

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**UPRAVIČENOST UPORABE NOVIH TEHNOLOGIJ PRI
VZDRŽEVANJU VISOKONAPETOSTNIH DALJNOVODOV:
PRIMER UPORABE BREZPILOTNEGA LETALA**

Ljubljana, december 2015

LEA GABROVŠEK

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisana Lea Gabrovšek, študentka Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, izjavljam, da sem avtorica magistrskega dela z naslovom Upravičenost uporabe novih tehnologij pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov: primer uporabe brezpilotnega letala, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem doc. dr. Matejem Švigljem.

Izrecno izjavljam, da skladno z določili Zakona o avtorskih in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, št. 21/1995 s spremembami) dovolim objavo magistrskega dela na fakultetnih spletnih straneh.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo besedilo rezultat izključno mojega raziskovalnega dela;
- je predloženo besedilo jezikovno korektno in tehnično pripravljeno skladno z navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem
 - poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam v magistrskem delu, citirana oziroma navedena skladno z navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, in
 - pridobila vsa dovoljenja za uporabo avtorskih del, ki so v celoti (v pisni ali grafični obliki) uporabljena v tekstu, in sem to v besedilu tudi jasno zapisala;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku (Ur. l. RS, št. 55/2008 s spremembami);
- se zavedam posledic, ki bi jih na podlagi predloženega magistrskega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani skladno z relevantnim pravilnikom.

V Ljubljani, dne _____

Podpis avtorice: _____

KAZALO

UVOD	1
1 UPRAVLJANJE SREDSTEV	3
1.1 Zbiranje podatkov za učinkovito upravljanje sredstev.....	6
1.2 Podpora upravljanju in vzdrževanju sredstev.....	7
2 SPLOŠNO O VZDRŽEVANJU	8
2.1 Opredelitev in razvoj vzdrževanja.....	8
2.2 Strategije vzdrževanja	10
2.2.1 Korektivno in kurativno vzdrževanje	10
2.2.2 Preventivno vzdrževanje.....	11
2.2.3 Celovito produktivno vzdrževanje	12
2.2.4 Zanesljivostno orientirano vzdrževanje.....	12
2.2.5 Računalniško podprto vzdrževanje.....	12
3 VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV	13
3.1 Načini vzdrževanja daljnovodov	13
3.1.1 Ročno pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov.....	15
3.1.2 Pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov s pomočjo helikopterja	16
3.2 Najpogostejši vzroki okvar daljnovodov.....	17
3.3 Večji izpadi električne energije v zadnjih nekaj letih	19
3.4 Nove vrste tehnologij za vzdrževanje daljnovodov	20
3.4.1 Talni roboti	21
3.4.2 Roboti na žicah	22
3.5 Trenutne smernice uporabe robotskih tehnologij in primerjava ekonomske prednosti metod dela	24
4 UPRAVIČENOST UPORABE BREZPILOTNEGA LETALA ZA VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV	26
4.1 Opredelitev brezpilotnih letal	26
4.1.1 Zgodovina brezpilotnih letal.....	27
4.1.2 Značilnost in vrste brezpilotnih letal	28
4.1.2.1 Delovanje brezpilotnih letal	30
4.1.2.2 Trg brezpilotnih letal	31
4.2 Pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal	32
4.2.1 Pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal v Združenih državah Amerike	32
4.2.2 Pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal v Evropi	33
4.3 Namen uporabe brezpilotnih letal za vzdrževanje daljnovodov	34
4.4 Začetni stroški razvoja in operativni stroški brezpilotnega letala	35
4.5 Primeri in praksa uporabe brezpilotnih letal pri vzdrževanju daljnovodov v tujini.....	37
4.5.1 Primer in praksa uporabe brezpilotnega letala v Združenih državah Amerike	37

4.5.2	Primer in praksa uporabe brezpilotnega letala na Finskem.....	41
4.6	Analiza stanja uporabe brezpilotnih letal v Sloveniji	42
4.6.1	Rezultati intervjujev udeležencev trga	42
4.6.1.1	Primer upravljanja sredstev	43
4.6.1.2	Primer vzdrževanja	45
4.6.1.3	Pilotni projekt.....	47
4.6.2	Primerjava ugotovitev intervjuja z obravnavano literaturo	48
4.7	SWOT analiza brezpilotnih letal	51
4.7.1	Prednosti brezpilotnih letal.....	52
4.7.2	Slabosti brezpilotnih letal	53
4.7.3	Priložnosti brezpilotnih letal	54
4.7.4	Nevarnosti brezpilotnih letal	56
	SKLEP	58
	LITERATURA IN VIRI.....	59
	PRILOGE	

KAZALO SLIK

Slika 1:	Aktivnosti znotraj življenjskega cikla sredstev.....	3
Slika 2:	Življenjski cikel sredstev	5
Slika 3:	Življenjski cikel podatkov znotraj upravljanja sredstev	6
Slika 4:	Metode dela pod napetostjo	15
Slika 5:	Delež okvar glede na vzrok okvare (v %).....	18
Slika 6:	Število večjih izpadov električne energije v zadnjih nekaj letih.....	20
Slika 7:	Uporaba talnega robota	22
Slika 8:	LineScout robot.....	23
Slika 9:	Rast trga BPL (v %).....	31
Slika 10:	Investicije podjetij v tehnologije BPL (v milijonih)	32
Slika 11:	BPL za pregledovanje daljnovodov	41
Slika 12:	Brepilotno letalo in kontrolna postaja znamke Next Eagle®.....	41
Slika 13:	Vloge pri upravljanju sredstev	44
Slika 14:	Priložnosti za razvoj BPL	54
Slika 15:	Področja uporabe BPL	55

KAZALO TABEL

Tabela 1:	Generacije vzdrževanja.....	9
Tabela 2:	Robotske aplikacije, namenjene vzdrževanju daljnovodov pod napetostjo	26
Tabela 3:	Vrste BPL	28
Tabela 4:	Primerjava deleža operativnih stroškov BPL z operativnimi stroški lahkega helikopterja s posadko	36
Tabela 5:	Analiza stroškov in koristi uporabe BPL podjetja APS za posamezen primer...	38

Tabela 6: SWOT analiza.....	52
Tabela 7: Prednosti BPL v primerjavi s klasičnima metodama vzdrževanja BPL	52

UVOD

Vzdrževanje daljnovodov je za običajnega porabnika električne energije neopazno, vendar ima za nemoteno dobavo električne energije bistven pomen. Zanesljivo delovanje daljnovodov je gonilo uspešnega gospodarstva. Za ohranjanje zanesljivosti delovanja daljnovodov pa je potrebno dobro upravljanje sredstev v podjetju, ki vodi do učinkovitega vzdrževanja ter s tem do uspešnega in konkurenčnega poslovanja podjetja (Aberšek & Flašker, 2005, str. 11). V primeru kratkotrajnega ali dolgotrajnega izpada električne energije pride do vrste negativnih posledic. Razlogov za to je več: lahko se pojavijo okvare na sredstvih, saj ta zaradi staranja potrebujejo redno vzdrževanje. Naravne katastrofe pa so pojavi, na katere ne moremo vplivati, zato moramo biti nanje vedno pripravljeni. Trenutno podjetja uporabljajo predvsem klasični način pregledovanja daljnovodov s pomočjo vzdrževalcev ali helikopterja s posadko. V obeh primerih je takšno vzdrževanje časovno in stroškovno potratno ter v nekaterih situacijah tudi nevarno (Sampedro, Martinez, Chauhan, & Compoy, 2014, str. 1). Upravljalci električnih omrežji so zato začeli iskati nove rešitve in pristope, ki bi avtomatizirali vzdrževanje daljnovodov. Vedno večjo vlogo pri vzdrževanju dobivajo avtomatizirani sistemi, kot so roboti. Poznamo tri ključne tehnologije robotov: talni roboti (angl. *Ground-based robots*), roboti na žicah (angl. *Wire-moving robots*) in leteči roboti (angl. *Unmanned aerial vehicles*) (Elizando, 2015a). Leaverton (2015, str. 16) pravi, da ste – če seveda zadnjih nekaj let niste živeli pod zemljo – morali opaziti, da se nahajamo sredi revolucije letečih robotov, imenovanih brezpilotna letala (angl. *unmanned aircraft system* – UAS ali angl. *Unmanned Aerial Vehicle* – UAV). Uporaba te robotske tehnologije se bo v naslednjih 10 letih močno povečala, predvsem na področju vzdrževanja omrežij. Podjetja v tej panogi zato močno investirajo v raziskave in razvoj sistema, ki bi odpravil dosedanje pomanjkljivosti in slabo ter zastarelo upravljanje sredstev (Elizando, 2015b).

Namen magistrskega dela je analizirati upravičenost uporabe novih tehnologij za vzdrževanje daljnovodov, s katerimi bodo podjetja učinkoviteje in zanesljiveje upravljala svoja sredstva. Poleg tega je namen celovito preučiti trenutno uporabo brezpilotnih letal za vzdrževanje daljnovodov ter jo primerjati z drugimi uporabnimi metodami za vzdrževanje daljnovodov.

Cilji magistrskega dela so: (1) opredeliti funkcijo upravljanja sredstev znotraj podjetja ter navesti strategije vzdrževanja, ki so danes v uporabi, hkrati pa izpostaviti pomembnost učinkovitega in zanesljivega vzdrževanja daljnovodov, (2) opredeliti pomen novih tehnologij za vzdrževanje daljnovodov ter narediti primerjavo najuporabnejših tehnologij na področju vzdrževanja, (3) s pomočjo analize SWOT preučiti uporabo brezpilotnih letal za vzdrževanje daljnovodov ter navesti njihove prednosti in slabosti, raziskati nadaljnje priložnosti razvoja ter analizirati nevarnosti uporabe brezpilotnih letal.

Vodilo magistrskega dela sta naslednji **hipotezi**: (1) Z uporabo brezpilotnih letal za

vzdrževanje daljnovodov bo varnost opravljanja vzdrževalnih del večja, delo pa bo potekalo hitreje in nemoteno. (2) Z uporabo brezpilotnih letal bodo podjetja na račun pridobivanja kvalitetnejših podatkov učinkoviteje in celovito upravljala svoja sredstva.

Metodologija raziskovanja pri pripravi magistrskega dela je temeljila tako na uporabi sekundarnih kot tudi primarnih virov. Na podlagi pregleda znanstvene literature, člankov in objavljenih publikacij so bila postavljena teoretična izhodišča za obravnavo tematike o uporabi novih tehnologij in s tem boljšega upravljanja stroškov. S primerjalnim pregledom spletnih podatkovnih zbirk ter člankov podjetij o uporabljenih praksah so bile zasnovane trenutne smernice vzdrževanja. Problematika uporabe brezpilotnih letal za vzdrževalne namene pa je bila analizirana s pomočjo zakonskega okvira pa tudi sekundarnih virov. V okviru magistrskega dela so bili izvedeni trije intervjuji, s katerimi sem dodatno preučila pomen dobrega upravljanja sredstev, namen informacijske tehnologije za omogočanje podpore pri upravljanju sredstev ter uporabno vrednost brezpilotnih letal na primeru izvajanja pilotskega projekta. Uporabljeni pa so tudi interni viri ter podrobno poročilo o razvoju večnamenskega brezpilotnega letala za vzdrževanje daljnovodov.

Magistrsko delo je razdeljeno na **štiri** poglavja. Prvo poglavje temelji na učinkovitem upravljanju sredstev znotraj podjetja, kjer ima ključno vlogo vzdrževanje sredstev. Za učinkovito vzdrževanje so potrebni dobro zbrani podatki o stanju sredstev ter ustrezna podpora pri njihovem upravljanju. Naslednje poglavje je namenjeno vzdrževanju, njegovi opredelitvi in razvoju vzdrževanja. V tem delu naloge sem se osredotočila na razvoj različnih strategij vzdrževanja ter opredelitev najboljšega načina vzdrževanja. Tretje poglavje zajema področje vzdrževanja daljnovodov. Izpostavljena sta dva osnovna načina pregledovanja stanja daljnovodov. Opisani so najpogostejši vzroki in okvare daljnovodov ter večji izpadi električne energije v zadnjih nekaj letih. V tem poglavju sta tudi podrobneje analizirana primera dveh novejših robotskih tehnologij, ki se uporabljata za pregledovanje daljnovodov. Predstavljene so trenutne smernice uporabe robotskih tehnologij. Na koncu je prikazana še primerjava ekonomskih prednosti metod dela pri normalnem delovanju daljnovoda in daljnovoda brez napetosti.

Zadnje, četrto poglavje je osredotočeno na samo opredelitev brezpilotnih letal, njihovo zgodovino, značilnosti, vrste, sestavo in trg brezpilotnih letal. Opisani so pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal. Predstavljeni so glavni nameni uporabe brezpilotnih letal na področju vzdrževanja. Analizirana je ekonomska upravičenost razvoja in uporabe brezpilotnih letal. V nadaljevanju so navedeni primeri uporabe BPL pri vzdrževanju daljnovodov v tujini. Na podlagi intervjujev sta izdelani analiza stanja uporabe brezpilotnih letal v Sloveniji ter primerjava ugotovitev intervjuja z obravnavano literaturo. Narejena je SWOT-analiza upravičenosti uporabe brezpilotnih letal za vzdrževalne namene. Predstavljene so prednosti, slabosti, priložnosti in nevarnosti. Magistrsko delo sem zaključila s sklepnimi ugotovitvami.

1 UPRAVLJANJE SREDSTEV

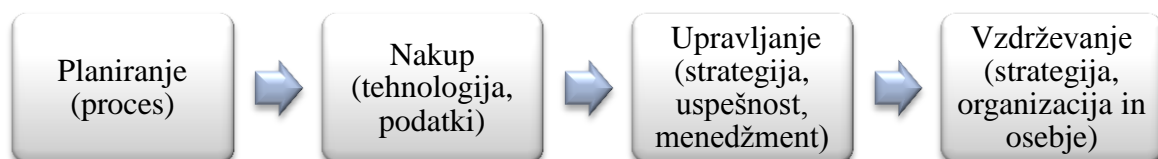
Upravljanje sredstev (angl. *Asset Management*) bi lahko opredelili kot upravljanje skupine sredstev skozi celoten življenjski cikel, ki zagotavlja ustrezen donos storitev ter ustrezne varnostne standarde. Glavna naloga operaterjev distribucijskih in prenosnih omrežij je poiskati ravnotežje med zahtevami potrošnikov (nemotena in cenovno dostopna dobava električne energije) in delničarjevimi zahtevami (najboljši možen donos na investiran kapital). Omrežni operaterji morajo zato oblikovati najboljšo prakso upravljanja sredstev. V elektroenergetskih podjetjih ta oblika menedžmenta igra ključno vlogo (Scheider et al., 2006, str. 643–644).

Zanesljiva oskrba z električno energijo ima za človeštvo bistven pomen, saj prispeva h kakovostnemu življenjskemu slogu. Za podporo zanesljivi dobavi električne energije po najnižji možni ceni potrebujemo dobro zgrajeno, redno vzdrževano in zanesljivo prenosno in distribucijsko omrežje električne energije. Za večje distributerje električnega omrežja je učinkovito upravljanje sredstev osrednja funkcija podjetja in je močno povezano z dobičkom podjetja ter z zanesljivo dobavo električne energije (Crisp, 2003, str. 20).

Mednarodni standard ISO 55000 opredeljuje upravljanje sredstev kot koordinirano aktivnost organizacije, ki zagotavlja ustrezno vrednost sredstev. Med sredstva spadajo predmeti ali stvari, ki predstavljajo potencialno ali dejansko korist za organizacijo. Upravljanje sredstev vključuje uravnavanje stroškov, priložnosti in tveganj z zelenim delovanjem sredstev, da bi dosegli cilje organizacije. Upravljanje sredstev je umetnost in znanost pravilnega odločanja in ustvarjanja optimalne vrednosti, poleg tega pa podjetjem na različnih ravneh omogoča pregled nad sredstvi (The Institute of Asset Management, 2015).

Florea in Leca (2011, str. 256) menita, da je upravljanje sredstev metoda, s katero se izboljšuje izkoriščenost sredstev z zbiranjem in procesiranjem pomembnih podatkov s področja vzdrževanja, obnove, investicijskih odločitev in analize delovanja. Splošno funkcijo upravljanja sredstev lahko opišemo kot neprekinjen odločitveni proces. Aktivnosti, ki si sledijo skozi vse faze posameznega življenjskega cikla sredstev, so predstavljene na sliki 1 (Florea & Leca, 2011, str. 257).

Slika 1: Aktivnosti znotraj življenjskega cikla sredstev



Vir: M. Florea & A. Leca, Considerations on the maintenance strategy of the electricity transmission grid and the need to promote live works to overhead lines, 2011, str. 257.

Upravljanje sredstev v podjetjih je v današnjem času ena izmed najbolj aktualnih tematik. Problem je, da odločitve v zvezi z vzdrževanjem, popravili in zamenjavo sredstev pred leti niso bile strateško zastavljene in so bile velikokrat sprejete prepozno, že v času krize, ko je bila takojšnja reakcija nujna. Zaradi slabega planiranja se je moralo vodstvo o opravljanju vzdrževalnih del in zamenjavi naprav pogosto odločati na podlagi lastnega instinkta in zgodovine napak. Ampak tudi z dobro dokumentirano zgodovino napak naprav se pri planiranju vzdrževanja za prihodnost ne moremo zanašati le na historične podatke. Potrebovali bi postopek za zagotavljanje informacij, ki bi ga uporabili za oceno preostale dobe koristnosti sredstev, kar bi optimiziralo naše prihodnje odločitve. Upravljanje sredstev tako zahteva sistematičen pristop k informiranemu odločanju o sredstvih (Adoghe, Awosope Claudius, & Ekeh, 2013, str. 424).

Podjetja so že dolga leta vpeta v aktivnosti upravljanja sredstev. Spremembe v okolju, ki so sčasoma vedno bolj opazne, pa so pomembnost slednjih še dodatno okrepile (Komonen, 2012, str. V). Komonen (2012, str. V) je mnenja da obstaja veliko razlogov, zakaj ta vrsta menedžmenta igra vedno večjo vlogo:

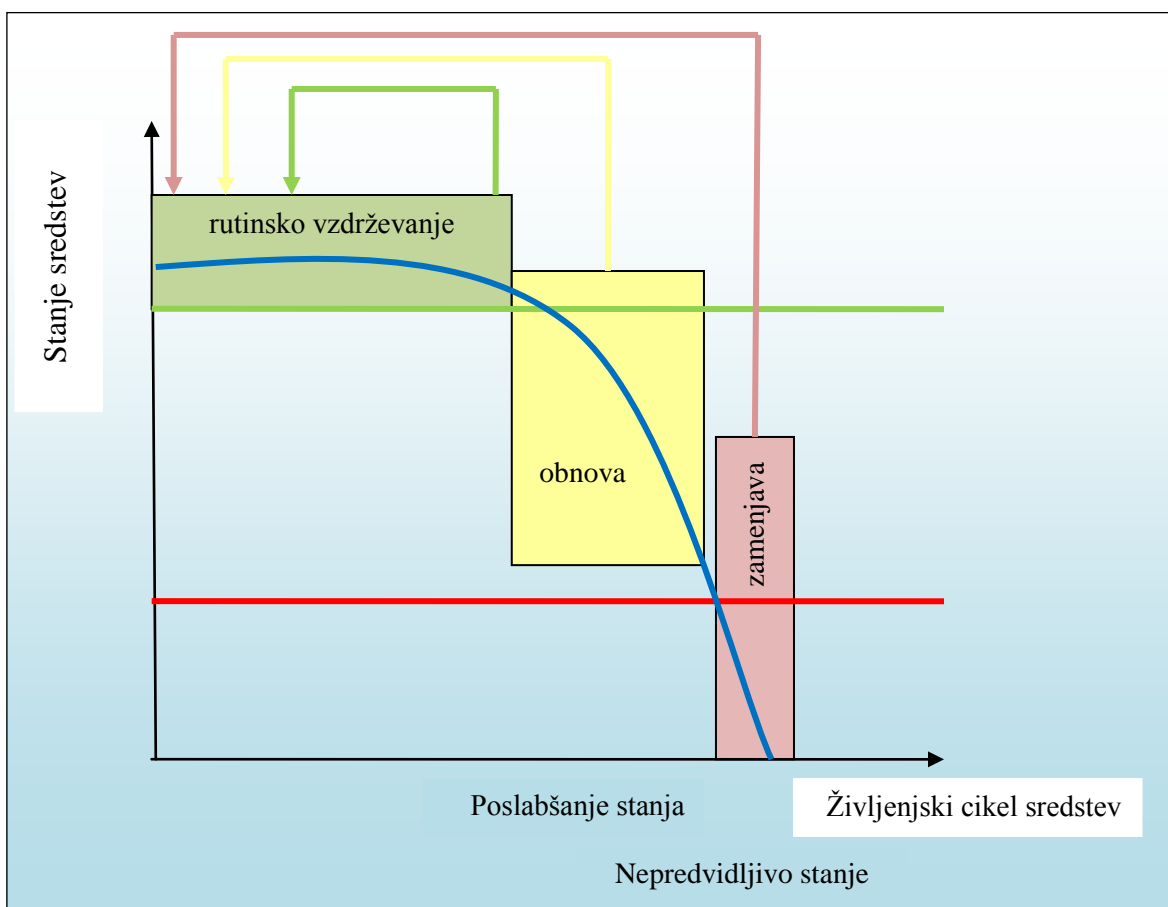
- staranje sredstev,
- večje kakovostne zahteve za infrastrukture,
- večje zahteve glede varnostnega in okoljskega vidika,
- večja tveganja,
- globalizacija in večja konkurenčnost,
- pritisk na ustvarjanje večjega donosa sredstev in višje dobičkonosnosti.

Eden glavnih problemov je staranje sredstev, ki v povezavi z večjimi zahtevami potrošnikov skozi čas predstavlja vedno večje tveganje. Tehnologija postaja vse bolj zapletena, hkrati pa nepričakovane hitre spremembe v povpraševanju, tehnologiji in povečani konkurenčnosti močno vplivajo na okolje poslovanja. Sredstva, ki so bila nekoč učinkovita 20, celo 30 let, danes niso več sposobna proizvajati storitev na taki ravni kot nekoč. Vse večji pritisk podjetjem predstavljajo tudi večje kakovostne zahteve za infrastrukturo, zahteve glede varnostnega in okoljskega vidika ter globalizacija. Menedžerji so tako podvrženi večjemu tveganju pri sprejemanju odločitev, podjetja pa od menedžerjev zahtevajo višji donos sredstev. Zaradi tega je upravljanje sredstev v podjetju vedno bolj integrirano in ima vedno večjo vlogo. Da bi podaljšali življenjski cikel sredstev, so se oblikovale različne metode upravljanja sredstev (Komonen, 2012, str. V–3).

Na področju energetike je bistvo upravljanja sredstev v razumevanju in upravljanju posameznega distribucijskega in prenosnega omrežja na način, da ohranjamo zadovoljivo nizko stopnjo tveganja ob čim nižjih dolgoročnih stroških. Take cilje je mogoče doseči le z optimizacijo trenutne strategije vzdrževanja znotraj distribucijskih in prenosnih podjetij. Življenjski cikel sredstev je predstavljen na sliki 2. Slika ponazarja, da se učinkovitost vzdrževanja sredstev skozi njihov življenjski cikel spreminja. Na začetku življenjskega

cikla sredstev se upravljanje osredotoča na rutinsko vzdrževanje. To je oblika vzdrževanja, ki jo v svojih navodilih določi proizvajalec ali podjetje. V naslednji fazi, ko se stanje sredstev slabša, pa se osredotočenost usmeri na obnovo in zamenjavo. Skozi čas se stanje sredstev v odvisnosti od različnih vplivov spreminja. Med pomembnejše vplive štejemo vpliv okolja, zgodovino vzdrževanja ter stopnjo sposobnosti vzdrževanja sredstev. Če želijo distribucijska in prenosna podjetja ohraniti in izboljšati konkurenčnost, morajo prav zaradi navedenih razlogov optimizirati vzdrževanje (State of the art in Asset Management of HV Transmission Grids, 2015).

Slika 2: Življenjski cikel sredstev



Vir: State of the art in Asset Management of HV Transmission Grids, 2015.

Lai Lei (2001, str. 295) pravi, da se mora vsak menedžer, zadolžen za upravljanje sredstev v podjetju, vprašati: »Ali je starost sredstev glavni indikator, da ostanejo zmožnosti storitev na zadovoljivi ravni?« Če je odgovor pritrdilen, potem potrebujemo le podatke o starosti sredstev, ki jih zamenjamo ob določenem času, ko še ne predstavljajo grožnje delavcem, slabših storitev (omejen pretok električne energije) za potrošnike in preden postanejo draga za vzdrževanje. Vendar celoten proces le ni tako preprost. Kot že omenjeno, se stanje sredstev skozi čas spreminja v odvisnosti od različnih vplivov. Zato potrebujemo dober pregled nad našimi sredstvi (Lai Lei, 2001, str. 295).

1.1 Zbiranje podatkov za učinkovito upravljanje sredstev

Podatke o stanjih sredstev lahko zbiramo ročno ali pa s pomočjo tehnologije, ki nam posreduje podatke. Podatki morajo biti dobro obdelani, da nam bodo koristili. Celotni proces zbiranja podatkov je zelo pomemben, saj igra ključno vlogo pri upravljanju sredstev (Van der Lei, Herder, & Wijnia, 2012, str. 144). Ta ciklični proces je predstavljen na sliki 3.

Za učinkovito upravljanje sredstev so ključni dobro zbrani podatki. Lai Lei (2001, str. 322) meni, da morajo biti podatki prav zaradi dobrega upravljanja sredstev točni, primerljivi z drugimi podjetji ter konsistentni skozi čas. Če imamo o stanju sredstev dobro zbrane podatke, lažje sprejemamo odločitve, kar posredno vodi do nižjih stroškov vzdrževanja (Lai Lei, 2011, str. 294).

Slika 3: Življenjski cikel podatkov znotraj upravljanja sredstev



Vir: T. Van der Lei et al. *Asset Management: The State of the Art in Europe from a Life Cycle Prospective*, 2012, str. 144.

To pomeni, da so informacije o sredstvih ključ do učinkovitega upravljanja. Proces zbiranja podatkov pa ni preprost. Treba je vedeti, katere podatke bomo zbirali, kako pogosto jih bomo zbirali, kam jih bomo shranjevali ter kako jih bomo čim bolj učinkovito uporabili. Treba je tudi zbrati pravo mero podatkov, saj bi prenasičenost informacij lahko povzročila zmedo in počasno delovanje informacijskega sistema. Proces zbiranja podatkov lahko tako predstavlja velik strošek. Zato morajo imeti upravljavci sredstev dobro vizijo, da zberejo tiste podatke, ki so za podjetje pomembni. Podjetja za prenos in distribucijo električne energije imajo različne informacijske sisteme za omogočanje podpore pri upravljanju sredstev. Ti pa jim ne koristijo, če niso pravilno vodeni; lahko na primer pride do podvajanja podatkov in večkratnega vnosa istih podatkov (Lai Lei, 2001, str. 317–318).

Upravljalci sredstev se stalno bojujejo s pomanjkanjem znanja o stanju sredstev, ki jih imajo v lasti. Informacije o trenutnem stanju sredstev so ključnega pomena in vključujejo fizična stanja (lokacija, stanje sredstev), finančna stanja (tveganje, obveznosti) in delovanje sredstev (storitev). Visoko stopnjo informiranosti lahko dosežemo le, če imamo v podjetju informacijsko tehnologijo, ki pridobiva in shranjuje najnovejše podatke o sredstvih (Amadi-Echendu, Brown, Willet, & Mathew, 2010, str. 56–57).

1.2 Podpora upravljanju in vzdrževanju sredstev

Danes na trgu obstaja že kar nekaj informacijskih sistemov, ki nudijo podporo za vzdrževanje strojev in naprav. S pomočjo integriranega informacijskega sistema v podjetju je zbiranje informacij o sredstvih enostavnejše in preglednejše. Delovna sredstva se lahko lažje kontrolirajo, kar omogoča lažjo izdelavo analiz in poročil. Z informacijskim sistemom upravljalci lažje določajo prioritete vzdrževalnih opravil, lažje tudi planirajo in razporejajo delo med delavce (Užmar, 2012, str. 19). Aberšek in Flašker (2005, str. 217–218) menita, da sta najpomembnejša elementa, ki vplivata na učinkovito delovanje računalniško podprtega informacijskega sistema, programska in strojna oprema, biti pa morata zanesljiva in prijazna do uporabnika ter zagotavljati kvalitetno in časovno učinkovitost in hkrati podpirati glavne aktivnosti procesa vzdrževanja. Specialni računalniški programi omogočajo uporabnikom boljšo organizacijo resursov, preglednost nad opravi in izvajanje nadzora nad vzdrževanjem posameznih komponent (Aberšek & Flašker, 2005, str. 217–229). Med najsodobnejše in najuporabnejše informacijske sisteme za podporo pri upravljanju sredstev spadata informacijska sistema MAXIMO in SAP.

Eden izmed najsodobnejših informacijskih sistemov za podporo pri upravljanju in vzdrževanju strateških sredstev v podjetjih in organizacijah je MAXIMO. Primeren je za velike sisteme in podjetja ter prilagodljiv specifičnim potrebam in zahtevam podjetja (Aberšek & Flašker, 2005, str. 217–229). Za podjetja na področju elektroenergetike to pomeni, da podatkovna baza vsebuje podatke o posameznih enotah, ki so sestavni del distribucijske in prenosne mreže. Če pride do napake ali prekinitve toka električne energije, lahko ugotovimo natančno lokacijo in izvor napake za zadnja tri leta ter čas, ki bo potreben za popravilo napake (Lai Lei, 2001, str. 319). Zato si je obvladovanje vseh informacij težko zamisliti brez ustrezne informacijske podpore. MAXIMO izkorišča prednost najnovejših informacijskih tehnologij. Ključna funkcija tega informacijskega sistema je, da podjetjem pomaga izboljšati učinkovitost, zanesljivost in razpoložljivost sredstev. Z uporabo sistema MAXIMO lahko optimiramo skladiščne zaloge, minimiziramo nepredvidene zastoje, zmanjšamo stroške obratovanja ter nenačrtovano vzdrževanje in povečamo operativno učinkovitost. Sistem MAXIMO omogoča učinkovitejše vzdrževanje, saj nudi boljši nadzor in pregled nad vzdrževanimi stroški, večja produktivnost, zagotavlja visoko kakovost storitev ter višjo konkurenčno prednost podjetja. To je najnaprednejša in vodilna programska oprema na trgu za upravljanje strateških ciljev (Aberšek & Flašker, 2005, str. 228–231).

Najpogosteje uporabljeni program za celovit poslovni informacijski sistem pa je program SAP. Sestavljen je iz različnih modulov programa, ki so oblikovani tako, da v čim boljši meri izkoristijo zmogljivost organizacije. Program SAP povezuje procese, nadzoruje pretok podatkov med oddelki in združuje organizacije z njihovimi dobavitelji in kupci. Vsak zaposleni ima tako hiter in preprost dostop do podatkov, ki jih potrebuje pri delu. Podatki so natančni in sprotni (Podlogar & Gričar, 2003, str. 4). SAP podjetjem pomaga učinkovito upravljati in nadzirati celotni življenjski cikel sredstev in znižati stroške podjetja. Program popolnoma povzema mednarodni standard ISO 55000 o upravljanju sredstev in pomaga organizacijam učinkovito in dolgoročno upravljati sredstva (SAP, 2015).

2 SPLOŠNO O VZDRŽEVANJU

2.1 Opredelitev in razvoj vzdrževanja

Vzdrževanje bi lahko opredelili kot zagotavljanje dobrega obratovanja strojev in naprav s popravili, potrebnimi ob nastanku poškodb, opravljanjem rednih kontrolnih pregledov ter zamenjavo obrabljenih delov z nadomestnimi (Zveza računovodij, finančnikov in revizorjev Slovenije, 2015). Vzdrževanje prispeva k trajnostnemu razvoju v družbi, vključno z okoljskimi in energetske prihranki ter boljšimi varnostnimi pogoji na delovnih mestih. Napredno vzdrževanje močno vpliva na izboljšanje konkurenčnosti podjetja. Tehnologija v podjetju pa bo delovala učinkovito le, če bo menedžment znotraj podjetja deloval konsistentno (Starr, Al-Najjar, Holmberg, Jantunen, & Albarbar, 2010, str. 5–6).

Vzdrževanje vodi do uspešnega poslovanja v vseh okoljih. Z učinkovitim vzdrževanjem, lahko pridobimo prednost pred konkurenco ter si povečamo uspešnost v današnjem globalnem okolju. S pravilnim in dobro organiziranim vzdrževanjem lahko podjetju ali organizaciji zagotovimo znatne prihranke in povečamo njun dobiček (Aberšek & Flašker, 2005, str. 11). V vzdrževanju so zajete vse aktivnosti, ki obnavljajo in vzdržujejo operativno sposobnost opreme ali sistema. Dejavnost vzdrževanja ima dva splošna podsistema. Korektivno vzdrževanje je posebna izpeljanka kurativnega vzdrževanja in je najstarejši način vzdrževanja. Drugi podsistem je preventivno vzdrževanje, njegov cilj pa je obdržati sistem/enoto sistema v operativnem stanju. Osnovna filozofija vzdrževanja tehničnih sistemov je omogočati optimalno proizvodnjo (brez kompromisov v zvezi z varnostjo) z minimalnim številom ljudi (Aberšek & Flašker, 2005, str. 82–87). Glavni cilj vsakega distribucijskega oziroma prenosnega podjetja je optimalna in nemotena dobava električne energije potrošnikom po najnižji možni ceni ter čim manjše število napak med delovanjem posameznega sistema. Okvara na distribucijskem ali prenosnem omrežju je lahko kratkotrajna ali dolgotrajna. Večina napak je kratkotrajnih, povzročijo jih drevesa, živali, strele, močan veter ali toča. Te težave zlahka postanejo tudi dolgotrajne. Nekatere težave, na primer strele, so neizogibne, drugim pa bi se z dobro izdelanim planom

vzdrževanja lahko izognili. Prav zato je vzdrževanje pomemben del vsakega življenjskega cikla posameznega sistema (Kadam, Patil, & Holmukhe, 2015, str. 5).

Z rastjo pomena vzdrževanja so nastajale nove metode in strategije vzdrževanja. V svetu so se začeli pojavljati podobni načini vzdrževanja, vendar na različnih mestih, definirani na različne načine. Okoli leta 1930 so začeli razmišljati o popravilih in s tem se je pomen vzdrževanja še krepil. Z današnjo terminologijo bi takratno strategijo vzdrževanja lahko poimenovali kar obnavljanje, kurativno/korektivno vzdrževanje ali vzdrževanje po odpovedi – »popravi, ko se pokvari«. O posledicah niso veliko razmišljali, prav tako niso razmišljali o dodatni škodi, ki jo je odpoved lahko povzročila. Osnovni napaki, ki sta se najpogosteje pojavljali, sta bili obraba in lom. Kmalu so ugotovili, da z rednim vzdrževanjem in uporabo mazil tehnični sistemi delujejo bolje. V štiridesetih letih so tako vpeljali sistematiko na področju vzdrževanja z mazili (Aberšek & Flašker, 2005, str. 51). Danes to védo strokovno imenujemo tribologija. Bolj poglobljeni razrez in pregled vzrokov za nastanek stroškov v vzdrževanju je razkril, da je okoli 43 odstotkov stroškov povezanih z uporabo mazil (Jemec, Božič, Domitrovič, Sabadin, Saksida, & Šinkovec, 2011, str. 15). V tabeli 1 je prikazano vzdrževanje od njegovega začetka dalje.

Tabela 1: Generacije vzdrževanja

Generacija/leto	Značilnosti
Prva generacija Leto 1930 –1950	Korektivno vzdrževanje (popravi, ko se pokvari)
Druga generacija Leto 1950–1980	Časovno določeni pregledi; preventivno vzdrževanje; sistemi za načrtovanje, veliki počasni računalniki; kompetenca na področju vzdrževanja
Tretja generacija Leto 1980–1995	Nadzor stanja; oblikovanje za zanesljivost in možnost vzdrževanja; študije rizičnih faktorjev; majhni hitri računalniki; prikaz napak in analiza učinka Strokovni sistemi: Analiza LCC* ; upravljanje usmerjeno v celovito kakovost
Četrta generacija Leto 1995–2000	Investiranje v vzdrževanje; splošni pregled upravljanja; multiusposabljanje in skupinsko delo; benchmarking; menedžment storilnosti; standardi; tehnična dokumentacija; okolje Sodobni koncepti: RCM**, TPM***, BCM****, RBI***** Vzdrževanje usmerjeno v rezultate; dokumentacija; motivacijski pristop; integrirani računalniško podprti vzdrževalni sistemi;

nadaljevanje

Generacija/leto	Značilnosti
	kompetenca/certifikacija; politika podpogodb

Legenda: * LCC - Analiza stroškov življenjske dobe stroja (angl. *Life Cycle Cost*).

** RCM - Zanesljivostno orientirano vzdrževanje (angl. *Reliability Centred Maintenance* – RCM).

*** TPM - Celovito produktivno vzdrževanje (angl. *Total Productivity Maintenance* – TPM).

**** BCM - V poslovanje usmerjeno vzdrževanje (angl. *Business Centred Maintenance* – BCM).

***** RBI - Kontrola, ki temelji na tveganju (angl. *Risk Based Inspection* – RBI).

Vir: B. Aberšek & J. Flašker, *Vzdrževanje: sistemi, strategije, procesi in optimiranje*, 2005, str. 54.

Vzdrževanje je bilo v začetku tridesetih let organizirano centralno in povezano z delovanjem do odpovedi. Skozi čas se je vzdrževanje vedno bolj razvijalo in danes je postalo znanstvena veda s svojimi zakonitostmi in teorijo ter kot tako ena od najpomembnejših ved o modernih tehničnih sistemih. Prvotnega vzdrževalca sta karakterizirala umazanija in kladivo, danes pa je vzdrževalec visoko izobražen strokovnjak s širokim znanjem, ki uporablja veliko zahtevnih in natančnih diagnostičnih sistemov za odkrivanje napak. Vzdrževanje četrte generacije je tako preventivno vzdrževanje, ki se nagiba k vzdrževanju po stanju. Tehnični sistemi imajo danes že vgrajeno »samodiagnostiko«, ki ji mora vzdrževalec le prisluhniti, kar pomeni, da postajajo sistemi vedno bolj inteligentni. Smer razvoja se torej nagiba k »samovzdrževanju«, pri katerem je osnovna vloga vzdrževalca predvidevanje in odpravljanje napak že v fazi projektiranja (Aberšek & Flašker, 2005, str. 51).

2.2 Strategije vzdrževanja

Ko v podjetju začnemo načrtovati vzdrževanje, je prva odločitev, ki jo moramo sprejeti, katero strategijo vzdrževanja bomo izbrali. Učinkovito vzdrževanje ni tisto, ki nam zagotavlja najnižje stroške, temveč tisto, ki ima pozitiven učinek na celoten proces in rezultat delovanja. Na področju vzdrževanja daljnovodov bi se to odražalo z manjšim številom izpadov električne energije ali nemotenim pretokom električne energije. Strategije vzdrževanja lahko torej v splošnem razdelimo v dve skupini. Prva skupina je korektivno oziroma kurativno vzdrževanje, druga preventivno vzdrževanje. Večinoma ne uporabljamo prej omenjenih čistih strategij, temveč optimalno mešanico obojih. Sčasoma so se razvile različne strategije, ki izhajajo iz preventivnega vzdrževanja (Kadam et al., 2015, str. 6).

2.2.1 Korektivno in kurativno vzdrževanje

Metoda korektivnega in kurativnega vzdrževanja se je začela uporabljati med letoma 1930 in 1950 ter spada v prvo generacijo vzdrževanja. Ta metoda odpravlja poškodbe in okvare na tehničnih sistemih šele po njihovem nastanku. Aberšek in Flašker (2005, str. 53) pravita, da lahko to metodo imenujemo tudi »čakaj, poglej in popravi«. Pri korektivnem vzdrževanju smo na napako pripravljeni (jo pričakujemo), medtem ko nas napaka pri kurativnem vzdrževanju vedno preseneti (Aberšek & Flašker, 2005, str. 53). To pomeni, da

pri kurativnem vzdrževanju ne poznamo točnega časa nastopa odpovedi delovnega sredstva, zato vzdrževalnih del ne moremo predhodno časovno načrtovati. Okvare se pojavijo nenadoma in so v nekaterih primerih lahko tudi katastrofalne. Pri korektivnem vzdrževanju pa so napake vnaprej predvidene, sistem vzdrževanja je nanje pripravljen. Izoblikovan ima natančen diagram servisiranja, na zalogi pa dovolj potrebnega orodja in nadomestnih delov (Aberšek & Flašker, 2005, str. 85).

2.2.2 Preventivno vzdrževanje

Metoda se je začela uporabljati v ZDA po drugi svetovni vojni, sčasoma pa se je razširila po vsem svetu. Temelji na izvajanju različnih nizov aktivnosti, kot so odprava okvare, izvedba plana, ciklične meritve delovnih sredstev in ciklični pregledi delovnih sredstev. Te dejavnosti se izvajajo, še preden okvara ali zastoj nastane. Cilj te vrste vzdrževanja je stalna kontrola obratovanja tehničnega sistema. S temi aktivnostmi naj bi se zmanjšalo število poškodb in zastojev v proizvodnem procesu. Tak pristop k vzdrževanju je ciklični, zahteva veliko osebja s strokovnim znanjem, velike količine materiala in rezervnih delov (Aberšek & Flašker, 2005, str. 55).

Taka oblika vzdrževanja je najbolj upravičena ter najbolj kakovostna, lahko pa se izvaja na dva načina. Prvi način je časovno preventivno vzdrževanje, ki se izvaja na podlagi informacij o zanesljivosti in razporeditve časa delovanja (dokler del ne odpove) (Aberšek & Flašker, 2005, str. 64). Danes se strategija časovnega vzdrževanja (angl. *Time Based Maintenance*) pogosto uporablja, in sicer z namenom odprave možnosti napake ter zmanjšanja možnosti okvar posameznih elementov. Pri tej strategiji opravljamo preglede in vzdrževalna dela na podlagi fiksnih časovnih intervalov, ki se postavijo glede na izdelovalce opreme/orodja ali pa glede na izkušnje delavcev. Slabost predstavljajo prepogosto ali pa slabo postavljeni časovni intervali, saj v njih skoraj nikoli ni bilo zaznati problema (Scheider et al., 2006, str. 645). Drugi način je preventivno vzdrževanje po stanju (angl. *Condition Based Maintenance*), kjer zasledujemo neki pokazatelj – parameter. Ta predstavlja stanje opazovanega sistema. Osnova za to obliko preventivnega vzdrževanja je diagnostičen proces. To pomeni, da lahko to obliko vzdrževanja uporabljamo le, kadar lahko z neko diagnostično tehniko dovolj točno določimo stanje obrabe, poškodbe ali iztrošenosti določenega elementa. Pri obeh vrstah se čas pregledov določa po potrebi ali pa sta povezani z vnaprej določenim časom izvajanja pregledov (Aberšek & Flašker, 2005, str. 64–95).

Obstajajo pa tudi orodja, ki podpirajo preventivno vzdrževanje po stanju. Vpeljava takega vzdrževanja je lahko za podjetje precej zahtevna. Prvi izziv je nameščanje opreme za merjenje stanj sredstev v realnem času (angl. *on-line condition monitoring systems*). Uporablja se za spremljanje stanja in staranja sredstev, preden pride do okvar, ter za pridobivanje podatkov za planiranje vzdrževanja. Drugi izziv je, da mora v podjetju obstajati močna povezava z obstoječim sistemom, kjer se shranjujejo podatki o stanju

sredstev. Podjetje pa mora vpeljati tudi orodje za lažje odločanje, ki mu predlaga hitre odločitve o načinu vzdrževanja (Grid innovation online. State of the art in Asset Management of HV Transmission Grids, 2015).

2.2.3 Celovito produktivno vzdrževanje

Celovito produktivno vzdrževanje (angl. *Total Productive Maintenance*) temelji na maksimalni učinkovitosti opreme. Ta oblika vzdrževanja skuša izboljšati podjetje s spremembami na kadrovskem področju in spremembami v celotni kulturi podjetja. Da bi spremenili kulturo znotraj podjetja, so potrebni majhni timi in dobra podpora oddelka za vzdrževanje. Takšno vzdrževanje potrebuje operaterje, ki bodo prevzeli določena vzdrževalna dela ter poročali o stanju in spremembah na posamezni napravi. Vsa ta dela lahko vplivajo na nekatere preprečitve nastanka napak, ne morejo pa odpraviti vseh napak. Zato so potrebni dobro zbrani podatki o stanjih naprav (Starr et al., 2010, str. 9). To metodo so začeli razvijati leta 1971 na Japonskem in pomaga izboljšati učinkovitost proizvodnje, dvigniti produktivnost opreme, zmanjšati število nesreč in stroškov vzdrževanja ter odkrivati in odpraviti pomanjkljivosti pri obratovanju. Glavni cilj sodobnega koncepta, ki spada v četrto generacijo vzdrževanja, pa je doseči maksimalno učinkovitost sistema človek-stroj (Aberšek & Flašker, 2005, str. 119–121).

2.2.4 Zanesljivostno orientirano vzdrževanje

Strategija četrte generacije vzdrževanja temelji na zanesljivem delovanju tehničnega sistema in njegovi uporabnosti. Zanesljivostno orientirano vzdrževanje (angl. *Reliability Centered Maintenance*) poudarja zanesljivo delovanje tehničnega sistema v načrtovani življenjski dobi. Organizacijska struktura je pri tem manj upoštevana. Taka oblika vzdrževanja se je razvila v panogah, kjer mora biti oprema absolutno zanesljiva, brez možnosti napake, saj bi ta pomenila katastrofo. Sem spadajo nuklearne elektrarne, vzdrževanje letal in kemijskih obratov. Zanesljivostno orientirano vzdrževanje je inženirski pristop, ki ga lahko uporabimo za optimizacijo vzdrževanja (Aberšek & Flašker, 2005, str. 57). Aberšek in Flašker (2005, str. 57) pravita: »Metoda je zasnovana na predpostavki, da lahko razvijemo učinkovit program preventivnega vzdrževanja, če upoštevamo ustrezno logistično podporo in analizo zanesljivosti opreme ter se pri tem osredotočimo na načine in učinke odpovedi tehničnih sistemov.«

2.2.5 Računalniško podprto vzdrževanje

Taka oblika vzdrževanja vključuje računalnike (zaključene namenske programe), ki nam omogočajo kontroliranje sklopov v proizvodnji ali celotnega tehničnega sistema, na podlagi pokazateljev pa predpostavljamo kakovost nadaljnje proizvodnje. Namenjeni so tudi planiranju aktivnosti za odpravo napak ali zastojev v proizvodnem procesu. Ta oblika vzdrževanja se razvija v dve smeri: v smer računalniške podpore vzdrževanja, ki vključuje

računalniške programe za arhiviranje podatkov, vodenje delovnih nalogov, beleženje stanj rezervnih delov, zasedenost posameznih delavcev ter opozorila o načrtovanih aktivnostih. Druga smer je samovzdrževanje, ki vključuje računalniške sisteme (angl. *hardware*) in ekspertne sisteme (angl. *software*). Slednji so na podlagi sistema odločanja ali podatkovnih baz sposobni predlagati rešitve in opozarjati na težave, samostojno pa lahko opravljajo tudi posamezne vzdrževalne posege (Aberšek & Flašker, 2005, str. 55–56).

Aberšek in Flašker (2005, stran 58) menita, da se ekspertni sistemi danes uporabljajo zato, da nam omogočajo delo v realnem času, hkrati pa podajajo podatke o stanju tehničnega sistema. Najnaprednejši ekspertni sistemi, ki spadajo v drugo ali tretjo generacijo, so sposobni posegati celo v proces samovzdrževanja. Ti ekspertni sistemi ne komunicirajo veliko z uporabnikom, temveč večino informacij o spremembi stanja tehničnega sistema dobivajo preko sistema različnih senzorjev. Ekspertni sistemi se – kot večina današnjih tehničnih aplikacij – nenehno izboljšujejo in stalno razvijajo ter so osnova za najvišjo stopnjo vzdrževanja, samovzdrževanje. Tehnični sistemi so pri tej strategiji grajeni modularno. Ekspertni sistemi nas lahko obveščajo, da je potrebna zamenjava določenega modula, ali pa se te operacije izvedejo s pomočjo avtonomnih sistemov (robotov). Čas vzdrževanja smo s tem skrajšali na minimum, uporabnost tehničnih sistemov pa je s tem maksimalna (Aberšek & Flašker, 2005, str. 55–56).

3 VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV

3.1 Načini vzdrževanja daljnovodov

Obstaja kar nekaj delitev električnih omrežij. Po napetosti jih delimo na nizko- in visokonapetostna. Nizkonapetostna so tista, ki prenašajo električno energijo od transformatorskih postaj do porabnikov na napetostnih nivojih do 1000 voltov. Visokonapetostna omrežja so vsa omrežja, ki so grajena za napetosti nad 1000 voltov. Uporablja se tudi dodatna delitev visokonapetostnih omrežij, in sicer na sredjenapetostna omrežja (1–35 kilovoltov), visokonapetostna omrežja (110–420 kilovoltov), najvišje-napetostna omrežja (nad 420 kilovoltov) (Delitev električnih omrežij, 2015). V osnovi se 10-, 20- in 35-kilovoltni daljnovodi uporabljajo za distribucijo električne energije, 110-, 220- in 400-kilovoltni daljnovodi pa se uporabljajo za prenos električne energije. Magistrsko delo se osredotoča na visokonapetostna omrežja nad 110 kilovoltov. Kablovodi ali podzemni daljnovodi služijo distribuciji električne energije in se gradijo do napetostnega nivoja 110 kilovoltov.

V splošnem se preventivni pregledi daljnovodov izvajajo dvakrat letno, njihov namen je odkrivanje napak še pred njihovim nastankom ter ohranjanje/podaljševanje življenjske dobe naprave. Takšno delo se izvaja med normalnim obratovanjem elementa (Le redno vzdrževanje zagotavlja dolgotrajnost daljnovodnega omrežja, 2010).

Običajno se v začetku vsakega leta odločimo za eno od možnosti: manjša vzdrževalna

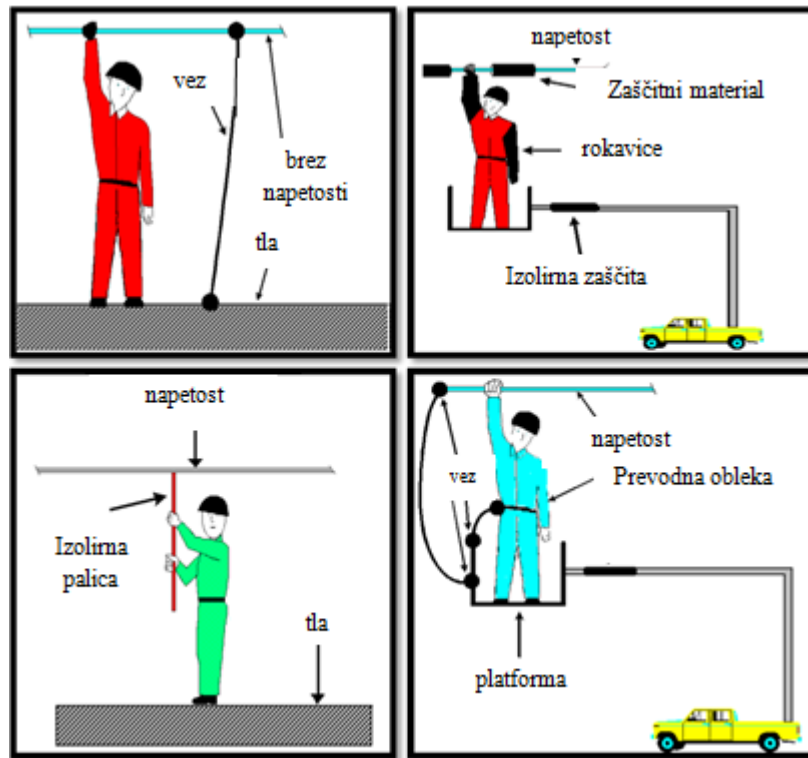
dela – revizija, večji posegi na napravi – remont (po navadi ga izvaja proizvajalec), zamenjava ali brez posega (Polak & Vršič, 2005, str. 268). Revizije se izvajajo periodično po navodilih proizvajalca naprave ali pred nastankom napake (običajno enkrat letno). Remonti pa se izvajajo na podlagi stanja naprave, z namenom da se ohranja življenjska doba naprave. V obeh primerih pa mora biti daljnovod brez napetosti. (Le redno vzdrževanje zagotavlja dolgotrajnost daljnovodnega omrežja, 2010).

Za vzdrževanje torej potrebujemo informacije o stanju na terenu. Glede na število in tip informacij ter trud, vložen v njihovo pridobitev, obstaja več možnosti zbiranja podatkov o stanju distribucijske in prenosne mreže. Ne glede na njihov izvor so to le okvirni povprečni statistični podatki, ki so lahko tudi nezanesljivi. S tehničnega vidika je najboljša metoda zbiranje podatkov o stanju daljnovoda, ko ta obratuje normalno (angl. *on-line monitoring*). Danes na trgu obstajajo različne naprave, ki se namestijo na daljnovod in omogočajo stabilno in učinkovito delovanje daljnovodov. Sistemi izračunavajo in zagotavljajo optimalen pretok električne energije glede na vreme in v realnem času pridobljene sprotne informacije s terena. Slaba stran te metode je, da zahteva veliko truda, predvsem z vidika upravljanja zbranih podatkov, saj je teh veliko. Poleg tega je s finančnega vidika taka oblika zbiranja podatkov draga. Druga oblika je izvajanje pregledov ter zbiranje podatkov o stanju vodnikov (prevodni del, ki prevaja električni tok), ko ti ne obratujejo normalno (angl. *off-line measurements*) (Scheider et al., 2006, str. 646). V nekaterih primerih dela pod napetostjo ne moremo izključiti, predvsem na območjih, kjer začasna prekinitvev električne energije ne pride v poštev (npr. v bolnišnicah). Delo pod napetostjo vključuje vzdrževalna in konstrukcijska dela ter testiranje opreme med normalnim obratovanjem daljnovodov. V takih primerih morajo imeti delavci veliko znanja za opravljanje takega dela, saj je njihova varnost lahko hitro ogrožena. Zagotoviti je treba različna varnostna orodja in primerno izolacijo. Taka orodja pa so potrebna, tudi kadar ni pretoka električne energije, saj nekateri deli lahko ostanejo pod napetostjo (so blizu delom pod napetostjo). Izjemno nevarno je delo v primeru slabega vremena, predvsem ob strelah in močnem vetru (EPRI, 2003, str. 1–2). Na sliki 4 so na podlagi poročila raziskovalnega inštituta za električno energijo (angl. *Electric Power Research Institute*, v nadaljevanju EPRI), (EPRI, 2003, str. 3) prikazane štiri metode dela pod napetostjo:

- V levem zgornjem kotu je prikazano delo, ko je daljnovod v breznapetostnem stanju (angl. *de-energized work*). Kljub temu morajo vsi delavci uporabljati izolacijsko opremo. Potrebna je povezava med tlemi in vodnikom.
- V desnem zgornjem kotu delavec kot izolacijsko orodje uporablja rokavice ali drugo izolacijsko opremo (angl. *gloving*). Delo poteka iz izoliranih lebdečih naprav (platform).
- Pri tretji metodi, ki je prikazana levo spodaj, delavec uporablja izolacijsko orodje, kot je izolirna palica (angl. *insulating tool work*). Delo poteka pretežno s tal.
- Četrta metoda, ki je prikazana desno spodaj, se imenuje tudi metoda direktnega kontakta (angl. *contact work ali barehand method*). Delavec je v neposrednem stiku z

napetostnim območjem, vendar uporablja kombinacijo izolirnega orodja in je dvignjen v zraku s pomočjo lebdeče naprave.

Slika 4: Metode dela pod napetostjo



Vir: EPRI, *Optimizing the Transmission on Line Design for Effective Live Working Title of Report*, 2003, str. 3–4.

3.1.1 Ročno pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov

Učinkovito preventivno vzdrževanje daljnovodov je pomembno tako za odjemalce kot tudi za dobavitelje. Za opravljanje nadzora in pregledovanje daljnovodov zato potrebujemo strokovnjake s področja vzdrževanja. Delo vzdrževalcev je naporno, saj morajo hoditi ob žicah in izvajati preglede omrežja velikokrat tudi na območjih, ki so težko dostopna. Včasih je za takšno delo treba distribucijsko ali prenosno omrežje tudi začasno ustaviti, kar povzroča dodatne stroške. Zato je takšno delo nevarno in časovno zelo zahtevno (Debenest et al., 2010, str. 1).

Izkušnje so pokazale, da so podatki najbolj zanesljivi, če jih zbirajo usposobljeni delavci na terenu, ki jim je takšno delo dobro znano. Dobro poznajo tudi informacijski sistem za zbiranje podatkov in razloge za izvor napak ter se zavedajo, kako pomembni so za podjetje dobro zbrani in točni podatki (Lai Lei, 2001, str. 320).

Ročno pregledovanje vključuje vzdrževalce, ki se vozijo ali hodijo ob daljnovodih.

Opremljeni so z različnim orodjem za ocenjevanje stanja daljnovodov. Ta metoda je izjemno neučinkovita, saj lahko vzdrževalci dnevno prehodijo in vizualno pregledajo le okoli 5 kilometrov, če je območje težko dostopno in za pregledovanje ni mogoče uporabiti vozila. Naslednja slabost te metode je, da je ocenjevanje lahko izvedeno v omejenem območju vidnega polja, kar pomeni, da so določene pomembne informacije lahko izpuščene. Kljub temu je ta metoda pregledovanja daljnovodov najcenejša in se še vedno pogosto uporablja. Pri pregledovanju daljnovodov potrebujejo vzdrževalci za en kilometer lahko prehodnega območja z uporabo vozila v povprečju 30 minut. Ekstremni primer je Kanada, kjer je ekipa pregledovala 300-kilometrski daljnovod celih 12 mesecev, kar je približno kilometer na dan (Elektroservisi d.d., 2015).

Ko vzdrževalci napako odkrijejo, jo morajo tudi odpraviti. V tem primeru morajo delavci splezati na daljnovod ter hoditi po njem, da pridejo do mesta, kjer je treba izvesti popravilo (Expliner Robot – High voltage Transmission Line Inspection Robot, 2011). Sanacija napak lahko v takem primeru traja zelo dolgo. Vzdrževalci morajo najprej pregledati posamezen daljnovod, ugotoviti kraj in razlog za napako. Te podatke morajo zabeležiti ter jih nato posredovati naprej. Na koncu pa jih čaka še sanacija napake.

Delo, ki zahteva vizualni pregled ter se izvaja ročno s pomočjo delavcev, običajno zahteva najmanj dve operativni enoti. Povprečni stroški znašajo 18 evrov (v nadaljevanju EUR) na uro, medtem ko so dejanski stroški vzdrževanja odvisni od posameznega problema. V povprečju stane ura dela zamenjave zlomljene opreme z uporabo tovornjaka s košaro 50 EUR za tovornjak in voznika, prišteti pa je treba še dodatnih 50 EUR za oba delavca. Če bi se delo izvajalo na oddaljeni lokaciji, bi lahko potekalo 8 ur (prevoz tja in nazaj ter dokončanje dela), kar pomeni 800 EUR dnevno. Ta strošek je lahko še trikrat višji, če je območje težko dostopno (Elektroservisi d.d., 2015).

3.1.2 Pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov s pomočjo helikopterja

Zadnja leta elektroenergetska podjetja močno investirajo v preventivno vzdrževanje in pregledovanje daljnovodnih vodnikov. Poleg ročnega pregledovanja obstaja tudi druga oblika, ki je v zadnjih letih najbolj pogosta, in sicer zračni pregled daljnovodov v določenih časovnih intervalih. Helikoptersko posadko sestavljajo pilot, kopilot in operater. Zračna posadka zbira podatke, in ko jih imajo dovolj, jih temeljito pregledajo in ugotavljajo, kje se napake pojavljajo. Tudi ta proces pregledovanja daljnovodov je časovno potraten, vendar bistveno hitrejši kot ročno pregledovanje. Seveda pa je ta metoda v primerjavi z ročno tudi mnogo dražja, obenem pa ni izključeno varnostno tveganje, saj posadka leti v neposredni bližini vodnikov (Sampedro et al., 2014, str. 1). Pri opravljanju video pregleda je lahko oddaljenost helikopterja od vodnika le okoli 10–15 metrov (Glavič, Lovrenčič, & Furlan, 2003, str. 79). Na splošno pa je bila potreba po racionalizaciji časa velika, zato se je ta metoda helikopterskega pregledovanja daljnovodov hitro začela pogosteje uporabljati in nadgrajevati. Helikopterji imajo vgrajene različne kamere za

pregledovanje daljnovodov (Glavič et al., 2003, str. 79). Metoda se je začela uporabljati okoli leta 1990, njena glavna prednost pa je časovno zmanjšanje procesa pregledovanja ter hitrejša pridobitev podatkov. Pregledovanje je mogoče tudi na težko dostopnih območjih. Cena na uro se lahko giblje tudi od 1000 do 10.000 EUR, odvisno od tipa helikopterja in območja, kjer so pregledi potrebni. Takšno letenje zahteva dobro usposobljene pilote, pri opravljanju dela pa so ti postavljeni tudi v območje nevarnosti. Ker je nevarnost letenja nad vodniki velika, se morajo piloti natančno držati postopka med opravljanjem dela na daljnovodih. Taki pregledi lahko trajajo zelo dolgo in piloti lahko izgubijo koncentracijo. V zadnjih 15 letih se je tako zgodilo pet večjih nesreč med pregledovanjem daljnovodov (Elektroservisi d.d., 2015).

Najdražji pregledi in vzdrževanja daljnovodov vključujejo helikopterje s posadko. Trenutno elektroenergetska podjetja porabijo približno 50 EUR na kilometer opravljenega pregleda daljnovoda, s hitrostjo 40 kilometrov na uro. Če so vzdrževalna dela bolj zapletena, če na primer potekajo pod napetostjo na visokonapetostnih daljnovodih s krova helikopterja, pa bi strošek take operacije znašal okoli 10.000 EUR (na eno operacijo) (Elektroservisi d.d., 2015).

Strošek je odvisen od zahtevnosti dela, ki ga morajo izvesti, ter od posameznega podjetja (ponudbe). Skrzypietz (2012, str. 11) pravi, da strošek helikopterja s posadko znaša od 3000 do 6000 EUR na uro. Pagnano, Hopf in Teti (2013, str. 234) pa ugotavljajo, da znašajo povprečni stroški uporabe helikopterja s posadko okoli 1000 EUR na uro.

Helikopterji so opremljeni z različnimi kamerami, kot so kamera za dnevno svetlobo, termografska kamera za zaznavanje pregretja na daljnovodu in UV-kamera (korona kamera), s katero je mogoče zaznati začetke napak, še preden te postanejo problematične. Korona kamera lahko posname že nekoliko iztrošen material, nepravilno nameščene dele in podobno. Opravimo pa lahko tudi lasersko skeniranje površja (Flycom, 2015). Taka metoda opravljanja pregledovalnih in vzdrževalnih del ni popolnoma zanesljiva, saj lahko zagotavlja le posnetke zgornjega dela kabla (Pagnano et al., 2013, str. 234).

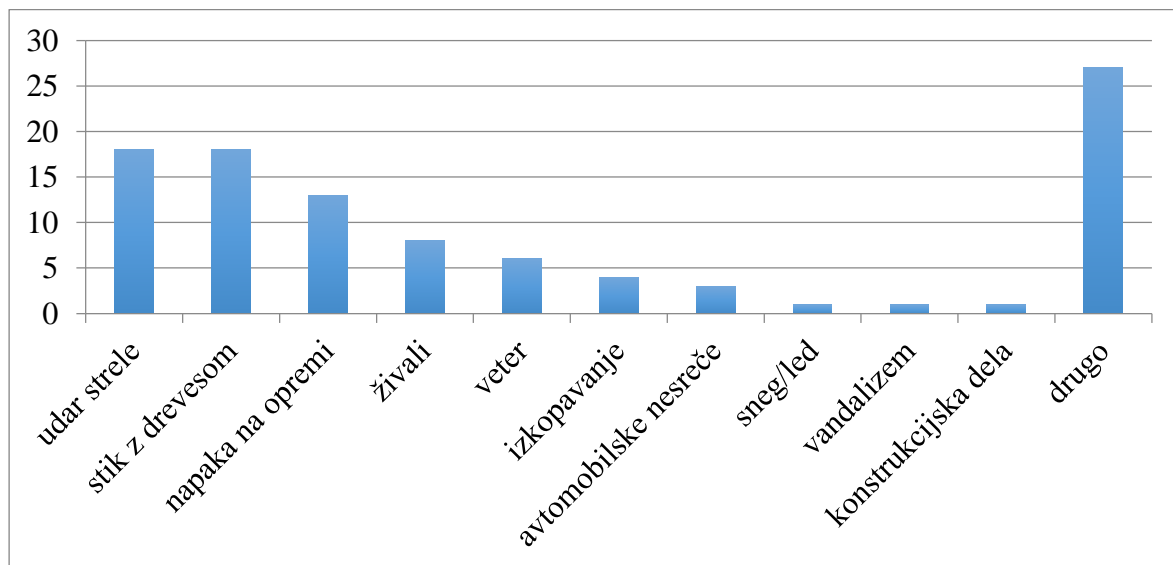
Na splošno lahko rečemo, da je metoda pregledovanja in vzdrževanja daljnovodov s helikopterjem draga in nevarna. Predhodno je treba celoten postopek natančno predvideti, saj je let treba napovedati. Helikopter je treba prej tudi opremiti z omenjeno tehnologijo (napravami). V situacijah, ko je potreben hiter odziv, je zato taka metoda zelo neučinkovita (Glavič et al., 2003, str. 79).

3.2 Najpogostejši vzroki okvar daljnovodov

Okvare daljnovodov so zaradi staranja in nepredvidljivih vremenskih razmer vedno bolj pogoste. Poznamo več vrst okvar: kratkotrajne okvare, ki nastanejo zaradi raznih vremenskih vplivov, trajne okvare, ki povzročijo dolgotrajno prekinitev električne energije,

ali le kratki stiki. Med trajne okvare spadajo okvare izolatorjev (element za izoliranje in pritrditev vodnikov ali naprav), počeni vodniki in podobno. Največji delež, od 50 % do 90 % vseh okvar na daljnovodih, predstavljajo kratkotrajne okvare, ki povzročijo kratkotrajno prekinitvev električne energije. EPRI je v osemdesetih letih izvedel raziskavo o kratkotrajnih okvarah, ki se najpogosteje pojavljajo na električnih omrežjih. Podatke je zbiralo 13 operaterjev, raziskava pa je zajemala 50 distribucijskih in prenosnih omrežij. Kar 40 % okvar nastane zaradi različnih vremenskih pojavov, med katere spadajo tudi dež, sneg in led (Short, 2004, str. 326–328).

Slika 5: Delež okvar glede na vzrok okvare (v %)



Vir: T. A. Short, *Electric power distribution handbook*, 2004, str. 327.

Na sliki 5 je vidno, da veliko napak nastane zaradi udara strele ter stikov dreves z daljnovodi (18 %). To pomeni, da bi potrebovali stalno obrezovanje dreves, če bi želeli zmanjšati število takih okvar. Kar 13 % okvar je nastalo zaradi različnih napak na opremi, zato je preventivno vzdrževanje še toliko bolj pomembno. 8 % napak nastane zaradi živali, kot so ptiči, kače, veverice in podobno. Pogost vzrok nastanka okvar na daljnovodih je tudi močan veter (6 %). Do okvar lahko pride med izkopavanjem daljnovodov (4 %), sledijo okvare, povzročene zaradi avtomobilske nesreče (3 %), led, vandalizem in konstrukcijska dela na omrežjih (1 %). 27 % pa je preostalih različnih vrst vzrokov okvar (Short, 2004, str. 326–328).

Živimo v obdobju, ko nas pestijo nepričakovane vremenske razmere: beležimo vse več poplav, medtem ko visoke poletne temperature povečujejo možnost požarov. Ekstremni vremenski pojavi so vedno bolj pogosti. Daljnovodi, ki so že nekoliko starejši, se hitreje kvarijo, zato so napake na teh daljnovodih pogostejše. Velik delež okvar bi z učinkovitim preventivnim vzdrževanjem lahko preprečili. V vsakem primeru pa bo vedno obstajal določen delež okvar, na katere nimamo vpliva. Zagotovimo lahko le hitrejše in

učinkovitejše preventivno vzdrževanje.

Okvare so tako glavni vzrok prekinitve toka električne energije do odjemalcev. Če okvare zmanjšamo, bomo zmanjšali tudi število prekinitev električne energije. Short (2004, str. 383) navaja več načinov zmanjšanja okvar:

- obrezovanje dreves,
- zaščita vodnikov,
- podzemni kabli,
- identificiranje in zamenjava slabe opreme,
- preventivni pregledi, ki vključujejo infrardečo kamero,
- zaščita sredstev pred živalmi,
- varovanje z odvodniki.

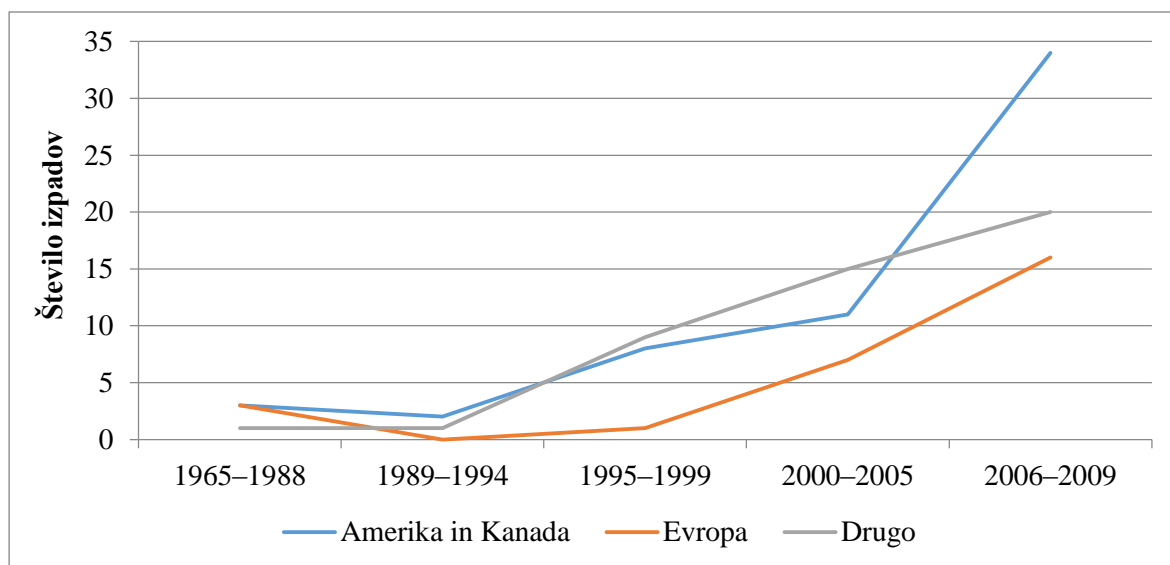
Število okvar lahko zmanjšamo tako, da konstantno spremljamo lokacijo in tip okvar. Tako imamo dober pregled nad okvarami, ki jih lahko razvrstimo v različne kategorije. Takšno razvrščanje nam omogoča lažje in hitreje odločanje glede potrebnega vzdrževanja (Short, 2004, str. 383).

3.3 Večji izpadi električne energije v zadnjih nekaj letih

Pomanjkanje električne energije lahko za industrijo povzroči dodatne stroške. V nekaterih primerih se lahko stroški uporabe električne energije podvojijo (nadomestno napajanje po drugem daljnovodu). Eden glavnih parametrov, ki vpliva na zanesljivo delovanje električne energije, je izpad električne energije. Med izpade, ki so pomembni za analizo, spadajo tisti, ki vplivajo na vsaj 30.000 porabnikov ter povzročijo skupno odmero vsaj 1.000.000 potrošnikovih ur. Na sliki 6 je prikazana rast večjih izpadov električne energije med letoma 1965 in 2009 (Elektroservisi d.d., 2015).

V Evropi je bil od leta 1995 do 1999 zabeležen le en večji izpad. V zadnjih letih se je število izpadov močno povečalo, še posebej izrazito v obdobju od leta 2006 do 2009, v katerem so zabeležili 16 večjih izpadov električne energije. V Ameriki in Kanadi je število izpadov še nekoliko večje. Razlogov za to je več, v ospredju pa so večja napetost daljnovodov, večje število daljnovodov in podnebne spremembe, ki se v zadnjem obdobju najbolj omenjajo in opažajo. Vsaj 70 % vseh izpadov je nastalo zaradi različnih vremenskih vplivov (Elektroservisi d.d., 2015).

Slika 6: Število večjih izpadov električne energije v zadnjih nekaj letih



Vir: Elektroservisi, d.d., Poročilo o uporabi in razvoju večnamenskega brezpilotnega letala za vzdrževanje daljnovodov, 2015.

V zadnjem desetletju je bilo izvedenih kar nekaj študij, v katerih so želeli analizirati razloge in stroške neučinkovitega delovanja daljnovodov. Med letoma 2005 in 2006 je bila izvedena raziskava s strani skupine Leonardo, ki je preučevala učinkovito rabo električne energije. Opravili so 62 intervjujev v 8 državah Evropske unije. Intervjuvanci so bili iz 16 različnih industrijskih sektorjev. Rezultati evropske raziskave, ki so zajemali veliko število porabnikov, večinoma iz industrijskih dejavnosti, so pokazali, da je izpad električne energije zelo škodljiv za industrijo. Okoli 30 % najbolj občutljivih industrijskih sektorjev lahko doletijo stroški nezanesljivega delovanja električne energije v višini 4 % njihovega celotnega dobička. Končni rezultat raziskave je pokazal, da imajo stroški neučinkovitega delovanja daljnovodov v Evropi, ki so povezani s slabim delovanjem industrijskih sektorjev, neposredni vpliv na evropsko gospodarstvo, ki presega 150 bilijonov EUR (Targosz & Manson, 2014, str. 1–4).

3.4 Nove vrste tehnologij za vzdrževanje daljnovodov

Prav zaradi omenjenih pomanjkljivosti, stroškov ter ogroženosti ljudi in živali je prišlo do snovanja koncepta, ki bo namenjen avtomatiziranemu pregledovanju in vzdrževanju daljnovodov. Nove tehnologije se osredotočajo na robote (Pagnano et al., 2013, str. 234–235).

Pri pregledovanju in vzdrževanju daljnovodnih vodnikov je treba vključiti nove metode merjenja oziroma diagnostike in iskanja napak, ki bodo omogočile kakovostnejše vzdrževanje in zgodnejše odkrivanje napak. Izključile pa bodo tudi objektivne faktorje, kot so natančnost, sposobnost in vestnost posameznega monterja (Glavič et al., 2003, str. 79).

Prav povečanje vzdrževalnih del pod napetostjo je spodbudilo razvoj in uporabo robotskih tehnologij na področju vzdrževanja in popravil. Te naprave varno zmanjšujejo nevarnosti, ki so jim izpostavljeni delavci, hkrati pa znižujejo operativne stroške ter vzdržujejo zanesljivost delovanja energetskega omrežja (Elizondo, 2015a, str. 1).

Glavna ekonomska prednost teh novih tehnologij ne bo zamenjava človeka z robotom, temveč izboljšava človeške sposobnosti, da bi zagotavljale optimalne vzdrževalne odločitve. Danes sta v uporabi predvsem dve primarni daljinsko vodeni robotski tehnologiji (Pagnano et al., 2013, str. 235). Prva robotska tehnologija so talni roboti, druga pa roboti na žicah. V tretjo skupino novih tehnologij spadajo leteči roboti, imenovani brezpilotna letala. Tem sem namenila največ pozornosti, saj predstavljajo najsodobnejšo alternativno obliko pregledovanja in vzdrževanja daljnovodov in tehnologijo, ki v zadnjih nekaj letih kaže velik potencial za razvoj in uporabo na več različnih področjih.

3.4.1 Talni roboti

Talni robot je daljinsko vodena tehnologija za področje vzdrževanja, sposobna opravljati naloge, ki jih ljudje niso zmožni opravljati. Taka tehnologija se uporablja že okoli 10 let. V zadnjih letih so to obliko robotske tehnologije tudi nekoliko nadgradili, saj lahko prenaša večjo težo in širše vodnike (Elizondo, 2015a, str. 1).

Eden izmed prvih takih robotskih sistemov je bil TOMCAT (angl. *Teleoperator for Operations, Maintenance and Construction using Advanced Tehnology*), ki so ga začeli razvijati že v zgodnjih osemdesetih letih. Na videz je podoben tovornjaku, le da ima na zadnji strani pritrjeno kabino, kjer se nahaja sistem za upravljanje. Teleskopska palica, na kateri je platforma za upravljanje vgrajenih robotskih tehnologij in senzorjev, služi kot podaljšana roka ter oči delavca. V kabini ima vgrajen televizijski sistem, s pomočjo katerega lahko operater spremlja dogajanje med popravilom. Taki sistemi niso uporabni na področjih, ki so težko dostopna (hribi, reke), ter na področjih, ki so nedosegljiva. Uporabljajo se predvsem za različna popravila, kot je zamenjava izolatorja ter delov, ki sestavljajo posamezen daljnovod (Goncalves & Carvalho Mendes, 2013, str. 3–4).

Talni robot, ki se že vse od leta 1999 uporablja za vzdrževalne namene, se imenuje ROBTET in spada med bolj modernizirane talne robote (Aracil, Ferre, Penin, Hernando, & Pinto, 2015, str. 1). Po dveh letih uporabe so povzeli glavne prednosti take vrste robota. Aracil et al. (2015, str. 1) so ugotovili, da med glavne prednosti spadajo:

- večja varnost delavcev med izvajanjem del,
- zmanjšanje števila napak in posledic, ki so jih povzročali delavci,
- boljše nadziranje nad izvajanjem vzdrževalnih del ter bolj tekoče delo,
- skrajšana doba popravil ter manjši obseg dela.

Ne glede na vse prednosti, ki jih zagotavlja tak sistem, so slabosti slednjega predvsem v uporabi, omejeni le na relativno lahko dostopna območja. Predvsem pa je tak sistem večinoma namenjen le za nekatera omejena vzdrževalna dela. Primer uporabe talnega robota je predstavljen na sliki 7.

Slika 7: Uporaba talnega robota



Vir: D. Elizando, Robots Are Coming, 2015b, str. 1.

3.4.2 Roboti na žicah

Prvi robot na žicah je bil razvit leta 2005. Takrat je imel štiri noge, s katerimi se je pomikal (plezal) po žici (Guo et al., 2014, str. 1).

Roboti na žicah so zasnovani z namenom, da služijo kot podaljšek oči in rok delavcev. Uporabljajo se predvsem na visokonapetostnih daljnovodih, ki so postavljeni visoko nad tlemi. Uporabni so v mestih, na težko prehodnih območjih ter nad rekami in nevarnimi območji. Njihova glavna funkcija je pregledovanje daljnovodov in opravljanje manjših vzdrževalnih del. Ta tehnologija se bolj pogosto uporablja zadnjih 5 do 8 let in je sposobna opravljati na stotine različnih nalog z različnimi vgrajenimi kamerami in senzorji. Slabost pri njihovi uporabi je izpostavljenost vremenskim vplivom, kot je veter. Pri močnejšem vetru so podatki lahko netočni. Taki roboti lahko imajo tudi težave pri določenih preprekah na vodnikih, saj se hitro kje zataknejo in ustavijo (Elizondo, 2015a, str. 1).

Robot na žicah je sistem, ki lahko obdrži ravnotežje in se premika. Skozi leta se je razvilo in izoblikovalo kar nekaj takih robotov. Prednost slednjih je, da lahko opravljajo preglede,

ko daljnovod obratuje normalno. Take vrste robot je uporaben predvsem na težko dostopnih območjih. V zadnjih letih sta v uporabi predvsem dve vrsti takega robota. Eden izmed najnovejših konceptov robota na žici za pregledovanje visokonapetostnih daljnovodov je bil razvit v podjetju HiBot in tokijskem inštitutu za tehnologijo. Imenuje se Expliner robot, glavni del robota 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 (Guo et al., 2014, str. 1–2). Zasnovan je bil tako, da lahko izvaja akrobacije, saj je sposoben splezati na drugo stran daljnovoda s pomočjo vgrajene podaljšane roke. Vgrajene ima 4 različne senzorje (kamere), ki snemajo celotnih 360 stopinj vseh 4 vodnikov, na katere je pritrjen. Vgrajen ima tudi globalni sistem pozicioniranja (angl. *Global Positioning System*, v nadaljevanju GPS), s katerim lahko hitro ugotovijo lokacijo okvare. Podatki se po končani operaciji prenesejo v sistem za zbiranje podatkov (Expliner Robot – High Voltage Transmission Line Inspection Robot, 2011).

Slika 8: LineScout robot



Vir: A. M. Corley, Robotic Trightrope Walkers for High-Voltages Lines: Inspection bots in Canada and Japan roll out to make power lines safe, 2009, str. 1.

Na sliki 8 je predstavljen trenutno najboljši LineScout robot za vzdrževanje visokonapetostnih daljnovodov, ki je še nekakšna nadgradnja Expliner robota. Razvit je bil v raziskovalnem inštitutu Hydro Quebec. Ta robot visi le na spodnjem delu enega vodnika, kar mu omogoča lažje prečkanje ovir, kot so dušilci vibracij, razne signalne naprave, ki služijo boljši vidljivosti za letala, in podobno. Vgrajeno ima tudi robotsko roko, s katero

lahko izvaja določena popravila. To pomeni, da je namenjen preventivnemu vzdrževanju (Guo et al., 2014, str. 1–2).

LineScout robot je v primerjavi z Explinerjem za dobrih 18 kg težji in tehta okoli 98 kg. Oba pa imata omejeno dobo avtonomije okoli 5 do 6 ur (Pagnano et al., 2013, str. 236–237). Vgrajeno imata tudi internetno komunikacijsko postajo, ki povezuje operaterja z robotom. Večinoma robot potuje po žicah po vnaprej avtomatsko predvideni poti. Ko pa pride do kakšne koli prepreke, ga dodatno vodi tudi operater. S pomočjo daljinskega upravljanja mu pomaga prečkati oviro. Nedavni preizkusi robotov na daljnovodih so pokazali veliko časovno izboljšanje pri prečkanju ovir s trenutnih 12 minut na 3 minute. Seveda pa je to odvisno od vrste ovir ter debeline kabla (Debenest et al., 2010, str. 6–8). Roboti v poprečju lahko pregledajo 27 metrov kabla na minuto. Problem pri obeh vrstah robotov se pojavi predvsem v nameščanju na daljnovod. Za nameščanje potrebujejo posebno napravo za tovorjenje robota, ki zahteva okoli 2 uri in 30 minut ter dodatnih 45 minut, da robot pripleza do vrha daljnovoda. Taka oblika vzdrževanja zato zahteva veliko časa za pripravo (Pagnano et al., 2013, str. 236–237).

3.5 Trenutne smernice uporabe robotskih tehnologij in primerjava ekonomske prednosti metod dela

V zadnjih nekaj letih so podjetja močno investirala v raziskave in razvoj robotskih tehnologij za vzdrževanje visokonapetostnih daljnovodov. Očitno je, da so si nekatere robotske tehnologije že zagotovile prostor na trgu. Mednarodna skupina za upravljanje sredstev distribucijskih in prenosnih omrežij CEATI (angl. *International Transmission Line Asset Management group*, v nadaljevanju CEATI) je s finančno pomočjo 30 vodilnih podjetij na elektroenergetskem področju (ki so tudi člani skupine CEATI) izvedla celovito raziskavo med podjetji, ki uporabljajo robotske tehnologije za vzdrževanje daljnovodov, ter njihovimi proizvajalci robotskih tehnologij. Anketne vprašalnike so poslali 56 podjetjem, odgovore pa je posredovalo le 25 podjetij. Z njimi in njihovimi proizvajalci so opravili tudi poglobljene intervjuje. Podjetja so bila locirana v Kanadi, na Kitajskem, Japonskem in v Ameriki. 32 odstotkov oziroma 8 podjetij je odgovorilo, da za vzdrževanje med normalnim delovanjem distribucijskih in prenosnih omrežij uporabljajo robotske tehnologije. Od tega jih 63 odstotkov uporablja talne robote, 38 odstotkov jih uporablja robote na žicah, 13 odstotkov pa brezpilotna letala. Pri tem večina podjetij uporablja več kot eno robotsko tehnologijo. Počasi se je torej začel odpirati nov trg in potrebe podjetij, ki uporabljajo robotske tehnologije, naraščajo. Elizando (2015b, str. 1) je mnenja, da je potreba odvisna od regije oziroma geografske lokacije podjetja ter napetosti daljnovoda. Potreba po robotskih tehnologijah naj bi se v naslednjih 10 do 15 letih močno povečala, predvsem za pregledovalne in vzdrževalne namene. Nekatera podjetja že močno investirajo v raziskave in razvoj, vendar pa bo trajalo še kar nekaj let, preden bo elektroenergetska industrija standardizirala uporabo robotske tehnologije. Razlogi so predvsem še razvijajoče se področje robotskih tehnologij, varnostne procedure ter nejasni zakoni in predpisi o

njihovi uporabi (Elizando, 2015b, str. 1).

Raziskovalci skupine CEATI so ugotovili, da je uporaba robotskih tehnologij pogojena z ekonomskimi prednostmi, ki jih prinaša stroškovna učinkovitost dela pod napetostjo. Izpad kateregakoli elementa električnega sistema ni dovoljen med uporabo robotskih tehnologij. Da bi ugotovili ekonomsko prednost uporabe metod dela pod napetostjo za zamenjavo določenega dela daljnovoda, kjer delo lahko poteka pri normalnem obratovanju daljnovoda ter daljnovoda brez napetosti, je bilo treba določiti merljive postavke. Med te spadajo stroški opreme in proizvodni stroški, izguba prihodkov in stroški delavcev. Prve tri postavke so ocenjevali na podlagi javnih informacij. Raziskovalci skupine CEATI so predvidevali, da vzdrževalci potrebujejo 120 dni za zamenjavo dela daljnovoda, če uporabljajo metode dela na breznapetostnem daljnovodu, ter 150 dni, če se delo izvaja na normalno delujočem daljnovodu. Kot dodatek dela pod napetostjo so predvidevali 7-člansko skupino delavcev za postavitev temeljev, 4 delavce za podporo ter 11 kvalificiranih delavcev za delo pod napetostjo (Elizando, 2015b, str. 1).

Rezultati meritev so pokazali, da ima 120 dni dela na breznapetostnem daljnovodu neposredni vpliv na stroške in prihodke podjetja. Ta vpliv je povezan s stroški nadomestnega napajanja, ki bo dražje, saj napajanje ni optimalno, ter s proizvodnimi stroški, ki podjetje stanejo okoli 4,75 milijona dolarjev, hkrati pa negativno učinkuje tudi na prihodke: izguba prihodkov za podjetje znaša 1,45 milijona dolarjev. Vendar v primerjavi s tehnikami dela pod napetostjo tehnike dela na breznapetostnem daljnovodu zahtevajo manj časa in opreme, kar se odraža v nižjih stroških delavcev. Večji stroški delavcev, ki bi opravljali delo pod napetostjo, pa za podjetje predstavljajo okoli 447.000 dolarjev več stroškov. Sklenemo torej lahko, da če bi delo potekalo na breznapetostnem daljnovodu, bi celotni stroški znašali 6,2 milijona dolarjev, medtem ko bi delo pod napetostjo povzročilo 447.000 dolarjev stroškov. Opravljanje dela pod napetostjo torej pomeni kar 5,75 milijona dolarjev prihranka (Elizando, 2015b, str. 1).

V tabeli 2 je prikazan delež uporabe robotskih tehnologij, ki so namenjene za popravila daljnovodov. Iz nje lahko razberemo, da robotske tehnologije večinoma uporabljajo za zamenjavo ali popravilo strukture daljnovoda. 20 % je uporabljajo za čiščenje izolatorja, preostalih 30 % pa za preostale tri aplikacije, namenjene vzdrževanju daljnovodov (Elizando, 2015b, str. 1).

Tabela 2: Robotske aplikacije, namenjene vzdrževanju daljnovodov pod napetostjo

Robotske aplikacije	Delež uporabe (%)
Popravilo/zamenjava strukture	50
Čiščenje izolatorja	20
Zamenjava vodnika	10
Zamenjava distančnika	10
Drugo	10

Vir: D. Elizando, *Robots Are Coming*, 2015b, str. 1.

Celotna analiza je bila narejena na podlagi dejanskega preteklega konstrukcijskega projekta visokonapetostnega daljnovoda (Elizando, 2015b, str. 1). Rezultati raziskave so pokazali, da je delo pod napetostjo stroškovno bolj upravičeno. Zato so metode dela, ki lahko potekajo med normalnim obratovanjem daljnovoda, toliko bolj iskane. V take tehnologije podjetja vedno več investirajo, mednje pa spadajo različne robotske tehnologije, ki omogočajo pregledovanje, vzdrževanje ter zamenjavo komponent, ki sestavljajo daljnovod.

Talni roboti in roboti na žicah za opravljanje dela pod napetostjo obstajajo na trgu že dlje časa. Z leti je ta tehnologija napredovala, predvsem roboti na žicah so v zadnjih treh letih močno napredovali. Kljub temu so v zadnjem času največji napredek in največje zanimanje ustvarili leteči roboti, imenovani tudi brezpilotna letala, namenjena pregledovanju in vzdrževanju daljnovodov. Nedavne izboljšave brezpilotnih letal predstavljajo potencialne možnosti za njihovo uporabo namesto klasičnih metod ročnega pregledovanja daljnovodov, helikopterskega pregledovanja daljnovodov ali pregledovanja daljnovodov s katero izmed robotskih tehnologij (Elizando, 2015c, str. 1).

4 UPRAVIČENOST UPORABE BREZPILOTNEGA LETALA ZA VZDRŽEVANJE DALJNOVODOV

4.1 Opredelitev brezpilotnih letal

Najbolj poenostavljeno si zrakoplovni sistem brez posadke lahko predstavljamo kot klasično letalo, ki mu odstranimo posadko, namesto nje pa vgradimo računalniški sistem in radijsko povezavo. Vendar vse skupaj ni tako preprosto. Takšno letalo mora biti že v samem začetku dobro zgrajeno za upravljanje brez posadke. Obravnavano mora biti kot celovit sistem, ki je namenjen za opravljanje različnih nalog. Austin (2010, str. 1) pravi, da mora ta celovit sistem sestavljati:

- letalo kot transportni sistem različnih velikosti,
- Oprema za podporo, med katero spadajo različne stvari (orodje, naprave) za vzdrževanje in transport,

- Kontrolna postaja, ki predstavlja povezavo med operaterjem in preostalim delom sistema,
- Komunikacijski sistem med kontrolno postajo, ki pošilja ukaze v letalo ter pridobiva podatke in druge informacije iz letala do kontrolne postaje (po navadi s pomočjo radijskega prenosa).

Zrakoplovni sistem brez posadke združuje veliko podsistemov, med katere spadajo letalo, ki ga pogosto imenujemo **brezpilotno letalo** (v nadaljevanju **BPL**), celoten njegov tovor, kontrolna postaja (postaja za upravljanje), podsistemi za začetek (vzlet) in konec (pristanek) delovanja, podsistemi za podporo delovanja, komunikacijski podsistemi itd. Prav tako mora biti obravnavan kot del mednarodnega letalskega prometa ter upoštevati njegove predpise in pravila. BPL je pogosto zamenjano z različnimi modeli letal, najpogosteje s tako imenovanimi »droni« (angl. *Drone*). Droni nimajo inteligence. Ne komunicirajo z operaterjem, tudi fotografije in rezultate operacije lahko pridobijo šele ob vrnitvi v bazo. BPL pa ima vgrajeno inteligenco, ki je sposobna komunicirati z operaterjem ter vračati podatke (slike) neposredno v bazo (Austin, 2010, str. 3).

Bitenc (2014, str. 155) sodobno BPL opredeljuje kot: »sistem, ki ga navadno sestavljajo zračno plovilo z avtopilotom in senzorji visoke ločljivosti za zajem podatkov, zemeljska postaja za načrtovanje in kontrolo letenja, zemeljska postaja za pridobivanje in obdelavo informacij, sistem za izmenjavo podatkov med letalom in zemeljsko postajo za prenos videa in telemetrijskih podatkov v realnem času«.

Vadari (2015, str. 1) pravi, da si BPL pogosto predstavljamo kot nekaj, kar leti s pomočjo daljinsko vodenega sistema. Colomina in Molina (2014, str. 79) pa sta mnenja, da je BPL sistem nekega večjega sistema, ki je skupek komplementarnih tehnologij z namenom izpolnjevanja nalog. Slednjega naj bi sestavljale tri večje komponente, in sicer BPL, kontrolna postaja ter komunikacijska tehnologija.

V svoji nalogi se bom osredotočila na BPL za vzdrževanje daljnovodov, ki imajo že vgrajeno neko mero inteligence (razvoj še poteka), vendar so manjša in lažja. Trenutno še nimamo enotnega imena za te vrste letal, zato se v posameznih virih pojavljajo različni izrazi za to vrsto robotske tehnologije ter različne opredelitve BPL. Ta BPL se razlikujejo od BPL, ki se uporabljajo za vojaške namene, pa tudi od splošno znanih dronov. So nekakšna mešanica teh dveh tehnologij, ki se še razvija in predstavlja velik potencial za uporabo na različnih področjih.

4.1.1 Zgodovina brezpilotnih letal

Colomina in Molina (2014, str. 79) pravita, naj jih pustimo leteti, in ustvarili nam bodo nov trg. V mislih sta imela BPL. BPL so bila prvotno razvita za vojaške namene. Baloni so bili najverjetneje ena najstarejših platform, namenjenih opazovanju iz zraka. Prve fotografije Pariza iz zraka so bile posnete že leta 1858. Prvi potencial BPL je zaznala raziskovalna in

razvojnna skupina v poznih sedemdesetih letih 19. stoletja. Ideja prvotno ni bila dobro sprejeta med ljudmi, na kar kaže majhno število publikacij in konferenc. Nekatera podjetja in tehnologi pa so vseeno ostali odprti do novih idej, saj so videli, kaj trg (ljudje) potrebuje, zato so začeli pospešeno in intenzivno vlagati v raziskave in razvoj robotske tehnologije. Kasneje so se BPL vedno bolj začela uporabljati za vojaške namene. Razvoj radiokomunikacijske povezave v dvajsetem stoletju je vse skupaj nekoliko spodbudil. Test z BPL sta leta 1979 izvedla Przybilla in Wester - Ebinghause. Imelo je radijsko povezavo in nameščeno kamero. Leta 1980 je ista ekipa izvedla ponovni poskus, vendar je vanj namestila drugačno kamero, s katero so posneli staro mestno jedro. Prav ta testiranja so spodbudila nadaljnji razvoj BPL (Colomina & Malina, 2014, str. 79–80).

4.1.2 Značilnost in vrste brezpilotnih letal

BPL se medsebojno razlikujejo glede na svoje sposobnosti. Nekatera so sposobna opraviti samo eno nalogo, spet druga lahko opravljajo več nalog hkrati. Najsodobnejša BPL so sposobna podajati informacije tudi o lastnem stanju, kot sta količina bencina ter temperatura naprav (motorja, elektronike). Če se pojavi napaka v sistemu, jo BPL korektivno lahko popravi, hkrati pa sproti obvešča operaterja o najdeni napaki. Če bi se pokvarila komunikacijska povezava med operaterjem in BPL, bi bil lahko sprogramiran na način, da sam poišče novo radijsko frekvenco in ponovno vzpostavi povezavo, če je ta radijska. Še bolj inteligentno BPL ima sprogramiran odgovor na vsak možen dogodek. Nekateri imajo programirano tudi takojšnje odločanje na mestu, kjer je treba odločitve hitro sprejeti ter jih izpeljati. To pomeni, da imajo programirano inteligenco za samodejno sprejemanje odločitev (Austin, 2010, str. 3).

BPL lahko razdelimo v različne razrede glede na velikost, težo, višino in hitrost, ki jo lahko dosežejo. Različni tipi BPL se uporabljajo za različne namene. Vendar se te definicije skozi čas spreminjajo, saj tehnologija napreduje in lahko manjši sistemi prevzemajo vloge večjih. BPL se trenutno opredeljujejo po značilnostih, ki so predstavljene v tabeli 3. V tabeli so zajeta le manjša BPL. Obstajajo še mnogo večja BPL, ki se uporabljajo izključno za vojaške namene in niso pomembna za obravnavano tematiko.

Tabela 3: Vrste BPL

Vrsta BPL	Značilnosti
BPL s srednjo vzdržljivostjo (angl. <i>Medium Range Endurance</i>)	Uporabljajo se za vojaške namene, vendar potrebujejo posebno dovoljenje za vzlet. Vgrajen imajo visokotehnološki sistem.
BPL blizu dosega ter srednje vzdržljivo (angl. <i>close-short-medium-range UAS</i>)	Dosežejo razdalje od 10 do 70 km. Maksimalna teža pri vzletu je lahko med 150 in 1250 kg. V to kategorijo spadajo tudi druga BPL, kot so BPL z enim pritrjenim

nadaljevanje

Vrsta BPL	Značilnosti
	krilom (angl. <i>fixed-wing UAV</i>). Letala so opremljena z različnimi podsistemi.
Mini BPL	Sem spadajo BPL, ki so lažja od 30 kg. Dosežejo lahko razdalje do 10 km. Njihova maksimalna časovna vzdržljivost je okoli 2 uri. Tudi te vrste letal se uporabljajo za civilne in vojaške namene. To je največja in najuporabnejša skupina BPL.
Mikro BPL	Razpon kril na teh BPL ni širši od 150 mm. Ta vrsta BPL je lažja od 5 kg. Taka BPL so navadno bolj počasna in sodobneje zasnovana.
Nano BPL	So zelo majhna in se uporabljajo za opravljanje zelo kratkih nadzornih pregledov.
BPL z vertikalnim vzletom	Takšno BPL je zmožno vertikalno vzleteti in pristati.

Vir: R. Austin, *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment*, 2010, str. 4–5; I. Colomina & P. Molina, *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review*, 2014, str. 81–82.

Vsa tista brezpilotna letala, ki so lažja od 150 kg, imenujemo **lahka BPL**, in sem uvrščamo tako mikro kot mini BPL. Ta letala letijo v nekontroliranem zračnem prostoru (če zakon ne zahteva drugače) ter so primerna za opravljanje različnih del na različnih področjih, namenjena pa so tudi zbiranju podatkov. Lahka BPL se torej lahko uporabljajo za vzdrževalne namene, o čemer bo govor v nadaljevanju. Hitrost BPL je lahko zelo različna in je odvisna od namena uporabe. V zadnjem obdobju se je uporaba BPL povečala. Od leta 2009 se število zadetkov na svetovnem spletu o brezpilotnih letalih ter število objavljenih znanstvenih člankov močno povečuje (Colomina et al., 2014, str. 79–80). Najbolj se je raba povečala na komercialnem področju, v zadnjih nekaj letih pa njihovo uporabo lahko zaznamo tudi na področju energetike.

Pregledovanje visokonapetostnih daljnovodov navadno poteka v dveh korakih. Prvi zelo pomemben korak je zbiranje podatkov. BPL omogočajo učinkovito zbiranje podatkov s pomočjo vizualne kontrole. Drugi pomemben korak je zaznavanje napak. BPL so zmožna zaznati različne napake s pomočjo vgrajene inteligence (Sampedro et al., 2014, str. 1–2).

Zbiranje podatkov o stanju sredstev je postalo zelo pomembno opravilo. Podjetja želijo zmanjšati produkcijske stroške ter optimizirati vzdrževanje daljnovodov. Uporaba BPL lahko izboljša varnostne pogoje ter zmanjša stroške vzdrževanja, zato bi bila v primerjavi z drugimi tehnologijami, ki so danes na voljo, dobra alternativa za namene vzdrževanja in pregledovanja daljnovodov (Grimaccia, Aghaei, Mussetta, Leva, & Quater Belleza, 2014, str. 48–49).

4.1.2.1 Delovanje brezpilotnih letal

BPL je združeno iz več sistemov, torej morajo za njegovo delovanje dobro delovati vsi sistemi. Eden izmed pomembnih sistemov je kontrolna postaja. Lahko je stacionarna ali prenosna. Sestavljajo jo računalniški sistemi ali ekspertni sistemi za upravljanje BPL. Je enako pomembna kot samo BPL, saj se povezuje s človeško inteligenco. Človek lahko s pomočjo kontrolne postaje upravlja BPL. Če pride do spremembe poti ali raznih okvar, lahko hitro ukrepa. V nekaterih primerih imajo BPL že vgrajeno določeno mero inteligence, ki zaznava napake ter se v primeru določenih nepravilnosti vrne do kontrolne postaje (Colomina et al., 2014, str. 82).

Naslednji pomemben sistem je komunikacijska povezava med BPL in njenim operaterjem, ki je ključnega pomena za opravljanje nalog pregledovanja in vzdrževanja. Če BPL leti znotraj letalskega prometnega območja, je pomembna tudi varnost. BPL, ki se uporabljajo za opravljanje manjših nalog, kot je vzdrževanje daljnovodov, večinoma niso vključena v mednarodni letalski promet (razen če tako zahteva zakonodaja), vendar je varnost kljub temu bistvena. Komunikacijska povezava je večinoma radijska, v mini BPL se uporablja tudi internetna povezava. Možne pa so tudi druge komunikacijske povezave, kot so visokofrekvenčne satelitske povezave (Colomina et al., 2014, str. 82).

Vsako BPL ima svoj namen in svojo nalogo, ki jo mora opraviti, za vsako nalogo pa vključuje različne podsisteme. Sem spada oprema, ki jo prevažata s seboj oziroma je vgrajena na BPL. Ta oprema je lahko zelo raznovrstna: od relativno preprostih podsistemov, težkih le okoli 200 g, do video sistemov z boljšo kakovostjo, težkih okoli 3 do 4 kg. Lahko pa nosi tudi do 1000 kg težak visokozmogljivi radar. Nekatera bolj sofisticirana BPL imajo vgrajene različne kombinacije senzorjev. V eni napravi so tako lahko vgrajeni barvna kamera, infrardeča kamera ter skener za pregledovanje okolja (Austin, 2010, str. 10).

Maksimiranje kapacitet tovora na lahkih BPL je torej ključ za njihovo uspešno uporabo. Cody (2014, str. 1) pravi, da se na BPL najpogosteje uporablja naslednja oprema:

- visokozmogljivi fotoaparati in video kamere,
- infrardeče kamere/termalni senzorji,
- frekvenčni senzorji,
- ultravijolične kamere,
- kombinacija različnih kamer,
- laserji LiDAR (tehnologija, ki meri razdaljo, ki jo osvetljuje cilj z laserjem – zemljevidi z visoko ločljivostjo),
- geografski informacijski sistem (GIS).

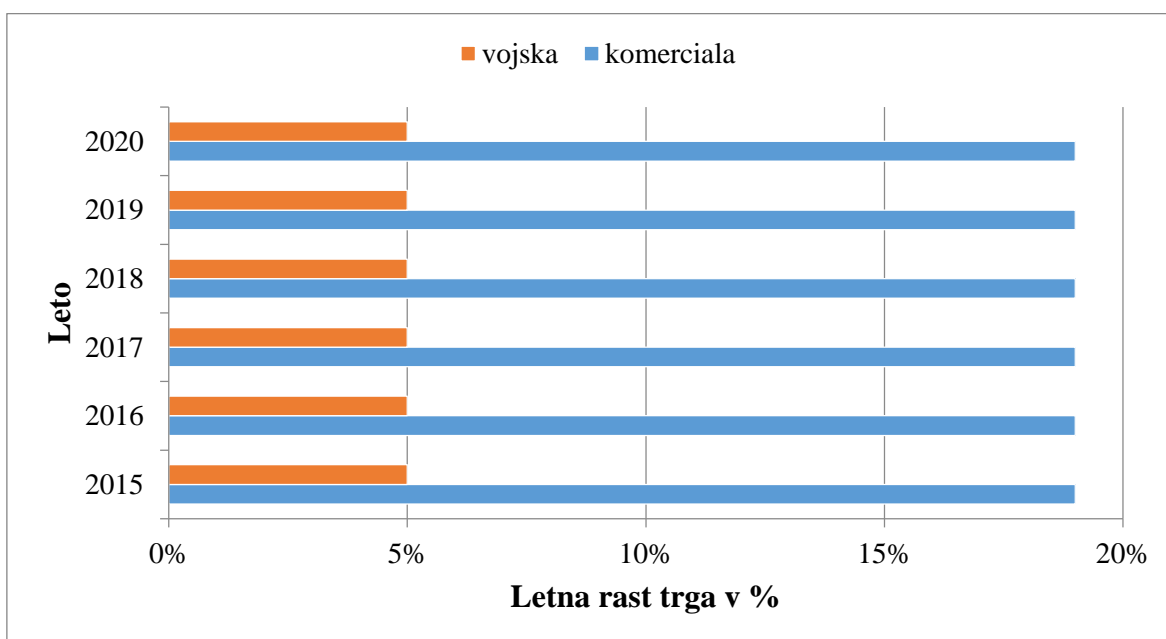
Na trgu imamo danes na voljo veliko različnih kamer, v zadnjem času tudi zelo majhne

visokozmogljive infrardeče kamere, ki jih lahko zaradi njihove majhne teže uporabljajo tudi na BPL. Zelo pomembna je tudi navigacijska in orientacijska oprema (Colomina et al., 2014, str. 82). Povpraševanje po majhnih in zmogljivih korona (ultravijoličnih) kamerah, ki se namestijo na letečega robota in nam omogočajo zaznavanje napak na daljnovodih, v zadnjem času močno narašča. Enega izmed najnovejših sistemov za pregledovanje daljnovodov, ki združuje več visokokakovostnih kamer, je razvilo podjetje Ofil Systems (Fischbach, 2015, str. 1). Sistem se imenuje DayCor® ROM in združuje ultravijolični senzor s televizijsko kamero ter infrardečim senzorjem. Uporabljeni so izključno senzori trenutno najboljših proizvajalcev (Ofil Systems, 2015).

4.1.2.2 Trg brezpilotnih letal

V nadaljevanju je predstavljen globalni trg BPL. Na sliki 9 je predstavljena rast trga brezpilotnih letal v odstotkih na leto v obdobju od 2015 do 2020.

Slika 9: Rast trga BPL (v %)

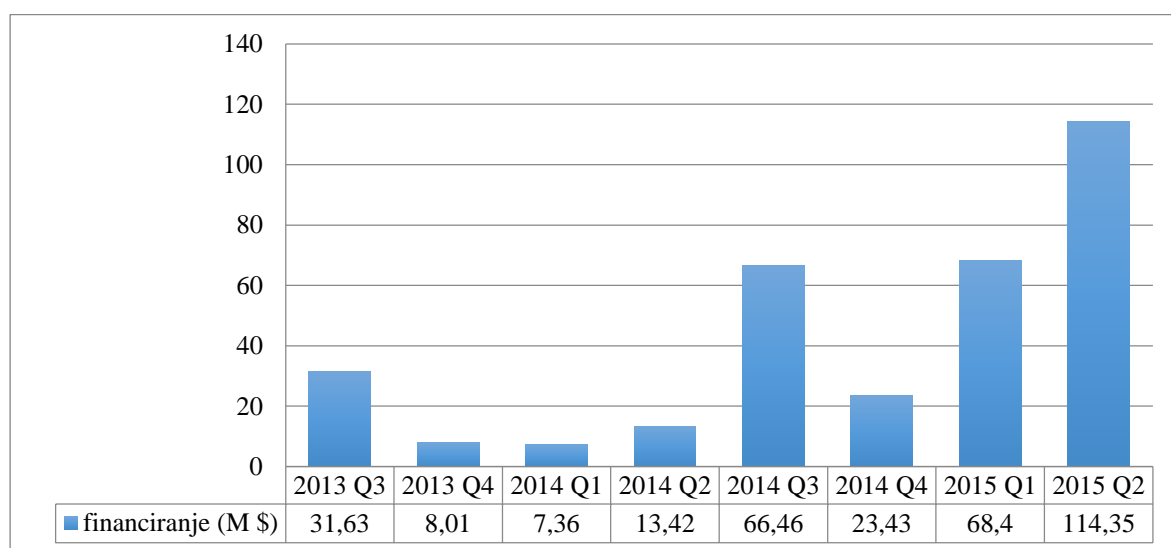


Vir: *THE DRONE REPORT: Market forecasts, regulatory barriers, top vendors, and leading commercial application, 2015.*

Z rdečo je ponazorjena rast trga BPL vojaških enot (letala, namenjena vojaškim potrebam), z modro pa rast trga BPL za druge komercialne namene. Med letoma 2015 in 2020 naj bi se trg BPL za komercialne namene letno povečal za 19 %, medtem ko naj bi trg BPL za vojaške namene v 5 letih letno zrastel le za 5 %. Trg BPL je tako še vedno v razvoju. Predvsem je pričakovati rast na komercialnem področju, konkretno v energetiki, menedžmentu okolja in gradbeništvu (THE DRONE REPORT: Market forecasts, regulatory barriers, top vendors, and leading commercial application, 2015, 2015).

CB Insights je podjetje, ki na podlagi podatkov ter analiz trga napoveduje prihodnje stanje različnih sektorjev, hkrati pa pomaga podjetjem pri investicijskih odločitvah. Na sliki 10 so predstavljene investicije podjetij v tehnologije BPL od leta 2013 do druge četrtine leta 2015. Podjetja so v tretji četrtini leta 2013 v to vrsto robotske tehnologije investirala 31,63 milijona dolarjev. Do druge četrtine leta 2014 je financiranje nekoliko usahnilo, nato pa je v zadnji četrtini tega leta ponovno narastlo. Takrat je znašalo 23,43 milijona dolarjev. Največjo vrednost pa je doseglo v drugi četrtini letošnjega leta, ko so investicije v tehnologijo BPL znašale 114,35 milijona dolarjev (CB Insights, 2015).

Slika 10: Investicije podjetij v tehnologije BPL (v milijonih)



Vir: CB Insights, *Drone companies - poročilo podjetja o financiranju v tehnologijo BPL, 2015.*

4.2 Pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal

Pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal so v vsaki državi drugačni. Nekatere države predpisov sploh nimajo, spet druge imajo natančno določena pravila. Združene države Amerike imajo zelo stroga pravila o uporabi brezpilotnih letal, tudi Velika Britanija jih počasi zaostruje. V Evropi pa so pravila za lahka BPL odvisna od posamezne države.

4.2.1 Pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal v Združenih državah Amerike

Leta 2007 sta zvezna uprava za letalstvo (angl. *Federal Aviation Administration*, v nadaljevanju FAA) in ministrstvo za promet (angl. *Department of Transportation*) v Združenih državah Amerike prepovedala uporabo vseh brezpilotnih letal, ki se uporabljajo za komercialne namene. 15. februarja 2015 je FAA izdala nov zakon in pravila o uporabi BPL za komercialne namene. Houseman (2015, str. 1) navaja nekatera izmed predpisanih pravil njihove uporabe:

- maksimalna teža je 25 kg,
- operacije se lahko izvajajo samo podnevi,
- maksimalna hitrost je 160,9 km/h,
- en operater lahko upravlja samo eno BPL hkrati,
- operaterji BPL morajo pred njihovo uporabo prestati test zvezne uprave za letalstvo,
- maksimalna dovoljena višina je 152 m,
- zahtevana dobra vidljivost,
- prepovedano letenje med drevesi,
- prepovedano kršenje človekovih pravic.

4.2.2 Pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal v Evropi

Pravila glede uporabe BPL veljajo tudi v Evropi, kjer ni enotnega zakona o njihovi uporabi, temveč so določena znotraj posamezne države. BPL, ki so lažja od 150 kg, se uvrščajo pod nacionalni letalski organ in se imenujejo lahka brezpilotna letala (UAVS Association, 2015b). Ta so bila izključena iz direktive, ki jo je Evropska unija izdala Evropski agenciji za varnost v letalstvu (angl. *European Aviation Safety Agency*). Vsaka država ima tako svoja pravila, nekatere države pravil in predpisov o upravljanju BPL še nimajo. Mednje spada tudi Slovenija. V Sloveniji imamo zakon o letalstvu (Ur. l. RS, št. 81/2010-UPB4), kjer so v 153. členu omenjeni zrakoplovi brez pilota. Minister za promet lahko zaradi zagotovitve varnosti predpiše omejitve glede gibanja zrakoplovov. Podrobnejših pravil o uporabi BPL ni. V Avstriji je za upravljanje BPL za komercialne namene potrebna licenca. Zahteve se spreminjajo glede na tip lokacije (nerazvita, delno naseljena, polno naseljena). Dovoljenje za upravljanje BPL je treba pridobiti na Švedskem, Češkem, Finskem, v Franciji in Romuniji. Na Danskem in Portugalskem ni potrebna nobena licenca za upravljanje BPL za komercialne namene. V Belgiji je uporaba BPL za komercialne namene prepovedana. Nemčija in Italija imata poleg zahtevane licence še nekatere dodatne zahteve. V Španiji trenutno še ni potrebna licenca za upravljanje BPL za komercialne namene, vendar morajo operaterji BPL kljub temu upoštevati začasna pravila glede njihove uporabe (Which countries can Multirotors be flown commercially?, 2015).

Letala lahko vsebujejo kontrolno postajo, radijsko povezavo ter vso preostalo potrebno opremo. V Angliji obravnavajo vsa BPL enako ne glede na njihovo težo in morajo slediti njihovim predpisom zračnega prometa. Preden lahko začnejo uporabljati brezpilotna letala, morajo opraviti vse zahteve civilnega letalskega organa. Znotraj ter zahtev so razni certifikati, ki jih morajo pridobiti. Upoštevati pa morajo tudi zakone o človekovih pravicah v Evropski uniji. To pomeni, da morajo vsi zbrani podatki upoštevati predpise glede zasebnosti in varstva podatkov. Letala, ki so težja od 20 kg, morajo biti dodatno pregledana, preden lahko začnejo leteti. Oblikovali so celotno shemo lahkega brezpilotnega letala, ki vključuje dizajn, konstrukcijo in zahteve za operativno odobritev letenja (UAVS Association, 2015a). Večina držav ima tako svoja pravila, tiste, ki

uporabljajo BPL za vojaške ali druge namene, pa morajo imeti izdelano zakonodajo o njihovi uporabi. Na uradni strani Evropske agencije za varnost v letalstvu je mogoče najti še ne dokončan dokument o uporabi brezpilotnih letal za komercialne namene. Dokument s standardi varnosti, zasebnosti, varovanja podatkov je bil izdan 31. julija 2015, vendar morajo počakati še na morebitne komentarje in pripombe (EASA, 2015b).

4.3 Namen uporabe brezpilotnih letal za vzdrževanje daljnovodov

BPL kot nova oblika konvencionalnih letal omogočajo energetskim podjetjem, da vidijo stanje sredstev na visokonapetostnih daljnovodnih sistemih. Stanje sredstev lahko ocenjujejo na težko dostopnih terenih, kar podjetjem prinaša dodano vrednost. V primerjavi z drugimi metodami, ki omogočajo ocenjevanje stanj daljnovodov, BPL lahko manevrira zelo blizu vodnikov ter ostane na mestu, kjer lahko posname kakovostno sliko stanja sredstev. Cody (2014, str. 1) navaja različne napake in stanja sredstev, ki jih lahko BPL zaznajo s podrobnimi posnetki:

- poškodovani izolatorji,
- temperatura daljnovoda,
- napake na omrežjih,
- vegetacija,
- nepravilno izdelana struktura.

Podjetja lahko uporabljajo BPL tudi kot pomoč pri rutinskem vzdrževanju daljnovodov ter planiranju njihovega vzdrževanja (Cody, 2014, str. 1). BPL predstavljajo eno izmed najbolj razvijajočih se tehnologij, ki so se pojavile v zadnjem času ter se uporabljajo za vse našteje aktivnosti. V nadaljevanju so podrobneje predstavljene tri glavne uporabne vrednosti BPL.

Upravljanje vegetacije z BPL omogoča hitre obhode čez večja distribucijska ali prenosna omrežja ter spremljanje rasti vegetacije skozi čas. V podjetje lahko vpeljemo menedžment vegetacije (Vadari, 2015, str. 1). Za spremljanje rasti vegetacije se uporablja več različnih tehnologij. Ena izmed njih je laserski skener LiDAR. Ta vrsta skenerja se v zadnjem času vedno bolj uporablja. Skener lahko posname vrsto (tip) drevesa, s kakšno hitrostjo raste ter kako hitro lahko ovira daljnovod. Določi lahko tudi, v kakšnem stanju je drevo in ali ima morda kakšno bolezen. Skener ocenjuje tudi možnost nastanka požara na podlagi okolja. Poleg tega je sposoben zaznavati možne insekte in živali, ki se nahajajo v bližini daljnovoda. LiDAR je tako namenjen za planiranje in vzdrževanje daljnovodov. Dodana vrednost LiDAR-ja je, da ga lahko namestimo na BPL, kar nam omogoča dober pregled in spremljanje vegetacije (Dukart, 2015, str. 1).

Ocenjevanje škode z BPL predstavlja prednosti predvsem v času naravnih katastrof, ko je treba hitro izvesti pregled in oceniti škodo. Sanacija napak je z BPL hitrejša v primerjavi z alternativnimi metodami. Stanje sredstev se lahko neposredno spremlja na video zaslonu

kontrolne postaje, kar omogoča pregled nad sredstvi v realnem času. Ker so naravne katastrofe v zadnjem času vedno bolj pogoste, bo uporaba BPL vedno bolj koristna. Raziskovalni inštitut za električno energijo EPRI je že zaključil analizo uporabnosti BPL za ocenjevanje škode, nastale z nevihtami. BPL so imela vgrajene visokoločljive video kamere, ki so snemale daljnovode tudi z več kot 200 metrov višine. Testi so potrdili, da so taki posnetki uporabni za distribucijska in prenosna podjetja, saj jim pomagajo oceniti škodo ter izslediti lokacijo okvar po nevihti. Z uporabo neposrednega video prenosa iz BPL bodo lahko podjetja skrajšala čas ocenjevanja škode (EPRI, 2012, str. 1).

Pregledovanje in ocenjevanje sredstev z BPL omogoča hiter in natančen pregled daljnovodnih vodnikov. BPL ima začrtano pot, po kateri postopoma pregleduje daljnovod. Vsak pregled zahteva drugačno opremo, ki se prilagaja glede na zahteve naročnika. S kakovostnimi kamerami BPL posname celo najmanjše nepravilnosti na daljnovodih, kontrolna postaja na tleh pa z video kamero spremlja stanje daljnovoda. BPL tako omogoča hitro izvedbo pregleda in zanesljivo oceno stanja sredstev.

4.4 Začetni stroški razvoja in operativni stroški brezpilotnega letala

BPL je precej manjše v primerjavi s helikopterjem s posadko in kot tako cenejše ter ekonomsko bolj učinkovito. Ker je manjše, porabi manj energije oziroma goriva, in ker je brezpilotno, so cenejši tudi stroški obratovanja in vzdrževanja. To pomeni, da so stroški dela nižji, cenejše pa je tudi zavarovanje. Seveda je to odvisno od posamezne operacije. V nadaljevanju so predstavljeni začetni stroški razvoja in operativni stroški BPL v primerjavi s klasično metodo helikopterja s posadko. BPL sem primerjala z lažjim helikopterjem s posadko (kar vključuje enega ali dva človeka). BPL so brez posadke, kar vpliva na velikost stroškov (stroški so nižji, saj pilot in kontrolor nista potrebna) ter na obliko letala. Za helikopter s pilotom in enim kontrolorjem bi moral prostor vsebovati dva sedeža, kabino z napravami za kontroliranje v prostornini okoli 1,2 kubična metra ter sprednji del s kvadraturou okoli 1,5 kvadratnega metra. BPL bi za izvedbo enake naloge potrebovalo le 0,015 kubičnega metra. Imelo bi vgrajen avtomatski sistem za letenje z različnimi senzorji in računalniki, barvno kamero ter komunikacijsko povezavo po radijski frekvenci. Sprednji del pa bi zavzemal le 0,04 kvadratnega metra. Helikopter s posadko in s celotno strukturo (vrati, steklom, okvirji itd.) bi bil težak vsaj 230 kg. BPL pa bi imelo le okoli 10 kg. Razlika v tovoru med helikopterjem in BPL bi znašala okoli 220 kg, sprednji del helikopterja pa bi bil 35-krat večji v primerjavi z BPL (Austin, 2010, str. 8).

Iz navedenega sledi, da bi začetni stroški razvoja BPL, opremljenega z vsemi senzorji, zavzemali le 3–4 % teže, okoli 2,5 % moči motorja (3 % porabe goriva) in 25 % velikosti kril v primerjavi z lahkim helikopterjem s posadko. Stroški strukture helikopterja ter motorja se spreminjajo glede na njegovo težo in moč motorja. Tako bi lahko na prvi pogled rekli, da bi bili stroški, če bi kupili BPL, le 3 % celotnih stroškov helikopterja s posadko. V praksi pa se iz v nadaljevanju predstavljenih razlogov pokaže, da teorija ne drži vedno

(Austin, 2010, str. 7). Zelo majhni strukture in motorji imajo približno toliko komponent kot veliki. Čeprav se stroški materiala zmanjšajo, se stroški proizvodnje ne zmanjšajo v istem razmerju. BPL mora imeti sistem za radijsko komunikacijo, ki ga helikopter ne potrebuje oziroma je pri helikopterju veliko bolj enostaven. BPL bo verjetno imelo veliko bolj sofisticiran sistem za kontrolo letenja v primerjavi s helikopterjem s posadko. Vgrajene bo imel kamero in senzorje, s pomočjo katerih bo lahko posnel stanje na daljnovodih. Helikopter pa ima posadko, kjer lahko kontrolor spremlja stanje na daljnovodih s pomočjo nočnega ali dnevnega daljnogleda (helikopter ima lahko vgrajene tudi kamere). Kot dodatek mora imeti BPL sofisticirano kontrolno postajo za povezavo med operaterjem in letalom. Kontrolna postaja pa bi bila najverjetneje na tleh (lahko tudi na morju ali v zraku) (Austin, 2010, str. 7–8).

Austin (2010, str. 8) pravi, da je celoten rezultat težko točno določiti, na podlagi vseh omenjenih zahtev glede opreme pa so stroški v približno takih razmerjih:

- BPL predstavlja okoli 20–40 % stroškov helikopterja s posadko.
- Kontrolni sistem (postaja) BPL predstavlja okoli 20–40 % stroškov helikopterja s posadko.
- BPL in kontrolni sistem BPL predstavljata okoli 40–80 % stroškov helikopterja s posadko.

Tabela 4 prikazuje primerjavo okvirnih operativnih stroškov BPL in stroškov helikopterja s posadko. Razvidno je, da bi bili operativni stroški BPL v celoti predvidoma 40 % manjši kot operativni stroški helikopterja s posadko (Austin, 2010, str. 8).

Tabela 4: Primerjava deleža operativnih stroškov BPL z operativnimi stroški lahkega helikopterja s posadko

Operativni stroški	%
Stroški amortizacije	30–60
Podpora (stroški kontrolnega sistema)	20
Plače delavcev in podobno*	50
Strošek goriva	5
Vzdrževanje	20
Zavarovanje**	30

Celotni operativni stroški predvidoma 40 % manjši

Legenda: * Plače delavcev in podobno – posadka je plačana bolje kot delavci na tleh, prav tako se upokojijo hitreje, hkrati pa morajo opraviti zahtevnejše specialistične zdravniške preglede.

** Zavarovanje – vključuje zavarovanje osebja in drugih udeležencev.

Vir: R. Austin, Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment, 2010, str. 8.

Na podlagi teh podatkov lahko ugotovimo, da so tako začetni stroški razvoja kot tudi operativni stroški BPL nižji v primerjavi z lahkim helikopterjem s posadko. Celotni operativni stroški bi bili tako predvidoma 40 % nižji. Ta metoda je tudi bolj varna.

4.5 Primeri in praksa uporabe brezpilotnih letal pri vzdrževanju daljnovodov v tujini

Uporaba in testiranje BPL sta postala z leti vedno bolj pogosta. Dovoljenja za testiranje BPL je dobilo že kar nekaj podjetij tako v Združenih državah Amerike kot v Evropi, nekatera pa so BPL že začela redno uporabljati. Seveda morajo upoštevati pravila FAA oziroma pravila nacionalnega letalskega organa. V nadaljevanju je predstavljen praktičen primer upravičenosti uporabe BPL v Združenih državah Amerike, kjer trenutno velja stroga zakonodaja o upravljanju BPL. Predstavljen primer kljub strogi zakonodaji potrjuje, da je uporaba BPL v nekaterih primerih smiselna. V nadaljevanju sta podana še en primer uporabe BPL v Združenih državah Amerike ter en primer iz Evrope, natančneje iz Finske. Obe podjetji sta že začeli testirati in uporabljati BPL za namene pregledovanja in vzdrževanja daljnovodov.

4.5.1 Primer in praksa uporabe brezpilotnega letala v Združenih državah Amerike

V zadnjih nekaj letih so podjetja po svetu močno povečala uporabo BPL z namenom dviga varnosti in učinkovitosti ter zmanjšanja stroškov. Z uporabo BPL lahko delovne skupine svoje delo opravljajo hitreje in varneje, zbrani podatki pa jim omogočajo dodatne prednosti še po opravljenem delovnem pregledu. Namesto uporabe drugih metod za pregledovanje in vzdrževanje sredstev, kot je tovornjak s kabino ali plezanje vzdrževalcev, lahko z BPL hitro nadzorujejo svoja sredstva ter sprejmejo nadaljnje odločitve in ukrepe. Slike in video posnetki, ki jih spremljajo v realnem času, predstavljajo za vodje upravljanja sredstev dodatno pomoč pri izdelavi plana vzdrževanja za prihodnost. Zbrani podatki se lahko shranijo in se uporabijo za primerjalne analize s prejšnjimi fotografskimi in video posnetki ter služijo kot pomoč pri odločanju upravljalca sredstev. Podjetje APS (angl. *Arizona Public Service Company*, v nadaljevanju APS) je raziskovalo, ali uporaba BPL res zagotavlja nižje stroške in večjo varnost. Ugotovili so, da je na podlagi trenutnih pravil in predpisov FAA v Združenih državah Amerike to v bližnji prihodnosti mogoče v treh od šestih obravnavanih primerov, predstavljenih v nadaljevanju. Pričakujejo, da se bodo pravila do leta 2017 spremenila, takrat naj bi bilo vseh šest primerov stroškovno učinkovitih in bolj varnih. Tam sicer veljajo najstrožji predpisi o uporabi BPL. Ko se bodo predpisi spremenili, bosta razlika v stroških in večja varnost pri uporabi BPL še bolj izraziti (Bordenkircher & Ellis, 2015a, str. 1).

Rast uporabe BPL tudi na drugih celinah kaže na prednosti uporabe BPL. Primer je iz Združenih držav Amerike, kjer velja stroga zakonodaja, ki povzroča počasno in drago uporabo BPL. Poleti leta 2017 pa pričakujejo, da bodo začela veljati nova pravila. Takrat bodo lahko vzdrževalci opravili le terensko izobraževanje o upravljanju z BPL. Do takrat pa se morajo držati trenutnih pravil. Podjetja lahko tako izbirajo med dvema možnostma. Lahko kupijo BPL, najamejo izobraženega pilota FAA in začnejo z izobraževanji. Lahko pa najamejo podjetje, ki že nudi storitve z uporabo BPL. Podjetje APS se je odločilo za

najem drugega podjetja, ker bodo z delom lahko začeli hitreje. APS je identificiral nekaj glavnih primerov uporabe BPL. Za nekatere izmed njih bodo potrebovali dovoljenje za letenje zunaj vidnega polja, pričakujejo pa, da bo zakonodaja v Združenih državah Amerike to dopuščala šele leta 2021. Bordenkircher in Ellis (2015b, str. 1) opisujeta, da je podjetje APS uporabo BPL razdelilo na 6 glavnih področij raziskovanja:

- pregledovanje daljnovodov,
- menedžment vegetacije,
- ocenjevanje škode požara/neviht,
- pregledovanje sončnih elektrarn,
- posnetki razdelilnih transformatorskih postaj,
- novogradnja (tam, kjer sta delo in prehod prepovedana).

Podjetje je za izračun in kategorizacijo trenutnih stroškov za izvedbo teh šestih področij raziskovanja na tradicionalen način izvedlo kar nekaj intervjujev in delavnic. Sešteli so stroške plač, potnih nalogov, stroške vozil, vključno z zavarovalnimi, vzdrževalnimi in preostalimi stroški, ki spadajo pod posamezen primer (npr. stroški opreme). Ekipa je nato primerjala dobljene stroške s stroški, ki bi nastali z uporabo BPL (Bordenkircher & Ellis, 2015c, str. 1). V tabeli 5 so predstavljene analiza stroškov in koristi uporabe BPL podjetja APS za posamezen primer.

Tabela 5: Analiza stroškov in koristi uporabe BPL podjetja APS za posamezen primer

Primer uporabe	Neto sedanja vrednost (triletne koristi) v \$	Neto sedanja vrednost (triletne koristi po spremembi zakonodaje) v \$
Pregledovanje daljnovodov	350,000	375,000
Pregledovanje sončnih elektrarn	750,000 do 1.4 milijonov	800,000 do 1.45 milijonov
Posnetki razdelilnih transformatorskih postaj	40,000	80,000
Novogradnja (tam kjer je sta delo in prehod prepovedana)	-15,000	40,000
Menedžment vegetacije	-35,000	10,000
Ocenjevanje škode požara/neviht	-5,000	26,000

Vir: S. Bordenkircher & E. Ellis, A Business Case for UAVs: Regulatory Analysis, 2015b, str. 1.

Rezultati analize vključujejo končne stroške in koristi opravljanja dela pri uporabi obeh metod. Pomožne koristi, kot so varnostne koristi, koristi zanesljivih kakovostnih slik in video posnetkov, niso bile vključene v analizo. Služile so le kot kvalitativna podlaga. Za

pomoč so prosili strokovnjaka podjetja, ki nudi storitve z BPL pri ocenjevanju in zbiranju stroškov za posamezen primer. Po tej oceni naj bi trije od šestih primerov kazali pozitivno neto sedanjo vrednost po treh letih z uporabo diskontne stopnje okoli 7 odstotkov. Operativni stroški BPL so približno enaki pred spremembo zakonodaje in po njej. Razlika v neto sedanji vrednosti nastaja predvsem zaradi stroškov potnih nalogov oziroma potovanj. Podjetje APS je želelo, da je na terenu med pregledovanjem celotna ekipa, zato so stroški poti dvojni (njihova ekipa in ekipa strokovnjakov). Po spremembi zakonodaje bo usposabljanje ekipe APS za delo z BPL spadalo pod druge planirane aktivnosti na terenu (Bordenkircher & Ellis, 2015c, str. 1).

Ekipa APS je prišla do odločitve, da bo v treh primerih uporabe BPL, ki kažejo prihranke stroškov in pozitivno neto sedanjo vrednost, uporabila to metodo (pregledovanje sončnih elektrarn, pregledovanje daljnovodov in posnetki razdelilnih transformatorskih postaj). Dokler ne bodo sprejeti novi zakoni glede uporabe BPL, bodo za opravljanje pregledovalnih del uporabili najete strokovnjake s tega področja. To jim bo omogočalo takojšnje koristi uporabe te tehnologije, dokler sami ne bodo usposobljeni za delo oziroma dokler ne bo zakonodaja tega omogočala. Neto sedanja vrednost je ocenjena glede na trenutno zakonodajo, po kateri mora biti BPL v vidnem polju operaterja, tako da ga lahko ves čas spremlja. Pričakujejo, da bo vrednost neto sedanje vrednosti dvakrat ali trikrat višja, ko bo dovoljena uporaba BPL zunaj vidnega polja. Šele takrat bodo lahko ocenili pravo vrednost pregledovanja sredstev z BPL. Da bi prednosti BPL popolnoma izkoristili, mora obstajati močna povezava med podatki prvotnega geografskega informacijskega sistema (v nadaljevanju GIS) in podatki GIS, posnetimi z BPL. Prvotni podatki GIS bodo namenjeni za planiranje poti in aktivnosti, da bo pot čim bolj natančna in točno načrtovana. Georeferenčni podatki (določajo natančno določitev položaja) o lokaciji sredstev že obstajajo v njihovem GIS in so tem strokovnjakom na voljo kot zagotovila, da pregledujejo prava sredstva. Po opravljenem pregledu se lahko referenčni posnetki prenesejo nazaj v GIS za boljšo vizualizacijo sredstev. Ko pa bo zaključen celotni pregled oziroma aktivnost, bodo rezultati preneseni v APS-jevo bazo podatkov. Kakovostne slike in posnetki bodo služili tudi upravljavcem sredstev znotraj podjetja pri načrtovanju in planiranju vzdrževalnih del. Podjetje APS opravlja majhno število pilotnih študij pri pregledovanju daljnovodov, sončnih elektrarn in razdelilnih transformatorskih postaj. Študijo bodo nadaljevali, če bodo pričakovani pozitivni rezultati teh študij tudi realizirani. V tem primeru bodo v podjetje vpeljali popolno implementacijo uporabe BPL (Bordenkircher & Ellis, 2015c, str. 1).

Eversource je največja energetska družba v Novi Angliji z več hčerinskimi podjetji v Združenih državah Amerike. Podjetje ima več kot 3,6 milijona porabnikov električne energije in zemeljskega plina (Eversource, 2015).

Evresource želi postati eno izmed prvih podjetij v Združenih državah Amerike, ki bo uporabljalo BPL kot varno, stroškovno učinkovito in kontrolirano metodo za vzdrževanje

in pregledovanje visokonapetostnih daljnovodov na težko dostopnih območjih. Prav tako je to podjetje eno izmed prvih, ki si je zagotovilo dovoljenje za njihovo uporabo s strani FAA. Komerzialna uporaba BPL kljub temu še vedno ostaja strogo prepovedana. Med letoma 2016 in 2017 lahko pričakujejo, da bodo izdana natančna pravila o njihovi uporabi. Junija 2014 je FAA izdala certifikat podjetju Eversource za opravljanje testnih letov na visokonapetostnih daljnovodih. FAA je določila tudi lokacijo za testiranje BPL, saj so želeli ugotoviti, ali je njihova uporaba stroškovno učinkovita. Želeli so ugotoviti tudi druge prednosti njihove uporabe, kot je njihov vpliv na preventivno vzdrževanje, kar bi lahko pozitivno učinkovalo na zanesljivost delovanja distribucijske in prenosne mreže. Daljnovodi morajo biti redno vzdrževani, saj obstaja velika možnost nastanka različnih poškodb. Pogosto na daljnovodih nastajajo gnezda ptic, poškodujejo jih lahko strele, tudi vandalizem je pogost. Taka oblika vzdrževanja prinaša večjo varnost delavcev, izboljšuje zanesljivost delovanja sistema ter zmanjšuje čas in stroške na področjih vzdrževanja (Tyburski & Gates, 2015a, 2015b, str. 1).

V celoten program za uporabo BPL je to podjetje investiralo 30,000 \$. Ugotovilo je, da lahko opravijo preglede na daljnovodih, v zelo kratkem času ter, da ima taka naloga minimalen vpliv na okolje. Uporaba BPL vpliva tudi na varnost delavcev. Organizacija za varnost in zdravje (angl. *Safety & Health Administration*) je sprejela nov zakon, ki delavcem preprečuje plezanje in pregledovanje določenih infrastruktur. Brez vpeljave takega sistema bi delavci Eversourcea kršili pravila te zakonodaje, zato morajo v podjetje vpeljati takšno robotsko tehnologijo, če želijo v celoti opraviti svoje delo (Tyburski & Gates, 2015a, 2015b, str. 1).

Kontrolna postaja vključuje prenosni računalnik z video ekspertnimi sistemi, kontrolirano daljinsko upravljanje s tehnologijo GPS ter BPL z maksimalno težo pri vzletu 2,5 kg. Enota je opremljena s kamero za snemanje in fotografiranje, ki pošilja podatke neposredno do glavne postaje. Operater, ki je na tleh, daljinsko vodi letalo in kamero ter neposredno gleda sliko na ekranu. BPL lahko ostane v zraku dobrih 15 minut, 5 minut ima rezerve še za vrnitev v bazo. BPL zazna tudi najmanjše okvare, ki vplivajo na pretok električne energije. Po več kot 200 testnih poletih se je ta oblika pregledovanja daljnovodov izkazala kot varna in stroškovno učinkovita metoda. S takšno tehnologijo delavci ne bodo več plezali na življenjsko nevarno višino v slabih vremenskih razmerah (Tyburski & Gates, 2015a, 2015b, str. 1). Na sliki 11 je prikazano BPL, ki ga je podjetje Eversource začelo testirati za namene pregledovanja daljnovodov.

Slika 11: BPL za pregledovanje daljnovodov



Vir: C. Tyburski & A. Gates, The Drones Are Coming, 2015a, str. 1.

4.5.2 Primer in praksa uporabe brezpilotnega letala na Finskem

Finsko podjetje Sharper Shape je izdelalo novo znamko pod imenom Next Eagle®, ki kot prvo na svetu ponuja avtomatsko pregledovanje daljnovodov z uporabo BPL (Sharper Shape, 2015). Na sliki 12 je prikazano brezpilotno letalo z imenom Next Eagle® ter njihova kontrolna postaja.

Slika 12: Brezpilotno letalo in kontrolna postaja znamke Next Eagle®



Vir: Drones for power line Inspection, 2015.

Ta rešitev zmanjšuje stroške pregledovanja in vzdrževanja visokonapetostnih daljnovodov. BPL je opremljeno z laserskim skenerjem, kamerami in letalskim varnostnim sistemom. Zmožno je opravljati daljše lete zunaj našega vidnega polja. Laser posname lokacijo letenja ter oblikuje 3D-model komponent celotne trase (območje, kjer poteka daljnovod) daljnovoda. Poleg tega posname še infrastrukturo poleg daljnovoda, gozdove in vegetacijo. Omogoča zbiranje podatkov, potrebnih za identifikacijo, in zmanjševanje tveganj ter lažje odločanje o načinu vzdrževanja daljnovodov (Drones for power line Inspection, 2015).

Podatki so poslani v strežnike podjetja Sharper Shape, kjer so analizirani, posamezna sredstva pa ocenjena glede na tveganja, ki so jim izpostavljena. Ekspertni sistem za analizo podjetja nato avtomatsko predlaga ukrepe za optimizacijo vzdrževanja ter plan vegetacijskega menedžmenta. Ti ukrepi in plan so zastavljeni tako, da pomagajo podjetju zmanjšati celotne stroške vzdrževanja (Sharper Shape, 2015). Rezultati testiranj so pokazali, da so brezpilotna letala učinkovita in ekonomsko upravičena metoda za pregledovanje daljnovodov, ki služijo kot namen vzdrževanja. Ekipa, ki je testirala letalo, je ugotovila, da lahko z uporabo takih letal dosežejo od 30 do 50 % nižje stroške pregledovanja daljnovodov. Potrebni pa bodo še dodatni tehnični popravki (Drones for power line Inspection, 2015).

4.6 Analiza stanja uporabe brezpilotnih letal v Sloveniji

V Sloveniji je uporaba BPL za pregledovanje in vzdrževanje visokonapetostnih daljnovodov redka. Kljub temu so elektroenergetska podjetja že izrazila zanimanje za njihovo uporabo. Eno izmed takih je podjetje ELES, d.o.o., sistemski operater prenosnega elektroenergetskega omrežja. Družba je bila ustanovljena leta 1991, takrat ji je država z zakonom podelila vlogo javne gospodarske družbe za prenos, nakup in prodajo električne energije na prenosnem omrežju. Podjetje danes skrbi za zanesljiv, varen in nemoten prenos električne energije ter ohranja ravnovesje med porabljeno in proizvedeno električno energijo. So varuhi slovenskega elektroenergetskega sistema, ki je tesno povezan s prenosnimi omrežji sosednjih držav. Zadolženi so za zanesljivo in varno upravljanje, gradnjo, razvoj in vzdrževanje 400-, 220- in 110-kilovoltnega prenosnega omrežja (ELES, d.o.o., 2015a). Trenutno slovensko podjetje Avteh, d.o.o., za podjetje ELES d.o.o., izvaja pilotski projekt, s katerim želijo ugotoviti, kakšne so možnosti za zmanjšanje stroškov vzdrževanja z uporabo te tehnologije. Avteh, d.o.o., se ukvarja z razvojem in implementacijo različnih produktov, namenjenih avtomatiziranemu servisu. Podjetje Avteh, d.o.o., je v sodelovanju s podjetjem Modri planet, d.o.o., razvilo in implementiralo BPL, s pomočjo katerega izvajajo nadzorne preglede visokonapetostnih daljnovodov, distribucijskih daljnovodov, transformatorskih postaj in stikališč.

4.6.1 Rezultati intervjujev udeležencev trga

Kot metoda zbiranja podatkov so bili z obiskom v posameznem podjetju izvedeni trije

individualni intervjuji. Intervjuji so bili zvočno zapisani, saj s tem lahko dobimo bolj točne odgovore in citate. Vprašanja so bila odprtega tipa (polstrukturirana), katerim lahko postavljamo podvprašanja. Intervjuvanci so dobili vnaprej pripravljena okvirna vprašanja, ki so služila kot smer celotnega pogovora. Temo in namen magistrskega dela so dobro poznali, zato so intervjuji potekali neovirano. Posamezen intervju je trajal slabo uro.

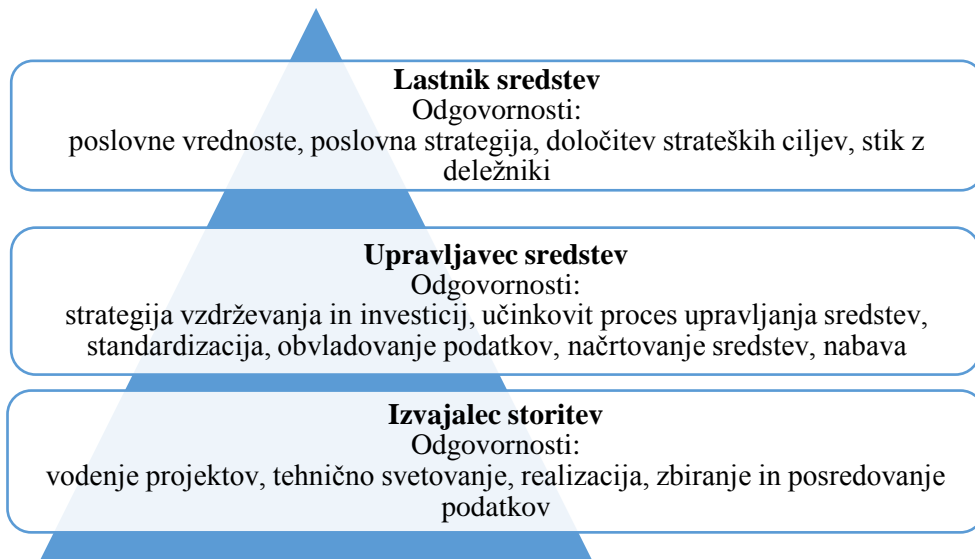
V prilogi 1, 2 in 3 so podani intervjuji, ki sem jih na temo BPL, upravljanja sredstev in vzdrževanja izvedla z zaposlenima v podjetju ELES, d.o.o. ter z zaposlenim v podjetju Avteh, d.o.o. Intervjuji si sledijo po smiselnem zaporedju pisanja magistrske naloge. Razdeljeni so v tri sklope: primer upravljanja sredstev, primer vzdrževanja in pilotski projekt. Prvi intervju sem izvedla 23. septembra 2015 z gospodom Miranom Marinškom, direktorjem področja za upravljanje sredstev in projektov v podjetju ELES, d.o.o. Gospodu Marinšku sem postavljala vprašanja o njegovi funkciji direktorja upravljanja sredstev ter o ključnem pomenu te funkcije. Drugi sklop vprašanj je temeljil na vzdrževanju. 29. septembra 2015 sem se pogovarjala z gospodom Aleksandrom Polajnerjem, ki je vodja službe za tehnologije in diagnostiko v podjetju ELES, d.o.o. Tretji intervju sem izvedla 30. septembra 2015 z gospodom Markom Urbanijo, ki je zaposlen v podjetju Avteh, d.o.o. Intervju je temeljil na vprašanjih glede uporabnosti brezpilotnih letal. Gospod Urbanija za podjetje ELES, d.o.o., izvaja pilotski projekt, kjer s pomočjo BPL izvajajo nadzorne preglede visokonapetostnih daljnovodov, distribucijskih daljnovodov, transformatorskih postaj in stikališč. Pri tem delu sodelujejo tudi s podjetjem Modri planet, d.o.o.

4.6.1.1 Primer upravljanja sredstev

Podjetje ELES, d.o.o., je v 100-odstotni državni lasti. Razdeljeno je na 5 področij, ki jih sestavljajo posamezne službe. Področje za upravljanje sredstev in projektov je eno izmed petih in ga sestavlja 5 služb. Po reorganizaciji podjetja leta 2012 je dejavnost upravljanja sredstev bolj izražena. Njihovo poslanstvo je, da pripravijo 10 letni-načrt za optimalen razvoj sredstev ter da spremljajo nove tehnologije, predpišejo optimalno vzdrževanje in zadovoljijo zahteve porabnikov na trajen, okolju prijazen način. Upravljavec sredstev je na sredini sheme, ki je predstavljena na sliki 13.

To shemo je gospod Marinšek uporabil pri razlagi svoje funkcije v podjetju. Upravljavec sredstev pripravi strategijo vzdrževanja, investicij, deluje v skladu z določili mednarodne organizacije ISO 55000, ki pokriva menedžment sredstev, da je učinkovit pri opravljanju svojega dela. Obvladovati mora tudi vse podatkovne strukture, tako da naredi razvojni načrt. Upravljavec sredstev pretvarja zahteve lastnika izvajalcu storitev, ki se nahaja v spodnjem delu sheme. Izvajalec zbira podatke in skrbi za življenjski cikel sredstev. Celotno področje pa nadzira lastnik sredstev na vrhu piramide. Ta določa strateške cilje, poslovne vrednote, poslovne strategije in ohranja stik z deležniki. Če bi shemo obrnili na glavo, dobimo pogled, ki ga mora imeti lastnik. Lastnik mora imeti pregled nad celotnim delovanjem tega področja.

Slika 13: Vloge pri upravljanju sredstev



Vir: ELES, d.o.o., Vloge pri upravljanju s sredstvi, 2015b, str. 29.

Ključnega pomena pri opravljanju te funkcije menedžmenta so podatki. Če so zbrani pravi podatki, potem se lahko izvede kakovostna analiza. Na svojem področju imajo dva informacijska stebra. Prvi steber so geografsko informacijski sistemi (GIS), drugi je informacijski sistem MAXIMO. K lažjemu odločanju in opravljanju funkcije menedžerja sredstev pripomorejo tako geografski podatki kot tudi tehnični podatki informacijskega sistema MAXIMO. Določene podatke pridobivajo na podlagi vzdrževanja (stroški vzdrževanja, stanje sredstev), ti podatki pomagajo pri odločitvi glede optimalne metode vzdrževanja. Nekatere podatke pridobijo tudi iz zunanjih virov. Doslej so za pregledovanje sredstev v podjetju ELES, d.o.o., uporabljali le klasično metodo helikopterja s posadko. V teku pa je tudi že pilotski projekt z BPL, namenjenim za pregledovanje in vzdrževanje sredstev. Gospod Marinšek pravi, da je termografske posnetke, dobljene s termografsko kamero, ki jo namestimo na helikopter, sčasoma dobro pridobiti, zato so se tudi odločili za uporabo metode helikopterja s posadko. Tudi fotografske posnetke je sčasoma dobro pridobiti, ker je z njimi dokumentiran prostor. Te lahko pridobijo v času laserskih snemanj. Njihov strateški cilj je, da bodo lahko izračunali preostalo življenjsko dobo in stanje naprav. Izvajajo tudi merjenja v realnem času (angl. *on-line monitoring*) za spremljanje stanja transformatorja. Zanimalo me je tudi njegovo mnenje o uporabi BPL za pregledovanje daljnovodov. Dejal je, da je ta tehnologija uporabna in konkurenčna klasični metodi helikopterja s posadko, vendar na manjših območjih. Taka tehnologija lahko hitreje preleti določena območja ter izvaja kontrole. Uporablja se za vegetacijski menedžment, kar predstavlja ključno vlogo za neprekinjeno dobavo električne energije. Uporaba take tehnologije omogoča boljše video in fotografske posnetke, saj lahko leti bliže vodnikom. Problem uporabe BPL v tujini vidi predvsem v strogi zakonodaji. Vendar pravi, da se bo sčasoma tudi ta uredila. Prepričan je, da bodo nekoč take tehnologije še bolj napredovale. Nove tehnologije neprestano spremljajo in so do njih odprti, vendar se tu pojavlja tudi

vprašanje tveganj, ki jih mora kot direktor upravljanja sredstev pred odločitvijo dobro preučiti.

4.6.1.2 Primer vzdrževanja

Služba za tehnologije in diagnostiko v podjetju ELES, d.o.o., katere vodja je gospod Aleksander Polajner, spada med eno izmed petih služb za upravljanje sredstev in projektov. Pogovor sva začela s podrobno razlago o namenu informacijskega sistema MAXIMO, ki so ga v podjetje vpeljali že leta 2004. Informacijski sistem je namenjen podpori, upravljanju in vzdrževanju strateških sredstev. V sistemu se nahaja baza tehničnih podatkov za vse njihove visokonapetostne elemente. Osnova za spremljanje vzdrževanja v tem sistemu so nalogi za delo. Preko teh nalogov se vpisujejo vse ključne stvari. Nalog za delo se pripravljajo za vse vzdrževalne aktivnosti na napravah. Ko se delo zaključi, vodja del zaključi nalog za delo in vnese dodatna opravila, ki so bila izvedena. V grobem ima sam sistem dve funkciji. Prva je načrtovanje in spremljanje izvajanja dela ter spremljanje dogajanj na napravah, druga pa spremljanje stroškov. Stroški se spremljajo za potrebe analiz vzdrževalnih del in posledično izboljšanje planiranja vzdrževalnih del. Zajemanje podatkov v podjetju ELES, d.o.o., poteka na dva načina. Njihova infrastruktura je razdeljena na daljnovode in na razdelilne transformatorske postaje. Za daljnovode imajo že vpeljan mobilni sistem vzdrževanja. Nalogi za delo se prenesejo na mobilne naprave (tablični računalnik, pametni telefon), kamor ekipa, ki je na terenu, vnaša svoje ugotovitve. Ko se vrnejo s terena, podatke iz mobilnih naprav prenesejo v informacijski sistem MAXIMO. Tak mobilni sistem bo kmalu vpeljan tudi za razdelilne transformatorske postaje. S pomočjo tega sistema so lahko klasificirali napake, kar je bila velika pridobitev za podjetje, saj omogoča lažjo izdelavo analiz. Posameznik mora že na terenu izbrati pravilno klasifikacijo napake, ima pa tudi možnost ročnega vnosa, če meni, da je to potrebno. O vprašanju glede poteka pregledov naprav je gospod Polajner odgovoril, da se revizije izvajajo ročno. Ekipa gre na teren in fizično izvede posamezno delo. V podjetju obstaja navodilo o načrtovanju vzdrževanja, ki jim predstavlja glavni dokument za izvajanje vzdrževanja. V tem navodilu je navedeno, katera dela je treba v kakšnih časovnih razmikih izvajati. Časovni razmiki so bodisi zakonsko predpisani ali pa so določeni s proizvajalčevimi navodili za vzdrževanje. Nekateri so zasnovani tudi na podlagi izkušenj, ki so si jih vzdrževalci z leti pridobili. Ko opravljajo redna vzdrževalna dela, vzamejo za ta sklop naprav opravila, ki so za te naprave predvidena v navodilu o vzdrževanju. Če vzdrževalci dodatno opazijo okvare ali stanje naprave, vpišejo tudi to. Ugotovitve rednega vzdrževanja se nato vnesejo v MAXIMO in predstavljajo osnovo za generiranje novih nalogov za delo.

Največja prednost tega sistema in zbiranja podatkov je ta, da lahko navodilo o vzdrževanju spreminjajo in prilagajajo glede na potrebe vzdrževanja. Če vidijo, da na določenih napravah, kjer so izvedli vzdrževalne aktivnosti, ni nobenih okvar, se lahko odločijo za povečanje periodike vzdrževanja. Z leti se je njihovo vzdrževanje počasi razvijalo. Do pred

tremi leti je bilo predvsem časovno pogojeno. Navodilo o vzdrževanju se je nato nekoliko popravilo in prešli so na vzdrževanje na osnovi stanja naprav. V tistem času so daljnovode razdelili v tri prioritete skupine. Tisti z najvišjo prioriteto se bolj intenzivno vzdržujejo. Periodika vzdrževanja pri drugi skupini je nekoliko daljša, pri tretji skupini pa še nekoliko daljša. Naprave na transformatorskih postajah se združujejo glede na starost. Do starosti 15 let se združujejo po eni periodiki vzdrževanja, ko pa so starejše od 15 let, se periodika skrajša. Namen tovrstnega dela je, da zmanjšajo preventivne stroške vzdrževanja. Trenutno so usmerjeni v zanesljivostno orientirano vzdrževanje, saj želijo zagotavljati zanesljivost na podlagi stanja in pomembnosti. Vse skupaj pa gre zdaj še stopnjo višje v smeri vzdrževanja, ki vodi do ustvarjanja vrednosti (angl. *Value Driven Maintenance*). Ta metoda vzdrževanja poleg zanesljivosti upošteva tudi stroške (stroške vzdrževanja, stroške nabave novih naprav in stroške, ki so posledica delovanja naprav). Na podlagi tega pa lahko izračunajo optimalno vzdrževanje: kaj in kako vzdrževati, da so stroški optimalni in je ob tem zagotovljena zanesljivost delovanja omrežja.

Najpogostejši vzroki okvar na daljnovodih so udari strel, ki povzročijo napake na izolaciji. Pogosto okvare nastanejo tudi zaradi stika delov pod napetostjo z vegetacijo. Včasih so vzroki za okvare druge mehanske poškodbe, staranje ali okvara materiala. Izpad elektrike je razen v izjemnih primerih redek. Omrežje je dobro povezano, zato je sistem vedno lahko napajan z neke druge strani. Tak izjemni primer se je zgodil prav v lanskem letu, ko je težavo povzročil žled.

Glede stroškov vzdrževanja gospod Polajner pravi, da je za podjetje najdražje preventivno vzdrževanje. Vse redne aktivnosti, ki jih izvajajo letno na posameznih napravah in daljnovodih, zanje predstavljajo največji strošek. Preden so v podjetje uvedli informacijski sistem MAXIMO, o teh stroških niso vedeli veliko. Skozi leta so dobili široko bazo podatkov, s pomočjo katere danes lahko razmišljajo o tem, kako bi zmanjšali stroške in podaljšali periodo vzdrževanja. Sodelujejo tudi v študijah ITAMS (angl. *International Transmission Asset Management Solutions*) in ITOMS (angl. *International Transmission Operations & Maintenance Study*), ki kažeta, kako učinkovito je podjetje na področju upravljanja sredstev. Tukaj so se pokazala določena odstopanja pri različnih vzdrževalnih aktivnostih, kar jim omogoča, da pri teh aktivnostih pripravijo ukrepe, ki bodo pripomogli k zmanjšanju stroškov vzdrževanja. Z vpeljavo informacijskega sistema se jim je strošek preventivnega vzdrževanja zmanjšal. Zmanjšalo pa se je tudi število ur za vzdrževanje.

Zanimalo me je tudi njegovo mnenje o uporabi BPL pri vzdrževanju daljnovodov ter ali meni, da se bodo stroški vzdrževanja z uporabo BPL še znižali. Dejal je, da želijo s pilotskim projektom ugotoviti ravno to. BPL imajo svoje omejitve. Uporabni so za določene funkcije, predvsem za sam pregled naprav na teže dostopnih terenih. Pri daljših pregledih pa je vprašljiv kratek vzdržljivostni rok (avtonomija). V podjetju vidijo uporabnost predvsem za kakšen video pregled, termografska snemanja in snemanja korone, uporabni bodo tudi za primere vegetacijskega menedžmenta, kjer bi bilo treba rast pogosto

snemati in spremljati, nato pa narediti plan posekov, saj nekatera vegetacija raste hitreje kot druga. Ko bodo dobili rezultate študij, bodo primerjali stroške in učinek. Pravi, da postajajo BPL vedno večja in vedno bolj dostopna, velikost in teža dodatnih naprav (kamer) pa se zmanjšuje. V njihovi uporabi tako vidi potencial in meni, da se ta tehnologija zelo hitro razvija in bo uporabna tudi na področjih, kjer je danes še ni.

4.6.1.3 Pilotni projekt

Slovenija je tako majhna, da so vsi tisti, ki sestavljajo BPL, prodajajo rezervne dele, razvijajo aplikativne rešitve, in tisti, ki izvajajo te storitve, praktično združeni. Gospod Urbanija je povezovalec (angl. *integrator*) teh znanj in ekip, zato skupaj ponujajo celovito storitev.

V Sloveniji še ni določen poenoten izraz za BPL. Za zdaj uporabljajo kar angleško kratico UAV. Celoten sistem radijsko vodene naprave sestavlja operater, ki je na tleh, in kontrolna enota, ki načrtuje pot BPL.

Ocenili so, da nastaja velik prostor za uporabo BPL na elektroenergetskem področju. Zato so se vprašali, kaj lahko z uporabo BPL na tem področju naredijo. Izhajali so iz vizualnih pregledov, saj je treba visokonapetostne naprave ves čas pregledovati. Vedeli so, da se je doslej – in se še vedno – večinoma uporablja klasičen vizualni pregled, pri katerem se delavci vzpenjajo na stolp. Ugotovili so, da je ta naprava za vizualne preglede idealna. Fotografije so v visokih resolucijah, omogočajo tudi HD (angl. *High-definition video*) video preglede, s čimer pridobijo vrhunske fotografske in video posnetke. Ugotovili so, da se lahko s takimi posnetki vidi tisto, kar se s prostim očesom ne more. V osnovi je naprava temu tudi namenjena. Dalje so ugotovili, da lahko s to napravo naredijo še veliko več. Začeli so razvijati stvari v smeri tridimenzionalnega (v nadaljevanju 3D) kartiranja (angl. *mapping*). S to napravo lahko – kot nadomestilo laserja LiDAR – naredijo 3D-kartiranje s sistemom fotografiranja. S tem področjem se tudi največ ukvarjajo in ga razvijajo. S sistemom fotografiranja dobijo 3D-model, hkrati pa ga še referencirajo (natančna določitev položaja) v samem prostoru. Postopek poteka tako, da na nekem področju, kjer bi radi posneli 3D-objekt (daljnovid), postavijo tarče z GPS-sistemom, ki jim omogoča, da ko s fotografiranjem zajamejo posamezne detajle, hkrati zajamejo tudi te tarče, in te tarče so tudi njihove reference. S pomočjo teh referenc definirajo dimenzijsko tudi prostor. To pomeni, da so objektom, ki so jih poslikali, dodali tudi tretjo komponento, točno dimenzijo v prostoru. To prostorsko fotografijo pa potem obdelujejo in natančno analizirajo objekte. Doslej je bila alternativa temu helikopter z laserjem LiDAR. Njihov ekspertni sistem naj bi poleg teh fotografij omogočal tudi vnos teh točk LiDAR, ki pa so morda take, ki jih s svojo metodo niso uspeli doseči (zajeti). Podatke lahko nato združijo in dobijo natančne rezultate. To je ena izmed stvari, za katere podjetje uporablja radijsko vodena BPL. Naslednja stvar, ki je na elektroenergetskem področju izjemno zanimiva, pa je menedžment vegetacije, in s to tehnologijo lahko spremljajo rast vegetacije. Spremljajo

lahko odmike in prirastke vegetacije, na osnovi teh aplikativnih rešitev pa lahko planirajo, kje se bodo poseki izvajali. Pri elektroenergetskih podjetjih so jih zanimale tudi napake, ki nastajajo na daljnovodih. Tako lahko opravijo termovizijske preglede s termovizijsko kamero, ki omogoča, da zaznajo očem nevidne napake, kot so mesta pregrevanja na daljnovodu, preobremenitve, slabi spoji in kontakti. Te napake lahko z učinkovitim termovizijskim pregledom preventivno preprečijo. S 3D-laserjem pridobijo izjemno natančne 3D-slike objektov v prostoru. Z UV-kamero pa je mogoče zaznati začetke napak na električnem omrežju. Tipični vzroki, ki jih lahko zaznajo s korona kamero, so prebiti izolativni deli, iztrošen material, nepravilno nameščeni deli itd. Bistvo je, da te podatke, ki jih imajo za menedžment vegetacije oziroma nadzor elektroenergetske infrastrukture, pretočijo v aplikacijo, ki je namenjena analizi. Ta aplikacija omogoča različne obdelave in poročila. BPL pa ima vgrajeno tudi funkcijo »domov« (angl. *Home*), ki omogoča, da se, če ga izgubimo iz dometa vidljivosti, lahko sam vrne na izhodišče.

Sam proces uporabe BPL je enostaven. Ekipa pride na lokacijo s paketom baterij – z eno baterijo lahko zajemajo podatke okoli 30 minut – in začnejo izvajati pregled. Gospod Urbanija je dejal, da v Sloveniji trenutno še ni zakonodaje o uporabi teh tehnologij, vendar je kljub temu običajna praksa, da imaš napravo ves čas v dometu vidnega polja. Sam podpira ureditev zakonodaje na tem področju in pravi, da jih ne bo omejevala pri opravljanju dela, bo pa postavila neke okvirje. Prednost te tehnologije je krajši časovni pregled infrastrukture. Tresljaji, ki so prisotni pri helikopterju, so bistveno večji in bolj problematični kot pri BPL, ki je zelo stabilno. Uporabniku nudi kakovostne video posnetke z različnim vizualnim približevanjem. V primerjavi s klasičnimi helikopterskimi pregledi se ta naprava lahko bistveno bolj približa samemu objektu. Za ljudi, ki izvajajo preglede, ne predstavlja nobene nevarnosti, manjši pa je tudi vpliv na okolje (hrup, veter itd.). Med slabosti spadata predvsem domet in avtonomija; domet v smislu, da je treba te naprave upravljati na vidnem polju, kar pomeni, da so omejeni na kilometer oziroma kilometer in pol delovnega obsega. Nato se morajo seliti na drugo lokacijo. Poudaril je, da tukaj vidi predvsem kompatibilnost med helikopterskimi pregledi na svojem področju in pregledi z BPL za svoj del. Metod ne vidi kot medsebojno konkurenčnih, pač pa kot metodi, ki se lahko dopolnjujeta. Glede samih stroškov je dejal, da bo analiza bolj točna šele po izvedbi pilotskega projekta. Kljub temu so bili že v prvi fazi posamezni segmenti cenejši v primerjavi z drugimi tehnologijami. Idealni primer za njihovo uporabo vidi tudi v primeru naravnih nesreč, kot so havarije (žled). Za zaključek je dejal, da je tukaj še izjemno velik potencial nadaljnega razvoja, obenem pa je zadeva zanimiva tudi na drugih področjih, kot sta plinovodna infrastruktura ter nadzor nad gradbišči in poplavlami.

4.6.2 Primerjava ugotovitev intervjuja z obravnavano literaturo

Na podlagi intervjujev in uporabljene literature lahko najprej potrdim, da je vzdrževanje največkrat kombinirano. Uporablja se optimalna mešanica strategij. Na primeru razvoja vzdrževanja v podjetju ELES, d.o.o., lahko vidimo, kako so se strategije vzdrževanja z leti

spreminjale. Navodilo vzdrževanja pa so prilagajali na podlagi dobljenih podatkov in analiz ter izkušenj strokovnjakov na svojem področju. Podpora pri upravljanju in vzdrževanju sredstev ima za podjetja velik pomen. Informacijski sistem MAXIMO, ki ga uporabljajo v podjetju ELES, d.o.o., omogoča učinkovitejše vzdrževanje in boljši nadzor nad stroški. S tem sistemom spremljajo dogajanje na terenu in na napravah. Spremljajo pa tudi stroške za potrebe analiz. Na podlagi literature sem ugotovila, da največ okvar na daljnovidih nastane zaradi vremenskih pojavov in zaradi vegetacije. Do teh ugotovitev sem prišla tudi na podlagi intervjuja. Število večjih izpadov električne energije v zadnjih nekaj letih strmo narašča. Razlog so predvsem podnebne spremembe. Večji izpad smo lahko zabeležili v lanskem letu, ko je škodo povzročil žled. Dejstvo je, da na naravne katastrofe ne moremo vplivati, bi pa v takih primerih koristila uporaba BPL za hitrejši pregled in oceno škode. Tudi v primeru poplav bi bila uporaba BPL koristna. V Sloveniji so sicer taki vremenski pojavi redki, vendar – kot je dejal vodja službe za tehnologije in diagnostiko v podjetju ELES, d.o.o. – moramo biti nanje vedno pripravljeni.

Stroški preventivnega vzdrževanja so za podjetje zelo pomembni. Ravno z vpeljavo sistema MAXIMO so v podjetju ELES, d.o.o., stroške preventivnega vzdrževanja uspeli tudi zmanjšati. Najdražje za podjetje so vse redne aktivnosti, ki jih izvajajo na daljnovidih in posameznih napravah. Pilotski projekt bo pokazal, ali bi z uporabo BPL lahko stroške vzdrževanja še znižali in izboljšali preventivno vzdrževanje. Točna analiza bo znana šele po koncu projekta. Je pa gospod Urbanija zagotovil, da so posamezni segmenti cenejši v primerjavi z drugimi tehnologijami. Do teh ugotovitev sem prišla tudi na podlagi literature, po kateri naj bi bili operativni stroški nižji za okoli 40 % v primerjavi s stroški helikopterja s posadko. Glede stroškov vzdrževanja pa lahko potrdim, da so z uporabo BPL lahko nižji; to je med drugimi potrdila tudi ekipa podjetja Sharper Shape, ki je s testiranjem BPL Next Eagle® ugotovila, da lahko z uporabo takih letal dosežejo od 30 do 50 % nižje stroške vzdrževanja.

BPL se uporabljajo za opravljanje različnih nalog. V magistrskem delu sem izpostavila tri glavne uporabne vrednosti BPL pri vzdrževanju daljnovodov: upravljanje vegetacije, ocenjevanje škode ter pregledovanje in ocenjevanje sredstev. Na podlagi intervjujev sem ugotovila, da je uporabna vrednost omenjenih tehnologij velika na vseh naštetih področjih. Usmerjeni so predvsem na upravljanje vegetacije, BPL pa uporabljajo tudi za pregledovanje daljnovodov. V praktičnem primeru upravičenosti uporabe BPL v Združenih državah Amerike, ki je predstavljen v magistrskem delu, upravljanja vegetacije sicer ni med tremi primeri, ki kažejo dovolj visoke prihranke stroškov in pozitivno neto sedanjo vrednost. V Združenih državah Amerike so podvrženi strogi zakonodaji, ki med drugim prepoveduje tudi letenje med drevesi. Pričakujejo pa, da bo uporabna vrednost tudi do trikrat višja po spremembi zakonodaje, ko bo uporaba BPL upravičena v vseh obravnavanih šestih primerih uporabe: pregledovanje daljnovodov, pregledovanje sončnih elektrarn, posnetki razdelilnih transformatorskih postaj, novogradnja, menedžment vegetacije, ocenjevanje škode.

Pri upravljanju vegetacije se lahko uporablja laser LiDAR. To napravo lahko nadomestimo ali dopolnimo tudi s sistemom fotografiranja, ki omogoča 3D-kartiranje. Sistem BPL tako sestavlja več podsistemov. Oprema, ki se uporablja na BPL, je različna in se prilagaja glede na potrebe uporabnika. Za pregledovanje in ocenjevanje sredstev imamo na voljo kombinacijo različnih kamer in laserjev, ki omogočajo boljše pregledovanje sredstev. Kontrolna postaja, ki spremlja let, se v večini primerov nahaja na tleh in omogoča neposredno spremljanje načrtane poti.

S pomočjo intervjujev in literature sem ugotovila glavne prednosti in slabosti. Pogovor z intervjuvanci je razkril, da v ospredje postavljajo predvsem hitrejši pregled daljnovodov, bolj kakovostne video in fotografske posnetke ter večjo varnost delavcev. BPL se lahko povsem približa daljnovodu in posname kakovostne posnetke. Uporaben pa je tudi na težko dostopnih območjih. Podjetje Eversource je ugotovilo, da uporaba BPL minimalno vpliva na okolje ter da je varnost delavcev večja. Slabost predstavljata majhna avtonomija in domet BPL, ki mora biti ves čas na očeh upravljavca. To sem ugotovila tako na podlagi literature kot intervjujev. Ker mora biti BPL ves čas v polju vidljivosti, morajo upravljavci lokacijo menjavati na vsak dober kilometer.

Glede uporabe BPL v podjetju ELES, d.o.o. bodo, ko bodo dobili rezultate, najprej primerjali stroške in učinek. Direktor upravljanja sredstev je dejal, da mora pred sprejemanjem odločitev dobro preučiti tveganje. To je seveda smiselno, saj še niso popolnoma prepričani v vse njegove zmogljivosti, sploh pa na tem področju še nimajo veliko izkušenj. Menijo pa, da bodo nekoč take tehnologije še bolj napredovale. Doslej so opravljali preglede s klasično metodo vzdrževalcev, le enkrat so uporabili helikopter s posadko. Po mnenju gospoda Polajnerja bi bila uporaba BPL na določenih področjih smiselna. Povsem pa se strinjam tudi z besedami gospoda Marinška glede konkurenčnosti med BPL in klasično metodo helikopterja s posadko. Ta tehnologija zelo hitro napreduje in zagotavlja prednosti uporabe pred drugimi tehnologijami. V Sloveniji so sicer naravne katastrofe redke, zato je v tem primeru uporaba BPL še vprašljiva, vendar bi bilo delo vzdrževalcev olajšano tudi v času obilnega snega. Pogosto pregledovanje z BPL bi po mojem mnenju znižalo stroške vzdrževanja v podjetju in še izboljšalo tehnično bazo podatkov informacijskega sistema MAXIMO. Uporaba BPL pa je še bolj upravičena v podjetjih, kjer za pregledovanje daljnovodov pogosto uporabljajo metodo helikopterja s posadko. Uporaba je smiselna tudi tam, kjer se sredstva podjetja nahajajo na težko dostopnih terenih, na območjih, kjer so naravne katastrofe bolj pogoste, ter v večjih državah, kjer vzdržujejo več tisoč kilometrov visokonapetostnih daljnovodov. Drugod po svetu so napetostni nivoji visoki tudi do 800 in več kilovoltov. Tam je treba daljnovode še bolj pogosto pregledovati in s pomočjo BPL bodo to lahko storili hitreje ter bolj učinkovito kot z uporabo drugih metod, namenjenih pregledovanju in vzdrževanju daljnovodov. Oviro za razvoj te tehnologije pa v Združenih državah Amerike trenutno predstavlja stroga zakonodaja. Tam razvoj poteka bolj počasi, to je potrdil tudi primer podjetja APS. Po spremembi zakonodaje poleti leta 2017 pa lahko pričakujemo večjo stroškovno

učinkovitost pri uporabi BPL za pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov tudi v Združenih državah Amerike.

4.7 SWOT analiza brezpilotnih letal

SWOT (angl. *strenghts, weaknesses, opportunities and threats*) analiza je ena izmed najpogosteje uporabljenih analiz v sklopu poslovnih ved. V slovenski terminologiji jo imenujemo matrika PSPN, saj vključuje štiri aspekte (prednosti, slabosti, priložnosti, nevarnosti). Analizo lahko apliciramo na ravni poslovanja, produkta, serijo produktov itd. Analizo je treba najprej razmejiti med omenjene štiri aspekte. Med notranje dejavnike spadata aspekta prednosti/slabosti, med zunanje dejavnike pa aspekta priložnosti/nevarnosti. Na notranje dejavnike lahko vplivamo sami, tako da se prilagodimo ali razvijamo, pri zunanjih dejavnikih pa tega vpliva nimamo (Bertelsen, 2012, str. 7; Kos, 2015).

Po mnenju Morrisa (2005, str. 53) je SWOT analiza pogosto uporabljeno orodje za razvoj strateškega načrta. Bistvo SWOT analize je, da prepoznamo priložnosti, se izognemo tveganjem, hkrati pa ugotavljamo prednosti in slabosti organizacije. Če želimo izpostaviti naše priložnosti, mora organizacija preučiti svoje prednosti in slabosti ter jih primerjati s prednostmi in slabostmi konkurence. Vprašati se moramo, kaj lahko ponudimo več od naše konkurence. Med prednosti spadajo inovativni izdelki iz preteklosti, velik tržni delež, dobra prepoznavnost na trgu itd. Slabosti lahko vključujejo slabo menedžersko vodenje, zaostajanje na področju raziskav in razvoja itd. Nevarnosti spadajo med zunanje dejavnike, ki ovirajo naše dolgoročne cilje. Nevarnosti nastanejo, ko zunanji dejavniki ogrožajo delovanje podjetja. Primer nevarnosti za podjetje predstavlja povečana prodaja substitutov na trgu. Tudi priložnosti spadajo med zunanje dejavnike. Priložnosti nam pomagajo razrešiti težave. Iskati jih moramo tako med zunanjimi kot med notranjimi dejavniki (Hill & Jones, 2008, str. 19–20).

Bertelsen (2012, str. 5) meni, da je eno izmed uporabnih orodji pri procesu strateškega planiranja SWOT analiza. Analiza se lahko uporablja na različnih ravneh v organizaciji ter v različnih časovnih obdobjih razvoja organizacije. S tem ko definiramo notranje prednosti in slabosti organizacije ter jih primerjamo z zunanjimi priložnostmi in nevarnostmi na trgu, podjetje lahko razvije merljive cilje za napredovanje. V nadaljevanju sem izdelala SWOT analizo BPL za uporabo pri vzdrževanju daljnovodov, ki je predstavljena v tabeli 6.

Tabela 6: SWOT analiza

Prednosti	Slabosti
Cenejša metoda Hitrejša izvedba Kvalitetnejši podatki Večja varnost Okolju prijaznejša metoda Letenje v bližini daljnovoda Delo pod napetostjo	Slaba avtonomija Trgu neznana tehnologija Moteča in hrupna metoda Nerazvit trg Slabša mehanska odpornost
Priložnosti	Nevarnosti
Popolnoma avtomatizirano vodena letala Vgrajen sistem zaznavanja in izmikanja Preračunavanje logičnega poteka del Zaznavanje stanja sredstev Opravljanje vzdrževalnih del Hibridna BPL Večja vzdržljivost Uporaba v drugih dejavnostih Nepokrit trg Investicije v razvoj	Stroga zakonodaja Neopredeljena zakonodaja Nepravilna uporaba BPL Kršenje predpisanih pravil Vdor v zasebnost prebivalstva

4.7.1 Prednosti brezpilotnih letal

BPL je daljinsko voden, vzporedno z daljnovodom. Giblje se v neposredni bližini daljnovoda. Vgrajene ima lahko različne naprave za pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov. Prednost njihove uporabe je predvsem to, da lahko letijo v neposredni bližini daljnovodov, ko ti obratujejo pod normalno napetostjo. V zadnjih nekaj letih je bilo izvedenih že nekaj poskusov uporabe BPL in rezultati njihove uporabe so bili pozitivni (Austin, 2010, str. 275).

Če BPL primerjam s sorodnimi robotskimi tehnologijami, kot sta talni robot in robot na žici, so njegove prednosti predvsem v hitrejši izvedbi pregleda daljnovoda. Talni robot ima zelo omejeno uporabo, večinoma se uporablja le za nekatera vzdrževalna dela, hkrati pa ni primeren za uporabo na teže dostopnih območjih. Robot na žici je sicer primeren za pregledovanje daljnovodov, vendar zahteva dolgotrajno nameščanje na daljnovod. V tabeli 7 so predstavljene prednosti BPL v primerjavi z dvema klasičnima metodama, ki sta še vedno pogosto v uporabi (Austin, 2010, str. 275).

Tabela 7: Prednosti BPL v primerjavi s klasičnima metodama vzdrževanja BPL

Prednosti BPL v primerjavi s klasično metodo vzdrževalcev	Prednosti BPL v primerjavi s klasično metodo helikopterja s posadko
Cenejša metoda	Okolju prijaznejša metoda

nadaljevanje

Hitrejše in bolj pogosto pregledovanje/ vzdrževanje daljnovodov	Manj hrupna
Večja varnost delavcev	Cenejša metoda in hitrejša izvedba
Lažji dostop za opravljanje pregledov	Večja varnost delavcev

Vir: R. Austin, Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment, 2010, str. 276.

Med vsemi navedenimi prednostmi izstopajo predvsem tri glavne prednosti. Prva prednost je cenejša metoda z vidika nižjih stroškov plač in goriva ter nižjih celotnih stroškov vzdrževanja. Nižje stroške plač lahko pričakujemo zaradi manjšega števila delavcev, saj jih pri uporabi BPL potrebujemo manj. Ker so BPL že danes zmožna opravljati tudi nekoliko bolj zahtevne naloge, bodo helikopterji s posadko vedno manj v uporabi. V večini primerov bodo BPL lahko opravljala naloge namesto njih. Celotni nižji stroški se navezujejo na nižje stroške preventivnega vzdrževanja, saj bo z njihovo uporabo vzdrževanje toliko bolj učinkovito. To pomeni, da bodo podjetja in gospodinjstva manjkrat prikrajšana z izgubo električne energije. Druga prednost je hitrejša izvedba opravljanja pregledovalnih in vzdrževalnih del. V primerjavi s klasično metodo delavcev, ki hodijo ali se vozijo ob daljnovodih, bo vzdrževanje potekalo avtomatsko. Danes imajo BPL vgrajene naprave za opravljanje več meritev hkrati, s tem pa bo čas izvedbe hitrejši. Tretja glavna prednost so kvalitetnejši podatki. BPL so sposobna leteti v neposredni bližini daljnovoda, kar jim omogoča posneti zelo kakovostne posnetke. Take posnetke lahko posnamejo tudi na helikopterjih s posadko, vendar pa se danes tako kakovostne naprave uporabljajo tudi že na BPL. Poleg navedenih prednosti je bistvena tudi varnost ljudi, ki z uporabo BPL ni več ogrožena. BPL so v primerjavi s helikopterji s posadko okolju bolj prijazna in hkrati manj moteča tudi za ljudi. Opravljanje vzdrževalnih del s helikopterjem s posadko ogroža tudi živali, saj taka letala povzročajo veliko več hrupa kot BPL. Ključna prednost je tudi nemoten pretok električne energije do končnega porabnika med samim pregledom. Pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov bo lahko potekalo bolj pogosto, kar bo pomenilo optimalnejšo oskrbo uporabnikov z električno energijo. To pomeni veliko prednost tako za gospodarstvo kot tudi za posameznike. Optimalnejši pretok električne energije vodi do cenejše in bolj zanesljive električne energije.

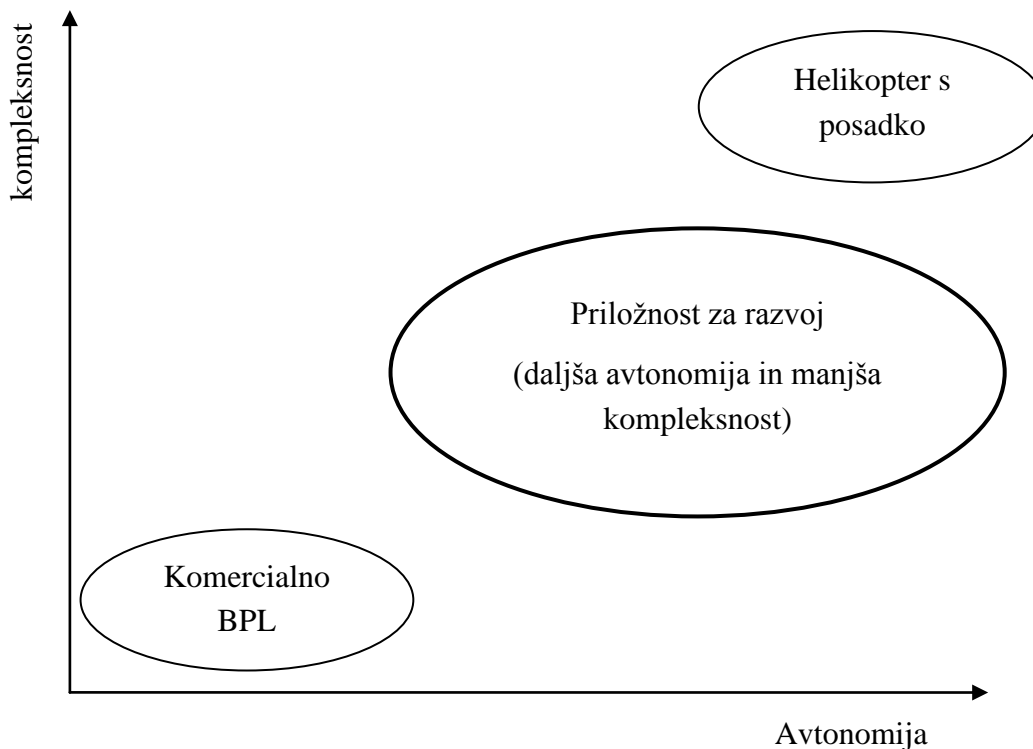
4.7.2 Slabosti brezpilotnih letal

Slabost BPL predstavlja predvsem njihov kratek vzdržljivostni rok (avtonomija). Letala lahko v zraku vzdržijo le dobrih 15 minut, v najboljšem primeru pa nekaj ur (odvisno od posamezne naprave). Slabost je tudi ta, da se te vrste letečih robotskih tehnologij šele uveljavljajo na trgu. Trg BPL za uporabo pri vzdrževanju daljnovodov je tako še razmeroma nerazvit in bo potreboval še veliko nadgradenj in sprememb. Slabega odziva je tehnologija deležna s strani civilne populacije, saj ljudi moti hrup, ki ga povzroča BPL. Ta je sicer v primerjavi s helikopterji s posadko mnogo manjši, vendar vseeno lahko moteč tako za ljudi kot za živali. Med slabosti spada tudi slabša mehanska odpornost. BPL se lahko v primeru napake upravljavca ali napake v sistemu mehansko poškoduje.

4.7.3 Priložnosti brezpilotnih letal

Trg BPL za namene pregledovanja in vzdrževanja je še razmeroma nepokrit, zato je priložnosti za razvoj še veliko. Da je prostora za razvoj BPL še dovolj, so potrdile tudi vedno višje investicije v tehnologijo BPL, ki so v prvi polovici letošnjega leta znašale že 182,75 milijona EUR (CB Insights, 2015). Na sliki 14 je shematsko prikazano trenutno stanje in priložnosti za razvoj in nadgradnjo te tehnologije.

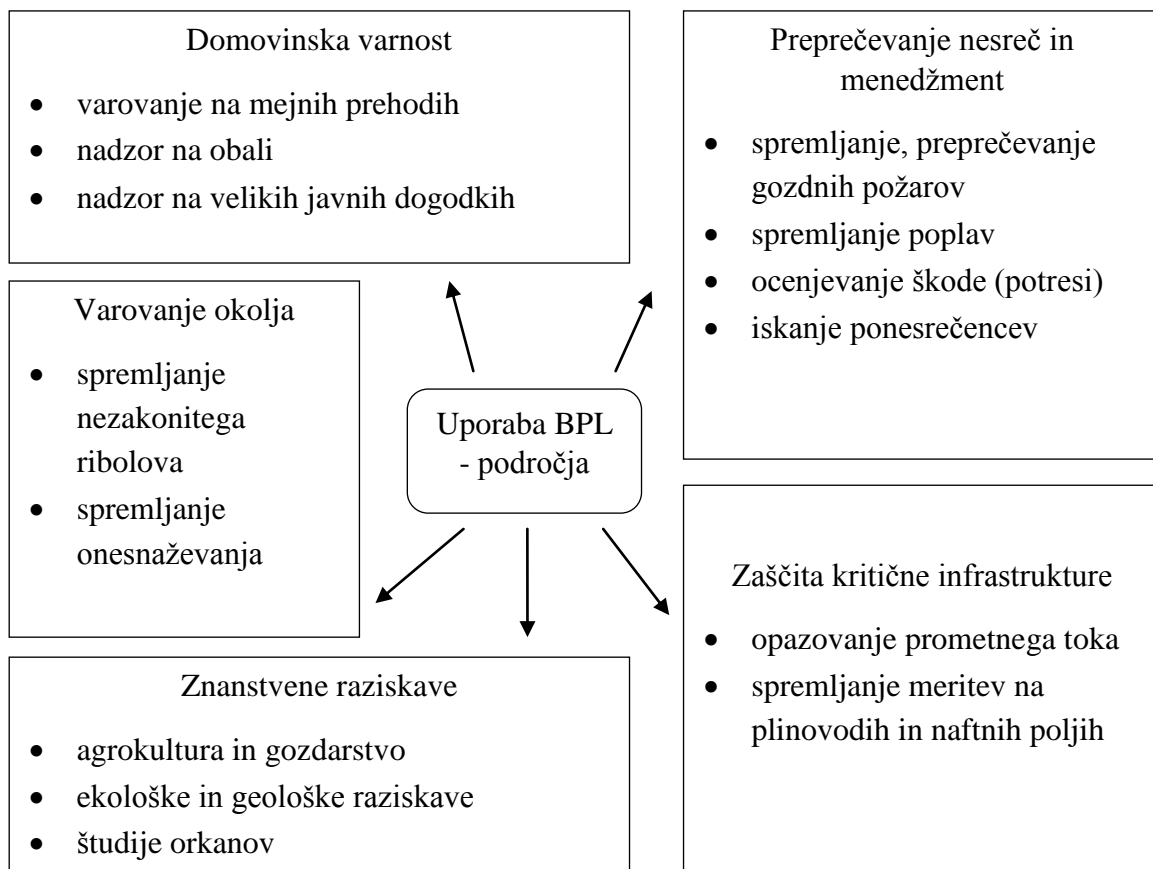
Slika 14: Priložnosti za razvoj BPL



Najbolj vplivna dejavnika pri vzdrževanju daljnovodov iz zraka sta kompleksnost tehnologije in izvedbe ter avtonomija letenja. Slednja je trenutno najboljša pri helikopterju s posadko, vendar se ta prednost izniči na račun kompleksnosti. Na drugi strani imamo BPL s precej manjšo kompleksnostjo, a hkrati slabo avtonomijo. Primerjava kompleksnosti in avtonomije kaže, da je razvoj mogoč nekje vmes med klasičnim helikopterjem s posadko in navadnimi komercialnimi BPL. Trg potrebuje BPL z dobro avtonomijo in nizko kompleksnostjo. Razvoj poteka v smeri, kjer imajo BPL opremo konkurenčno opremi, ki se uporablja na helikopterjih, ter so manj kompleksni za uporabo v primerjavi s helikopterji s posadko. Razvija se tudi boljša avtonomija, ki bo višja v primerjavi s klasičnimi komercialnimi BPL, vendar manjša od avtonomije helikopterja s posadko. Priložnosti se tako kažejo predvsem v nadaljnjem razvoju BPL. Trenutno že potekajo raziskave in razvoj, kjer bo sistem letenja popolnoma avtomatiziran. Zaznaval bo vse objekte ter se jim bo lahko izmikal. Vgrajeni bodo kompleksni ekspertni sistemi, s katerimi

bodo zaznavali trenutno stanje sredstev. Preračunal bo najbolj logičen potek popravil ter katera sredstva potrebujejo takojšna sanacijo. Nekoč bo BPL lahko tudi sam opravljal vzdrževalna dela (Leaverton, 2015, str. 17). Razvija se tudi sistem, ki bo sposoben pomagati vzdrževalcem na terenu, na primer dostaviti kakšno orodje do delavca. Predvsem je treba izboljšati avtonomijo, da bo lahko dlje časa ostalo v zraku. Razvijajo se lahko v smeri hibridnih BPL, kar bi jim s kombiniranjem energij za pogon omogočilo večjo avtonomijo. Največja priložnost pa se kaže v njihovi uporabnosti na različnih področjih. Na sliki 15 so predstavljena nekatera dodatna področja razvoja uporabe BPL.

Slika 15: Področja uporabe BPL



Vir: T. Skrzypietz, *Unmanned Aircraft Systems for Civilian Missions*, 2012, str. 12.

BPL tako niso uporabna le za vzdrževanje in pregledovanje daljnovodov, temveč tudi na področju vetrnih in sončnih elektrarn. Predstavljajmo si veliko sončno elektrarno, ki mora vedno brezhibno delovati. Da bi jo pregledali s pomočjo vzdrževalcev, bi trajalo zelo dolgo. Uporaba helikopterjev s posadko pa je razmeroma draga metoda. Zato je podjetje v San Franciscu, imenovano Skycatch, že začelo uporabljati BPL za pregledovanje in vzdrževanje sončnih elektrarn. Uporabljajo najnovejše termalne senzorje, ki zaznavajo kakršnokoli pregrevanje (Currin, 2015, str. 1). Uporaba BPL je možna tudi v filmski industriji za snemanje filmov in reklam. Celotno kmetijstvo lahko veliko privarčuje z uporabo BPL. Spremljali bi svoje nasade, ocenili njihovo stanje in presodili, kateri nasadi

potrebujejo dodatno oskrbo. BPL bi lahko uporabljali za spremljanje prometa na cestah, s čimer bi bile naše ceste bolj varne. V nekaterih primerih bi jih lahko uporabljali tudi za spremljanje varnostnih pogojev in pregledovanje ljudi, na primer na letališčih. Uporabljali bi jih lahko tudi za pregledovanje igrišč za golf. Priložnosti za njihovo uporabo je veliko, vendar je treba BPL prilagajati namenu njihove uporabe.

4.7.4 Nevarnosti brezpilotnih letal

Med nevarnosti spadajo vsa pravila in predpisi o uporabi brezpilotnih letal, ki so lahko zelo omejujoči, vsaj v nekaterih državah. V Ameriki so ta pravila zelo stroga. Pravila preprečujejo njihovo uporabo v času pred dežjem in med njim ter v slabem vremenu. Prepovedano je tudi letenje med drevesi, kar pomeni omejeno delovanje BPL za namene vegetacijskega menedžmenta. BPL mora biti celotni čas letenja v vidnem polju. Ker je predpisana teža BPL zelo majhna, skoraj nobeno BPL, namenjeno vojaškim aktivnostim, ne spada v to skupino. Raziskave in razvoj BPL bodo tako morale potekati zunaj vojaških skupin. Dovoljena višina letenja BPL je 152 metrov, kar pomeni, da ne bodo imela dobrega pogleda naprej v horizont – oziroma le kakšne 3 kilometre, če letijo nad ravnino. BPL bodo v enem vzletu in spustu pod vsemi predpisanimi pogoji lahko pregledala in zbrala podatke le pri nekaj daljnovidnih hkrati. Ta pravilnik, ki ga je izdala FAA še ni dokončen, vendar lahko v njem že prepoznamo bodoče smernice. Potrebno bo še veliko sprememb, ki bodo v prid tej in drugim industrijam, kjer bi bila uporaba BPL zelo koristna. Trenutni pravilnik prav tako ne podpira fotografiranja območij, ki jih je doletela naravna katastrofa. Prepovedano je tudi snemanje ljudi na železniških postajah in podobnih lokacijah za nadzor varnosti. Kljub temu je FAA dovolila nekaterim licenciranim pilotom, da upravljajo BPL zunaj vidnega polja ter zunaj predpisanih pravil. Ti testi potekajo že v kar nekaj podjetjih in so namenjeni vzdrževanju in pregledovanju daljnovodov, vendar so pravila kljub temu še zelo okorna in stroga. Testi, ki se izvajajo, na področju energetike vlivajo upanje na bolj fleksibilna pravila pri uporabi BPL, saj le-ta predstavljajo odlično orodje, ki bi izboljšalo pretok električne energije do uporabnikov (Houseman, 2015, str. 1). Nevarnost lahko predstavlja tudi njihova nepravilna uporaba. Trenutno BPL ne smejo leteti znotraj zračnega prostora više od dovoljene višine, saj bi v nasprotnem primeru lahko povzročila nevarnost za preostale leteče sisteme. Nevarnost predstavlja kakršnokoli kršenje predpisanih pravil, na primer upravljanje brezpilotnega letala brez licence in dovoljenja uprave.

Določena pravila so že sprejeta tudi v evropskih državah in so odvisna od posamezne države. Evropska agencija za varnost v letalstvu pripravlja dokument o uporabi komercialnih BPL, vendar zagotavlja, da so predpisi namenjeni le varnostnim razlogom. Kljub temu pravijo, da nov pravilnik omogoča nadaljnjo rast in razvoj v fleksibilnem okolju (EASA, 2015b).

V tem dokumentu Evropske agencije za varnost v letalstvu, ki so ga poimenovali A-NPA

dokument, so zapisani predlogi za oblikovanje skupnih evropskih varnostnih predpisov za upravljanje BPL ne glede na njihovo težo. Predlagane so tudi spremembe obstoječih predpisov s področja letalstva, da bi se upoštevali najnovejši dosežki pri razvoju BPL. Agencija predlaga pristop, ki bi se osredotočal na posamezno operacijo, torej predvsem v namen uporabe BPL, in ne zgolj v značilnosti le-teh. Dokument vsebuje 33 predlogov, med njimi tudi predlog, da naj se v varnostne predpise vključijo nekomercialne in komercialne dejavnosti. Uvaja tudi tri kategorije, ki temeljijo na tveganjih. Posamezne operacije pomenijo tveganje za tretje osebe. Kategorije se delijo na odprto kategorijo (nizko tveganje), posebno kategorijo (srednje tveganje) in certificirano kategorijo (visoko tveganje). Za predpise o BPL, ki se uporabljajo pri vzdrževanju daljnovodov, sta pomembni predvsem odprta in posebna kategorija. V odprti kategoriji se varnost zagotovi z minimalnim sklopom predpisov (EASA, 2015a, str. 1–4). Predlog števila 12 v EASA (2015a, str. 4–5) opredeljuje omejitve operacij BPL odprte kategorije:

- Najvišja vzletna masa ne sme presegati 25 kg.
- Pilot mora imeti ves čas operacije vzpostavljen neposreden stik.
- Operacije BPL v območjih, kjer je letenje BPL prepovedano, niso dovoljena.
- BPL, ki se upravljajo v območjih omejitve letenja, morajo te tudi upoštevati.
- Pilot je odgovoren za varno ločitev od drugih uporabnikov zračnega prostora.
- BPL se ne sme upravljati na višini nad 150 metrov nad tlemi ali vodo.
- BPL se ne upravlja nad množico, večjo od 12 oseb, hkrati je pilot odgovoren za varno operacijo in varno razdaljo od drugih nevpletenih oseb in lastnine na tleh.

V posebni kategoriji je treba pridobiti dovoljene pri nacionalnem letalskem organu (angl. *National Aeronautic Association*). Kategorija vključuje operacije, ki presegajo omejitve odprte kategorije ter pomenijo večje letalsko tveganje za osebe, ki jih letala preletijo. Oceno tveganja opravi operater in jo posreduje nacionalnemu letalskemu organu. Operater predlaga ustrezne ukrepe za zmanjšanje tveganja in sestavi priročnik operacij. Priročnik mora vsebovati vse potrebne podatke, omejitve in pogoje. Vključevati mora ustrezno usposabljanje osebja in vzdrževanje BPL. Operacije znotraj posebne kategorije morajo biti certificirane ali kako drugače odobrene (EASA, 2015a, str. 6–7).

Dokument o uporabi brezpilotnih letal za komercialne namene je sicer še nedokončen, vendar lahko iz njega že razberemo določene smernice. Čeprav sami pravijo, da nov pravilnik omogoča nadaljnjo rast in razvoj, so nekatere omejitve po mojem mnenju nepotrebne in omejujoče za uporabo pri vzdrževanju daljnovodov. Pri tem imam v mislih predvsem dve omejitvi. Prva omejitev je, da mora imeti pilot ves čas operacije vzpostavljen neposreden stik z BPL, druga pa, da je predpisana maksimalna višina le 150 metrov.

SKLEP

BPL postajajo zanesljiva in učinkovita metoda pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov ter imajo v primerjavi z drugimi metodami, predstavljenimi v magistrskem delu, izrazite prednosti. Ključne so ekonomske prednosti posamezne metode dela, ki so v zadnjih nekaj letih vidne predvsem v uporabi BPL za vzdrževanje daljnovodov. Te ekonomske prednosti uporabe BPL so nekoliko bolj izrazite v Evropi, po spremembi zakonodaje pa bodo začele izstopati tudi v Združenih državah Amerike. Investicije v razvoj tehnologije BPL, ki so v zadnjih nekaj letih močno zrastle, predstavljajo priložnost za uporabo te tehnologije namesto klasičnih metod ročnega pregledovanja, helikopterja s posadko, talnega robota ali robota na žici. Teste z BPL za pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov je opravilo že kar nekaj podjetij. Na podlagi nekaterih izmed predstavljenih primerov uporabe in preostale uporabljene metodologije lahko potrdim upravičenost uporabe BPL pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov.

Ugotovila sem, da je uporaba BPL najvarnejša metoda za pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov. Metoda je brezpilotna in ne ogroža varnosti vzdrževalcev pri opravljanju dela. Posebej uporabna je na težko dostopnih, hribovitih območjih ali pa na območjih, kjer je daljnovod speljan čez reko. Uporabna je tudi v slabih vremenskih razmerah, ko je varnost in zdravje ljudi še toliko bolj ogroženo. Predstavlja tudi najhitrejšo metodo za vzdrževanje daljnovodov. Ostale metode so počasnejše, bolj komplicirane za uporabo in dražje. Za pregled daljnovoda z BPL pa potrebujemo le ustrezno napajanje in kontrolno postajo. S pomočjo BPL so podatki o stanju sredstev kvalitetnejši, saj se lahko popolnoma približa vodniku. Na trgu obstajajo majhne, vendar kakovostne kamere, ki so že popolnoma konkurenčne tistim večjim, ki se uporabljajo na helikopterjih s posadko. Na račun kvalitetnejših podatkov bodo podjetja učinkoviteje upravljala sredstva. V magistrskem delu je predstavljenih tudi nekaj študij in testov, ki zagotavljajo nižje stroške vzdrževanja z uporabo te metode. Ugotovila sem, da so stroški vzdrževanja z uporabo te metode lahko nižji, saj je celoten potek vzdrževanja hitrejši in kvalitetnejši. Metoda je uporabna pri vzdrževanju daljnovodov, za ocenjevanje škode po naravnih katastrofah, za menedžment vegetacije in še na nekaterih drugih področjih. Priložnosti za uporabo BPL je veliko. Omejitve za njihovo uporabo pa predstavljata predvsem stroga zakonodaja v nekaterih državah in nezaupanje menedžerjev v to tehnologijo, ki je trenutno trgu še slabo znana. Velik vpliv na uporabo BPL v Evropi bo imel tudi nov pravilnik o uporabi komercialnih BPL. Ta tehnologija morda nikoli ne bo nadomestila dela vzdrževalcev, jim bo pa v veliko pomoč pri opravljanju pregledovalnih in vzdrževalnih del. Ne glede na omejitve je uporaba BPL upravičena metoda pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov.

LITERATURA IN VIRI

1. Aberšek, B., & Flašker, J. (2005). *Vzdrževanje: sistemi, strategije, procesi in optimiranje*. Maribor: Fakulteta za strojništvo.
2. Adoghe, A. U., Awosope Claudius, O. A., & Ekeh, J. C. (2013). Asset maintenance planning in electric power distribution network using statistical analysis of outage data. *Electrical Power and Energy System*, 47, 424–435.
3. Amadi-Echendu, J. E., Brown, K., Willet, R., & Mathew, J. (2010). *Definition, Concepts and Scope of Engineering Asset Management*. London: Springer.
4. Aracil, R., Ferre, M., Penin, L. F., Hernando, M., & Pinto, E. (2015). Advanced teleoperated system for live power line maintenance. *Universidad Politecnica de Madrid*. Najdeno 23. aprila 2015 na spletnem naslovu <http://www.romin.upm.es/robtet/ROBTETee.pdf>
5. Austin, R. (2010). Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment. Najdeno 28. septembra 2015 na spletnem naslovu http://airspot.ru/book/file/1152/Reg_Austin_-_Unmanned_Air_Systems_UAV_Design_Development_and_Deployment_-_2010.pdf
6. Bertelsen, B. (2012). *Everything you Need to Know About SWOT Analysis*. Newmarket: BrainMass.
7. Bitenc, M. (2014). Brezpilotni letalniki – od igrače do večnamenskih robotov. *Glasilo zveze geodetov Slovenije*, 58(1), 155–158. Najdeno 2. maja 2015 na spletnem naslovu http://www.geodetski-vestnik.com/images/58/1/gv58-1_bitenc.pdf
8. Bordenkircher, S., & Ellis, E. (2015a, 26. avgust). A Business Case for UAVs. *T&D World Magazin*. Najdeno 28. septembra 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/smart-grid/business-case-uavs?page=1>
9. Bordenkircher, S., & Ellis, E. (2015b, 26. avgust). A Business Case for UAVs: Regulatory Analysis. *T&D World Magazin*. Najdeno 28. septembra 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/smart-grid/business-case-uavs?page=2>
10. Bordenkircher, S., & Ellis, E. (2015c, 26. avgust). A Business Case for UAVs: Cost Analysis. *T&D World Magazin*. Najdeno 28. septembra 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/smart-grid/business-case-uavs?page=3>
11. CB Insights. (2015). *Drone companies – poročilo podjetja o financiranju v tehnologijo BPL*. New York: CB Insights.
12. Cody, E. (2014, 1. maj). Send in the Drones: Use of unmanned aircraft in the electric utility industry is set to take off. *Rural Electric Magazine*. Najdeno 13. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://remagazine.coop/send-in-the-drones/>
13. Colomina, I., & Malina, P. (2014). Unmanned aerial system for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97.
14. Corley, A. M. (2009, 12. november). Robotic Trightrope Walkers for High-Voltages Lines: Inspection bots in Canada and Japan roll out to make power lines safe. *IEEE*

- Spectrum*. Najdeno 5. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://spectrum.ieee.org/robotics/industrial-robots/robotic-tightrope-walkers-for-highvoltage-lines>
15. Crisp, J. (2003). *Asset Management in Electricity Transmission Utilities: Investigation into Factors Affecting and their Impact on the Network* (doktorska disertacija). Brisbane: School of Electrical and Electronic Engineering.
 16. Currin, L. (2015, 16. januar). Duke Energy, Other Utilities: Drones Have Role in Energy Sektor. *Powergrid international*. Najdeno 25. avgusta 2015 na spletnem naslovu http://www.elp.com/articles/powergrid_international/print/volume-20/issue-1/features/duke-energy-other-utilities-drones-have-role-in-energy-sector.html
 17. Debenest, P., Guarnieri, M., Takita, K., Fokushima, E. F., Hirose, S., Tamura, K., Kimura, A., Kubokawa, H., Iwama, N., Shiga, F., Morimura, Y., & Ichioka, Y. (2010). Expliner – Toward a Practical Robot for Inspection of High- Voltage Lines. Najdeno 4. maja 2015 na spletnem naslovu http://www.nrec.ri.cmu.edu/fsr09/papers/FSR2009_0087_46b4c90ab784334b504988cf268818cc.pdf
 18. *Delitev električnih omrežij*. Najdeno 14. oktobra 2015 na spletnem naslovu http://www.lu-rogaska.si/cms/controls/warehousehandler.ashx?path=/Vsebina/E_gradiva/Elektrotehnik_energetik/669
 19. Drones for power line Inspection. (2015, 13. januar). *T&D World Magazine*. Najdeno 28. avgusta 2015 na spletnem naslovu http://tdworld.com/transmission/drones-power-line-inspections#slide-11-field_images-61661
 20. Dukart, R. J. (2015, 3. junij). High-Tech Innovation. *T&D World Magazine*. Najdeno 20. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/tools-technology/high-tech-innovation>
 21. Electric Power Research Institute – EPRI. (2003, avgust). *Optimizing the Transmission on Line Design for Effective Live Working Title of Report*. Electric Power Research Institute: Palo Alto.
 22. Electric Power Research Institute – EPRI. (2012, 10. april). Test Confirm Viability of Using Drones to Asses Storm Damage on Distribution Systems. *T&D World Magazine*. Najdeno 27. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/overhead-distribution/epri-tests-confirm-viability-using-drones-assess-storm-damage-distribution-sys>
 23. Elektroservisi, d.d. (2015). *Poročilo o uporabi in razvoju večnamenskega brezpilotnega letala za vzdrževanje daljnovodov* (interno gradivo). Trzin: Elektroservisi, d.d.
 24. ELES, d.o.o. (2015a). 90 let prenosnih poti. Najdeno 20. novembra 2015 na spletnem naslovu http://www.eles.si/files/eles/userfiles/SLO/Za_medije/KorporativnaBrosuraDruzbe/EL-ES_Company_profile_2013_Slo.pdf
 25. ELES, d.o.o. (2015b). *Vloge pri upravljanju s sredstvi* (interno gradivo). Ljubljana: ELES, d.o.o.
 26. Elizando, D. (2015a, 27. januar). Robots Are Coming. *T&D World Magazine*. Najdeno 5. maja 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/transmission/robots-are-coming>

27. Elizando, D. (2015b, 27. januar). Robots Are Coming: Current Trends. *T&D World Magazine*. Najdeno 5. maja 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/transmission/robots-are-coming?page=2>
28. Elizando, D. (2015c, 27. januar). Robots Are Coming: Future Opportunities. *T&D World Magazine*. Najdeno 5. maja 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/transmission/robots-are-coming?page=3>
29. European Aviation Safety Agency – EASA. (2015a, september). Predlog za oblikovanje skupnih predpisov za upravljanje brezpilotnih zrakoplovov v Evropi Najdeno 17. novembra 2015 na spletnem naslovu http://www.easa.europa.eu/download/ANPA-translations/205933_EASA_Summary%20of%20the%20ANPA_SL.pdf
30. European Aviation Safety Agency – EASA. (2015b). Civil Drones (RPAS). Najdeno 31. avgusta 2015 na spletnem naslovu <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/key-topics/civil-drones-rpas>
31. Eversource. (2015). Service territory. Najdeno 19. novembra 2015 na spletnem naslovu <https://www.eversource.com/Content/general/about/about-eversource/service-territory>
32. *Expliner Robot – High voltage Transmission Line Inspection Robot*. (2011). Najdeno 3. avgusta 2015 na spletnem naslovu <https://www.youtube.com/watch?v=2h6UPMcy8-o>
33. Fischbach, A. (2015, 27. avgust). Ofil Develops Compact Corona Camera to Assist with Aerial Inspection. *T&D World Magazin: The Briefing Room*. Najdeno 21. septembra 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/blog/ofil-develops-compact-corona-camera-assist-aerial-inspections>
34. Florea, M., & Leca, A. (2011). Considerations on the maintenance strategy of the electricity transmission grid and the need to promote live works to overhead lines. *U.P.B. Sci. Bull, Series C, 73 (3)*. Najdeno 27. aprila 2015 na spletni strani http://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full68672.pdf
35. Flycom. (2015). Snemanje s kamero. Najdeno 30. julija 2015 na spletnem naslovu <http://www.flycom.si/index.php/sl/component/content/article/18-dejavnosti/43-korona>
36. Glavič, R., Lovrenčič, V., & Furlan, T. (2003). Helikopterski pregled nadzemnih vodov. *Konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE ŠK 3–16, 79*. Najdeno 25. aprila 2015 na spletnem naslovu http://www.cigre-cired.si/Images/files/documents/6_konferenca_Portoroz_2003/2003-3-16.pdf
37. Goncalves, S. R., & Carvalho Mendes, C. J. (2013, 27. junij). Review and Latest Trands in Mobile Robots Used on Power Transmission Lines. *International Journal of Advanced Robotic Systems, 10(4)*, 1–14. Najdeno 4. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/46043.pdf>
38. Grimaccia, F., Aghaei, M., Mussetta, M., Leva, S., & Quater Belleza, P. (2014, 12. november). Planning for PV plant performance monitoring by means of unmanned aerial systems (UAS). *International Journal of Energy and Enviromental Engineering, 6(1)*, 47–54. Najdeno 6. maja 2015 na spletnem naslovu <http://link.springer.com/article/10.1007/s40095-014-0149-6>

39. Guo, L., Lu, G., Liao, Q., Cui, Y., Liu D., Guo D., & Hu, Z. (2014, 12. april). Structure Design and Stable-balancing Control of a Kind of Wire-moving Robot. Najdeno 4. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/46657.pdf>
40. Hill, W. L. C., & Jones, G. R. (2008). *Strategic Management Theory: An Integrated Approach* (9th ed.). Australia South-Western College Publishing.
41. Houseman, D. (2015, 18. februar). New FAA Rules Will Impact Use of Drones for Line Work. *T&D World Magazine*. Najdeno 24. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/grid-opt-smart-grid/new-faa-rules-will-impact-use-drones-line-work>
42. Jemec, V., Božič, I., Domitrovič, K., Sabadin, T., Saksida, M., & Šinkovec, B. (2011, december). Tribologija – naš vsakdan. Najdeno 12. novembra 2015 na spletnem naslovu http://www.drustvo-dvs.si/ftp/Vzdrzevalec_144.pdf
43. Kadam, R. V., Patil, G. S., & Holmukhe, R. M. (2015). General Review on Aging Electricity Distribution System Maintenance Strategies. Najdeno 24. julija 2015 na spletnem naslovu http://www.bvucoepune.edu.in/pdfs/Research%20and%20Publication/Research%20Publications_2009-10/National_Conference9-10/General%20%20review.pdf
44. Komonen, K. (2012). Asset Management: The State of the Art in Europe from a Life Cycle Perspective. V T. Van der Lei, P. Herder & Y. Wijnia (ur.), *Forward* (str. V–3). Dordrecht: Springer.
45. Kos, B. (2015). SWOT analiza. Najdeno 20. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://www.blazkos.com/swot-analiza.php>
46. Lai Lei, L. (2001). *Power system Restructuring and Deregulation: Trading, Performance and information Technology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
47. Le redno vzdrževanje zagotavlja dolgotrajnost daljnovidnega omrežja. (2010, 24. januar). *Finance*. Najdeno 30. julija na spletnem naslovu <http://www.finance.si/269566/Le-redno-vzdr%C5%BEevanje-zagotavlja-dolgotrajnost-daljnovidnega-omre%C5%BEja>
48. Leaverton, G. T. (2015, avgust). The Drone Generation: Unmanned drones are coming to a utility near you. *T&D World Magazine: Lines and Structures*, str. 16–18.
49. Morris, D. (2005). A new tool for strategy analysis: the opportunity model. *Journal of Business Strategy*, 26(3), 50–56.
50. Ofil Systems. (2015). DayCor® ROM. Najdeno 21. septembra 2015 na spletnem naslovu <http://www.ofilsystems.com/products/rom.html>
51. Pagnano, A., Hopf, M., & Teti, R. (2013). A roadmap for automated power line inspection. Maintenance and repair. *Procedia CIRP*, 12, 234–239.
52. Podlogar, M., & Gričar P. (2003, februar). Uporaba programa SAP v celovitem poslovnem informacijskem sistemu (priročnik). Najdeno 11. novembra 2015 na spletnem naslovu http://ecom.fov.uni-mb.si/studenti/Predmeti/Gradiva/SAP_prirocnik_oskrbovanje.pdf
53. Polak, J., & Voršič, J. (2005). Načrtovanje vzdrževanja elektroenergetskih naprav s pomočjo verjetnosti. *Elektrotehniški vestnik*, 72(5), 267–272. Najdeno 14. oktobra 2015 na spletnem naslovu <http://ev.fe.uni-lj.si/5-2005/Polak.pdf>

54. Sampedro, C., Martinez, C., Chauhan, A., & Compoy, P. (2014). A supervised approach to electric detection and classification for power line inspection. *IEEE*. Najdeno 2. maja 2015 na spletnem naslovu http://138.100.76.11/visionguided2/sites/files/article_powerline_20jan2014r.pdf
55. SAP. (2015). Innovation Video for Asset Management. Najdeno 11. novembra 2015 na spletnem naslovu <http://go.sap.com/assetdetail/2014/11/f8187223-0a7c-0010-82c7-eda71af511fa.html>
56. Scheider, J., Gaul, A. J., Neumann, C., Hografer, J., WellBow, W., Schwan, M., & Schnettler, A. (2006). Asset management techniques. *Electrical Power and Energy System*, 28, 643–654.
57. Sharper Shape. (2015). Next Eagle. Najdeno 28. avgusta 2015 na spletnem naslovu http://sharpershape.com/next_eagle
58. Short, T. A. (2004). Electric power distribution handbook. Najdeno 27. avgusta 2015 na spletnem naslovu <https://goodboygunawan.files.wordpress.com/2010/03/electric-power-distribution-handbook.pdf>
59. Skrzypietz, T. (2012, februar). Unmanned Aircraft Systems for Civilian Missions. *BIGS Policy Paper: Branderburg Institute for SOCIETY and SECURITY. No. 1*. Najdeno 31. avgusta 2015 na spletnem naslovu http://www.bigs-potsdam.org/images/Policy%20Paper/PolicyPaper-No.1_Civil-Use-of-UAS_Bildschirmversion%20interaktiv.pdf
60. Starr, A., Al-Najjar, B., Holmberg, K., Jantunen, E., & Albarbar, A. (2010). *Maintenance Today and Future Trends*. London: Springer.
61. *State of the art in Asset Management of HV Transmission Grids*. Najdeno 23. aprila 2015 na spletnem naslovu <http://www.gridinnovation-on-line.eu/Articles/Library/State-Of-The-Art-In-Asset-Management-Of-HV-Transmission-Grids.kl>
62. Targosz, R., & Manson, J. (2014, 21–24 maj). Pan European LPQI power quality survey. *CIGED – 19th International Conference on Electricity Distribution*, 1–4. Najdeno 12. avgusta 2015 na spletnem naslovu http://www.leonardo-energy.org/sites/leonardo-energy/files/root/pdf/2007/CIRED07-Final_paper_0263.pdf
63. *THE DRONE REPORT: Market forecasts, regulatory barriers, top vendors, and leading commercial application*. Najdeno 11. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://www.businessinsider.com/uav-or-commercial-drone-market-forecast-2015-2>
64. The Institute of Asset Management. (2015). What is Asset Management? Najdeno 11. novembra 2015 na spletnem naslovu <https://theiam.org/what-asset-management>
65. Tyburski, C., & Gates, A. (2015a, 28 maj). The Drones Are Coming. *T&D World Magazine*. Najdeno 13. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/overhead-transmission/drones-are-coming?page=1>
66. Tyburski, C., & Gates, A. (2015b, 28. maj). The Drones Are Coming. *T&D World Magazine*. Najdeno 13. avgusta 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/overhead-transmission/drones-are-coming?page=2>

67. Unmanned Aerial Vehicle Systems Association – UAVS. (2015a). Light UAS Approval. Najdeno 28. avgusta 2015 na spletnem naslovu <https://www.uavs.org/lightuas>
68. Unmanned Aerial Vehicle Systems Association – UAVS. (2015b). UAS Regulation in Civil Airspace. Najdeno 28. avgusta 2015 na spletnem naslovu <https://www.uavs.org/regulation>
69. Užmar, S. (2012). *Primerjava informacijskih sistemov, namenjenih podpori procesov vzdrževanja* (magistrsko delo). Celje: Fakulteta za logistiko.
70. Vadari, M. (2015, 28. februar). To Drone, or Not to Drone, That is the Question. *T&D World Magazine*. Najdeno 14. maja 2015 na spletnem naslovu <http://tdworld.com/grid-opt-smart-grid/drone-or-not-drone-question>
71. Van der Lei, T., Herder, P., & Wijnia, Y. (2012). *Asset Management: The State of the Art in Europe from a Life Cycle Prospective*. Dordrecht: Springer.
72. *Which countries can Multirotors be flown commercially?* Najdeno 17. novembra 2015 na spletnem naslovu <http://jamiebrightmore.com/aerial-photography/which-countries-can-multirotors-be-flown-commercially/>
73. Zakon o letalstvu (Zlet). *Uradni list RS št. 81/2010-UPB4*.
74. Zveza računovodij, finančnikov in revizorjev Slovenije. (2015). *Pojmovnik – vzdrževanje*. Najdeno 23. julija 2015 na spletnem naslovu <http://www.zvezarfr.si/priponocki/slovar?pojmem=vzdr%C5%BEevanje>

PRILOGE

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Seznam kratic.....	1
Priloga 2: Poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju ELES d.o.o.	2
Priloga 3: Poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju ELES, d.o.o.	6
Priloga 4: Poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju Avteh, d.o.o.	10

Priloga 1: Seznam kratic

APS	(angl.) <i>Arizona Public Service Company</i>
BCM	V poslovanje usmerjeno vzdrževanje (angl. <i>Business Centred Maintenance – BCM</i>)
BPL	Brezpilotno letalo
CEATI	(angl.) <i>Center for Energy Advancement through Technological Innovation</i>
EPRI	Raziskovalni inštitut za električno energijo (angl. <i>Electric Power Research Institute – EPRI</i>)
FAA	Zvezna uprava za letalstvo (angl. <i>FAA – Federal Aviation Administration</i>)
GIS	Geografski informacijski sistem
GPS	Globalni sistem pozicioniranja (angl. <i>Global Positioning System</i>)
HD	(angl.) <i>High-definition</i>
ISO	(angl.) <i>International Organization for Standardization</i>
LCC	Analiza stroškov življenjske dobe stroja (angl. <i>Life Cycle Cost</i>)
RBI	Kontrola, ki temelji na tveganju (angl. <i>RBI – Risk Based Inspection</i>)
RCM	Zanesljivostno orientirano vzdrževanje (angl. <i>Reliability Centred Maintenance – RCM</i>)
TPM	Celovito produktivno vzdrževanje (angl. <i>Total Productivity Maintenance –TPM</i>)

Priloga 2: Poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju ELES d.o.o.

EKONOMSKA FAKULTETA, Ljubljana
Smer Trženje
Lea Gabrovšek

POGLOBLJENI INTERVJU

Pozdravljeni!

V okviru magistrskega dela z naslovom »Upravičenost uporabe novih tehnologij pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov: primer uporabe brezpilotnih letal« želim pripraviti poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju Eles, d.o.o. Tako bom pridobila podatke in mnenja o načinu in metodah upravljanja sredstev v podjetju ter o vzdrževanju sredstev. Ugotovitve, do katerih sem prišla s pomočjo literature, bom lahko tako primerjala z ugotovitvami, pridobljenimi z intervjujem.

Za odgovore se vam že vnaprej najlepše zahvaljujem.

UPRAVLJANJE SREDSTEV

1. V katerem tipu organizacije delate?

- a) Zasebno podjetje
- b) Državno podjetje
- c) Raziskovalni laboratorij ali inštitut
- d) Izobraževalna ustanova
- e) Drugo

Podjetje je v 100 % državni lasti. Podjetje je sestavljeno iz 5 področij, ta področja sestavljajo posamezne službe. Področje za upravljanje s sredstvi in projekti je eno izmed petih področij in je prav tako sestavljeno iz petih služb. Služba centralna projektna pisarna je ena izmed petih, v kateri na eni strani dajejo podporo projektному vodenju, ki se izvaja na področju infrastrukture prenosnega omrežja, na drugi strani pa se v tej službi delajo določene analize in prikazi glede projektov za poročanje vodstvu, nadzornemu svetu in zunanjemu okolju (po potrebi). Namenjena je tudi podpori službi za načrtovanje in analize investicij. Služba za načrtovanje omrežja pripravlja načrt razvoja prenosnega omrežja v Republiki Sloveniji. V okviru tega področja je tudi služba za upravljanje z infrastrukturo. Tukaj izvajajo interne strokovne ter tehnične preglede izvedenih del na konstrukcijah in investicijah. Služba za tehnologije in diagnostike skrbi za uvajanje naprednih tehnologij (mobilno vzdrževanje Maximo) ter za pomembne podatke. Poudariti moram, da moramo imeti življenjski cikel vedno pod nadzorom. Sredstva se je v preteklosti določalo na subjektivni ravni, danes pa je funkcija upravljanja sredstev vedno bolj v veljavi in vedno

bolj pomembna. Z leti je bilo potrebno utemeljevati svoje odločitve za investicije, saj zunanji svet zahteva transparentno delovanje.

Leta 2012 se je podjetje reorganiziralo in od takrat naprej je dejavnost – upravljanje s sredstvi – bolj izražena. Funkcija upravljanja s sredstvi se je uveljavljala že prej, vendar ne na takšni ravni kot sedaj. Ravnamo se tudi po predpisanih standardih, kot je ISO 55000 standard za upravljanje s sredstvi. Smo tudi člani konzorcija ITAMS (angl. *International Transmission Asset Management Solutions*) in ITOMS (angl. *International Transmission Operations & Maintenance Study*), katerega končni izdelek je študija, ki kaže, kako dober (učinkovit) si na področju upravljanja sredstev.

Naše poslanstvo je, da pripravimo 10-letni načrt za optimalen razvoj sredstev ter da spremljamo nove tehnologije, predpišemo optimalno vzdrževanje in zadovoljimo zahteve porabnikov na trajen, okolju prijazen način.

2. Na katerem področju deluje to podjetje?

Energetika – Sistemski operater prenosnega elektroenergetskega omrežja.

3. Katero delovno mesto zasedate?

Sem direktor področja za upravljanje s sredstvi in projekti v podjetju ELES, d.o.o. Kot direktor vodim to področje ter skrbim, da opravljamo temeljne naloge upravljanja sredstev. Osredotočeni smo na upravljanje fizičnih sredstev infrastrukture (sredstva infrastrukture prenosnega omrežja).

4. Kako bi vi razložili funkcijo upravljanja sredstev?

To funkcijo bi najlažje razložil s pomočjo naše sheme. Shema trikotnika je razdeljena na tri dele, tako imamo tri vloge pri upravljanju sredstev. Na vrhu piramide je lastnik sredstev, ki določa poslovne vrednote, poslovno strategijo ter ciljne vrednosti. Lastnik sredstev neguje tudi stik z deležniki. Upravljavec sredstev je na sredini piramide in mora te cilje razumeti. Upravljavec sredstev pripravi strategijo vzdrževanja in investicij ter deluje v skladu z določili standarda ISO 55000, tako da je učinkovit pri opravljanju svojega dela. Obvladovati mora tudi vse podatkovne strukture, nato naredi razvojni načrt. Upravljavec sredstev pretvarja zahteve lastnika izvajalcu storitev, ki se nahaja v spodnjem delu piramide (sheme). Vendar morajo biti zahteve podane na način, da jih izvajalec razume. Izvajalec tudi zbira podatke in skrbi za življenjski cikel sredstev. Če piramido obrnemo okoli, nastane slika, kakšen pogled mora imeti lastnik. Lastnik mora imeti najširši pogled.

5. Kaj je ključnega pomena pri funkciji upravljanja sredstev?

Ključnega pomena pri opravljanju te funkcije menedžmenta so podatki. Na podatkih je potrebno garati, delati in zbirati prave podatke. Uporabljati prave tehnologije, potem pa lahko izvedeš kvalitetno analizo. Vse to pa služi odločanju.

6. Kateri podatki so pomembni in pripomorejo k lažjemu odločanju in opravljanju vaše funkcije?

Za naše delo so pomembni tehnični podatki (MAXIMO informacijski sistem). Določeni podatki prihajajo iz vzdrževanja (kakšni so stroški vzdrževanja, stanje sredstev). Ti podatki pomagajo pri določitvi optimalne metode vzdrževanja. Zelo pomembni so tudi geografski podatki. Imamo 2 informacijska stebra v svojem področju. Prvi steber so GIS (geografski informacijski sistemi) in drugi informacijski sistem MAXIMO. Nekatere podatke pridobimo tudi od zunaj virov.

7. Kako pa pridobivate podatke o stanju sredstev (daljnovodov)?

Določene podatke pridobivamo z laserskim snemanjem daljnovoda. Pri daljnovodu so pomembni tudi podatki o varnostni oddaljenosti. Dodana vrednost so tudi foto posnetki. Pomembni so tudi termografski posnetki.

8. Kakšno strategijo vzdrževanja uporabljate danes?

- a) Preventivno vzdrževanje
- b) Korektivno (kurativno) vzdrževanje
- c) Celovito produktivno vzdrževanje
- d) Zanesljivostno orientirano vzdrževanje
- e) Računalniško podprto vzdrževanje
- f) Kombinirano vzdrževanje

Obstaja pravilnik za vzdrževanje elektroenergetskih prenosnih naprav, ta pravilnik se na nekaj let spreminja. Najdražje je časovno opredeljeno preventivno vzdrževanje in se uporablja za najbolj zahtevne naprave. V naslednjih petih letih bomo periodiko spremenili. Uporabljamo kombinacijo strategij. Vzdrževanje se usmerja v strategijo zanesljivostno orientiranega vzdrževanja. Naš strateški cilj je, da bomo lahko izračunali preostalo življenjsko dobo in stanje naprav. Izvajamo tudi merjenja v realnem času (angl. *on-line monitoring*) za spremljanje določenih veličin transformatorja, ki kažejo na stanje naprave.

9. Kako pogosto potekajo vzdrževalna dela?

Odvisno od potreb. Pregledi so časovno opredeljeni in se spreminjajo.

10. Katero metodo vzdrževanja sredstev uporabljate?

- a) Ročno pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov
- b) Pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov s pomočjo helikopterja s posadko
- c) Robotske tehnologije za vzdrževanje daljnovodov
- d) Kombinacijo tehnologij
- e) Drugo

Le enkrat do sedaj smo izvedli lasersko snemanje, nato pa se lahko določene stvari izračunajo (izračunamo jih sami). Pri termografskih posnetkih je dobro sčasoma to

ponoviti, vendar smo na osnovi izkušenj periodo zmanjšali. Foto posnetke je dobro pridobiti, ker imaš dokumentiran prostor. Slednje lahko pridobimo v času laserskih snemanj. Sami smo uporabili metodo helikopterja s posadko, naredili pa smo tudi en pilotski projekt.

11. Kaj pa menite o alternativnih oblikah, namenjenih pregledovanju in vzdrževanju daljnovidov, kot so brezpilotna letala?

Ta tehnologija je uporabna in konkurenčna klasični metodi helikopterja s posadko, vendar na manjših območjih. Takšna tehnologija lahko hitreje preleti določena območja ter izvaja kontrole. Uporablja se za vegetacijski menedžment, kar predstavlja ključno vlogo za neprekinjeno dobavo električne energije. Uporaba takšne tehnologije je boljša za video in fotografske posnetke, saj lahko leti bližje vodnikom. Problem pri tej tehnologiji je, da podleže regulativi. Vendar se bo tudi regulativa sčasoma uredila. Prepričan sem, da bodo nekoč takšne tehnologije še bolj napredovale. Nove tehnologije neprestano spremljamo in smo do njih odprti, vendar se tu pojavlja tudi vprašanje tveganj. Kot direktor upravljanja s sredstvi moram pred sprejetjem odločitev tveganja dobro preučiti.

Datum intervjuja: 23. september 2015

Čas trajanja intervjuja: 50 minut

Intervjuvanec: g. Miran Marinšek

Priloga 3: Poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju ELES, d.o.o.

EKONOMSKA FAKULTETA, Ljubljana
Smer Trženje
Lea Gabrovšek

POGLOBLJENI INTERVJU

Pozdravljeni!

V okviru magistrskega dela z naslovom »Upravičenost uporabe novih tehnologij pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov: primer uporabe brezpilotnih letal« želim pripraviti poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju Eles, d.o.o. Tako bom pridobila podatke in mnenja o načinu in metodah upravljanja sredstev v podjetju ter o vzdrževanju sredstev. Ugotovitve, do katerih sem prišla s pomočjo literature, bom lahko tako primerjala z ugotovitvami, pridobljenimi z intervjujem.

Za odgovore se vam že vnaprej najlepše zahvaljujem.

VZDRŽEVANJE

1. V katerem tipu organizacije delate?

- a) Zasebno podjetje
- b) Državno podjetje
- c) Raziskovalni laboratorij ali inštitut
- d) Izobraževalna ustanova
- e) Drugo

Državno podjetje.

2. Na katerem področju deluje to podjetje?

Energetika – Sistemski operater prenosnega elektroenergetskega omrežja.

3. Katero delovno mesto zasedate?

Vodja službe za tehnologije in diagnostiko.

4. Kdaj ste v podjetje vpeljali informacijski sistem MAXIMO?

V podjetje smo ta sistem vpeljali leta 2004.

5. Čemu vse je ta informacijski sistem namenjen?

Namenjen je podpori, upravljanju in vzdrževanju strateških sredstev. V sistemu MAXIMO je baza tehničnih podatkov za vse naše visokonapetostne elemente. Osnova za spremljanje vzdrževanja v tem sistemu so nalogi za delo. Preko teh nalogov se vpisujejo vse ključne

stvari. Nalog za delo se pripravlja za vse vzdrževalne aktivnosti na napravah.. V nalog za delo se beležijo podatki o porabi materiala, opravljenih delovnih urah, različnih dodatkih za posebne pogoje dela ter uporaba orodij in ostalih virov, kot je na primer avtopark (avtomobili, delovni stroji). Na nalog se beležijo tudi storitve zunanjih partnerjev (na primer meritve, ki jih mi sami ne izvajamo). Vsi našteti stroški se beležijo, medtem ko je nalog aktiven ali po zaključku del. Ko se delo zaključi, vodja del zaključi nalog za delo in vnese dodatna opravila, ki so bila izvedena. V grobem ima sam sistem teh nalogov za delo dve funkciji. Prva je spremljanje opravil na napravah od načrtovanja do izvajanja ter spremljanje dogajanj na napravah. Druga pa je spremljanje stroškov vzdrževanja. Stroški se spremljajo za potrebe analiz vzdrževalnih del in posledično izboljšanje planiranja vzdrževalnih del.

6. Kako je potekal razvoj vzdrževanja znotraj podjetja?

Dve do tri leta nazaj smo temeljili na časovno pogojenem vzdrževanju. Nato smo prenovili navodilo za vzdrževanje in s tem naredili korak naprej v smeri vzdrževanja na osnovi stanja naprav. Daljnovode smo razdelili po pomembnosti v tri prioritete skupine. Tiste z najvišjo prioriteto, ki so najbolj pomembni in se bolj intenzivno vzdržujejo. Pri drugi skupini je ta periodika vzdrževanja nekoliko daljša, in še daljša pri tretji. Naprave v transformatorskih postajah smo razdelili glede na starost v dve skupini. Naprave do 15 let vzdržujemo po eni periodiki. Pri napravah, starejših od 15 let, se ta perioda vzdrževanja skrajša. Namen vsega tega je, da zmanjšamo preventivne stroške vzdrževanja. Sledimo smeri v zanesljivost orientiranega vzdrževanja, s katerim želimo zagotavljati zanesljivost na osnovi stanja naprav in njihove vloge v omrežju. Na podlagi teh dveh faktorjev se potem pripravi izračun predloga za vzdrževanje. Razvoj vzdrževanja gre sedaj v smeri vzdrževanja na osnovi vrednosti (angl. *Value Driven Maintenance*), kar predstavlja še višjo stopnjo, saj poleg zanesljivosti upošteva tudi vrednost (stroške vzdrževanja, stroške nabave novih naprav in stroške, ki so posledica delovanja ali nedelovanja naprav). Nato izračunavamo optimum, ki ga je možno doseči (kaj vzdrževati in kako pogosto, da so stroški optimalni, in ob tem zagotavljati potrebno zanesljivost delovanja omrežja).

7. Kako poteka proces zbiranja podatkov?

Zajemanje podatkov poteka na dva načina. Mi ločujemo našo infrastrukturo na daljnovode in na razdelilne transformatorske postaje. Za daljnovode imamo že vpeljan mobilni sistem vzdrževanja. To pomeni, da se nalogi za delo prenesejo na mobilne naprave (tablični računalniki, pametni telefoni). Ko gre ekipa na teren in izvede obhode, s seboj vzamejo svoj tablični računalnik ali pametni telefon in preko njega vnašajo ugotovitve. Ko se vrnejo v pisarno, se podatki iz mobilnih naprav prenesejo v informacijski sistem MAXIMO. Pri razdelilnih transformatorskih postajah smo v fazi prehoda na ta mobilni sistem. Do sedaj je moral vodja del po zaključku aktivnosti ročno vnesti ugotovitve v MAXIMO sistem, sedaj bo isti mobilni sistem kot pri daljnovodih veljal tudi za razdelilne postaje. Velika pridobitev uvedbe mobilnega sistema je bila tudi ta, da smo klasificirali napake. To pomeni

bistveno lažjo izdelavo analiz, saj lahko uporabniki na terenu izbirajo le med navedenimi napakami. Posameznik mora že na terenu izbrati pravilno klasifikacijo napake.

8. Kako pri vas potekajo pregledi naprav?

Revizije se izvajajo ročno. Ekipa gre na teren, na daljnovod ali v razdelilno transformatorsko postajo, in izvede predvideno delo. Pri nas obstaja navodilo o vzdrževanju, ki predstavlja glavni dokument za izvajanje vzdrževanja. V tem navodilu je za vsako vrsto naprave, ponekod celo za tip naprave, določeno, katera dela je potrebno v kakšnih časovnih razmikih izvajati (na 12, 6, 3 mesece). Ti časovni razmiki so ali zakonsko predpisani ali pa so določeni iz navodil o vzdrževanju od proizvajalcev. Uporabni so tudi rezultati izkušenj, ki so si jih naši vzdrževalci z leti pridobili.

Ko se opravljajo redna vzdrževalna dela, se vzamejo za ta sklop naprav opravila, ki so za te naprave predvidena v navodilu o vzdrževanju. Dodatno pa tisti, ki izvajajo delo, vpišejo opravila, ki so jih izvedli poleg načrtovanih. Gre za okvare ali stanje naprave, ki se opazijo med izvajanjem načrtovanih del. Ko se te ugotovitve rednega vzdrževanja vnesejo v MAXIMO, predstavljajo osnovo za generiranje novih nalogov za delo.

Največja prednost tega sistema in zbiranja podatkov je to, da se nam navodila spreminjajo. Če vidimo, da na določenih napravah, kjer izvajamo vzdrževalne aktivnosti, ni nobenih okvar ali napak, potem se lahko odločimo za podaljšanje periodike rednih vzdrževalnih del.

9. Kateri so najpogostejši vzroki okvar in okvare na daljnovodih?

Največ napak se pojavi na izolaciji, nastanejo pa kot posledica udara strel. Okvare lahko nastanejo tudi zaradi stika delov pod napetostjo z vegetacijo. Včasih pa so vzroki za okvare druge mehanske poškodbe, staranje ali okvara materiala ipd.

10. Ali pogosto pride do izpada elektrike zaradi okvar?

Ne, to se pri nas dogaja zelo redko. Omrežje je tako dobro povezano oziroma zazankano, da tudi izpad enega daljnovoda običajno ne povzroči nobene motnje v preskrbi z električno energijo. Skoraj vedno je mogoče zagotoviti napajanje z neke druge strani in vedno so možni neki dodatni ukrepi. Razen seveda v izjemnih primerih, kot je bil v lanskem letu žled, ko pride do izpada večjega dela omrežja. So pa takšni primeri res izjemni in se dogajajo zelo redko.

11. Katera oblika stroškov vzdrževanja je za podjetje najdražja?

Za nas je najdražje preventivno vzdrževanje. Vse te redne aktivnosti, ki jih izvajamo letno na posameznih napravah in daljnovodih, to je za nas največji strošek. Pred uvedbo tega sistema se o teh stroških ni kaj dosti vedelo. Sistematično se s temi stroški ni nihče ukvarjal. Skozi leta, ko smo že dobili neko bazo podatkov, pa lahko razmišljamo o tem, kako bi zmanjšali stroške in podaljšali periodo vzdrževanja. Skozi te stroške tudi ugotavljamo področja, kjer moramo biti bolj pozorni. Sedaj sodelujemo tudi v študiji (ITOMS in ITAMS), ki primerja podobna podjetja, kot je naše, po svetu. Tukaj so se

pokazala določena odstopanja (pozitivna ali negativna) pri različnih vzdrževalnih aktivnostih, kar nam omogoča, da pri teh aktivnostih pripravimo ukrepe, ki bodo doprinesli k zmanjšanju stroškov vzdrževanja.

Z vpeljavo tega informacijskega sistema se je strošek preventivnega vzdrževanja zmanjšal. Zmanjšalo se je število ur za vzdrževanje. Periode vzdrževanja pa se podaljšujejo oziroma se frekvenca vzdrževanja zmanjšuje.

12. Ali bi lahko z uporabo brezpilotnih letal preventivno vzdrževanje še izboljšali in znižali stroške vzdrževanja?

V teku je pilotski projekt, s katerim želimo ugotoviti, kakšne so možnosti za zmanjšanje stroškov vzdrževanja z uporabo te tehnologije. V določenih primerih ta uporaba pomeni zmanjšanje stroškov. Ne pa v vseh primerih. Brezpilotna letala oziroma »droni« imajo svoje omejitve. So uporabni za določene funkcije, predvsem za pregled naprav na manjšem področju in na težje dostopnih terenih. Za preglede večjih območij pa je vprašljiva avtonomija.

Uporabnost vidimo predvsem pri video nadzornih pregledih, termografskih snemanjih in snemanjih korone. Uporabni bodo tudi za primere upravljanja z vegetacijo. Rast vegetacije bi bilo potrebno pogosto snemati in spremljati, nato pa narediti plan posekov, saj nekatera vegetacija raste hitreje kot druga. Ko bomo dobili rezultate študije, bomo primerjali stroške in učinek. Brezpilotna plovila postajajo vedno večja in vedno bolj dostopna, velikost in teža dodatnih naprav (kamere) pa se zmanjšuje. V njihovi uporabi tako vidim potencial. Se pa ta tehnologija zelo hitro razvija in bo uporabna tudi na področjih, kjer je danes še ni.

Datum intervjuja: 29. september 2015

Čas trajanja intervjuja: 45 minut

Intervjuvanec: g. Aleksander Polajner

Priloga 4: Poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju Avteh, d.o.o.

EKONOMSKA FAKULTETA, Ljubljana

Smer Trženje

Lea Gabrovšek

POGLOBLJENI INTERVJU

Pozdravljeni!

V okviru magistrskega dela z naslovom »Upravičenost uporabe novih tehnologij pri vzdrževanju visokonapetostnih daljnovodov: primer uporabe brezpilotnih letal« želim pripraviti poglobljeni intervju z zaposlenim v podjetju Avteh, d.o.o. Tako bom pridobila podatke in mnenja o metodi pregledovanja in vzdrževanja daljnovodov s pomočjo brezpilotnih letal ter o prednostih, slabostih in namenu njihove uporabe. Ugotovitve, do katerih sem prišla s pomočjo literature, bom lahko tako primerjala z ugotovitvami, pridobljenimi z intervjujem.

Za odgovore se vam že vnaprej najlepše zahvaljujem.

BREZPILOTNA LETALA

1. V katerem tipu organizacije delate?

- a) Zasebno podjetje
- b) Državno podjetje
- c) Raziskovalni laboratorij ali inštitut
- d) Izobraževalna ustanova
- e) Drugo

Zasebno podjetje.

2. Na katerem področju deluje to podjetje?

Dejavnost obsega projektiranje, razvoj, izdelavo in vgradnjo sistemov na različnih področjih delovanja. Ukvarjamo se z razvojem in implementacijo različnih produktov, namenjenih avtomatiziranemu servisu. Obvladujemo pa tudi celotno tehnologijo vodenja, upravljanja in nadzora bencinskega servisa brez posadke.

Pri tem delu (UAV nadzorni pregledi: pregledi visokonapetostnih daljnovodov, distribucijskih daljnovodov, transformatorskih postaj in stikališč) sodelujemo s podjetjem Modri planet, d.o.o.

Slovenija je majhna in tukaj je tako, da smo se tisti, ki smo nekaj znanja s tega področja že osvojili, nekako povezali. Praktično smo združeni in tisti, ki sestavljajo letalnike, prodajajo

rezervne dele, razvijajo aplikativne rešitve, kot tudi tisti, ki izvajamo te storitve. Zaradi majhnosti Slovenije je to tudi smiselno. Sam sem bolj (angl.) *integrator* teh znanj in ekip, zato skupaj ponujamo neko storitev.

3. Kakšen je strokovni izraz za to vrsto letočih tehnologij?

Mi uporabljamo kar izraz UAV (angl. *Unmanned Aerial Vehicle*). Radijsko vodene naprave so v zadnjem letu naredile velik korak, predvsem v dveh smereh. Eno je, da so manj kompleksne, kot drugo pa so cenovno bolj dostopne. Ta naprava ima satelitsko navigacijo, to pomeni, da ji ti načrtuješ pot. Naprava je tako stabilna, da so tresljaji, ki so prisotni pri helikopterju, bistveno večji in bolj problematični v primerjavi z UAV-napravami. Tudi z vidika kvalitete fotografije in kvalitete zajemanja video posnetkov. Danes so lahko zajeti vrhunski in kvalitetni posnetki z UAV-napravami. Lahko se popolnoma približajo vodnikom ter pridejo tja, kamor s helikopterjem ni mogoče priti.

4. Kakšen je namen uporabe teh brezpilotnih letal?

Mi smo ocenili, da nastaja neki velik prostor na elektroenergetskem področju za uporabo teh UAV-naprav. Vprašali smo se, kaj lahko z uporabo UAV naprav naredimo na tem področju. Izhajali smo iz vizualnih pregledov, saj je potrebno visokonapetostne naprave ves čas pregledovati. Do sedaj so bili to klasični vizualni pregledi. Najpogostejša metoda za vizualne preglede je prosto vzpenjanje. Ugotovili smo, da je ta naprava za vizualne preglede idealna, in mi smo to tudi naredili. Ti video pregledi zajemajo visokokvalitetne resolucije foto in video posnetkov. Tako fotografije kot tudi HD (angl. *High-definition video*) posnetki so v visokih resolucijah. Tudi ko analiziraš neki posnetek, je tako kvaliteten, da lahko res vidiš majhne podrobnosti. Ugotovili smo, da lahko s takšnimi posnetki vidiš tisto, česar s prostim očesom ne moreš.

Eno so vizualni pregledi s fotografiranjem in video posnetki. Temu je naprava v osnovi namenjena. Ugotovili smo, da lahko s to napravo naredimo bistveno več. Mi razvijamo stvari v smeri 3D (angl. *Three-dimensional space*) kartiranja (angl. *mapping*). S to napravo lahko – kot nadomestilo LiDAR laserju – naredimo 3D-kartiranje s sistemom fotografiranja. Na tem področju največ delamo in razvijamo. Ocenili smo, da je to področje, ki bo zanimivo tudi za naprej. To pomeni, da s sistemom fotografiranja dobimo 3D-model, hkrati pa ga še referenciramo na samem prostoru, kar pomeni, da mi na nekem področju, kjer bi radi posneli neki 3D-objekt (daljnovod), postavimo tarče z GPS-sistemom, katerih namen je, da ko mi s fotografiranjem zajemamo posamezne detajle, hkrati zajemamo tudi te tarče, in te tarče so naše reference. S pomočjo teh referenc potem definiramo dimenzijsko tudi prostor. To pomeni, da smo tem objektom, ki smo jih poslikali, dodali tudi dimenzijo. Dodali smo tretjo komponento, točno dimenzijo v prostoru. Dobili smo prostorsko fotografijo, ki jo potem obdeluješ in natančno analiziraš objekte, komponente itd. Do sedaj je bila alternativa temu helikopter z LiDAR laserjem. Naš ekspertni sistem (angl. *software*) naj bi poleg teh fotografij omogočal tudi vnos teh LiDAR točk, ki pa so morda takšne, ki jih mi nismo uspeli z našo metodo doseči (zajeti).

Podatke smo zato združili in dobili idealne rezultate. To je tisto, za kar mi uporabljamo te radijsko vodene UAV-naprave.

Druga stvar, ki je izjemno zanimiva na elektroenergetskem področju, pa je menedžment vegetacije. S to tehnologijo potem spremljamo, kaj se dogaja z vegetacijo. Spremljamo odmike in prirastke vegetacije, temu sledimo in na osnovi teh aplikativnih rešitev lahko planiramo, kje se bodo poseki izvajali. V okviru tega pa smo izvedli tudi prvi pilotni projekt.

5. Kaj vse sestavlja celoten sistem za delovanje brezpilotnega letala?

To je radijsko vodena naprava. Naprava je zelo pametna. Ti si na zemlji in imaš PC-računalnik, kjer načrtuješ, kje in po kateri poti bo naprava letela.

6. Katere funkcije (naloge) opravlja to brezpilotno letalo?

V zadnjem času smo ocenili, da je izredno zanimivo področje vegetacijski menedžment. Kar se vegetacije tiče, se obdelujejo krajši odseki. Tehnologija je primerna za planiranje, pregledovanje in analiziranje. Eno je, da lahko vegetacijo planiraš, drugi vidik pa je kontrola izvajalca, ki je izvajal poseke. Za vse to imamo mi aplikacijo. Zajete fotografije je potrebno združiti in analizirati, da dobimo 3D-model.

V drugem delu nadzora pri elektroenergetskih podjetjih pa nas zanimajo tudi napake v smislu pregrevanja. Bistvo je, da ta zajem podatkov mi pretočimo v aplikacijo, ki je namenjena analizi. Vendar je naš razvoj šel bolj v smeri menedžmenta vegetacije.

7. Katere naprave (opremo) lahko namestimo na brezpilotno letalo?

Termovizijski pregled s termovizijsko kamero omogoča, da zaznamo očem nevidne napake na opremi, kot so mesta pregrevanja na daljnovodu, preobremenitve, slabi spoji in kontakti. Te napake lahko z učinkovitim termovizijskim pregledom preventivno preprečimo. S pomočjo LiDAR 3D-laserskega skenerja pridobimo izjemno natančne 3D-slike objektov v prostoru. Z UV-kamero je mogoče zaznati začetke napak na električnem omrežju. Tipični vzroki za značilni korona efekt so prebiti izolativni deli, iztrošen material, nepravilno nameščeni deli itd. Naprava ima vgrajeno tudi funkcijo (angl.) *Home*, da tudi če jo izgubiš iz dometa vidljivosti, sama pride nazaj na izhodišče.

8. Kako poteka sam proces uporabe tega brezpilotnega letala?

Ko pridemo na lokacijo, imamo pakete baterij. Z eno baterijo lahko okoli 30 minut zajemamo podatke. Običajna praksa je takšna, da imaš na neki način radijsko vodeno napravo v nekem dometu vizualnega polja. Tudi zakonodaja na tem področju, ki se sedaj sestavlja, bo bistveno bolj stroga. Trenutno je sicer še ni, vendar jo lahko kmalu pričakujemo. Ustanovila se je tudi organizacija, ki sodeluje pri formiranju zakonodaje na tem področju. Ta zakonodaja nas ne bo omejevala, bo pa postavila neke okvirje, kar je tudi smiselno. Dejstvo je, da ta tehnologija čedalje bolj globoko prodira. Danes imamo tudi že

takšne letalnike, ki delujejo na bistveno višjih višinah. Vendar so ti letalniki bolj primerni za geodetske podatke. Za podrobnosti, ki jih zajemamo mi, pa se je potrebno bolj približati.

9. Ali ima naprava v ozadju sistem, ki išče napake?

Ne. Naprava kot taka zajema podatke, potem pa podatke pošilja v sistem, kjer se shranjujejo. Te podatke, ki jih imamo mi za menedžment vegetacije oziroma za nadzor elektroenergetske infrastrukture, je vedno treba obdelati. Obdelujemo jih v za to namenjenih aplikativnih rešitvah. Na koncu za samo vegetacijo dobimo poročilo, ki je s strani naročnika zanimiva in zahtevana.

10. Kakšne prednosti ima uporaba brezpilotnih letal za pregledovanje in vzdrževanje daljnovodov?

Ena izmed prednosti uporabe te tehnologije so nižji stroški. Čas pregleda je krajši. Uporabniku nudi kvalitetne video posnetke z različnimi vizualnimi približevanji, hkrati nudi tudi slike z visoko ločljivostjo. V primerjavi s klasičnimi helikopterskimi pregledi se ta naprava lahko bistveno bolj približa samemu objektu. Za ljudi, ki izvajajo pregled, ne predstavlja nobene nevarnosti. Vpliv na okolje pa je manjši (hrup, veter itd.).

11. Kakšne pa so slabosti uporabe brezpilotnih letal?

Slabosti naprave sta domet in avtonomija. Domet v tem smislu, da je potrebno napravo upravljati na vidnem polju. To pomeni, da smo omejeni na kilometer, kilometer in pol delovnega obsega, potem se moramo seliti. Zato sam vidim kompatibilnost med helikopterskimi pregledi na svojem področju in pregledi z UAV-radijsko vodenimi napravami za svoj del. Ne vidim tega kot konkurenčni si metodi, ampak kot metodi, ki se lahko dopolnjujeta.

12. Menite, da bi ta alternativna oblika, namenjena pregledovanju in vzdrževanju sredstev, lahko znižala stroške vzdrževanja in izboljšala preventivno vzdrževanje?

Te podrobne analize nimam, ker ne poznam stroškov helikopterskega pregleda. Mi trenutno izvajamo pilotni projekt, analiza bo bolj točna šele po koncu. Ta stroškovni vidik je trenutno zato težko primerjati. Je pa res, da so bili, takrat ko smo šli v to fazo pilotnega projekta, posamezni segmenti cenejši v primerjavi z drugimi tehnologijami. Pri preventivnem vzdrževanju to pomeni, da bi oni to tehnologijo uporabljali pri rednih vzdrževalnih aktivnostih. Vendar je potrebno najprej kupca prepričati, da je tehnologija za njih uporabna (v tem primeru je bilo to podjetje ELES, d.o.o). Prav temu je bil ta pilotni projekt tudi namenjen. Idealen primer za njihovo uporabo vidim tudi v primeru havarij (žled).

13. Ima ta naprava možnost nadaljnjega razvoja?

Da, tukaj je izjemno velik potencial. Današnji način vojskovanja uporablja samo še UAV-naprave. Tukaj ni nobene izpostavljenosti ljudi. Dokler te naprave niso imele tako visoke stopnje zanesljivosti, to ni bilo mogoče.

14. Na katerih področjih bi bila uporaba brezpilotnih letal še lahko koristna?

Zadeva je izjemno zanimiva tudi za ostala področja, najbolj pa za elektroenergetsko infrastrukturo in plinovodno infrastrukturo. To sta področji, ki sta zanimivi za uporabo teh tehnologij. Vendar so tam nekoliko drugačne specifične lastnosti. Sta pa področji podobni. Tretje področje je geodetsko področje. Uporaba je primerna tudi za nadzor nad gradbišči in poplavami.

Datum intervjuja: 30. september 2015

Čas trajanja intervjuja: 45 minut

Intervjuvanec: g. Marko Urbanija