



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

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

**IZBOLJŠANJE OPERATIVNE UČINKOVITOSTI Z
DELOM POD NAPETOSTJO NA
NIZKONAPETOSTNEM OMREŽJU**

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič
Lektorica: Špela Štrlekar, univ. dipl. slov.

Kandidat: Jure Lampret

Grosuplje, oktober 2024

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču za odzivnost in strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Špeli Štrlekar, ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Jure Lampret izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča.

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

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava delo pod napetostjo (DPN) na nizkonapetostnih omrežjih, kar predstavlja ključno metodo vzdrževanja elektroenergetskih sistemov brez prekinitve oskrbe. Najprej sem predstavil teoretične osnove DPN, vključno z metodami, kot so delo DPN na oddaljenosti, v dotiku in delo na potencialu. Podrobno je razloženo, kako te metode zagotavljajo varnost delavcev in neprekinjeno oskrbo električne energije. Poseben poudarek je namenjen prednostim DPN, kot so povečana učinkovitost vzdrževanja, zmanjšanje stroškov in preprečevanje prekinitve oskrbe z električno energijo, kar je posebej pomembno za kritično infrastrukturo, kot so bolnišnice, podatkovni centri in proizvodni obrati. Poleg tega analiziram vpliv vremenskih razmer, ki lahko vplivajo na varnost delavcev. Diplomsko delo obravnava tudi uporabo kazalnikov SAIDI in SAIFI, ki se uporabljata za merjenje učinkovitosti distribucijskih omrežij, pri čemer delo pod napetostjo bistveno prispeva k izboljšanju kazalnikov. Ugotovil sem, da je pravilna in dosledna uporaba metode DPN ključna za zagotavljanje varnega in učinkovitega vzdrževanja, s čimer se zmanjšajo tako operativni stroški kot tudi pogostost izpadov v elektrodistribucijskih omrežjih.

KLJUČNE BESEDE:

- delo pod napetostjo,
- varnost pri delu,
- vzdrževanje elektroenergetskih naprav.

ABSTRACT

In my diploma thesis, I deal with work under voltage (DPN) on low-voltage networks, which represents a key method of maintaining power systems without interruption of supply. First, I presented the theoretical foundations of DPN, including methods such as DPN work at a distance, in touch, and potential work. I will explain in detail how these methods ensure worker safety and uninterrupted supply. Special emphasis is given to the benefits of DPN, such as increased maintenance efficiency, cost reduction and prevention of power interruptions, which are particularly important for critical infrastructure such as hospitals, data centers and manufacturing plants. In addition, I will analyze the impact of weather conditions that can affect the safety of workers. The thesis also deals with the use of SAIDI and SAIFI indicators, which are used to measure the efficiency of distribution networks, where working under voltage significantly contributes to the improvement of the indicators. I find that the correct and consistent use of the DPN method is key to ensuring safe and efficient maintenance, thereby reducing both operating costs and the frequency of outages in power distribution networks.

KEYWORDS:

- delo pod napetostjo – live working,
- varnost pri delu – safety at work,
- vzdrževanje elektroenergetskih naprav – maintenance of power plants.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema	1
1.2	Cilji dela	1
1.3	Predstavitev okolja	2
1.4	Predpostavke in omejitve	2
1.5	Metode dela	2
2	TEORETIČNE OSNOVE	3
2.1	Elektrotehnične zakonitosti in osnove električne energije.....	3
2.2	Učinki električnega toka na človeško telo.....	3
2.3	Varnostni standardi	4
2.4	Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka	5
2.5	Usposabljanje in ocena tveganja	6
2.6	Redno vzdrževanje opreme	6
3	PREDSTAVITEV DELA DPN DOMA IN V TUJINI	8
3.1	DPN v Sloveniji	9
3.2	DPN na VN po svetu	10
3.2.1	Ključne prednosti uporabe helikopterja v izrednih razmerah	10
4	NAČINI IZVAJANJA DPN	12
4.1	DPN na oddaljenosti.....	12
4.2	DPN v dotiku	13
4.3	DPN na potencialu	14
5	OCENA TVEGANJA ZA DELOVNE POSTOPKE	18
5.1	Petstopenjski pristop k oceni tveganja	19
5.1.1	Prepoznavanje nevarnosti in ogroženih oseb.....	20
5.1.2	Ocenjevanje in prednostno razvrščanje tveganj.....	20
5.1.3	Odločitev o preventivnem ukrepanju	21
5.1.4	Ukrepanje	21
5.1.5	Spremljanje in posodabljanje.....	21
5.2	Vremenski vpliv na opravljanje DPN.....	21
5.2.1	Atmosferske motnje.....	22
5.2.2	Grmenje in strele	22
5.2.3	Gosta megla	22
5.2.4	Močan veter.....	22
5.2.5	Padavine.....	23
5.2.6	Temperaturne razmere.....	23
5.2.7	Omejitve pri različnih vrstah DPN.....	23
6	OPREMA IN DOKUMENTACIJA ZA DPN	24
6.1	Osebna varovalna oprema (OVO) za DPN	24
6.2	Ostala oprema za DPN	25
6.3	Dokumentacija za DPN na nizki napetosti.....	26

7	PRAKTIČNA PREDNOST METODE DPN V PRIMERJAVI S KLASIČNIMI METODAMI VZDRŽEVANJA	28
7.1	Pomen kazalnikov SAIDI in SAIFI za učinkovitost elektrodistribucijskih omrežij	28
8	ZAKLJUČEK	30
9	LITERATURA IN VIRI	31

KAZALO SLIK

Slika 1: Pravilno opremljen delavec v trenutku nesreče kratkega stika	4
Slika 2: DPN leta 1969 v Združenem kraljestvu	8
Slika 3: DPN pod strokovnim nadzorom	9
Slika 4: DPN na VN daljnovodu	11
Slika 5: Delo na oddaljenosti v Avstraliji.....	13
Slika 6: Monter DPN v dotiku	14
Slika 7: Delo na potencialu z dvižne avtokošare v Italiji.....	15
Slika 8: Monter v Faradayovem kombinezonu med DPN na 345 kV daljnovodu.....	16
Slika 9: DPN na potencialu z izolacijskimi lestvami	17
Slika 10: Petstopenjski pristop k oceni tveganja	19
Slika 11: Elektromonter med opravljanjem DPN z uporabo primerne OVO.....	24
Slika 12: Praktična uporaba OVO in delovne opreme za DPN	25
Slika 13: Namenska oprema in orodje za DPN.....	25
Slika 14: Diagram poteka delovnih dokumentov za DPN.....	27

KRATICE IN AKRONIMI

DPN:	delo pod napetostjo
NN:	nizka napetost
SN:	srednja napetost
VN:	visoka napetost
ENS:	elektroenergetski sistemi
OVO:	osebna varovalna oprema

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V elektroenergetskih sistemih opravljamo veliko dela, ki ga je mogoče opraviti tudi pod napetostjo. Delo pod napetostjo (DPN) predstavlja poseben izziv in zahteva specifične veščine ter usposobljenost delavcev. Odločitev za izvajanje del pod napetostjo prinaša nove organizacijske naloge, ki izhajajo iz strogih predpisov in zahtev za varnost pri delu. Vendar pa tovrstno delo prinaša tudi številne prednosti, ki pomagajo pri učinkovitem upravljanju elektroenergetskega sistema. Ena izmed glavnih prednosti DPN je, da se izognemo motnjam v oskrbi z električno energijo, kar je še posebej pomembno v današnjem času, ko je odvisnost od električne energije izjemno velika. Pri načrtovanju del pod napetostjo se izognemo tudi zapletenemu časovnemu usklajevanju izvajanja del in izklopov. Na ta način lahko vsa taka dela opravimo dopoldne, med delovnim časom, ne da bi motili delovni proces drugih, saj DPN omogoča izvajanje vzdrževalnih del, popravilo okvar in druge posege na elektroenergetskem sistemu brez prekinitve oskrbe. To je še posebej pomembno za kritično infrastrukturo, kot so bolnišnice, podatkovni centri in industrijski obrati, kjer je neprekinjeno delovanje nujno potrebno. S tem se povečata tudi zanesljivost in stabilnost elektroenergetskega sistema.

1.2 Cilji dela

Cilj dela je čim bolj podrobno predstaviti delo pod napetostjo (DPN). Za omenjeno delo moramo biti ustrezno usposobljeni in uporabljati primerno orodje, ki mora biti redno pregledano. V podjetju, ki izvaja DPN, je treba imeti zaposlenega tudi koordinatorskega, ki izdaja potrebno dokumentacijo pred začetkom del. V nadaljevanju bom podrobno predstavil, kako poteka DPN.

Pričakovani rezultati dela vključujejo izdelavo analize DPN, ki bo zajemala prednosti in slabosti tega načina dela. Analiziral bom vpliv DPN na varnost, čas in stroške izvedbe del. Poskusil bom predstaviti DPN na način, da boste prepoznali uporabnost te metode. V praksi opažam, da imajo nekateri zaposleni dvome glede varnosti pri opravljanju dela pod napetostjo. V tem delu bomo spoznali, da je DPN, kadar ga izvajamo v skladu s pravilniki, ki določajo to metodo, varen.

1.3 Predstavitev okolja

Podjetje Elektro Ljubljana d. d. je največje slovensko elektrodistribucijsko podjetje. Njegova glavna dejavnost je distribucija električne energije na območju osrednje Slovenije, vključno z mestom Ljubljana in okoliškimi regijami. Podjetje skrbi za nemoteno in zanesljivo oskrbo z električno energijo za gospodinjstva, industrijo in druge uporabnike. Elektro Ljubljana d. d. se osredotoča tudi na vzdrževanje in posodobitev elektrodistribucijskega omrežja, implementacijo naprednih tehnologij ter izboljšanje učinkovitosti in kakovosti storitev. Zavezano je trajnostnemu razvoju in varovanju okolja, obenem pa stremi k zadovoljstvu svojih strank in zaposlenih.

1.4 Predpostavke in omejitve

Pri delu pod napetostjo (DPN) je ključna usposobljenost delavcev, ki morajo biti strokovno izobraženi in imeti praktične izkušnje. Potrebni so specializirana osebna varovalna oprema in orodja, ki morajo biti redno pregledovana in vzdrževana. DPN se izvaja v skladu z veljavnimi pravilniki, standardi in predpisi, z natančnim načrtovanjem in oceno tveganj. Kljub strogim varnostnim ukrepom so prisotna varnostna tveganja, kot so električni udari in opekline, ter omejitve glede vremenskih pogojev, dostopnosti in prostorske omejitve. Nekatera dela so lahko preveč kompleksna za izvedbo pod napetostjo, oprema in orodja pa imajo svoje tehnične omejitve. Upoštevanje teh predpostavk in omejitev je bistveno za varnost in uspešnost DPN.

1.5 Metode dela

Pri izdelavi diplomskega dela o delu pod napetostjo sem uporabil več različnih raziskovalnih metod. Izvedel sem literarno analizo strokovne literature in tehnične predpise, da sem lahko bolje razložil teoretične osnove in standarde DPN. S primerjalno metodo sem raziskal razvoj tehnologije v Sloveniji in po svetu čez čas. V okviru te metode sem preučil več študij iz domačega in mednarodnega okolja ter podrobno spoznal metodo dela pod napetostjo. Študija primerov mi je omogočila globlje razumevanje uspešno izvedenih projektov, kar je prispevalo k celovitemu vpogledu v učinkovite prakse in inovacije na tem področju.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Elektrotehnične zakonitosti in osnove električne energije

Pri delu pod napetostjo je ključno razumevanje osnovnih elektrotehničnih konceptov, kot so napetost, tok, upornost in moč. Električna energija se prenaša po električnih vodnikih, pri čemer se uporabljajo različni napetostni nivoji, od nizke do srednje in visoke napetosti. Poznavanje teh konceptov omogoča delavcem boljše razumevanje delovanja električnih sistemov in s tem tudi varnejše izvajanje dela pod napetostjo (Bunc, 2000).

2.2 Učinki električnega toka na človeško telo

Električni udar se zgodi, kadar delavec pride v stik z vodnikom ali drugim delom pod napetostjo, kar premosti določeno potencialno razliko, ki presega varne meje za delavca. Glavni simptomi električnega udara vključujejo kratkotrajno izgubo zavesti, omotičnost, zmedenost in opekline na koži. Najpogostejše so opekline na koži, lahko pa se pojavijo tudi opekline notranjega tkiva. Različne vrste električnega toka povzročajo različne posledice. Termični učinki so posledica visokih tokov kot pri udaru strele. Enosmerni tok lahko povzroči kemične učinke, medtem ko izmenični tok in tokovni impulzi vplivajo na biološke funkcije. Posledice udara so odvisne od velikosti toka, časa trajanja, vrste toka in poti toka skozi telo. Električni udar se najpogosteje zgodi zaradi nepravilnega rokovanja z orodjem ali napravo. Osnovna pravila zaščite pred električnim udarom temeljijo na zaščiti nevarnih delov pod napetostjo, da se prepreči neposreden stik z njimi, ter na preprečevanju pojavljanja nevarne napetosti na prevodnih delih, ki so dostopni dotiku. To se zagotavlja z ustrezno uporabo izolacijskih materialov oziroma pregrad (Bunc, 2000).

Pri nizki napetosti nam lahko nevarnost predstavljajo tudi majhne razdalje. Zaradi njih med komponentami v nizkonapetostnih sistemih električarji nimajo veliko prostora za napake. V takšnih razmerah lahko že majhna napaka ali neprevidnost povzroči nevarno situacijo oziroma kratek stik. Nizkonapetostna oprema, ki se napaja z močnim virom energije, je še posebej problematična, kar je pogosto na industrijskih deloviščih. V primeru okvare lahko nizkonapetostni tok sprosti ogromne količine energije, kar lahko povzroči resne poškodbe in uničenje. Električni oblaki, ki nastanejo zaradi kratkega stika ali napake, lahko povzročijo hude opekline, poškodbe oči in pljuč ter druge resne poškodbe. Poleg tega lahko v tesno zaprtih prostorih, kjer se uporablja nizkonapetostna oprema, visoka gostota energije hitro povzroči nevarnost požara. V

takšnih okoljih je ključnega pomena, da se upoštevajo vsi varnostni protokoli in da se uporablja ustrezna osebna varovalna oprema (Industrialelectricalco, 2024).

Zaradi teh tveganj je bistveno, da se nizkonapetostni sistemi obravnavajo z enako resnostjo kot visokonapetostni. Izvajalci morajo biti ustrezno usposobljeni in se zavedati vseh potencialnih nevarnosti, ki jih prinaša delo z nizkonapetostno elektriko. Le tako se lahko zmanjša tveganje za nesreče in zagotovi varno delovno okolje (Industrialelectricalco, 2024).



*Slika 1: Pravilno opremljen delavec v trenutku nesreče kratkega stika
(Vir: Electrical engineering portal, 2017)*

2.3 Varnostni standardi

Za zdravje delavcev in njihovo varnost pri delu mora poskrbeti delodajalec. Njegova naloga je izvajati ukrepe, ki so potrebni za zagotovitev varnosti in zdravja vseh oseb, ki so vključene v delovni proces, vključno s preprečevanjem, obvladovanjem in odpravljanjem nevarnosti. Delodajalec za varnost pri delu poskrbi tudi z ustrezno organizacijo in zagotavljanjem ustreznih materialnih sredstev (Lovrenčič, 2018).

Delodajalec mora posebno skrb nameniti varnosti in zdravju mlajših in starejših delavcev ter delavcev z zmanjšano delovno zmožnostjo. Pri izbiri ukrepov mora upoštevati posebna tveganja, ki so jim ti delavci izpostavljeni pri delu, v skladu s posebnimi predpisi. Delodajalec mora upoštevati spreminjajoče se okoliščine in izvajati preventivne ukrepe za preprečevanje tveganja za nesrečo oziroma poškodbe. Izbirati mora proizvodjalne in delovne metode, ki bodo zagotavljale izboljševanje stanja in višjo raven zdravja in varnosti pri delu ter bodo vključene v vse organizacijske ravni ter aktivnosti delodajalca (Lovrenčič, 2009).

2.4 Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka

Delo pod napetostjo je izjemno nevarno, če niso zagotovljeni potrebni varnostni ukrepi. To predstavlja veliko tveganje za okolico, delavce, elektroenergetske sisteme, opremo, električne naprave, instalacije in okolico. »Dela na elektroenergetskih objektih, sistemih in električnih napravah pod napetostjo so dovoljena le v primerih, ki morajo biti jasno določeni in utemeljeni v internih predpisih« (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

»Poseben interni predpis mora obvezno vsebovati podrobna določila za varno delo pod napetostjo, v katerem morajo biti, med drugim, vključene tudi naslednje zahteve:

- delavci, ki taka dela izvajajo, morajo biti strokovnjaki elektrotehniške stroke in glede na vrsto del ter obseg nevarnosti še posebej usposobljeni;
- delavci morajo biti zdravstveno pregledani in morajo biti zdravstveno sposobni za takšna dela;
- izbrani sistem dela pod napetostjo in delovni postopek morata biti vnaprej določena in preverjena;
- delavci morajo glede na izbrani način dela pod napetostjo uporabljati ustrezna izolirna orodja, sredstva in osebno varovalno opremo;
- izdelana morajo biti pisna navodila za vsako vrsto dela posebej;
- na mestu dela mora biti zagotovljeno reševanje in prva pomoč v primeru poškodbe delavca z električnim tokom;
- določeni morajo biti dokumenti za zavarovano delo pod napetostjo, njihova vsebina in oblika ter postopek izdajanja« (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

»Delo pod napetostjo predstavlja v primeru, da niso izvedeni posebni in ustrezni varstveni ukrepi, veliko nevarnost za delavce, elektroenergetske postroje, električne naprave, električno opremo, električne instalacije in okolico« (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

»Delo pod napetostjo je dovoljeno, če so izpolnjeni naslednji pogoji:

- če tok kratkega stika na mestu dela ne presega 3 m A izmeničnega toka (efektivna vrednost) oziroma 12 m A enosmernega toka, ali če energija ne presega 350 m J;
- če nazivna napetost ne presega 25 V izmenične oziroma 60 V enosmerne napetosti brez valovitosti in če se električna oprema uporablja samo v normalnih pogojih in kjer se ne pričakuje velika površina dotika s človeškim telesom. Upoštevati je treba nevarnost zaradi električnega oblaka;

- če se električna oprema uporablja v vlažnih oziroma mokrih prostorih in kjer se pričakuje velika površina dotika s človeškim telesom, se mora v skladu s tehničnimi normativi in standardi upoštevati nižje vrednosti napetosti, kot je navedeno, oziroma je treba izvesti ustrezne varstvene ukrepe. Upoštevati je treba nevarnost zaradi električnega obloka. Delo lahko opravljajo samo ustrezno usposobljene osebe elektrotehniške stroke;
- v območju izmenične napetosti 25 do 50 V in enosmerne napetosti 60 do 120 V brez valovitosti je dovoljeno delo pod napetostjo ob uporabi izolirnega orodja in osebnih varovalnih sredstev, upoštevanju nevarnosti zaradi električnega obloka in razmer na mestu dela;
- če se z delom pod napetostjo lahko prepreči neposredna nevarnost za življenje in varnost ljudi ter velika materialna škoda kot posledica eksplozije oziroma požara, je treba pri delu upoštevati ustrezne varstvene ukrepe ter je treba uporabljati ustrezna sredstva in opremo za osebno varnost ter drugo opremo. Dela lahko opravljajo samo ustrezno usposobljene osebe elektrotehniške stroke« (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992, 85. in 86. člen).

2.5 Usposabljanje in ocena tveganja

Usposabljanje delavcev za obvladovanje tehničnih in varnostnih zahtev pri delu pod napetostjo je ključno. Poleg tega je treba pred vsakim delom izvesti oceno tveganja, da se identificirajo potencialne nevarnosti in določijo ustrezni varnostni ukrepi. Usposobljeni delavci lahko bolje prepoznajo nevarne situacije, sprejmejo ustrezne ukrepe za preprečevanje nesreč in zagotovijo varno izvajanje DPN. Pomembno je stalno obnavljanje znanj in spremljanje novih varnostnih standardov ter tehnoloških inovacij, ki lahko izboljšajo varnost pri delu pod napetostjo (Zakon o varnosti in zdravju pri delu - ZVZD-1, 2011).

2.6 Redno vzdrževanje opreme

Redno vzdrževanje električne opreme je ključno za preprečevanje okvar, ki lahko povzročijo nevarne situacije pri delu pod napetostjo. Skrbno in redno pregledovanje ter servisiranje opreme zmanjšuje tveganje za nastanek nevarnih situacij ter zagotavlja varno delovno okolje za delavce. Poleg tega sistematično beleženje in dokumentiranje vsake vzdrževalne dejavnosti omogoča sledljivost in preglednost nad stanjem opreme ter pravočasno identifikacijo morebitnih znakov obrabe ali okvare. S tem pristopom se povečuje zanesljivost in učinkovitost delovanja opreme ter se preprečujejo nevarnosti, ki bi lahko predstavljale tveganje za zdravje in varnost

delavcev (Lovrenčič, 2009). Tak sistematični pristop k vzdrževanju omogoča tudi boljše načrtovanje nadaljnjih vzdrževalnih aktivnosti in pravočasno zamenjavo obrabljenih ali okvarjenih komponent, kar prispeva k dolgoročni varnosti in zmanjšuje stroške in časovne izgube zaradi izpadov opreme (Lovrenčič in Lušin, 2015).

3 PREDSTAVITEV DELA DPN DOMA IN V TUJINI

Poznamo DPN na NN omrežju, SN omrežju in VN omrežju. V svetu je DPN v uporabi že več kot 100 let, v Evropi pa več kot 50 let. V Sloveniji se delo pod napetostjo (DPN) na nizkonapetostnem distribucijskem omrežju izvaja od leta 2009, kar je glede na druge države po svetu in v Evropi razmeroma pozno. Elektrodistribucija je izobraževanja za DPN začela eno leto pozneje (Pristovnik, 2019).



*Slika 2: DPN leta 1969 v Združenem kraljestvu
(Vir: British Pathe, 2014)*

Delo pod napetostjo se deli na tri različne napetostne nivoje:

- DPN na NN (do 1 kV),
- DPN na SN (od 1 do 35 kV),
- DPN na VN (nad 35 kV) (Lovrenčič idr., 2016).



*Slika 3: DPN pod strokovnim nadzorom
(Vir: Elektro Ljubljana, 2011)*

3.1 DPN v Sloveniji

DPN se v Sloveniji uporablja na NN in SN omrežju. Od samega začetka ga uporabljajo vsa elektrodistribucijska podjetja v Sloveniji, to so Elektro Ljubljana, Elektro Primorska, Elektro Celje, Elektro Maribor in Elektro Gorenjska (Naš stik, 2013).

V elektrodistribuciji se DPN uporablja na naslednjih področjih:

- vzdrževanje in popravilo NN vodov,
- menjava izolatorjev na NN vodih,
- odpravo manjših okvar na NN kablovodih,
- priklop novih odjemalcev,
- zamenjava oz. popravilo priključkov,
- čiščenje transformatorskih postaj (na NN in SN),
- nadgradnje ali prevezava NN omaric,
- namestitev ali zamenjava prenapetostnih odvodnikov,
- obrezovanje dreves v neposredni bližini vodov,
- popravilo slabih spojev,
- čiščenje NN omaric,
- izolacija okvarjenih delov omrežja,
- zamenjava hišnih priključkov,
- zamenjava števecv (Naš stik, 2013).

3.2 DPN na VN po svetu

Marsikje v tujini se dela pod napetostjo izvajajo na visokonapetostnih daljnovodih z namenom zagotavljanja neprekinjene oskrbe z električno energijo in zmanjševanja izpadov zaradi vzdrževalnih del. DPN se uporablja pri vzdrževalnih posegih na nekaterih najzahtevnejših sistemih, kot so tisti z napetostmi do 1150 kV, kot je v ruskem prenosnem omrežju. Te prakse omogočajo tehnikom izvajanje popravil in pregledov brez izklopa električnega omrežja, kar je še posebej pomembno v težko dostopnih ali odročnih območjih (Wikipedia, 2024).

V tujini se DPN pogosto uporablja za vzdrževanje in zamenjavo ključnih komponent na daljnovodih, kot so izolatorji, distančniki, spojke in dušilci vibracij. Te naloge se izvajajo tudi v ekstremnih vremenskih razmerah, kot so velike količine snega, kjer je dostop z vozili ali peš močno otežen. Delo pod napetostjo je učinkovito pri sistemih, kjer so daljnovodi postavljeni na težko dostopnih mestih, na primer v gorskih območjih ali gozdovih, kjer so drugačne metode izredno težko izvedljive ali pa na klasičen način zahtevajo preveč časa (Wikipedia, 2024).

3.2.1 Ključne prednosti uporabe helikopterja v izrednih razmerah

- **Hitra odzivnost:** helikopterji omogočajo hiter dostop do daljnovodov, ne glede na teren. To je ključno, ko je potrebna takojšnja intervencija za popravilo poškodb, ki bi lahko povzročile dolgotrajne izpade električne energije.
- **Varnejše delo:** uporaba helikopterjev zmanjša potrebo po alpinističnih veščinah in dolgotrajnem transportu težke opreme po nevarnem terenu. S tem se zmanjšajo tudi tveganja za poškodbe delavcev.
- **Dostopnost:** v zimskih razmerah, kjer so ceste neprevozne ali območja težko dostopna, so helikopterji pogosto edini način za doseg kritičnih točk na daljnovodu.
- **Večja učinkovitost:** helikopterji omogočajo delo na več lokacijah v kratkem času. Ekipa lahko pregleda ali popravlja več delov omrežja, ne da bi morala prehoditi težko dostopen teren (Wikipedia, 2024).

Uporaba helikopterjev za vzdrževanje daljnovodov pa je povezana z visokimi stroški, saj vključuje drago najemanje ali vzdrževanje, usposabljanje pilotov in posebno opremo, zato se običajno uporablja le v nujnih primerih. Poleg tega so takšne operacije močno odvisne od vremenskih razmer, saj lahko močni vetrovi, snežne nevihte ali slaba vidljivost letenje onemogočijo ali ga naredijo preveč nevarnega. Za varno in učinkovito delo na daljnovodih iz helikopterja je prav tako potrebna zelo

usposobljena ekipa, ki vključuje izkušene pilote in strokovno usposobljene delavce (Elstatics, 2023).



Slika 4: DPN na VN daljnovodu
(Vir: Aeropower, 2024)

4 NAČINI IZVAJANJA DPN

V Sloveniji se delo pod napetostjo (DPN) izvaja v skladu s standardom **SIST EN 50110-1**. Obravnava varnostne zahteve in smernice za delo z električnimi napravami, vključno z delom pod napetostjo (DPN). Ta standard se uporablja za zagotavljanje varnosti oseb, ki delajo na električnih sistemih, ter za preprečevanje poškodb in nesreč.

V Sloveniji se pri izvajanju DPN uporabljajo tri osnovne metode:

- »delo z izolacijskimi palicami – delo na varni razdalji (hot stick working – safe clearance working),
- delo z izolacijskimi rokavicami – delo v dotiku (insulating glove working),
- delo z golimi rokami – delo na potencialu (bare hand working)«, (Lovrenčič, 2018).

4.1 DPN na oddaljenosti

DPN na oddaljenosti je najstarejša metoda dela pod napetostjo (DPN). Leta 1913 se je začela izvajati v Združenih državah Amerike. Zanj je značilna uporaba izolacijskih palic, pri čemer delavec ostaja na varni razdalji od delov pod napetostjo in samo delo poteka z izolacijskimi palicami. Razvoj te metode, znane tudi kot delo na varni razdalji, je tesno povezan z razvojem izolacijskih palic. Prva uporabljena izolacijska palica, je bila izdelana iz surovega (neobdelanega) lesa in jo je monter v Ohio, ZDA, uporabljal za delo na srednjenapetostnem območju. Palica je bila na koncu opremljena s kovinskim dodatkom za odpiranje ločilnika. Znano je, da so se bambusove palice ali palice iz lesa, najpogosteje limonovca, uporabljale že od leta 1906, verjetno za delo pod napetostjo na nizkonapetostnih omrežjih. V Franciji so se po letu 1960 uporabljale bambusove palice za nizkonapetostna omrežja in izolacijske palice za srednjenapetostna omrežja. Razvoj izolacijskih palic, ki so bile napolnjene s peno, je omogočil izvedbo DPN na vseh višjih napetostih. Z uporabo sodobnih orodij, opreme in materialov je DPN na oddaljenosti razširjen na vseh napetostnih nivojih (Lovrenčič, 2018).

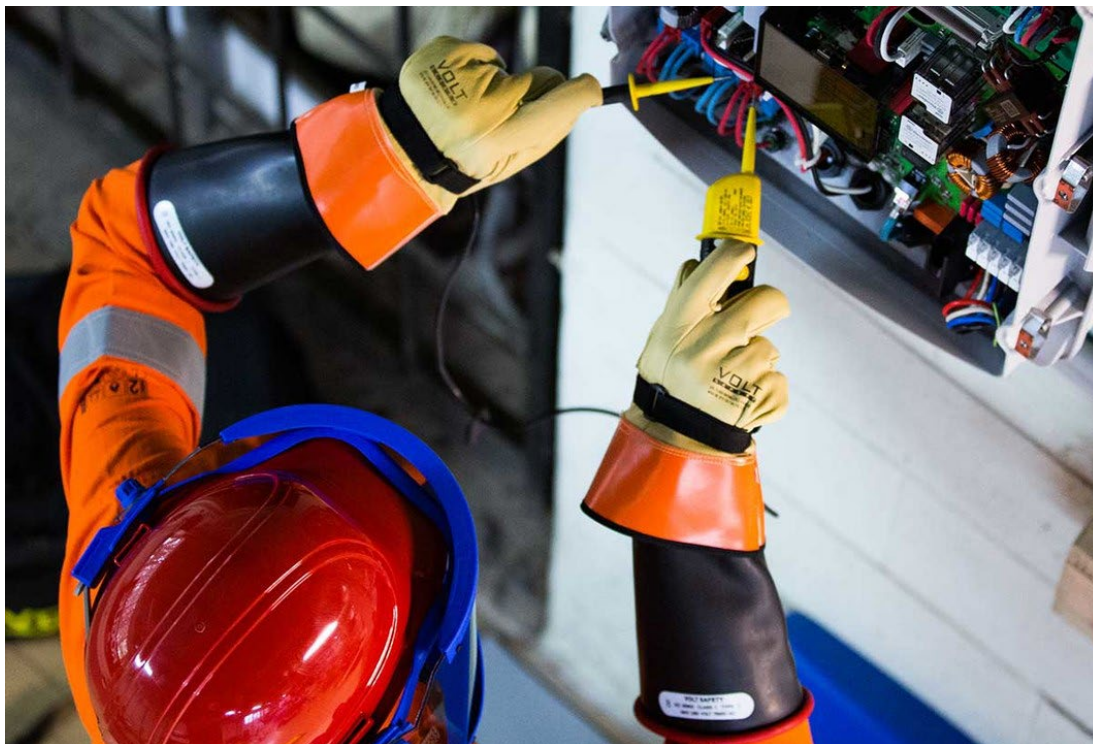


*Slika 5: Delo na oddaljenosti v Avstraliji
(Vir: Powerline Training, 2017)*

4.2 DPN v dotiku

DPN v dotiku poteka tako, da je delavec zaščiten z izolacijskimi rokavicami in ima na sebi tudi z izolacijsko zaščito za roke, ki sega do ramen ter svoje delo opravlja v neposrednem stiku z deli, ki so pod napetostjo (Lovrenčič, 2018).

DPN z izolacijskimi rokavicami ali delo v dotiku je uporabljeno kot praktična metoda za delo na nizkonapetostnih električnih inštalacijah, kjer je DPN na potencialu ali na varni razdalji onemogočen zaradi majhnih razdalj med zemljo in faznimi vodniki. Opisana metoda je uporabna tudi za vzdrževanje srednjenapetostnih nadzemnih omrežij ali čiščenju NN in SN opreme, tako na daljnovodih kot v transformatorskih postajah. Pri delu pod napetostjo z izolacijskimi rokavicami delavec uporablja izolacijske rokavice, pogosto v kombinaciji z dodatno izolacijsko zaščito za roke, ki sega do ramen, kar mu omogoča varno opravljanje del, neposredno na delih, ki so pod napetostjo (Lovrenčič, 2018).



Slika 6: Monter DPN v dotiku
(Vir: Loew, 2019)

4.3 DPN na potencialu

Delo na potencialu oziroma delo pod napetostjo z golimi rokami vključuje delavca v neposrednem električnem stiku z nadzemnim vodom pod napetostjo. Delavec lahko delo pod napetostjo na potencialu opravlja na različne načine. V vseh primerih je ključno, da se telo delavca ohranja na isti napetosti kot nadzemni vod. Pomembno je, da delavec vzdržuje ustrezne meje pristopa do vseh delov, ki so na drugačnem električnem potencialu, kar zagotavlja varnost pri delu. Te tehnike so bile prvič uporabljene leta 1960 in so se od takrat naprej razvijale ter izpopolnjevale (Wikipedia, 2024).



*Slika 7: Delo na potencialu z dvižne avtokošare v Italiji
(Vir: Carrarotecnico, 2024)*

Načini, kako lahko delavec dostopa do delov pod napetostjo:

- delavec lahko uporablja posebno vrsto mobilne dvižne delovne ploščadi, imenovane izolacijska dvižna naprava. Ta naprava ima roko iz izolacijskega materiala, pri čemer so vsi prevodni deli na koncu ploščadi med seboj povezani. Za varno uporabo te naprave so potrebni tudi dodatni varnostni mehanizmi, kot so naprave za nadzor naklona in sredstva za zaščito pred vakuumom v hidravličnih vodih;
- delavec lahko dostopa do linije z uporabo izolacijske lestve, ki jo na linijo pripelje s pomočjo neprevodne vrvi. Ta metoda omogoča delavcu varno delo na liniji brez neposrednega stika z zemljo;
- helikopter je še ena metoda dostopa. Delavca lahko spustijo iz helikopterja neposredno na linijo, kjer nato opravlja delo. Alternativno lahko helikopter lebdi v bližini žice, medtem ko delavec opravlja delo s ploščadi helikopterja ali drugega podobnega položaja (Lovrenčič, 2018).

Pri vseh teh metodah je pomembno, da se delavec, ko se približuje vodniku pod napetostjo, ustrezno pripravi na stik. Med približevanjem se pogosto vzpostavi

električni lok, ko se delavec polni do istega potenciala kot vodnik. Da bi preprečili nevarnosti nadaljnjega obloka, se delavec čim prej poveže z napeljavo, kar omogoči varno delo. V ta namen lahko uporablja prevodno palico, da vzpostavi začetni stik z vodnikom. Ko je delavec enkrat na liniji, je varen pred električnim udarom, saj imata on in vodnik enak električni potencial. Zaradi tega skozi njegovo telo ne teče noben električni tok. To načelo je enako tistemu, ki omogoča pticam varno sedenje na električnih vodih. Ko je delo opravljeno, se postopek izvede v obratni smeri, da se delavec varno odstrani z žice. Delo z golimi rokami omogoča delavcu večjo spretnost in prilagodljivost kot metoda uporabe izolacijskih palic, kar je pogosto prednost, kadar okoliščine to dovoljujejo. S to tehniko je mogoče izvajati zamenjavo izolatorskih nizov, distančnikov prevodnikov, dušilcev vibracij ali spojiti napeljave brez potrebe po prekinitvi dobave električne energije. Delo z golimi rokami zahteva zaščito pred močnim električnim poljem, ki obdaja naelektreno opremo. Da bi preprečili škodljive učinke, morajo delavci nositi Faradayev kombinezon. Ta kombinezon je narejen iz prevodnih vlaken, ki delujejo kot prenosna Faradayeva kletka. Kombinezon izenačuje potencial nad telesom in preprečuje pretok električnega toka skozi tkivo. Poleg kombinezona so potrebne tudi prevodne rokavice, prevodne nogavice, nepokrit pa naj bo le obraz.

Delo z golimi rokami se največkrat uporablja na relativno nizkih napetostih, bilo pa je uspešno izvedeno tudi pri zelo visokih napetostih, vključno s prenosi, kot je ruski sistem s 1150 kV (Wikipedia, 2024).



*Slika 8: Monter v Faradayevem kombinezonu med DPN na 345 kV daljnovodu
(Vir: Magstadt, 2024)*



*Slika 9: DPN na potencialu z izolacijskimi lestvami
(Vir: Kolabensayos, 2021)*

5 OCENA TVEGANJA ZA DELOVNE POSTOPKE

V skladu z zakonodajnimi zahtevami je delodajalec dolžan izvesti oceno tveganja za vsako posamezno delovno mesto. Ocena tveganja je pisni dokument, v katerem so ocenjena vsa tveganja, katerim bi jim lahko bili delavci izpostavljeni celo so. Če je dokument pravilno pripravljen in uporabljen, lahko predstavlja ključ do zmanjšanja števila nesreč, poškodb, smrti in poklicnih bolezni na delovnem mestu (ZVZD-1, 2011).

Standard SIST EN 50110-1:2013 določa zahteve za varno obratovanje električnih strojev in za delo v njihovi bližini, z njimi ali v njih. Zahteve veljajo za vse delovne, obratovalne in vzdrževalne postopke oziroma elektrotehnična dela, pri katerih obstaja nevarnost električnega udara (Lovrenčič, 2009).

Dodatek A tega standarda določa najmanjše dovoljene zračne razdalje, ki določajo zunanjo mejo območja dela pod napetostjo in območja približevanja. Dodatek B standarda podaja dodatna navodila v zvezi z varnostjo pri delu. Vsebina vključuje pogoje varnega dela, vključno z ravnmi odgovornosti za različne velikosti podjetij, vremenskimi pogoji (padavine, gosta megla, nevihta, silovit veter, slane nevihte, ekstremno nizke temperature), požarno varnostjo (gašenje požarov), eksplozivnimi okolji, nevarnostjo blokade in ukrepi v nujnih primerih (ZVZD-1, 2011).

Ocena tveganja zajema sistematičen pregled vseh vidikov dela, vključno z naslednjimi vidiki:

- kaj lahko povzroči nevarnosti in poškodbe,
- ali bi se te nevarnosti lahko odpravile, če ne
- kateri preventivni zaščitni ukrepi so ali bi morali biti vzpostavljeni za nadzor nad nevarnostmi (ZVZD-1, 2011).

Pri oceni tveganja je pomembno razumeti dva ključna pojma:

- **»nevarnost:** karkoli (delovni material, oprema, način dela ali delovni postopek), kar bi lahko povzročilo škodo delavcu;
- **tveganje:** verjetnost, velika ali majhna, da bi lahko kdo zaradi nevarnosti utrpel škodo« (ZVZD-1, 2011).

Po oceni bi morala večina podjetij upoštevati petstopenjski pristop k pripravi ocene tveganja (slika 10). Možni so tudi drugi postopki, ki so enako učinkoviti, še posebej pri bolj zapletenih tveganjih v okoliščinah. Vodilna načela vseh ocen tveganja so enaka, ne glede na to, ali je postopek ocene tveganja razdeljen na več ali manj korakov, ali so nekateri koraki drugače opredeljeni (Varnost in zdravje pri delu, 2024).



Slika 10: Petstopenjski pristop k oceni tveganja
(Vir: Varnost in zdravje pri delu, 2024)

5.1 Petstopenjski pristop k oceni tveganja

Petstopenjski pristop k oceni tveganja je evropski pristop, ki temelji na zagotavljanju varnosti in zdravja pri delu, kar je utemeljeno z dobrimi razlogi. Če postopek ocenjevanja tveganj, kot prvi korak pri obvladovanju tveganja, ni ustrezno izveden ali sploh ni izveden, obstaja velika verjetnost, da podjetje nima primernih preventivnih ukrepov. Pri oceni tveganja je treba upoštevati celosten pristop, ki zajema vse potrebne korake, glede na potrebe delodajalcev in spremembe v delovnem okolju. Pomembno je, da so v postopek ocenjevanja tveganja vključeni tudi zaposleni. Strokovni pogovor z njimi in njihova aktivna udeležba pri oceni tveganja sta ključna, saj nevarnosti ne temeljijo zgolj na strokovnem znanju, temveč tudi na izkušnjah pri poznavanju dejanskih delovnih razmer in potencialnih škod (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

Petstopenjski pristop k oceni tveganja je preprost in učinkovit način za prepoznavanje in obvladovanje nevarnosti na delovnem mestu. Ta pristop je primeren za večino podjetij, zlasti za manjša in srednje velika, saj omogoča sistematičen pregled tveganj in pripravo ustreznih preventivnih ukrepov (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

5.1.1 Prepoznavanje nevarnosti in ogroženih oseb

Pri oceni tveganja je izjemno pomembno jasno opredeliti, kdo bi lahko bil izpostavljen nevarnostim. To pomaga pri določitvi najustreznejših ukrepov za obvladovanje tveganj. Ni nujno, da so ogrožene osebe poimensko navedene, ampak je pomembno določiti skupino ljudi, ki bi lahko bile izpostavljene nevarnostim, na primer zaposleni v skladišču ali mimoidoči. Poleg zaposlenih je treba upoštevati tudi osebe, ki niso neposredno zaposlene v podjetju, kot so podizvajalci, čistilci, ali obiskovalci. Pozorni moramo biti tudi na spol in tistim skupinam delavcev, ki so lahko zaradi svojih specifičnih potreb ali pogojev dela izpostavljeni večjemu tveganju. Pomembno je, da se določi, na kakšen način bi lahko bile te osebe poškodovane oziroma kakšne poškodbe ali obolenja bi se lahko pojavila (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

Med skupine delavcev z večjim tveganjem spadajo:

- starejši in mlajši delavci,
- delavci invalidi,
- nosečnice,
- delavci, ki imajo zdravstvene težave,
- delavci, ki uživajo določena zdravila (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

5.1.2 Ocenjevanje in prednostno razvrščanje tveganj

Pomembno je vedeti, da tveganje predstavlja verjetnost, veliko ali majhno, da bo nekdo zaradi določene nevarnosti utrpel škodo. V drugem koraku je potrebno oceniti tveganje, ki ga predstavlja vsaka nevarnost. To lahko storimo na način, da razmislimo o naslednjem:

- »kako verjetno je, da bo nevarnost povzročila škodo,
- kako resna bo verjetno povzročena škoda,
- koliko delavcev in kako pogosto so le ti izpostavljeni nevarnosti« (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

Veliko nevarnosti na delovnem mestu lahko ocenimo s preprostim postopkom, ki temelji na lastni presoji in ne zahteva strokovne usposobljenosti. Takšen pristop je primeren za manjša tveganja ali področja dela, kjer so tveganja v večini že prepoznana in načini obvladovanja vzpostavljeni. To pogosto velja za majhno in srednje veliko podjetje. Tveganja je treba nato razvrstiti po resnosti in obravnavati po prednostni vrsti (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

5.1.3 Odločitev o preventivnem ukrepanju

V tem koraku je treba sprejeti odločitve glede načinov, kako bomo tveganje odpravili ali učinkovito obvladali. Pomembno je preučiti različne možnosti in strategije za zmanjšanje tveganj na sprejemljivo raven. V naslednji fazi se moramo osredotočiti na raziskovanje načinov za odpravo ali upravljanje tveganj. Pri obvladovanju in omejevanju tveganj je pomembno upoštevati naslednja splošna načela:

- »izogibanje tveganjem,
- zamenjava nevarnega z nenevarnim ali manj nevarnim,
- obvladovanje tveganj pri viru,
- uvajanje kolektivnih varnostnih ukrepov ima prednost pred individualnimi varnostnimi ukrepi (npr. obvladovanje izpostavljenosti hlapom z lokalnim odesavanjem namesto z osebno varovalno opremo za zaščito dihal),
- prilagajanje tehničnemu napredku« (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

5.1.4 Ukrepanje

V naslednji fazi je treba vzpostaviti ukrepe za preprečevanje ali zagotovitev varnosti. Ključno je, da v proces vključimo tudi zaposlene in njihove zastopnike. Za uspešno izvedbo je treba pripraviti načrt, ki med drugim določa:

- »ukrepe, ki se bodo izvajali,
- kdo bo kaj storil in kdaj,
- do kdaj mora biti naloga opravljena« (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

5.1.5 Spremljanje in posodabljanje

Sprotno posodabljanje ocene tveganja je bistveno, saj zagotavlja, da se preventivni in varnostni ukrepi pravilno izvajajo ter omogočajo odkrivanje morebitnih novih težav. Občasno je treba pregledati tudi oceno tveganja, glede na naravo tveganja, verjetnost spremembe v delovnem procesu ali rezultat preiskav nezgod ali nevarnih dogodkov. Nevaren dogodek je nenačrtovan dogodek, kjer ni bila povzročena bolezen, poškodba ali škode, vendar je obstajala verjetnost, da bi lahko privedel do nezgode. Ocena tveganja ni enkraten postopek, ampak ga je treba nenehno prilagajati (Varnost in zdravje pri delu, 2024).

5.2 Vremenski vpliv na opravljanje DPN

Delo pod napetostjo (DPN) je zaradi varnostnih tveganj in potencialnih nevarnosti zelo občutljivo na vremenske pogoje. Vremenske razmere lahko močno vplivajo na

varnost delavcev in kakovost izvedbe dela, zato so predpisane jasne omejitve, kdaj se lahko delo izvaja in kdaj ne. Spodaj so našteje glavne omejitve glede vremenskih pogojev (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

5.2.1 Atmosferske motnje

- **Majhne atmosferske motnje** (brez grmenja): delo pod napetostjo se lahko začne in konča brez omejitev. To velja za normalne razmere, kjer so vremenske razmere stabilne in ne predstavljajo neposredne nevarnosti.
- **Velike atmosferske motnje** (močan dež, veter brez grmenja): delo pod napetostjo se ne sme začeti, če je velika nevarnost zaradi vremenskih razmer. Vendar pa je dovoljeno dokončanje že začelih del. Takšne razmere povečajo tveganje za električne oblake in nesreče, zato so priporočila stroga (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

5.2.2 Grmenje in strele

Ko so v bližini nevihtni oblaki, se delo pod napetostjo ne sme začeti niti nadaljevati. Grmenje in nevarnost udarov strele močno povečujeta tveganje električnega udara, zato je delo pod napetostjo v teh razmerah strogo prepovedano (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

5.2.3 Gosta megla

V primeru goste megle se delo pod napetostjo ne sme začeti, saj omejena vidljivost vpliva na varnost pri izvajanju del in težje opazovanje potencialnih nevarnosti. Prav tako lahko vlaga, povezana z meglo, poveča tveganje električnega obloka in uhajanja električne energije. Delo se lahko konča le, če je že bilo v teku pred pojavom megle (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

5.2.4 Močan veter

Delo pod napetostjo se ne sme začeti niti nadaljevati, če veter dosega nevarne hitrosti. Močan veter lahko povzroči nenadzorovano gibanje vodnikov ali druge komponente omrežja, kar lahko poveča tveganje za električni udar in nezgode. Veter lahko tudi destabilizira delavce na višini, kar poveča tveganje za padec ali stik z napetostnimi deli (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

5.2.5 Padavine

Dež, sneg, led: kadar so vremenske razmere povezane s padavinami, kot so močan dež, sneženje ali nastanek ledu, delo pod napetostjo ni dovoljeno. Mokra površina in vlaga povečata prevodnost materialov, kar povečuje tveganje za električni udar (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

5.2.6 Temperaturne razmere

Ekstremne temperature, zelo visoke ali zelo nizke, lahko vplivajo na varnost delavcev in delovanje izolacijskih materialov. Pri ekstremno visokih temperaturah lahko pride do pregrevanja opreme in materialov, kar poveča tveganje za napake in poškodbe. Pri zelo nizkih temperaturah pa lahko postanejo materiali krhki, kar poveča verjetnost poškodb opreme in poveča nevarnost za delavce (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

5.2.7 Omejitve pri različnih vrstah DPN

Pri varnosti in zdravju pri DPN imajo vremenske razmere velik vpliv na varnostne ukrepe. Različne vrste omrežij – nadzemni vodi z neizoliranimi ali izoliranimi vodniki ter podzemni vodi – zahtevajo prilagojene varnostne ukrepe glede na specifične pogoje dela. V nadaljevanju so predstavljeni varnostni ukrepi in omejitve, ki jih je treba upoštevati pri vsakem tipu vodov glede na vremenske razmere, da se zagotovi varno in učinkovito delo (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

- **Nadzemni vodi z neizoliranimi ali golimi vodniki:** omejitve so najstrožje, saj so delavci izpostavljeni neposrednemu stiku z vodniki pod napetostjo. Pri teh delih je nujno strogo spoštovati vremenske omejitve, še posebej v primeru grmenja, močnega vetra in goste megle.
- **Nadzemni vodi z izoliranimi vodniki:** delo na izoliranih vodnikih je manj tvegano kot na neizoliranih, vendar pa so še vedno v veljavi stroge omejitve za močne atmosferske motnje, grmenje, močan veter in meglo.
- **Podzemni vodi in notranje inštalacije:** delo pod napetostjo na podzemnih vodih ali v zaprtih prostorih ni toliko podvrženo vremenskim vplivom. Vendar pa se v primeru grmenja delo ne sme začeti, tudi če poteka znotraj objekta (Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka, 1992).

6 OPREMA IN DOKUMENTACIJA ZA DPN

Delo izolacijo pred električnim tokom, omogoča varno delo na električnih vodih in napravah ter preprečuje tveganje pod napetostjo (DPN) zahteva natančno in skrbno izbiro ter uporabo specializirane opreme, saj je varnost delavcev odvisna od tega, ali je uporabljena oprema ustrezna in kako dobro je vzdrževana. Oprema mora biti zasnovana tako, da zagotavlja za nesrečo. V tem poglavju bomo podrobneje pregledali najpomembnejše vrste opreme, ki se uporabljajo pri DPN, in predstavili njihove tehnične značilnosti ter zahteve za vzdrževanje.

6.1 Osebna varovalna oprema (OVO) za DPN

Pri DPN je ključno, da orodja, oprema in naprave izpolnjujejo evropske in nacionalne zahteve ali mednarodne standarde, kjer so ti na voljo. Z zagotavljanjem skladnosti z omenjenimi standardi se poveča varnost delavcev, zmanjša tveganje za poškodbe in nesreče ter zagotovi pravilno in varno delovanje elektroenergetskih sistemov (Lovrenčič, 2018).

Za DPN obvezno uporabljamo spodnjo OVO:

- »izolacijski škornji, rokavice in galoše,
- zaščita za oči ali obraz,
- zaščita za glavo,
- primerna zaščitna oblačila« (Lovrenčič, 2018).



*Slika 11: Elektromonter med opravljanjem DPN z uporabo primerne OVO
(Vir: Lovrenčič, 2020)*

6.2 Ostala oprema za DPN

Pri delu pod napetostjo (DPN) so orodja in pripomočki ključni, saj zagotavljajo varnost delavcev med upravljanjem z električnimi napravami in omrežji (Lovrenčič, 2018).

Tukaj so podrobnosti o orodjih in pripomočkih, ki se uporabljajo pri DPN:

- »izolacijske blazine, plošče in delovni odri,
- izolacijski elastični in togi materiali,
- orodje iz izolacijskega materiala,
- sprožilni drogovi in izolirne palice,
- ključavnice, napisne tablice, table,
- indikatorji napetosti in sistemi za merjenje napetosti,
- oprema za lociranje kablov,
- oprema za ozemljitev in kratkostična oprema,
- pregrade, zastavice in druga označevalna sredstva« (Lovrenčič, 2018).



Slika 12: Praktična uporaba OVO in delovne opreme za DPN
(Vir: Lovrenčič, 2020)



Slika 13: Namenska oprema in orodje za DPN
(Vir: Lovrenčič, 2018)

6.3 Dokumentacija za DPN na nizki napetosti

Za varno delo pod napetostjo (DPN) je izjemno pomembna uporaba ustrezne dokumentacije, ki podrobno določa organizacijo, pripravo in samo izvedbo del na elektroenergetskih objektih, postrojih, napravah ali opremi. Takšna dokumentacija ne zagotavlja le varnega delovnega okolja, ampak omogoča tudi dosledno izvajanje del brez nepotrebnih motenj ali nevarnosti za delavce. Dokumenti, ki so ključni za varno delo, vključujejo vse potrebne informacije za pravilno izvajanje postopkov DPN in določajo odgovorne osebe na različnih stopnjah delovnega procesa (Pristovnik, 2019).

Vsebino teh dokumentov lahko spremeni izključno oseba, ki jih je izdala, in sicer zgolj na izrecno zahtevo koordinatorja del. Takšna omejitev omogoča, da so spremembe v delovnem načrtu vedno usklajene z varnostnimi standardi in postopki. Pravilno in pravočasno izpolnjevanje teh dokumentov je bistvenega pomena za zagotavljanje varnosti pri delu pod napetostjo (Pristovnik, 2019).

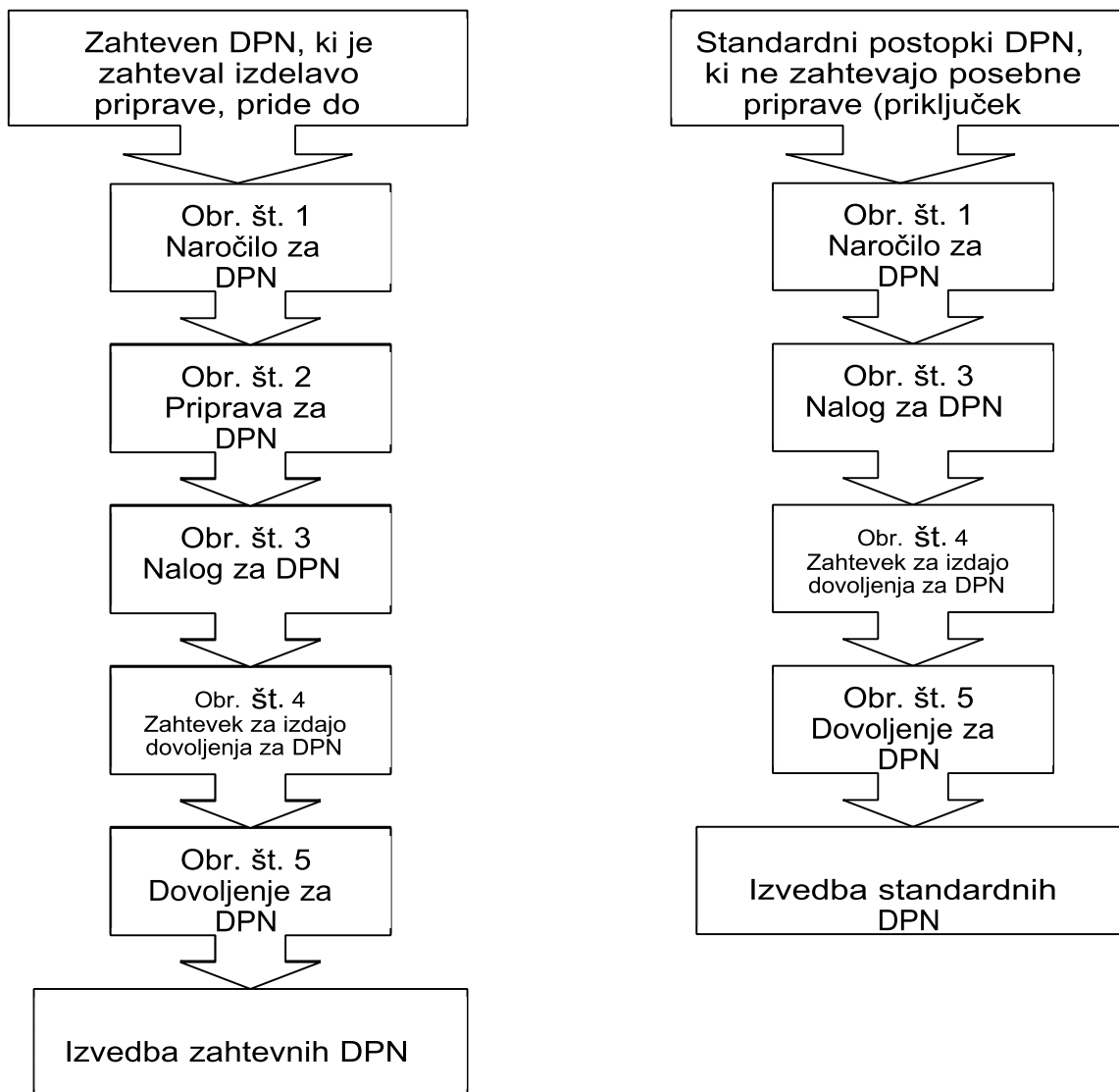
Podpisniki dokumentov za varno delo so neposredno odgovorni za pravilno izvajanje DPN. Njihova naloga je, da nadzirajo in zagotavljajo, da se delo izvaja po predpisih in varnostnih standardih (Pristovnik, 2019).

Ključni dokumenti, ki so vključeni v proces DPN, so:

- **naročilo za DPN:** naročnik DPN (vodja nadzorništva, vodja priprave del, vodja oddelka) pripravi naročilo, ki ga odobri koordinator DPN;
- **priprava za delo pod napetostjo:** sestavljavec (monter ali skupinovodja) pripravi načrt za delo, ki ga nato pregleda in odobri koordinator DPN;
- **nalog za DPN:** odgovorna oseba za izdajo naloga je koordinator DPN, ki nalog posreduje vodji delovne skupine;
- **zahtevek za izdajo dovoljenja za DPN:** zahtevek lahko podajo skupinovodja, vodja nadzorništva ali zunanji izvajalec, odobri pa ga koordinator DPN;
- **dovoljenje za DPN:** koordinator DPN izda dovoljenje, prejemnik pa je skupinovodja. V primeru standardnih postopkov lahko koordinator izda tudi trajno dovoljenje za DPN (Pristovnik, 2019).

Pred začetkom vsakega dela mora odgovorni vodja del sporočiti stanje naprave in začetek del v dispečerski center (DCV). To sporočilo zagotavlja, da so vsi vpleteni v sistemu obveščeni o aktivnostih, kar prispeva k varnosti in preprečevanju nesreč. Prav tako je dolžnost odgovornega vodje, da obvesti DCV, če dela pod napetostjo po predpisanem nalogu ne bodo izvedena (Pristovnik, 2019).

Vsa dokumentacija in komunikacija med odgovornimi osebami sta ključni za dosledno in varno izvajanje del pod napetostjo. Tako se zagotavlja, da se vsa dela izvedejo brez nepotrebnega tveganja za delavce in da se električno omrežje ohrani v optimalnem stanju za uporabnike (Pristovnik, 2019).



Slika 14: Diagram poteka delovnih dokumentov za DPN
(Vir: Lovrenčič, 2020)

7 PRAKTIČNA PREDNOST METODE DPN V PRIMERJAVI S KLASIČNIMI METODAMI VZDRŽEVANJA

Delo pod napetostjo (DPN) predstavlja eno izmed najpomembnejših in najučinkovitejših metod vzdrževanja elektroenergetskih omrežij, saj ima neposreden vpliv na zanesljivost oskrbe z električno energijo.

Ključna prednost DPN je sposobnost izvajanja vzdrževanja in popravila brez prekinitve napajanja, kar neposredno izboljšuje učinkovitost omrežja. Tradicionalne metode vzdrževanja pogosto zahtevajo načrtovane izklopne intervale, ki vodijo v motnjo dobave, kar lahko povzroči škodo pri končnih uporabnikih in poslovne izgube. Z DPN pa lahko elektrodistribucijska podjetja nadaljujejo delo na aktivnih omrežjih, s čimer omogočijo neprekinjeno oskrbo, kar ima izjemen pomen za uporabnike, ki so odvisni od konstantnega in zanesljivega napajanja.

7.1 Pomen kazalnikov SAIDI in SAIFI za učinkovitost elektrodistribucijskih omrežij

Kazalniki učinkovitosti, najpogosteje uporabljena **SAIDI** («System Average Interruption Duration Index») in **SAIFI** («System Average Interruption Frequency Index»), so globalno priznani standardi za ocenjevanje stabilnosti dobave električne energije. Kazalnik SAIDI meri povprečni skupni čas izpadov na leto, ki ga doživi povprečni odjemalec, in je ključen za ocenjevanje dolgotrajnosti izpadov v določenem distribucijskem omrežju. Na drugi strani kazalnik SAIFI meri povprečno število izpadov, ki jih odjemalci doživijo v določenem časovnem obdobju (običajno na letni ravni), in je dober pokazatelj pogostosti prekinitev oskrbe. Oba kazalnika skupaj ponujata celovit vpogled v kakovost elektroenergetske oskrbe, saj upoštevata tako trajanje kot pogostost izpadov, kar elektrodistribucijskim podjetjem omogoča spremljanje in izboljševanje zanesljivosti omrežja (Michigan Public Service Commission, 2024).

Delo pod napetostjo (DPN) ima ključno vlogo pri izboljšanju teh kazalnikov. Z zmanjševanjem potrebe po načrtovanih izklopih omrežja in zmožnostjo hitrega reševanja izrednih popravil, ne da bi bilo treba izklopiti omrežje, lahko elektrodistribucijska podjetja učinkovito znižajo vrednosti SAIDI in SAIFI. Manj prekinitev pomeni krajše trajanje izpadov in manjšo frekvenco prekinitev za odjemalce, kar je še posebej pomembno v sodobnem tehnološkem okolju, kjer so mnogi odjemalci močno odvisni od neprekinjene oskrbe z električno energijo. Sektorski uporabniki, kot so IT infrastrukture, bolnišnice, proizvodni obrati in trgovske

verige, pogosto ne morejo prenašati niti kratkotrajnih izpadov, saj lahko vodijo v izgubo podatkov, upad produktivnosti, finančne izgube ali celo ogrozijo varnost bolnikov v kritičnih sektorjih, kot je zdravstvo (Michigan Public Service Commission, 2024).

Zmanjšanje pogostosti in trajanja prekinitev ima neposreden vpliv na kakovost storitev elektrodistribucijskih podjetij. Manj prekinitev vodi v manjše število pritožb odjemalcev, kar zmanjšuje potrebo po povračilnih ukrepih ali kompenzacijah, ki jih morajo podjetja pogosto izvajati, kadar pride do izpadov. Poleg tega večja zanesljivost dobave električne energije krepi dolgoročno zaupanje odjemalcev v elektrodistribucijska podjetja, saj se odjemalci vse bolj zanašajo na stalno dobavo električne energije. V okolju, kjer postaja kakovost oskrbe z električno energijo ključni dejavnik konkurenčnosti med ponudniki, ima zmanjšanje prekinitev pomemben vpliv na ugled podjetij in njihov položaj na trgu (Michigan Public Service Commission, 2024).

Poleg tega boljša zanesljivost oskrbe in manjše vrednosti SAIFI in SAIDI ne prinašajo le koristi za poslovne odjemalce, temveč tudi zmanjšujejo negotovost za gospodinjstve uporabnike. Pri gospodinjstvih so prekinitve oskrbe pogosto povezane z neprijetnostmi, kot so izpadi delovanja naprav, izguba hrane zaradi okvare hladilnikov in zamrzovalnikov ter zmanjšana zmožnost komunikacije in dela na daljavo. Krajši izpadi ali celo popolna odprava nenačrtovanih prekinitev zaradi DPN zmanjšujejo te nevšečnosti, kar še dodatno prispeva k pozitivni uporabniški izkušnji.

Na širši ravni pa imajo izboljšani kazalniki SAIDI in SAIFI pozitiven vpliv tudi na energetski sektor kot celoto. Zanesljivo in stabilno elektroenergetsko omrežje je ključnega pomena za spodbujanje gospodarskega razvoja, privabljanje tujih investicij in podporo trajnostnim rešitvam, kot so obnovljivi viri energije. Tako lahko DPN s svojo sposobnostjo zmanjševanja izpadov in povečanja učinkovitosti prispeva tudi k večji energetski stabilnosti in odpornosti omrežij na dolgoročne izzive, kar je bistvenega pomena za prihodnost elektroenergetike (Michigan Public Service Commission, 2024).

8 ZAKLJUČEK

V zaključku diplomskega dela ugotavljam, da je delo pod napetostjo (DPN) na nizkonapetostnih omrežjih izjemno pomembno za zagotavljanje nemotene oskrbe z električno energijo in učinkovito vzdrževanje elektroenergetskih sistemov. DPN omogoča vzdrževanje in popravila brez prekinitev, kar je še posebej pomembno za kritične uporabnike. Optimiziranje stroškov, zanesljivost oskrbe in število izpadov prispevajo k večji učinkovitosti omrežij. Delo na distribucijskem omrežju se kljub možnostim, ki ponujajo delo pod napetostjo, izvaja nerazumljivo redko. Že nekajurni izklop električne energije pogosto povzroča nezadovoljstvo med ljudmi, kar je popolnoma razumljivo. V današnjem času, ko smo močno odvisni od stalne oskrbe z električno energijo, bi lahko kar nekaj del opravili brez nepotrebnih izklopov.

V delu sem analiziral različne metode DPN, ter izpostavil prednosti in slabosti vsake od teh metod. Poseben poudarek je bil namenjen varnosti delavcev, saj sta pravilna uporaba osebne varovalne opreme in upoštevanje varnostnih standardov bistveno zmanjšala tveganje, povezano z električnimi udarci in drugimi nevarnostmi. DPN prav tako izboljšuje kazalnike učinkovitosti distribucijskih omrežij, kot sta SAIDI in SAIFI, saj omogoča vzdrževanje brez načrtovanih izklopov. Skupno lahko sklepam, da pravilna in varna uporaba DPN pomembno prispeva k optimizaciji elektroenergetskih omrežij.

9 LITERATURA IN VIRI

10 common causes od art flash and other electrial accidents (2017). Nova Pazova: Electrical engineering portal. Pridobljeno dne 30. 7. 2024 z naslova <https://electrical-engineering-portal.com/10-common-causes-of-arc-flash-and-other-electrical-accidents>

Aeropower services (2024). Queensland: Aeropower. Pridobljeno dne 20. 7. 2024 z naslova <https://aeropower.com.au/services/live-line-inspection-testing-services/>

Bare hand live-line work (2024). Paruzzaro: Carrarotecno. Pridobljeno dne 9. 9. 2024 z naslova <https://carrarotecno.com/bare-hand-live-line-work/>

Bunc, R. (2000). *Varnost v operacijskih dvoranah*. Pridobljeno 10. 6. 2024 z naslova <https://fundacija-avgustakuharja.si/wp-content/uploads/2020/10/2000-diploma-Rudi-Bunc-web.pdf>

Distribution system reliability metric (2024). Lansing: Michigan Public Service Commission. Pridobljeno dne 11. 9. 2024 z naslova <https://www.michigan.gov/mpsc/consumer/electricity/distribution-system-reliability-metrics>

Hubbell power systems delivers it's first barehand training in spain in collaboration with kolab ensayos (2021). Madrid: Kolabensayos. Pridobljeno dne 9. 9. 2024 z naslova <https://kolabensayos.com/en/hubbell-power-systems-delivers-its-first-barehand-training-in-spain-in-collaboration-with-kolab-ensayos/>

Izvajanje dela pod napetostjo na nizki napetosti (2013). Ljubljana: Naš stik. Pridobljeno dne 21. 7. 2024 z naslova <https://www.nas-stik.si/novice/izvajanje-dela-pod-napetostjo-na-nizki-napetosti>

Live line working 1969 (2014). London: British Pathe. Pridobljeno dne 26. 8. 2024 z naslova <https://www.youtube.com/watch?v=ErPMZqNx9DU>

Live working (2023). Budimpešta: Elstatics. Pridobljeno dne 26. 8. 2024 z naslova <https://elstatics.com/live-working/>

Live line working (2024). San Francisco: Wikipedia. Pridobljeno dne 20. 7. 2024 z naslova https://en.wikipedia.org/wiki/Live-line_working

Live stick method (2017). Viktorija: Powerline Training. Pridobljeno dne 9. 9. 2024 z naslova

<https://powerlinetraining.com.au/course/live-stick-method/>

Loew, A. (2019). *Do electrical insulated gloves expire?* Pridobljeno dne 18. 8. 2024 z naslova <https://www.linkedin.com/pulse/do-electrical-insulated-gloves-expire-alex-loew>

Lovrenčič, V. (2009). *Varovanje okolja in varstvo pri delu*. Ljubljana: Zavod IRC

Lovrenčič, V. in Lušin, M. (2015). *Varovanje električarjev pred oblokom v skladu s priporočili SIST EN 50110-1: 2013 obratovanje električnih postrojev*. Pridobljeno dne 13. 6. 2024 z naslova <https://www.cigre-cired.si/referat/varovanje-elektricarjev-pred-oblokom-v-skladu-s-priporocili-sist-en-50110-12013-obratovanje-elektricnih-postrojev/>

Lovrenčič V., Maletic D., Brezavscek A., Pantos M. (2016). *Raziskava učinkov dela pod napetostjo na nizki napetosti med slovenskimi vzdrževalci električnih inštalacij in postrojev*. Dubaj: University of Wologong in Dubai papers. Pridobljeno dne 13. 6. 2024 z naslova

<https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1841&context=dubaipapers>

Lovrenčič, V. (2018). *Učinki dela pod napetostjo kot metode vzdrževanja električnih inštalacij*, Doktorska disertacija, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede.

Lovrenčič, V. (2020). *Program za delo pod napetostjo za področje meritev KEE (nameščanje merilnih garnitur) in program za delo pod napetostjo za menjavo števecv električne energije*. Ljubljana: C&G d. o. o Ljubljana.

Magstadt, A. (2024). *How and why do basin electric linemen barehand 345,000-volt power lines?*(2024). Pridobljeno dne 25. 7. 2024 z naslova

<https://www.basinelectric.com/News-Center/Live-wire-posts/How-and-why-do-Basin-Electric-linemen-barehand-345,000-volt-power-lines>

Pristovnik J. (2019). *Izvajanje dela pod napetostjo na nizkonapetostnih inštalacijah*. Diplomsko delo, Ljubljana: ICES, višja strokovna šola.

Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka (1992). Pridobljeno dne 26. 8. 2024 z naslova <https://pisrs.si/prehledPredpisa?id=PRAV36>

Safety tips for working with low voltage (2024). Modesto: Industrialelectricalco. Pridobljeno dne 26. 7. 2024 z naslova <https://industrialelectricalco.com/blog/safety-tips-for-working-with-low-voltage/>

Uvajanje dela pod napetostjo v Elektru Ljubljana za zmanjšanje prekinitev dobave električne energije (2011). Ljubljana: Elektro Ljubljana. Pridobljeno dne 26. 7. 2024 z naslova <https://www.elektro-ljubljana.si/obvestila/ArtMID/920/ArticleID/1082/uvajanje-dela-pod-napetostjo-v-elektru-ljubljana-za-zmanjsanje-prekinitev-dobave-elektricne-energije>

Varnost in zdravje pri delu (2024). Ljubljana: Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti. Pridobljeno dne 9. 8. 2024 z naslova <https://vzd.mddsz.gov.si/varnost-in-zdravje-pri-delu/informacije-potemah/ocenjevanje-tvegania>

Zakon o varnosti in zdravju pri delu (2011). Ljubljana: Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve. Pridobljeno 10. 6. 2024 z naslova <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=ZAKO5537>