevodnika in dejanske okoljske parametre za izračun največje dovoljene električne obremenitve v tem trenutku
HARDWARE	Strojna oprema
LCC	Analiza stroškov življenjske dobe (<i>angl. Life Cycle Cost</i>)
RBI	Kontrola, ki temelji na tveganju (<i>angl. Risk Based Inspection</i>)
RCM	Zanesljivo orientirano vzdrževanje (<i>angl. Reliability Centred Maintenance</i>)
REKONDUKTOR	Nadomestna daljnovodna vrv ali žica v VN tokokrogu. Običajno za zagotavljanje večje zmogljivosti pri prenosu EE
SOFTWARE	Računalniški program, ki načeloma nadzoruje strojno opremo
SWOT	Ena najpogostejših in najbolj popularnih analiz v sklopu poslovnih ved
TPM	Celovito produktivno vzdrževanje (<i>angl. Total Productivity Maintenance</i>)

KRATICE IN AKRONIMI

AKZ:	Antikorozijska zaščita
BPL:	Brexpilotno letalo
DCV:	Distribucijski center vodenja
DEEO:	Distribucijsko elektro omrežje
DV:	Daljnovod
EE:	Električna energija
EEl:	Elektroenergetska infrastruktura
EEO:	Elektroenergetsko omrežje
EES:	Elektroenergetski sistem
DSO:	Distribucijski operater (EL LJ)
ENTSO-E:	Evropsko združenje sistemskih operaterjev EEO
EPRI:	Electric Power Research Institute
EU:	Evropska skupnost

EZ:	Energetski zakon
GZ:	Gradbeni zakon
HD:	Slika visoke ločljivosti
HE:	Hidroelektrarna
IZOLATORSKA VERIGA:	Element za pritrdjevanje in izoliranje vodnikov ali naprav
kV:	Kilovolt
MAXIMO:	Baza tehničnih podatkov
MTK:	Mrežno tonsko krmiljenje
NN:	Nizka napetost
NNO:	Nizko napetostno omrežje
NOV:	Navodila za obratovanje in vodenje
ORDO:	Obratovanje in razvoj distribucijskega omrežja
PGD:	Projekt gradbenih del
PID:	Projekt izvedenih del
PISELJ:	Prostorski informacijski sistem Elektro Ljubljana
PORV:	Poročilo o rednem vzdrževanju
RCV:	Republiški center vodenja
RFS:	Računsko-finančne storitve
RP:	Razdelilna postaja
RTP:	Razdelilno transformatorska postaja
SCADA:	Sistem za spremljanje in nadzor omrežja
SDO:	Storitve na distribucijskem omrežju
SM:	Stojno mesto
SN:	Srednja napetost
SODO:	Sistemske operater distribucijskega omrežja
SZ:	Služba zaščite (interna služba E. Ljubljana)
TP:	Transformatorska postaja
TSO:	Sistemske operater (ELES)
UAS:	unmanned aircraft system
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 vse večjega obsega oz. z večanjem, širjenjem prenosnega omrežja smo deležni po potrebi dodatnih virov napajanja. Obenem je nujno zagotavljanje nemotene dobave električne energije porabnikom. S tem se je drastično povečal tudi obseg vzdrževanja elektroenergetskih objektov.

Z napredkom tehnologije se načini uporabljanja vzdrževanja hitro spreminjajo in postajajo bolj kompleksni. Zaradi napredka in uporabe novih pristopov pregleda in analiz se lahko pokažejo ti novi pristopi kot varčevalni ukrepi in ukrepi pri varovanju zdravja zaposlenih oz. monterjev. Obenem je treba omeniti starost in staranje omrežja, ki ga uporabljamo. S tem sta tesno povezana tudi način in pogostost vzdrževanja.

V diplomski nalogi smo raziskali nove načine, pristope k vzdrževanju. Pokazali smo, kako uporabni so brezpilotniki kot predstavniki novih tehnologij in pristopov k vzdrževanju DV. Raziskali smo njihove slabe lastnosti in tudi prispevek k hitrejši in bolj varni analizi odsekov EES. Poseben pomen smo namenili tudi prispevku k ekologiji in k zmanjševanju toplogrednih plinov.

1.2 CILJI NALOGE

Cilji naloge so oceniti na podlagi modelov iz podobnih podjetij uporabnost brezpilotnikov za potrebe pregledov VN objektov in uvedbo le-teh pri Elektru Ljubljana. Podati želimo jasno sliko o prednostih in slabostih s pomočjo raznih analiz in ovrednotiti njihov prispevek k boljšemu in zanesljivejšemu pregledu oz. vzdrževanju, predvsem na EEO Elektra Ljubljana. Prav tako želimo ugotoviti, kakšen je prispevek uvedbe termovizije k hitrejšemu odkrivanju slabih spojev na tokovnih povezavah DV. Tehniko lahko enostavno in koristno uporabimo tudi za hitro odkrivanje pregrevanj na mnogih spojih v RTP/RP objektih, na primer v odprto zračnih transformatorskih in daljnovodnih poljih oz. primarni opremi. Smiselnost nabave visokotehnološke opreme bomo prikazali z analizo SWOT. Vodilo ali rdeča nit v tem diplomskem delu je hipoteza, ki sloni in poudarja predvsem večjo varnost vzdrževalnega osebja. Dela bodo opravljena hitreje in okolju bolj prijazna. Z uporabo BPL bodo distribucijska podjetja na račun kakovostnejših podatkov sposobna učinkoviteje in bolj celostno upravljati svoja sredstva.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Elektro Ljubljana, d. d., je največji distributer v Sloveniji. Oskrbuje 62 % vseh prebivalcev Slovenije z EE. Z mrežo poslovalnic poskrbi za omreženost vsakega območja. Kot smo že omenili, je delovanje Elektra Ljubljana, d. d., na zelo velikem in raznolikem geografskem območju. Zato je bila razvita učinkovita mreža distribucijskih enot: Ljubljana mesto, Ljubljana okolica, Kočevje, Trbovlje in Novo mesto.

Storitve so organizirane po naslednjem modelu:

- UPRAVA DRUŽBE – IKT, ORDO, SDO, skupne storitve, RFS,
- SLUŽBA ZA TEHNOLOŠKI RAZVOJ,
- SLUŽBA ZA KORPORATIVNO KOMUNICIRANJE,
- SLUŽBA NOTRANJE REVIZIJE.

Lastninska struktura podjetja je razdeljena na 79,5-odstotni delež RS in preostali del, ki ga predstavljajo »mali delničarji« – zaposleni, bivši zaposleni in upokojenci.

V družbi Elektro Ljubljana premišljeno in učinkovito upravljajo omrežninsko dejavnost ter z infrastrukturo EE povezane tržne storitve. Elektro Ljubljana je tudi lastnik in upravljavec infrastrukture EE, ki jo oddaja izvajalcu gospodarske službe SODO, d. o. o., obenem pa se izvajajo v skladu s pogodbo o najemu EE infrastrukture različne storitve:

- vzdrževanje EES in organiziranje dežurne službe,
- vodenje in obratovanje EEO,
- razvoj, načrtovanje in vlaganje v EEI,
- priprava in vodenje investicij,
- spremljanje in ugotavljanje kakovosti oskrbe z EE,
- merjenje EE ipd.

Posebna pozornost se namenja tudi čisti energiji in obnovljivim virom. To storitev je prevzela hčerinska firma Elektro Ljubljana OVE, d. o. o.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Ovire, ki so prisotne pri pregledih VN DV, so predvsem pri dostopih na samem terenu. To skušamo izboljšati in premostiti z uporabo novejših, hitrejših, cenejših metod, ki so lahko in so večkrat tudi kakovostnejše. S primerjavo tabele SWOT želimo dokazati, kaj so prednosti, priložnosti, nevarnosti in slabosti uporabe BPL. Omejitve so predvsem v avtonomiji leta naprave oz. letalnika, ki so odvisne tudi od vzletne teže in vremena. Poseben segment omejitev pa je treba posvetiti zakonodaji, ki velja v naši državi, ki seveda sledi evropski. Ključnega pomena je tudi nezaupanje vodstva in

upraviteljev podjetja, ki bi se eventualno odločili za uporabo te metode. Omejitev je tudi nepoznavanje tehnologije in pomanjkanje kakovostnih informacij. Na uporabo letalnikov pa vpliva tudi vreme, saj letenje v slabem vremenu za manjša plovila ni primerno, ampak je nevarno. Ob strmoglavljenju lahko nastane velika škoda na opremi letalnika.

1.5 METODE DELA

Uporabili smo metodo, s katero smo primerjali znanstvene članke drugih avtorjev z že obstoječimi in ne dolgo nazaj opravljenimi testiranjmi v Sloveniji in tujini. Metodologijo raziskovanja smo usmerili v ponujene podatke, ki smo jih črpali iz člankov, vsebin raznih proizvajalcev opreme, ki so trenutno prisotni in bolj vidni na trgu. Črpali smo že pridobljeno znanje in preizkuse na terenu podobnih podjetij, ki že vpeljujejo to tehnologijo v redno vzdrževanje. S tem smo pridobili osnovna izhodišča za analizo in vpeljavo trenutne problematike in zakonodaje, ki velja. Pridobili smo koristne vire in jih uporabili pri obravnavi in razvoju BPL za namene vzdrževanja DV, RTP in RP za potrebe vzdrževanja Elektro Ljubljana, d. d.

2 ELEKTRIČNA OMREŽJA

2.1 ZGODOVINA IN RAZVOJ PRENOSA EE

Po odkritju prvega generatorja in porabnika se je porajalo vprašanje, kako povezati porabnike z izvorom EE. Prvi generator se pojavi leta 1866, izdelalo ga je podjetje Siemens. To so bili prvi in enosmerni generatorji, nanje so vezali večinoma žarnice z ogljeno nitko. Kasneje, leta 1882 je Edison postavil prvo elektrarno, ki je zmogla 103 V. Zaradi visoke specifične upornosti vodnikov, kar je bistvena razlika od današnjih generatorjev, je bil domet le nekaj sto metrov.

Kmalu za tem se pojavi elektrarna z 220 V enosmerne napetosti. Uspešno je napajala žarnice in že nekaj pogonskih motorjev. Zelo hitro se pojavi prenos EE v obliki trovodnega napajanja. Delovanje sistema je bilo v principu sestavljeno iz dveh enosmernih generatorjev. Za pogon motorjev so bili uporabljeni zunanji vodniki, med katerimi je bilo 440 VDC, napetost med notranjim in enim od zunanjih vodnikov pa za napajanje žarnic.

V tistem času se je industrija bliskovito razvijala, sledilo ji je tudi tehnološko napredovanje. Veliki preboj in rešitev je našel Nikola Tesla, ki je leta 1887 patentiral trifazni izmenični sistem in asinhronski motor z vrtljivim magnetnim poljem. Trifazni sistemi in izmenična napetost so od tedaj predstavljali lažjo transformacijo iz nižjega nivoja na višji in obratno. S tem se je obremenitev vodnikov bistveno zmanjšala, razdalje prenosa pa bistveno povečale. Izgube na prenosih so bile drastično manjše.

V nadaljevanju navajamo nekaj podatkov o objektih, zgrajenih v EU in ZDA:

- Na Neckerju je bila leta 1891 zgrajena prva AC elektrarna, napetostni nivo 25 kV napaja Frankfurt pribl. 180 km daleč.
- Na niagarskih slapovih je bila leta 1893 zgrajena AC elektrarna, ki je proizvedla 3 x 11 MW.
- Leta 1908 je bil zgrajen prvi 110 kV daljnovod in 1913 150 kV, ki je bil nadgrajen na 220 kV.

V Sloveniji:

- Nivo 10 kV se je pojavil leta 1914 in leta 1925 80 kV z izgradnjo HE Fala na Dravi.
- Nivo 110 kV se prvič inštalira 1943 z DV Dravograd – Velenje.
- Sistem 220 kV se je pojavil leta 1966 s povezavo jugoslovanske zanke z Italijo in Avstrijo.
- Naš najvišji nivo 400 kV je bil uveden leta 1976, s katerim smo še danes povezani v sistem UCPTTE preko Italije (1981) in z Avstrijo (1992).

Prenos EE z AC tokom je povezan z naslednjimi oteževalnimi dejstvi:

- f (frekvenco) in z njo povezana X_l (induktivna upornost),
- X_c (kapacitivna upornost),
- DV so omejeni z zgornjo mejo na 600 km,
- težave z usklajevanjem EES (npr. vzhodna EU in zahodna EU),
- povezave na otoke.

Razvoj prenosa je stopil korak nazaj, zopet smo se začeli osredotočati na DC tok. Pri DC EES potrebujemo dva oz. en sam vodnik, drugi, povratni je v tem primeru zemlja sama. Pomembno vlogo tu odigra tudi širina trase oz. koridorja DV. Generatorji so še vedno izmenični, tu se pojavijo tehnološke rešitve, ki jih poznamo danes. To so usmerniški in razmerniški elementi, kar pa bistveno poenostavi povezovanje med vzhodno-zahodnoevropskim. Dovoljena odstopanja od $f = 50$ Hz so za 1 Hz na eni strani in na drugi 0,05 Hz.

Pomembno pri vsem tem pa je, da ni niti ideoloških niti političnih ovir med pretakanjem EE. (Razpet, 2007).

2.2 LASTNOSTI ELEKTRIČNIH OMREŽIJ

Obstajajo osnovne zahteve oz. lastnosti, ki jih mora EEO izpolnjevati:

- »minimizacija vpliva na okolje – tu je mišljeno predvsem električno in magnetno polje,
- minimalni posegi v okolje (koridorji DV),
- preglednost, dostopnost,
- racionalizacija investicij (ekonomičnost posegov),
- tehnična varnost oz. brezhibnost,
- poudarek na mehanskih in električnih lastnostih,
- obratovalna varnost,
- težnja k zmanjševanju izgub pri prenosu,
- zagotavljanje prenosa EE z nazivnimi vrednostmi U in f .« (Razpet, 2007, str. 10).

3 DELITEV ELEKTRIČNIH OMREŽIJ

Delimo jih po naslednjih kriterijih:

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

3.1 PO NAPETOSTI (U)

Delimo na NN (nizka napetost), SN (srednja napetost) in VN (visoka napetost).

NN omrežja so tista, ki prenašajo EE od TP do porabnika. Torej napetostni nivo ni večji od 1000 V. Na NN se porabniki (230/400 V) priključujejo direktno v gospodinjstvu. V industrijah je malo drugače, tam se pojavi še 400/690 V, 500, 750, 1000 V napetosti.

Po definiciji štejemo vsa omrežja, ki so napajana in grajena na več kot 1000 V, za omrežja VN.

V praksi se uporablja še naslednja delitev VN omrežij:

- SN (1–35 kV),
- VN (110–420 kV),
- najvišje napetostna (nad 420 kV).

U_n je nazivna napetost in je enaka efektivni vrednosti napetosti. S tem označujemo omrežja in opremo, na to pa se nanašajo tudi obratovalne karakteristike.

V Sloveniji je najvišji napetostni nivo 400 kV oz. sistem EEO.

V industriji, rudnikih in železnici so prisotni tudi napetostni nivoji 1, 3, 6 kV. Prisotni so tudi 3150, 6300, 10500, 2100 in 31500 za potrebe generatorskih napetosti. Poudariti je treba naslednje, da se mnogokrat podaja za postroje EE najvišja napetost opreme ali naznačena napetost. To je U, za katero so elementi grajeni oz. namenjeni 1, 2, 3,6, 12, 24, 38, 123, 245, 420 kV.

3.2 PO VRSTI TOKA (I)

Poznamo dve vrsti toka. To sta AC in DC (izmenični in enosmerni).

DC omrežja so se pri nas gradila za potrebe železnice (3000 V), v industriji pa za potrebe elektrolize. Uporablja se tudi za pomožne tokokroge, regulacijo in zaščito (110, 220 V).

AC omrežja se uporablja v splošni rabi kot $1f$ in $3f$ s frekvenco enako 50 Hz z dovoljenim odstopanjem 0,05 Hz. (UCPTE). Izjemoma je dovoljeno tudi večje (0,1 Hz).

3.3 PO IZVEDBI

Nadzemna ali prostozračna omrežja (DV)

Že ime pove, da potekajo nad zemljo, podprti točkovno z oporišči oz. stojnimi mesti (SM). Po njih vodimo izolirane, polizolirane in gole vodnike. Prostozračne izvedbe EEO so načeloma vedno izpostavljene vsem vremenskim vplivom. Prenášati morajo tudi vse natezne sile. Imajo kar nekaj prednosti kot tudi slabosti. Prednosti so enostavnost, preglednost, ekonomičnost in dostopnost. Slabosti pa so predvsem neestetski videz, ogromen vpliv na okolico (poseki), izpostavljenost vremenskim vplivom, nevarna napetost dotika (U_d). Prostozračne EES gradimo v neposeljenih območjih.

Podzemna ali kabelska omrežja (KB)

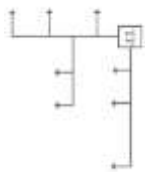
V naseljih uporabljamo KB povezave zaradi enostavnosti in estetskega videza. So bistveno dražja od prostozračne izvedbe. Ugodnejša so zaradi načina polaganja (direktno v zemljo, kanale, tunele, jaške, police). Imajo seveda tudi slabosti, saj ob slabi dokumentaciji nastane omrežje nepregledno in težko berljivo. Težje se odkriva in sanira napaka. V mestih je ogromna ploskovna obremenitev.

3.4 PO OBLIKI

Oblika ali konfiguracija je odvisna od načina povezave elementov EEO in od števila napajalnih točk.

Odprta ali žarkasta (radialna)

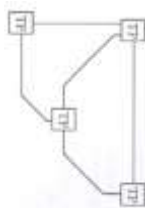
Radialna EEO se gradijo na manjših NNO, pri čemer imamo le en izvor napajanja in tvorijo žarkaste vode. NNO take izvedbe imajo prednosti in slabosti. Tu bi poudarili enostavnost in preglednost. Slabost so veliki padci U na koncu vodov in majhna obratovalna varnost. To pomeni, da ob izpadu voda ostanejo porabniki brez vira EE. Taka izvedba je primerna za podeželje.



Slika 1: Radialno omrežje
(Vir: Elektro Ljubljana, d. d., 2022)

Zaprta ali zankasta

Porabniki so napajani dvostransko iz istega ali dveh virov oz. več napajalnih točk. Na ta način imajo porabniki zagotovljeno preskrbo ob izpadu iz druge točke oz. vira. S tem se obratovalna varnost drastično poveča. Padci napetosti se zmanjšujejo na račun porazdelitve moči. S tem se posledično zmanjšajo tudi izgube in preseki KB na prenosu.



Slika 2: Zaprto zankasto omrežje
(Vir: Elektro Ljubljana, d. d., 2022)

3.5 PO ŠTEVILU VODNIKOV

Glede na število vodnikov razlikujemo:

- z enim vodnikom (železnice),
- z dvema (DC in AC enofazni sistemi),
- s tremi (3f sistemi),
- s štirimi (3f sistemi z N vodnikom),
- z več vodniki (večsystemski 3f vodi).

Na vodih so prisotni tudi vodniki, ki niso namenjeni tokovnim obremenitvam oz. ne prenašajo EE. Pojavljajo se kot zaščitni vodniki in strelvodne vrvi na DV.

3.6 PO NAMENU

Glede na namen poznamo naslednja omrežja:

- napajalna,
- prenosna,

- razdelilna,
- omrežja glede na vrsto porabnikov in
- interkonekcijska.

Prenosna VN EEO imenujemo tista, ki se neposredno napajajo iz elektrarn. Takšen primer je DV JE Krško RTP Beričevo. Ta se napaja na 400 kV nivoju. Na primer manjše elektrarne so povezane v napajalna omrežja na nivoju 110 kV in TP. Distribucija poteka po 35 (v opuščanju), 20, 10 kV vodih, pri čemer so lahko porabniki direktno vezani ali pa je potrebna transformacija na nivo 0,4 kV. V omrežjih pa poznamo tudi zvezne vode. Ti imajo nalogo povezovanja izvorov napetosti na enakih napajalnih nivojih (večstrano napajanje). Poznamo tudi interkonekcijski vod. Ta povezuje prenosne sisteme različnih sistemskih operaterjev (med državami) (Razpet, 2007).

4 VZDRŽEVANJE NA SPLOŠNO

4.1 SPLOŠNA DOLOČILA

Navodila o vzdrževanju EEO opredeljujejo način vzdrževanja, vrsto vzdrževalnih del ter opravila, obenem pa določujejo tudi roke za izvajanje posegov in vzdrževanja na posameznih segmentih opreme, ki opravljajo nalogo razdeljevanja EE potrošnikom. Lastništvo objektov in naprav v tem primeru nima teže. V navodilih so navedeni roki za izvajanje in opravljanje vzdrževalnih del, kot so pregledi, revizije, pri čemer se ne deli na pripravljalna in administrativna dela, saj so ta dela nujna pri izvedbi vzdrževalnih del na EES.

Vzdrževanje je skupek vseh tehničnih, administrativnih in menedžerskih del, vključno z nadzorom, da se ohrani ali povrne v stanje normalnega obratovalnega stanja in se povrne funkcija, zaradi katerih je grajena.

Sistem vzdrževanja delimo na:

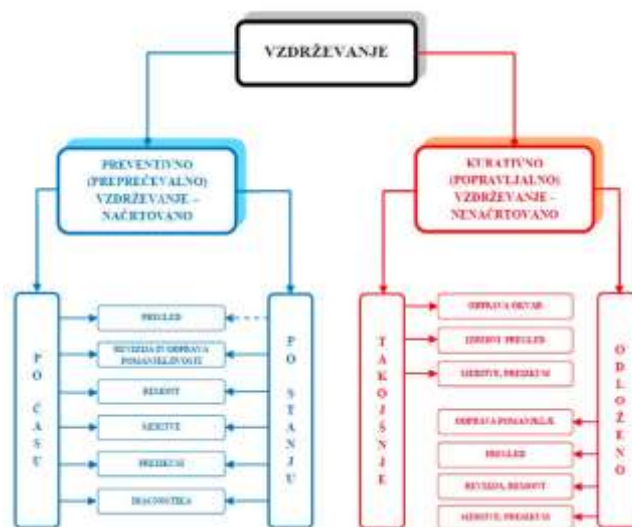
- koncepte vzdrževanja,
- metode oz. načine vzdrževanja,
- vzdrževalna dela in
- vzdrževalna opravila.

V Sloveniji se na splošno prakticira koncept zanesljivosti usmerjenega vzdrževanja (RCM – Reliability Centered Maintenance). Pri tem vzdrževanju je nujno treba vzpostaviti mehanizme, kjer se spremljajo naprave, stroške izvajanja vzdrževalnih del, beleži se statistika dogodkov, vloga naprave v EES in ustrezna metoda vzdrževanja naprav. Ta model oz. koncept je treba izvajati do podrobnosti v primeru uvajanja upravljanja s sredstvi.

V SIST EN 13306: 2010 Vzdrževanje – Terminologija s področja vzdrževanja je prikazana delitev po sistemu, prikazanem v nadaljevanju.

Metode oz. načini vzdrževanja:

- Preventivno (preprečevalno) vzdrževanje:
 - preventivno vzdrževanje po času,
 - preventivno vzdrževanje po stanju.
- Kurativno (popravljalno) vzdrževanje:
 - takojšnje kurativno vzdrževanje – interventno vzdrževanje,
 - odloženo kurativno vzdrževanje.



Slika 3: Delitev vzdrževalnih del
(Vir: SODO, d. o. o., 2022)

Vzdrževalna dela so:

- popravilo naprav oz. odprava okvar,
- izredni pregled,
- pregled,
- revizija in odprava pomanjkljivosti,
- remont (se ne izvaja v distribuciji),
- diagnostika,
- meritve,
- preizkusi,
- obnova (revitalizacija).

Vzdrževalna opravila so:

- ugotavljanje stanja s pregledom,
- preverjanje (nivo olja, tesnil, pritrditev itd.),

- preverjanje delovanja,
- čiščenje,
- poseki tras,
- mazanje,
- AKZ,
- nastavitve,
- zamenjava delov (popravila) idr.

Pri izvajanju vzdrževalnih del v EEO in postrojih je treba dosledno upoštevati naslednje dokumente:

- navodila za vzdrževanje distribucijskega EEO,
- pravilnik o vzdrževanju EES,
- EZ,
- zakone, standarde in pravilnike s področja elektroenergetike, ki se navezujejo na izvajanje vzdrževalnih del,
- projektne dokumentacije, kot so: PGD, PID idr., ki so osnova za izdajo gradbenega in uporabnega dovoljenja,
- predpise s področja VPD,
- predpise s področja meroslovja,
- navodila proizvajalcev za vzdrževanje,
- interne akte (NOV) oz. dokumentacijo, povezano iz področja vzdrževanja,
- predpise požarne varnosti.

Podjetje, ki izvaja vzdrževalna dela, mora imeti ustrezno usposobljene kadre in ustrezno organizacijo izvajanja del. V našem primeru so za izvajanje takih del usposobljene in primerno podučene naslednje službe znotraj Elektra Ljubljane: služba za zaščito, služba za vzdrževanje primarne opreme (SODO, NOV 2016).

4.2 OPREDELITEV IN RAZVOJ VZDRŽEVANJA

Z drugimi besedami lahko poimenujemo vzdrževanje kot zagotavljanje dobrega obratovanja strojev in naprav s popravili ob morebitnem nastanku poškodb. Prav tako morajo biti zagotovljeni redni kontrolni pregledi (obhodi) in dosledne zamenjave morebiti obrabljenih sklopov z nadomestnimi oz. novimi deli.

Vzdrževanje prispeva k trajnostnemu razvoju družbe. Poudariti je treba, da se na tak način poskrbi za okoljski in energetski prihranek v podjetju in močno vpliva na izboljšanje konkurenčnosti podjetja oz. organizacije. Naprave bodo delovale učinkovito v primeru, da bo v podjetju zagotovljen konsistenten program vzdrževanja.

Z učinkovitim vzdrževanjem je odprta pot do uspešnega poslovanja na vseh ravneh, obenem pa nam daje prednost pred konkurenco. Bistvo dobrega in učinkovitega

vzdrževanja je zagotovilo prihrankov in s tem tudi povečanje dobička. V vzdrževanje je treba vključiti vse dejavnosti, ki obnavljajo in vzdržujejo operativno sposobnost opreme ali sistema.

Dejavnost vzdrževanja ima dva podsistema oz. se deli na dve glavni strategiji. Korektivno vzdrževanje je novejša in modernejša oblika kurativnega vzdrževanja. Zagotovo lahko trdimo, da je to najstarejša nam poznana oblika vzdrževanja. Druga veja vzdrževanja je preventivno vzdrževanje s cilji obdržati sistem ali enoto v operativnem, vitalnem stanju maksimalno dolgo in obdržati minimalne stroške čez amortizacijsko dobo naprave. Ta način vzdrževanja omogoča optimalno proizvodno oz. prenos EE do odjemalcev (brez kompromisov v zvezi z varnostjo) z minimalnim številom vzdrževalcev (Aberšek & Flašker, 2005).

Cilj za podjetja, ki se ukvarjajo z distribucijo ali prenosom, je optimalna in nemotena dobava EE potrošnikom oz. dobaviteljem po najnižji možni ceni in s čim manj okvarami med delovanjem EES. Okvare lahko delimo na kratkotrajne in dolgotrajne, statistično gledano pa so kratkotrajne napake bolj pogoste od dolgotrajnih. Za kratkotrajne napake štejemo premike dreves, motnje, ki jih povzročajo divje živali, atmosferske razelektritve, neurja s točo in močnim vetrom. Kratkotrajne težave lahko zlahka postanejo dolgotrajne. Na naravo je težko vplivati, a z dobrim planom vzdrževanja bi se dalo močno vplivati na vse ostale dejavnike. Poudariti je treba pomembnost vzdrževanja v smislu dobrega gospodarja na življenjski cikel posameznega segmenta EES (Lea Gabrovšek, 2015).

Z rastjo prenosnega in distribucijskega omrežja so se povečale tudi potrebe po obširnejšem vzdrževanju na splošno. Nastale so nove metode in strategije vzdrževanja. Znano je, da so okoli leta 1930 začeli razmišljati o popravilih, s čimer se je krepilo vzdrževanje. Po današnji razdelitvi oz. terminologiji bi lahko uvrstili tedanje strategije vzdrževanja v kurativno oz. korektivno vzdrževanje oziroma vzdrževanje po odpovedi. Tedaj niso kaj dosti razmišljali o posledicah in dodatni škodi, ki jo odpoved povzroči. Napake, ki so bile pogoste in so se v večji meri pojavljale, so bili strojelomi in obraba. Kmalu je bilo ugotovljeno, da z rednim vzdrževanjem (čiščenjem, mazanjem, pregledom) postroji delujejo bolje in brez zastojev. Med leti 1930 in 1940 so vpeljali sistematiko na področju vzdrževanja z mazili (Aberšek & Flašker, 2005).

To sistematiko imenujemo tribologija. Analize so pokazale in potrdile, da je kar 43 % stroškov povezanih z uporabo mazil. (Gabrovšek, 2015, str. 15).

V tabeli 1 je prikazana časovnica vzdrževanja.

GENERACIJA / LETO	ZNAČILNOSTI
Prva generacija 1930 - 1950	Korektivno vzdrževanje (poravi, 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****, RBI*****. Vzdrževanje usmerjeno v rezultate. dokumentacija, motivacijski pristop, intergrirani računalniško podprti vzdrževalni sistemi, kompetenca / certifikacija, politika pogodb.

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

Legenda izrazov za tabelo 1:

- *LCC – Analiza stroškov življenjske dobe.
- **RCM – Zanesljivo orientirano vzdrževanje.
- ***TPM – Celovito produktivno vzdrževanje.
- ****BCM – V poslovanje usmerjeno vzdrževanje.
- *****RBI – Kontrola, ki temelji na tveganju.

Kot rečeno, je bilo v štiridesetih letih prejšnjega stoletja organizirano centralno vzdrževanje in stroji so delovali do odpovedi. Čez leta se je vzdrževanje moderniziralo in uvedene so bile spremembe. Razvilo se je do te mere, da je postalo vzdrževanje veda s svojimi zakonitostmi in spremljajočo teorijo. Veda o vzdrževanju je postala ena od najpomembnejših v modernih tehničnih sistemih. Na začetku razvoja je bilo znano, da je bilo vzdrževanje umazano delo. Dandanes to ne drži in je vzdrževalec visoko izobražen in spoštovan strokovnjak na svojem področju. Uporabljati zna različne diagnostične sisteme za odkrivanje raznovrstnih napak v sistemih. Preventivno vzdrževanje je značilno za četrto generacijo in se nagiba k vzdrževanju po stanju. Veliko sistemov, ne le v energetiki, tudi na splošno pri vseh vrstah strojev, npr. avtomobilska tehnologija, letalski promet ipd., ima navadno že vgrajeno samodiagnosticiranje. Sistemi postajajo vse bolj inteligentni. Razvoj vzdrževanja se nagiba k samovzdrževanju. Naloga vzdrževalcev je predvidevanje in odprava napak že v fazi projekta (Aberšek & Flašker, 2005).

Generacijski razvoj vzdrževanja je prikazan v naslednji tabeli.

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 & Flašker, 2005)

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

GENERACIJA		PO II. SV. VOJ.	DANES	JUTRI
	PRVA	DRUGA	TRETJA	ČETRТА
strategija	porušitev	preventiva	napredovanje	zanesljivost
struktura	centralizirano vzdrževanje	timi različnih strokovnjakov	široko usposobljeni vzdrževalci	širše usposobljeni tehniki
upravljanje napak	delovanje do porušitve	načrtovani remont		samo-analiza
upravljanje s podatki	kartične datoteke	računalniško podprto	popolno računalniško vodene naparve	popolnoma mrežni sistem
meritve	produktivnost	uporabnost	efektivnost	verjetnost

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

4.3 STRATEGIJE VZDRŽEVANJA

Prva odločitev, ki jo je treba sprejeti, je primerna strategija vzdrževanja. Načeloma ne izbiramo po sistemu najcenejše metode vzdrževanja, ampak je treba pogledati širše. Učinkovito vzdrževanje je tisto, ki nam zagotavlja najnižje stroške glede na celoto in ima pozitiven učinek na celoten proces ter ugoden rezultat delovanja. V primeru vzdrževanja DV bi se to odražalo na zmanjšanju izpadov in nemoteni dobavi EE porabnikom. Govorimo torej o dveh skupinah vzdrževanja, korektivno ali kurativno in preventivno. V praksi ni vse tako enostavno, zato se uporablja optimalna mešanica obeh. Sčasoma so se razvile različne strategije, ki izhajajo iz preventivnega vzdrževanja (Gabrovšek, 2015).

4.3.1 Korektivno (kurativno) vzdrževanje

Imenujemo ga tudi popravljalno vzdrževanje. Je delo na elementih postroja ali voda, ki se opravi po nastali okvari z namenom, da se naprava povrne v stanje, ko je sposobna opravljati funkcije, zaradi katerih je bila grajena. (SODO, 2016).

Korektivno vzdrževanje je posebna izpeljanka kurativnega vzdrževanja. Imata podobna načina izvajanja del, tj. po odpovedi stroja, tudi v primerih, ko se je napaka že pojavljala. Razlikujeta se v dejstvu, da so napake pri korektivnem vzdrževanju vnaprej predvidene. Sistem je vnaprej pripravljen s tem, da je na zalogi zadosti nadomestnih delov in orodja. Izdelan mora biti tudi natančen diagram odpravljanja napake. Pri tej strategiji je pomembno hitro odkrivanje in odpravljanje okvar. Uporaba je mišljena predvsem v primerih, kjer ni:

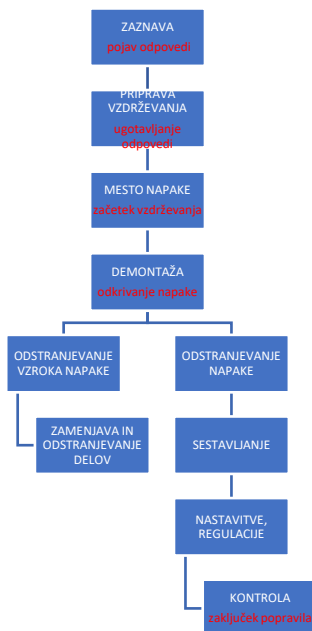
- ogrožena varnost delavcev,
- težjih napak, strojelomov,
- dolgih zastojev, izgub,
- povečanih stroškov.

Takšnih vzdrževalnih del ni moč planirati, saj čas strojelomov, okvar in poškodb ni poznan. Korektivna vzdrževalna dela sodijo pod neplanirana dela. V primeru preventivnih vzdrževalnih aktivnosti v času oz. za čas proizvodnje se pri pojavu nenadnih okvar oz. izpadov ne moremo popolno izogniti (zastoj v proizvodnji). Ta način vzdrževanja sestavlja:

- odkrivanje okvare ali napake, pomanjkljivosti,
- ugotovitev mesta in vzrok napake,
- popravila in odprave napake,
- preverjanje in ponovni zagon sistema oz. sredstva.

Pomembna faza kurativnega vzdrževanja je popravilo okvare oz. napake. Načeloma se rešujejo tovrstni problemi na naslednje načine:

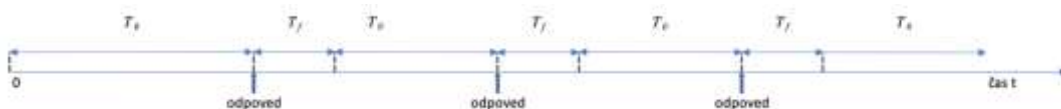
- nastavitve parametrov (regulacija, uskladitev in kalibracija),
- obdelava (doseganje skladja z dokumentacijo),
- zamenjava defektnega dela z novim originalom oz. nadomestnim delujočim delom.



Slika 4: Potek odprave napake (popravilo)
(Vir: Aberšek & Flašker, 2005)

Ni pravilo, vendar se v večini primerov, ko se zgodi okvara, pokaže okvara tudi na drugih sestavnih delih sistema, kar povzroči povečanje stroškov in podaljša čas odpravljanja napake. Posledično se podaljša čas izpada proizvodnega procesa. To vodi do veliko zastojev in okvar in s tem se povečujejo indirektni in direktni stroški. V veliko primerih povezujemo korektivno in preventivno vzdrževanje in dobimo kombinirano vzdrževanje.

Kot je bilo navedeno, pri tej obliki vzdrževanja ne poznamo točnega trenutka nastopa napake. Tako ni moč planirati korektivnih zamenjav enot sistema. Tak način vzdrževanja poimenujemo tudi obratovanje do napake, značilno za vzdrževanje elektronskih komponent (Aberšek & Flašker, 2005).



Slika 5: Izvajanje korektivnih zamenjav enot sistema
(Lastni vir)

T_0 – čas delovanja sistema/enote sistema do odpovedi

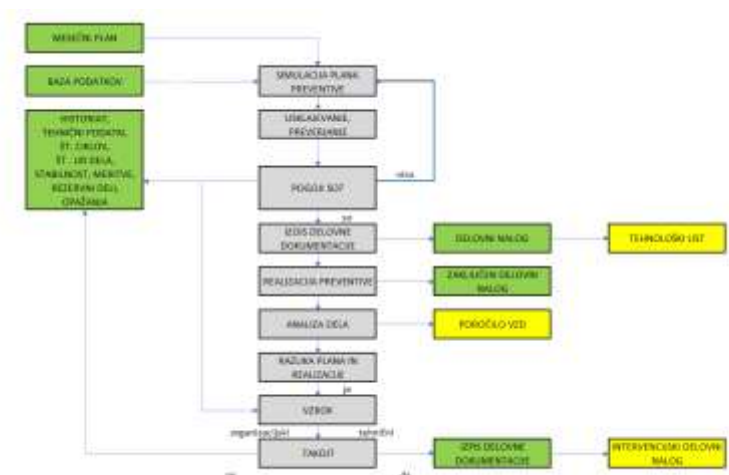
T_f – čas zastoja zaradi odpovedi sistema/enote sistema

Metoda je bila aktualna v letih med 1930 in 1950 in spada med prvo generacijo vzdrževanja. Metoda sloni na odpravljanju poškodb in okvar na tehničnih sistemih šele po nastanku. V literaturi (Aberšek & Flašker, 2005, str. 53) je podana metoda, kot je »čakaj, poglej in popravi«. Pri tej metodi smo na napako pripravljeni in jo pričakujemo. V kurativni metodi nas napaka vedno preseneti. Iz tega sledi, da je za kurativno vzdrževanje nemogoče napovedati oz. oceniti odpovedi delovnega sredstva. Časovno načrtovanje je nemogoče. Okvare se zgodijo nenadoma in so v večini primerov katastrofalne. Pri korektivnem vzdrževanju so napake vnaprej predvidene, sistem vzdrževanja pa je nanje pripravljen. Izoblikovan je tudi natančen diagram servisiranja. Nadomestni deli, orodje in drug material so vedno na dosegu roke in pripravljeni za vgraditev oz. zamenjavo. (Aberšek & 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 pomembno za tak način vzdrževanja 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 & Flašker, 2005).

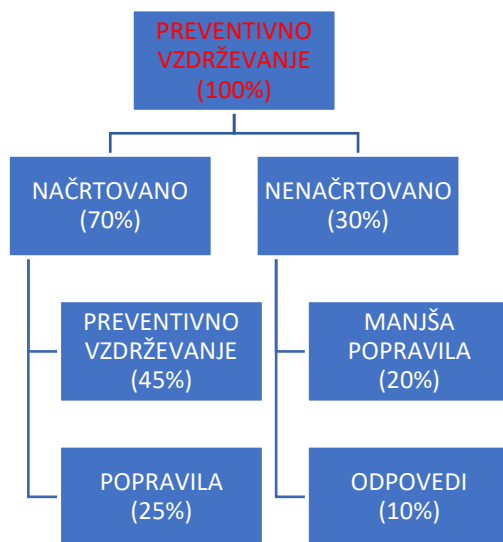
Cilj takega vzdrževanja je, da sistem v vsakem trenutku deluje, torej je v operativnem stanju. Aktivnosti, ki so zajete v preventivnem vzdrževanju, se izvajajo na opremi ali sistemu, ki ni okvarjen, in sicer z namenom, da se preprečuje oz. zmanjšuje možnost odpovedi. Preventivni posegi v sisteme so časovno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



Slika 6: Sistem preventivnega vzdrževanja
(Vir: Aberšek & 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 & Flašker, 2005).



Slika 7: Razmerja med načrtovanim in nenačrtovanimi posegi
(Vir: Aberšek & Flašker, 2005)

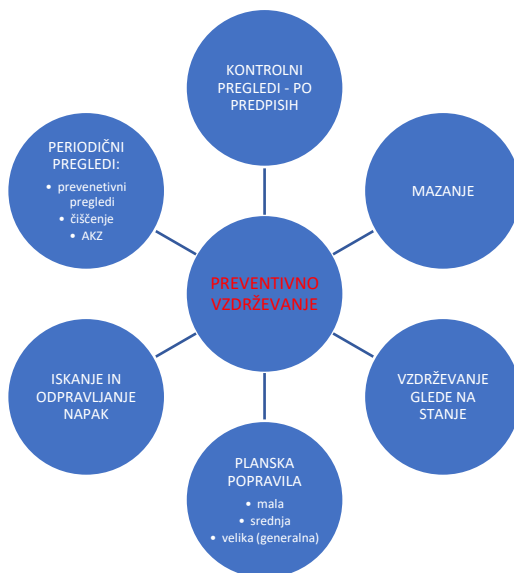
Preventivno vzdrževanje delimo na:



Slika 8: Delitev preventivnega vzdrževanja
(Vir: Aberšek & 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 7.

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 9: Metode preventivnega vzdrževanja
(Vir: Aberšek & Flašker, 2005)

Običajni postopki preventivnega vzdrževanja so zajeti na sliki 8.

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, za katera ni potrebna motnja delovnega procesa in ni treba zaustavljati dobave ali proizvodnje. 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 potrdi 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 uporabnost le-tega. Ta način lahko privede do visokih stroškov. Preden uporabljamo obnovitvena dela, je smotrno ugotoviti ekonomsko upravičenost dejanja oz. posega. Obnovitvena popravila imajo podobno funkcijo kot zamenjava sestavnih elementov pri preventivnem vzdrževanju.

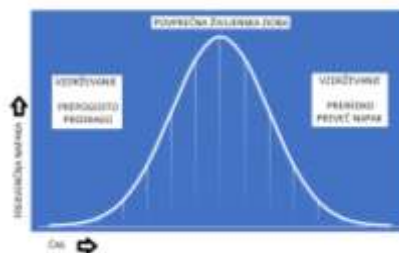
Obnovitvena opravila delimo na:

- 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 obnove 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

Izvaja se na podlagi informacij o zanesljivosti in razporeditve časa delovanja, tj. dokler del ne odpove. (Aberšek & Flašker, 2005).

Danes se strategija preventivnega vzdrževanja po času (TBM) pogosto uporablja in namen je odprava možnosti napak ter zmanjševanje možnosti nastanka napak na elementih. Pri tem načinu strategije uporabljamo fiksne časovne intervale za preglede in izvajanje vzdrževalnih del. Pogostost pogojujejo proizvajalci opreme in/ali izkušnje delavcev. Slabost opisane metode je pogostost ali pa slabo postavljen časovni interval. (Schneider E., 2006).



Slika 10: Preventivno vzdrževanje po času – periodično preventivno vzdrževanje
(Vir: Aberšek & Flašker, 2005)

Preventivno vzdrževanje po stanju

V tem primeru (CBM) zasledujemo kazalnike – parametre in predstavlja stanje opazovanega sistema oz. objekta. Temelj za to obliko je diagnostičen proces. Ta tehnika odkrivanja se lahko uporablja le v primeru, da lahko s procesom oz. diagnostično tehniko določimo stanje opazovane naprave. Izvedba vzdrževanja po stanju se izvaja izključno na znanih obratovalnih pogojih naprav. Zasledovati in beležiti je treba obratovalne pogoje. Za ta dejanja lahko uporabljamo različne merilne in zapisovalne naprave in različne metode pridobivanja podatkov.

Strategijo imenujemo strategija **vzdrževanja z napovedjo napak** in temelji na predpostavkah:

- obstoj postopkov za ugotovitev stanja parametra,
- korelacijski odnosi med parametri, ki se nadzorujejo (merijo), in stanjem delovnega sredstva ali njegovega sestavnega elementa,
- znani so nam mejni parametri,
- narava okvare je znana.

Za izvrševanje nadzora parametrov pri pregledih imamo dve možnosti:

- v mirovanju, breznapetostnem stanju,
- teku, delovanju, tj. med normalnim obratovanjem.

Nadzor parametrov se kaže v rezultatih:

- evidenci stanja parametra,
- oceni stanja obrabe ali poškodbe sestavnega elementa,
- odločitvi o tem, ali bomo pustili element v obratovalnem stanju do naslednjega periodičnega pregleda oz. takojšnja zamenjava ali popravilo elementa.

Za kakovostno, ekonomično izvajanje takšnega vzdrževanja po stanju je potreben prvi pogoj poznavanja meje izrabljenosti. Vzdrževanje po stanju prikazuje **zdravje sistema**. S to strategijo vzdrževanja povečujemo čas učinkovitega dela sistema in zmanjšujemo nepotrebne zastoje. Diagnostika nam prikaže dejansko stanje opazovanega sistema z merjenjem.

Pri obeh tipih vzdrževanja se čas pregleda določa po potrebi ali pa sta povezana z vnaprej določenim časovnim izvajanjem pregledov. (Aberšek & Flašker, 2005).

Omeniti je treba, da obstajajo oz. so razvita orodja, ki podpirajo CBM, vendar je vpeljava takega procesa za podjetja večkrat precej zahtevna, npr. že nameščanje opreme, ki bo izvajala meritve na sredstvih v realnem času. Potrebna je pri spremljanju starosti oz. staranja, kjer je to potrebno, predno pride do okvar in zastojev. Podatki se uporabijo za načrtovanje vzdrževanja. Drugi izziv je tudi shranjevanje podatkov sredstev. Podjetju je treba vpeljati orodje za lažje odločanje in pridobitev hitrih predlogov o načinu vzdrževanja (Gabrovšek, 2015).

4.3.4 Celovito produktivno vzdrževanje (TPM)

Za metodo (TPM) je temelj na maksimalni učinkovitosti opreme. Način vzdrževanja skuša izboljšati podjetje v smislu sprememb na kadrovski ravni in spremembam v celotnem podjetju. To je moč doseči z dobrim osebjem vzdrževanja in majhnimi ekipami. Potrebni so operaterji znotraj vsakega tima, ki sporočajo o spremembah na posamezni napravi. Vsekakor to pomembno vpliva na odkrivanje napak in posledično preprečevanje nastanka. Vseh napak se ne da odpraviti. Ta metoda je značilna za Japonsko in znatno izboljša učinkovitost proizvodnje in posledično dvig produktivnosti. Zmanjša se število nesreč in stroškov vzdrževanja. Koncept zagotovo spada v četrto generacijo vzdrževanja in je moč doseči maksimalno učinkovitost človek – stroj. (Aberšek & Flašker, 2005).

4.3.5 Zanesljivo orientirano vzdrževanje (RCM)

Zanesljivo delovanje sistemov in uporabnost sta temelja strategije četrte generacije vzdrževanja. V življenjski dobi sredstva poudarja zanesljivo delovanje orientirano vzdrževanje. Organizacijska struktura je pri tem manj upoštevana in je bila razvita v panogah, kjer je pomembno, da je oprema zanesljiva in brez možnosti za napake, saj bi napaka privedla do nepopravljive katastrofe. To je značilno za vesoljsko

tehnologijo, aviopromet, jedrske elektrarne. Zanesljivo orientiran pristop vzdrževanja je inženirski pristop in ga lahko porabimo za optimiziranje vzdrževanje kot takega. Osnova oz. temelj tej metodi je predpostavka, da lahko razvijemo program vzdrževanja z upoštevanjem ustrezne logistične podpore in analiz zanesljivosti opreme in da je fokus na načinih in učinkih odpovedi sistemov.

4.3.6 Računalniško podprto vzdrževanje

To je oblika vzdrževanja, ki vključuje računalnike in nam omogočijo kontrolo sklopov v posameznem delu proizvodnje ali pa kar celoten proces obdelave. Na podlagi prejetih informacij predpostavimo kakovost nadaljnje proizvodnje. Namen je tudi planiranje aktivnosti za odpravo napak in zastojev v proizvodnem procesu. Značilno za to metodo je, da se razvija v dve smeri.

Prva je računalniško podprto vzdrževanje in vključuje programe za arhiviranje podatkov, vodenje delovnih nalogov, beleženje stanja rezervnih delov. Sledljiva je zasedenost vzdrževalcev.

Druga je samovzdrževanje, ki zajema strojno opremo in programe. Slednji so na podlagi sistema odločanja ali podatkovnih baz sposobni predlagati rešitve in opozoriti na morebitne težave. Samostojno so sposobni tudi opraviti posamezne vzdrževalne posege (Aberšek & Flašker, 2005, str. 56).

Ta način se dandanes uporablja zato, da nam omogoča delo v realnem času, hkrati so nam na voljo podatki o sistemu v vsakem trenutku. Poudariti je treba, da so nekateri sistemi sposobni posegati v proces samovzdrževanja. Ne komunicirajo z uporabnikom. Koristne informacije pridobivajo od različnih senzorjev. Kot večina današnjih aplikacij se nenehno izboljšuje in stalno razvija in so osnova za najvišjo stopnjo vzdrževanja. Tipično za tak način je modularna gradnja. Lahko nas obveščajo o potrebni menjavi določenega segmenta, zgodi pa se lahko tudi avtomatska menjava preko robotov. S tem se čas zmanjša na minimum, uporabnost sistemov je s tem maksimalna (Aberšek & Flašker, 2005).

4.3.7 Plansko vzdrževanje

Spada v skupino preventivnega vzdrževanja in zajema planske preglede, popravila (majhna, srednja in tudi velika). V določenih časovnih ciklikih zajema tudi zamenjavo in rekonstrukcijo delov ali sklopa naprav. Pri tej obliki vzdrževanja se pojavljajo posebnosti:

- daljši čas priprave,
- interval izvajanja del se podaljša,
- po izvedbi del se učinkovitost tehničnega sistema poveča.

Takšen način vzdrževanja in kadar se problema lotimo celovito, imenujemo REMONT (Aberšek & Flašker, 2005).

4.3.8 Razvoj in smeri vzdrževanja po letu 2000

Večji preskok se je zgodil ob spoznanju, da se določeni vzdrževalni procesi lahko zgodijo, tudi preden pride do dejanskih okvar oz. incidentov. Preventivno vzdrževanje je posledica systemskega razvijanja in vključevanje ekonomskega vidika in obvladovanja procesa. Spoznanja po kakovostno opravljenem delu z upoštevanjem znanja in motivacije vzdrževalcev oz. tehnikov v procesu in z upoštevanjem vpetosti v okolje je pripeljalo do novih usmeritev v vzdrževanju tehničnih sistemov, kot so TPM, RCM in kasneje samovzdrževanje.

Glede na avtomatizacijo izdelkov oz. sistemov lahko pričakujemo, da se bo prisotnost delavcev posledično v proizvodnji še zmanjševala na račun vse večje avtomatizacije in robotizacije strojev. S strani ekonomičnosti pa bodo lastniki oz. podjetja pričakovala maksimalno stopnjo razpoložljivosti raznih sistemov in hiter razvoj. Tu se odpirata dve možnosti:

- sodobno organizirano vzdrževanje (TPM),
- sodobno oblikovani proizvodni sistem, ki bo samovzdrževalni. Kljub temu bodo še vedno potrebovali specializirane tehnike za popravila, vzdrževanje in odpravo napak.

Cilji vzdrževanja bodo vedno enaki:

- povečanje stopnje razpoložljivosti (uporabnost opreme),
- zmanjševanje števila okvar in preprečevanje s primernimi metodami,
- koordiniranje in motiviranje skupin vzdrževalcev in korektno, pravočasno izvajanje zadanih nalog,
- zmanjševanje stroškov vseh aktivnosti vzdrževanja na konkurenčno raven.

Načini in sredstva za doseganje ciljev

Spremembe bo čutili na naslednjih tržnih in poslovno proizvodnih elementih:

- tržne zahteve,
- zahteve lastnikov,
- načini, metode in tehnike proizvodnje,
- proizvodna in vzdrževalna oprema,
- strategije vzdrževanja,
- potrebe po znanju vzdrževalcev,
- orodja,
- obvladovanje informacij.

Če želimo biti uspešni vzdrževalci danes in konkurenčni jutri, je treba upoštevati čim več zgoraj naštetih zahtev. Sisteme vzdrževanja je treba prilagajati celovito z vidika organizacije, znanj, strategij, metod in tehnik dela. Po drugi strani pa je treba racionalizirati stroške, saj bodo tisti, ki ne bodo sledili tem zahtevam, hitro propadli oz. izpadli iz konkurenčne igre.

5 VZDRŽEVANJE NADZEMNIH VODOV (DV)

5.1 VZDRŽEVALNA DELA NA DALJNOVODIH

Diplomsko delo se osredotoča na visokonapetostna omrežja, torej od nivoja 110 kV naprej.

5.1.1 Pregled

V navodilih za vzdrževanje distribucijskega EES 2016 je navedeno, da je treba nadzemne vode pregledati enkrat letno. Pregled je delo, ki se opravlja periodično, ciklično ali občasno pred nastankom okvare glede na tehnično dokumentacijo, ko jo poda proizvajalec uporabljene opreme na objektih oz. postrojih. Periodiko nam narekuje tudi predhodna statistika okvar ter izkušnje strokovnjakov z namenom, da se ugotovi stanje naprave, in če je treba, se ukrepa in ohrani življenjska doba naprave. Obseg del je v tem primeru minimalen in se opravi v normalnem obratovalnem stanju postroja, elementa oz. voda (SODO, 2016).

5.1.2 Izredni pregled

Se opravlja po izrednih dogodkih na elementih EES (okvara, atmosferska praznjenja, sneg, žled, živali) z namenom, da se ugotovi stanje naprave (voda), po potrebi ukrepa ter se tako ohrani življenjska doba naprave. Izreden pregled predstavlja tudi dodaten pregled na zahtevo zunanjih organov (inšpektor, SODO) (SODO, 2016).

5.1.3 Revizija

Je delo na elementih postroja ali voda, ki se opravi periodično po navodilih proizvajalca oz. skladno z navodili za vzdrževanje naprave pred nastankom okvare z namenom, da se ohrani življenjska doba naprave. Obseg del in stroški so srednje veliki in smejo preseči 5 % nabavne vrednosti naprave, ki je v reviziji. Naprava ali del nje je praviloma v breznapetostnem stanju. Revizija obsega tudi odpravo s pregledom ali kako drugače ugotovljenih pomanjkljivosti (SODO, 2016).

5.1.4 Remont

Je delo na elementih postroja ali voda, ki se opravi na osnovi stanja naprave pred nastankom okvare z namenom, da se ohrani življenjska doba naprave. Praviloma so obseg in del in stroški manjši od 15 % nabavne vrednosti naprave. Naprava ali del nje je praviloma v breznapetostnem stanju.

OPOMBA: Naveden termin se v distribucijah ne uporablja. (SODO, 2016).

5.1.5 Obnova – revitalizacija

Je delo na elementih postroja ali voda, ki se izvede z namenom, da se življenjska doba elementa podaljša (SODO, 2016).

5.1.6 Meritev

Je skupek ali niz opravil za določanje posamezne značilnosti naprave z namenom ugotavljanja ustreznosti naprave za njeno delovanje (SODO, 2016).

5.1.7 Preizkus

Je postopek, s katerim se ugotovi obratovalna sposobnost naprave glede na vnaprej opredeljene lastnosti, ki jih mora izpolnjevati (SODO, 2016).

5.1.8 Termografski pregled – termovizija

Infrardeča termografija ali termografija je neinvazivna, nedestruktivna in nekontaktna metoda merjenja temperature in prikaz porazdelitve toplote po površini kakršnegakoli objekta. Infrardeča termografija omogoča hitro, enostavno in brezkontaktno merjenje površinske temperature. Te lastnosti termografiji omogočajo široke možnosti uporabe na različnih področjih (TERMING TERMOGRAFIJA, 2022).

5.2 PREGLEDI IN VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV

5.2.1 Klasični pregled DV

Čez čas so izkušnje pokazale, da najboljše in zanesljive podatke zbirajo za to posebno šolani in izučeni delavci. Delo se v večji meri odvija v vseh pogojih na terenu. Pomemben dejavnik je zbiranje podatkov iz terena in interpretacija izvora oz. nastanka le-teh. Dela so zelo zahtevna, saj je treba narediti obhod pod vodniki, ker pa koridorji DV po navadi potekajo izven naseljenih področij, je večkrat trasa neprehodna oz. težko prehodna kot pa ravna in dostopna. Velikokrat se zgodi, da je

za potrebe pregleda (tudi izrednega pregleda) varnostno izklopiti del ali pa cel DV. Tak poseg povzroči dodatne stroške. Zato je takšno delo zahtevno, nevarno in zahteva svoj čas.

V podjetju Elektro Ljubljana, d. d., večinoma uporabimo tako rekoč klasični pregled DV koridorja. Na upravljanju jih je pribl. 1730 km. Podatki kažejo, da v povprečju vsak delavec na dan lahko učinkovito pregleda pribl. 5–6 km. V primeru, da je teren nedostopen z vozili, se bistveno poslabša kakovost pregleda in nenamerno izpuščajo pomembne informacije stanja na terenu zaradi omejevanja vidnega polja. Čeprav je znano, da je ta metoda neučinkovita in največkrat uporabljena, je še zmeraj najcenejša za podjetje. Praksa podjetja je, da ob morebitnem odkritju napake na obesnih elementih, SM in vodnikih le-te nemudoma oz. v za to določenem roku odpravimo glede na zahtevnost (Elektro Ljubljana, d. d., 2022).

V primeru odkritja kritičnega sektorja DV je postopek znan. Napako je treba v najkrajšem možnem času sanirati. Pri našem podjetju največkrat vzdrževalci preplezajo na SM in se s pomočjo vozička prepeljejo do mesta okvare. Šele potem sledi dejanska odprava napake oz. defekta. Na koncu sledi shranjevanje zbranih informacij v za to namenjene obrazce. Vsi ti obrazci se hranijo v oblaku in so pripeti v za to namenjene posebne delovne naloge s pomočjo informacijskega vmesnika MAXIMO. Le tega že zdaj uporablja večina distributerjev. Eno prvih podjetij, ki ga uporablja že slabih deset let, je ELES.

Izračun stroška popravila nezahtevnega defekta na vodniku DV:

Povprečna ura delavca znaša 18 EUR. Skupina šteje 5 delavcev monterjev.

Ko je potrebna uporaba tovornjaka s košaro, znaša ura tovornjaka in voznika še dodatnih 60 EUR.

Za dela na zahtevni in oddaljeni lokaciji bi takšen poseg torej zahteval skupino, tovornjak in voznika za 8 ur. Prišteti je treba tudi material. V povprečju se gibljejo stroški podobnih intervencij okrog 820 EUR (ENS, d. o. o., 2020).

5.2.2 Pregledi in vzdrževanje DV s pomočjo helikopterske posadke

Za razvoj tehnologije in zaradi zahtev po čim boljšem in hitrejšem nadzoru v elektrodistribucijah in prenosnem sektorju so podjetja začela posegati po zračnih pregledih DV. Izvaja se v zato vnaprej določenih intervalih. Načeloma po podatkih sestavlja ekipo za helikopterski pregled: pilot, kopilot in operater, ki je zadolžen za zbiranje podatkov iz občutljivih senzorjev. Prav tako kot ročni pregled je tudi ta metoda pregleda potratna, vendar bistveno hitrejša. Poudariti je treba dejstvo, da je helikopterski pregled koridorja DV mnogo dražji kot ročni pregled. Pri helikopterskih pregledih imamo še en pomemben dejavnik, in to je varnostno tveganje. Posadka v helikopterju leti v neposredni bližini »živih« vodnikov. Za kakovostno opravljen pregled se je posadki treba približati na vsega le 10–15 m od vodnikov. To zahteva

od posadke veliko koncentracijo in natančnost. Med vso večjo uporabo te metode je tudi tukaj prišlo do tehnoloških inovacij oz. izboljšanj. Helikopterji imajo dandanes vgrajene razne kamere, za katere vemo, da je tehnologija v bliskovitem razvijanju in nadgrajevanju. Poleg snemanja, slikanja in spremljanja vegetacije in živali ima helikopter nameščeno tudi termografsko kamero, ki snema toplotno površino (Glavič et al., 2003, str. 79).

Metoda se je začela uporabljati pri nas takoj po vojni za Slovenijo leta 1991. Prednost je kompleksnost in prihranek na času pregleda. Pregledi so mogoči tudi na zelo zahtevnih in nedostopnih področjih.

Cene pregledov se gibljejo od 1000 do 10000 EUR na uro helikopterskega pregleda z obdelavo podatkov. Cena se spreminja tudi s tipom helikopterja. Kot smo že omenili, tako početje zahteva ogromno koncentracije in dobro usposobljene pilote, saj so izpostavljeni mnogim nevarnostim in tveganjem. Zaradi tega se morajo držati strogo napisanih pravil in postopkov za opravljanje takšnih pregledov. V zadnjih letih se je zaradi omenjenih okoliščin zgodilo 5 večjih nesreč, vendar ne v Sloveniji. To so aktualni podatki iz leta 2020 (FlyCom, 2020).

Omeniti je treba našo zadnjo nesrečo, ki pa nima nič s pregledi. Zgodila se je ob trku vojaškega helikopterja, ki se je vračal iz urjenja (Jadranski udar) z daljnovodom v bližini Brestanice. Smrtnih žrtev ni bilo. Nastala je škoda na helikopterju oboroženih sil Španije in DV. DV je izpadel in škoda je bila tudi z ekonomskega vidika zaradi izpada.

5.2.3 Vzroki okvar DV

Velik dejavnik okvar na DV in konstrukcijah DV so vremenske razmere. Poleg njih ne gre zanemariti staranj vseh komponent, ki so vključena v daljnovod.

Poznamo več vrst okvar in jih v grobem delimo na:

- kratkotrajne okvare in nastanejo zaradi vremenskega vpliva (atmosferske razelektritve),
- trajne okvare, ki povzročijo dolgotrajno prekinitve dobave EE,
- kratki stiki (fazni, medfazni, zemeljski).

Med trajne štejemo okvare izolatorjev oz. izolatorskih verig, načete vodnike medfaznih stikov in podobno. Največji delež okvar, ki se pripeti na DV in predstavlja med 50–90 % vseh okvar, so kratkotrajne okvare in povzročajo prekinitve zelo kratkega intervala v EES. Organizacija EPRI je sicer že davno v osemdesetih izvedla raziskavo o tovrstnih kratkotrajnih okvarah na EES, ki se najpogosteje pojavljajo. Zbiranje podatkov je opravljalo 13 operaterjev, raziskava pa je zajemala 50 distribucijskih in prenosnih omrežij. Sklep raziskave je pokazal, da pribl. 40 % okvar

nastane zaradi različnih vremenskih pojavov. To so dež in neurja, sneg in žled, močan veter (Short, 2004).

Na sliki 10 je prikazana statistika napak in največkrat je prihajalo do izpada DV:

- zaradi atmosferskih razelektritev – strele;
- drugi največji dejavnik za naše razmere je stik dreves. To nam nakazuje, kako pomembno je obrezovanje (sečnja dreves) v koridorjih DV;
- podatek, ki ni zanemarljiv, so tudi okvare, ki so nastale zaradi različnih napak na opremi;
- napake, ki nastanejo ob stiku živali z deli pod napetostjo DV pri nas predstavljajo še vedno previsok delež;
- izkopi oz. gradnja v bližini koridorjev lahko povzročijo izpad DV;
- izpade nam povzročajo tudi avtomobilske nesreče;
- led in žled (zadnji večji december 2018);
- vandalizem;
- konstrukcijska dela na EES.

Situacija z vremenom se glede na študije vremenoslovcev ne bo izboljšala, temveč bo nastalo vedno več stresnih situacij. Beležimo porast poplav, dvig temperature, zlasti v poletnih mesecih. Vedno več je možnosti za nastanek žleda v zimskih mesecih. Torej vedno bolj so pogosti ekstremni vremenski pojavi. Dejstvo je, da prihaja do izpadov na daljnovodih, ki so starejši. Naše podjetje Elektro Ljubljana, d. d., upravlja z DV povprečne starosti dvaintrideset (32) let. Za zanimivost imamo v obratovanju DV, ki je star že 74 let, in sicer DV 35 kV TET – Litija, ki pa ni več v obratovanju in je večinoma že demontiran. V obratovanju pa je še vedno in napaja ENP Vič, daljnovod DV 20 kV Črnuče – ENP Vič 1. Med 110 kV DV je najstarejši DV 110 kV Kleče – Logatec 1, ta je bil tudi najbolj poškodovan v katastrofalnem žledolomu leta 2014.

Elektro Ljubljana, d. d., ima v lasti 398.617 m večjih dvo- in enosistemskih napajalnih DV različnih napetostnih nivojev. (Elektro Ljubljana, 2022). Dejstvo je, kot smo omenili, da starejši, kot so DV, večje je število okvar. Velik delež okvar bi z učinkovitim preventivnim vzdrževanjem lahko preprečili. Še vedno bo ostal določen odstotek oz. delež okvar, na katerega nimamo vpliva. Zagotovimo lahko le hitrejše in bolj učinkovito preventivno vzdrževanje. Okvare so glavni vzrok, da prihaja do prekinitev dobave EE, in ko bomo le-te zmanjšali, se bo zmanjšalo tudi število prekinitev EE.

Za zmanjševanje okvar in s tem posledično prekinitev dobave EE uporabljamo naslednje ukrepe:

- sistematično obrezovanje dreves,
- intervencijsko obrezovanje dreves v koridorjih DV,
- podzemni KB,

- identifikacija ključnih slabih točk na opremi DV,
- preventivni pregledi, ki vključujejo IR-kamero,
- novi pristopi (pregledi z BPL),
- zaščita sredstev pred živalmi,
- varovanje z zaščitnimi vodniki.

K zmanjševanju števila napak veliko pripomore stalno spremljanje lokacij in tipa okvar. S takšnim pregledom nad okvarami imamo dober nadzor in jih lahko razvrstimo v različne kategorije. To bistveno pripomore k odločanju glede potrebnega vzdrževanja in nadgradenj EES.

5.3 VEČJI IZPADI EE V SVETU V ZADNJIH NEKAJ LETIH

Za analizo so relevantni izpadi, ki povzročijo izpad dobave EE vsaj 30.000 porabnikom in povzročijo za vsaj 1.000.000 kWh izpada. Takšni incidenti se odražajo predvsem v gospodarstvu, saj izpadi EE povzročajo dodatne stroške z nadomestnimi napajanjem. Po podatkih ENTSOE bi se 21. 1. 2021 kmalu zgodil razpad evropske mreže. Tedaj je prihajalo do zmanjšanja frekvence in preobremenjenosti EES v Republiki Romuniji. Vsi indici še niso znani.

V poročilih evropske energetske agencije je med leti 1995 in 1999 zabeležen en večji incident, medtem ko se je med leti 2006 in 2010 število znatno povečalo, poročajo o 16 incidentih. V Združenih državah Amerike in Kanadi so takšni izpadi še pogostejši. Razlogov za to je več. Bistveno se poveča tveganje za večji izpad z DV, ki so napajani na višjem napetostnem nivoju. K težavam prispevajo tudi vremenske razmere, zlasti orkani, nevihte, zemeljski plazovi in poplave. ENTSOE navaja, da je vsaj 70 % izpadov oz. incidentov naravnega izvora.

5.3.1 Kategorizacijska skala incidentov v Evropi – ICS

Kriteriji za klasifikacijo dogodkov so opredeljeni s strani komisije EU. Izvedena je bila smernica za obratovanje prenosnega sistema električne energije SOGL in standardi IEC. Vsak dogodek bo po teh kriterijih našel svoje mesto. Beležijo se samo pomembnejši dogodki glede na lestvico in pomembnost. Lestvica kriterijev ICS pozna 4 ravni, ki si sledijo po resnosti. Sledijo si v naslednjem vrstnem redu:

- podlestvica – anomalija,
- lestvica 0 – vidni incident – sistem ostane v normalnem stanju,
- lestvica 1 – pomemben incident – sistem je v alarmu,
- lestvica 2 – obsežen incident – sistem je v sili,
- lestvica 3 – večji incident v nadzorovanem območju – sistem je v izklopu.

Pod lestvico Anomalija			Lestvica 0 Vidni incident			Lestvica 1 Pomeben incident			Lestvica 2 Obsažen incident			Lestvica 3 Večji incident		
Prioriteta	Kratka definicija	koda	Prioriteta	Kratka definicija	koda	Prioriteta	Kratka definicija	koda	Prioriteta	Kratka definicija	koda	Prioriteta	Kratka definicija	koda
28	degradacija frekvence	FBS	20	incident pri porabi	L0	11	incident pri porabi	L1	2	incident pri porabi	L2	1	izpad	OB3
			21	degradacija frekvence	FO	12	incident pri porabi	F1	3	incident pri porabi	F2			
			22	incident na elementih EES	TO	13	incident na elementih EES	T1	4	incident na elementih EES	T2			
29	incident v elektrarnah	GBS	23	incident v elektrarnah	GO	14	incident v elektrarnah	G1	5	incident v elektrarnah	G2			
						15	N-1 kršitev	ON1		N kršitev	ON2			
			24	ločitev DV	RS0	16	ločitev DV	RS1	6	ločitev DV	RS2			
30	kršenje standardov pri prenosu	OVBS	25	kršenje standardov pri prenosu	OV0	17	kršenje standardov pri prenosu	OV1	7	kršenje standardov pri prenosu	OV2			
			26	redukcija rezerve	RRC0	18	redukcija rezerve	RRC1	8	redukcija rezerve	RRC2			
			27	izguba sredstev, objektov	LTO	19	izguba sredstev, objektov	LT1	9	izguba sredstev, objektov	LT2			

Tabela 4: Lestvica za kategorizacijo incidentov v pan – EU EES
(Vir: ENTSO-E, 2022)

Po podatkih našega systemskega operaterja ELES je iz poročila razbrati, da od leta 2016 do 2020 število incidentov EES narašča. To je posledica širjenja in staranja omrežja. V naslednji tabeli je prikazano število incidentov v našem EES glede na lestvice in kategorizacijo po letih.

LESTVICA	ICS kriterij	2016	2017	2018	2019	2020
lestvica 0	incident na elementih EES (T0)	2	5	4	4	0
lestvica 1	incident na elementih EES (T1)	0	0	0	0	2
	N-1 kršitev	0	0	0	0	2
lestvica 2	kršenje standardov pri prenosu (OV1)	0	0	0	1	5
	N kršitev (ON2)	0	0	0	1	0
SEŠTEVEK		2	5	4	6	9

Tabela 5: Kategorizacija med 2016 in 2020 glede na tabelo 1
(Vir: ENTSO-E, 2021)

Podrobneje si oglejmo v intervalu 2016–2020 najslabše leto, leto 2020. Tabela prikazuje sosledje incidentov po mesecih v letu 2020.

LESTVICA	ICS kriterij	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	SKUPAJ
lestvica 1	incident na elementih EES (T1)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	N-1 kršitev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	kršenje standardov pri prenosu (OV1)	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	5
SEŠTEVEK		1	0	0	2	2	0	0	2	0	0	0	2	9

Tabela 6: Podatek incidentov po mesecih za leto 2020 – ELES

(Vir: ENTSO-E, 2021)

Spodnji graf nam prikaže porazdelitev incidentov glede na njihovo trajanje. Kriterij za uvrščanje je naslednji:

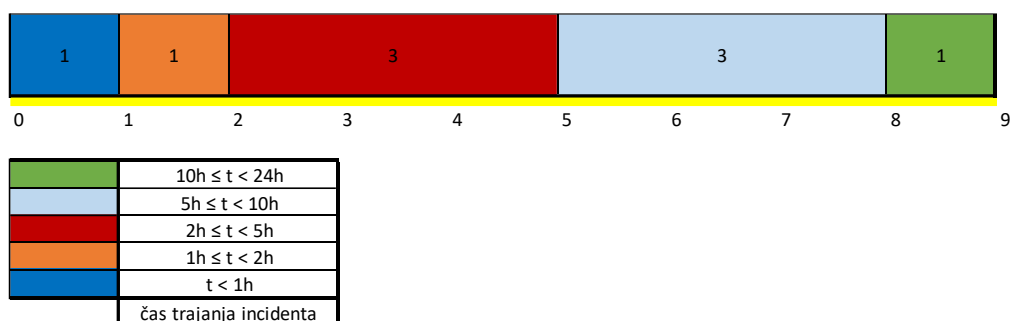


Tabela 7: Število incidentov, razvrščenih po trajanju

(Vir: ENTSO-E, 2021)

V zadnji dekadi je na račun neučinkovitega delovanja in s tem povezanih dogodkov incidentov DV izvedenih oz. narejenih kar nekaj študij v želji po analizi delovanja DV v EES Evrope. Zanimiva je raziskava skupine Leonardo, ki je proučevala učinkovito rabo EE. V 8 državah EU so izvedli 62 ločenih raziskav. Zaloga raziskave je bila v 16 različnih industrijskih sektorjih. Pokazalo se je, da je izpad EE zelo škodljiv za gospodarski sektor. Skrb vzbujajoč podatek nam pove, da približno 30 % najbolj občutljive industrije zaradi nestabilne dobave EE in s tem povezanim vzdrževanjem DV v EES lahko doleti strošek v višini 4 % celoletnega zaslužka. To pa ima neposredni vpliv na gospodarstvo EU. V številkah to presega 150 bilijonov EUR. (ENTSO-E, 2022).

5.4 NOVE TEHNOLOGIJE, MATERIALI IN PRISTOPI

Nadzemni vodi (DV) igrajo pomembno vlogo v elektroenergetskem poslu. So najstarejša in – do danes – najpogosteje uporabljena metoda prenosa po vsem svetu za prenos električne energije, še posebej za prenos razsute energije na velike razdalje po kopnem. Visokonapetostni vodi lahko presežejo dolžino poti 1.000 km za transport več 1.000 MW na električni tokokrog v izmeničnem (AC) ali enosmernem

toku (DC) do napetosti 1.150 kV. DV bo zasnovan za izgradnjo novih omrežij ali izboljšanje in okrepitev obstoječih omrežij.

Vse več obnovljivih virov energije je treba vključevati v obstoječe prenosno omrežje. Poleg tega se je zaradi liberalizacije trga z električno energijo v zadnjih letih spremenilo povpraševanje po proizvodnji in porabi električne energije.

Poslovanje z daljnovodi je postalo še zahtevnejše, vendar nove tehnike omogočajo nove rešitve in pristope. Med njimi so:

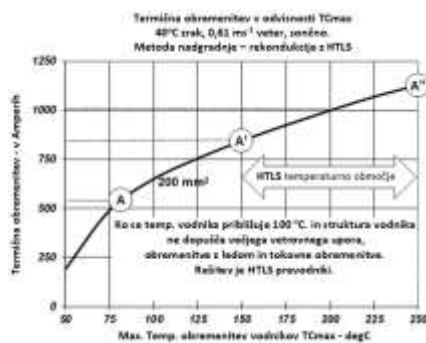
- graditi nove daljnovode z novimi tehnikami, dizajnom in pristopi,
- menjava komponent na obstoječih vodih (npr. drugi vodniki z večjo tokovno močjo),
- povečati omrežno napetost na obstoječih daljnovodih (npr. iz 220 kV na 400 kV) ali spremeniti izmenične vode v enosmerne,
- uporaba sistemov Dynamic Line Rating (DLR) na obstoječih vodih.

Za nadzemne vode se zahteva dolgoročna zanesljivost, dolga življenjska doba, stroškovna učinkovitost in upoštevanje okolijskih vidikov. Sodobni pristopi, materiali, metode in dizajn pomagajo izpolniti te zahteve. (ENTSO-E, 2022).

5.4.1 Napredki in spoznanja novih tehnologij, materialov in pristopov nadzemnih vodov

Nedavni napredek na področju novih materialov in tehnologij je podjetjem za prenos in operaterjem zagotovil številne možnosti za boljše načrtovanje, učinkovitejše delovanje in vzdrževanje njihovih sredstev.

Vodniki za visoke temperature z nizkim povešanjem (HTLS) so izdelani iz posebnih zlitin in se lahko uporabljajo pri temperaturah do 210 °C. Takšni vodniki lahko prenašajo več električnega toka kot standardni vodniki z dovoljeno temperaturo 80–90 °C. Novi materiali omejujejo povešanje in natezne sile prevodnika. Omogočajo, da le z minimalnimi spremembami prilagodimo DV za večje tokovne obremenitve in posledično delovanje pri znatno višjih temperaturah vodnika. Vodniki HTLS se uporabljajo za rekonstrukcijo kot tudi za nadgradnjo obstoječih vodov in za gradnjo novih. Pogosto so »izdelani po meri« za projekt in vsak projekt je treba raziskati za vsak primer posebej. Slika prikazuje korelacijo med kapaciteto (amperi) in temperaturo vodnika. Višja, kot je temperatura, več amperov lahko prenese – a so večje tudi izgube (ENTSO-E, 2022).

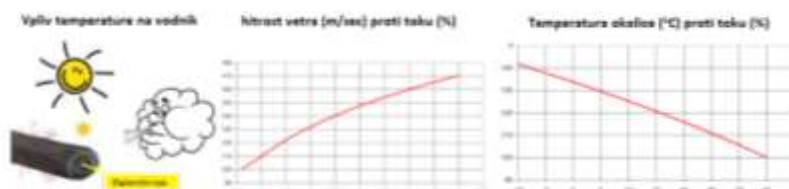


Slika 11: Povečanje kapacitete (amperov) glede na temperaturo vodnika za določen projekt.
(Lastni vir)

Dynamic Line Rating

Dynamic Line Rating (DLR) označuje dejansko temperaturo prevodnika in dejanske okoljske parametre za izračun največje dovoljene električne obremenitve v tem trenutku. Načelo je:

- višja, kot je temperatura okolice – manjša je dovoljena električna obremenitev;
- večja, kot je hitrost vetra – večja je dovoljena električna obremenitev;
- optimum za visoko tokovno zmogljivost daljnovoda so hladne zimske noči (brez sončnega sevanja) in
- veter z veliko hitrostjo, pravokotno na smer voda.



Slika 12: Načela dinamične ocene voda, močan veter in nizka temperatura omogočajo večji dovoljeni tok v vodnikih
(Lastni vir)

Obstaja več sistemov za DLR, ki uporabljajo toplotne senzorje, nameščene neposredno na vodnik, ali senzorje za natezne sile vodnika, računske metode iz okoljskih podatkov, merjenje frekvenc nihanja prevodnika in mnoge druge. Prednosti so relativno majhne investicije v obstoječo linijo. Pred uvedbo DLR je treba upoštevati in preveriti več pogojev:

- oddaljenosti od tal, zgradb, ovir,
- največja dovoljena temperatura prevodnika (mehanski vidik),

- oprema v razdelilnih postajah mora biti pripravljena na večji tok,
- upoštevanje pretoka obremenitve v omrežju,
- pravno stanje (dovoljenje) za izvedbo voda z želenim tokom (ENTSO-E, 2022).

Konverzija AC v DC vod

Pretvorba obstoječega AC voda v DC lahko poveča dopustno obremenitev, vendar so potrebne mnoge prilagoditve. Na obeh koncih DV je treba zgraditi AC/DC in DC/AC pretvorniške postaje. Takšne pretvorbe AC v DC danes niso ravno pogoste, vendar odpirajo priložnosti v prihodnosti. Napore in stroške je treba uravnotežiti s pridobljenimi prednostmi. (ENTSO-E, 2022).

HV in EHV DC nadzemni vodi

Povečana uporaba visokonapetostnih in zelo visokonapetostnih enosmernih nadzemnih vodov je rešitev za prenos velikih količin energije na velike razdalje (običajno nad 600 km). Obstajajo v številnih regijah. Za krajše dolžine so izmenični vodi običajno bolj ekonomični, dokazano tudi za napetosti, ki presegajo 1 MV. Po vsem svetu obstajajo projekti in zamisli za transport na stotine GW na več tisoč kilometrov v prihodnosti. Koncept interkonekcije temelji na teh tehnologijah (ENTSO-E, 2022).

Novi materiali

Novi materiali za nosilne konstrukcije, kot je polimer, ojačan z vlakni (FRP), so lahki, imajo visoko razmerje med trdnostjo in težo, so okoljsko inertni z visoko vzdržljivostjo in imajo električno neprevodne lastnosti. FRP ne rjavi ali korodira, kar bi bilo še posebej koristno pri gradnji DV na priobalnih pasovih in območjih, kjer je industrija. S takšnimi materiali so že zgrajeni prvi DV v nižjem območju VN. (ENTSO-E, 2022).



Slika 13: FRP izvedba SM – slika levo, 110 kV kompozitni SM (cevna izvedba) – slika desno

(Vir: ENTSO-E, 2021)

Okoljski vidiki nadzemnih vodov, vzdrževanje

Vizualni učinek je pogosto razlog za nasprotovanje novim in obstoječim daljnovodom. Nova zasnova stolpa lahko pomaga premagati to težavo. Tipične standardne konfiguracije stolpov so bile razvite čez desetletja v vseh državah, ki so optimizirane glede na material, lokalno okoljsko situacijo, prevoz, postavitve, vzdrževanje, stroške, življenjsko dobo, nacionalna pravila in standarde, videz. Veliko javnih služb je začelo razmišljati o novi zasnovi stolpa, da bi pridobili ali povečali sprejemanje novih daljnovodov. Iz držav po vsem svetu je znanih več stolpov v alternativni zasnovi. Veliko je enojnih rešitev (le en stolp v liniji), nekateri imajo celo funkcijo paše za oči. Vse več primerov za novo zasnovo stolpov se uporablja na daljših razdaljah in nekateri od njih so dosegli status nove standardne zasnove stolpov za določene lastnike linij. Na slikah so primeri iz Danske in Nizozemske (ENTSO-E, 2022).



*Slika 14: SM »orel«, grajen je na Danskem
(Vir: ENTSO-E, 2021)*



*Slika 15: Nova zasnova SM z dvojnimi krogi in kombinacija kovinskih drogov,
grajen je na Nizozemskem
(Vir: ENTSO-E, 2021)*

Drug način za pridobitev sprejemljivosti je "skritje" daljnovodnih SM, kjer koli krajina to dopušča, ali da se zakrije DV z ustreznim premazom SM in celo vodnikov. Slika prikazuje »kamuflačno linijo« v avstrijskih Alpah s prevlečenim SM in prevlečenimi vodniki (ENTSO-E, 2022).



*Slika 16: Vidna sta dva dvosistemska 400 kV SM. Levi SM: iz pocinkanega jekla – jasno viden; desni SM: stolp "kamuflačne linije" temno zelene barve in prevlečeni vodniki, skoraj nevidni
(Lastni vir)*

V neugodnih vremenskih razmerah se lahko iz daljnovoda pojavi zvočni hrup. Na voljo so metode za zmanjšanje tega, med njimi več vodnikov, razporeditev faz, razporeditev vodnikov in površinska obdelava vodnikov. Nadzemni vodi proizvajajo električna in magnetna polja (EMF). Električno polje je odvisno od omrežne napetosti, magnetno polje pa od dejanskega toka, ki teče skozi vodnike. Oboje je mogoče zmanjšati med načrtovanjem daljnovoda z razporeditvijo faz in odločitvijo o trasi. Njihove dovoljene vrednosti so opredeljene v mednarodnih in nacionalnih predpisih. Vzdrževanje z roboti pri ocenjevanju in vzdrževanju daljnovodov postaja vse pogostejše pri številnih javnih podjetjih. Takšni stroji lahko preverjajo prevodnike, izolatorje in lahko plezajo po strukturah. Upravljalcem DV pomagajo pri ocenjevanju škode, koncu življenjske dobe in so dragoceno orodje za ocenjevanje škode.

Linijski viseči roboti so zasnovani za vizualno pregledovanje vodnikov. Lahko odkrijejo in locirajo korozijske odprtine in natrgane jeklene žice, izmerijo preostali presek jeklenih žic ter opravijo začasna popravila komponent.

Brezpilotna letala so helikopterji, ki dajejo slike, ko letijo blizu daljnovodov. Poleg tega lahko posnamejo slike v infrardečem in ultravijoličnem spektru izolatorjev in vodnikov ter lahko zaznajo točke, kjer je povečana temperatura, ki je posledica onesnaženja in koronarnih razelektritev.

Zemeljski roboti so zasnovani za daljinsko zajemanje in nadzor vodnikov pod napetostjo ter izvajanje nalog, ki z vidika mehanskih in električnih obremenitev daleč presegajo človeške zmožnosti. To tehnologijo je mogoče uporabiti za dela pod napetostjo. Koristno se uporabljajo pri popravilih in zamenjavah izolatorja. Velika prednost je skrajšanje delovnega časa. Druge vrste robotov so specializirane, npr. za plezanje na stolpe in drogove, pregled izolatorjev in mostičkov ter za čiščenje izolatorjev.



*Slika 17: Brezpilotno letalo »multicopter«
(Vir: Parrot, 2022)*



*Slika 18: Robot za čiščenje izolatorja pod napetostjo (Korejski raziskovalni inštitut za električno energijo)
(Vir: Semantic scholar, 2022)*

5.5 NAPREDNE VRSTE TEHNIČNEGA VZDRŽEVANJA DV

V želji po zmanjševanju ogroženosti ljudi, živali in zmanjševanja stroškov je prišlo do kovanja konceptov, kako avtomatizirati preglede in vzdrževanje DV (Pagnano et al. 2013).

Za namene, kot so pregledi in vzdrževanje DV, je torej pomembno vpeljati nove metode, ki bodo prikazovale diagnostiko in nove načine iskanja napak. Omogočale bodo hitrejše odkrivanje napak, zaključevale pa bodo objektivne faktorje, kot so natančnost, sposobnost in vestnost monterja (Glavič et al., 2003).

DPN so bila ključna za spodbudo in razvoj robotskih tehnologij na področju vzdrževanja in popravil DV. Roboti drastično zmanjšujejo potencialne nevarnosti, ki so jim izpostavljeni monterji. Hkrati znižujejo operativne stroške, zanesljivost delovanja EES pa ni zmanjšana ali ogrožena (Elizondo, 2015).

Bistvo je, da človeka nikakor ne bo možno zamenjati v celoti z robotom. Izboljšati želimo optimalno vzdrževanje. Še vedno sta primarno uporabljeni dve robotsko vodeni metodi (Pagnano et al., 2013):

- talni roboti,
- roboti na žicah.

V tretjo skupino, ki se šteje za novo pridobitev, pa štejemo leteče robote. Imenujemo jih brezpilotna letala (v nadaljevanju BPL). V nalogi bi se osredotočil na BPL, saj menim, da vedno več napak odkrijemo prav s to tehnologijo. Menim, da kaže ta tehnologija izjemen potencial in strmo naraščajoč razvoj. Pomemben dejavnik predstavlja tudi strošek nabave orodij za pridobivanje in analizo podatkov iz terena.

5.5.1 Talni roboti

Prvi takšni primerki so se pojavili že v zgodnjih osemdesetih. Na prvi pogled je podoben tovornjaku. Kabina za opravljanje je pritrjena na zadnjem delu tovornjaka. V kabini je tudi sistem za opravljanje. Ploščad je pritrjena na hidravličnem teleskopu, na njej pa robotska tehnologija in nekaj senzorjev. Na prvi pogled je kot podaljšana mehanska roka človeka. V kontrolni kabini je tudi monitor, s katerim operater nadzira delo. Ta metoda ni primerna za težko dostopna področja. Uporablja se za menjavo izolatorskih verig oz. delov DV (Goncalves & Carvalho Mendes, 2013).

Bolj uporaben robot, ki se uporablja od leta 1999, imenovan ROBTET, je bolj moderniziran. Prednosti takšnega robota so:

- večja varnost delavcev med izvajanjem del,
- zmanjševanje števila napak in posledic, ki so jih povzročili delavci,

- boljša kontrola nad izvajanjem vzdrževalnih del ter bolj tekoče delo,
- skrajšana doba popravil ter manjši obseg dela.

Podobno kot pri starejši izvedbi TOMCAT je tudi ROBTET uporaben izključno samo na ravnih in lahko dostopnih terenih.



Slika 19: Primer uporabe ROBTET
(Vir: ROBTET – Robots Are Coming, 2021)

5.5.2 Roboti na žicah

Sodijo v čas po letu 2000 in prvi izmed njih je bil razvit leta 2005. Sestavljen je bil iz štirih nog, s katerimi se je premikal oz. plezal po žici. (Guo et al., 2014, str. 1). Konstrukcija robotov, ki se premikajo po žicah, je grajena tako, da zagotavlja v realnem času pogled operaterja. Njihova uporaba je razširjena zlasti na VN DV in tokovodniki so locirani visoko nad tlemi. Njihova uporaba je dobrodošla v urbanem naselju, težko dostopnih mestih, nad rekami, v strmih pobočjih, nad vrtačami. Njihova naloga je primarno pregled vodnikov in manjša popravila oz. vzdrževalna dela. Ta način se uporablja zadnjih 10 let in z razvojem tehnologije je pripravljen izvajati mnogo različnih opravil. Slabost robotov na žicah je izpostavljenost vremenskim vplivom, zlasti močnemu vetru. Podatki, ki so pridobljeni v slabih razmerah, so lahko tudi napačni. Težava se pojavi tudi pri raznih prehodih, saj se kaj hitro zataknejo in ustavijo (Elizondo, 2015).

Roboti samodejno lovijo ravnotežje, ko se premika vzdolž vodnika. Prednost takih sistemov so pregledi, ki se izvajajo pod napetostjo. Torej DV je v normalnem obratovalnem stanju. Poudarek je na dveh vrstah robotov in eden izmed inovativnejših modelov je robot inštituta za tehnologijo v Tokiu in podjetja HiBot. Expliner robot je obešen na sredini spodnjih delov dveh paralelnih vodnikov. Na vsakem izmed njih ima 4 kolesa in je sposoben prečkati tudi določene prepreke na

vodnikih. Je pravi akrobat, saj lahko prečka na drugo stran DV s pomočjo dodatne roke. Največkrat ima vgrajene 4 različne senzorje (kamere) in snemajo 360⁰, torej kamera je vrtljiva okoli svoje osi. Odlikuje jo snemanje vseh 4 vodnikov, na katere je pritrjen. Kot vsaka taka naprava ima vgrajen GPS senzor (Global Positioning System, v nadaljevanju GPS). Brez GPS-a bi bilo okvaro težko pozicionirati. Po končanem pregledu se podatki zbirajo v za to namenjen sistem za obdelavo podatkov (Guo et al., 2014).

Na spodnji sliki je predstavljen trenutno najboljši LineScout robot za vzdrževanje VN DV in je nadgradnja Expliner robota. Razvit je bil v raziskovalnem inštitutu Hydro Quebec. Robot je sposoben viseti in se voziti po enem vodniku. Prečkanje ovir mu ne predstavlja večjih problemov. Med ovire štejemo signalne naprave, dušilce vibracij. Vgrajeno ima roko, ki je namenjena opravičilo (Guo et al., 2014).

LineScout robot je za pribl. 18 kg težji od Explinerja. Tehta okoli 98 kg. Oba pa lahko obratujeta avtonomno od 5 do 6 ur (Pagano et al., 2013).

Velika pridobitev je tudi brezžična povezava med operaterjem in robotom. Robot ima vnaprej določeno pot in deluje povsem avtonomno oz. neodvisno. V primeru, da naleti na prepreko, ga lahko vodi tudi operater in mu s pomočjo daljinskega upravljanja pomaga prečkati prepreko. Podatek, ki je zanimiv, je ta, da lahko roboti z različnimi senzorji pregledajo kar 27 m vodnika v minuti. Za vzdrževanje DV, ki so strateškega pomena, je takšen način pregledov še kako finančno dobrodošel, saj kot smo omenili, ni potrebe po izklopih. Vemo že od prej, da vsak izpad pomeni ne dobavo EE (Pagano et al., 2013).



Slika 20: LineScout Robot pred oviro
(Vir: Hydro Quebec Research Institute, 2022)

Talni roboti in roboti, ki se vozijo po vodnikih, obstajajo na trgu že dlje časa. Čez leta je tehnologija močno napredovala. Vendar se v zadnjem času vse pogosteje uporabljajo leteči roboti, imenovani tudi brezpilotna letala (BPL), namenjena

pregledom in snemanju DV. Nedavne izboljšave BPL predstavljajo ogromen potencial za nadomestno uporabo klasičnih ročnih pregledov DV, helikopterskih pregledov ali katero izmed robotskih tehnologij (Elizando, 2015).

6 BREZPILOTNA LETALA ZA VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV

6.1 BREZPILOTNIKI NA SPLOŠNO

Kako si najbolje predstavljamo brezpilotno letalo/letalnik? Tako, da letalu odstranimo posadko in jo nadomestimo s primernim računalniškim sistemom, ki bo sposoben voditi letalo. V praksi seveda to ni tako enostavno, saj je treba upoštevati kar nekaj zakonitosti. Brezpilotnike je treba obravnavati kot celovit sistem in je načeloma namenjen opravljanju specifičnih nalog. Najbolj osnovni gradniki BPL so:

- letalo kot transportni sistem različnih velikosti,
- oprema za podporo,
- kontrolna postaja, ki je namenjena povezovanju med operaterjem in napravo,
- komunikacijski sistem za prenos med napravo in kontrolno postajo. Novejši sistemi premorejo več načinov komuniciranja (prenos slike, interni Wi-Fi). Pošiljanje ukazov se po navadi kodira in pošilja preko radijske povezave.

Brepilotni zrakoplov je skupek mnogih podsistemov, med katere štejemo letalo in ga največkrat imenujemo brezpilotno letalo (v nadaljevanju BPL), tovor v celoti, kontrolna postaja (daljinsko ali RC upravljalna enota), pristajalno-vzletna cona in komunikacijski podsistem za upravljanje BPL. V veliki meri se v Sloveniji uporablja tudi angleška beseda za BPL, *drone*.

BPL je med delovanjem del zračnega prostora, zato je treba skrbno upoštevati nekatera pravila in zakonodajo. Ob prihodu na trg je bila ta zakonodaja precej splošna. Danes imamo za BPL Uredbo o sistemih brezpilotnih zrakoplovov. (Uradni list RS, št. 52/16, 81/16 popr. in 195/20).

Osredotočili se bomo predvsem na BPL za opravljanje oziroma analiziranje DV in EES. Ti BPL imajo vgrajeno inteligenco in so predvsem lažji, manjši. Pozorni moramo biti in razlikovati jih je treba od brezpilotnikov, ki se uporabljajo v vojaške namene, in dronov za splošne namene. Dejstvo je, da so nekakšna mešanica teh dveh tehnologij, ki je še vedno v razvoju in je velik potencial za uporabo v namene vzdrževanja EES.

6.2 VRSTE IN ZNAČILNOSTI BPL

Razlikujejo se po namenu in sposobnosti opravljanja nalog. Najnovejše izvedbe so sposobne podajati tudi različne informacije za lažje obvladovanje (GPS, slika, temperatura, višina, hitrost, avtonomija). Zaradi hitrega razvoja so danes tudi manjše izvedbe konkurenčne večjim in tako prevzemajo njihovo vlogo.

Vrsta BPL	značilnosti
BPL s srednjo vzdržljivostjo. (angl. Medium Range Endurance)	Uporabljajo se za vojaške namene, potrebujejo posebna dovoljenja za vzlet. Visokotehnoško dovršena BPL.
BPL s bližnjo kratko do srednjo vzdržljivostjo. (angl. Close short- Medium Range Endurance UAS*)	Doseg je od 10 do 70 km. Teža pri vzletu se giblje med 150 in 1250 kg. V to kategorijo štejemo tudi druga BPL, kot so BPL z enim pritrjenim krilom (angl. Fixed-wing UAV). Letalniki so opremljeni z različnimi posistemi.
Mini BPL	V to skupino štejemo BPL, ki so lažja od 30 kg. Dosežejo lahko razdalje do 10 km. Avtonomija letenja do 2 uri. Tudi ta vrsta se uporablja za civilne in vojaške namene. Ta skupina jBPL e najbolj uporabljena.
Mikro BPL	Razpon kril ne presega 150 mm. Ni težji od 5 kg. So sodobnejši in bolj tehnično dovršeni.
Nano BPL	najmanjši in se načeloma uporabljajo za kratke preglede.
BPL z vertikalnim vzletom	trenutno najbolj uporabljena skupina v civilne lete. Tu spadajo tako rekoč BPL ali droni.

Tabela 8: Vrste BPL

(Vir: Lastni vir)

BPL, ki so lažja od 150 kg, imenujemo lahka BPL. Sem, kot je razvidno iz zgornje tabele, uvrščamo tudi mini, mikro in nano BPL. Ti lahko letijo v nekontroliranem zračnem prostoru, razen če po zakonu ni odrejeno drugače. Pokrivajo lahko mnoga dela na več področjih. Opravljajo različna dela in so namenjena zbiranju najrazličnejših podatkov za nadaljnjo uporabo. Ta vrsta je primerna za vzdrževanje DV v EES. Najbolj se je povečala uporaba v komercialne namene v zadnjih nekaj letih, pa tudi na področju vzdrževanja energetike.

6.2.1 Klasifikacija brezpilotnih zrakoplovov za izvajanje letalske dejavnosti

Brepilotni zrakoplovi, s katerimi se izvajajo letalske dejavnosti, se glede na operativno maso delijo na:

- razred 5: do vključno 5 kilogramov,
- razred 25: nad 5 do vključno 25 kilogramov,

- razred 150: nad 25 do 150 kilogramov.

6.2.2 Klasifikacija področja letenja

Glede na izgradnjo, naseljenost in prisotnost ljudi so področja letenja razdeljena v naslednje razrede:

- **razred I** je področje, kjer ni objektov in ljudi, razen upravljavcev in osebja, ki je potrebno za letenje;
- **razred II** je področje, kjer so pomožni objekti ali objekti, ki niso namenjeni bivanju ljudi in kjer ni ljudi, razen upravljavcev in osebja, ki je potrebno za letenje, in kjer je dovoljen le občasni prehod brez zadrževanja ljudi na tem področju (npr. kolesarji, sprehajalci);
- **razred III** je področje, na katerem so objekti, namenjeni za stanovanje, za poslovanje ali rekreacijo (npr. stanovanjske zgradbe, stanovanjske hiše, šole, pisarne, športni objekti, parki), ali na katerem so objekti nizke gradnje, kjer so ljudje (npr. avtoceste);
- **razred IV** je področje ožjih urbanih con (npr. središča mest, naselja, kraji). (Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov – Uradni list RS, št. 52/16, 81/16 popr. In 195/20, 2016).

V grobem pregled DV s pomočjo tehnologij zbiranja podatkov s pomočjo BPL poteka v dveh glavnih korakih:

- zbiranje podatkov za nadaljnjo analizo s pomočjo raznovrstnih senzorjev,
- odkrivanje napak s pomočjo vgrajene inteligence.

Podatki, ki se zbirajo, so pomembni za podjetja, saj je želja po zmanjšanju produkcijskih stroškov in optimizaciji vzdrževanja DV, kar je pomemben korak in opravilo za zbiranje podatkov o sredstvu. Na podlagi že opravljenih analiz je metoda z uporabo BPL že izboljšala varnostne pogoje in zmanjšala stroške vzdrževanja in je v primerjavi z ostalimi tehnologijami oz. pristopi k vzdrževanju, ki so danes na voljo, zelo dobra alternativa. (Sampedro et al., 2014).

6.2.3 Delovanje BPL

Za različne namene oz. vrste se tudi BPL razlikujejo. V splošnem so sestavljeni iz več podsistemov, glavni izmed njih so:

- Kontrolna postaja

Izvedba le-te je lahko stacionarna ali prenosna. Obema je skupno, da ju poganja računalniški sistem oz. sistem za upravljanje BPL. Nujno za kontrolno postajo je razumljivost človeški inteligenci. Operater preko nje upravlja BPL. Čedalje več oz. skladno z razvojem je vgrajene samodejne inteligence v samem plovilu. Primer

takšne prakse je, da v primeru zaznave napake pride do samodejnega vračanja na izhodišče. (DJI et al., 2020).

- **Komunikacijska povezava**

Komunikacijska povezava je pomemben in ključen člen za sporazumevanje med BPL in kontrolno postajo. Večinoma je radijska, zadnji čas je v uporabi tudi internetna povezava. Možna je tudi VF SAT povezava. (Colomina et al., 2018).

- **Podsistemi**

Glede na namen uporabe ima vsak BPL svojo nalogo, za katere je treba vključiti različne podsisteme. Sem spada tovor oz. oprema, ki jo ima dron na sebi oz. jo prevaža. Ti tovari so v večini težki od 200 g do 4 kg. Obstajajo tudi zelo napredni BPL, ki imajo vgrajene IR-kamere, razne optične čitalnike za pregledovanje okolja (LiDAR), HD-kamere visokih ločljivosti. (Colomina et al., 2018).

Torej tovor, ki je inštaliran na BPL, je ključnega pomena in uporaba je močno odvisna od tega. Najbolj uporabljena oprema oz. tovor BPL je naslednji:

- HD-kamere visokih ločljivosti,
- IR-kamere/termični senzorji,
- frekvenčni senzorji,
- UV-kamere (korona),
- kombinacije različnih kamer,
- laserji (LiDAR),
- geografski informacijski sistem (GIS).

Trg je zasičen s proizvajalci najrazličnejše opreme za spremljanje. Visokozmogljive IR-kamere so danes že v izvedbah, ki so primerne za BPL. V preteklosti so bile zaradi njihove velikosti in teže le na helikopterjih s posadko. Tudi korona kamere so pomemben dejavnik pri odkrivanju pomanjkljivosti DV. Izvedbe le-teh so napredovale do te mere, da se enostavno inštalirajo in uporabljajo na BPL. Naj omenimo enega proizvajalca, ki je naredil ogromen preskok v razvijanju opreme in programske opreme za vzdrževanje DV. Sistem se imenuje DayCor® ROM, ki združuje IR- in UV-kamere, in je zelo zmogljiv sistem za odkrivanje napak in pomanjkljivosti v EES proizvajalca OFIL.

6.3 PREDPISI IN PRAVILA O UPORABI BPL

Od države do države se pravila in predpisi o uporabi BPL razlikujejo. Nerazvite oz. države v razvoju imajo v večini nerazdelane predpise oziroma predpisov največkrat ni. Druge države, kot so Amerika, GB, Francija, Nemčija, Kanada, pa imajo zelo strogo zakonodajo glede BPL.

6.3.1 Predpisi na splošno v Evropi

Zakonodaja na ozemlju Evrope se razlikuje in ni enotnega predpisa, ki bi omejeval oz. urejal uporabo BPL v članicah EU. Torej je ureditev zakonodaje glede BPL prepuščena posameznim državam. Nekatere države nimajo ureditve glede brezpilotnikov. BPL, lažji od 150 kg, se uvrščajo pod nacionalni letalski organ in so izključeni iz direktive, ki jo je EU izdala Evropski agenciji za varnost v letalstvu (angl. *European Aviation Safety agency*).

EU regulativa je dostopna na internetni strani in je tudi v slovenskem jeziku:

<https://www.easa.europa.eu/regulations>

6.3.2 Predpisi na splošno v Sloveniji

Z 31. 12. 2020 se je na področju UAS v Sloveniji začela uporabljati:

- Uredba o izvajanju izvedbene uredbe Komisije (EU) o pravilih in postopkih za upravljanje brezpilotnih zrakoplovov (Uradni list RS, št. 195/20),
- Izvedbena uredba Komisije (EU) 2019/947 z dne 24. maj 2019 o pravilih in postopkih za upravljanje brezpilotnih zrakoplovov,
- Delegirana uredba Komisije (EU) 2019/945 z dne 12. marec 2019 o sistemih brezpilotnega zrakoplova in operaterjih sistemov brezpilotnega zrakoplova iz tretjih držav.

V Sloveniji je treba za letenje z BPL opraviti izobraževanje in pridobiti licenco. Licenco podeljuje Javna agencija za civilno letalstvo Republike Slovenije, v nadaljevanju CAA.

Po uredbi (EU) 2019/947 se BPL uporabljajo v treh kategorijah:

- odprta,
- posebna,
- certificirana.

ODPRTA kategorija

Deli se na podkategorije A1, A2 in A3. V posameznih podkategorijah se lahko leti z zrakoplovi z določeno oznako C-razreda (C0, C1, C2, C3 ali C4) in zrakoplovi brez C-oznak (znotraj prehodnega obdobja in samogradnje). Za vsako od podkategorij so prepisane zahteve za pilota na daljavo in brezpilotni zrakoplov, višine letenja, oddaljenosti od ljudi in objektov itd. Ta kategorija se lahko izvaja z brezpilotnimi zrakoplovi do 25 kg. Večina pilotov na daljavo bo morala opraviti spletni tečaj usposabljanja in spletni teoretični izpit.

V okviru ODPRTA kategorije se morajo registrirati operatorji sistemov brezpilotnih zrakoplovov, če upravljajo katerega koli od naslednjih brezpilotnih zrakoplovov:

- zrakoplov z največjo vzletno maso 250 g ali več ali zrakoplov, ki lahko v primeru trčenja na človeka prenese več kot 80 Joulov kinetične energije.
- Zrakoplov, opremljen s senzorjem, ki lahko zajame osebne podatke, razen če je v skladu z Direktivo 2009/48/ES (igrača) (CAA, 2022).

POSEBNA kategorija

Izvajala se bo lahko na podlagi deklaracije ali certifikacije, odvisno od stopnje tveganja operacije. Pravila za izvedbo ocene operativnega tveganja so določena v členu 11. V to kategorijo spadajo operacije, ki presegajo zahteve za ODPRTTO kategorijo in se izvajajo v okviru tako imenovanih standardnih scenarijev, ki bodo objavljeni kot Dodatek 1 k Prilogi Izvedbene Uredbe Komisije (EU) 2019/947. Če operater izvaja operacije na podlagi standardnih scenarijev, bo agenciji lahko predložil izjavo, v nasprotnem primeru pa bo moral zaprositi za operativno dovoljenje, kot je določeno v 12. členu Izvedbene Uredbe Komisije (EU) 2019/947. V okviru POSEBNE kategorije se registrirajo brezpilotni zrakoplovi s katero koli maso (CAA, 2022).

CERTIFICIRANA kategorija

V tej kategoriji se bodo izvajale operacije z brezpilotnimi zrakoplovi, ki so certificirani po ustreznem postopku (za kar bo pristojna EASA), če se bodo izvajale operacije nad skupinami ljudi, če se bodo z njimi prevažali ljudje ali če se bo z njimi prevažal nevaren tovor. V tej kategoriji se seveda zahteva certifikacijski postopek v smislu spričevala letalskega prevoznika, piloti na daljavo morajo imeti licence, biti zdravstveno sposobni itd.

V okviru CERTIFICIRANE kategorije:

- lastnik brezpilotnega zrakoplova, katerega zasnovano je treba certificirati, registrira brezpilotni zrakoplov. Nacionalnost in registracijska oznaka brezpilotnega zrakoplova se določita v skladu s Prilogo 7 h Konvenciji ICAO.

Države članice morajo vzpostaviti register brezpilotnih certificiranih zrakoplovov in register operatorjev. Register mora biti digitalen in interoperabilen, pristojni organi držav članic so dolžni drug drugemu omogočiti dostop do registra.

V skladu z Uredbo o izvajanju uredbe se uvajajo nove geografske cone, kjer je letenje z brezpilotnimi zrakoplovi omejeno ali prepovedano.

OBRAZCI, ki so potrebni pred vsakim poletom BPL, so:

- **najava leta** (dostopen na spletu – CAA),
- obrazec za zagotavljanje digitalnih podatkov UAS geografskih območij (dostopen na spletu – CAA).

Izpolnjeno najavo leta je treba posredovati 12 ur pred operacijo.

Omejitve za letenje UAS na področju Slovenije so dostopne na spletnih straneh CAA, in sicer kot:

- 3D aplikacija (trenutno ne vsebuje omejitev za letenje nad naseljenimi področji za odprto kategorijo (glej opozorilo spodaj), verzija 21. 4. 2022);
- 2D aplikacija. Vključuje tudi informativno omejitev za letenje nad naseljenimi področji (glej opozorilo spodaj), verzija 1. 6. 2022.

OPOZORILO:

Na področju prepovedi/omejitev, povezanih z letalsko varnostjo, so trenutno vrisane omejitve letenja za ODPRTO kategorijo na naseljenih področjih, kjer veljajo omejitve iz Uredbe o izvajanju Uredbe UAS (7. in 8. alineja prvega odstavka 5. člena) in je letenje **PREPOVEDANO**, in sicer:

- v odprti kategoriji na področju, na katerem so objekti, namenjeni za stanovanje, poslovanje ali rekreacijo (npr. stanovanjske stavbe, stanovanjske hiše, šole, pisarne, športni objekti, parki), ali na katerem so objekti nizke gradnje, kjer so ljudje (npr. avtoceste), razen za sisteme brezpilotnih zrakoplovov do teže 500 g do višine 50 m nad tlemi (AGL) izključno podnevi in ob soglasju lastnika zemljišča, nad katerim se izvaja let sistema brezpilotnega zrakoplova. O takem letu sistema brezpilotnega zrakoplova mora operator sistema brezpilotnega zrakoplova 12 ur pred letom obvestiti agencijo z NAJAVO LETA (glej OBRAZCI zgoraj).

Geografsko področje v osnovi našteva vse objekte, ki po stari zakonodaji predstavljajo področje letenja razreda III:

- na področju ožjih urbanih con (npr. središča mest, naselja, kraji) ob pogojih iz prejšnje alineje in ob morebitnih dodatnih pogojih, ki jih določi samoupravna lokalna skupnost, ter v obsegu, ki ga določi ta samoupravna lokalna skupnost. Prepovedi in omejitve ne veljajo v posebni kategoriji, če operator sistema brezpilotnega zrakoplova izpolni pogoje iz 5. člena Uredbe 2019/947/EU in morebitne dodatne pogoje, ki jih določi samoupravna lokalna skupnost.

Geografsko področje v osnovi določi urbano cono, ki po stari zakonodaji predstavlja področje letenja razreda IV.

Geografska področja v zgornjih dveh alinejah so vrisana z dodatnim slojem »POZIDANO«, ki predstavlja zgornji dve alineji. Sloj je vnesen informativno in še vedno primarno veljajo zahteve Uredbe o izvajanju Uredbe UAS.

Geografska področja se bodo dopolnjevala v skladu s 5., 6. in 7. členom Uredbe o izvajanju uredbe UAS glede omejitev na področju državnih objektov, na območju izvajanja nalog policije, vojske ... oz. vseh področjih, kjer bo z drugimi predpisi določeno, da je letenje omejeno/prepovedano (CAA, 2022).

6.4 UPORABA BREZPILOTNIKOV V NAMEN VZDRŽEVANJA DV

Različna podjetja imajo tudi različne vizije na pristope k vzdrževanju sredstev. BPL je kot pretežno nova oblika orodja v namene vzdrževanja DV v EES. Prednost je vsekakor pri ocenjevanju sredstev na težko dostopnih in nedostopnih mestih oz. terenih, kar prinaša podjetjem hitrejšo obdelavo in dodano vrednost in zanesljivost. Pri pregledu s pomočjo BPL se bistveno bolj lahko približamo vodnikom. Med drugim si lahko ob boljših verzijah izostrimo in približamo sliko kot tudi posnamemo za nadaljnjo analizo. Naj omenimo nekaj prednosti pridobivanja stanja sredstev s pomočjo BPL:

- poškodbe izolatorjev in izolatorskih verig (tudi RTP),
- temperatura DV,
- napake na omrežjih (poškodbe ptičev, razelektritve),
- vegetacija,
- razne nepravilnosti.

BPL je koristen za rutinsko vzdrževanje RTP in DV in pomoč pri planiranju vzdrževanja po odsekih. Vsekakor je tak način pregledov oz. vzdrževanja najbolj razvijajoča metoda oz. tehnologija. Predstavili bomo tri poglobitve uporabe BPL.

6.4.1 Ocena škode

Zadnje čase smo priča mnogim ujmam oz. naravnim katastrofam. V takih primerih je treba hitro opraviti pregled in oceniti škodo. Odkrivanje napak s pomočjo BPL je v takih primerih najhitrejša metoda. Neposredno smo uporabili hitro odkrivanje na DV 110 kV IVANČNA GORICA, kjer je prihajalo do kratkotrajnih prekinitev in uspešnih vklopov APV. Stanje DV smo si lahko ogledali neposredno na zaslonu. Vsekakor nam je uspelo posneti tudi nekaj slik, ki so pokazale jasen vzrok izpadov.

Raziskovalni inštitut EPRI je že zaključil analizo uporabe BPL v namene ocenjevanja škod ob pojavu neviht. BPL so imeli za zajem podatkov nameščene kamere HD. Uspelo jim je posneti jasne slike že v oddaljenosti od DV več kot 200 m. Njihovi testi so pokazali, kako je takšna metoda uporabna za distribucijska in prenosna podjetja. Prav tako smo izvedli praktičen primer tudi sami, in sicer na osnovi raziskovanja – uporabe in implementiranja uporabe BPL za koristi Elektro Ljubljana in uspelo nam je zgoraj navedeno. Po podatkih imajo na ELES, d. o. o., že pet posadk po dva člana, ki pregledujejo oz. ocenjujejo stanje na DV. Torej z uporabo te tehnologije bistveno zmanjšamo čas odkrivanja napak bodisi napak zaradi živali bodisi atmosferskih razelektritev (ELES, d. o. o., 2022).

6.4.2 Vegetacija

Vegetacija je ugotovljen pomemben dejavnik pri vzdrževanju, saj so razdalje med začetno in končno točko DV lahko tudi po več km. BPL nam omogoča hiter obhod čez večja omrežja ter spremljanje in analiziranje vegetacije čez čas. V Elektro Ljubljana nimamo vpeljanega elektronskega nadzora menedžmenta vegetacije. V ta namen je dandanes na razpolago že kar nekaj priznanih orodij. Eno izmed teh je tudi LiDAR. Ta vrsta optičnega čitalnika je v porastu po odločanju distribucij za uporabo. Sposoben je zaznati vrsto ali tip drevesa, s kakšno hitrostjo raste in zna napovedati, kako hitro bo oviral DV. Določi lahko stanje drevesa in tudi javi bolezni. Sposoben je tudi podati oceno oz. možnost nastanka požara na podlagi okolja. Poleg vsega naštetega je sposoben zaznave insektov in živali v bližini DV. To je zelo dobra aplikacija za nadzor in planiranje vzdrževanja DV, njegova uporaba je enostavna in ga lahko uporabimo v kombinaciji z BPL (Heptaair, 2022).

6.4.3 Pregledi in ocena sredstev s pomočjo BPL

Kot smo že nekajkrat omenili, je pregled DV s pomočjo BPL hiter, učinkovit in ekonomičen. Poleg tega ima začrtano pot, ki jo lahko enostavno zabeležimo. Glede na vrsto in zahtevnost pregleda je treba prilagoditi opremo, ki jo bomo uporabili. S pomočjo kakovostnih kamer BPL lahko posname najmanjše nepravilnosti na DV, kontrolna postaja na tleh pa z video kamero spremlja stanje DV. BPL omogoča hitro in zanesljivo oceno sredstva.

6.5 UPORABA BPL ZA VZDRŽEVANJE DV V TUJINI

V zadnjem desetletju sta testiranje in uporaba BPL postala vse bolj pogosta. Dovoljenja v namene testiranja je dobilo razmeroma veliko podjetij v EU in ZDA, nekaj predstavnikov pa že ima v redni uporabi BPL. V ZDA je pravila postavil FAA. Organizacija je postavila zelo stroga pravila in zakonodajo v zvezi BPL. Kljub temu je uporaba BPL smiselna. V nadaljevanju bomo predstavili predstavnika ZDA in EU.

6.5.1 Uporaba BPL v ZDA

Glede na razvoj in težnjo po hitrejšem, varnejšem, zanesljivem in težnji k zmanjševanju stroškov in povečanju učinkovitosti se je v zadnji dekadi močno povečala uporaba BPL. Tu predvsem prednjačijo Združene države Amerike. Tam so delovne skupine hitreje opravile delo in analizo s pomočjo takšnega pristopa. Pridobljene podatke, ki so zbrani na enem mestu, lahko uporabimo tudi za večkratno uporabo. Namesto uporabe drugih metod za namene pregledov in vzdrževanja sredstev, kot sta tovornjak ali plezanje na visoke objekte EES, lahko s tehnologijo BPL hitro nadzorujemo sredstva in učinkoviteje sprejemamo nadaljnje odločitve in tudi

ukrepe. Pridobljen material, ki je pridobljen, lahko znova in znova uporabimo za analize in izdelave načrta vzdrževanja v prihodnosti.

Podjetje APS (angl. *Arizona Public Service Company*, v nadaljevanju APS) je izvedlo raziskavo z namenom zagotoviti odgovore na vprašanje, ki se glasi: Ali uporaba BPL res zagotavlja nižje stroške in zagotavlja večjo varnost? Njihove ugotovitve so bile, da je treba upoštevati pravila, ki jih je pripravila FAA (angl. *Federal Aviation Administration*, v nadaljevanju FAA). Po pričakovanju so v vseh šestih primerih, na katerih so temeljile raziskave BPL, ugotovili, da gre za bolj učinkovito, varno in stroškovno bolj sprejemljiv način. Sicer so ZDA znane po zelo strogih pravilih in dejstvo je, da so po letu 2017 s spremembo zakonodaje še bistveno zmanjšali stroške (Bordenkircher & Ellis, 2015).

Z rastjo uporabe BPL na drugih celinah se kaže prednost uporabe BPL. Kot smo omenili za ZDA, je FAA postavila pred letom 2017 sorazmerno težko zakonodajo. Distribucijska podjetja so lahko uporabljala BPL na dva načina, in sicer, da kupijo BPL in najamejo inštruktorja, ki bo izobrazil kader za uporabo BPL. Druga možnost je, da najame podjetje, ki že nudi storitve, povezane z BPL. Podjetje APS se je odločilo za najem drugega podjetja. S tem so si prihranili čas in denar z izobraževanjem in stroškom nakupa BPL. Raziskava je bila razdeljena na šest področij:

- pregled DV,
- menedžment vegetacije,
- ocenjevanje škode požara/neviht,
- pregled sončnih elektrarn,
- posnetki RTP,
- novogradnje.

Podjetje je za izračun in kategorizacijo stroškov za izvedbo na vseh šestih področjih raziskovanja seštelo stroške plač, potnih nalogov, stroške vozil, vključno z zavarovalninami, vzdrževalnimi in preostalimi stroški. Podatek je prikazan v tabeli.

Primer uporabe	NETO sedanja vrednost (triletna korist v \$)
Pregledi DV	\$375.000,00
Pregledi MSE	800000 do 1,45 M\$
Pregledi RTP	\$80.000,00
Novogradnje	\$40.000,00
Menedžment vegetacije	\$10.000,00
Ocenjevanje škode požar/nevihte	\$26.000,00

Tabela 9: Analiza stroškov in koristi uporabe BPL
(Vir: Regulatory Analysis, 2022)

V analizi so vključeni končni stroški in korist opravljanja s pomočjo uporabe obeh metod. Ostale koristi, ki so jih pridobili po tej metodi, kot so varnostne koristi, zajem kakovostnih slik in posnetkov, niso predmet te analize. Predstavljeni so kot kakovostna podlaga. Sodelovali so tudi strokovnjaki na področju BPL, ki nudijo storitve pri ocenjevanju in zbiranju stroškov za posamezni primer (Regulatory Analysis, 2015).

Ena največjih energetske družbe v ZDA in z več hčerinskimi podjetji ima več kot 3,6 milijona odjemalcev EE. Postati želi tudi vodilno podjetje pri uporabi BPL. Za to so se odločili zaradi varne, stroškovno učinkovite in kontrolirane metode vzdrževanja in pregledovanja DV na težko dostopnih območjih. Prav njim je FAA med prvimi podelila licenco oz. si je družba zagotovila dovoljenje za uporabo BPL. FAA je določila lokacijo za testiranje BPL v namene ugotavljanja upravičenosti uporabe in stroškovno učinkovitost. Med drugim so vzporedno tudi ugotavljali prednosti uporabe in kakšen je vpliv na preventivno vzdrževanje, kar bi lahko pozitivno vplivalo na zanesljivost delovanja EES, ker morajo biti DV redno vzdrževani in ker obstaja velika možnost nastanka vse mogočih poškodb. Eni večjih tovrstnih problemov so gnezdenje ptic, atmosferske razelektritve in tudi vandalizem, ki je zadnje čase popularen tudi v Sloveniji (novomeško območje). Taka oblika vzdrževanja zagotavlja večjo varnost monterjev, izboljšuje zanesljivost delovanja EES ter zmanjšuje čas in stroške vzdrževanja (Tyburski & Gates, 2015).

Na podlagi ugotovitev študij ugotovimo, da se pregledi DV lahko izvajajo in opravijo v zelo kratkem času in da ima tovrstna dejavnost minimalen vpliv na okolje. Kot enormen prispevek k varnosti monterjev je organizacija za varnost in zdravje (angl. *Safety & Health Administration*) sprejela zakon, ki delavcem v določenih okoliščinah preprečuje vzpenjanje in pregled določenih infrastruktur. Tako so v podjetju Eversourca, namesto da bi kršili pravila, uvedli način pregleda s pomočjo BPL. (Tyburski & Gates, 2015).

Obseg in zajem študije:

Kontrolna postaja, ki jo ima monter ves čas pri sebi, vključuje konzolo z računalnikom in z video zajemom. Konzola sama ima vgrajeno daljinsko upravljanje s tehnologijo GPS in premikajoči del, imenovan BPL, z maksimalno težo ob vzletu pribl. 2,5 kg. Enota je opremljena s kamero in GPS pozicioniranjem. Samodejno preko povezave pošilja video neposredno na konzolo, ki jo ima monter ob sebi. Avtonomija BPL se giblje v povprečju slabih 30 min v zraku. Opravljenih je bilo več kot 200 poletov, metoda pregledov DV pa se je izkazala za varno in učinkovito. Monterjem ni treba plezati na SM in za potrebe pregleda ni treba uporabiti nepotrebne varnostnega izklopa DV. Slika spodaj prikazuje enega od mnogih BPL na trgu.



Slika 21: BPL za pregledovanje DV
(Vir: E – Smart Systems, 2022)

6.5.2 Primer in praksa finskega modela vzdrževanja s pomočjo BPL

Na Finskem so pristopili malenkost drugače in ponudili na trg edinstveno rešitev avtomatskega pregledovanja DV z uporabo BPL. Podjetje Sharper Shape je ustvarilo znamko Next Eagle®. Na spodnji sliki sta prikazana BPL in konzola, s katero je mogoče zajemati podatke, pridobljene neposredno iz BPL.



Slika 22: Konzola in BPL
(Vir: Power Line Inspection, 2022)

Isto podjetje je danes razvilo in nadgradilo obstoječ sistem in se prilagodilo potrebam upravljavcem EES. Nov sistem se imenuje ADI (angl. *Automated Detailed Inspection*). Ta rešitev močno zmanjšuje stroške pregleda in vzdrževanja DV. BPL je opremljen z laserjem LiDAR, kamerami in varnostnim letalskim sistemom. Zmožen je letenja na daljše razdalje in tudi zunaj vidnega polja. Laser obdela celotno traso letenja in izdela 3D model (območje, kjer poteka DV). Posname tudi infrastrukturo DV, gozdove in vegetacijo. Omogoča zbiranje raznih podatkov, ki se uporabljajo za identificiranje in zmanjševanje tveganja o odločanju o načinu vzdrževanja DV (Best Drones of power line inspection, 2022).

Podatki se zbirajo neposredno na strežnikih Sharper Shape, kjer se analizirajo. Posamezna sredstva dobijo oceno tveganja, ki so jim izpostavljena. Analiza nato avtomatsko predlaga ukrepe za optimizacijo vzdrževanja ter načrt vegetacijskega menedžmenta. Ukrepi in načrt so prikazani tako, da podjetje nenehno zmanjšuje stroške vzdrževanja. Skupni rezultati testiranja BPL so potrdili ekonomsko upravičenost in učinkovito metodo vzdrževanja DV in RTP. Ekipe so potrdile, da z uporabo BPL in takšnim sistemom lahko pričakujemo od 30 do 50 % nižje stroške pregledov. Vsekakor se sistem časovno nadgrajuje in izpopolnjuje (Best Drones of power line inspection, 2022).

6.6 UPORABA BPL V SLOVENIJI

Na žalost je v Sloveniji zanimanje in uporaba BPL za namene pregledov in vzdrževanja kljub pozitivnim povratnim informacijam iz tujine, kjer to tehnologijo uporabljajo že kar nekaj let, redka. Rezultati iz tujine so več kot prepričljivi. Eno izmed podjetij, ki se je odločilo in izkazalo zanimanje za tovrstne preglede, je podjetje ELES, d. o. o., sistemski operater prenosnega omrežja. Družba je bila ustanovljena leta 1991 in takrat ji je RS z zakonom podelila vlogo javne gospodarske družbe za prenos, nakup in prodajo EE na prenosnem omrežju (ELES, d. o. o., 2022).

Podjetje ima nalogo, da skrbi za nemoten, varen in zanesljiv prenos EE in ohranja nekakšno ravnotežje med porabljenimi in proizvedenimi EE. Lahko jih poimenujemo tudi varuhi slovenskega EES, ki je v tesnem sodelovanju s sistemi sosednjih držav. Njihova prioriteta naloga je gradnja, nadgradnja obstoječih in vzdrževanje ter razvoj 400, 220, 110 kV prenosnega omrežja (ELES, d. o. o., 2022).

Pred časom so s pomočjo dveh slovenskih podjetij izvajali pilotni projekt, s katerim so želeli ugotoviti, kakšne so možnosti za zmanjševanje stroškov vzdrževanja z uporabo te tehnologije. V ta projekt so bila poleg Elesa vključena še Avteh, d. o. o., in Modri planet, d. o. o. Skupaj so razvijali implementacijo BPL, s katerim bi se uspešno izvajali nadzori in pregledi DV in RTP.

Ocenili so naslednje ugotovitve, povezane z uporabo BPL v slovenskem prostoru za namene pregledov EES. Večkrat je bilo poudarjeno, da je potreben stalen nadzor in s tem povezani tudi redni oz. periodični pregledi elementov v EES. Na področju pregledov in nadzora nad sredstvi v EES Elektra Ljubljana se doslej in se še vedno večinoma uporablja klasičen pregled, tj. pregled s tal, oz. vizualni pregled na način hoje ob in pod traso DV. Občasno se je treba tudi povzpeti na SM oz. DV.

Pri napravi, ki je nameščena na BPL in prikazuje sliko v HD (angl. *High definition*) tehnologiji, je bilo moč opaziti tudi pomanjkljivosti in okvare, ki jih pod nobenim pogojem ni bilo moč videti na klasičen način. Naprave so temu tudi namenjene. Vsaka naslednji pregled oz. vsaka naslednja uporaba BPL je pokazala nadaljnje možnosti

odkrivanja kritičnih mest na SM in daljnovodnih vodnikih in izolatorskih verigah. Z napredkom tehnologije in razvojem v kartiranju so se stvari začele razvijati v tehnologijo 3D (tridimenzionalno). Eden pomembnejših produktov, ki se pojavlja na trgu, je LiDAR. Sistem izriše posneto traso DV v 3D modelu. Obenem se določajo točke položaja v prostoru. Pri takem snemanju se postavijo tako imenovane tarče, ki so locirane z GPS-oddajnikom. Ko se snema trasa DV, se obenem posnamejo tudi te točke in tako nastane 3D model trase, kar je precej bolj enostaven sistem in predvsem cenejši od 3D modeliranja in posnetkov s pomočjo helikopterske ekipe in kamere LiDAR.

Pomemben dejavnik pri dobrem vzdrževanju DV je tudi spremljanje prirastka vegetacije pod koridorji DV. Tudi to je moč izvesti s posebnimi kamerami in kartiranjem. Menedžment vegetacije je torej dobrodošel pri planiranju posekov.

Napake se ne dogajajo samo zaradi vandalizma, živali, atmosferskih razelektritev in dotikov drevja. Posebno vlogo igrajo napake zaradi pregrevanja spojev oz. slabih spojev. To so kritične točke, na katerih pogosto prihaja do napak na omrežju. BPL lahko nosi tudi termovizijske in korona kamere (UV-kamere). Na ta način lahko na dokaj enostaven način lociramo napako oz. okvaro in tudi v odprtozračnih stikališčih, ki jih imamo pogosto v RTP in RP objektih. Ta vrsta napak je človeku nevidna in je težje zaznavna. Tipična taka napaka, ki jo lahko s korona kamero zaznamo, so prebiti izolativni deli, nepravilno nameščeni deli in iztrošen material.

Pomembno je shranjevanje in obdelava takšnih podatkov, saj za načrtovanje odprave pomanjkljivosti in okvar največkrat skrbno pridobljeni in evidentirani podatki odigrajo ključno vlogo (SharperShape, 2020).

6.6.1 Uporaba BPL

Sčasoma je kontrola oz. upravljanje z BPL postalo dokaj enostavno. Sama naprava ima vgrajeno funkcijo »domov« (angl. *Home*) in ob izgubi naprave iz vidnega polja ali pa tudi iz drugačnih razlogov lahko pokličemo BPL v vsakem trenutku in se vrne na izhodišče.

Sam potek akcije oz. pregleda poteka na način, da se ekipa pripelje v neposredno bližino koridorja DV. BPL ima avtonomije za pribl. 30 min. Napravo je treba v vsakem trenutku imeti v vidnem polju. Posadka za opravljanje šteje dva člana. Prvi opravlja BPL, drugi je opazovalec. Opazovalec in pilot sta lahko na povsem različnih lokacijah. Vsekakor je prednost takšnega pregleda krajši interval in zmanjšanje neposredne nevarnosti za monterje, ki bi se tako morali povzpeti na SM. Pomembna prednost je tudi zajem slikovnega materiala. BPL so zelo stabilni glede na helikopterje in zajem slike s tal. S klasično helikoptersko analizo se BPL lahko znatno bolj približa opazovanemu objektu. Za ljudi, ki opravljajo pregled, pa ne predstavlja nobenega

tveganja. Vpliv na okolje je tudi pomemben dejavnik. Pri pregledih s helikopterjem je izpust izpušnih plinov, veter, hrup znatno večji kot pri uporabi BPL. Slabost je avtonomija pregleda, saj smo omejeni na relativno kratek interval pregleda z enim polnjenjem. Prav tako je slabost, da je treba imeti napravo ves čas poleta v vidnem polju. Človek je sposoben normalno opravljati BPL na kilometer zračne razdalje. Zato so premiki od lokacije do lokacije nujni. Pregledi na klasičen način in pregledi s pomočjo BPL se torej dopolnjujejo in si niso konkurenčni. Vsi načini imajo svoje prednosti in svoje slabosti. Stroškovno gledano so študije že pokazale bistveno cenejše preglede in hitrejše odkrivanje pomanjkljivosti in napake v EES s pomočjo BPL.

BPL so se izkazali tudi v tujini ob naravnih katastrofah, kot je žled, in ob nujnih intervencijah. Uporaba BPL je upravičena na mestih, kjer pregleda DV ni mogoče izvesti na klasičen način, ob težko dostopnih mestih in tudi tam, kjer so večkrat možne naravne katastrofe.

6.7 ANALIZA PODATKOV, ZAJETIH S POMOČJO BPL

Na podlagi zadnje konference, ki je bila izvedena v začetku leta 2022, in raziskave ENTSOE, je bilo razbrati, da v Evropi TSO uporabljajo analiziranje in zajemanje podatkov s pomočjo BPL. Zajeti podatki so bistveno pripomogli k odkrivanju napak na omrežju in opremi. BPL so jim predvsem v pomoč pri odkrivanju napak, ki bi sicer ostale skrite očem. Z BPL se lahko približamo na manj kot 10 m razdalje in si s tem omogočimo pregled stojnih mest in daljnovodnih vrvi s pomočjo senzorjev, nameščenih na BPL. Pridobljene podatke uporabimo za analize, ki se lahko opravijo neposredno na terenu kot tudi na sedežu podjetja, ki opravlja pregled. Zajemanje podatkov je po študijah, opravljenih do sedaj, kar do 200 % hitrejše od klasičnega pregleda in lahko zagotovi vpoglede na opremo ne glede na teren. Medtem ko se ekipe na tleh spopadajo s pregledi DV v močvirjih, mokriščih, neprehodnem podrastju, skalnih grebenih, rekah in pritokih, jih BPL nemoteno preletavajo in zbirajo podatke, potrebne za analizo stanja poljubnega DV oz. sredstva. Tako zbrani podatki se navadno naložijo na različne platforme, ena izmed njih je tudi Hepta Airborn. Načeloma platforme omogočajo uporabo različnih vnosov za preglede, kot so:

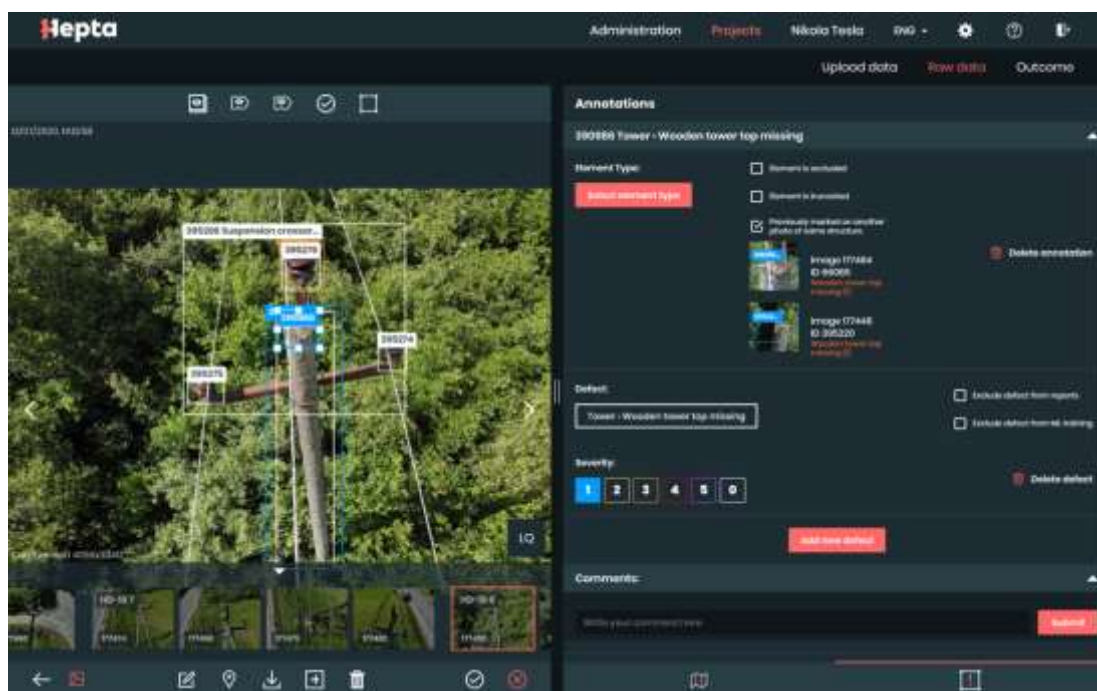
- RGB-analiza,
- analiza podatkov LiDAR,
- IR-analiza. (Heptaair, 2022).

6.7.1 RGB-analiza zajema podatkov

Temelji na zajemu slik oz. fotografij, ki so jih med fazo zbiranja podatkov posneli BPL. Tako operaterji distribucijskih sistemov (DSO) kot tudi operaterji prenosnih sistemov (TSO) uporabljajo fotografije RGB za odkrivanje napak, ki bi jih sicer težko odkrili s

tal. Inšpekcijskim skupinam BPL omogočajo pogled od zgoraj navzdol na SM in daljnovidnim vrvm, s čimer dobijo popoln pregled nad stanjem sredstva. Poleg tega uporaba BPL za zbiranje podatkov omogoča ekipam za pregled DV, da se približajo vrhu SM in posnamejo slike v HD kakovosti.

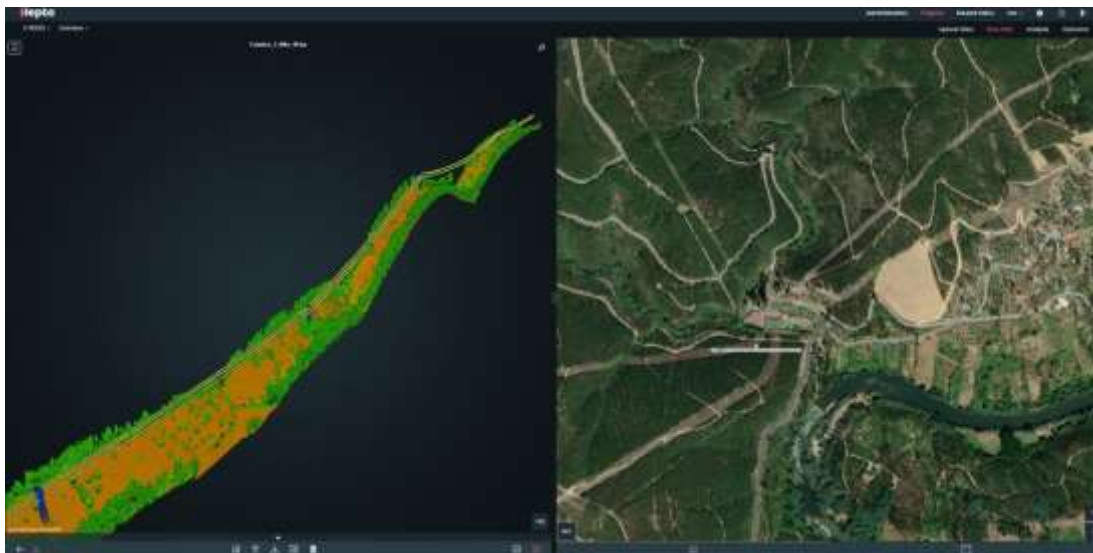
Fotografije natančno pregledajo strokovnjaki, ki so usposobljeni za preglede DV ali pa jih analizirajo s pomočjo programa, ki zajema fotografije, in algoritmov strojnega učenja v uBirdu. S pregledom slik bodo strokovnjaki ročno vnesli in označili ugotovljene napake. Načete vrvi, umazani izolatorji, korozija, rja na detajlih, odkrušeni in počeni izolatorji – to je le nekaj napak, ki jih najpogosteje zaznamo na fotografijah RGB. Pregledi in analiza podatkov zajetih slik se vedno izvajajo po potrebah operaterja elektroenergetskega omrežja. Možna je seveda tudi strojna obdelava podatkov, ki je bistveno hitrejša. To pomeni, da bodo algoritmi strojnega učenja temeljili na operaterjevih podatkih, njihovih sredstvih in iskali napake, ki operaterja najbolj zanimajo. Ne glede na način obdelave pridobljenih podatkov za analizo bo na koncu operater dobil podroben pregled nad stanjem sredstev oz. omrežja (Heptaair, 2022).



Slika 23: Analiza HD-fotografije s pomočjo Hepta Airborn aplikacije
(Vir: Hepta, 2022)

6.7.2 LiDAR analiza podatkov

LiDAR – okrajšava za »Light Detection and Ranging« – je metoda daljinskega merjenja s pomočjo pulzirajočih laserskih žarkov. Žarki se iz naprave proti objektu (sredstvu) premikajo s svetlobno hitrostjo in odbijajo od predmetov pod LiDAR sprejemnikom. To omogoča izračun razdalje na podlagi časa, v katerem se ti žarki odbijejo od predmeta. Med postopkom kartiranja vsak odbiti žarek dobi točko z izračunano višino. Združevanje točk (pribl. 400 na m²) omogoča izdelavo točkovnih kart in s tem 3D modelov pregledovanega območja. Podatki LiDAR so izjemno natančni in omogočajo natančne meritve, ki se uporabljajo za kartiranje terena. Analiza točkovnih zemljevidov LiDAR omogoča upravljavcem omrežij, da odkrijejo zaraščeno vegetacijo v bližini ali pod DV. Omogoča tudi predvidevanje, katera drevesa bi se lahko v prihodnosti začela nevarno nagibati ali ob močnejših nevihtah padla na DV. To omogoča pregled nad preventivnimi ukrepi, kot so: čiščenje podrasti (vegetacije) in podiranje dreves, preden začnejo motiti ali prekinjati dobavo EE. Poleg vsega naštetega se LiDAR uporablja tudi za analizo povešanj DV vrvi. Vrvi so podvržene povešanju zaradi obremenitve in zaradi vremena. Povešanje DV vrvi povzroča požare na mestih, ko pride vegetacija v stik z vodniki pod napetostjo. Prav tako so pretirani povesi DV vrvi grožnja za dotik kmetom, ki so dejavni na površinah pod koridorji. Z analizo LiDAR je ob pridobitvi podatkov točk mogoče povese enostavno zaznati, izmeriti in poročati (Heptaair, 2022).

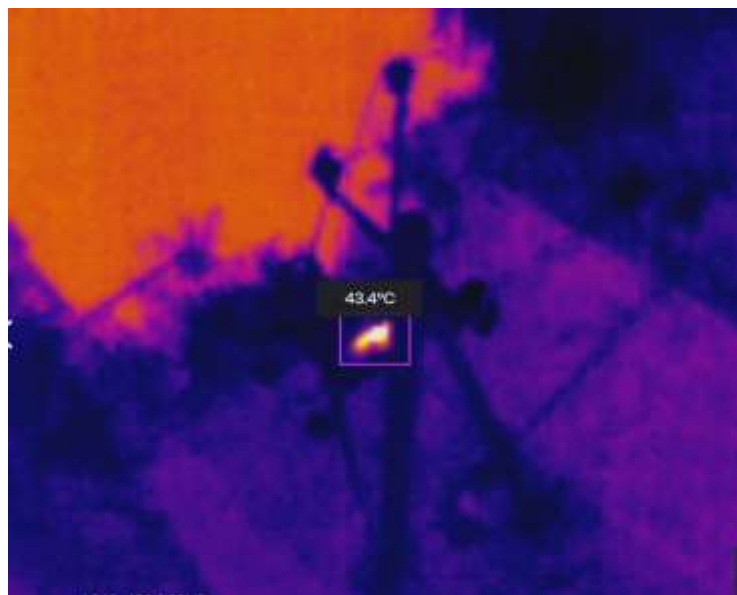


Slika 24: LiDAR analiza zajema točk sredstva
(Vir: Hepta, 2022)

6.7.3 Uporaba zajema IR-slik s pomočjo BPL

Uporaba zajema IR-slik se najpogosteje uporablja oz. izvaja za odkrivanje pregretyh elementov in delovanje korone. IR-podatki se pridobivajo in zbirajo s termovizijskimi kamerami na dronih.

Pregrety elementi so jasen znak možne okvare sredstva v bližnji prihodnosti in jih je treba nujno odpraviti. Zaznavanje pregretyh elementov omogoča distribucijam oz. operaterjem omrežij, da sprejmejo preventivne ukrepe in se s tem ognejo izpadom EE in izpadom omrežij. Pri tej analizi je enostavno zaznati pregrevaljoče elemente, saj so veliko bolj vroči od okoliških delov in zato na toplotnih slikah močno svetijo (Heptaair, 2022).



*Slika 25: Pregrevanje elementa na SN DV
(Vir: Hepta, 2022)*

6.8 SWOT-ANALIZA BPL

6.8.1 Analiza SWOT na splošno

Izmed analiz je analiza SWOT ena od najpogosteje uporabljenih in popularnih metod v sklopu poslovnih ved. Imenujemo jo tudi matrika PSPN v slovenski terminologiji. Je izjemno koristna pri apliciranju nase ali katero povsem drugo osebo kot tudi na vse ravni poslovanja, produkta, serijo produkta, podjetje ipd. Pri analizi SWOT si pogledamo oz. analiziramo štiri vidike, in sicer prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti. Namen analize je pomoč pri strateških odločitvah, kam usmerjati poslovanje, katere programe naj opustimo ali jih ojačamo.

Najprej se lotimo razmejevanja med prednostmi in slabostmi, v drugem koraku pa še priložnosti in nevarnosti. Prva dva vidika se nanašata na notranje dejavnike, druga dva pa na zunanje. Razlika se kaže, da pri notranjih dejavnikih lahko vplivamo, medtem ko na priložnosti in nevarnosti, ki se nanašajo na zunanje dejavnike, ni mogoče vplivati. Možno je le prilagajanje.

Prednosti na dosego določenega cilja vplivajo pozitivno in se nanašajo na notranje dejavnike. V delu poslovanja, kjer smo močnejši od konkurence, se počutimo močnejše in predstavljajo pomembno strateško prednost pred konkurenco. Jedrna kompetenca je zelo pomembna prednost. V prednosti je smiselno konstantno vlagati in ohranjati korak pred konkurenco. Primeri prednosti so tudi določene veščine, tehnična znanja, tehnologija, distribucijski kanali, blagovna znamka, kakovost.

Slabosti so šibkost. Vidne so predvsem tam, kjer so vidne izboljšave in kjer smo ranljivi. V primeru analize SWOT konkurenčnega podjetja jih želimo premagati, biti boljši od konkurence. Slabosti kategoriziramo v tri kategorije, in sicer v prvo (1) resnično kritične za dolgoročni uspeh. To so tiste slabosti, ki jih je nujno treba odpraviti ali pa obrniti sebi v korist. Druga (2) kategorija so slabosti, ki jih je treba minimizirati do mere sprejemljivosti. Te slabosti niso bistvene, ampak še vedno zadosti pomembne, da se odpravljajo. Tretja raven (3) so slabosti, ki jih lahko črtamo. To so pomanjkanje ugleda, kakovost produkta, prenizka marža itn.

Priložnosti so del analize, na katere ima vpliv in se nanaša na elemente izven našega dosega. Načeloma so to novi trendi, večje spremembe. Nanašajo se na politične, geografske, ekonomske in socialne idr. trende. Meja med priložnostmi in nevarnostmi je blizu, saj so lahko priložnosti tudi nevarnosti. Obenem nam priložnosti lahko pomagajo kot vzvod, in če jih izkoristimo, napredujemo hitreje, naredimo bistveno več v krajšem času. Primer so tranzicija, sprememba kupne moči, infrastruktura, sprememba v davkih.

Nevarnosti so najbolj pereča zadeva v analizi in predstavlja negativen vpliv, proti kateremu nismo močni. Preostane nam samo prilagajanje. V skrajnostih to pomeni tudi spremembo posla. Pomembna je identifikacija nevarnosti in izdelava strategije, kako bomo reagirali ob uresničevanju nevarnosti. Nevarnosti so sprememba zakonodaje. Uvedba evra je bil en primer za menjalnice. Povzročila je zviševanje davka, vstop novega močnega konkurenta, neplačnike.

Končna strategija je, da gradimo na prednostih, odpravimo pomanjkljivosti, izkoristimo priložnosti ter se izognemo nevarnostim.

Analizo SWOT lahko torej apliciramo na katero koli področje in zato je tako široko uporabna. Je izjemno lahko razumljiva in uporabna, če naredimo osebno analizo SWOT in tako naredimo strateško usmeritev svojih talentov na trende, ki so prisotni v

okolici. Analiza SWOT je sestavni del poslovnega načrta. (Blaž Kos, inhouse consulting, 2022).

6.8.2 Analiza SWOT uporabnosti BPL

PREDNOSTI	SLABOSTI
Cenejša metoda, hitrejša izvedba, bistveno večja varnost za ljudi, kvaliteta pridobljenih podatkov, okolju bolj prijazna metoda, dela se lahko izvajajo pod napetostjo, letenje na bistveno manjši razdalji od DV.	Še nerazvit trg, sorazmerno neznana tehnologija, majhna avtonomija, zakonodaja, slabša mehanska odpornost BPL.
PRILOŽNOSTI	NEVARNOSTI
Hibridni BPL, nepokrit trg, večja vzdržljivost (avtonomija), preračunavanje logičnega poteka del, zaznavanje stanja sredstev, vsestranska uporaba, hiter razvoj, popolna avtomatizacija vodenje letenja.	Stroga zakonodaja, neopredeljena zakonodaja, nepravilna uporaba BPL, kršenje parvil oz. zakonodaje, razni vdori v zasebnost prebivalstva.

Tabela 10: Analiza SWOT
(Vir: Lastni vir)

Prednosti BPL

Glede na sposobnost gibanja se lahko pomika BPL vodoravno ali vertikalno, gledano glede na DV. Torej se lahko giblje prostorsko. Sorazmerno enostavna je uporaba preko konzole. BPL je daljinsko voden z možnostjo vračanja na izhodišče. Nudi možnost vgradnje mnogo različnih tipal ali senzorjev za pregledovanje in vzdrževanje DV. Bistvena prednost je v tem, da lahko izvajamo aktivnosti, ne da bi morali izklopiti DV ali RTP. Torej lahko delamo v normalnem obratovalnem stanju.

V primerjavi z omenjenimi roboti, kot sta že omenjena talni robot in robot na žici, je pregled oz. vzdrževalno delo z BPL v precejšnji meri hitrejša in veliko enostavnejša izvedba dela. Talni roboti niso primerni za zahtevnejše terene, medtem ko je robot na žici primeren za preglede vodnikov za lažje in težko dostopne terene. Namestitev takšnih robotov je v primerjavi z BPL še vedno bolj zapletena.

Spodnja tabela prikazuje primerjavo med dvema klasičnima metodama in pregledom s pomočjo BPL. Obe metodi sta še vedno v uporabi.

Prednosti BPL v primerjavi s klasično metodo plezanja na DV	Prednosti BPL v primerjavi s helikopterskim pregledom DV
Cenejša metoda	Okolju bistveno bolj prijazna
Hitrejše in bolj pogosto pregledovanje in vzdrževanje DV	Cenejša metoda in hitrejša izvedba
Večja varnost delavcev	Večja varnost delavcev
Bistveno lažji dostop za opravljanje pregledov DV	Manj hrupa

Tabela 11: Prednosti vzdrževanja z BPL pred helikopterskim pregledom in metodo s plezanjem
(Vir: Lastni vir)

Zgoraj so našteje štiri (4) poglobitvene prednosti uporabe te metode. V primerjavi s helikopterskimi pregledi je prednost v tem, da so priprave krajše in izvedba pregledov mnogo hitrejša. Posadka v helikopterju potrebuje za pripravo in pregled plovila pred vsakim vzletom znatno več časa kot na primer BPL. Tudi posadka je bolj številčna, kakor jo potrebujemo za kontrolo BPL. Druga prednost je okoljevarstveno sprejemljivejša metoda uporaba BPL kot klasična metoda s helikopterjem. Gorivo, ki ga porablja helikopter, je fosilne narave, medtem ko se BPL napaja preko baterij. Sama izvedba pregledov s helikoptersko posadko je precej glasna in moteča za gozdne živali in ljudi. Pregled z BPL pa je skorajda neslišen, oddaja le slabo slišno brenčanje.

Za uspešen pregled s plezanjem (klasičen način pregleda) mora biti na razpolago nekaj monterjev, usposobljenih za varno plezanje na drog. Za varno letenje BPL sta potrebna le dva. Za potrebe pregleda s plezanjem je nujno treba izvesti varnostni izklop DV. Pred začetkom se vedno izvedejo vsi zavarovalni ukrepi, nato sledi dejanski pregled vodnikov in opreme. Ob uporabi BPL nam je vse to olajšano. Plezanje na drog ali SM je težavno in zamudno, vsekakor tudi precej nevarno in izpostavljeno nezgodam. Uporaba BPL torej prinaša ogromno priložnosti pred klasičnim pregledovanjem DV.

Slabosti BPL

Največjo slabost BPL predstavlja njihova avtonomija. V povprečju so sposobna opravljati svoje delo v zraku pribl. 30 min. Nekateri boljši in seveda tudi dražji BPL so sposobni leteti tudi do nekaj ur. Avtonomijo pogojujeta tudi vreme in začetna teža. Med slabosti bi lahko prištevali tudi nepoznavanje te tehnologije v distribuciji, saj lahko še vedno govorimo, da je tovrstna tehnologija v razvoju. Med slabosti štejemo tudi

hrup, ki ga oddaja BPL, vendar je treba poudariti to, da je bistveno manjši kot s posadko in helikopterjem. Ob napakah operaterja ali napaki na sistemu vodenja BPL prihaja do mehanskih okvar oz. poškodb.

Priložnosti

Investiranje v razvoj BPL je vedno večji. Zanimanje za uporabo po BPL postaja vedno bolj intenzivno. Razvoj te tehnologije je izjemno hiter. Razvoj optične tehnike je bliskovit in na trgu se pojavljajo vedno več novih podjetij, ki ponujajo BPL in opremo zanje. Bistven pomen pri vzdrževanju DV iz zraka je obsežnost tehnologije, ki se uporabi, in sama izvedba ter avtonomija letenja. Raziskave in prakse nam kažejo, da je avtonomija posadke in helikopterja nedvomno najboljša. BPL odlikuje manjša zahtevnost, vendar je avtonomija najslabša. Po sklepanju sodeč, bi bila najboljša rešitev nekje vmes med helikopterskim pregledom in pregledom z uporabo BPL oz. med manjšo kompleksnostjo in boljšo avtonomijo. Razvoj opreme za BPL je dohitel in prehitel razvoj opreme, namenjene helikopterskemu pregledu. Raziskave kažejo, da se pripravljajo tudi projekti v Sloveniji, kjer bodo BPL leteli popolnoma avtomatizirano. Letenje bo potekalo na način samodejnega izmikavanja oviram in samodejnega zajemanja posnetkov vodnikov in ostale opreme vzdolž DV. Tako bo mogoča hitrejša obdelava in zaznavanje po potrebi revizij, ki se bo izvajala na pregledanem sredstvu.

Poudariti je treba, da BPL ne uporabljamo samo v namene pregledov in vzdrževanja. Uporabni so tudi na drugih področjih, in sicer v kmetovanju, gašenju požarov, iskanju oseb itd.

Nevarnosti, povezane z uporabo BPL

Pravila, zakonodaja, pravilniki in podobno so nevarnosti, ki spremljajo uporabo BPL, ne samo v Evropi tudi drugod po svetu. Omenili smo že pravila, ki veljajo v ZDA in so zelo stroga. FAA prepoveduje letenje ob slabem vremenu, med krošnjami dreves. Vse to zelo omejuje uporabo BPL v kakršne koli namene. Pomemben dejavnik, ki zadeva tudi preglede DV, je pravilo, ki veli, da je treba izvajati polete v dvojicah. Letalnik je treba imeti vedno v vidnem polju. Največja dovoljena višina je 120 m. Pravilniki se po svetu spreminjajo. Spremembe lahko pričakujemo tudi v Sloveniji v korist elektro distribucijskim podjetjem. Različni testi v več državah kažejo in spodbujajo tudi k spremembam na zakonodajni plati, saj je ta tehnologija predvsem dobra v smislu čim manjšega obremenjevanja ljudi, industrije in infrastrukture transporta z mnogimi preventivnimi izklopi v namene pregledov. Poglavitno nevarnost in skrb vzbujajoči problem predstavlja nepravilna uporaba, saj z rastjo prodaje BPL v komercialne namene narašča tudi možnost raznih nesreč. Ni le zadosti omejevanje višine leta. Problema se je treba lotiti korenito in z ozaveščanjem operaterjev s pravili. Nepravilna uporaba lahko ogrozi mnoga življenja na komercialnih letih oz. rednih letalskih linijah.

7 ZAKLJUČEK

Menim, da je uporaba BPL v namene vzdrževanja, pregledov, identifikacije problemov in termovizije sklopov še kako uporabna in zelo dostopna tehnologija. Je zelo učinkovita metoda odkrivanja pomanjkljivosti in okvar v EES. Bliskoviti razvoj BPL, ki je bil podprt z različnimi investicijami, je prinesel bolj široko uporabo te tehnologije in počasi izpodriva klasične preglede s helikopterji in posadko. Nikakor se ne da nadomestiti klasičnega pregleda monterjev z obhodom DV. Na podlagi raziskave in uporabe na primerih lahko zagotovo potrdim upravičeno uporabo BPL v namene vzdrževanja v distribuciji kot tudi v prenosnem omrežju. Tehnologija je koristna tudi pri odkrivanju napak v RTP/RP objektih. Poudariti je treba varno uporabo v smislu, da njihova uporaba ne ogroža neposrednih nevarnosti dotika VN-vodnikov in položaja opraviljavca BPL na varni razdalji, kjer ni nevarnosti električnega udara.

Izkazalo se je, da je takšen način pregleda DV najvarnejši. Poudariti je treba uporabnost v hribih in področjih, kjer so vrtače. V pomoč so lahko tudi ob koridorjih, kjer DV prečka večje potoke ali reke. Pogojno so uporabni ob razmeroma slabem vremenu, saj lažji BPL v slabih, predvsem v vetrovnih razmerah težko vzdržujejo pozicijo in bi ob trku vodnik lahko izgubili oblast nad BPL. S tem bi ogrozili varnost in povzročili škodo na BPL in njegovi opremi. To pa prinese nepotrebne stroške, ki si jih nihče ne želi.

Metoda uporabe BPL je trenutno najhitrejši in najvarnejši način pregledovanja DV. Ostale metode so počasnejše in sorazmerno manj natančne. Poleg tega je zajem podatkov bistveno večji kot s klasičnimi pregledi. Fotografija je danes napredovala v tolikšni meri, da že z manjšimi kamerami lahko posnamemo zelo kakovostne slike. Prav tako so majhni fotoaparati sposobni približevanja in fokusiranja predmetov že s sorazmerno velike razdalje.

Ta tehnologija je uporabna tudi za ocenjevanje škode po ujmah. Omeniti je treba tudi menedžment vegetacije, ki je proces, ki v primerjavi s pregledi sicer vzame nekoliko več časa za analizo, ampak se uporablja material, ki je pridobljen istočasno kot s pregledi.

Ovir v Sloveniji z zakonodajo je kar nekaj. Omenil bi rad omejitve na vidno polje, saj je tako onemogočeno avtonomno gibanje BPL vzdolž DV. Omejitve uporabe je tudi nezaupanje vodilnega kadra v podjetju v to tehnologijo. To bi lahko pripisali tudi k sorazmerno mladi in neznani metodi in dejstvo je, da ta pristop k vzdrževanju ne bo nikoli povsem nadomestil obhodov osebja pod in ob koridorjih VN DV.

8 LITERATURA IN VIRI

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

Bitenc, M. (2014). Brezpilotni letalniki – od igrače do večnameskih robotov. *Glasilo zveze geodetov Slovenije*, 58(1), 155–158.

Bordenkircher, S. in Ellis, E. (2015b, 28 maj). *A Business Case for UAVs: Regulatory Analysis*, 2015b, str. 1.

Colomina, I. in Malina, P. (2014). Unmanned aerial system for photogrammetry and remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*.

DJI et al., (2020) – *Using the first time*. Pridobljeno 8. avgusta 2022 z naslova <https://supportdji.com>.

HEPTA, (2022). *Best Drones of power line inspection*. Pridobljeno 8. avgusta 2022 na spletni strani <https://heptaairborne.com/best-drones-for-power-line-inspection/>

Electric Power Research Institute – EPRI. (2014). *Test Confirm Viability of Using Drones to Assess Storm damage on Distribution Systems*. *Compact magazine*. Pridobljeno 27. 7. 2022 z naslova <https://compactequip.com/archives/airborne-drones-can-assess-storm-damage-on-distribution-systems-2/>.

Elektro Ljubljana, d.d. (2022). Interno gradivo: *Upravljanje s sredstvi*. Ljubljana: Elektro Ljubljana, d.d.

Elektro Ljubljana, d.d., (2018). Delovno gradivo s seminarja: *Teoretično usposabljanje za dispečerja*. Ljubljana: Elektro Ljubljana, d.d.

ELES, d.o.o. (2022). *90 let prenosnih poti*. Pridobljeno 13. 6. 2022 z naslova <https://www.eles.si/Portals/0/Publikacije/Brosure/Knjiga%2090let%20prenosnih%20poti.pdf>

Elizando, D. (2015b). *Robots Are coming: Current Trends*. *T&D World Magazine*. Pridobljeno 15. 6. 2022 z naslova <https://www.tdworld.com/grid-innovations/transmission/article/20965397/robots-are-coming>.

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

ENTSO-E. (2022). *Research, Development and Innovation reports*. Pridobljeno 22. junija 2022 na spletni strani <https://www.entsoe.eu/data/>.

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

Goncalves, S. R. in Carvalho Mendes, C. J. (2013). Review and Latest Trends in Mobile Robots Used on Power Transmission Lines. *International Journal of Advanced Robotic systems*, 10(4), 1–14. Pridobljeno 8. 8. 2022 z naslova https://www.researchgate.net/publication/289687691_Review_and_Latest_Trends_in_Mobile_Robots_Used_on_Power_Transmission_Lines.

Glavič, R., Lovrenčič, V. & Furlan, T. (2003). Helikopterski pregled nadzemnih vodov. Konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE ŠK 3–16, 79. Pridobljeno 23. 6. 2022 z naslova <https://www.cigre-cired.si/rezultati/>.

Guo, L. et al. 2014. *Structure Design and Stable balancing Control of a Kind of wire-moving Robot*. Pridobljeno 23. 6. 2022 z naslova <https://api.intechopen.com>.

Javna agencija za civilno letalstvo Republike Slovenije. (2020). *Zakonodaja*. Pridobljeno 7. 8. 2022 z naslova <https://www.caa.si>.

Kos, B. (2022). *SWOT analiza*. Pridobljeno 21. 7. 2022 z naslova <https://inhouse-consulting.si/swot-analiza/>.

Pagano, A. et al. 2013. *A roadmap for automated power line inspection. Maintenance and repair*. *Procedia CIRP* 12 (2013) 234–239. Pridobljeno 27. 6. 2022 z nalova <https://pdf.sciencedirectassets.com/>.

Pelko, A. (2009). Seminarско gradivo ZDES: Upravljalci energetskih naprav v elektroenergetskem sistemu.

Razpet, A. (2007). Elektroenergetski sistemi: učbenik za program Elektrotehnik in Elektronik: Tehniška založba Slovenije

Sampedro, C. et al. (2014). *Supervised approach to electric detection and classification for power line inspection*. Pridobljeno 23. 6. 2022 z naslova <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6889836>.

Sharper Shape. (2022). *Next Eagle*. Pridobljeno 18. 6. 2022 z naslova <https://sharpershape.com/automated-drone-inspection/>.

SharperShape. (2020). *Past, Present and future of power line inspection automation*. Pridobljeno 8. 8. 2022 z naslova <https://sharpershape.com/automated-drone-inspection/>.

SharperShape. (2020). *Past, Present and future of power line inspection automation*. Pridobljeno 8. 8. 2022 z naslova <https://sharpershape.com/story/the-past-present-and-future-of-power-line-inspection-automation/>.

SODO, d.o.o. (2016). *Navodila za vzdrževanje distribucijskega elektroenergetskega omrežja – verzija: 1.2, (4. april 2016)*.

T&D World. (28. 5. 2015). *The Drones Are Coming*. Pridobljeno 22. 6. 2022 z naslova <http://tdworld.com/overhead-transmission/drones-are-coming?page=2>.

Tyburski, C. & Gates, A (2015a, 28. maj). *The Drones are Coming*. T&D World

Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov. (2016). Uradni list RS 52/16, 81/16 popr. In 195/20. Pridobljeno 7. 8. 2022 z naslova <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED7317>.

U.S.NRC (2015). *Regulatory Analysis*. Pridobljeno 19. 6. 2022 z naslova <https://nrc.gov>.