



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika

**UPRAVIČENOST UPORABE
AVTOMATSKEGA PONOVSKEGA VKLOPA
V DISTRIBUCIJSKEM OMREŽJU**

Mentor: mag. Drago Bokal
Lektorica: Alenka Fujs, univ. dipl. slov.

Kandidat: Jurij Žniderič

Ljubljana, maj 2018

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Drago Bokalu za pomoč in strokovna navodila pri izdelavi diplomskega dela.

Iskrena hvala ženi Lani in hčerki Kori Auri, sodelavcem, prijateljem in vsem ostalim, ki me podpirajo in verjamejo vame.

Zahvaljujem se tudi lektorici Alenki Fujs, univ. dipl. slov. za jezikovni pregled diplomskega dela.

IZJAVA

»Študent Jurij Žniderič izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Draga Bokala.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Kratki predstavitvi elektroenergetskega sistema (EES) Slovenije sledi razčlenitev problematike avtomatskega ponovnega vklopa (APV). Pri tem je osnovna naloga distribucijskih podjetij razdeljevanje električne energije odjemalcem (»prodaja na malo«). To nalogo izvajajo z uporabo srednjenapetostnih (SN) in nizkonapetostnih (NN) vodov, ki so lahko nadzemni ali kabelski (ti so pod ali nad zemljo – na drogovih). Največji vpliv na zanesljivost napajanja odjemalcev imajo prav gotovo nadzemni SN vodi, ki so izpostavljeni številnim atmosferskim in drugim vplivom.

Okvare v SN nadzemnem omrežju so prehodne narave, kar je tudi vzrok za uporabo avtomatskega ponovnega vklopa na tovrstnih izvodih. Za izdelavo analize stroškov in koristi vgradnje tovrstnih naprav so zbrani izhodiščni tehnični in stroškovni podatki. Ti so uporabljeni tako pri analizi stroškov in koristi (cost-benefit) kot tudi pri analizi občutljivosti izbranih rešitev na spremembe najvplivnejših dejavnikov. Izkaže se, da je uporaba tovrstne tehnološke rešitve stroškovno upravičena v pričakovanem območju sprememb upoštevanih dejavnikov, med katere pa prav gotovo sodijo tudi njihove dejanske vrednosti.

KLJUČNE BESEDE:

- avtomatski ponovni vklop (APV),
- statistika dogodkov,
- odklopnik,
- CBA-analiza (analiza stroškov in koristi),
- analiza občutljivosti.

ABSTRACT

A short presentation of the electricity system in Slovenia is followed by an in-depth analysis of problems in automatic circuit reclosers. For this reason, the primary function of distribution companies is to distribute electricity to their consumers ('retail sale'). This is performed through overhead (electricity poles) or underground medium- and low-voltage power lines. However, overhead medium-voltage power lines have a significant impact on the reliability of power supply as they are exposed to many weather and other conditions.

The disruptions in overhead medium-voltage power lines are temporary, in which case automatic circuit reclosers (ACRs) are used. Technical baseline and cost data were collected for carrying out a cost analysis as well as discussing a number of benefits of installing such devices. These data are also used in the cost-benefit analysis and sensitivity analysis of the chosen solutions regarding the changes of

the most important factors. The findings suggest that the use of this technological solution is cost-effective within the range of change in the relevant factors, which definitely include their actual values.

KEYWORDS

- automatic circuit recloser (ACR),
- event statistics,
- circuit-breaker,
- cost-benefit analysis,
- sensitivity analysis

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	2
1.3	Predstavitev okolja	2
1.4	Predpostavke in omejitve	2
1.5	Metode dela	2
2	SPLOŠNO O EES SLOVENIJE.....	3
2.1	Proizvodnja EE.....	3
2.2	Prenos električne energije	5
2.3	Slovenska distribucija.....	9
3	STATISTIKA DOGODKOV V EES SLOVENIJE	10
3.1	Statistika dogodkov v elektrogospodarskih družbah	11
3.2	Izrazoslovje na področju statistike dogodkov	14
3.3	Statistika dogodkov v družbi Elektro Ljubljana	16
4	AVTOMATSKI PONOJNI VKLOP	19
4.1	odklopniki v sn izvodih.....	20
4.2	Delovanje odklopnikov	22
4.3	Delovanje APV v SN nadzemnem omrežju.....	24
4.4	Okvare v nadzemnem SN distribucijskem omrežju.....	25
5	ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI UPORABE APV	26
5.1	Analiza stroškov vgradnje in delovanja APV	27
5.2	Analiza koristi vgradnje APV	28
5.2.1	Vpliv na zanesljivost napajanja odjemalcev	29
5.2.2	Vpliv na zmanjšanje stroškov zaradi prekinitev dobave	30
6	ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI UPORABE APV (COST-BENEFIT ANALYSIS)	31
6.1	Opredelitev stroškov investicije	32
6.2	Kazalniki upravičenosti investicije.....	33
7	ANALIZA OBČUTLJIVOSTI UPORABE AVTOMATSKEGA PONOJNEGA VKLOPA.....	35
7.1	Občutljivostna analiza za minimalni scenarij vrednotenja NEE	36
7.2	Kazalniki učinkovitosti investicije ob srednjem scenariju vrednotenja NEE.....	38
8	ZAKLJUČKI.....	40
8.1	Ocena učinkov	40
8.2	Pogoji za uvedbo.....	41
8.3	Možnosti nadaljnega razvoja	41
9	LITERATURA IN VIRI.....	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Struktura elektroenergetskega sistema Slovenije.....	3
Slika 2: Transformacija električne energije v slovenskem prenosnem sistemu (simboličen prikaz).....	6
Slika 3: Struktura prevzema električne energije iz prenosnega omrežja v letih	7
Slika 4: Konične obremenitve v letih od 2006 do 2016	7
Slika 5: Območja napajanja odjemalcev iz posameznih RTP prenosnega omrežja.....	8
Slika 6: Zemljepisna umestitev družbe Elektro Ljubljana in nekatere njene osnovne značilnosti	10
Slika 7: Lastnosti tehnoloških delov EES glede statistike dogodkov (simboličen prikaz).....	12
Slika 8: Medsebojna prepletenost dogodkov s skupnimi značilnostmi (simboličen prikaz).....	13
Slika 9: Shema delovanja enopolnega ponovnega vklopa (simboličen prikaz).....	15
Slika 10: Točka 2 statistike dogodkov v Elektro Ljubljana – izhodiščna tabela s podatki za leto 2015.....	17
Slika 11: Točka 3 statistike dogodkov v Elektro Ljubljana – tabela z delnimi podatki o dogodkih na izvodih za leto 2015.....	18
Slika 12: Pojavi ob nastanku obloka	22
Slika 13: Vklonno-izklopni cikel odklopnika.....	23
Slika 14: Odvisnost NSV in ISD od stroškov in koristi investicije za minimalni scenarij NEE.....	37
Slika 15: Odvisnost NSV in ISD od stroškov in koristi investicije za srednji scenarij NEE.....	39

KAZALO TABEL

Tabela 1: Oddaja električne energije v prenosno omrežje v letih 2015 in 2016	4
Tabela 2: Osnovni podatki o delovanju APV v Elektro Ljubljana v letih od 2010 do 2016.....	26
Tabela 3: Investicijska vrednost projekta APV	28
Tabela 4: Stroški investicije projekta APV (v EUR)	32
Tabela 5: Stroški vzdrževanja in zamenjave opreme na projektu APV	32
Tabela 6: Ključni kazalniki učinkovitosti investicije za minimalen in srednji scenarij vrednotenja NEE za projekt APV	35
Tabela 7: Občutljivost na stroške investicije – minimalni scenarij vrednotenja NEE	36
Tabela 8: Občutljivost na koristi investicije – minimalni scenarij vrednotenja NEE	37

Tabela 9: Občutljivost na stroške investicije – srednji scenarij vrednotenja NEE.. 38

Tabela 10: Občutljivost na koristi investicije – srednji scenarij vrednotenja NEE 39

KRATICE IN AKRONIMI

APV	Avtomatski ponovni vklop
ASAI	Kazalnik povprečne razpoložljivosti napajanja v sistemu
ASUI	Kazalnik povprečne nerazpoložljivosti napajanja v sistemu
CAIDI	Kazalnik povprečnega trajanja izpada napajanja odjemalca v sistemu
CBA	Analiza stroškov in koristi
CDF	Strošek izpada moči
DVS	Doba vračanja sredstev
EE	Električna energija
EES	Elektroenergetski sistem
ELES	Elektro-Slovenija, d.o.o., Ljubljana
ENS	Kazalnik nedobavljene električne energije
ISD	Interna (notranja) stopnja donosa
MAFI	Kazalnik trenutne (kratkotrajne) pogostosti izpada sistema
NEE	Nedobavljena električna energija
NN	Nizka napetost
NSV	Neto sedanja vrednost
RNSV	Relativna neto sedanja vrednost
RP	Razdelilna postaja
RTP	Razdelilna transformatorska postaja
SAIDI	Indeks povprečnega trajanja izpada sistema
SAIFI	Indeks povprečne frekvence izpada sistema
SN	Srednja napetost
SODO	Slovenski operater distribucijskega omrežja
TP	Transformatorska postaja
UCTE	Združenja za koordinacijo in prenos električne energije
VN	Visoka napetost
HAPV	Hitri avtomatski vklop
PAPV	Počasni avtomatski vklop

1 UVOD

Distribucijski elektroenergetski sistem razdeljuje električno energijo odjemalcem po sredjenapetostnem (SN) in nizkonapetostnem (NN) omrežju. Ta del sistema je posrednik med prenosom oz. proizvodnjo električne energije in odjemalci. SN izvodi so praviloma nadzemni vodi, ki se napajajo iz razdelilnih transformatorskih postaj (RTP). Vzdolž vsakega SN voda pa so vgrajene posamezne transformatorske postaje, ki s transformacijo s srednje na nizko napetost z nizkonapetostnimi vodi napajajo posamezne odjemalce. V SN nadzemnih vodih pa se tudi najpogosteje uporablja avtomatski ponovni vklop (APV).

V splošnem opisu elektroenergetskega sistema je podana razčlenitev posameznih tehnoloških delov, ki so proizvodnja, prenos in distribucija električne energije; zadnji člen v tej tehnološki verigi pa so seveda odjemalci. Za razumevanje problematike avtomatskega ponovnega vklopa, predvsem podatkov, potrebnih za obdelavo, je podrobneje opisana statistika dogodkov. To je proces zbiranja, shranjevanja in obdelave podatkov o dogodkih, ki je sestavni del vsakega elektrogospodarskega podjetja. Po posredovanju kolegov iz podjetja Elektro Ljubljana smo iz tega sistema pridobili podatke, pomembne za analize, opravljene v tem diplomskem delu. Nadalje je podrobneje pojasnjena problematika APV s poudarkom na vlogi in delovanju odklopnikov v SN delu omrežja. Podani so tudi osnovne značilnosti tega procesa ter statistični podatki o delovanju in učinkovitosti naprav APV. Pregled dogodkov v obravnavanem primeru temelji na večletnih podatkih iz statistike dogodkov. Ugotavljanje stroškov ter posameznih koristi, ki jih prinaša projekt APV, je rezultiralo v opredelitvi vseh najvplivnejših dejavnikov, potrebnih za nadaljnje analize. Analiza stroškov in koristi in še zlasti analiza občutljivosti sta s svojimi rezultati podali interval njihovih velikosti, za katere investicija v APV ni vprašljiva. Tako je s pričujočimi analizami dokončno potrjena uporaba APV kot tehnološko in ekonomsko upravičenega projekta.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Avtomatski ponovni vklop je tehnična rešitev zahtevnega problema pri napajanju odjemalcev, in to praviloma na SN nadzemnih vodih. Ti so izpostavljeni tako vremenskim vplivom (neurja, sneg, led, žled) kakor tudi atmosferskim praznitvam, ki pogosto povzročajo izpade napajanja odjemalcev. Rezultat številnih vplivov na nadzemne vode pa je nastanek električnega obloka, katerega ključna lastnost je ugasnitev ob doseženi kratkotrajni breznapetostni pavzi. To je tudi osnovna ideja uporabe APV, ko po nekajsekundni pavzi naprava samodejno vklopi okvarjeni vod SN, ki v 70 in več odstotkih primerov nemoteno obratuje naprej.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj diplomskega dela je analizirati delovanje avtomatskega ponovnega vklopa v distribucijskih SN nadzemnih vodih. Analiza je izvedena po tehnični in stroškovni plati tako, da so ovrednoteni učinki stroškov in koristi (cost-benefit analiza) za nadzemne SN izvode v podjetju Elektro Ljubljana.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Elektro Ljubljana je največje distribucijsko podjetje v Sloveniji, ki po obsegu naprav in ozemlja, ki ga napaja, predstavlja tretjino celotne distribucije v državi. Zaradi podatkov, ki so bili na voljo, smo se v delu omejili na podjetje Elektro Ljubljana, ki predstavlja kakovosten in zadosten vzorec za strokovno neoporečno izvedbo predvidenih analiz.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Poleg zbranih tehničnih in stroškovnih podatkov smo za potrebe analize po metodi stroškov in koristi uporabljali podatke o pogostosti izvajanja posameznih vzdrževalnih del. Te smo predpostavili glede na pogostost izvajanja posameznih stikalnih operacij na ravni celotnega obsega obravnavanih SN izvodov. V ta namen so uporabljeni tudi podatki iz statistike dogodkov, ki se spremlja v slovenskih distribucijskih podjetjih. Podatki so podani v točki 4.4 in v Tabeli 2.

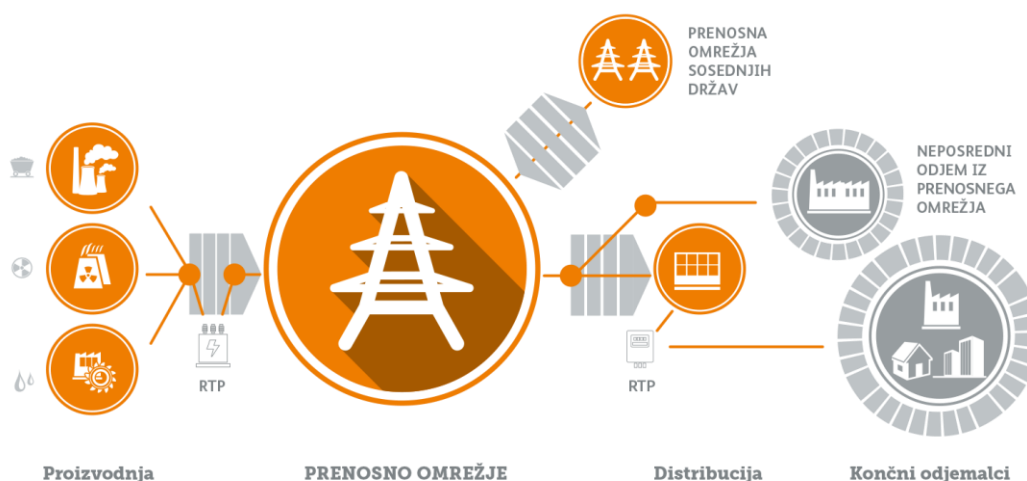
Poleg navedenega v analizi ni upoštevana velika časovna razpršenost investicije v APV, ki se vgrajuje v SN nadzemne vode (izvode) tekom razvoja SN omrežja. Model je sposoben zajeti stroške investicij v štirih letih gradnje in temu so prilagojeni tudi stroški obravnavane investicije. Ti so v obsegu 90 % upoštevani v prvem letu gradnje te investicije. Morebitne nadaljnje omejitve in predpostavke pa so podane sproti v besedilu.

1.5 METODE DELA

V diplomskem delu so povzeti podatki iz statistike dogodkov, ki je podana v Tabeli 2, obstoječe zakonodaje, standarda SIST EN:50160 in delovnega okolja. Za ključno analizo pa je uporabljena metoda analize stroškov in koristi, ki je eno temeljnih orodij pri utemeljevanju investicij v elektrogospodarskih družbah, njen potek pa je razčlenjen v petem poglavju pričujočega dela.

2 SPLOŠNO O EES SLOVENIJE

Električna energija je dobrina, brez katere življenje na visoki kakovostni ravni ni mogoče in s pomočjo katere človek zadovoljuje številne materialne pa tudi duhovne potrebe. Razvoj elektroenergetskih sistemov je bil pogojen z rastjo porabe električne energije, dobrine, ki je v današnjem času postala nenadomestljiva spremljevalka razvoja vsake družbe. Individualni viri ob posameznih industrijskih ali obrtnih delavnicah so z rastjo potreb prešli v večje proizvodne komplekse. Ti so napajali predvsem večja mesta, nadaljnji razvoj pa je pripeljal do velikih proizvodnih enot, ki so jih z odjemnimi centri povezovali prenosni vodi. Nadaljnji razvoj, povezan z večanjem porabe in velikosti proizvodnih enot, pa je pripeljal do medsebojnega povezovanja elektroenergetskih sistemov posameznih držav v evropsko interkonekcijo. Strukturo slovenskega EES prikazuje Slika 1, kjer je poudarjena vertikalna hierarhija delov sistema: proizvodnja, prenos, distribucija in odjemalci. Razvoj slovenskega elektrogospodarstva pa je podrobno popisano v strokovni literaturi, še zlasti o tem pišejo Fras in Valenčič (1976) ter Hrovatin in drugi (2007).



Slika 1: Struktura elektroenergetskega sistema Slovenije

(Vir: Eles, b. l. b)

Podrobnejši pregled posameznih delov sistema bo podan v nadaljevanju.

2.1 PROIZVODNJA EE

Oskrba z električno energijo je danes ena najpomembnejših storitev. Odjemalec električne energije pričakuje, da je ta na voljo takrat, ko jo potrebuje, in da naprave delujejo varno in zadovoljivo. V vsakdanjem življenju pomeni zanesljivost oskrbe napajanje s čim manj prekinitvami, če pa le-te obstajajo, naj bodo čim krajše. Varno

in zadovoljivo delovanje naprav je omogočeno takrat, ko se napravam dovaja kakovostna EE. Sama proizvodnja le-te se začne v generatorju v elektrarni, ki se potem transformira na napetost prenosnega nivoja (110 kV; 220 kV; 400 kV). V Sloveniji imamo naslednje večje proizvajalce EE (proizvodnjo in oddajo električne energije v prenosno omrežje kaže Tabela 1):

Hidroelektrarne:

- Dravske elektrarne Maribor (DEM),
- Savske elektrarne Ljubljana (SEL),
- Hidroelektrarne na spodnji Savi (HESS),
- Soške elektrarne Nova Gorica (SENG).

Termoelektrarne na premog:

- Termoelektrarna Šoštanj (TEŠ),
- Termoelektrarna toplarna Ljubljana (TE-TOL).

Plinska elektrarna:

- Termoelektrarna Brestanica (TEB).

	REALIZACIJA		REALIZACIJA 2016
	2015 GWh	2016 GWh	REAL. 15 %
1. SEL	268,7	342,3	+27,4
2. HESS	313,0	391,8	+25,2
3. SEL + HESS (SAVA) (1+2)	581,7	734,1	+26,2
4. DEM (DRAVA)	2.522,6	2.826,0	+12,0
5. SENG (SOČA)	604,2	733,1	+21,3
6. HE (3+4+5)	3.708,5	4.293,2	+15,8
7. NE KRŠKO (100 %)	5.361,5	5.423,1	+1,1
8. ŠOŠTANJ 3, PT ^(a)	624,1	428,5	-31,3
9. ŠOŠTANJ 4 ^(a)	365,9	-14,0	-103,8
10. ŠOŠTANJ 5 ^(a)	2.506,3	3.646,7	+45,5
11. TE ŠOŠTANJ SKUPAJ (8+9+10)	3.496,2	4.061,2	+16,2
12. TRBOVLJE 4	-2,9	-2,0	-29,2
13. TRBOVLJE plin	0,0	0,0	--
14. TE TRBOVLJE SKUPAJ (12+13)	-2,9	-2,0	-29,2
15. TE-TO LJUBLJANA	309,9	338,1	+9,1
16. TE BRESTANICA	5,8	3,3	-41,8
17. PROIZVODNJA OVE in SPTE	105,8	0,0	--
18. TE (11+14+15+16)	3.809,1	4.400,6	+15,5
19. TE + NEK (7+18)	9.170,6	9.823,7	+7,1
20. PROIZVAJALCI SLO oddaja v PO (6+17+19)	12.984,8	14.116,9	+8,7
21. PREVZEM IZ TUJINE ^(b)	9.044,9	8.358,7	-7,6
A. SKUPAJ ODDAJA V PO (20+21)	22.029,7	22.475,5	+2,0

Tabela 1: Oddaja električne energije v prenosno omrežje v letih 2015 in 2016
(Vir: Eles, 2017, str. 17)

Jedrsko elektrarna:

- Nuklearna elektrarna Krško (NEK).

Proizvodnja slovenskih sistemskih elektrarn je v grobem porazdeljena tretjinsko – po 1/3 na hidroelektrarne, termoelektrarne in jedrsko elektrarno.

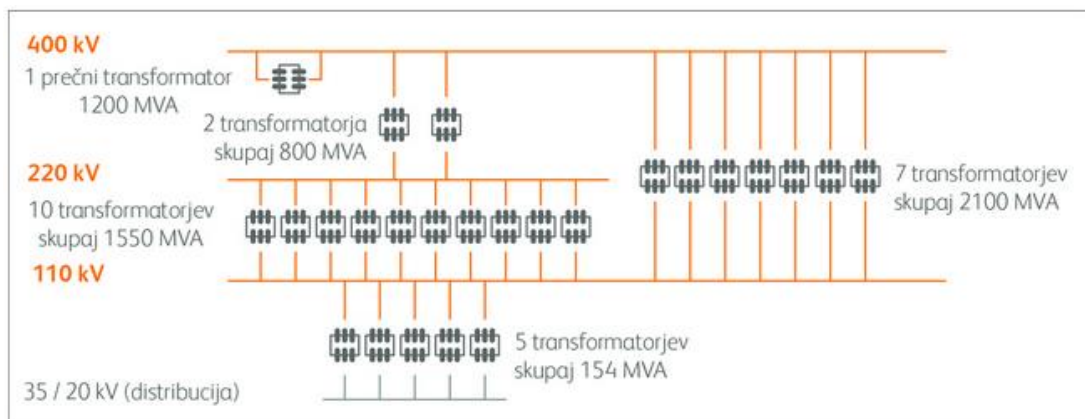
2.2 PRENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE

Za učinkovitejši prenos EE na daljše razdalje je treba napetost povišati na primeren nivo, kar dosežemo s transformacijo v razdelilni transformatorski postaji. Prenos EE do končnega porabnika omogoča električno omrežje, ki mora biti načrtovano in vzdrževano tako, da zadosti zahtevam porabnikov. Visokonapetostno prenosno omrežje sestavljajo objekti na treh napetostnih nivojih: 400, 220 in 110 kV. Namenjeno je prenosu kakovostne električne energije od velikih proizvajalcev do distribucijskih omrežij in neposrednih odjemalcev na visokonapetostnem nivoju. Prenosno električno omrežje je namenjeno tudi uvozu, izvozu in tranzitu EE med elektroenergetskimi sistemi sosednjih držav.

Elektroenergetski sistem je tehnični sistem, katerega osnovna naloga je proizvodnja, prenos in razdeljevanje kakovostne električne energije ob minimalnih stroških. Elektroenergetski sistem je celota elektroenergetskih objektov in naprav za oskrbo z električno energijo, ki je danes ena najpomembnejših dobrin. Ta sistem je najvplivnejši in največji od vseh tehničnih sistemov, slednje predvsem zaradi povezave med različnimi državami in kontinenti. Slovenija je povezana s tremi sosednjimi elektroenergetskimi sistemi z naslednjimi povezavami:

- z Avstrijo ga povezujeta dvosistemski 400-kV in en 220-kV daljnovod,
- z Italijo enosistemski in dvosistemski 400-kV in 220-kV daljnovod,
- s Hrvaško dva 400-kV, dva 220-kV in trije 110-kV daljnovodi.

Znotraj prenosnega sistema pa so uporabljene transformacije med napetostnimi nivoji, kot to simbolično kaže Slika 2:



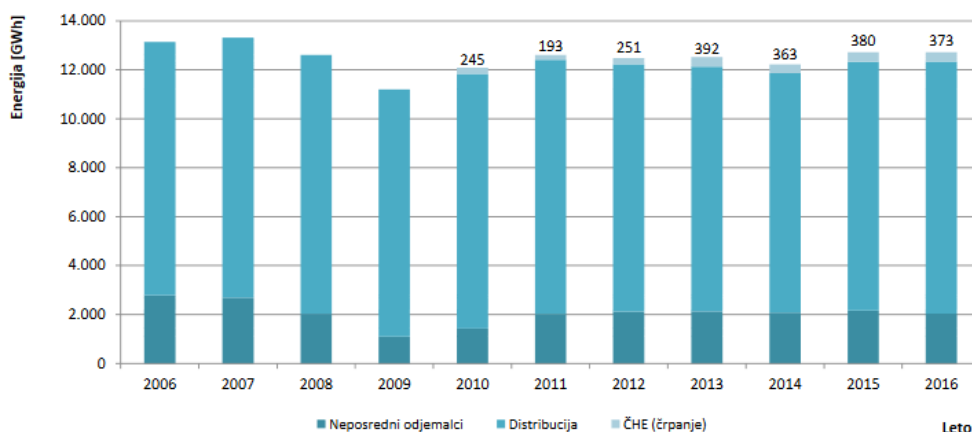
Transformacija

Slika 2: Transformacija električne energije v slovenskem prenosnem sistemu (simboličen prikaz)
(Vir: Eles, b. l. a)

Med Madžarsko in Slovenijo povezav še ni, načrtovana pa je 400-kV povezava na relaciji Cirkovce-Pince, vse skupaj v interkonekciji sistema UCTE. Ta sistem vključuje 24 evropskih držav, ki imajo skupno okoli 500 milijonov prebivalcev. Tako je obseg daljnovodov po napetostnih nivojih v slovenskem prenosnem omrežju naslednji:

- 110-kV daljnovodi 1.866 km,
- 220-kV daljnovodi 328 km,
- 400-kV daljnovodi 669 km.

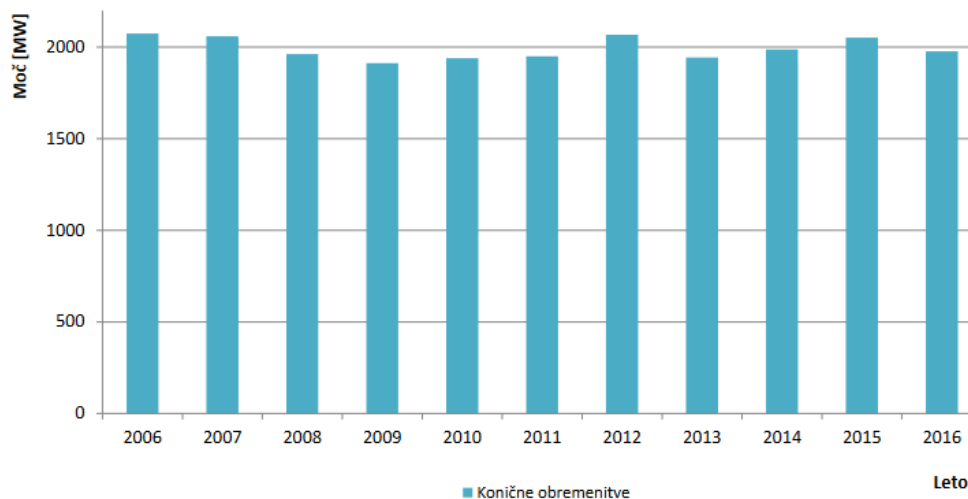
V vsakem elektroenergetskem sistemu sta ključna podatka velikost konične obremenitve in obseg prenesene električne energije. Slika 3 kaže strukturo prevzema električne energije iz slovenskega EES od leta 2006 do 2016. Ta se giblje od 11.000 do 13.500 GWh letno. Slika 4 pa kaže konične obremenitve v EES Slovenije v letih 2006 do 2016, ki se v opazovanem obdobju gibljejo okrog 2.000 MW. S spremljanjem teh dveh podatkov v preteklosti ter z upoštevanjem razvojnih načrtov tako v industriji kot tudi v distribucijskih podjetjih je mogoče napovedovanje porabe pa tudi konične moči v prihodnje. Ti dve vrednosti se napovedujeta za od deset do trideset let v prihodnost in predstavljata izhodišče za načrtovanje tako proizvodnih kot tudi prenosnih in razdeljevalnih zmogljivosti.



Slika 3: Struktura prevzema električne energije iz prenosnega omrežja v letih 2006–2016

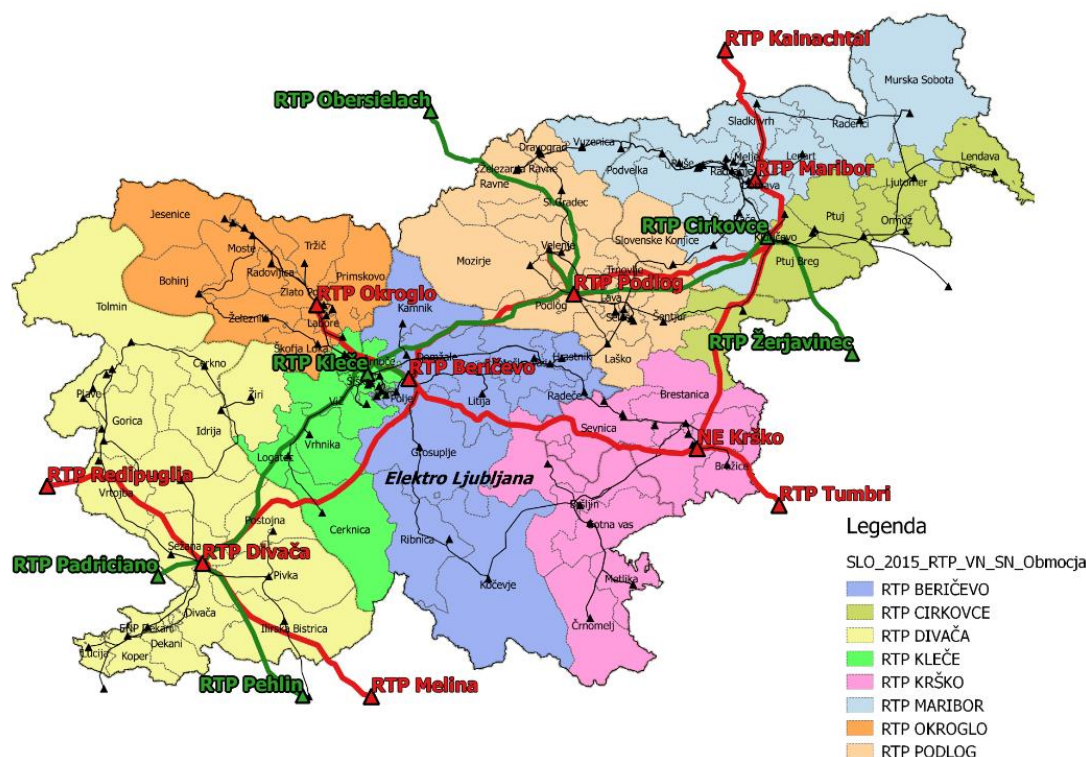
(Vir: Eles, 2017, str. 12)

Razvoj EES Slovenije sta v obdobju po drugi svetovni vojni pogojevali hitra industrializacija in elektrifikacija tako Slovenije kot tudi drugih republik nekdanje skupne države. Tako je bil prehod na 400-kV prenosno omrežje izveden v osemdesetih letih prejšnjega stoletja in je predstavljal velik prispevek k zanesljivi in varni oskrbi odjemalcev v tistih časih.



Slika 4: Konične obremenitve v letih od 2006 do 2016

(Vir: Eles, 2017, str. 14)



Slika 5: Območja napajanja odjemalcev iz posameznih RTP prenosnega omrežja
(Vir: Elektroinštitut Milan Vidmar, 2017, str. 36)

Slika 5 prikazuje področja, ki jih napajajo posamezne prenosne RTP v elektroenergetskem omrežju Slovenije. Navedena slika je rezultat raziskave strokovnjakov Elektroinštituta Milan Vidmar, ki so jo izdelali za potrebe sistemkega operaterja prenosnega omrežja, tj. družbo ELES. Na sliki je razvidnih osem področij, ki jih napajajo posamezne prenosne RTP, kot sledi:

- Beričevo,
- Cirkovce,
- Divača,
- Kleče,
- Krško,
- Maribor,
- Okroglo in
- Podlog.

Analiza napajalnih območij posameznih RTP je izdelana za normalno obratovalno stanje v letu 2015 in se v izjemnih okoliščinah delno spreminja. Te spremembe pa nimajo velikega vpliva in ne povzročajo večjih učinkov na osnovne dejavnike učinkovitosti obratovanja.

2.3 SLOVENSKA DISTRIBUCIJA

Slovenska distribucija je v skladu z obstoječo zakonodajo organizirana na distribucijskega operaterja električne energije v Sloveniji SODO, d. o. o. ter naslednja posamezna distribucijska podjetja:

- Elektro Gorenjska,
- Elektro Celje,
- Elektro Ljubljana,
- Elektro Maribor in
- Elektro Primorska.

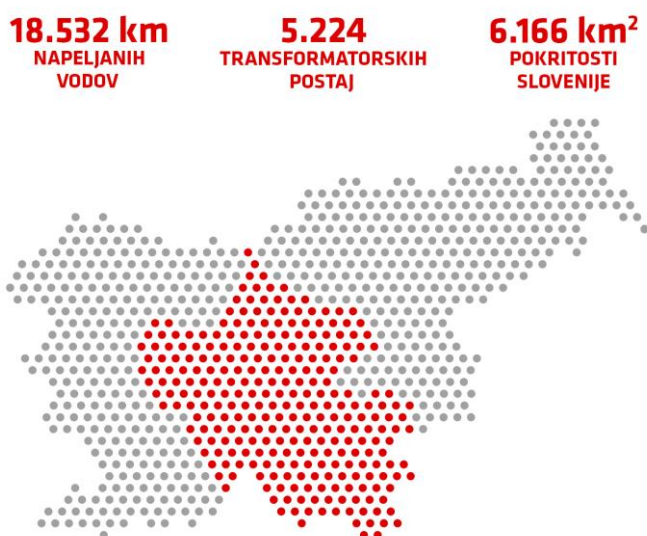
Tako je bil na dan 31. 12. 2016 obseg omrežja in naprav v slovenski distribuciji naslednji (Sistemski operater distribucijskega omrežja z električno energijo, b. l.):

- **objekti 110 kV in oprema:**
 - nadzemni vodi 889 km (98 %),
 - podzemni vodi 19 km (2 %),
 - 110-kV vodi skupaj 908 km,
 - RTP 110 kV/SN 90 enot,
 - transformatorji VN/SN 201 enota,
 - transformatorji VN/SN 5.836 MVA.
- **SN objekti in oprema:**
 - nadzemni vodi 11.634 km (68 %),
 - podzemni vodi 5.504 km (32 %),
 - SN vodi skupaj 17.138 km,
 - RTP SN/SN 9 enot,
 - RP 80 enot,
 - TP 15.461 enot,
 - transformatorji SN/SN 30 enot,
 - transformatorji SN/SN 185 MVA,
 - transformatorji SN/NN 16.375 enot,
 - transformatorji SN/NN 4.057 MVA.
- **NN objekti:**
 - nadzemni vodi 22.966 km (50 %),
 - podzemni vodi 23.355 km (50 %),
 - NN vodi skupaj 46.321 km.

Elektro Ljubljana, d. d. je največja med distribucijskimi družbami v Sloveniji. Napaja odjemalce na tretjini slovenskega ozemlja, najpomembnejši podatki pa so naslednji (Slika 6, glej tudi Sliko 5,):

- velikost območja 6.166 km²,
- število odjemalcev 330.000 odjemalcev,

- RTP 110/35 kV 3 enote,
- RTP 110/20/10 kV 24 enot,
- RTP 35/20/10 kV 1 enota,
- RP 35,20,10/35,20,10 kV 25 enot,
- TP SN/0,42 kV 5.397 enot.



Slika 6: Zemljepisna umestitev družbe Elektro Ljubljana in nekatere njene osnovne značilnosti

(Vir: Elektro Ljubljana, b. l.)

Razlika v podatkih o številu TP je nastala zaradi starih podatkov na sliki s spletne strani družbe. Avtomatski ponovni vklop je uporabljen le v nadzemnem prostozračnem omrežju (vodi, ki so klasične izvedbe z zrakom kot izolacijo; to niso polizolirani ali kablasti vodi) in v nadaljevanju bo poudarek ravno na podatkih o tovrstnih SN vodih.

3 STATISTIKA DOGODKOV V EES SLOVENIJE

Elektroenergetski sistem Slovenije je zelo kompleksen sistem, ki ga sestavljajo številne naprave. Te so skoncentrirane na enem mestu (proizvodnja – elektrarne, RTP in RP) ali pa razpršene, kot so daljnovodi različnih napetostnih nivojev. Njihova naloga je povezava centrov proizvodnje s centri porabe. Poleg tega so v novejšem času pridobili vlogo napajanja odjemalcev z lastno proizvodnjo v tistih časovnih obdobjih, ko obnovljivi vir ne deluje (sončne ali vetrne elektrarne). Številčnost naprav, njihova razpršenost in zlasti vplivi okolja (atmosferski vplivi) so vzrok za spremembo stanja naprav ali spremembo veličin, za katere so posamezne naprave dimenzionirane.

Naloga statistike dogodkov je zagotoviti zajem, prenos, shranjevanje in obdelavo podatkov o dogodkih v posameznih delih elektroenergetskega sistema. Analiza teh podatkov pa nadalje zagotavlja izvajanje dveh osnovnih nalog, ki sta:

- ugotavljanje zanesljivosti naprav ter uporaba teh podatkov pri nabavi, obratovanju in vzdrževanju le-teh,
- ugotavljanje zanesljivosti napajanja odjemalcev, kar je poglavitno merilo kakovosti električne energije.

Zaradi specifičnosti razmer v posameznih tehnoloških delih EES je koncept izvajanja statistike dogodkov nekoliko različen prav zaradi naslednjih dejavnikov:

- Za distribucijski del EES je značilna številčnost in razpršenost naprav, kar pomeni njihovo veliko izpostavljenost zunanjim (predvsem atmosferskim) vplivom; za ta del sistema je značilno veliko število dogodkov (predvsem nenačrtovanih) ter sorazmerno majhen vpliv na zanesljivost delovanja ter s tem povezane manjše stroške zaradi izpadov napajanja odjemalcev.
- Za prenosni del je značilna njegova robustnost, kar pomeni, da je zgrajen z zadostno redundanco po kriteriju $n-1$, tako da izpad kateregakoli elementa ne sme povzročiti prekinitve napajanja odjemalcev (oz. prenosa ali tranzita električne energije).
- Proizvodni objekti pa so ključnega pomena za zagotavljanje stalne dobave električne energije odjemalcem, kar še zlasti velja v času pospešenega uvajanja obnovljivih virov električne energije. Ker pa je v elektroenergetskem sistemu predpogoj stabilnega delovanja ravnovesje med proizvedeno in porabljeno močjo (energijo), je vprašljiva raba obnovljivih virov brez ustrezne rešitve shranjevanja električne energije v delih dneva, ko obnovljivi viri proizvajajo oz. še pomembneje ne proizvajajo električne energije. Za klasične proizvodne enote sta značilna visoka razpoložljivost (zanesljivost) ter vzdrževanje naprav na podlagi ugotavljanja stanja posameznih naprav, okvare pa naj bi na ta način omejili na najmanjši možni obseg. Izpadi proizvodnih enot so povezani z velikimi stroški, ki nastanejo zaradi nabave potrebne električne energije (nenapovedan odjem), predvsem pa zaradi izpada njene proizvodnje.

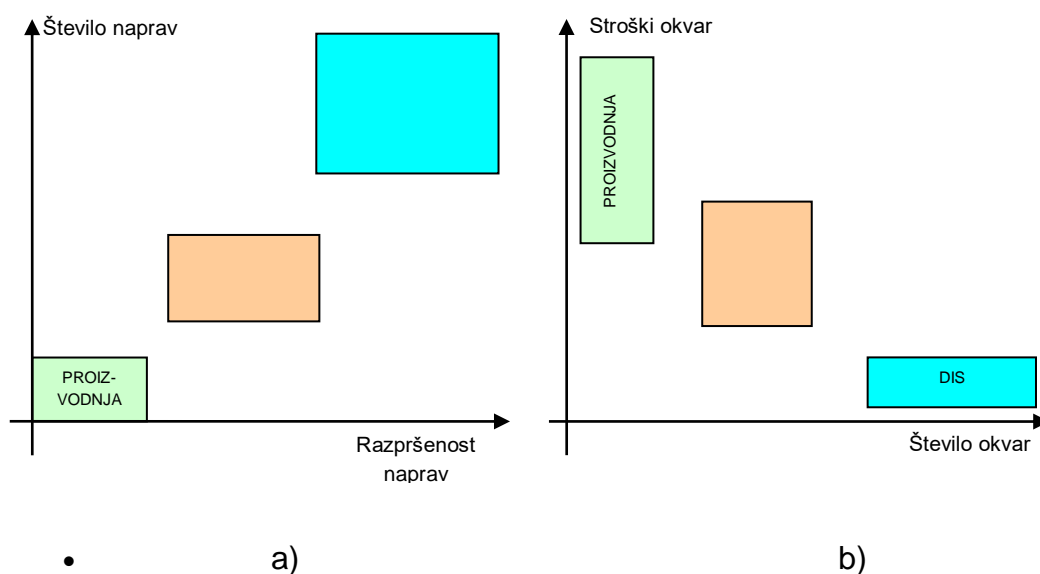
V nadaljevanju bo predstavljeno nekaj osnovnih značilnosti statistike dogodkov v posameznih tehnoloških delih elektrogospodarstva s poudarkom na družbi Elektro Ljubljana. S tem se v elektroenergetski sistem uvaja koncept verjetnostnega pristopa, ki ga je podrobno razčlenil Anders (2008).

3.1 STATISTIKA DOGODKOV V ELEKTROGOSPODARSKIH DRUŽBAH

Elektroenergetski sistem je eden najzahtevnejših tehnoloških dosežkov, kar jih je ustvaril človek. Obsežnost in pestrost postrojev, naprav in elementov zahteva različne pristope tako pri obratovanju in vzdrževanju kot tudi pri upravljanju s

sredstvi v posameznih družbah. Upravljanje s sredstvi je najnovejši poskus posodobitve in izboljšanja učinkovitosti poslovanja vseh elektrogospodarskih družb. S stališča statistike dogodkov se družbe v tehnološki verigi med sabo razlikujejo po naslednjih dejavnikih (Slika 7):

- obsegu naprav,
- vrsti naprav in njihovi tehnološki zahtevnosti,
- prostorski razmestitvi naprav.

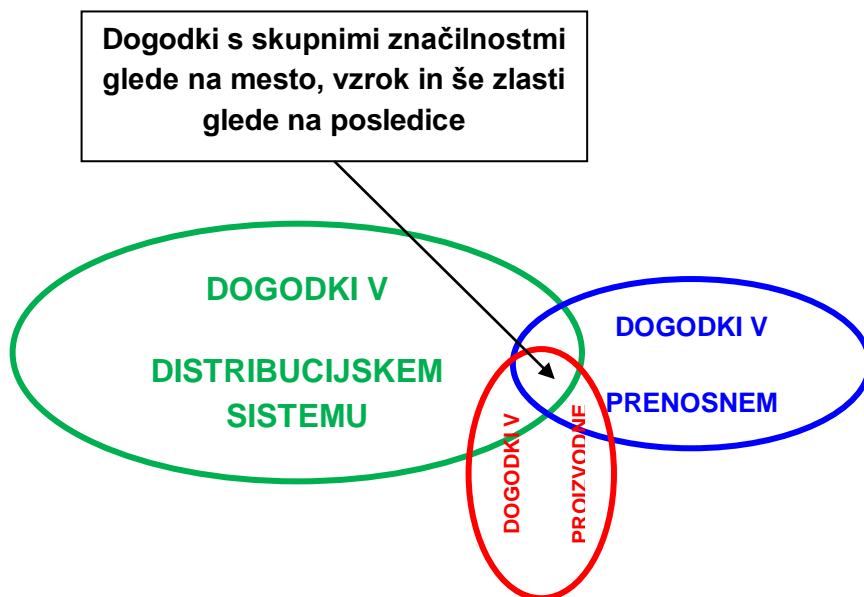


Slika 7: Lastnosti tehnoloških delov EES glede statistike dogodkov (simboličen prikaz)

(Vir: EIMV, 2008b, str. 11)

Navedene ugotovitve zahtevajo prilagoditev statistike dogodkov za posamezne družbe elektrogospodarstva, kjer izpostavljamo predvsem distribucijo in prenos ter še zlasti proizvodnjo. Slednja pa ima pester nabor naprav in načinov delovanja glede na primarni energijski vir (termoelektrarne, jedrske elektrarne, plinske elektrarne, hidroelektrarne in v novejšem času obnovljivi viri električne energije).

Iz literature je razvidno (EIMV, 1992, 1996), da je področje statistike dogodkov v vsaki elektrogospodarski družbi urejeno na svoj način. Poskusi vzpostavitve enotnega koncepta so le delno uspeli (Bokal et al., 1998; EIMV, 2007, 2008a, 2008b), saj razdrobljenost družb ter parcialni interesi onemogočajo vzpostavitev skupnega koncepta. Pomembno pa je, da so vsi trije tehnološki deli elektrogospodarstva usklajeni v tistem delu statistike, ki zajema podatke o dogodkih s skupnimi značilnostmi (Slika 8).



Slika 8: Medsebojna prepletenost dogodkov s skupnimi značilnostmi (simboličen prikaz)

(Vir: EIMV, 2008a, str. 35)

Na podlagi skupnih podatkov strokovnjaki družbe ELES izdelujejo poročila, ki med drugimi zajemajo naslednje podatke:

- tedensko poročilo med drugim vsebuje podatke o:
 - najpomembnejših obratovalnih dogodkih;
- mesečno poročilo med drugim vsebuje podatke o:
 - pomembnejših dogodkih v obratovanju:
 - izpadih,
 - izklopih,
 - proizvodnji – odstopanjih od predvidenih vozniških redov in o vzrokih za te spremembe stanja;

v letnem poročilu pa so zajeti le podatki družbe ELES, in sicer:

- letno poročilo:
 - izklopi in izpadi elementov prenosnega omrežja in
 - število izpadov daljnovodov na 100 km omrežja po napetostnih nivojih.

Namen diplomskega dela je analizirati delovanje avtomatskega ponovnega vklopa v družbi Elektro Ljubljana. Zato bodo v nadaljevanju najprej podane nekatere osnovne definicije s področja statistike dogodkov, temu pa sledi prikaz značilnosti statistike dogodkov v družbi Elektro Ljubljana.

3.2 IZRAZOSLOVJE NA PODROČJU STATISTIKE DOGODKOV

Za večjo razumljivost in jasnost predstavljenega gradiva v nadaljevanju podajamo nekatere osnovne definicije, ki so v rabi na področju statistike dogodkov. Navedeno izrazoslovje je podano v EIMV (2008a) in je v splošni rabi na tem področju.

Dogodek je sprememba obratovalnega stanja omrežja ali naprave, ki jo zazna npr. dispečer v centru vodenja bodisi s pomočjo javljanj ali na katerikoli drug način, ter vzpostavljanje prvotnega normalnega stanja.

Nenačrtovani dogodek je naključna sprememba obratovalnega stanja omrežja ali naprave zaradi okvare, ki ima za posledico motnjo ali prekinitev proizvodnje (enega ali več proizvodnih objektov) ali dobave električne energije. Po sanaciji okvare se z vklopom napajanja vzpostavi normalno delovanje.

Načrtovani dogodek je:

- Namenska sprememba konfiguracije omrežja pred vzdrževalnimi deli in po njih.
- Namenska sprememba konfiguracije omrežja zaradi varnega izvajanja del na sosednji napravi (varnostni izklop).
- Namenska sprememba stanja naprave zaradi izvajanja vzdrževalnih del na njej.

Izklop je poseg v delovanje naprave, s katerim se napravo postavi v stanje, ko ne opravlja funkcije, zaradi katere je vgrajena. Poseg se opravlja ročno, daljinsko ali samodejno.

Izpad je poseg v delovanje naprave, s katerim se ta samodejno postavi v stanje, ko ne opravlja funkcije, zaradi katere je vgrajena. Navedeno spremembo sproži delovanje zaščitnih naprav.

Vzrok dogodka so nezaželeni pojavi in okvare, nastale pri izdelavi, montaži ali v obratovanju, ki povzročijo nastanek dogodka.

Mesto dogodka je naprava, element ali del voda, na katerem je dogodek nastal. Z mestom dogodka so praviloma povezane tudi posledice dogodka.

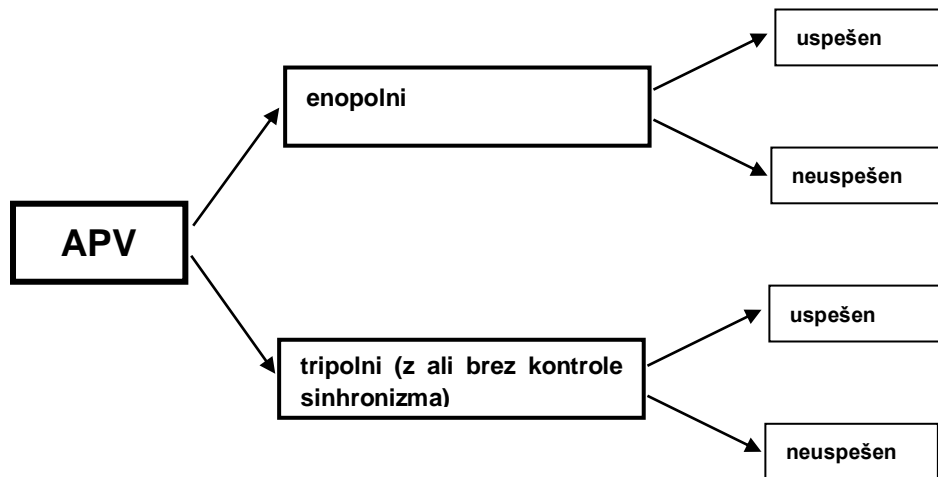
Atmosferski in elementarni so vsi **vzroki**, ki so povezani z delovanjem naravnih sil (atmosferske prenapetosti, udar strele, močan veter, vihar, dodatna obremenitev (sneg, led, žled), atmosferski toplotni vplivi, mraz, megla, rosa, kondenz, dež (vlaga), sol, umazanija, korozija, poplava, potres, plaz, požar, ostali atmosferski vzroki).

Posebni lastni vzroki so povezani z nepravilnim delovanjem zaščite, nenormalnimi obratovalnimi pogoji (preobremenitev, obratovalna prenapetost idr.) oz. s

pomanjkljivosti materiala (nepravilno delovanje zaščite, preobremenitev, obratovalna prenapetost, material (slaba izdelava, obraba), staranje, povratni vplivi, ostali posebni vzroki).

Avtomatski ponovni vklop – APV (HAPV in PAPV) (glej Sliko 9):

Naprava za samodejni hitri ali počasni ponovni vklop izpadlega voda (voda v okvari).



Slika 9: Shema delovanja enopolnega ponovnega vklopa (simboličen prikaz)
(Vir: EIMV, 2008a, str. 22)

Prizadevanja po vzpostavitvi enotnega koncepta statistike dogodkov v elektrogospodarskih podjetjih so ključnega pomena za kakovostno, primerljivo in transparentno zbiranje podatkov. Predpogoj tega pa so prizadevanja terminologov, ki morajo oblikovati izraze in njihove definicije na podlagi naslednjih načel (Žagar, 2011):

- definicija naj bo kratka in naj uvršča pojem v pojmovni sistem stroke;
- definicija naj bo napisana v knjižnem jeziku;
- definicijo je treba pridobiti (če obstaja) iz zanesljivih virov – navedba vira;
- obvezen je pregled definicije, ki ga opravi področni strokovnjak;
- nosilna beseda v definiciji in iztočnica naj bi vedno pripadali isti besedni vrsti;
- definicija naj bo prilagojena uporabniku, ne sme biti preveč splošna;
- ob uporabi večjega števila terminov v stroki za en pojem mora biti v definiciji vedno uporabljen prednostni termin idr.

Iz navedenih načel je razvidno, da je terminološko delo zahtevna naloga, ki predpostavlja sodelovanje številnih strokovnjakov, pripravljenih na timsko delo in kompromise pri sprejemanju odločitev.

3.3 STATISTIKA DOGODKOV V DRUŽBI ELEKTRO LJUBLJANA

Zbiranje podatkov o dogodkih je večdesetletna tradicija v družbi Elektro Ljubljana. Prvi poskusi informatizacije te dejavnosti segajo v začetek sedemdesetih let prejšnjega stoletja, ko so bila izdelana izhodišča za posodobitev tega področja (Vukovič, 1970). Preširoko zastavljen koncept ter omejene možnosti takratnih informacijskih orodij in programske opreme so bili vzrok zastoja pri izvedbi tega projekta. Tako so posamezna distribucijska podjetja izdelala samostojne koncepte, podloge in načine zbiranja in obdelave podatkov o statistiki dogodkov. Na podlagi pregleda (ELLJ, 2010–2016) ugotavljamo, da se z zbiranjem podatkov o dogodkih zasledujejo naslednji dejavniki (glej tudi Sliki 10 in 11):

- podatki o podjetju,
- pregled dogodkov v podjetju Elektro Ljubljana:
 - dogodki (število):
 - skupaj,
 - na delovni dan,
 - na nedelovni dan,
 - načrtovanih dogodkov,
 - nenačrtovanih dogodkov;
 - motnje (napajanja porabnikov);
 - mesto dogodka:
 - daljnovodi,
 - energetske transformatorji,
 - stikalna oprema,
 - druga oprema,
 - neznano;
 - vzrok dogodka:
 - atmosferski in elementarni,
 - tuji vzroki,

2. PREGLED DOGODKOV V ELEKTRO LJUBLJANA d.d.

	ELJ	KO	LM	LO	NM	TR		ELJ	KO	LM	LO	NM	TR
DOGODKI							Razmerje planski / neplanski dogodki	6.58	4.55	15.38	4.47	8.11	5.40
ŠT. VSEH DOGODKOV	4364	444	1145	1274	893	608	Št. vseh dogodkov na 1000 prebivalcev	5.74	11.04	3.98	4.75	8.98	9.39
ŠT. DOGODKOV NA DELAVNI DAN	4082	419	1032	1188	858	585							
ŠT. DOGODKOV NA NEDELAVNI DAN	282	25	113	86	35	23							
ŠT. PLANSKIH DOGODKOV	3788	364	1075	1041	795	513	Št. vseh dogodkov na km ² površine področja	0.71	0.34	6.37	0.48	0.64	0.94
ŠT. NEPLANSKIH DOGODKOV	576	80	70	233	98	95							
MOTNJE													
ŠT. VSEH MOTENJ	1010	139	50	427	186	208							
ŠT. MOTENJ NA DELAVNI DAN	822	100	46	344	144	188							
ŠT. MOTENJ NA NEDELAVNI DAN	188	39	4	83	42	20							
MESTO DOGODKA													
ODCEPNI LESENI DROG	18	0	0	6	12	0	Dolžina DV v km, na katero pride en dogodek na drogu	8.3	9.2	8.0	10.5	7.0	6.0
NOSILNI LESENI DROG	362	51	18	113	106	74							
KOTNI LESENI DROG	41	8	0	8	5	20							
RAZBREMENILNI LESENI DROG	7	3	1	2	1	0							
NOSILNI JEKLENI DROG	21	0	0	21	0	0							
KOTNI JEKLENI DROG	3	0	0	0	0	3							
RAZBREMENILNI JEKLENI DROG	0	0	0	0	0	0							
NOSILNI BETONSKI DROG	5	0	0	4	1	0							
KOTNI BETONSKI DROG	0	0	0	0	0	0							
RAZBREMENILNI BETONSKI DROG	0	0	0	0	0	0							
OŠTALI TIP DROGA	0	0	0	0	0	0							
DROGOVI SKUPAJ	457	62	19	154	125	97	Število defektnih drogov na 100 km DV	12.0	10.9	12.6	9.5	14.2	16.7

Slika 10: Točka 2 statistike dogodkov v Elektro Ljubljana – izhodiščna tabela s podatki za leto 2015

(Vir: ELLJ, 2016, str. 4)

3. PREGLED DOGODKOV PO IZVODIH V ELEKTRO LJUBLJANA

DE EL. KOČEVJE

štev. cel. v RTP	RTP / Izvod	Urna konica 2015 RTP/izvoda (MVA)	dolžina (v km)			število planskih dogodkov	število neplanskih dogodkov	število vseh dogodkov	število motenj
			DV	KB	skupaj				
RTP 110/20 KV Kočevje									
	DV 110 KV Ribnica					2	0	2	0
	DV 110 KV Hudo					4	0	4	1
1	TR 1 - 20 MVA	5.74				4	0	4	0
30	TR 2 - 20 MVA	9.01				4	0	4	0
2	Kompenzacija					1	0	1	0
3	Razvojna rezerva								
4	Lastna raba								
5	Ribnica RTP	1.51				7	5	12	5
6	Razvojna rezerva								
7	Razvojna rezerva								
8	Obratovalna rezerva								
9	St. cerkev	0.12				3	1	4	2
10	Breg	0.73				7	1	8	1
11	Podgorska	0.68				2	0	2	0
12	Lik	1.01				2	1	3	0
13	Elektro kočevje	0.03				2	0	2	0
14	Razvojna rezerva								
15	Kočevje-mesto	2.40				3	3	6	0
16	Mešalnica	2.13				2	0	2	0
17	Polljanska dol.	0.62				31	7	38	11
18	Rudnik	1.17				5	1	6	0
19	Kemična	1.87				2	0	2	0
20	Strelišče	1.33				8	0	8	0
21	Obratovalna rezerva								
22	Koč. Reka	1.34				12	6	18	23
23	Spolna celica								
24	Koprivnik	0.25				10	1	11	4
25	Razvojna rezerva								
26	Suha krajina	1.12				35	5	40	8
27	Razvojna rezerva								
28	Dobrepolje	1.16				6	2	8	4
29	Merlina celica								
	RTP Kočevje - ostalo								
Vsota RTP Kočevje						152	33	185	59

Slika 11: Točka 3 statistike dogodkov v Elektro Ljubljana – tabela z delnimi podatki o dogodkih na izvodih za leto 2015

(Vir: ELLJ, 2016, str. 10)

- lastni vzroki,
- posebni vzroki,
- drugi vzroki,
- neznani;
- delovanje zaščitnih naprav:
 - pretokovna zaščita,
 - zemeljskostična zaščita,

- APV:
 - hitri tripolni APV,
 - počasni tripolni APV,
 - neuspešni APV,
 - zatajitev APV;
- delovanje izklopnih aparatov:
 - VN odklopniki,
 - SN odklopniki,
 - SN ločilniki;
- pregled dogodkov po izvodih,
- letna statistika za vse dogodke v Elektro Ljubljana v opazovanem letu,
- mesečni pregled dogodkov v Elektro Ljubljana,
- kazalniki neprekinjenosti napajanja SAIFI in SAIDI,
- grafični prikaz karakterističnih kazalnikov.

Za podrobne analize učinkovitosti in uspešnosti uporabe avtomatskega ponovnega vklopa smo upoštevali podatke o delovanju te naprave iz statistike dogodkov v obdobju od leta 2010 do vključno leta 2016.

4 AVTOMATSKI PONOVI VKLOP

Današnja stopnja razvoja elektroenergetskih sistemov je nastala v sedemdesetih in osemdesetih letih prejšnjega stoletja, ko so se v evropskem prostoru medsebojno povezali številni elektroenergetski sistemi. Ti pa so se razvili iz lokalnih sistemov, ki so najprej delovali na ravni podjetij, samostojnih zgradb (na začetku dvajsetega stoletja), da bi z nadaljnjim razvojem prerasli v mestna in podeželska omrežja ter medsebojno povezovali večje število proizvodnih virov v elektroenergetski sistem. Pri tem je razvoj omrežij terjal uporabo kablovodov v mestih ter nadzemnih vodov na podeželju. Podobna struktura SN (srednjenapetostnega) omrežja je ohranjena tudi danes, čeprav so prisotna prizadevanja po čim obsežnejši rabi kablov, kar pa vse velja za SN nivo napajanja odjemalcev. Na tem napetostnem nivoju je še mogoče opravičiti povečanje stroškov, ki jih prinaša uporaba kablov (tri do pet ali večkratnik cene nadzemnega voda). Poleg visokih stroškov imajo nadzemni vodi še eno slabo lastnost – izpostavljeni so številnim vplivom, ki znižujejo zanesljivost napajanja odjemalcev. V današnjem času vzpostavitve strogih meril kakovosti napajanja s strani Javne agencije za energijo pa je navedena pomanjkljivost ključnega pomena za intenziven prehod na kabliranje SN omrežja. To v distribucijskih podjetjih tudi uresničujejo, kar še zlasti velja za podjetje Elektro Gorenjska, ki je s strateškim pristopom v preteklosti še najbližje zastavljenemu cilju – pokabliti celotno SN omrežje.

Izboljšanje zanesljivosti nadzemnih SN vodov pa omogoča dejstvo, da je velika večina okvar v tem omrežju (nad 70 %) prehodnega značaja. To pomeni, da po kratkotrajni prekinitvi tokokroga tok okvare ugasne tako, da s ponovnim vklopom izvoda le-ta v nadaljevanju normalno obratuje. Za uspešno in učinkovito uporabo avtomatskega ponovnega vklopa pa morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji:

- obravnavano omrežje mora biti nadzemno,
- uporabljati je treba kakovostne in za to predvidene odklopnike,
- nujna je ustrezna nastavitev releja avtomatskega ponovnega vklopa.

Uvajanje avtomatskega ponovnega vklopa zahteva analizo SN odklopnikov (glej Jurjevič, 1991; Nahman in Mijailović, 2002; Nahman in Mijailović, 2005; Pihler, 2003), analizo delovanja APV in analizo okvar v distribucijskem SN nadzemnem omrežju.

4.1 ODKLOPNIKI V SN IZVODIH

Za spreminjanje obratovalnega stanja posameznih naprav in vodov so predvideni odklopniki. Njihova naloga je, da prevajajo, prekinjajo in vklaplajo nazivne tokove ter da so sposobni izklapljeti in vklapljeti tudi kratkostične toke v delih omrežja, kjer so vgrajeni. Pri izbiri odklopnika so pomembni naslednji podatki (Pihler, 2003):

- nazivna napetost,
- nazivni izolacijski nivo,
- nazivna frekvenca,
- nazivni trajni tok,
- kratkotrajni zdržni tok,
- temenski zdržni tok,
- nazivna kratkostična izklopna zmogljivost,
- nazivna kratkostična prehodna povratna napetost,
- nazivna kratkostična vklopna zmogljivost,
- nazivno zaporedje operacij.

Glede na način ugašanja obloka, ki v komori odklopnika nastane ob njegovem izklopu, te naprave delimo na:

- malooljne,
- zračne,
- plinske in v novejšem času še
- vakuumske.

V zadnjem času so se najbolj uveljavili vakuumski odklopniki, saj imajo najboljše obratovalne in druge lastnosti (Pihler, 2003):

- dolga življenjska doba (okrog 30 let),

- enostavno vzdrževanje (na 10 let ali po 10.000 stikalnih manipulacijah ali po 50. izklopih toka kratkega stika),
- minimalno odgorevanje kontaktov,
- prekinitev toka ob njegovem prvem prehodu skozi nič,
- ni nevarnosti za eksplozijo,
- minimalne dimenzije in masa,
- okolju prijazna tehnologija.

Tako kot vsaka tehnična stvaritev pa imajo tudi pomanjkljivosti:

- velika hitrost gašenja električnega obloka lahko povzroči velike prehodne povratne napetosti in
- tehnološko zahtevna proizvodnja.

V nadaljevanju navajamo nekatere osnovne podatke vakuumskih SN odklopnikov proizvajalca TSN Maribor:

- | | |
|---|---------------|
| • nazivna napetost (najvišja napetost opreme) | 24 kV, |
| • nazivna zdržna izmenična napetost | 50 kV, |
| • nazivna zdržna udarna atmosferska napetost | 125 kV, |
| • zapiralni čas | 55 ± 10 % ms, |
| • odpiralni čas s pomožnim prožilnikom | 35 ± 10 % ms, |
| • odpiralni čas in s pomožnim prožilnikom in ojačenjem prožne sile | 55 ± 10 % ms, |
| • obločni čas | 6–14 ms, |
| • velikostni razred vakuumu v gasilni komori | 10–7 Pa, |
| • najkrajši prožilni impulz zapiralnega in odpiralnega prožilnika | 20 ms, |
| • najkrajši prožilni impulz odpiralnega prožilnika z ojačenjem sile | 50 ms, |
| • nazivni tok (tip .../24-...) | 1.250 A, |
| • nazivna vklopna zmogljivost | 40 ali 63 kA, |
| • nazivna izklopna zmogljivost | 16 ali 25 kA, |
| • enosmerna komponenta | 40 %, |
| • čas trajanja toka kratkega stika | 3 s, |
| • skupno število odklopnikov z zaščito v distribuciji (na dan 31. 12. 2016) | okrog 430, |
| • delež vakuumskih SN odklopnikov | 80 %. |

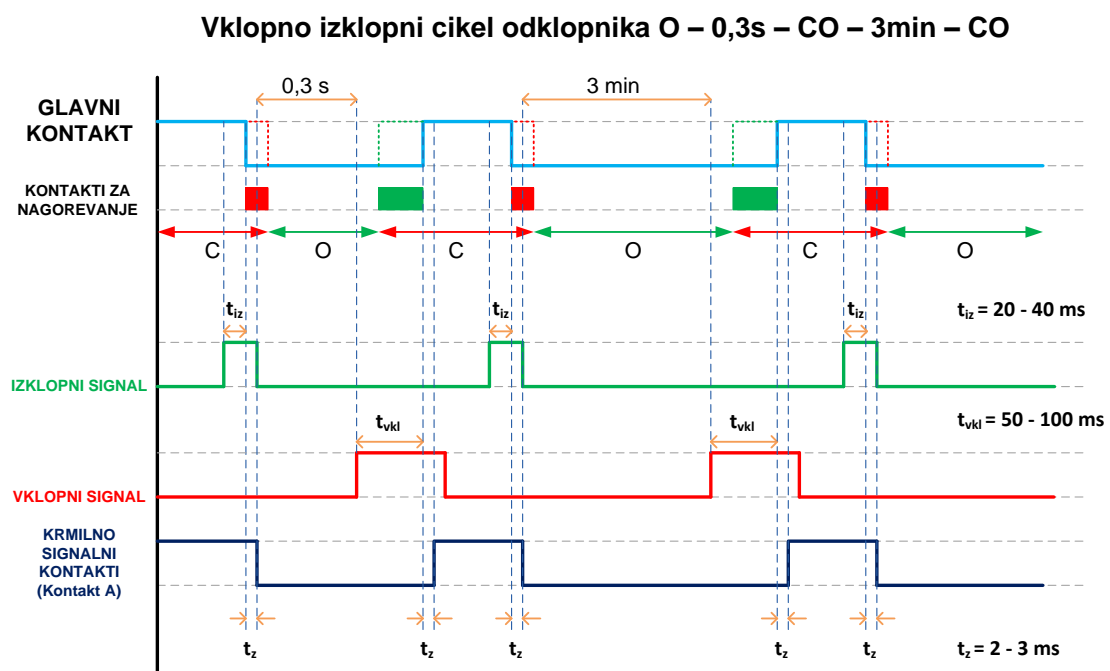
Ob upoštevanju vseh prednosti in slabosti v slovenski distribuciji prevladuje raba vakuumskih odklopnikov, ki so tako po tehničnih in ekoloških kot tudi po stroškovnih kriterijih najprimernejši.

Poleg ugasnitve obloka je pomembna tudi sposobnost izvajanja ciklov vklop-izklop-vklop, kar je s stališča APV najpomembnejša lastnost. Slika 13 kaže časovno zaporedje naslednjih dejavnikov:

- gibanja (sklenitve) glavnih kontaktov,
- delovanja kontaktov za nagorevanje,
- izklopnega signala,
- vklopnega signala,
- krmilno-signalnih kontaktov.

Pri delovanju odklopnika moramo upoštevati naslednje značilne čase:

- čas izklopa t_{iz} , ki je od 20 do 40 ms,
- čas vklopa t_{vkl} , ki je od 50 do 100 ms,
- časovna zakasnitev t_z , ki je od 2 do 3 ms,
- čas zakasnitve vklopnega signala, ki je 0,3 s,
- čas regeneracije vklopnega mehanizma, ki je 3 min.



Slika 13: Vklopno-izklopni cikel odklopnika
(Vir: EIMV, 2017, str. 34)

Cikel se začne pri vklopljenem odklopniku in v trenutku, ko relejna zaščita zazna okvaro. Ta sproži ukaz za delovanje oz. izklop odklopnika, ločevanje kontaktov pa traja od 20 do 40 ms. Po ločitvi glavnih kontaktov se na koncu ločijo še kontakti za nagorevanje, ki tako nase prevzamejo najtežji del izklopnega procesa. Po časovni zakasnitvi 0,3 s da rele APV signal za ponovni vklop, kar se izvede v času od 50 do 100 ms. Če je okvara v vmesnem času odpravljena, ostane odklopnik vklopljen, v nasprotnem primeru pa ga zaščita ponovno izklopi. V primeru izklopa je treba za

naslednje nadaljevanje procesa APV počakati 3 min, kar je čas, potreben za regeneracijo pogonskega mehanizma oz. vzmeti. Po njegovem preteku je odklopnik zmožen izvajanja nadaljnjih operacij.

4.3 DELOVANJE APV V SN NADZEMNEM OMREŽJU

Velika večina nenačrtovanih dogodkov oz. okvar je prehodne narave, ko v vodu nastane zemeljski stik z oblokom. Izkazalo se je, da se s kratkotrajnim izklopom voda doseže ugasnitev obloka in ob ponovnem vklopu vod normalno deluje. Z analizo je ugotovljeno, da se z izklopi, ki so trajali 15, 20 in 45 s, v prvem ciklu odpravi 70–90 % okvar, v drugem ciklu 3–5 % ter v tretjem ciklu 1,3 % okvar (Božuta, 1987). Z nadaljnjimi analizami so bile vzpostavljene današnje osnove sistema avtomatskega ponovnega vklopa (APV). Delitev tega sistema je izdelana glede na:

- hitrost delovanja,
- število faz, ki so zajete z APV,
- število zaporednih ciklov,
- dodatne pogoje delovanja APV,
- način aktiviranja naprave za APV.

Še posebej zanimivi so rezultati raziskav v laboratorijih in na terenu glede časa deionizacije obloka v odvisnosti od nazivne napetosti omrežja. Časi so naslednji:

- 23 kV 0,067 s,
- 46 kV 0,084 s,
- 69 kV 0,10 s,
- 115 kV 0,142 s,
- 138 kV 0,167 s,
- 230 kV 0,3 s.

Od tega so odvisne tudi nastavitve APV releja, ki so glede na trajanje breznapetostne pavze naslednje:

- zelo hiter APV z breznapetostno pavzo velikosti od 0,2 do 0,7 s,
- hiter APV z breznapetostno pavzo velikosti od 0,7 do 1,5 s,
- počasen APV z breznapetostno pavzo velikosti od 1,5 do 10 s,
- zelo počasen APV z daljšimi breznapetostnimi pavzami (tudi do nekaj minut).

V SN nadzemnih vodih podjetja Elektro Ljubljana so v uporabi APV z naslednjimi nastavljenimi časi:

- zelo hiter APV z breznapetostno pavzo velikosti 0,3 s,
- počasen APV z breznapetostno pavzo velikosti 30 s.

Glede na število faz, ki jih izklapljam in avtomatsko ponovno vklapljam, ločimo:

- tripolni APV,
- dvopolni APV,
- enopolni APV,
- enopolni in tripolni APV.

V praksi se praviloma uporablja tripolni ponovni vklop v SN omrežjih, enopolni avtomatski ponovi vklop pa za omrežja visokih napetosti. Uporablja se tudi kombinacija enopolnega in tripolnega ponovnega vklopa, dvopolni APV pa se ne uporablja. Pri tem pa se uporablja še naslednje število ciklov delovanja odklopnika:

- enkratni APV,
- dvakratni APV,
- večkratni APV.

Za nadaljnjo obravnavo problematike avtomatskega ponovnega vklopa so pomembne tudi okvare v SN nadzemnem omrežju, katerih vrsta in obseg bosta podana v nadaljevanju.

4.4 OKVARE V NADZEMNEM SN DISTRIBUCIJSKEM OMREŽJU

Distribucijsko omrežje je zelo razvejano ob tem, da se uporabljajo trije napetostni nivoji: 110 kV, SN (20 in 10 kV, izjemoma 35 kV) ter NN nivo (0,4 kV). Obseg vodov na posameznega odjemalca je določen v EIMV (1992) in je naslednji:

- 0,5 m 110-kV voda na odjemalca,
- 20 m SN voda na odjemalca in
- 50 m NN voda na odjemalca.

V slovenski distribuciji in tudi v podjetju Elektro Ljubljana prevladujejo SN nadzemni vodi, ki so izpostavljeni številnim vplivom:

- atmosferskim razelektritvam,
- vetru (neurja),
- snegu,
- ledu,
- žledu.

Prav tako so po navedbah podjetja Elektro Ljubljana za SN nivo značilni naslednji podatki:

- | | |
|--|-----------------------|
| • število SN nadzemnih izvodov | 536 izvodov, |
| • dolžina SN nadzemnih izvodov | 3.306 km, |
| • število odjemalcev, ki jih napajajo SN nadzemni izvodi | 336.417, |
| • povprečno število odjemalcev napajanih iz SN izvoda | 627,6 odj./izv., |
| • povprečna inštalirana moč izvoda | 4.317,4 [kVA]/ izvod, |

- povprečna letna dobavljena električna energija na izvod 3.200 [MWh/izvod in leto].

Iz statistike dogodkov zasledimo naslednje najpogostejše vrste okvar za SN nadzemne vode (za leta od 2010 do 2016) ter podatke o delovanju avtomatskega ponovnega vklopa.

Leto	Število nenačrtovanih dogodkov	Trajne okvare	HAPV	PAPV	3. ponovni vklop po 3 min.	Uspešen ponovni vklop po 20 min.
2010	1.242	250	1.114	24	24	2
2011	1.181	348	1.066	18	21	1
2012	1.532	354	1.042	14	16	0
2013	1.418	346	1.135	12	7	3
2014	1.575	428	1.318	22	13	2
2015	973	165	576	9	11	4
2016	1.032	134	949	7	9	0

Tabela 2: Osnovni podatki o delovanju APV v Elektro Ljubljana v letih od 2010 do 2016.

(Lasten vir)

Navedeni podatki bodo uporabljeni pri analizi stroškov in koristi delovanja APV.

5 ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI UPORABE APV

Uporaba avtomatskega ponovnega vklopa se je uveljavila v najzgodnejšem obdobju elektrifikacije, ko je bil ugotovljen prehodni značaj večine okvar na nadzemnih vodih. Izdelava analize stroškov in koristi zahteva upoštevanje vseh dejavnikov, ki vplivajo na uspešnost oz. učinkovitost načrtovane investicije. Podrobni razčlenitvi stroškov sledi opis koristi ter metoda oz. kazalniki, ki so izhodišče za vrednotenje obravnavane investicije.

Analiza stroškov in koristi je izdelana na podlagi priporočil JRC (2012), inštituta za energijo in transport. Ta sodeluje z evropskimi komisijami in drugimi telesi ter izdeluje kvantitativne in kvalitativne analize posameznih investicij. Za izvedbo analize stroškov in koristi so predvidene naslednje dejavnosti:

- opredelitev mejnih pogojev,
- opredelitev stroškov in koristi,
- občutljivostna analiza rezultatov, ki se izdelava s spreminjanjem najvplivnejših dejavnikov.

Vodilo za izbiro parametrov in ključnih dejavnikov investicije je v splošnih obrisih podano v navedenem dokumentu (JRC, 2012), kjer so zajete tudi povezave med vgrajenimi napravami in njihovimi funkcionalnostmi. Seveda so pri tem uporabljeni podatki specifični za distribucijski sistem Elektro Ljubljana.

5.1 ANALIZA STROŠKOV VGRADNJE IN DELOVANJA APV

Vsi klasični nadzemni SN izvodi iz RTP (RP) v distribuciji so opremljeni z odklopnikom in zaščitami, ki ga ščitijo pred poškodbami v primeru okvar. To pomeni, da so dodatni stroški vključeni le v naslednje dejavnike:

- stroški nakupa releja APV,
- stroški vgradnje releja APV,
- stroški vzdrževanja releja APV,
- povečani stroški vzdrževanja odklopnikov zaradi večjega števila delovanj.

Na podlagi dolgoletnih izkušenj in vodenja lastne evidence stroškov, doseženih na posameznih projektih in za posamezne naprave v podjetju Elektro Ljubljana, so opredeljeni naslednji stroški:

- SN odklopnik – nabavna cena je 16.000 EUR/kos,
- rele APV – nabavna cena je 5.000 EUR/kos,
- vgradnja in nastavitev releja APV 100 EUR/kos.

Nadalje moramo upoštevati še stroške obratovanja (vzdrževanja), ki pa so odvisni od števila delovanj posameznega odklopnika. Uveljavljene so naslednje ocene tovrstnih stroškov:

- SN odklopnik – vzdrževanje do 5 delovanj 50 EUR/kos in leto,
- SN odklopnik – vzdrževanje nad 5 delovanj 100 EUR/kos in leto,
- število tovrstnih izvodov 536 izvodov,
- povprečno število delovanj odklopnika 1 del./izvod in leto,
- število odklopnikov nad 5 delovanj (okrog 1/5 vseh) 110 kosov,
- življenjska doba (ŽD) tovrstnih naprav (odklopnikov in APV) 30 let.

Pri vrednotenju investicije je po veljavni zakonodaji treba upoštevati naslednje dejavnike (glej Tabelo 3):

- stroške opreme in storitev, kar v našem primeru izračunamo iz števila APV in njihove cene (rele APV = 5.000 EUR/kos, vgradnja in nastavitev = 100 EUR/kos),
- nepredvidene stroške v višini 5 % od vrednosti investicije in
- lastno delo v višini 3 % od vrednosti investicije.

Nepredvideni stroški	5	[%]		136.680
Lastno delo	3	[%]		82.008
Oprema	536	[kos]	5.100	2.733.600
Skupaj [EUR]				2.952.288

Tabela 3: Investicijska vrednost projekta APV

(Lasten vir)

Seveda so to le investicijski stroški, ki jim je treba dodati še stroške delovanja, t. j. obratovanja in vzdrževanja. Glede na do sedaj navedene podatke so stroški vzdrževanja naslednji:

- SN odklopnik – vzd. do 5 delovanj $50 \times 426 = 21.300$ EUR/leto,
- SN odklopnik – vzd. nad 5 delovanj $100 \times 110 = 11.000$ EUR/leto,
- vzdrževanje releja APV $536 \times 0,25 = 134$ EUR/leto.

Ob tem predpostavljamo potrebo po zamenjavi vsakega 100. odklopnika po 20 letih življenjske dobe, kar znese:

$$5,36 \text{ [odklopnikov v ŽD]} \times 16.000 \text{ [EUR/odklopnik]} \times 2/3 \text{ [pogostost v ŽD]} =$$

$$= 57.173 \text{ [EUR v ŽD]},$$

tako, da je letni strošek: **1.905 EUR/leto.**

Tako so skupni letni stroški vzdrževanja (obratovanja):

$$21.300 + 11.000 + 134 + 1.905 = 34.335 \text{ EUR/leto.}$$

S tem smo določili stroške projekta APV, ki jih bomo upoštevali v analizi CBA. V nadaljevanju bodo opredeljene še koristi tega projekta.

5.2 ANALIZA KORISTI VGRADNJE APV

Vrednotenje projektov v elektrogospodarskih družbah poteka v skladu z dolgoletno prakso, ki se dopolnjuje z zahtevami evropskih institucij. Te razpisujejo številne projekte s področja pametnih omrežij, za prijavo pa je treba izdelati kakovostno in ustrezno argumentirano dokumentacijo. Zato je bil tudi izdelan dokument JRC (2012), ki je vodilo za izdelavo tovrstne dokumentacije. Pri tem se predvidevajo naslednje koristi, ki jih posamezni projekti prinašajo investitorjem (v oklepaju je ocena vpliva tega projekta na obravnavano korist; poudarjen tekst pomeni, da je ta dejavnik upoštevan v naših analizah):

- zmanjšanje stroškov za sistemske storitve (ni vpliva),
- zmanjšanje stroškov zamašitve (ni vpliva),
- zamik investicij v nove prenosne zmogljivosti (ni vpliva),

- zmanjšanje števila okvar naprav (majhen),
- zmanjšanje stroškov za električne izgube (ni vpliva),
- zmanjšanje omrežnine (majhen),
- zmanjšanje trajnih izpadov daljnovodov (majhen),
- zmanjšanje večjih izpadov (majhen),
- zmanjšanje stroškov vzpostavitve sistema (ni vpliva),
- zmanjšanje povesov in mehanskih prenapetosti (ni vpliva),
- zmanjšanje razpadov velikih razsežnosti (ni vpliva),
- preprečitev žledenja (ni vpliva),
- povečanje NTC na točkah izmenjav s sosedi (ni vpliva),
- **zmanjšanje dolgotrajnih izpadov SN izvodov (velik),**
- **povečanje zanesljivosti napajanja odjemalcev (velik).**

Zadnji dve postavki sta dodani, ker je očitno večina koristi mišljena na prenosnem nivoju in bo navedeni dokument treba dopolniti tudi s koristmi na distribucijskem omrežju (sistemu). To pa predvsem zato, ker je večina projektov s področja pametnih omrežij tudi namenjena distribucijskemu omrežju.

5.2.1 Vpliv na zanesljivost napajanja odjemalcev

Zanesljivost napajanja odjemalcev je eden od kriterijev kakovosti napajanja odjemalcev, ki jo sestavljajo naslednji dejavniki:

- kakovost napetosti (deset dejavnikov),
- stalnost dobave (zanesljivost) in
- komercialna kakovost oz. kakovost storitev.

V distribucijskem delu elektroenergetskega sistema so se v novejšem času za vrednotenje zanesljivosti uveljavili naslednji kazalniki:

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) – kazalnik povprečne pogostosti izpada sistema [izpadov/odjemalca] – nanaša se na dolgotrajne izpade, daljše od treh minut;
- MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) – kazalnik trenutne (kratkotrajne) pogostosti izpada napajanja [izpadov trenutnih/odjemalca] – nanaša se na izpade do vključno treh minut;
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index) – kazalnik povprečnega trajanja izpada sistema [h/odjemalca] in predstavlja povprečni čas trajanja izpada napajanja odjemalca v sistemu;
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) – kazalnik povprečnega trajanja izpada odjemalca [h/odjemalca];
- ASAI (Average Service Availability Index) – kazalnik povprečne razpoložljivosti napajanja;

- ASUI (Average Service Unavailability Index) – kazalnik povprečne nerazpoložljivosti napajanja;
- ENS (Energy Not Supplied) – kazalnik nedobavljene električne energije.

S stališča kazalnikov zanesljivosti vgradnja releja APV preoblikuje dolgotrajne izpade napajanja odjemalcev v kratkotrajne, vpliv teh naprav na zanesljivost pa je naslednji:

- SAIDI z vgrajenim APV pada (\downarrow),
- SAIFI z vgrajenim APV pada (\downarrow) in
- kazalnik MAIFI z vgrajenim APV raste (\uparrow).

To pomeni, da z vgradnjo APV dolgotrajne prekinitve napajanja preoblikujemo v kratkotrajne, kar ima velik vpliv na povečanje zanesljivosti prav zaradi dejstva, da je v 70–80 % primerov že prvi ponovni vklop uspešen. Pri nadaljnjih izračunih bomo upoštevali naslednje podatke:

- trajanje izpada napajanja brez APV $t_{izp} = 2$ [h],
- povprečna pogostost uspešnih delovanj APV $n_{APV} = 1$ [delovanje/leto].

Navedena podatka bosta izhodišče za vrednotenje stroškov (škod) izpada napajanja odjemalcev. Ocene so postavljene dokaj konzervativno, ker po podatkih iz statistike dogodkov velja, da je dolgotrajno povprečje nekoliko nad 2 delovanji na leto.

5.2.2 Vpliv na zmanjšanje stroškov zaradi prekinitev dobave

Prekinitve napajanja odjemalcev v distribucijskem delu EES nastanejo zaradi dogodkov v tem delu sistema, ki imajo naslednje delitev:

- nenačrtovani dogodki (zaradi okvar v tem delu sistema) in
- načrtovani dogodki (zaradi izvajanja vzdrževalnih del).

V primeru uporabe APV gre predvsem za nenačrtovane dogodke, ki so posledica okvar posameznih elementov, nastalih zaradi različnih vzrokov. Pri tem nastanejo škode pri distribucijskem podjetju, katerega prodaja električne energije se zmanjša. Nadaljnja škoda pa nastaja pri odjemalcih, ki ne morejo uporabljati svojih električnih naprav. Za ocenjevanje škode obstaja nekaj metod, ki pa večinoma temeljijo na naslednjih postavkah:

- oceni pogostosti izpadov napajanja (SAIFI),
- oceni trajanja izpadov napajanja (SAIDI),
- oceni stroškov izpadle moči v odvisnosti od trajanja izpada (CDF – Consumer Damage Function),
- oceni velikosti nedobavljene električne energije (NEE),
- vrednosti električne energije ter
- razmerju med ceno nedobavljene električne energije in dejansko ceno električne energije (faktor k_{NEE} , ki je 5 ali več).

Ocena stroškov izpadle moči (CDF) je izdelana v številnih državah v odvisnosti od trajanja izpada (praviloma 3 minute, 20 minut ter 1, 2, 4, 8 in 24 ur) in po posameznih pomembnejših odjemnih skupinah (kmetijstvo, komerciala, industrija, veliki porabniki, javne stavbe in administracija ter gospodinjstva).

Za potrebe analize stroškov in koristi uporabljamo naslednje izhodiščne podatke, ki imajo najpomembnejši vpliv na učinkovitost investicije:

- povprečno število izpadov SN izvodov je 1 izpad/leto,
- povprečno trajanje izpada brez APV 2 uri/izpad,
- povprečna letna obremenitev SN izvoda je 1 MVA/izvod,
- število SN nadzemnih izvodov 536 izvodov,
- ocenjena nedobavljena EE = $1 * 2 * 1 * 536 = 1.072$ MWh,
- cena električne energije 50 EUR/MWh,
- ocenjeni faktor cene NEE kNEE = 4,
- ocenjena vrednost NEE 200 EUR/MWh.

Pri analizi stroškov in koristi bomo upoštevali zgoraj navedene izhodiščne podatke, z analizo občutljivosti pa bomo spremljali vpliv pomembnejših dejavnikov na učinkovitost projekta uvajanja avtomatskega ponovnega vklopa.

6 ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI UPORABE APV (COST-BENEFIT ANALYSIS)

V točkah 5.1 in 5.2 so zajeti vsi podatki, ki jih bomo uporabili v analizi stroškov in koristi projekta avtomatskega ponovnega vklopa (APV). Ta zajema naslednje dejavnike:

- izhodiščne podatke s sprejetimi predpostavkami,
- izračun posameznih kazalnikov, kot so:
 - NSV – neto sedanja vrednost,
 - ISD – interna (notranja) stopnja donosa,
 - DVS – doba vračanja sredstev,
 - RNSV – relativna neto sedanja vrednost;
- komentar rezultatov izračuna.

Številni skupni evropski projekti so privedli do izdelave navodil za izvajanje analize stroškov in koristi po enotni metodologiji, ki je predstavljena v JRC (2012). Za njeno kakovostno izvedbo moramo opraviti naslednje dejavnosti:

- opredeliti mejne pogoje (opredeljeno v točkah 5.1 in 5.2),
- opredeliti stroške in koristi (opredeljeno v točki 5.1 in 5.2),

- izdelati občutljivostno analizo rezultatov stroškov in koristi na podlagi spreminjanja ključnih parametrov investicije (predmet obdelave poglavja 6 pričujočega dela).

Zbrani so podatki o SN izvodih in njihovih lastnostih v podjetju Elektro Ljubljana, pri čemer so bili upoštevani podatki iz obdobja od 2010. do 2016. leta. Ostali podatki pa so povzeti iz navedene literature ali predpostavljeni na podlagi pridobljenih izkušenj na tem področju.

6.1 OPREDELITEV STROŠKOV INVESTICIJE

V 5. poglavju so podani stroški investicije, ki zajemajo stroške storitev in opreme, lastno delo in nepredvidene stroške (Tabela 4).

Nepredvideni stroški:	136.680
Lastno delo:	82.008
Storitve in oprema (Storitve + SW-HW):	2.733.600
SKUPAJ:	2.952.288
SKUPAJ Z DDV (22 %):	3.601.791

*Tabela 4: Stroški investicije projekta APV (v EUR)
(Lasten vir)*

Pri izdelavi analize stroškov in koristi moramo dodati še letne stroške obratovanja in vzdrževanja naprav sistema APV, ki so podani v dosedanjih izvajanjih in so naslednji (Tabela 5):

Vrsta stroška	Strošek [enota]
Zamenjava odklopnikov	1.905 [EUR/leto]
Vzdrževanje odklopnikov	32.300 [EUR/leto]
Vzdrževanje APV releja	134 [EUR/leto]

*Tabela 5: Stroški vzdrževanja in zamenjave opreme na projektu APV
(Lasten vir)*

Predvidevamo 30-letno življenjsko dobo odklopnikov in relejev APV. V izračunih so upoštevane stopnje amortizacije za posamezno opremo, kot sledi (z upoštevanjem računovodskih standardov):

- za dokumentacijo in strokovne storitve 20 %,
- gradbena dela, jeklene konstrukcije 2,5 %,
- VN oprema, elektromontažna dela 3,33 %,
- zaščitne naprave 5 %.

Med investicijo prištevamo naslednje skupine stroškov:

- stroški investicije,
- stroški zamenjave odklopnika ali zaščite,
- stroški vzdrževanja odklopnikov,
- stroški vzdrževanja releja APV.

V nadaljevanju bodo opredeljene še koristi investicije avtomatskega ponovnega vklopa v SN nadzemnih vodih.

6.2 KAZALNIKI UPRAVIČENOSTI INVESTICIJE

Pri analizah upravičenosti investicije so upoštevani naslednji kazalniki, ki se uporabljajo na tem področju (ELES, 2015):

NSV – je **neto sedanja vrednost** investicije, ki upošteva vse denarne tokove in časovno vrednost denarja, kaže pa absoluten donos investicije. Pri vseh izračunih je upoštevana diskontna stopnja 7,8 %. Pozitivna vrednost tega kazalnika usmerja odločevalce v sprejem investicije, negativna pa v njeno zavrnitev. Kazalnik se računa po naslednji enačbi:

$$NSV = \sum_{i=1}^T \frac{D_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=1}^T \frac{V_i}{(1+r)^i}$$

NSV	neto sedanja vrednost,
D_i	donos v i-tem obdobju,
V_i	vlaganja v i-tem obdobju,
r	diskontna stopnja,
$1/(1+r)$	diskontni faktor.

Slabost metode neto sedanje vrednosti je, da ne upošteva različne časovne razporejenosti donosov dveh projektov. Pri odločanju med različnimi investicijami je merilo izbora velikost neto sedanje vrednosti – večja, kot je ta vrednost, sprejemljivejša je investicija.

ISD – je **interna (notranja) stopnja** donosa in predstavlja diskontno stopnjo, pri kateri je neto sedanja vrednost enaka nič. Tudi ta metoda upošteva časovno vrednost denarja, kaže pa relativni donos investicije.

$$0 = \sum_{i=1}^T \frac{D_i}{(1+ISD)^i} - I_i$$

D_i je neto denarni tok v konkretnem letu i ,
 I_i je strošek investicije,
 ISD je interna (notranja) stopnja donosnosti.

DVS – je **doba vračanja sredstev** in napove čas, v katerem se bo investicija povrnila, pri čemer pa časovna vrednost denarja ni upoštevana. V našem primeru tega dejavnika zaradi velike časovne razpršenosti vgrajene opreme ne moremo izračunavati. Tako postavljenega dejavnika pa model za izračun ne more upoštevati.

RNVS – je **relativna neto sedanja vrednost** in kaže razmerje med neto srednjo vrednostjo in sedanjo vrednostjo investicijskih stroškov. Opredeli, koliko prinese 1 EUR investicije donosa nad diskontno stopnjo.

$$RNVS = \frac{NVS}{SVI}$$

$RNVS$ je relativna neto sedanja vrednost,
 NSV je neto sedanja vrednost,
 SVI je sedanja vrednost investicijskih stroškov.

Pozitivna vrednost tega kazalnika predpostavlja sprejem investicije, pri negativni vrednosti pa investicijo opustimo.

Za potrebe analize stroškov in koristi sta izdelana izračuna kazalnikov učinkovitosti obravnavane investicije po naslednjih dveh scenarijih (glej Tabela 6):

- minimalni scenarij, kjer je predpostavljena cena nedobavljene električne energije 150 [EUR/MWh], kar da faktor nedobavljene električne energije $k_{NEE} = 3$, in
- srednji scenarij, kjer je predpostavljena cena nedobavljene električne energije 200 [EUR/MWh], kar da faktor nedobavljene električne energije $k_{NEE} = 4$.

Analiza stroškov in koristi določi naslednje vrednosti posameznih dejavnikov za minimalni scenarij, ko je $C_{NEE} = 150$ EUR/MWh:

- neto sedanja vrednost je negativna in znaša -391.879 EUR,
- notranja stopnja donosa je 5,88 %,
- relativna neto sedanja vrednost pa je -14,336;

za srednji scenarij, ob ceni nedobavljene električne energije $C_{NEE} = 200$ EUR/MWh, so vrednosti posameznih kazalnikov naslednje:

- neto sedanja vrednost je pozitivna in znaša 99.038 EUR,
- notranja stopnja donosa je 8,10 %,
- relativna neto sedanja vrednost pa je 3,623.

Minimalni scenarij cene $C_{NEE} = 150 \text{ EUR/MWh}$	Ključni kazalniki investicije	Srednji scenarij cene $C_{NEE} = 200 \text{ EUR/MWh}$
-391.879	Neto sedanja vrednost – NSV	99.038
5,88	Notranja stopnja donosa	8,10
-14,336	Relativna neto sedanja vrednost	3,623

*Tabela 6: Ključni kazalniki učinkovitosti investicije za minimalen in srednji scenarij vrednotenja NEE za projekt APV
(Lasten vir)*

Na podlagi rezultatov analize ugotavljamo, da se obravnavana investicija po minimalnem scenariju cene nedobavljene električne energije ne izplača, po srednjem scenariju pa se njena izgradnja po vseh kazalnikih izplača, ker je neto sedanja vrednost pozitivna (NSV = 99.038 EUR), prav tako pa tudi notranja stopnja donosa (ISD = 8,10) ter relativna neto sedanja vrednost (RVNS = 3,623).

Z analizo občutljivosti tako na dejavnike, ki sodijo v stroške, kot tudi na dejavnike, ki sodijo v koristi, bomo lahko ugotovili vpliv spremembe vhodnih podatkov na rezultate analiz.

7 ANALIZA OBČUTLJIVOSTI UPORABE AVTOMATSKEGA PONOVNEGA VKLOPA

Vsak investitor sprejema odločitev o investiciji na podlagi številnih dejavnikov, ki so kvantitativne ali kvalitativne narave. Prve je mogoče ovrednotiti z ustreznimi merili in jih tudi izračunati na podlagi znanih metod in postopkov. Ugotavljanje vpliva sprememb posameznih dejavnikov pa nam olajša sprejetje odločitve o nadaljnji usodi investicije. Izdelana je obsežna analiza občutljivosti, ki temelji predvsem na dveh izhodiščih:

- minimalnem scenariju, ki upošteva ceno nedobavljene električne energije $C_{NEE} = 150 \text{ EUR/MWh}$ in
- srednjem scenariju, ki upošteva ceno nedobavljene električne energije $C_{NEE} = 200 \text{ EUR/MWh}$.

Poleg spremembe v ceni nedobavljene električne energije so za vsak scenarij spreminjani tako stroški kot tudi koristi v obsegu:

$$0,6 * X_{\text{parameter}} \leq \text{Spremenljivka, upoštevana v izračunu} \leq 1,4 * X_{\text{parameter}}$$

po korakih od 0,1 (10 %). Tako so zajete spremembe vseh dejavnikov, ki vplivajo bodisi na stroške (investicija, vzdrževanje, zamenjava) ali na koristi (pogostost izpadov, trajanje izpadov, velikost nedobavljene električne energije).

7.1 OBČUTLJIVOSTNA ANALIZA ZA MINIMALNI SCENARIJ VREDNOTENJA NEE

Analiza občutljivosti dopolnjuje osnovno analizo, ta pa pogosto temelji na podatkih, ki niso najbližje realnemu stanju. Zaradi tega se s spreminjanjem ključnih dejavnikov – stroškov in koristi investicije – ugotavlja odvisnost obravnavane investicije od letih. Tako ugotovimo pogoje, ki povzročijo prehod investicije v nerentabilno območje, s tem pa je omogočena presoja, s kakšno verjetnostjo navedeni pogoji lahko nastopijo oz. kakšno je tveganje. Ob upoštevanju minimalnega scenarija vrednosti nedobavljene električne energije $C_{NEE} = 150$ EUR/MWh so rezultati analize zbrano podani, kot sledi:

- vpliv spremembe stroškov investicije ob minimalnem scenariju kaže Tabela 7,
- vpliv spremembe koristi investicije ob minimalnem scenariju pa kaže Tabela 8

Iz tega lahko ugotovimo naslednja dejstva:

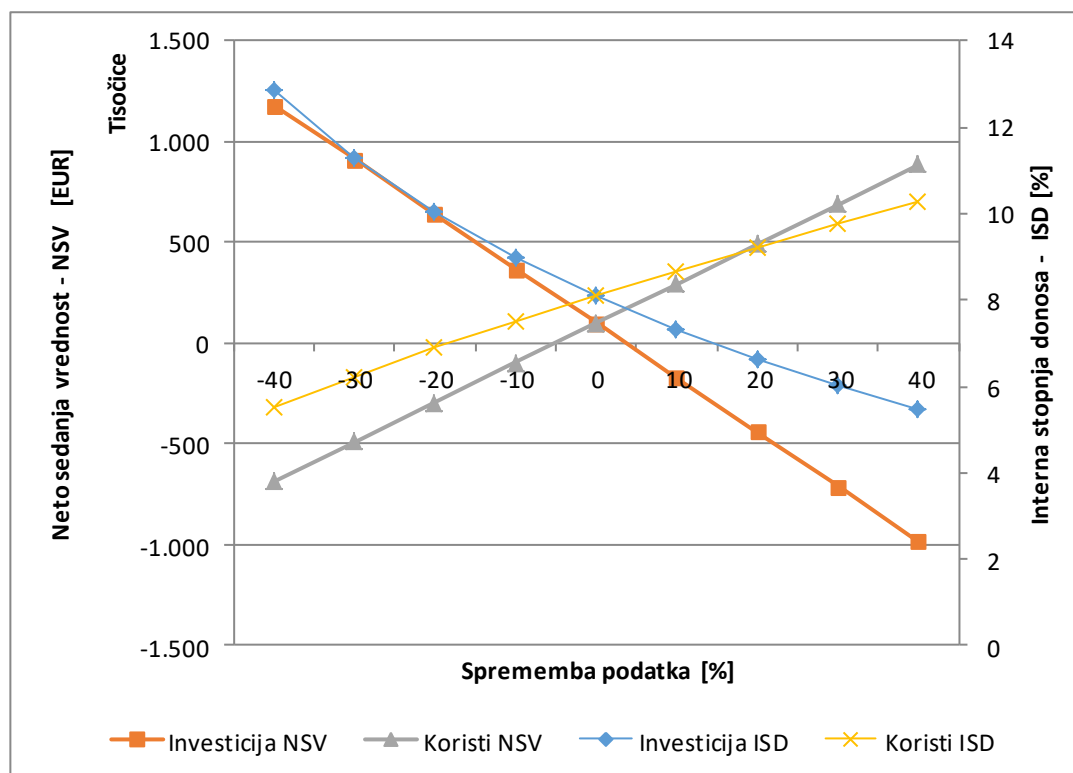
- Investicija je zelo odvisna od stroškov (Tabela 7), saj postane v celotnem področju od -10 % pa do +40 % spremembe tega dejavnika vrednost ključnih kazalnikov učinkovitosti investicije negativna (seveda se moramo pri tem zavedati vseh predpostavk, ki smo jih pri analizi upoštevali). Torej je investicija vprašljiva že pri normalni ceni, ker so že tedaj kazalniki učinkovitosti negativni – v pozitivne preidejo šele po znižanju cene za 20 %, kar pomeni vprašljivost investicije pod temi pogoji.

Sprememba podatka	Neto sedanja vrednost – NSV	Relativna NSV	Notranja stopnja donosnosti
[%]	[EUR]		[%]
-40	688.618	41,985	10,93
-30	418.494	21,870	9,51
-20	148.369	6,785	8,35
-10	-121.755	-4,949	7,38
0	-391.879	-14,336	6,56
10	-662.003	-22,016	5,84
20	-932.128	-28,416	5,20
30	-1.202.252	-33,831	4,64
40	-1.472.376	-38,473	4,13

Tabela 7: Občutljivost na stroške investicije – minimalni scenarij vrednotenja NEE
(Lasten vir)

Sprememba podatka	Neto sedanja vrednost – NSV	Relativna NSV	Notranja stopnja donosnosti
[%]	[EUR]		[%]
-40	-980.979	-35,886	4,42
-30	-833.704	-30,498	4,99
-20	-686.429	-25,111	5,53
-10	-539.154	-19,723	6,06
0	-391.879	-14,336	6,56
10	-244.604	-8,948	7,04
20	-97.329	-3,560	7,50
30	49.946	1,827	7,95
40	197.221	7,215	8,39

Tabela 8: Občutljivost na koristi investicije – minimalni scenarij vrednotenja NEE
(Lasten vir)



Slika 14: Odvisnost NSV in ISD od stroškov in koristi investicije za minimalni scenarij NEE
(Lasten vir)

- Koristi (Tabela 8) še pomembnejše vplivajo na kazalnike učinkovitosti investicije in ob spremembi tega dejavnika v območju od -40 do +20 % zavzemajo opazovani kazalniki negativne vrednosti. Šele s povečanjem koristi za 30 % preidejo kazalniki v pozitivno področje.

Iz Tabel 7 in 8 ter s Slike 14 lahko ugotovimo, da je pod izhodiščnimi oz. upoštevanimi pogoji v tem scenariju investicija nesprejemljiva. Vendar se moramo zavedati, da so vsi vplivni dejavniki ocenjeni zelo konzervativno in da je v tem scenariju še veliko rezerve. To velja za vse dejavnike od vrednosti nedobavljene električne energije do pogostosti in trajanja izpadov.

7.2 KAZALNIKI UČINKOVITOSTI INVESTICIJE OB SREDNJEM SCENARIJU VREDNOTENJA NEE

Pri srednjem scenariju je nedobavljena električna energija ovrednotena s ceno $C_{NEE} = 200$ EUR/MWh, rezultati obdelav pa so zbrani v Tabelah 9 in 10 ter na Sliki 15. Iz podanih rezultatov lahko ugotovimo naslednja dejstva:

- Investicija je odvisna od stroškov (Tabela 9), saj že 10-odstotno povečanje stroškov povzroči prehod kazalnikov na negativne vrednosti. Vendar je ta scenarij ugodnejši, saj v ostalem področju kazalniki zavzemajo pozitivne vrednosti in je s tem investicija upravičena (tudi tu se moramo zavedati vseh predpostavk, ki smo jih pri analizi upoštevali). Torej ob upoštevanju predpostavk in ugodnih pogojev za stroške in koristi po tem scenariju investicija ni vprašljiva.

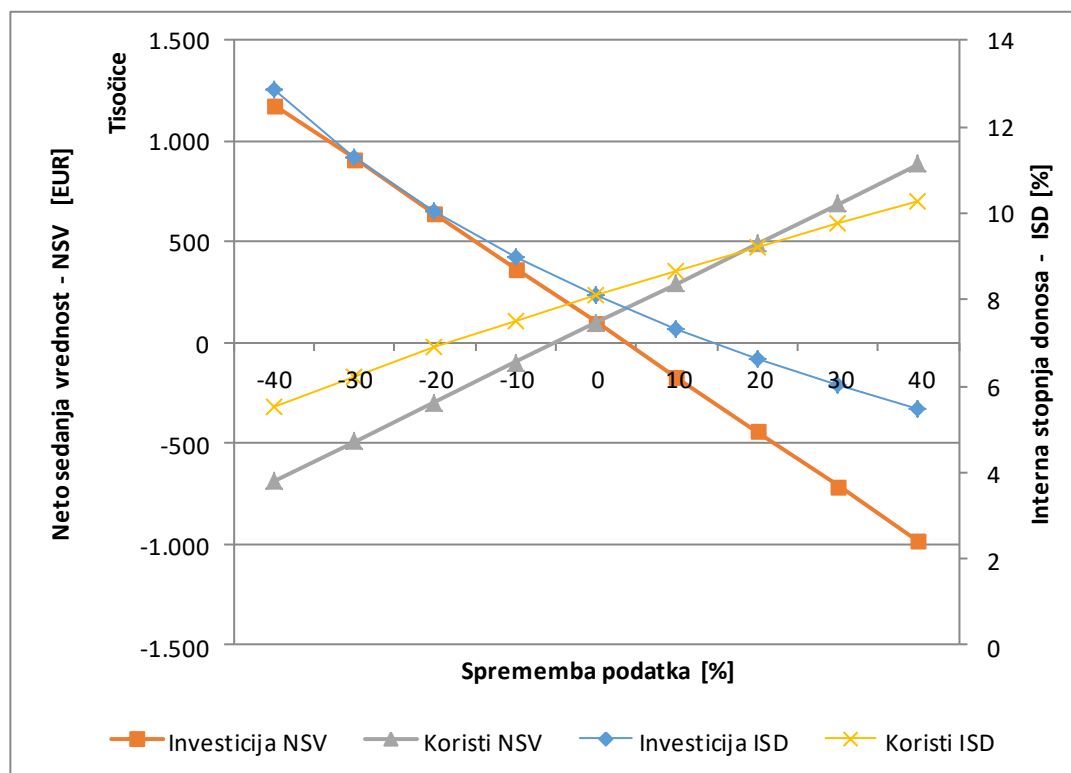
Sprememba podatka	Neto sedanja vrednost – NSV	Relativna NSV	Notranja stopnja donosnosti
[%]	[EUR]		[%]
-40	1.179.535	71,916	12,86
-30	909.410	47,526	11,31
-20	639.286	29,233	10,05
-10	369.162	15,005	8,99
0	99.038	3,623	8,1
10	-171.087	-5,69	7,32
20	-441.211	-13,45	6,64
30	-711.335	-20,017	6,03
40	-981.459	-25,645	5,48

Tabela 9: Občutljivost na stroške investicije – srednji scenarij vrednotenja NEE
(Lasten vir)

Sprememba podatka	Neto sedanja vrednost – NSV	Relativna NSV	Notranja stopnja donosnosti
[%]	[EUR]		[%]
-40	-686.429	-25,111	5,53
-30	-490.063	-17,927	6,22
-20	-293.696	-10,744	6,88
-10	-97.329	-3,560	7,5
0	99.038	3,623	8,1

10	295.404	10,806	8,67
20	491.771	17,990	9,22
30	688.138	25,173	9,75
40	884.504	32,357	10,27

Tabela 10: Občutljivost na koristi investicije – srednji scenarij vrednotenja NEE
(Lasten vir)



Slika 15: Odvisnost NSV in ISD od stroškov in koristi investicije za srednji scenarij NEE
(Lasten vir)

- Koristi (Tabela 10) pa kažejo, da njihovo 10-odstotno zmanjšanje pripelje do negativnih vrednosti kazalnikov učinkovitosti investicije. Zavedamo pa se, da so izhodiščne vrednosti dejavnikov opredeljene dokaj konzervativno (z veliko rezerve), kar pomeni, da tudi v tem primeru investicija ni vprašljiva.

Analiza stroškov in koristi ter analiza občutljivosti potrujeta sprejemljivost obravnavanega projekta ob izhodiščnih pogojih in drugih predpostavkah za izvajanje posameznih analiz.

8 ZAKLJUČKI

Uporaba avtomatskega ponovnega vklopa v distribucijskih nadzemnih vodih ima dolgo tradicijo. Cilj naloge je bil ugotoviti vrednosti posameznih vplivnih dejavnikov na učinkovitost tovrstne investicije glede na to, da v literaturi ni bilo mogoče zaslediti tovrstnih analiz. V analizi stroškov in koristi ter v analizi občutljivosti smo uporabili naslednje izhodiščne podatke o posameznih dejavnikih:

- povprečno število izpadov 1 izpad/leto,
- povprečno trajanje izpada brez APV 2 uri/izpad,
- povprečna letna obremenitev SN izvoda je 1 MVA/izvod,
- število SN nadzemnih izvodov 536 izvodov,
- število odklopnikov nad 5 delovanj 110 kos,
- stroški nabave releja APV 5.000 EUR/kos,
- vgradnja in nastavitev releja APV 100 EUR/kos,
- vzdrževanje relejev APV $536 \times 0,25 = 134$ EUR/leto in kos,
- stroški zamenjave odklopnikov 1.905 EUR/leto,
- vzdrževanje odklopnika do 5 delovanj 50 EUR/kos in leto,
- vzdrževanje odklopnika nad 5 delovanj 100 EUR/kos in leto,
- vzdrževanje vseh odklopnikov 32.300 EUR/leto,
- življenjska doba odklopnikov in relejev APV 30 let,
- ocenjena nedobavljena EE $= 1 * 2 * 1 * 536 = 1.072$ MWh,
- cena električne energije 50 EUR/MWh,
- vrednost nedobavljene EE – nižji scenarij 150 EUR/MWh,
- vrednost nedobavljene EE – srednji scenarij 200 EUR/MWh.

Kot rezultat analize stroškov in koristi oz. analize občutljivosti obravnavane investicije pa smo dobili naslednje vrednosti kazalnikov (srednji scenarij cene NEE):

- neto sedanja (NSV) 99.038 EUR,
- notranja stopnja donosa 8,10 %,
- relativna neto sedanja vrednost 3,623.

Vsi kazalniki so torej pozitivni in s tem je tudi potrjena ustreznost odločitve o izvedbi investicije oz. uporaba te tehnološke rešitve v praksi. Ugotavljamo, da so podatki, upoštevani v izračunih, vrednoteni zelo konzervativno, z veliko rezerve, tako da ocenjujemo njihove večje vrednosti v dejanskih obratovalnih pogojih. To potrjuje upravičenost rabe APV.

8.1 OCENA UČINKOV

Uporaba avtomatskega ponovnega vklopa zagotavlja naslednje učinke v distribucijskem sistemu in na njegovih nadzemnih vodih:

- dolgotrajne izpade v trajanju 2 h preoblikuje v kratkotrajne izpade, katerih trajanje je manj kot 3 minute,
- izboljša zanesljivost napajanja odjemalcev na SN nadzemnih vodih,
- zmanjša velikost nedobavljene električne energije za okrog 1.072 MWh/leto,
- zmanjša prevozne stroške,
- zmanjša posege monterjev na terenu,
- ugodno vpliva na zaposlene zaradi enostavne rešitve, ki deluje zanesljivo in brez večjih okvar ali motenj.

To so pglavitni učinki uporabe avtomatskega ponovnega vklopa v distribucijskih podjetjih.

8.2 POGOJI ZA UVEDBO

Avtomatski ponovni vklop je rešitev, ki se že uporablja tako doma kot tudi v svetu. Do sedaj pa ni bila narejena nobena analiza, ki bi kazala na upravičenost uporabe teh naprav. V diplomskem delu je izdelana analiza stroškov in koristi, ki je pokazala upravičenost uporabe te tehnološke rešitve, opredeljeni pa so tudi naslednji pogoji uporabe:

- srednji scenarij vrednotenja nedobavljene električne energije CNEE = 200 EUR/MWh,
- povprečno en izpad SN izvoda na leto, ki ga razrešujemo z APV (dolgotrajni izpad preoblikujemo v kratkotrajnega),
- upoštevano trajanje izpada 2 h,
- povprečna obremenitev SN izvoda je 1 MW,
- stopnja donosa je 7,8 % (določa jo Agencija za energijo),
- življenjska doba naprav je 30 let
- ter drugi manj vplivni pogoji.

Iz navedenega je jasno, da se zgoraj postavljeni pogoji zlahka dosežejo v realnih razmerah delovanja distribucijskega sistema, s tem pa je tudi sedanja uporaba tovrstne tehnološke rešitve upravičena.

8.3 MOŽNOSTI NADALJNJEGA RAZVOJA

V prihodnje se odpirajo številne možnosti nadgradnje te tehnološke rešitve, ki jo je treba vključiti v projekte pametnih omrežij in tako zagotoviti njen nadaljnji razvoj. Najzanimivejši projekti so vsekakor:

- možnost ugotavljanja lokacije okvare,
- opredelitev vrste okvare in
- v povezavi s sistemom SCADA omogočiti avtomatizacijo SN izvodov, ki za tovrstno rešitev izpolnjujejo tehnične in stroškovne pogoje.

Prav gotovo je avtomatski ponovni vklop tehnološko zelo primerna rešitev, katere uporaba zagotavlja večjo zanesljivost in manjšo škodo v delu sistema, kjer se uporablja.

9 LITERATURA IN VIRI

Anders, G. J. (2008). *Koncepti verjetnosti v elektroenergetskih sistemih*. Maribor: FERl.

Bokal, D. et al. (1998). Statistika dogodkov v distribucijskem elektroenergetskem sistemu, *Elektrotehniški vestnik*, 65(2-3), 8.

Božuta, F. (1987). *Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja*. Sarajevo: Svijetlost OOUR, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva.

EIMV. (1992). *Izdelava programskega opreme za določanje nedobavljene električne energije porabnikom v distribucijskih podjetjih*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

EIMV. (1996). *Statistika dogodkov v DEES, I. del*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

EIMV. (2007). *Izdelava koncepta statistike obratovalnih dogodkov v prenosnem delu EES Slovenije*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

EIMV. (2008a). *Izdelava enotnega koncepta statistike obratovalnih dogodkov v DEES*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

EIMV. (2008b). *Izdelava koncepta statistike dogodkov v skupini HSE*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

EIMV. (2017). *Uvedba sistemov sprotnega nadzora tehničnega stanja odklopnikov za potrebe AHI*. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

Elektro Ljubljana. (b. l.). *Največje distribucijsko omrežje on najvišji kakovosti storitev*. Pridobljeno 3. 2. 2018 z naslova <https://www.elektro-ljubljana.si/omrezje>.

Elektroinštitut Milan Vidmar. (2017). *Priprava GIS podatkov o območjih napajanja iz prenosnih in distribucijskih RTP v Sloveniji*. Pridobljeno 3. 2. 2018 z naslova https://www.eles.si/Portals/0/Studije/Priprava_GIS_Podatkov_RTP_ELES.pdf.

ELES. (2015). *Dokument identifikacije investicijskega projekta: RTP 400/110 kV TR 42 in zaščite zbiralk 110 kV, študija št. 03/2015*. Ljubljana: ELES.

Eles. (2017). *Letno poročilo o obratovanju prenosnega omrežja za leto 2016*. Pridobljeno 3. 2. 2018 z naslova <https://www.eles.si/Portals/0/Documents/porocila/letna-porocila/Porocilo%20o%20obratovanju%202016.pdf>.

Eles. (b. I.a). *Daljnovodi*. Pridobljeno 3. 2. 2018 z naslova <https://www.eles.si/elementi-prenosnega-omrezja>.

Eles. (b. I.b). *Elektroenergetski sistem*. Pridobljeno 3. 2. 2018 z naslova <https://www.eles.si/elektroenergetski-sistem#Fullscreen/0/>.

ELLJ. (2005–2016). *Letna statistika dogodkov za leta 1991 do 2014*. Ljubljana: Elektro Ljubljana.

ELLJ. (2016). *Letna statistika dogodkov za leto 2015*. Ljubljana: Elektro Ljubljana.

Fras, S. in Valenčič, B. (ur.). (1976). *Razvoj elektrifikacije Slovenije: do leta 1945*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Hrovatin, J. et al. (2007). *Zgodovina slovenskega elektrogospodarstva*. Ljubljana: Elektrotehniška zveza Slovenije.

JRC. (2012). *Guidelines for conducting a cost-benefit analysis of smart grid projects, Report EUR 25246 EN*. Luxembourg: European Commission.

Jurjević, V. (ur.). (1991). *Tehnički priručnik*. Zagreb: Končar.

Nahman, J. in Mijailović, N. (2002). *Odabrana poglavja iz visokonaponskih postrojenja*. Beograd: Elektrotehnički fakultet.

Nahman, J. in Mijailović, V. (2005). *Razvodna postrojenja*. Beograd: Elektrotehnički fakultet.

Pihler, J. (2003). *Stikalne naprave elektroenergetskega sistema*. Maribor: FERl.

Sistemske operater distribucijskega omrežja z električno energijo. (b. I.). *O omrežju*. Pridobljeno 3. 2. 2018 z naslova <https://www.sodo.si/o-omrezju>.

Vukovič, B. (1970). Predlog za sistem označevanja stavkov tehničnih podatkov za skladiščenje v računalniku ter za vsebino evidence dogodkov na električnem omrežju. V: *III. posvetovanje o tehničnih problemih distribucije Slovenije* (str. 28). Nova Gorica: DES, Združeno podjetje za distribucijo električne energije Slovenije.

Žagar, K. M. (2011). *Terminologija med slovarjem in besedilom, analiza elektrotehniške terminologije*. Ljubljana: Založba ZRC, ZRC SAZU.