VZDRŽEVALEC

Številka 211-212, januar-marec 2025



https://v3smarttech.com/blog/how-predictive-maintenance-can-benefit-ev-owners/

DRUŠTVO VZDRŽEVALCEV SLOVENIJE
DVS

VZDRŽEVANJE
2025

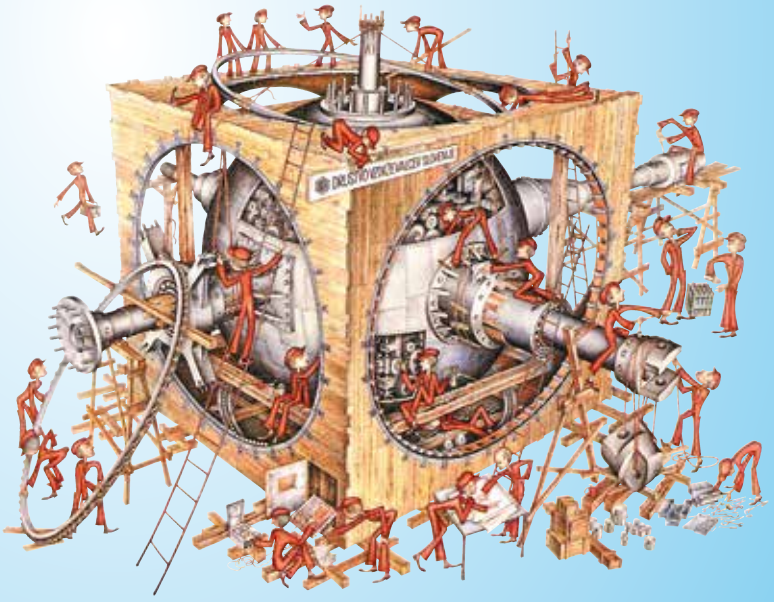


Redna skupščina DVS z uvodnim predavanjem »VZDRŽEVANJE GRADBENIH OBJEKTOV«
in
30. TPVS, Dan vzdrževanja ob 50. obletnici DVS

Osrednja tema:
VZDRŽEVANJE V ELEKTROENERGETIKI

- Vzdrževanje v elektroenergetiki – koncepti, metode, vzdrževalna dela in opravila
- Varno vzdrževanje električnih vozil
- Pregledi in vzdrževanje fotonapetostnih sistemov, priključenih na omrežje v skladu z zahtevami predpisov in standardov v RS

50 LET DVS



DVS OD LETA 1975

www.drustvo-dvs.si

e-mail: tajnik@drustvo-dvs.si

tel: 041 387 432

DRUŠTVO VZDRŽEVALCEV SLOVENIJE
DVS

VZDRŽEVALEC 211–212
januar–marec 2025

ISSN 1318-2625

Vzdrževalec je revija Društva vzdrževalcev Slovenije.

Izhaja najmanj 2x in največ 4x letno.

Ustanovitelj in izdajatelj:
Društvo vzdrževalcev Slovenije
Stegne 21 c, 1000 Ljubljana

Naslov uredništva:
DVS, Stegne 21 c
1000 Ljubljana

Uredniški odbor:
Člani:
mag. Viktor Jemec, urednik
mag. Ivan Božič, član
Kamilo Domitrovič, član
dr. Matjaž Maletič, član
Helena Mladenović Jerman, članica
dr. Jože Pihler, član
Bojan Šinkovec, član

Tehnični urednik: Darko Cafuta

Lektoriranje:
Nuša Fujan, prof.

Oblikovanje in priprava za tisk:
Vanja Dolhar

Tisk:
SCHWARZ PRINT d. o. o.
Ljubljana

Naklada:
600 izvodov

Na podlagi Zakona o davku na dodano vrednost sodi revija med proizvode, za katere se obračunava in plačuje davek na dodano vrednost po stopnji 5 %.

Identifikacijska številka:
SI21189455

Transakcijski račun:
02017-0016297854

BESEDA UREDNIKA



Spoštovani člani društva in bralci!

Spremembe v vodstvu in vseh organih našega društva DVS prinašajo živahnost in nove priložnosti za naše člane. Izvršni odbor DVS se seli s svojimi sestanki po podjetjih članov IO, tako smo gostovali že v Alpcemu v Anhovu, v NEK-u v Krškem in Papirnici Vevče v Ljubljani. Predsednik se s svojo ekipo trudi iskati inovativne in uspešne rešitve problemov za povečevanje prepoznavnosti in nudenje strokovnih znanj in ostalih pomoči, ki bi dodatno okrepile našo vlogo v industriji in storitvah. Zelo aktiven je Programski svet, ki s svojimi skupinami vključuje strokovnjake različnih strok in širi dejavnosti vzdrževanja in obvladovanja premoženja v slovenski prostor. Preoblikuje se tudi naša spletna stran, ki jo ureja naša mlada ekipa HP.

Vabimo vas, da se pridružite našim prizadevanjem in se nam priključite. Naredimo še več za boljšo prihodnost in boljše vzdrževanje, ki je sicer v teh časih dokaj nestabilno, a bo temeljilo na sodelovanju, izmenjavi znanj in izkušenj. Na Linkedinu je že povezanih precej različnih strokovnjakov in podjetij, da ustvarimo še močnejšo strokovno in v smislu Industrije 5.0 tudi človeku namenjeno skupnost, ki bo sposobna učinkovito reševati nove izzive in priložnosti, ki jih prinaša sodobna industrija.

Naša naloga je, da vam nudimo podporo, izobraževanje in priložnosti za mreženje, ki bodo pripomogle k uspehu vašega dela. Skupaj lahko dosežemo veliko, zato vas spodbujamo, da se aktivno vključite in postanete del te dinamične skupnosti.

V tej številki revije smo se osredotočili na vzdrževanje na elektroenergetskem področju, s tega področja objavljamo največ člankov.

Ker strojno učenje in umetna inteligenca vse bolj prodirata na skoraj vsa področja, smo podali tudi članek na to temo. Seveda pa nismo pozabili tudi na varstvo pri delu in merjenje vibracij.

Še vedno pogrešamo več člankov dobre prakse in se priporočamo, da nam jih pošljete čim več, ker bodo mnogim koristili.

Zelo živahno in napeto je bilo v uredniškem odboru, v katerem smo pridobivali članke za revijo Vzdrževalec, ki bo izšla v treh mesecih kar v dveh izdajah, kar je precejšen zalogaj za prostovoljno društvo vzdrževalcev. Najprej smo obravnavali revijo Vzdrževalca št. 211-212, ki izide **pred skupščino 26. marca 2025**, nato pa še ob 50. obletnici DVS izdajo revije št. 213-214, ki bo na voljo pred **Dnevom vzdrževanja 10. aprila 2025**, ko bodo strokovnjaki s področja vzdrževanja predstavili svoja predavanja tako v živo v dvorani Celjanka na Mednarodnem industrijskem sejmu v Celju (MIS 2025) kot tudi v reviji Vzdrževalec.

Prijetne dneve na prehodu v pomlad, ponosno praznovanje 50. obletnice Društva vzdrževalcev Slovenije in 30. obletnice Tehniškega posvetovanja vzdrževalcev Slovenije

vam želimo vodstvo društva,
člani organov DVS in člani uredniškega odbora ter
urednik revije, mag. Viktor Jemec.

KAZALO

3 mag. Viktor Jemec
UVODNIK

8 dr. Viktor Lovrenčić
KOLUMNA

9 dr. Viktor Lovrenčić
VABILO NA REDNO SKUPŠČINO DVS

10 mag. Drago Bokal, prof. dr. Jože Pihler, mag. Rado Ferlič in mag. Saša Jamšek
VZDRŽEVANJE V ELEKTROENERGETIKI – KONCEPTI, METODE, VZDRŽEVALNA DELA IN OPRAVILA

24 dr. Viktor Lovrenčić in Ana Lovrenčič, mag.
VARNO VZDRŽEVANJE ELEKTRIČNIH VOZIL

33 mag. Drago Pavlič in Boštjan Meža
PREGLEDI IN VZDRŽEVANJE FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV, PRIKLJUČENIH NA OMREŽJE V SKLADU Z ZAHTEVAMI PREDPISOV IN STANDARDOV V RS

52 **PROGRAM 30. TPVS, CELJSKI SEJEM 10. 4. 2025**

54 dr. Hasan Avdić, mag. Viktor Jemec in Alma Avdić
OPTIMIZACIJA RAZPOLOŽLJIVOSTI Z UMETNO INTELIGENCO (UI)

63 mag. Ivan Božič
NEVARNOST ELEKTROSTATIKE V EKSPLOZIJSKO OGROŽENIH PROSTORIH

70 Jovan Jovanović
METODE TEHNIČNE DIAGNOSTIKE ROTACIJSKIH STROJEV

75 Kamilo Domitrovič
SERVISIRANJE GOSPODINJSKEGA STROJA

77 mag. Andrej Androjna
AKTIVNOSTI PROGRAMSKEGA SVETA DVS

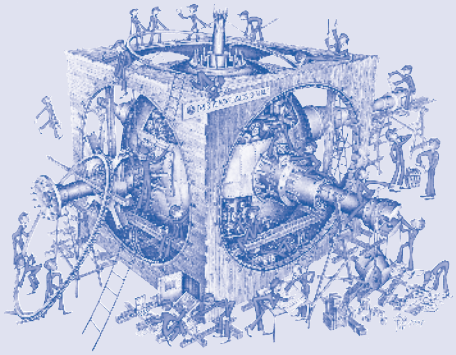
78 Janez Tomažin
NAŠE DRUŠTVO DVS JE PREKO SVOJIH PREDSTAVNIKOV ZELO AKTIVNO V EFNSM, GFMAM IN WPiAM

80 mag. Viktor Jemec
UREDNIŠKI ODBOR REVIJE VZDRŽEVALEC NA ZVD

81 mag. Viktor Jemec
IZOBRAŽEVANJE JE KLJUČ DO USPEHA

83 mag. Viktor Jemec
DVS NA STROKOVNEM SEJMU IFAM – INTRONIKA – ROBOTICS 2025

84 dr. Mateja Dovjak
POROČILO SLOVENSKEGA DRUŠTVA ZA AKUSTIKO (SDA)



NAVODILA AVTORJEM

Vsak članek naj bo po vsebini zaključena celota, tudi če je v nadaljevanjih, in naj ne presega osem tipkanih strani v urejevalniku teksta Word, stil Arial, font 11. Članke pošiljajte po elektronski pošti na uredništvo revije: tajnik@drustvo-dvs.si.

Vse skice, fotografije, načrte in ostalo slikovno gradivo lahko pošljete po pošti na naslov DVS, Stegne 21 c, 1000 Ljubljana. Zaradi možnih napak pri konverziji člankov, poslanih po elektronski pošti, priložite k slikovnemu gradivu tudi izpis članka na vašem tiskalniku. Vse fotografije in skice, ki jih imate vključene v urejevalniku, obvezno pošljite na CD-ju ali po elektronski pošti posebej.

Članki morajo biti v uredništvu vsaj 20 dni pred izdajo revije. Za vsebino, ki naj bo namenjena vzdrževalni stroki, odgovarjajo avtorji sami.

Članki morajo na začetku vsebovati naslov, navedbo ključnih besed in kratek povzetek (nekaj stavkov) v slovenskem in angleškem jeziku. Avtorji naj k članku priložijo tudi osebno fotografijo. Ob koncu članka naj obvezno navedejo strokovno literaturo, svoje ime in priimek ter podjetje, kjer so zaposleni. Navodila avtorjem so podrobno navedena tudi na http://www.drustvo-dvs.si/.

Za izplačilo honorarja preko avtorske agencije potrebujemo od avtorja še naslednje podatke: kraj bivališča, davčno številko, številko transakcijskega računa in banko, pri kateri je ta odprt, telefon in naslov elektronske pošte.

KONTAKTI DRUŠTVA

E-pošta: **tajnik@drustvo-dvs.si**
revija@drustvo-dvs.si

- Vsak dan na mobilni telefon **041 387 432**.
- Internet naslov: **http://www.drustvo-dvs.si/**.

POVZETKI ČLANKOV

mag. Drago Bokal, prof. dr. Jože Pihler, mag. Rado Ferlič in mag. Saša Jamšek

VZDRŽEVANJE V ELEKTROENERGETIKI – KONCEPTI, METODE, VZDRŽEVALNA DELA IN OPRAVILA

Vzdrževanje je področje, ki je organsko povezano z vsemi dejavnostmi in prizadevanji človeške družbe. To še zlasti velja za tehnične dejavnosti, za katere je v preteklosti vzdrževanje opravljalo naloge, potrebne za ohranjanje nemotenega delovanja posameznih sistemov, kar še zlasti velja za proizvodne (industrijske) sisteme. Vsaka dejavnost pa teži k vzpostavitvi teoretičnega ozadja, ki bo omogočalo pravilno razumevanje, učinkovito izvajanje in nenehen razvoj. V ta namen je oblikovana teoretična podlaga, ki temelji na vzpostavitvi koncepta, metod in del (opravil) na področju vzdrževanja. Ta pristop nam zagotavlja boljše razumevanje procesov vzdrževanja, vpogled v hierarhično strukturo procesov, njihovo razčlenitev in vpliv na vzdrževanje ter tudi vzorčne povezave med delom na posameznih napravah in njihovim stanjem. Tako je zagotovljena pomembna vez med procesom vzdrževanja in kadri, ki so v ta proces vključeni. Poudariti je treba, da je vloga kadrov pri tem bistvenega pomena, saj so ti sposobni zagotavljati visok nivo kakovosti opravljenih del le, če so nenehno vključeni v procese izvajanja bodisi vzdrževalnih bodisi investicijskih del. Prav tako je pomemben dejavnik enotno in čim bolj enopomensko uporabljano izrazje, kar zagotavlja učinkovito medsebojno sporazumevanje v procesu sodelujočih kadrov in kaže na urejenost posameznega področja.

Ključne besede: *vzdrževanje v preteklosti, zakonodaja in standardi s področja vzdrževanja, koncepti vzdrževanja, metode vzdrževanja, vzdrževalna dela (opravila), preventivno (preprečevalno) vzdrževanje, korektivno (popravljalno) vzdrževanje, učinkovitost in uspešnost vzdrževanja.*

Št. članka: *1200*

dr. Viktor Lovrenčić in Ana Lovrenčič

VARNO VZDRŽEVANJE ELEKTRIČNIH VOZIL

Učinkovita raba energije je ključnega pomena za zagotavljanje boljših življenjskih pogojev sedanjim in bodočim generacijam. Vse večje potrebe po energiji ter naraščajoč vpliv lokalnega in globalnega onesnaževanja zahteva trajnostne in učinkovite ukrepe. Posebna pozornost je usmerjena v sektor prometa, saj je eden največjih porabnikov končne energije in eden večjih onesnaževalcev okolja. Elektromobilnost je le eden od smiselnih ukrepov za izničenje negativnih učinkov zaradi naraščajočega števila vozil.

Hitro uvajanje elektromobilnosti v sektor prometa v Sloveniji je za obratovanje elektroenergetskega sistema velik izziv. Elektromobilnost in infrastruktura za polnjenje električnih vozil sta v fazi razvoja. Ojačitev predvsem distribucijskega omrežja je nujna, kar je velik finančni in časovni infrastrukturni izziv. Brez nadzora nad polnjenjem električnih vozil bo prišlo do preobremenitev. S tem izzivom se aktivno ukvarjajo stroka, od snovalcev razvoja omrežja do proizvajalcev polnilnic, kot tudi državni organi, inštituti ter drugi zainteresirani deležniki.

Žal je v Sloveniji drugi vidik elektromobilnosti, varnosti in zdravja delavcev še posebej zanemarjen v sektorju nastajajočih proizvajalcev električnih vozil (npr. avtobusov ali osebnih vozil) in tudi že v številnih delujočih servisih električnih vozil vseh tipov, od osebnih vozil do večjih porabnikov, kot so tovornjaki in avtobusi.

Ugotoviti je potrebno, da s stališča varnosti in zdravja delavcev v Sloveniji obstaja velika vrzel, saj ni oblikovanega zakonskega okvira niti uradnih stališč oz. navodil za varno delo. Dosegljivi so nekateri javno objavljeni tuji dokumenti in številna interna navodila proizvajalcev električnih vozil, ki so v glavnem internega poslovnega značaja in večinoma niso dostopna strokovni javnosti. Obstajajo primeri dobre prakse, kot npr. ko se interno usposabljanje serviserjev električnih vozil podpre s strokovnim usposabljanjem s področja varnosti pred nevarnostjo električnega toka, dotika in električnega obloka.

Ključne besede: *elektromobilnost, električna vozila, servisiranje, električni udar in oblok, varnost vzdrževalcev pri delu, nič nezgod*

Št. članka: *1201*

mag. Drago Pavlič in Boštjan Meža

PREGLEDI IN VZDRŽEVANJE FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV, PRIKLJUČENIH NA OMREŽJE V SKLADU Z ZAHTEVAMI PREDPISOV IN STANDARDOV V RS

V Sloveniji je vsako leto zgrajenih več fotonapetostnih sistemov, ki pred zagoni in med samim obratovanjem potrebujejo redna preverjanja in vzdrževanje skladno z veljavnimi predpisi in standardi. V članku so predstavljene zahteve glede pregledov in vzdrževanja fotonapetostnih sistemov z uporabo zahtev Tehnične smernice TSG-N-002:2021 Nizkonapetostne električne inštalacije, ki določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za dosego zahtev Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 140/21). Prav tako so podane ključne zahteve slovenskega standarda SIST EN 64446-1:2016/A12018 – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 1. del: Sistemi, priključeni na omrežje – Zahteve za dokumentacijo, ki ga v svojih referenčnih dokumentih citira tudi tehnična smernica TSG-N-002:2021, katerega vsebina je premalo prepoznana in se v praksi skoraj ne uporablja, še posebej ne pri manjših fotonapetostnih elektrarnah, na kar je v članku posebej opozorjeno s primeri iz prakse.

Še posebej pa se vzdrževalci in obratovalci premalo zavedajo, da obstajajo tudi podrobno opredeljene zahteve in napotki v zvezi z vzdrževanjem fotonapetostnih sistemov, ki jih opredeljuje slovenski standard SIST

CENE OGLASOV

Cenik oglaševanja v reviji Vzdrževalec velja od marca 2019 (vse cene so v EUR, brez DDV):

Pozicija in dimenzija oglasa	Cena
Naslovnica A4	580
Zadnja stran A4	365
Druga in predzadnja stran A4	320
Notranja stran A4	280
Notranja stran A5	200
Notranja stran 1/3	110
Reklamni članek A4	140
Reklamni članek A5	100
Vložni list v revijo (različne dimenzije)	300
Ostale oblike oglaševanja (po želji naročnika)	po dogovoru
Objava logotipa na koledarju (enojni, dvojni, trojni)	380 / 700 / 1.000
Cene veljajo v letu 2025.	

Vsem, ki bodo v letu 2025 v naši reviji objavili več kot en oglas, za objavo oglasa v dveh številkah revije ponujamo 10%, za letni zakup oglasnega prostora v vseh številkah pa 15% popusta!

Naročila za oglaševanje sprejemamo po mailu, telefonu ali osebno na zgoraj navedenih naslovih, 30 dni pred izdajo. Oglase v ustreznem formatu (.TIF, .JPG, .EPS, …) in ločljivosti najmanj 300 dpi sprejemamo do 15 dni pred objavo. Oglase vam lahko tudi oblikujemo; cena oblikovanja oglasa formata A4 je 126 €, formata A5 pa 85 €. Cene veljajo od 28. 3. 2019.

EN IEC 62446-2:2020 Fotonapetostni sistemi – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 2. del: Sistemi, priključeni na omrežje – Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov.

Zahteve obeh standardov so navedene kot minimalni nabor zahtev ob prevzemu in med obratovanjem za zanesljivo in dolgotrajno varno obratovanje, zagotavljanje požarne varnosti in ustrezno vzdrževanje fotonapetostnih sistemov, priključenih na omrežje, z namenom ohranjanja življenjske dobe in načrtovane proizvodnje, kar pa je danes vse preveč prepuščeno laikom – lastnikom in nepoučenim izvajalcem tovrstnih projektov, ki se premalo zavedajo zakonskih obveznosti.

Ključne besede: *vzdrževanje fotonapetostnih sistemov, pregledi fotonapetostnih sistemov, požarna varnost, FNE, SIST EN 64446-1, SIST EN IEC 64446-2:2020, TSG-N-002:2021 …*

Št. članka: *1202*

Dr. Hasan Avdić, mag. Viktor Jemec in Alma Avdić

OPTIMIZACIJA RAZPOLOŽLJIVOSTI Z UMETNO INTELIGENCO (UI)

V skladu s standardom SIST EN 13306 : 2018 »razpoložljivost predstavlja zmožnost predmeta/elementa, da je v določenih pogojih v stanju, ko lahko deluje, kakor in kadar se to od njega zahteva, ob predpostavki, da so na voljo potrebni zunanji viri«.

Ta zmožnost je odvisna od kombiniranih vidikov zanesljivosti, udobja vzdrževanja, vračila predmetov in podpore pri vzdrževanju. Zahtevani zunanji viri, razen virov za vzdrževanje, ne vplivajo na razpoložljivost izdelka, čeprav z vidika uporabnika morda ni na voljo. Razpoložljivost se lahko količinsko opredeli z ustreznimi ukrepi ali kazalniki, da lahko izrazimo učinek razpoložljivosti.

Umetna inteligenca (ang. Artificial Intelligence UI) se nanaša na razvoj računalniških sistemov, ki lahko opravljajo naloge, ki običajno zahtevajo človeško inteligenco, kot so vizualno zaznavanje, prepoznavanje govora, odločanje in razumevanje naravnega jezika. Umetna inteligenca je hitro razvijajoče se področje, ki ima potencial za preoblikovanje številnih industrij in vidikov vsakdanjega življenja.

Optimizacija razpoložljivosti z uporabo umetne inteligence se nanaša na izboljšanje sposobnosti sistema, opreme ali storitve, da deluje in je na voljo, ko je to potrebno. To vključuje zmanjšanje odpovedi, napovedovanje in hitro odpravljanje napak.

Namen prispevka je z uporabo študije primera prikazati možnost optimizacije razpoložljivosti z uporabo umetne inteligence.

Ključne besede: *razpoložljivost, optimizacija, umetna inteligenca*

Št. članka: *1203*

mag. Ivan Božič

NEVARNOST ELEKTROSTATIKE V EKSPLOZIJSKO OGROŽENIH PROSTORIH

Elektrostatične naelektritve nastanejo na več načinov in so na mnogih področjih v glavnem moteč in nezaželen, v eksplozijsko ogroženih prostorih pa lahko tudi zelo nevaren pojav. S stališča protieksplozijske zaščite so nevarne predvsem hitre razelektritve, saj sproščena energija lahko presega najmanjšo vžigno energijo eksplozivnih zmesi.

Ukrepi za odpravo in omejitve nevarnosti in posledičnih tveganj zaradi elektrostatičnih naelektritev na povsem nenevarno stopnjo so velikokrat iz praktičnih in ekonomskih razlogov nesprejemljivi. Če se dopuščajo procesi z elektrostatičnimi naelektritvami, ki so potencialno nevarne, je treba ob tem dosledno izvajati vse potrebne zaščitne ukrepe, ki preprečujejo nevarne razelektritve.

Ključne besede: *elektrostatika, naelektritev, razelektritev, ozemljitev, protieksplozijska zaščita*

Št. članka: *1204*

Jovan Jovanović

METODE TEHNIČNE DIAGNOSTIKE ROTACIJSKIH STROJEV

Industrija se v zadnjem desetletju sooča z vse večjimi izzivi, ki jih prinaša potreba po energetski učinkovitosti, zmanjševanju nenačrtovanih zastojev in podaljšanju življenjskega cikla strojev.

Veliko se lahko naučimo iz poročila „MORE4CORE" ((Maintenance, Overhaul and Repair for Competitiveness of the NWE Region). Poročilo obravnava ključne izzive, s katerimi se sooča industrija v severozahodni Evropi. Ugotovitve obsežne študije kažejo na pomembnost prediktivnega vzdrževanja, tehnične diagnostike in poudarjajo razlike med najboljšimi izvajalci in zaostalimi, ki se odražajo v dolgoročnih stroških in učinkovitosti.

Ključne besede: *vzdrževanje, diagnostika, PF-krivulja, vibracije, ultrazvok*

Št. članka: *1205*

ABSTRACTS

mag. Drago Bokal, prof. dr. Jože Pihler, mag. Rado Ferlič and mag. Saša Jamšek

MAINTENANCE IN ELECTRIC POWER SYSTEM – CONCEPTS, METHODS, MAINTENANCE WORKS AND TASKS

Maintenance is organically connected with all activities of human society. This is especially important for technical activities where maintenance is necessary to guarantee uninterrupted operation of industrial systems. Each technical field strives for establishment of theoretical foundations, which enable correct understanding, efficient task performance and enables development. On the grounds of these motivations, theoretical concepts of maintenance are presented. This enabled better understanding of maintenance, insight in the hierarchy of process structure, their categorization and effects on maintenance and cause-effect links between maintenance tasks on specific devices and their state. The link between personnel and maintenance tasks is established, whose role is very important as the quality of performed maintenance tasks is significantly dependent on them. Another important aspect is the usage of unambiguous and unified terminology for efficient communication between personnel.

Keywords: *maintenance in the past, legislation and standards from the field of maintenance, maintenance concepts, maintenance methods, maintenance tasks, preventive maintenance, corrective maintenance, maintenance efficiency and performance.*

Article No: *1200*

dr. Viktor Lovrenčić and Ana Lovrenčič

SAFE MAINTENANCE OF ELECTRIC VEHICLE

Efficient energy use is crucial for ensuring better living conditions for current and future generations. The increasing need for energy and the growing impact of local and global pollution require sustainable and effective measures. Special attention is focused on the transport sector, as it is one of the largest energy consumers and one of the largest environmental pollutants. Electromobility is just one of the sensible measures to eliminate the negative effects of the growing number of vehicles.

The rapid introduction of electromobility into the transport sector in Slovenia is a major challenge for the operation of the electricity system. The infrastructure for charging electric vehicles are in the development phase. Strengthening the distribution network is essential, which is a major financial and time-consuming infrastructure challenge. Without control over the charging of electric vehicles, overloads will occur. This challenge is actively addressed by professionals from network development designers to charging station manufacturers, as well as state authorities, institutes and other interested stakeholders.

Unfortunately, in Slovenia, another aspect of electromobility, worker safety and health, is particularly neglected in the sector of emerging electric vehicle manufacturers (e.g. buses or cars) as well as in the

numerous already operating electric vehicle repair shops of all types, from cars to larger consumers such as trucks and buses.

It should be noted that from the point of view of the safety and health of workers in Slovenia, there is a large gap, as there is no legal framework, official positions or instructions for safe work. Some published foreign documents are available, and there are numerous internal instructions of electric vehicle manufacturers, which are mainly of an internal business nature and are mostly not accessible to the professional public. There are examples of good practice where internal training of electric vehicle repairers is supported by professional training in the field of safety against the dangers of electric current, contact and electric arc.

Keywords: *electromobility, electric vehicles, servicing, electric shock and arc, safety maintenance, zero accidents*

Article No: *1201*

mag. Drago Pavlič and Boštjan Meža

INSPECTION AND MAINTENANCE OF PHOTOVOLTAIC GRID CONNECTED SYSTEMS ACCORDANCE WITH THE APPLICABLE REGULATIONS AND STANDARDS IN SLOVENIA

Every year, several photovoltaic systems are built in Slovenia, which require regular checks and maintenance in accordance with the applicable regulations and standards before commissioning and during operation. This article presents the requirements for inspection and maintenance of photovoltaic systems using the requirements of Technical Guideline TSG-N-002:2021 Low-voltage electrical installations, which specifies construction measures or solutions to meet the requirements of the Regulation on requirements for low-voltage electrical installations in buildings (Official Journal of the Republic of Slovenia, No. 140/21). It also provides the key requirements of the Slovenian standard SIST EN 64446-1:2016/A12018- Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection, which is also quoted in its reference documents by the Technical Guideline TSG-N-002:2021, the content of which is under-recognised and hardly used in practice, especially for smaller photovoltaic power plants, which is specifically pointed out in the article with examples from practice.

In particular, maintenance and operation personnel are not sufficiently aware that there are also detailed requirements and guidance on the maintenance of photovoltaic systems, as defined in the Slovenian standard SIST EN IEC 62446-2:2020 Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems

The requirements of both standards are stated as a minimum set of requirements at the time of takeover and during operation for reliable and long-lasting safe operation, ensuring fire safety and proper maintenance of grid-connected photovoltaic systems in order to preserve the lifetime and the planned production, which is nowadays too much left to laymen-owners and untrained contractors of such projects, who are not sufficiently aware of the legal obligations.

Keywords: *maintenance of photovoltaic systems, inspection of photovoltaic systems, fire safety, SIST EN 64446-1, SIST EN IEC 64446-2:2020, TSG-N-002:2021 .*

Article No: *1202*

Dr. Hasan Avdić, mag. Viktor Jemec and Alma Avdić

OPTIMIZATION OF AVAILABILITY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE (UI)

According to the EN 13306 – 2017 standard, „availability is the ability of equipment to be able to operate as and when required, under given conditions, assuming that the necessary external resources are provided".

This ability depends on the combined aspects of reliability, maintainability, item recovery and maintenance support. The required external resources, except for maintenance resources, do not affect the availability of an item, although the item may not be available from the user's point of view. Availability can be quantified using appropriate measures or indicators and is then called availability performance.

Artificial Intelligence (UI) refers to the development of computer systems that can perform tasks that usually require human intelligence, such as visual perception, speech recognition, decision-making and natural language understanding. Artificial intelligence is a rapidly developing field that has the potential to transform many industries and aspects of everyday life.

Availability optimization with the application of artificial intelligence refers to improving the ability of a system, equipment or service to be operational and available when needed. This includes reducing downtime, predicting and quickly fixing failures.

The aim of this paper is to demonstrate the possibility of optimizing availability using artificial intelligence through a case study.

Keywords: *Availability, Optimization, Artificial intelligence*

Article No: *1203*

mag. Ivan Božič, univ. dipl. inž. el.,

HAZARDS OF STATIC ELECTRICITY IN EX ZONES

Electrostatic charges can arise in various ways and are generally disruptive and undesirable in many fields. In explosion-hazardous environments, they can also pose a serious danger. From the perspective of explosion protection, rapid discharges are particularly dangerous, as the released energy can exceed the minimum ignition energy of explosive mixtures.

Measures to eliminate or limit the risks and potential consequences of electrostatic charges to a completely safe level are often unacceptable for practical and economic reasons. If processes involving potentially hazardous electrostatic charges are allowed, it is crucial to consistently implement all necessary protective measures to prevent dangerous discharges.

Keywords: *electrostatics, charge, discharge, grounding, explosion protection*

Article No: *1204*

Jovan Jovanović

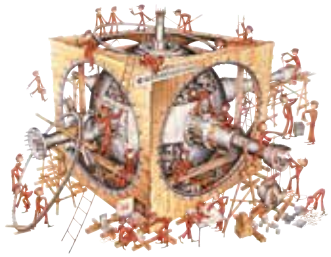
METHODS OF TECHNICAL DIAGNOSIS OF ROTATING MACHINERY

Over the last decade, industry has been facing increasing challenges in terms of energy efficiency, reducing unplanned downtime and extending the life cycle of machines.

There is much to learn from the „MORE4CORE" report (Maintenance, Overhaul and Repair for Competitiveness of the NWE Region). The report looks at the key challenges facing the industry in North West Europe. The findings of the comprehensive study show the importance of predictive maintenance, technical diagnostics and highlight the differences between the best performers and the laggards, which are reflected in long-term costs and efficiency

Keywords: *maintenance, diagnostics, PF curve, CBM, vibration, ultrasound*

Article No: *1205*



www.drustvo-dvs.si

KOLUMNA

Piše: **dr. Viktor Lovrenčić**, predsednik DVS



Spoštovane članice in člani Društva vzdrževalcev Slovenije (DVS), cenjeni pogodbeni partnerji (podjetja) ter vsi bodoči člani,

v prejšnji številki revije št. 209-210 sem kot novoizvoljeni predsednik DVS naslovil člane društva in zainteresirano strokovno javnost s pozivom k aktivnemu vključevanju v dejavnosti, ki sistematično podpirajo vzdrževanje.

V preteklem obdobju smo z intenziviranjem organizacijskih in strokovnih aktivnosti uspeli vzpostaviti širok spekter delovanja DVS. Izvedli smo redne seje IO DVS v delovnih okoljih naših članov (Cinkarna Celje, Cementarna Anhovo, NEK, Papirnica Vevče) in v okviru odborov (PS, UO, OZI, HP), na katerih smo se osredotočili na ključne strateške in operativne vidike: razvoj dolgoročne programske usmeritve DVS, izvedbo 30. TPVS ob 50. obletnici DVS, organizacijo strokovnih seminarjev in predavanj, konsolidacijo članstva, finančno stabilizacijo društva ter nadgradnjo komunikacijskih platform, vključno s prenovo spletne strani (**https://www.drustvo-dvs.si/**) in prisotnostjo na omrežju Linkedin. Prav tako smo se osredotočili na boljšo komunikacijo z našimi člani, saj je ključnega pomena, da so vsi informirani o naših dejavnostih in napredku.

Ob tej priložnosti želim izpostaviti izjemno angažiranost in predanost ožjega kroga tridesetih članov DVS, ki v duhu prostovoljstva nesebično vlagajo svoj čas in strokovno znanje in izkušnje v revitalizacijo društva. Prostovoljno delo ni zgolj mehanizem za učinkovito operativno izvajanje zastavljenih ciljev, temveč predstavlja tudi temelj za oblikovanje trajnih profesionalnih vezi ter krepitev identitete stroke. Brez intenzivne zavzetosti in medsebojnega sodelovanja članov DVS ne bi bilo mogoče udejanjiti ambicioznega strateškega prestrukturiranja DVS. Zato je izjemno pomembno, da priznavamo, cenimo in podpiramo trud vseh, ki aktivno prispevajo k dvigu ugleda in strokovnega vpliva našega društva. Pozivam k podpori aktivnega delovanja DVS, članov in širše strokovne javnosti, na enem najpomembnejših področij znotraj obvladovanja premoženja oziroma upravljanja s sredstvi (asset management) – VZDRŽEVANJE.

Brez izjemne predanosti in motivacije posameznikov ne bi bilo možno doseči takšnega napredka v tako kratkem obdobju. Zato je pomembno, da cenimo in podpiramo trud vseh, ki prispevajo k rasti in razvoju društva.

Pomembni dogodki v letu 2025

1. Redna skupščina DVS z uvodnim predavanjem »VZDRŽEVANJE GRADBENIH OBJEKTOV«

- **Datum:** sreda, 26. marec 2025, ob 12.00
- **Lokacija:** Emona Efekta, sedež DVS, 2. nadstropje (Stegne 21c, Ljubljana)
- **Namen:** Obravnava programskih aktivnosti, predstavitev finančnega poročila ter diskusija o prihodnjih korakih in strateških usmeritvah društva

2. Dan vzdrževanja ob 50. obletnici DVS

- **Datum:** četrtek, 10. april 2025, od 9.30 do 14.00
- **Lokacija:** Dvorana Celjanka, Celjski sejem
- **Poudarek:** Praznovanje 50-letnega delovanja društva s predstavitvami, strokovnimi predavanji in mreženjem Društvo letos vstopa v pomembno obdobje, saj bomo leta 2025 obeležili 50. obletnico DVS. Leta 1975 je bilo društvo ustanovljeno kot pionirsko združenje strokovnjakov na področju vzdrževanja, katerih vizija je bila povezati kadre in podjetja ter ustvariti močno skupnost za izmenjavo znanja in izkušenj. Danes je vloga društva še pomembnejša, saj postaja vzdrževanje ključni element za obvladovanje in optimizacijo premoženja v podjetjih vseh velikosti.

Ob praznovanju te zgodovinske prelomnice bomo predstavili dosežke društva in poudarili strateški pomen vzdrževanja v sodobni industriji. Dogodek bo priložnost za mreženje, izmenjavo dobrih praks in krepitev strokovnih vezi. Poleg tega bo omogočen vpogled v razvoj vzdrževalnih praks skozi desetletja in pomen njihove prilagoditve sodobnim izzivom ter digitalizaciji.

Mednarodna vključenost DVS

Z organizacijo **30. Tehniškega posvetovanja vzdrževalcev Slovenije (TPVS)** želimo obnoviti nekoč zelo uspešno strokovno razpravo in mreženje vzdrževalcev. Vzdrževanje ni le ključni steber gospodarstva, temveč tudi področje, ki zahteva stalno izpopolnjevanje in inovacije. Zato si prizadevamo vzpostaviti čim več priložnosti za sodelovanje in izmenjavo izkušenj na nacionalni in mednarodni ravni.

Naš ožji tim strokovnjakov že vrsto let deluje v mednarodnih organizacijah (EFNMS, GFMAM, WPiAM, CIGRE, CIRED, CENELEC, LWA itd.) in s tem prinaša bogate izkušnje ter usmeritve kot nadgradnjo našega delovanja. Povezovanje z mednarodnimi organizacijami nam omogoča, da ostajamo v stiku z najnovejšimi trendi in rešitvami ter jih prilagajamo potrebam slovenskega gospodarstva.

Povabilo k sodelovanju

Vabim vas, da se pridružite prenovljenemu društvu in soustvarjate novo poglavje v zgodovini DVS. Sodelovanje omogoča povezovanje z drugimi strokovnjaki, izmenjavo izkušenj ter vpogled v najnovejše trende in prakse na področju vzdrževanja. Aktivno sodelovanje v društvu pomeni tudi dostop do specializiranih vsebin, strokovnih predavanj in delavnic, ki bodo pripomogle k osebnemu in poklicnemu razvoju.

Povabite tudi svoje sodelavce in poslovne partnerje, saj bomo skupaj zgradili še močnejšo organizacijo in postali osrednja točka za strokovnjake s področja vzdrževanja in obvladovanja premoženja v Sloveniji. Naš cilj je ustvariti učinkovito in povezano mrežo strokovnjakov, ki bo omogočila širjenje najboljših praks ter uvajanje inovativnih rešitev na področju vzdrževanja.

Zahvaljujem se vam za zvestobo in zaupanje v DVS, veselim se sodelovanja z vami in verjamem, da bomo skupaj dosegli zastavljene cilje.

S spoštovanjem
dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.

VABILO NA REDNO SKUPŠČINO DVS

OBVEŠČAMO VAS, DA NAČRTUJEMO IZVEDBO REDNE SKUPŠČINE
v sredo 26. marca 2025 ob 12:00 uri, ki bo v Emona Efekte v zgradbi,
v kateri je sedež DVS, 2. nadstropje (Stegne 21c, Ljubljana)

Spoštovani člani DVS,

Po tem ko smo dne 19. 9. 2024 uspešno izvedli volilno skupščino DVS ter izvolili novo vodstvo DVS smo aktivno začeli na izvedbi programa dela v letu 2024 ter okvirni program dela za leto 2025.

Oblikovani so vsi organi DVS (IO, NO, DK) ter odbori (PS, OZI, UO in HP) ter številne programske delavne skupine, ki so v zastavili programsko in vsebinsko delo.

Na začetek volilne skupščine smo umestili strokovno delavnico »VZDRŽEVANJE GRADBENIH OBJEKTOV«. Tako nadaljujemo s prakso, strokovnega uvoda v skupščino, ki omogoča izvedbo skupščine z dodano vsebino, ki jo bodo predstavili vrhunski strokovnjaki na področju vzdrževanja.

Po strokovni delavnici in diskusiji bomo nadaljevali z izvedbo redne skupščine v skladu s predlaganim dnevnim redom (toč. 2 – toč. 6).

Na podlagi statuta Društva vzdrževalcev Slovenije (DVS) Izvršilni odbor DVS sklicuje
REDNO SKUPŠČINO
Društva vzdrževalcev Slovenije,
ki bo v sredo 26. marca 2025 ob 12:00 uri, ki bo v predavalnici Emona Efekte v zgradbi,
v kateri je sedež DVS, 2. nadstropje (Stegne 21c, Ljubljana)

Za sejo redne skupščine predlagamo naslednji dnevni red:

1. Uvodno predavanje »VZDRŽEVANJE GRADBENIH OBJEKTOV« mag. Franc Capuder, univ. dipl. inž. gr., ZAG, Služba za tehnične ocene in soglasja, Vodja Službe
2. Otvoritev skupščine, ugotovitev sklepčnosti in izvolitev delovnih teles skupščine
3. Izvoli se predsednika skupščine, zapisnikarja, dva overovatelja zapisnika in tri člane verifikacijske komisije.
4. Obravnava in sprejetje letnega poročila Društva vzdrževalcev za leto 2024
5. Letno poročilo društva
6. Poročilo Nadzornega odbor
7. Poročilo Disciplinske komisije
8. Sklep o seznanitvi z določitvijo članarine in naročnine revije za leto 2025
9. Načrt dela in finančni načrt DVS za leto 2025
10. Pobude in predlogi

Vse gradivo je na razpolago v času uradnih ur tajništva ali po dogovoru na sedežu DVS, Stegne 21c v Ljubljani.
Vsi člani Društva vzdrževalcev vljudno vabljeni!

Če skupščina ob napovedani uri ne bo sklepčna, nastopi polurni odmor, po katerem se skupščina zopet sestane. V tem primeru je skupščina sklepčna, če je prisotnih vsaj 15 članov.

Ljubljana 5. 3. 2025

dr. Viktor Lovrenčić
Predsednik Društva vzdrževalcev Slovenije

Piše: **mag. Drago Bokal, prof. dr. Jože Pihler, mag. Rado Ferlič** in **mag. Saša Jamšek**, ELES, d. o. o., Ljubljana



VZDRŽEVANJE V ELEKTROENERGETIKI – KONCEPTI, METODE, VZDRŽEVALNA DELA IN OPRAVILA

Vzdrževanje je področje, ki je organsko povezano z vsemi dejavnostmi in prizadevanji človeške družbe. To še zlasti velja za tehnične dejavnosti, za katere je v preteklosti vzdrževanje opravljalo naloge, potrebne za ohranjanje nemotenega delovanja posameznih sistemov, kar še zlasti velja za proizvodne (industrijske) sisteme. Vsaka dejavnost pa teži k vzpostavitvi teoretičnega ozadja, ki bo omogočalo pravilno razumevanje, učinkovito izvajanje in nenehen razvoj. V ta namen je oblikovana teoretična podlaga, ki temelji na vzpostavitvi koncepta, metod in del (opravil) na področju vzdrževanja. Ta pristop nam zagotavlja boljše razumevanje procesov vzdrževanja, vpogled v hierarhično strukturo procesov, njihovo razčlenitev in vpliv na vzdrževanje ter tudi vzorčne povezave med delom na posameznih napravah in njihovim stanjem. Tako je zagotovljena pomembna vez med procesom vzdrževanja in kadri, ki so v ta proces vključeni. Poudariti je treba, da je vloga kadrov pri tem bistvenega pomena, saj so ti sposobni zagotavljati visok nivo kakovosti opravljenih del le, če so nenehno vključeni v procese izvajanja bodisi vzdrževalnih bodisi investicijskih del. Prav tako je pomemben dejavnik enotno in čim bolj enopomensko uporabljano izrazje, kar zagotavlja učinkovito medsebojno sporazumevanje v procesu sodelujočih kadrov in kaže na urejenost posameznega področja.

Ključne besede: vzdrževanje v preteklosti, zakonodaja in standardi s področja vzdrževanja, koncepti vzdrževanja, metode vzdrževanja, vzdrževalna dela (opravila), preventivno (preprečevalno) vzdrževanje, korektivno (popravljalno) vzdrževanje, učinkovitost in uspešnost vzdrževanja.

Pripis: Uredniški odbor in vodstvo DVS se je odločilo za objavo tega članka, ki je le delno spremenjen prispevek s 13. konference slovenskih elektroenergetikov CIGRE-CIRED (Maribor 2017), zaradi njegovega širokega prikaza stanja, podanih usmeritev, zanimivih obravnavanih tem ter glede podanih smeri prihodnjega razvoja vzdrževanja. Prav tako so številne teme aktualne tudi za vzdrževanje na drugih gospodarskih področjih.

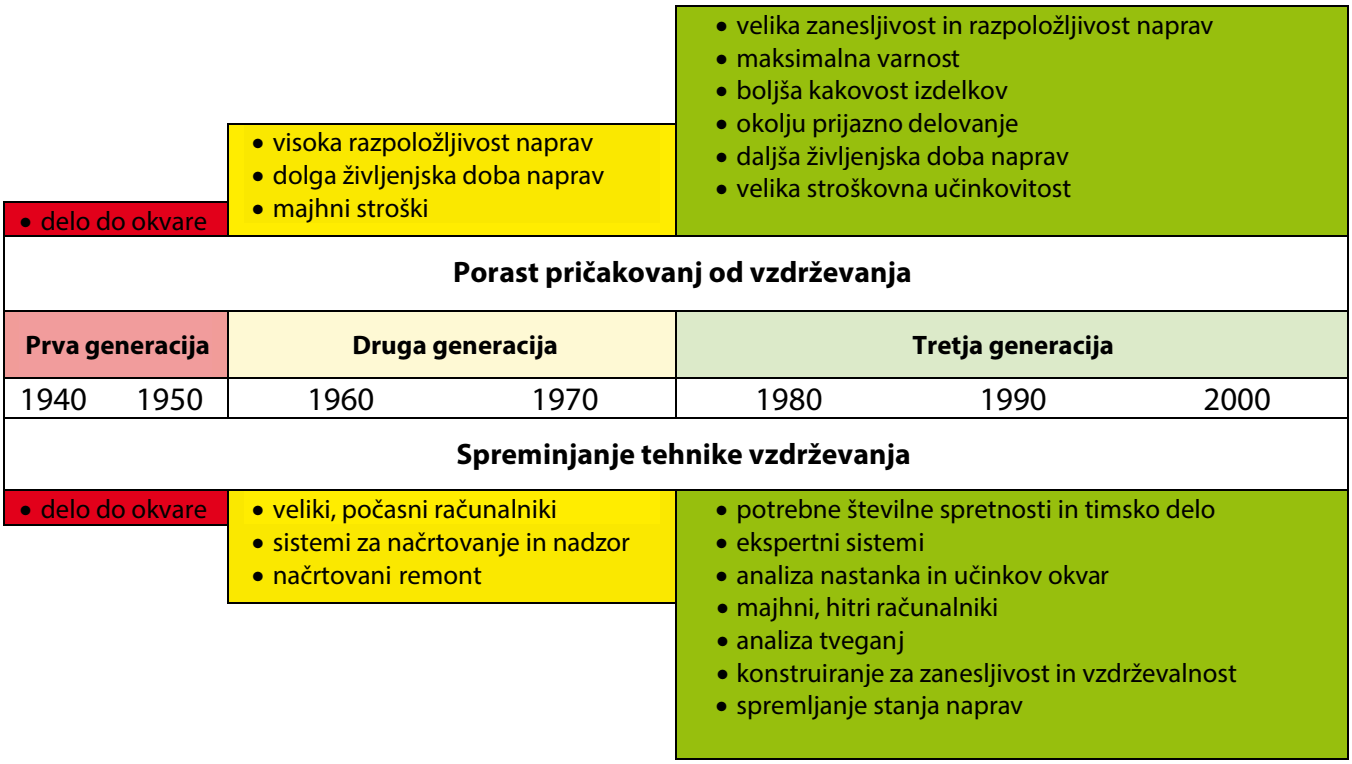
Teorija brez prakse je kakor sedlo brez konja.
(prof. dr. Marjan Plaper)

1. Uvod

Vzdrževanje je ena od osnovnih dejavnosti vseh elektrogospodarskih podjetij. Zaradi velikega pomena te dejavnosti bo opisan zgodovinski pregled njenega razvoja, podan pa bo tudi pomen nekaterih ključnih izrazov, uporabljanih v splošnem na tem raziskovalnem področju. Ti so: teorija, koncept, metodologija in metoda. Razčlenjene so tudi nekatere osnovne definicije s področja vzdrževanja. V nadaljevanju podajamo podrobnejšo obravnavo področja, ki ga zajema teorija vzdrževanja s poudarkom na metodologijah (konceptih) vzdrževanja. Sledi prikaz možnega razvoja vzdrževanja v prihodnje, njegova podlaga pa bo temeljila predvsem na uporabi sodobne tehnologije. V ta kontekst sodi tudi uvajanje »pametnih omrežij« v elektroenergetske sisteme ter možnosti sinergičnih učinkov pri izvajanju posameznih funkcij. Pri tem naj funkcija vzdrževanja ne bi bila izjema.

2. Zgodovinski pregled vzdrževanja

Vzdrževanje je človekova dejavnost, ki je dobila zagon z industrijsko revolucijo ter z uvajanjem strojev v industrijo in v vse panoge človekovega udejstvovanja. S stroji, ki so predstavljali cenene in učinkovite pretvornike energije, je nastala nova doba pospešene industrializacije in razvoja posameznih držav. Temu razvoju je sledil napredek vzdrževanja, ki je bilo z uvajanjem teorije zanesljivosti med dvema vojnama postavljeno na primerne teoretične osnove. Ta razvoj sta usmerjali predvsem letalska in vesoljska industrija, saj je delovanje tovrstnih naprav zahtevalo posebne pristope in prijeme pri zagotavljanju njihove zanesljivosti in v poznejšem obdobju tudi velike učinkovitosti. Vsa ta prizadevanja in nova znanja so prenesena tako na civilno letalsko industrijo kot tudi v vse industrijske veje, od avtomobilske industrije prek industrijskih obratov za neposredno proizvodnjo široke palete izdelkov do elektrogospodarskih podjetij.



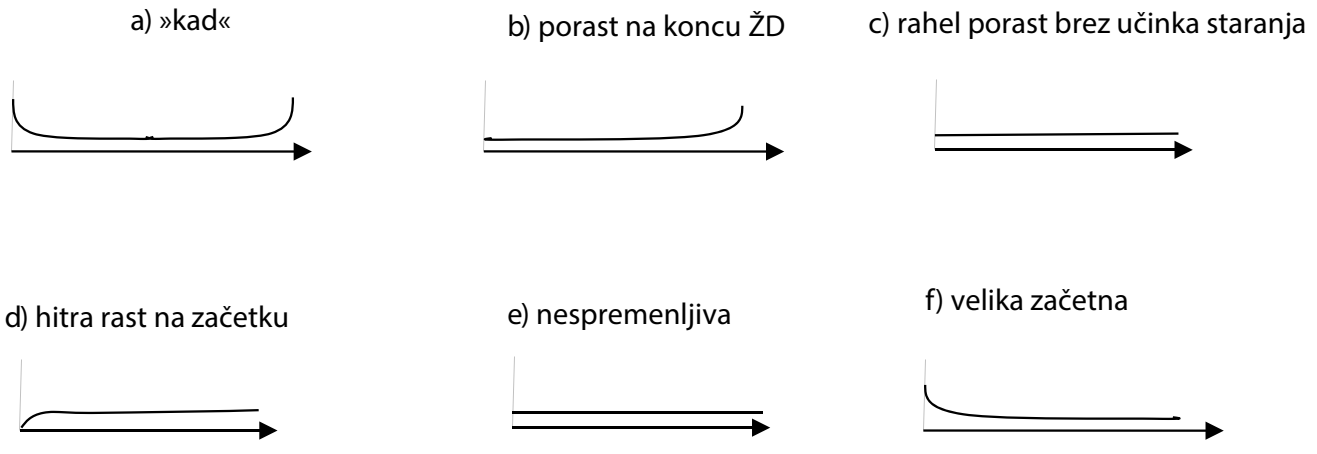
Slika 1: Rast pričakovanj in spreminjanje tehnike vzdrževanja za različne generacije naprav; prirejeno po [1]

Pri razvoju vzdrževanja imata dve značilnosti osnovni pomen: **porast pričakovanj od vzdrževanja** in **spreminjanje tehnike (načina) vzdrževanja**. Tako je za prvo generacijo naprav (nekako do 1940. oz. 1950. leta) značilno delovanje naprav do okvare, kar je pomenilo uporabo korektivnega (popravljalnega) vzdrževanja (Slika 1). Za drugo generacijo je značilen prehod v načrtovanje vzdrževanja (preventivno vzdrževanje), visoka razpoložljivost naprav ter njihova dolga življenjska doba. Tretjo generacijo naprav (po letu 1980) pa zaznamujejo velike spremembe v vzdrževanju, kar še zlasti velja za diagnosticiranje stanja naprav. To omogoča izvajanje vzdrževalnih posegov v primerih, ko je naprava na meji svojih zmogljivosti, s tem pa se poveča tudi učinkovitost vzdrževanja in delovanja naprav. Pri tem mora biti zanesljivost ohranjena na vnaprej dogovorjenem nivoju, kar ugotavljanje stanja naprav z diagnostiko tudi omogoča.

Pomembna pri tem pa je tudi lastnost naprav, ki imajo določeno krivuljo spreminjanja zanesljivosti oz. pogostosti izpadov v življenjski dobi (ŽD; Slika 2).

Tako ločimo šest tipičnih vzorcev pogostosti izpadov naprav v času njihove življenjske dobe (ŽD), v oklepaju pa je podan delež elementov s posamezno porazdelitvijo izpadov [1], ki se uporabljajo v civilni letalski industriji (v odstotkih):

- tip A (Slika 2, a) imenovan »kad« oz. »banja«, za katerega je značilna večja pogostost okvar v začetku obratovanja (»otroške bolezni«) in na koncu življenjske dobe (konec življenjske dobe; 4 %);
- tip B (Slika 2, b) z majhno in rahlo rastočo pogostostjo izpadov, ki pa se na koncu življenjske dobe izrazito poveča (2 %);



Slika 2: Vzorci pogostosti izpadov naprav in elementov v njihovi ŽD; prirejeno po [1]

- tip C (Slika 2, c), za katerega je značilen majhen in neznaten porast pogostosti izpadov, in to brez učinkov staranja (5 %);
- tip D (Slika 2, d) s hitrim porastom pogostosti izpadov ter njegovo ustalitvijo pri sprejemljivi majhni vrednosti (7 %);
- tip E (Slika 2, e), za katerega je značilna stalna, majhna in nespremenljiva pogostost izpadov (14 %);
- tip F (Slika 2, f) z veliko začetno pogostostjo izpadov ter praktično stalno in majhno pogostostjo do konca življenjske dobe (68 %).

V tej panogi se torej uporablja nad 80 % elementov, katerih porazdelitev izpadov je bodisi stalna (tip E) ali po začetni veliki vrednosti pade na majhno, ki pa se ohranja do konca njihove življenjske dobe (tip F). Zagotovo je vzrok temu velika zanesljivost, ki jo morajo letala kot celoten sistem dosegati, prav tako pa tudi zmanjšanje stroškov njihovega vzdrževanja.

3. Nekaj o teorijah, metodah in metodologijah

Razvoj znanosti je bil pogojen z načinom razmišljanja ljudi, ki so dosegli velik napredek, ko so se oddaljili od mitov k realnemu opazovanju sveta. To je zlasti zahodni svet usmerilo v razvoj fizike in v uveljavljanje njenih pristopov v številna področja človekovega delovanja [45, 46, 47, 48]. Tako kot pretiravanje v smeri poudarjanja duha (zlasti krščanstvo v srednjem veku) je tudi poudarjanje materije (številni izumi v novejšem času) človeštvu naredilo veliko škode. Kaže, da je prava rešitev v sintezi in kolikor se da sobivanjski (beseda enakopravni ni najprimernejša, ker je pogosto zlorabljana) obravnavi teh dveh osnovnih gradnikov človekovega obstoja (»žitja in bitja«) [48].

Za boljše razumevanje podajamo definicije nekaterih osnovnih pojmov na področju, ki ga obravnavamo, in sicer iz SSKJ [44] in druge literature [45 do 51].

- **Teorija** je:
- skupek logično povezanih trditev, domnev, ki kaj znanstveno določa, razlaga oz. skupek logično urejenih spoznanj, načel, ki določajo zakonitosti kake dejavnosti;
- nauk o splošnih, bistvenih pojmih, oblikah kake dejavnosti;
- skupek povezanih misli, trditev, ki kaj razlaga, utemeljuje;
- splošna, abstraktna, od uresničevanja ločena spoznanja, načela.

Za predmet obdelave v tem prispevku bi lahko postavili definicijo teorije vzdrževanja.

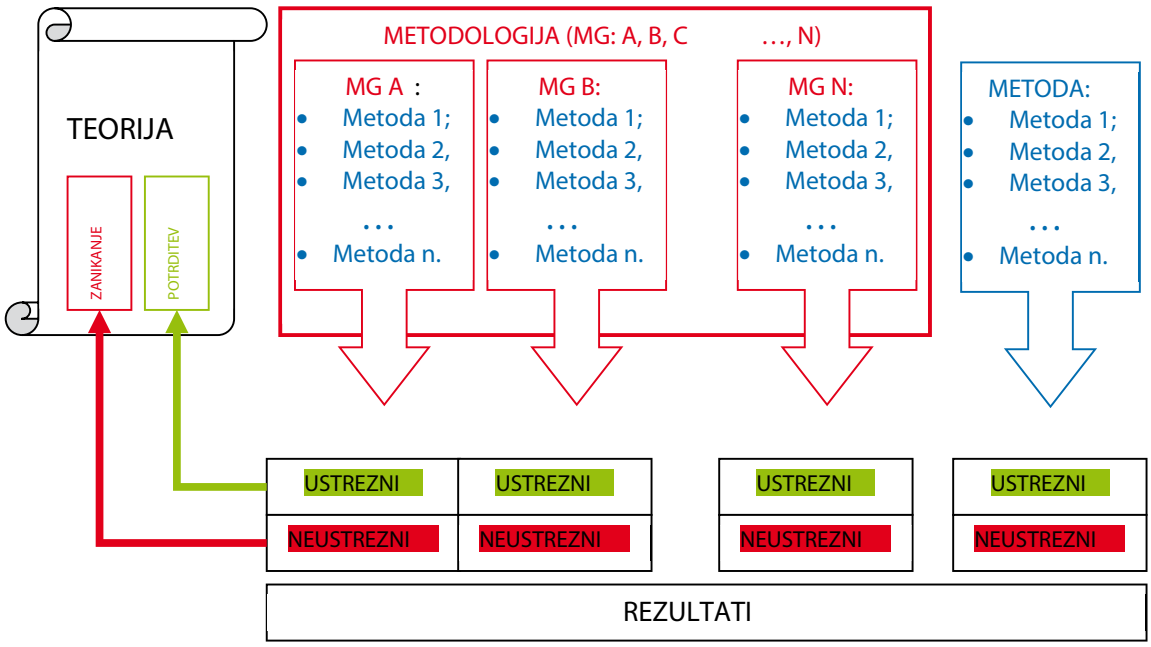
- **Teorija vzdrževanja** opredeljuje bistvene pojme na svojem področju, sestavlja pa jo skupek logično povezanih trditev in domnev, ki opredeljujejo, pojasnjujejo in utemeljujejo posamezne postopke ali dejavnosti na tem področju.

Poleg pojma teorija se v obravnavi vsakega področja pogosto pojavljajta še dva ključna izraza, in sicer metodologija in metoda. V številnih primerih prihaja do nepravilne rabe teh dveh izrazov, zato podajamo njuni definiciji [44, 45, 46].

- **Metoda** je oblika načrtnega, premišljenega dejanja, ravnanja ali mišljenja za dosego vnaprej določenega cilja; način, postopek.

Iz definicije sledi, da je metoda nekaj osnovnega, temeljnega in je gradnik za nadgradnjo, ki jo v tem primeru predstavlja metodologija.

- **Metodologija** je skupek metod, ki se uporabljajo pri kakem raziskovanju, mišljenju.



Slika 3: Medsebojna povezanost pojmov teorija, metodologija in metoda

Razmerja med teorijo, metodologijo in metodo nazorno kaže Slika 3, iz katere je razviden pomen metod, ki uporabljene v različnih medsebojnih kombinacijah tvorijo posamezne metodologije. Rezultati uporabljanih metodologij pa potrjujejo ali zanikajo pravilnost obravnavane teorije.

Za nadaljnjo razčlenitev funkcije vzdrževanja je pomembna tudi definicija pojma koncept, ki predstavlja nadgradnjo vseh dejavnosti tega področja. Po pregledu številnih definicij smo za naše potrebe oblikovali naslednjo razlago tega pojma [44, 45, 46]:

- **Koncept** oblikujejo zamisli ali skupek načel, ki opredeljujejo delovanje obravnavanega področja (v našem primeru vzdrževanja).

Iz navedenega je razvidno, zakaj se v literaturi pogosto prepleta uporaba posameznih pojmov na področju vzdrževanja, kjer se pojmi, kot so koncept, metodologija in metoda pogosto uporabljajo nekritično. Prav zaradi tega je do sedaj uveljavljana prva hierarhična delitev (1) pojmov (Tabela 1), kar pomeni, da se ne uporablja pojem metodologija. Ob sprejetju pojma metodologija v skladu s predlagano definicijo pa je vprašljiva raba pojma koncept glede na njegov pomen, saj mu dosedanjo vsebino prevzame pojem metodologija. Kljub temu kaže, da je pomen izraza koncept širši od pomena izraza metodologija in bo po predvidevanjih v prihodnje pridobil veljavo.

V zvezi z vzdrževanjem se pogosto uporablja izraz strategija, za katerega je značilno, da se je v preteklosti uporabljal zlasti na vojaškem področju, v novejšem času pa se uporablja v številnih dejavnostih. Podajamo dve definiciji tega pojma.

- **Strategija** so postopki, načini načrtovanja in vodenja velikih vojaških operacij, vojne [SSKJ, 44].
- **Strategija** je dolgoročen načrt dejanj, potrebnih za reševanje problemov pri doseganju določenega cilja. Pogosto se uporablja v kontekstu vojaških operacij, poleg tega pa tudi v politiki, ekonomiji in drugih dejavnostih [Wikipedija, povzeto 31. 3. 2017].

Iz zgoraj navedenih definicij sledi, da je pojem **strategija** hierarhično nad vsemi do sedaj obravnavanimi izrazi ter da njeno omenjanje brez natančno razčlenjenih podrejenih pojmov nima nobenega pomena (je komercialni prijem). V prihodnje ostaja odprta naloga o podrobni analizi in predlogu rabe posameznih tovrstnih izrazov.

4. Zakonodaja in standardi kot podpora teoriji vzdrževanja

Tako kot večina področij človekovega delovanja je tudi vzdrževanje postavljeno v določen zakonodajni okvir, ki naj bi zagotavljal pravilno, učinkovito in varno izvajanje te funkcije. Pri tem so do sedaj sprejeti naslednji pravni akti:

- Energetski zakon, Uradni list RS št. 17/14 in 81/15 in novejši: podaja splošne zakonodajne okvire za delovanje na področju energetike (elektroenergetike),
- Zakon o graditvi objektov, Uradni list RS št. 102/04 – uradno prečiščeno besedilo, 14/05 popravek idr. verzije): podaja izhodišča in zakonodajne okvire za graditev objektov od zasnov, izdelave državnih prostorskih načrtov, umeščanja v prostor, projektiranja, gradnje, obratovanja in vzdrževanja;
- Pravilnik o vzdrževanju elektroenergetskih postrojev, Uradni list RS št. 98/15: opredeljuje osnovne dejavnike, ki so predpogoj za kakovostno, varno in učinkovito izvajanje vzdrževalnih del na elektroenergetskih postrojih;
- Uredba o vzdrževalnih delih v javno korist na področju energetike, Uradni list RS št. 125/04 in 17/14 – EZ-1: določa vrste vzdrževalnih del v javno korist na objektih, napravah in omrežjih, potrebnih za prenos in distribucijo električne energije (plina), daljinske toplote.

To so zakonski akti, ki podajajo splošen okvir izvajanja vzdrževanja v elektroenergetskih postrojih. Nadaljnjo podporo izvajanju funkcije vzdrževanja podajajo slovenski standardi (prevedeni evropski standardi), kot sledi:

- SIST EN 13306: 2010: Vzdrževanje – Terminologija s področja vzdrževanja: opredeljuje definicije temeljnih pojmov s področja vzdrževanja;
- SIST EN 13460: 2009: Vzdrževanje – Dokumentacija za vzdrževanje: podaja osnovo za oblikovanje dokumentacijskega sistema, ki naj bi zagotavljal celostno podporo izvajanju vzdrževanja;
- SIST EN 15341: 2007: Vzdrževanje – Bistveni kazalniki učinkovitosti vzdrževanja: vzpostavlja izhodišča za oblikovanje kazalnikov za spremljanje učinkovitosti vzdrževanja.

Navedenim aktom se pridružuje tudi interni akt družbe ELES Navodilo o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav, ki je izdelan ob upoštevanju zgoraj navedene zakonodaje,

Tabela 1: Možne hierarhične delitve pojmov na področju vzdrževanja

Hierarhična delitev 1	Hierarhična delitev 2	Hierarhična delitev 3
koncept	koncept (metodologija)	(koncept ?)
metoda	metoda	metodologija
vzdrževalna dela	vzdrževalna dela	metoda
opravila	opravila	vzdrževalna dela
		opravila

navodil proizvajalcev posamezne opreme ter na podlagi izkušenj zaposlenih [10].

S smiselno uporabo navedene zakonodaje, izoblikovanjem lastnih aktov ter z ustreznimi organizacijskimi prijemi posamezne družbe elektrogospodarstva izvajajo vzdrževanje svojih naprav in omrežja v skladu s poslanstvom, ki ga imajo.

5. Osnovne definicije na področju vzdrževanja

Definicija pojma vzdrževanje je bila obdelana s številnih vidikov v člankih [8, 9, 10 do 15, 23, 40, 41], študijah, predstavitvah in pri izdelavi Pravilnika o vzdrževanju [9]. V navedeni literaturi so uporabljane različne variante definicije izraza vzdrževanje (naj bi obveljala tista, ki upošteva vse razsežnosti tega pojma), ki so zajete v:

- ohranjanju ali podaljšanju življenjske dobe,
- izvajanju vzdrževanja pred okvaro ali po njej,
- delih, povezanimi z velikimi ali majhnimi stroški.

Tako je definicija vzdrževanja, uveljavljena v dveh spremljajočih dokumentih, naslednja:

- **vzdrževanje** je kombinacija tehničnih, administrativnih in vodstvenih ukrepov v življenjski dobi naprave s ciljem obdržati jo v stanju ali jo vrniti v stanje, v katerem lahko opravlja svojo funkcijo [9];
- **vzdrževanje** je kombinacija tehničnih, administrativnih in vodstvenih del v življenjski dobi naprave s ciljem obdržati jo v stanju ali jo vrniti v stanje, v katerem lahko opravlja svojo funkcijo. Obseg del zagotavlja ohranjanje življenjske dobe naprave [15].

Pri tem vidimo (velja za prvo definicijo), da je osnovna opredeljujoča komponenta omenjena posredno (»obdržati jo ali jo vrniti v stanje«), in to je izvajanje del pred okvaro ali po njej (s tem je zajeta lastnost, da je naprava v obratovanju) ter manjkajoča stroškovna komponenta (v prvi definiciji). Ta mora biti v razumnih mejah, saj z vzdrževanjem napravi **ohranjamo** življenjsko dobo, te pa ne podaljšujemo, kar je poudarjeno v drugi definiciji. Gotovo pa so stroškovne meje zelo težko opredeljive prav zaradi široke palete naprav, ki so različnih cenovnih razredov in povezane z različnimi vzdrževalnimi posegi, kar vzpostavlja širok spekter s temi posegi povezanimi stroški.

Značilnost naslednjih dveh definicij pa je izvajanje del pred okvaro in po njej – iz tega sledi preventivno (preprečevalno) in korektivno (popravljalno) vzdrževanje. Poslovenjena pojma sta v oklepaju, ker smo v praksi komaj uveljavili prva dva pojma in bi hitro spreminjanje povzročalo zmedo med neposrednimi izvajalci na terenu. Tako sta definiciji naslednji [10]:

- **korektivno (popravljalno) vzdrževanje** je delo, ki se izvaja po ugotovitvi okvare z namenom, da se naprava povrne v stanje, ko lahko opravlja zahtevano funkcijo. Obseg del in potrebni stroški so srednje veliki, dela pa se opravljajo pri izklopljeni napravi ali vodu in se z njimi ohranja življenjska doba naprave (voda);
- **preventivno (preprečevalno) vzdrževanje** je delo na elementih postroja ali voda, ki se opravi pred nastankom okvare z namenom, da se naprava ohrani v stanju, ko je sposobna opravljati naloge, zaradi katerih je vgrajena. Vzdrževalna dela se izvajajo v vnaprej določenih časovnih intervalih ali glede na stanje naprave oz. voda.

Že iz osnovnih definicij je razvidno, da je terminologija oz. izrazoslovje zahtevno in interdisciplinarno delo, pri katerem je poleg stroke nujno tudi poznavanje pravil slovenskega jezika, treba je imeti »jezikovni čut« ter poznati vsaj osnovne sorodne pojme v nekaterih tujih jezikih. Poleg znanja pa pomembno vlogo pri tem igra tudi sposobnost posameznika prisluhniti mnenju in utemeljitvam drugih ter svoje mnenje podajati na sprejemljiv, da ne rečemo človeški način.

6. Teorija vzdrževanja

K pojmu teorija bomo všteli vse tiste prvine, dejavnike ali dejstva, ki zagotavljajo kakovostno in učinkovito izvajanje funkcije vzdrževanja. Slika 4 kaže najpomembnejše gradnike teorije vzdrževanja (prikaz je simboličen, kajti dejavniki so medsebojno dokaj prepleteni).

- **Izrazoslovje** je zelo pomembno področje, ki je v slovenskem elektroenergetskem okolju primerno razčlenjevano in oblikovano v številnih strokovnih delih, navedenih pod točko reference pa tudi v številnih drugih prispevkih (člankih, predavanjih, strokovnih mnenjih in drugih znanstvenih delih). Lahko trdimo, da je stopnja poenotenja in rabe izrazov na področju vzdrževanja na dokaj visoki ravni, jasno pa je, da je to stalna in zelo pomembna naloga.
- Če se na Sliki 4 premikamo v matematično določeni (pozitivni) smeri, sledjo **opravila**, ki predstavljajo osnovne dejavnosti (dejavniki na najnižji stopnji hierarhije – izvedbena raven) ali akcije, s katerimi se deluje na napravo ali sistem z namenom ohranjanja (izboljšanja) njihovega stanja. Za vsako skupino naprav so opravila podrobno opredeljena v navodilih o vzdrževanju v vsakem od elektrogospodarskih podjetij;
- sledijo **vzdrževalna dela**, ki so skupek posameznih opravil in so prav tako opredeljena v navodilih o vzdrževanju posameznih elektrogospodarskih podjetij. Tudi o tej tematiki so napisani številni prispevki in je tu ne bomo podrobneje obravnavali.
- **Metode** vzdrževanja so v tej skupini dejavnikov najvišje na hierarhični lestvici in so prav tako obdelane v številnih prispevkih, kar še posebej velja za standard o vzdrževanju (terminološki standard);
- nadgradnja navedenim dejavnikom teorije vzdrževanja pa so **metodologije (koncepti)** vzdrževanja, ki predstavljajo



Slika 4: Prvine, ki tvorijo teorijo vzdrževanja

nekakšno ***»krono«*** – uporabo različnih metod vzdrževanja za različne vrste naprav v obravnavanem sistemu.

Pri vzpostavitvi teoretičnih osnov za katerokoli področje najprej razčistimo pomene posameznih izrazov ter oblikujemo zakone, pravila in aksiome, ki jih bomo uporabljali. Pri tem je splošno znano, da ni mogoče vzpostaviti popolnega sistema pravil in zakonov, ki bi veljali v vseh primerih, nastajajočih v praksi. To omejitev v znanosti je na zelo nazoren način opisal Karl Popper v delu [50], kjer pravi:

… »Torej empirična osnova objektivne znanosti ni »absolutna«. Znanost ne stoji na trdni osnovi. Drzna struktura njenih teorij se tako rekoč dviguje nad močvirjem. Je kot stavba, postavljena na kolih. Kole spuščamo od zgoraj v močvirje, vendar ne na naravno ali »dano« podlago; in če kole prenehamo zabijati še globlje, tega nismo storili, ker smo dosegli trdna tla. Ustavimo se kratko malo takrat, ko smo zadovoljni, da koli vsaj zaenkrat dovolj trdno nosijo strukturo.« …

V nadaljevanju bomo podali nekaj mejnih primerov s področja vzdrževanja, pri katerih »koli« niso dosegli trdnih tal. To so taki primeri, ki odstopajo od deklarativnih pravil ter predpisanih struktur in so praktično v sivi coni delovanja sistema.

Pregled kot mejni dejavnik vzdrževanja

Po teoriji vzdrževanja pregled sodi v metodo preventivnega vzdrževanja, kjer dela opravljamo pred nastankom okvare z namenom njene preprečitve. Načeloma naj bi pregled izvajali, ko je naprava v obratovanju, torej je pod napetostjo. Vendar to v primeru pregledovanja daljnovodov, ko se delavci gibljejo v neposredni bližini delov pod napetostjo, ni res, zato je treba daljnovod izklopiti. Tako imamo primer mejnega področja v naslednjem:

- izvajamo **pregled ob vklopljeni napravi** – splošno pravilo, ki velja v večini primerov;
- izvajamo **pregled, ko je naprava izklopljena** – izjema (pregled daljnovoda, ko se delavci gibljejo v bližini delov pod napetostjo); sprejeta je rešitev s poimenovanjem tega dela kot **celoviti pregled**.

Pregled kot mejni dejavnik v dveh metodah vzdrževanja

Znani sta dve osnovni metodi vzdrževanja, in sicer

- preventivno (preprečevalno) in
- korektivno (popravljalno) vzdrževanje ter

kombinacija teh dveh metod. Pregled vsekakor sodi v preventivno vzdrževanje, ker dela opravljamo pred okvaro naprave (sistema). Vendar imamo primere, ko izvajamo preglede tudi v primeru izrednih razmer po neurjih in v podobnih zahtevnih vremenskih razmerah ali v primeru po nastanku okvare, ko ni natančno locirano mesto okvare. Pregled izvajamo tudi v tem primeru in bi po logiki zadev bolj sodil v korektivno vzdrževanje; rešitev je v poimenovanju **izredni pregled**.

Pomanjkljivosti in njihova umestitev v sistem

Pomanjkljivost je stanje naprave, ko je ta sposobna opravljati funkcije, zaradi katerih je vgrajena, a le v omejenem obsegu oz. s povečanim tveganjem za nastanek okvare. Tako stanje naprave je mogoče ugotoviti na naslednje načine:

- kot rezultat preventivnega vzdrževanja, kar je zbrano v poročilih o opravljenih vzdrževalnih delih. V tem primeru se **pomanjkljivosti** (**sprotno odpravljanje pomanjkljivosti**) odpravljajo kot del preventivnega vzdrževanja;
- v primeru odloženega korektivnega vzdrževanja, ker je ugotovljeno, da stanje naprave ni kritično oz. da je mogoče njeno delovanje v omejenem obsegu in času, z odloženim korektivnim vzdrževanjem odpravljamo tovrstne **pomanjkljivosti** (**izredno odpravljanje pomanjkljivosti**) na napravah.

Predlagano je tudi spremenjeno novo poimenovanje pojma **pomanjkljivost**, ker je predpogoj za transparentnost in dobro razumevanje ustrezno poimenovanje uporabljanih pojmov.

Umestitev odloženega korektivnega vzdrževanja

Obstaja dvom o umestitvi **odloženega korektivnega vzdrževanja**, ki se izvaja v času po ugotovljeni pomanjkljivosti. Za ohranitev sistema spremljanja in vodenja podatkov po ustreznih skupinah moramo upoštevati, da tovrstni posegi sodijo v korektivno (popravljalno) vzdrževanje.

Umestitev napovednega vzdrževanja

Vzpostavljeni sistem vzdrževanja in obravnava posameznih pojmov (tudi v standardu) predvidevata uporabo dveh ključnih metod vzdrževanja, odvisno od dejstva, ali vzdrževalna dela opravljamo pred okvaro ali po njej. Z razvojem naprav za zajem, prenos in shranjevanje podatkov o vrednostih dejavnikov posamezne opazovane naprave napreduje področje diagnostike, za katero so značilni naslednji dejavniki:

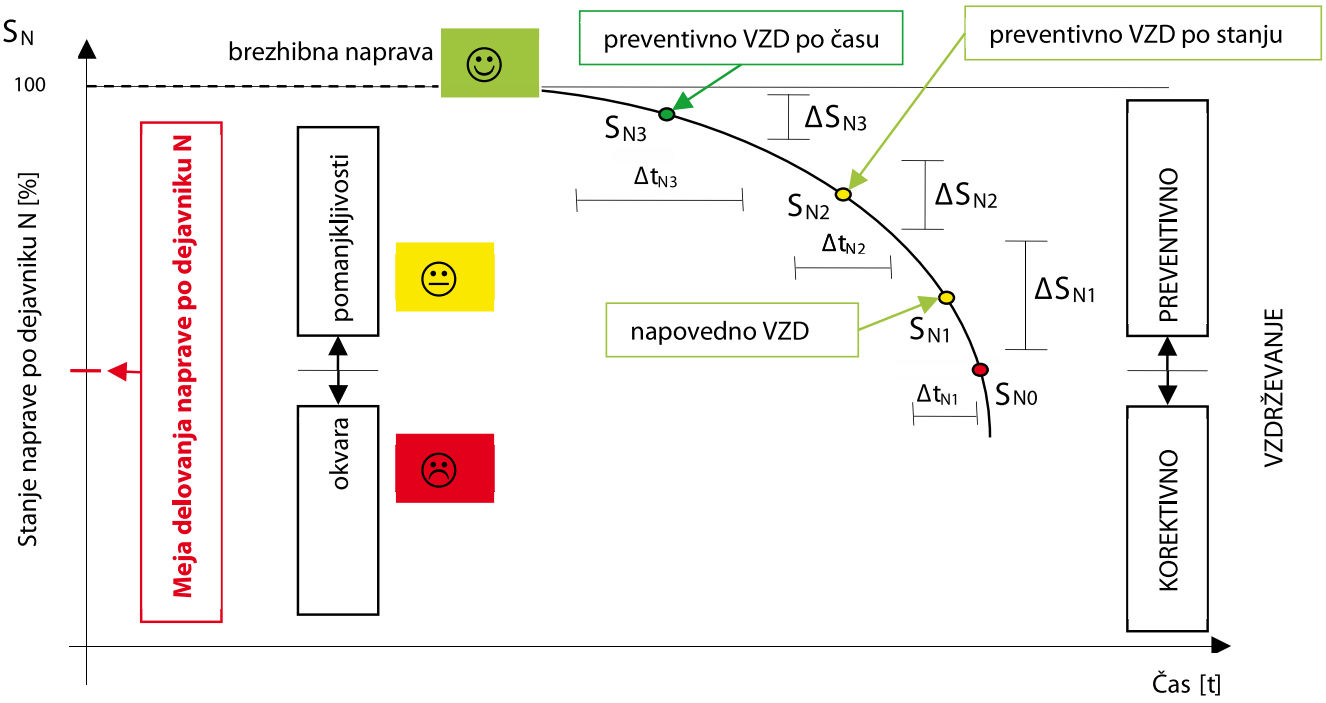
- široka paleta najrazličnejših senzorjev, ki so sposobni zajemati mehanske, toplotne, električne in magnetne veličine,
- razvoj naprav za prenos tovrstnih podatkov,
- sorazmerno nizka cena teh elementov in naprav,
- programska oprema za obdelavo podatkov o vrednosti posameznih dejavnikov na napravah,
- programska oprema, ki omogoča samodejno opozarjanje operaterjev na dejavnike in naprave, na katerih so presežene meje normalnega obratovanja,
- izvajanje vzdrževalnih del na podlagi objektivno (z meritvami) ugotovljenih dejavnikov,
- koristi, ki jih tovrstni sistemi prinašajo v vzdrževanje naprav in sistemov.

Zavedati se moramo, da preventivno vzdrževanje v katerikoli obliki temelji na **napovedi stanja** naprave, če smo natančnejši, na napovedi tistih dejavnikov, ki najbolj vplivajo na njeno stanje. Spremljanje stanja pri klasičnem preventivnem vzdrževanju temelji na rezultatih pregledov, revizij in remontov. Rezultati teh vzdrževalnih del so poleg opravil, s katerimi neposredno vplivamo na stanje naprave, tudi poročila, iz katerih je razvidno, kako se spreminjajo posamezni dejavniki, vplivajoči na stanje naprave. Poleg tega so podana tudi priporočila o naslednjih vzdrževalnih posegih na posamezni napravi prav glede na vrednost (velikost) obravnavanih vplivnih dejavnikov. Tu pa smo na področju, ki ga simbolično kaže Slika 5, kjer so podane mejne točke vrednosti poljubnega dejavnika, opredeljujočega stanje opazovane naprave. Tako glede na metodo (način) vzdrževanja in glede na predpostavko, da se stanje naprave spreminja zvezno v odvisnosti od vrednosti (velikosti) opazovanega dejavnika, predstavljamo točke diagrama.

- Točka S_{N0} je **mejna vrednost** (velikost) dejavnika N, ker je po tem naprava v okvari; to je točka prehoda na **korektivno (popravljalno)** vzdrževanje. Ključno pri tem je, kako naprava deluje v neposredni bližini točke »preloma« in s kakšno toleranco se ji lahko približamo, ne da bi tveganje za nastanek okvare bilo preveliko. Časovne tolerance ugotavljanja stanja ni, ker čakamo okvaro naprave.

Točka S_{N1} predstavlja doseg spremljanja stanja naprave oz. vrednosti (velikosti) na stanje vplivajočega dejavnika z natančnostjo, potrebno za pravočasno odločitev o ustreznih vzdrževalnih posegih, in jo zato lahko uvrstimo v **napovedno vzdrževanje**; bistvo napovednega vzdrževanja je, da zagotavlja dovolj natančne vrednosti vseh dejavnikov, ki vplivajo na stanje obravnavane naprave, kar omogoča sprejemanje odločitev, preden dejavnik preseže mejno točko delovanja naprave (S_{N0}); pri tem se moramo zavedati, da je verjetnost nastanka okvare zaradi preseganja mejnih vrednosti dejavnikov, ki se ne spremljajo z diagnostiko, minimalna; brez poznavanja mejnih vrednosti dejavnikov in ustrezne kvantitativne ocene tveganja zaradi delovanja v bližini dovoljenih meja obratovanja naprave ni mogoče napovedno vzdrževanje; iz zgoraj navedenega sledi, da napovedno vzdrževanje sodi v metode preventivnega vzdrževanja po stanju; pomembna je tudi majhna vrednost časovne tolerance določanja stanja naprave oz. vrednosti opazovanega dejavnika.

- Točka S_{N2} je doseg **preventivnega vzdrževanja po stanju** s spremljanjem ključnih dejavnikov za njegovo določanje. V tem primeru se vsi ključni dejavniki ne spremljajo s posameznimi podpornimi sistemi in nismo zmožni dovolj natančno opredeliti posameznega dejavnika ter njegovega vpliva na stanje spremljajoče naprave; prehod



Slika 5: Mejne vrednosti opazovanega dejavnika, dosegljive z različnimi načini spremljanja stanja

iz preventivnega vzdrževanja po stanju na napovedno (preventivno) vzdrževanje je mogoč le ob zajemu vseh ključnih dejavnikov in ob spremljanju njihovih vrednosti z zadostno natančnostjo, ki zmanjša tveganja nastanka okvare na najmanjšo možno mero; tu zasledimo srednjo vrednost časovne tolerance določanja vrednosti opazovanega dejavnika vplivajočega na stanje naprave.

- Točka S_{N3} predstavlja **doseg preventivnega vzdrževanja po času**, za katerega je značilno določanje stanja naprave in s tem tudi vrednosti ključnih dejavnikov z najmanjšo natančnostjo. To rezultira v izvajanju vzdrževalnih del glede na vnaprej določen časovni interval, kar ni optimalno s stališča stroškov, izkoriščenosti osebja in tudi glede delovanja naprav. Ta metoda se uporablja za izvajanje bolj enostavnih in stroškovno nezahtevnih opravil v primerih, ko bi vzpostavitev diagnostične podpore zahtevala preveč sredstev in dela ali v primerih, ko le-ta še ni na voljo. ***Časovna toleranca določanja stanja oz. vrednosti posameznega dejavnika je tu največja.***

S spremljanjem ključnih dejavnikov, opredeljujočih stanje posamezne naprave, zagotavljamo podatke, ki so osnova za odločanje o vzdrževanju naprave. Pregled razmer glede določanja stanja dejavnikov nam glede napovednega vzdrževanja podaja naslednje ugotovitve:

- **napovedno vzdrževanje** je del preventivnega vzdrževanja, saj se izvaja **pred nastankom okvare**;
- prvi pogoj za uvajanje **napovednega vzdrževanja** je **objektivno spremljanje vrednosti (velikosti)** veličin, torej **natančnost spremljanja** mora biti taka, da ne zaidemo v območje nastanka okvare na napravi (Slika 5, točka S_{N0});
- drugi pogoj za uvajanje **napovednega vzdrževanja** je spremljanje vrednosti (velikosti) **vseh tistih dejavnikov**, ki v veliki meri vplivajo na stanje naprave;
- predpogoj za uvajanje tovrstnega sistema pa je vedenje o preteklem delovanju naprav, kar podaja **statistika dogodkov** posameznih naprav;
- rabo **napovednega vzdrževanja** pa naj potrdi še **ocena tveganja**, ki je danes merilo za uvajanje številnih procesov v poslovne sisteme.

V številni literaturi in tudi knjigah (da o reklamah posameznih izdelkov ne govorimo) je pogosta raba izrazov s področja vzdrževanja, ki je bolj prilagojena potrebam prodajalcev posameznih izdelkov kot pa neposrednim uporabnikom. Zato je treba zadeve postaviti na trdna tla in jih proučiti s stališča potreb potencialnega uporabnika pred nabavo komercialnih izdelkov. Tako bo verjetno prihranjena obilica nepotrebnega dela številnih zaposlenih, ki sodelujejo pri uvajanju tovrstnih komercialnih izdelkov.

Problematika metodologij (konceptov) vzdrževanja

V preteklosti je za poimenovanje tega področja vzdrževanja (njegove nadgradnje) uporabljan predvsem izraz koncept. V literaturi pa se izraza metodologija in metoda uporabljata v podobnem kontekstu, včasih v pomenu nadgradnje in včasih kot način vzdrževanja. Po pregledu in razčlenitvi definicij predlagamo, da je pomenska raba teh dveh izrazov (metodologija in koncept) na področju vzdrževanja enaka. Iz uvodne točke v tem prispevku (točka III.) je razvidno, da je raba metodologije (koncepta) upravičena takrat, kadar se uporablja za nadgradnjo ali zajema rabo večjega števila metod pri vzdrževanju naprav določenega sistema. Tako ugotavljamo, da se posamezne metodologije ukvarjajo predvsem z naslednjimi dejavniki:

RCM (Reliability Centered Maintenance) – **v zanesljivost usmerjeno vzdrževanje** je metodologija (koncept), ki je razvita za potrebe letalske in vesoljske industrije in temelji na doseganju čim večje zanesljivosti naprav in s tem tudi sistema. Ta metodologija obravnava naslednja ključna spremljajoča podpodročja [1, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]:

- **zanesljivost** delovanja vzdrževanih naprav (in sistema kot celote),
- **stanje** posameznih naprav oz. njihovih skupin, kar se izvaja bodisi s spremljanjem stanja na klasičen način (pregledi in druga vzdrževalna dela, ki rezultirajo v poročilih o vzdrževanju oz. poročilu o stanju posameznih naprav; pomemben je tudi sistem in nabor podatkov, ki omogoča opredelitev stanja naprav) ali pa z diagnostiko, ki je lahko tudi sprotna (on-line) diagnostika,
- **pomembnost** posameznih naprav, ki se opredeljuje na podlagi scenarijskih analiz obremenjenosti naprav v posameznih letnih časih in tekom dneva;
- **izbor naprav,** vzdrževanih po tej metodologiji,
- **podatki,** potrebni za kakovostno in učinkovito rabo te metodologije,
- **izbira metode vzdrževanja** posameznih elementov za doseganje največjih ekonomskih učinkov; pri tem različne naprave vzdržujemo z različnimi metodami ob upoštevanju največje zanesljivosti in minimalnih stroškov ter nenehnega izboljševanja.

Poleg tega se upoštevajo tudi stroški naprav in njihovega vzdrževanja, kar metodologiji daje večji pomen in uporabnost pri sprejemanju odločitev. Uporaba te metodologije je najprimernejša za rabo v elektrogospodarskih podjetjih, in še zlasti tam, kjer je zanesljivost delovanja ključnega pomena (predvsem jedrske elektrarne). Z uporabo te metodologije (koncepta) imamo v družbi ELES bogate izkušnje, vendar zadeva še ni popolnoma zaživela.

RBM (Risk Based Maintenance) – v tveganje usmerjeno vzdrževanje [56] je naslednja faza razvoja znotraj RCM metodologije. Osnovni cilj te metodologije je zmanjšanje stroškov vzdrževanja, pri sprejemljivem delovanju naprav in povečanju srednje- in dolgoročne dobičkonosnosti, s sprejemljivimi pogoji tveganja. Išče se ravnotežje med uspešnostjo delovanja, stroški vzdrževanja in tveganji. V praksi to pomeni, da se naprava, katere stanje je ocenjeno z visokim tveganjem, vzdržuje pogosteje in prednostno.

TPM (Total Productive Maintenance) – **v proizvodnjo usmerjeno vzdrževanje** ali popolno (celostno) produkcijsko vzdrževanje, ki temelji na (spodaj opisanih) pomembnejših dejavnikih [52].

- **Zdravje in varnost** zagotavljata najmanjše možno število nesreč ter negativnih učinkov na osebje in premoženje.
- **Izobraževanje in urjenje** zagotavljata visok nivo sposobnosti zaposlenega osebja za pravilno ukrepanje ne samo v primeru klasičnih vzdrževalnih posegov, temveč tudi v zahtevnih primerih ob izrednih dogodkih.
- **Avtonomno vzdrževanje** je zagotovljeno ob izpolnitvi zgoraj navedenih postavk in omogoča osebju samostojno sprejemanje odločitev tudi v primerih potreb po zahtevnejših vzdrževalnih posegih.
- **Načrtovano vzdrževanje** upošteva vzroke poslabšanja stanja naprave (sistema) ter z analizo drevesa okvar opredeli tudi ustrezno rešitev.
- **Kakovost vzdrževanja** je pomemben člen pri zagotavljanju enakih lastnosti izdelkov tovarne. Posebne skupine strokovnjakov z ustrezno analizo zagotavljajo uresničitev tega cilja.
- **Osredotočanje na izboljšave** sistema vzdrževanja je stalna naloga posebne skupine strokovnjakov, ki spremlja procese vzdrževanja, ugotavlja težave in predlaga ustrezne rešitve.
- **Podporni sistemi** imajo velik vpliv na proizvodnjo prav zaradi nenehnega ugotavljanja in reševanja vseh identificiranih problemov v sistemu vzdrževanja.

Cilj tega vzdrževanja je primarno zagotoviti nemoteno proizvodnjo (produkcijo), in to predvsem v tovarnah, ki ustvarjajo različne izdelke za trg.

ROM (Results Oriented Maintenance) – **v rezultate usmerjeno vzdrževanje** [35, 53] je novejši pristop, temelječ na uporabi sodobnih matematičnih modelov (»mehka logika«) in zajema različne pristope pri odločanju o vzdrževanju. Ti so odvisni od uporabljene metode vzdrževanja, bodisi preventivne bodisi korektivne.

VDM (Value Driven Maintenance) – **vrednostno usmerjeno vzdrževanje** (v [7] prevedeno kot **vzdrževanje po vrednosti**) [54, 7] je novejša metodologija, ki je svojo dejavnost usmerila v poudarjanje prvin procesa vzdrževanja, sodelujočih v kreiranju, ustvarjanju in povečevanju vrednosti (mišljeno je predvsem tiste, ki jih stroškovno oz. denarno vrednotimo). Na hitro presojano bi to morala biti metodologija, ki je v veliko oporo upravljanju s sredstvi. Njena značilnost je poudarjanje naslednjih potencialnih dejavnikov, ki v veliki meri vplivajo na vrednost, ustvarjano z vzdrževanjem:

- varnost, zdravje pri delu in okolje (VZO; SHE – Safety, Health & Environment),
- izkoriščenost naprav (IN; AU – Asset Utilization),
- nadzor stroškov (NS; CC – Cost Control),
- upravljanje virov (UV; RA – Resource Allocation).

Pri tem je poseben poudarek na varnosti in zdravju pri delu ter na okoljski problematiki, ker se v izhodiščni enačbi, opredeljujoči bistvo metodologije, ta pojem upošteva dvakrat, in sicer:

- najprej v posebnem faktorju, ki zajema varnost, zdravje in okolje ter
- v potencialnem denarnem toku, ki ga na področju varnosti, zdravja in okolja pričakujemo v prihodnosti.

Vsa prizadevanja in pričakovanja so v tej metodologiji strnjena v naslednjo enačbo:

$$SV_{VZD} = \Sigma \{F_{VZO,t} \times (PPDT_{VZO,t} + PPDT_{IN,t} + PPDT_{NS,t} + PPDT_{UV,t})/(1+r)^{t}\},$$

pri čemer je pomen uporabljenih oznak naslednji:

SV_{VZD} … potencialna sedanja vrednost vzdrževanja,

$F_{VZO,t}$ … dejavnik (faktor) varnosti, zdravja in okolja v letu t,

$PPDT_{VZO,t}$ … prosti denarni tok v letu t zaradi varnosti, zdravja in okolja,

$PPDT_{IN,t}$ … prosti denarni tok v letu t zaradi izkoriščenosti naprav,

$PPDT_{NS,t}$ … prosti denarni tok v letu t zaradi nadzora stroškov,

$PPDT_{UV,t}$ … prosti denarni tok v letu t zaradi upravljanja virov,

r … diskontna stopnja,

t … čas v letih.

Zaslediti je, da ta metoda strnjeno obravnava tiste podprocese vzdrževanja, ki naj bi ustvarjali največjo (dodano) vrednost v celoti, tako v sedanjosti kot tudi v prihodnje. To pa se odraža v izračunavanju neto sedanje vrednosti, s katero se zajame celoten časovni interval življenjske dobe naprav. Pri izvajanju procesov izkoriščenosti naprav in nadzora stroškov se metodologija usmerja v upravljanje z zanesljivostjo, načrtovanjem in pripravo vzdrževanja ter z izvajanjem vzdrževanja. Prav gotovo je ta novi pristop k vzdrževanju mogoče uporabljati predvsem v proizvodnih podjetjih, kjer je poudarek na doseganju največje stopnje zanesljivosti delovanja posameznih proizvodnih procesov in izkoriščenosti strojev in naprav. Poleg tega obstaja nekaj pomislekov, ki so strnjeni v naslednjih postavkah:

- najprej velja ugotovitev, da metodologija močno »diši« po analizi stroškov in koristi (cost-benefit), tako da upošteva malce drugače združevane stroške (ob tem, da se koristi ne upoštevajo); kolikor nam je znano, v družbi ELES tovrstne analize izvajamo za vsak projekt;

- ali se formula uporablja za celotno vzdrževanje ali le za posamezne naprave oz. procese (?);
- kako zajeti stroške varnosti, zdravja in okolja v prihodnje, saj jih še v sedanjosti zelo težko opredelimo (?);
- kako se v primeru izračunavanja sedanjih vrednosti za posamične naprave opredeljuje sedanja vrednost za celotno vzdrževanje (vse naprave, procese) ali z enostavnim seštevanjem dobljenih posameznih sedanjih vrednostih (?);
- kako je s časom, ali je enoten ali se opazuje ločeno za posamezne naprave (in se proces spremlja v življenjski dobi posamezne naprave – časovni zamik vgradnje in različne življenjske dobe posameznih naprav povzročajo neskladje) (?);
- v primeru ločenega spremljanja procesa je potreba po podatkih enormna in vprašanje je, ali je obvladljiva v obsegu, potrebnem za kakovostno in učinkovito rabo te metodologije (?);
- odprto je vprašanje o določanju denarnega toka v prihodnosti za predvidene dejavnike, saj ga za le-te tudi v sedanjosti ne moremo opredeliti dovolj natančno (načrtovano/realizirano).

Navedeno je nekaj osnovnih značilnosti vrednostno usmerjenega vzdrževanja, ki je najnovejši metodološki pristop k vzdrževanju (pravijo, da je sodoben in univerzalen? [7] – pomen teh izrazov pa je skoraj brez vsebine). Njegovo uveljavljanje v elektrogospodarskih podjetjih je odvisno od uporabe drugih metodologij (predvsem RCM), saj naj bi VDM uporabljala vse rezultate drugih metodologij ter tako predstavljala njihovo nadgradnjo.

Upravljanje s sredstvi

Upravljanje s sredstvi je v zadnjih dvajsetih letih pridobilo status vodilne metodologije za zagotavljanje optimalnega gospodarjenja s posameznimi napravami v njihovi življenjski dobi. Pri tem je vzdrževanje le eden od členov, ki zagotavlja tako podatkovno kot tudi postopkovno podporo upravljanju s sredstvi. Za uspešno vključitev v upravljanje s sredstvi so za sistem vzdrževanja potrebne manjše prilagoditve tako podatkovnih baz kot tudi posameznih vzdrževalnih procesov. O upravljanju s sredstvi so napisana številna dela, članki, knjige ter standardi. Zato se s to temo ne bomo podrobneje ukvarjali.

Stroški v življenjski dobi naprave (LCC – life cycle cost)

Elektroenergetski sistem je eden najobsežnejših, tehnološko najzahtevnejših in za družbo najpomembnejših sistemov. Zato je učinkovitost njegovega delovanja izjemnega pomena za vsako državo. Ta poudarek še zlasti velja za zanesljivo delovanje sistema, ki mora biti v skladu in s potrebami odjemalcev. Za doseganje teh ciljev pa je odločilnega pomena izbira in nabava naprav, ki so kakovostne, tehnološko na visokem nivoju in cenovno sprejemljive. Vzroki za uvajanje metode stroškov v življenjski dobi naprav (LCC) so naslednji [povzeto po 55]:

- konkurenca v elektroenergetiki,
- povečanje stroškov obratovanja in vzdrževanja,
- omejena sredstva, namenjena za vzdrževanje,
- obsežnost obravnavanega sistema,
- neugodne ekonomske razmere,
- porast zavedanja po povečanju učinkovitosti in uspešnosti izvajanja vzdrževanja.

Uspešno uvajanje vsake nove dejavnosti ali metode (metodologije) zahteva izvedbo nekaterih ukrepov. Tako tudi uvajanje metode stroškov v življenjski dobi (naprav) zahteva izvedbo naslednjih dejavnosti [prirejeno po 55]:

- opredeliti življenjsko dobo naprav (produkta),
- ugotoviti vse stroškovne povzročitelje,
- določiti eskalacijsko in diskontno stopnjo za analizo stroškov v času,
- analizirati in upoštevati mehanizme nastajanja okvar na napravah (v sistemu),
- opredeliti stroške, nastale zaradi okvare kateregakoli elementa oz. naprave v njeni življenjski dobi,
- opredeliti stalno ceno denarja (fiksiranje tečaja, recimo na dolar iz leta 2000),
- določiti in analizirati dejavnosti, ki povzročajo stroške,
- izdelati ustrezno analizo občutljivosti,
- določiti vzroke okvar in njihove učinke (posledice).

Pri uvajanju te metode moramo za izvajanje analize zagotoviti podatke o napravah (projektih) ter izbrati metodo za določanje stroškov v življenjski dobi (ciklu) posameznih naprav (sistema). Prednosti uvajanja te metode so naslednje:

- znižanje celotnih stroškov v življenjski dobi naprave,
- popolni nadzor nad izdelanim programom,
- uporabnost pri primerjavi stroškov med konkurenčnimi projekti,
- uporabno orodje za sprejemanje rešitev, ki zadevajo zamenjavo naprav, načrtovanje del in sredstev,
- orodje, primerno za selekcijo med konkurenčnimi pogodbeniki ali izvajalci.

Za primer visokonapetostnega odklopnika je model za ocenjevanje stroškov v življenjski dobi naslednji [55]:

$$LCC_{odkl} = CFC + CMC + UC,$$

pri čemer je pomen uporabljenih oznak naslednji:

LCC_{odkl} … stroški v življenjski dobi VN-odklopnika,

CFC … stalni stroški VN-odklopnika,

CMC … stroki vzdrževanja VN-odklopnika,

UC … stroški, ki se nanašajo na nerazpoložljivost prenosnega ali distribucijskega elektroenergetskega omrežja.

Med poglavitne cilje uvajanja metode stroškov v življenjski dobi naprave sodijo naslednji:

- doseči največje možne koristi ob minimalnih razpoložljivih resursih,
- poglavitno vlogo imajo managerji v prizadevanju za koristne ***učink***e rabe te metode,
- v splošnem je upravljanje s tveganji ključno pri doseganju koristi s to metodo,
- za tovrstne obdelave je najpomembnejša dosegljivost natančnih podatkov,
- pri analizah lahko uporabljamo katerikoli program, ki zajema stroške,
- za kontrolo stroškov v življenjski dobi morata biti zainteresirana in udeležena uporabnik in tudi proizvajalec naprave,
- analiza stroškov v življenjski dobi naprave je odlično izhodišče za optimizacijo načrtovanja in sprejemanja strateških odločitev,
- izpopolnjena in na podlagi izkušenj izdelana analiza stroškov lahko nadomesti deloma nepopolne vhodne podatke.

Značilnost metode (modela) stroškov v življenjski dobi je ta, da so enačbe, uporabljane za izračune stroškov, odvisne od vrste obravnavane naprave. Prav tako so od analizirane naprave odvisni tudi podatki, potrebni za predvidene izračune. Zato pa je za uvajanje metode (modela) stroškov v življenjski dobi naprav treba podrobno proučiti številne variante ter njihovo praktično uporabnost na napravah, ki so vgrajene v elektroenergetskem sistemu.

Stroškovne dileme

Zaradi prilagajanja spremenjenim zahtevam v zakonodaji smo način spremljanja stroškov prilagodili novim potrebam na koncu leta 2015. Pomembno je poudariti, da se način spremljanja stroškov ne bo prepogosto spreminjal, ker pomeni drugačen način njihovega zajemanja. To pa največkrat ni ustrezno prav zaradi pomenskih sprememb, ki jih s seboj nosijo tovrstni posegi. Tako povzročamo negativne učinke pri obdelavi podatkov in še zlasti pri tolmačenju vseh dejavnikov, izračunanih na podlagi tako spremenjenih podatkov. S tem se izgublja tudi sledljivost in primerljivost z rezultati obdelav v preteklosti. Tu se postavljajo še naslednja odprta področja:

- spremljanje obsega stroškov in njihovo uvrščanje glede na opravljanje posameznih del: v družbi ELES smo nazadnje tovrstne prilagoditve izdelali po implementaciji zahtev novega Pravilnika o vzdrževanju [9], ki smo jih prenesli v interni akt, poimenovan Navodilo o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav [10]; predvidevamo, da sprememb v tej smeri v doglednem času ne bo in da bomo svoje potenciale in prizadevanja usmerjali v dokončno uvajanje RCM-metodologije za ključne naprave prenosnega omrežja;
- prepletanje opravil med izvajanjem revizije, ki zajema tudi vzdrževalna dela, umeščena pod pregled; sem sodi tudi pojem izredni pregled, kar razrešimo z umeščanjem v korektivno vzdrževanje;
- stroškovna meja med revizijo, remontom in obnovo: najpogostejša je dilema med remontom in obnovo, kar še zlasti velja pri zamenjavi elementov daljnovodov, kot so izolatorji, obesna oprema, vodniki in predvsem stebri (drogovi – SN daljnovodi); poskusno opredelimo mejo, ki se giblje med stroški (odstotkov vrednosti investicije):

pregled : revizija : remont : obnova = 0,5 % : 3 % : do 10 (15) % : nad 15 %.

V primeru tovrstne zamenjave po havariji ni nobene dileme – zadeva sodi v korektivno vzdrževanje, ki pa ima zaradi obsega del (glej zgornjo lestvico) lahko tudi značaj obnove. Pri opravljanju načrtovanih vzdrževalnih del (oz. pri preventivnem vzdrževanju po stanju) pa smo v dilemi, saj smo desetim (petnajstim) odstotkom daljnovoda podaljšali življenjsko dobo, kar ni osnovna naloga vzdrževanja, temveč obnove (revitalizacije). Strokovnjaki v vzdrževanju se pogosto srečujejo s podobnimi mejnimi primeri na področju stroškov in jih morajo nenehno reševati v skladu s postavljenimi teoretičnimi izhodišči.

Najpomembnejši dejavniki na področju vzdrževanja

Predpogoj kakovostnega in učinkovitega izvajanja vzdrževanja so ustrezno izpolnjeni posamezni dejavniki, ki so temeljni gradniki te pomembne funkcije. Pomembno je predvsem, da pri izvajanju funkcije vzdrževanja velja pravilo urejenosti in korektnosti izvajanja posameznih nalog. Za uresničevanje tega cilja pa so pomembni predvsem naslednji dejavniki: osebje, naprave (omrežje), sredstva za delo, diagnostika, statistika dogodkov, podatki in uporabljane aplikacije.

- **Osebje** (znanje, izkušnje, motiviranost, pripadnost) je najpomembnejši dejavnik, ki s pravilnim vodenjem in stimuliranjem zagotavlja kakovostno in ***učinkovito izvajanje vzdrževanja***; pomembnost osebja pride do polnega izraza v primeru izrednih razmer, kar se je še posebej pokazalo v primeru žledenja v letu 2014.
- **Naprave (omrežje)** so gradniki elektroenergetskega sistema, ki v največji meri vplivajo na zanesljivost in varnost njegovega delovanja. Pri nabavi naprav je treba slediti njihovemu razvoju, vgrajevati tehnološko najbolj razvite naprave ter pri tem upoštevati stroške in koristi v celotni življenjski dobi.
- **Sredstva za delo** so pripomočki, ki jih uporablja osebje pri izvajanju vzdrževalnih del. Zato morajo biti izdelana v skladu s predpisi, standardi in na podlagi zahtev varstva pri delu, biti pa morajo tudi v brezhibnem stanju (pregledano v skladu z določili relevantne zakonodaje in ustreznih inštitucij).
- **Diagnostiko** sestavljajo zajem podatkov o stanju naprav, shranjevanje teh podatkov in njihova dosegljivost, obdelava teh podatkov, prikaz rezultatov obdelav ter tolmačenje teh rezultatov; v novejšem času se uveljavlja tudi sprotna diagnostika stanja naprav (on-line), ki zagotavlja nenehen dotok podatkov o vrednostih dejavnikov, ki najbolj vplivajo na njeno stanje. Pričakuje se nadaljnji razvoj aplikacij za

obdelavo teh podatkov – najprimernejši bi bili ekspertni sistemi s tem, da bi razvili njihovo sposobnost sprejemanja (predlaganja) odločitev v posameznih kritičnih primerih.

- **Statistika dogodkov** je vir podatkov za potrebe obratovanja in vzdrževanja. Pri tem je najpomembneje obratovalno statistiko nadgraditi in jo združiti s statistiko za vzdrževanje; zelo pomembna naloga v družbi ELES je izdelati aplikacijo za statistiko dogodkov, ki bo zajemala podatke, relevantne za vzdrževanje. Odprto ostaja vprašanje, ali bo to narejeno z nadgradnjo obstoječe aplikacije za obratovalno statistiko dogodkov, ali bo to posebna aplikacija (statistika dogodkov za vzdrževanje) ali pa je mogoča še kakšna druga rešitev. Poudariti velja, da so ključnega pomena za delovanje programske opreme prav podatki o preteklem delovanju posameznih naprav.
- **Podatki** o številnih napravah, ki zajemajo njihove tehnične podatke, podatke o stanju naprav, podatke o dogodkih na napravah in druge podatke, se uporabljajo v številnih aplikacijah. Tu je ključnega pomena zadosten obseg podatkov za delovanje posamezne aplikacije. Zavedati se moramo, da še tako kakovostna aplikacija brez ustreznega nabora podatkov **ne more** delovati. V ta namen bi bilo primerno izdelati pregled vseh uporabljanih aplikacij in podatkov, ki jih potrebujejo za svoje delovanje. Pri tem pa je treba dodati še podatek o njihovi trenutni razpoložljivosti (dosegljivosti) v naših obstoječih informacijskih sistemih. Po izdelavi tega pregleda bi moral slediti načrt nabora podatkov z načinom njihovega zbiranja (zajemanja) v prihodnje. Sledi še terminski plan izvedbe te naloge. Poleg rabe podatkov v lastnih aplikacijah so le-ti nepogrešljivi pri poročanju različnim inštitucijam ali v primerjalnih študijah delovanja posameznih sorodnih družb v Evropi in svetu (primerjalna študija IOTMS, v kateri družba ELES sodeluje že več let).
- **Uporabljane aplikacije** karakterizira stopnja njihove »zrelosti« in uporabnosti, prilagojenost potrebam uporabnika ter nabor podatkov, potreben za njihovo kakovostno delovanje; njihova uporaba v »polnem« obsegu, t. j. z aktiviranjem vseh funkcionalnosti, ki jih premore, pomeni, da je področje, pokrivano s to aplikacijo, urejeno v največji možni meri.

Za vzdrževanje in poslovanje podjetja so poleg zgoraj navedenih dejavnikov velikega pomena tudi stroški, ki jih na tem področju vsako leto tudi načrtujemo. Pomembna je zlasti primerjava vsakoletnih načrtovanih in doseženih stroškov ter stanje ključnih naprav v vsaki elektrogospodarski družbi.

7. Pogled v prihodnost

V skladu s splošnim stanjem v družbah (gledano v svetovnem merilu) je vprašanje nadaljnjega razvoja področja vzdrževanja dokaj odprto. Priča smo preseljevanju celotnih industrijskih kompleksov (ZDA, Evropa) v področja s ceneno delovno silo (Kitajska). Delovanje najbolj razvitih družb zahoda pa naj bi temeljilo na spodbujanju in razvoju storitvenih dejavnosti. Jasno je, da Združene države Amerike tega ne bodo počele s svojo vojaško industrijo, kar je praktično edina industrija, ki je še ostala na tleh te svetovne velesile. Postavlja se pomembno vprašanje, ali je vso to početje primerno in ustrezno s stališča razvoja teh družb. Ali je profit tiste peščice »lakotnikov« vreden tega početja? Kako bo to vplivalo na razvoj ljudi, ki se bodo ukvarjali predvsem z »nematerialnimi« zadevami (biznisom)? Ali nas dejansko čaka »virtualni svet« in »virtualno življenje«?

Glede na zgoraj navedeno je tendenca v razvoju naprav izdelava črnih škatel, ki jih po prenehanju delovanja odvržeš. To naj bi bila strategija za nizkocenovne izdelke. Izdelki, ki imajo srednjo ceno, bodo izdelani tako, da v lastni režiji ne bo mogoče narediti ničesar. Najboljši zgled za to so avtomobili in njihova opremljenost z računalniki. Še do pred kratkim so obstajale številne osebe tipa »naredi sam«, ki so bile sposobne odpraviti marsikatero okvaro na tem izdelku. V prihodnje pa kaže, da bo to popolnoma nemogoče brez programske opreme izdelovalca avtomobila. Avto, kot tak, je zaklenjeni izdelek in na njem (po novem) niso več mogoči posegi (izsiljena uporaba servisa). Izdelki z visoko ceno pa bodo za kupca popolna »črna škatla«, s katero brez posredovanja izdelovalca (na daljavo ali s serviserjem) ne bo mogoče narediti ničesar. Malo znanja o vsebini in delovanju takega izdelka bo na voljo uporabniku (investitorju).

Vprašamo pa se, kaj to pomeni za področje vzdrževanja v elektroenergetiki. Ob domnevi, da bodo elektrogospodarska podjetja ostala v državni lasti, lahko na tem področju pričakujemo nadaljnji razvoj v smeri uvajanja različnih metodologij (konceptov) vzdrževanja. Razvoju naprav bo sledil razvoj metod vzdrževanja, ki bodo upoštevale ključne dejavnike njihovega delovanja, med njimi tudi stroške. Z vpeljavo novih metodologij (konceptov) se bodo lahko stroški optimizirali v povezavi z zanesljivostjo obratovanja naprav in sprotnega izboljševanja izvajanja vzdrževanja. Največje gonilo razvoja vzdrževanja pa je njegova informatizacija. Ta zajema vse dejavnosti elektroenergetskega sistema, od zajemanja podatkov na napravah (senzorji in drugi merilni elementi) do vodenja posameznih procesov vzdrževanja in do spremljanja njihove učinkovitosti in uspešnosti.

Poudariti je treba vlogo osebja, ki izvaja naloge vzdrževanja. Brez ustreznega in zadostnega kadrovskega potenciala kakovostno in učinkovito delo na tem področju ni mogoče. Zato je treba posebno skrb posvečati zaposlenim, njihovemu znanju, izkušnjam, motivaciji ter pripadnosti podjetju.

8. Zaključki

Vzdrževanje je eno od interdisciplinarnih področij, saj za njegovo ustrezno obvladovanje potrebujemo široko paleto strokovnih znanj ter obvladovanje številnih tehničnih in družboslovnih ved. Zgodovinski razvoj vzdrževanja je sledil razvoju cele množice znanstvenih ved s tem, da so se širile funkcionalnosti, ki jih je ta sistem bil sposoben izvajati. Od časov industrijske revolucije pa do danes je bil napredek

te dejavnosti izjemno velik, in sicer od obratovanja naprav do okvare in do uvajanja samovzdrževanja, ki je najnovejši dosežek. Pri tem je ključnega pomena zanesljivostni »vzorec« naprav oz. njihovih sestavnih delov.

Po analizi dosedanje rabe pojma koncept smo v rabo sprejeli tudi izraz metodologija, saj sta si pomensko zelo podobna. Kljub temu pa v prihodnje pričakujemo rabo izraza koncept kot nadgradnjo vseh pojmov, uporabljanih v vzdrževanju.

Še naprej naj se nadaljujejo prizadevanja za sprejetje potrebne zakonodaje ter za prevajanje standardov, ki se uporabljajo na področju vzdrževanja. V zadnjih nekaj letih je tu dosežen odločilen preboj in velik napredek, kar je zasluga predvsem Elektrotehniške zveze Slovenije (EZS) ter pri tem delu sodelujočih strokovnjakov.

Strnjenemu opisu teorije vzdrževanja sledi razčlenitev nekaterih ključnih področij, katerih raba ni enoumno določena (ne stojijo na trdni podlagi). Obravnavani so pregled, pomanjkljivost, odloženo korektivno vzdrževanje. Izdelani so predlogi njihove pravilne rabe v vzdrževanju. Nadalje je podana podrobna razlaga in umestitev v sistem t. i. napovednega vzdrževanja, ki je le ena od inačic preventivnega (preprečevalnega) vzdrževanja po stanju z značilno natančnim zajemanjem podatkov o stanju naprav in temu ustrezno določenimi mejnimi vrednostmi dejavnikov. Razčlenjene so tudi osnovne značilnosti nekaterih metodologij (RCM, RBM, TPM, ROM, VDM), upravljanje s sredstvi ter značilnosti metode stroškov v življenjski dobi naprav (LCC). Razrešitvi odprtih stroškovnih dilem sledi opis najpomembnejših dejavnikov vzdrževanja. Ključnega pomena pri rabi metodologij in metod je zmožnost opredeliti vplive posameznih ukrepov, ki jih določa metodologija, na stanje oz. zanesljivost posamezne naprave oz. sistema. To je eno od najzahtevnejših, najbolj nedodelanih in najpomembnejših področij vzdrževanja. K temu svoj delež prispevajo tudi podatki, in to še zlasti podatki o delovanju naprav (sistema) v preteklosti.

Prispevek podaja kratek pogled v prihodnost, v kateri bo poudarek na uporabi visokotehnoloških naprav in specializiranih metodologij ob upoštevanju vseh relevantnih dejavnikov. Najpomembnejši dejavnik pri tem pa je osebje, ki ima ključno vlogo pri doseganju vseh ciljev.

LITERATURA:

[1] MOUBRAY J.: Reliability-centered Maintenance, Industrial Press Inc. New York, 1997.

[2] VILLEMEUR A.: Reliability, Availability, Maintainability and Safety Assessment, Volume 1 and 2, Methods and Techniques, John Willey and Sons, Chichester, 1992.

[3] CAMPBELL J., JARDINE A.: Maintenance Excellence, Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions, Marcel Darker, Inc. New York, Basel, 2001.

[4] GILL P.: Electrical Power Equipment Maintenance and Testing, Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.

[5] PALMER D.: Maintenance Planning and Scheduling Handbook, McGraw Hill, New York, 1999.

[6] KNEŽEVIĆ J.: Upravljanje procesima održavanja i obnavljanja tehničkih sistema na osnovu teorije pouzdanosti, I deo, Teorija pouzdanosti u inženjerskoj praksi, OMO, Beograd, 1988.

[7] ANDROJNA A., ROSI B.: Celostno obvladovanje vzdrževanja, Učila International, Tržič, 2008.

[8] POJMOVNIK: BOKAL D., BOKAL L., JURŠE A., ZORMAN M., MIHORKO B., OMAHEN P.: Pojmovnik s področja obratovanja in vzdrževanja distribucijskega elektroenergetskega omrežja in postrojev, EIMV, Ljubljana, JP Elektro Celje, Celje, JP Elektro Gorenjska, Kranj, JP Elektro Ljubljana, Ljubljana, JP Elektro Maribor, Maribor, JP Elektro Primorska, Nova Gorica; Ljubljana, oktober 1994

[9] Pravilnik o vzdrževanju elektroenergetskih objektov, Uradni list RS št. 98/15, 2015.

[10] ELES: Navodilo o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav, NA K 7.5.12.1, izdaja 5 KU, 01. 01. 2016. Ljubljana.

[11] EIMV, SODO, EDP: Enotna navodila za vzdrževanje distribucijskega EEO, ref. št. 2157, EIMV Ljubljana, 2012.

[12] EIMV: Poenotenje vzdrževanja distribucijskega elektroenergetskega omrežja in postrojev, študija št. 2112, EIMV Ljubljana, september 2012.

[13] FERI: Uporaba sodobnih metod vzdrževanja elementov stikališč prenosnega podjetja, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, 2012.

[14] FERI: Opredelitev metod vzdrževanja linijskih objektov prenosnega podjetja in potrebna programska oprema, št. študije 207/2013, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, 2014.

[15] BELAK L.: Strateško vzdrževanje prenosnih naprav s stališča zanesljivosti in tveganja, doktorska disertacija, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, september 2015.

[16] ABB: Izdelava metodologije strateškega vzdrževanja prenosnega omrežja z upoštevanjem zanesljivostno ekonomskih parametrov učinkovitosti, študija, ABB Utilities GmbH, ELES, 2003.

[17] VOLK B., BAKIĆ K.: Izkušnje z uvajanjem RCM metodologije v ELES-u, 7. konferenca slovenskih elektroenergetikov CIGRE ŠK C1 – 2, Velenje 2005.

[18] TOROŠ Z.: Hibridni kazalci kakovosti električne energije v elektroenergetskem distribucijskem sistemu, doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, Maribor 2009.

[19] TAJNŠEK V.: Model naprednega logističnega sistema vzdrževanja distribucijskih srednjenapetostnih nadzemnih vodov, doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko, Celje, 2011. -

[20] WIREMAN T.: Developing Performance Indicators for Managing Maintenance, Industrial Press, New York, 1998.

[21] LEVIT J.: Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance, Industrial Press, New York, 2003.

[22] HAARMAN M., DELAHAY G.: VDM – Value Driven Maintenance, New faith in maintenance, Second edition, Mainnovation 2008.

[23] SIST EN 13306: 2010: Vzdrževanje – Terminologija s področja vzdrževanja.
[24] SIST EN 13460: 2009: Vzdrževanje – Dokumentacija za vzdrževanje.
[25] SIST EN 15341: 2007: Vzdrževanje – Bistveni kazalniki učinkovitosti vzdrževanja.
[26] Uredba o vzdrževalnih delih v javno korist na področju energetike, Uradni list R Slovenije, št. 125, 22. 11. 2004.
[27] BOKAL D., OMAHEN P.: Možne spremembe standardov in predpisov v obratovanju in vzdrževanju distribucijskega elektroenergetskega sistema, ref. št. 1261, EIMV Ljubljana, maj 1995
[28] STS: Splošni tehniški slovar, druga izdaja, Ljubljana 1978.
[29] ADAMOVIĆ Ž., TODOROVIĆ J., JEVTIĆ M.: Organizacija održavanja, OMO, Beograd, 1988.
[30] BRDAREVIĆ S.: Uspješnost održavanja, OMO, Beograd, 1988.
[31] ADAMOVIĆ Ž.: Logistički sistem održavanja, Privredni pregled, Beograd, 1989.
[32] KNEŽEVIĆ J.: Upravljanje procesima održavanja i obnavljanja tehničkih sistema na osnovu teorije pouzdanosti, I deo, Teorija pouzdanosti u inženjerskoj praksi, OMO, Beograd, 1988.
[33] TOMIĆ M., ADAMOVIĆ Ž.: Pouzdanost u funkciji održavanja tehničkih sistema, Tehnička knjiga, Beograd, 1986.
[34] BLANKS H.: Reliability in procurement and use, John Willey and Sons, Chichester, England 1992
[35] MINIĆ S., ARSENIĆ Ž.: Modeli održavanja tehničkih sistema, Vojno-izdavački zavod, Beograd, 1998.
[36] BOKAL D., MIHORKO B.: Vrednotenje obratovanja in vzdrževanja distribucijskega elektroenergetskega sistema, ref. št. 1209, EIMV Ljubljana, julij 1993.
[37] BLANCHARD B.: Logistic, Engineering and Management, Third Edition, Prentice-Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, Englewood Cliffs, 1986.
[38] TOBIAS P., TRINDADE D.: Applied Reliability, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, A Division of International Thomson Publishinf Inc. New York, 1995.
[39] PECHT M.: Product Reliability, Maintainability and Supportability Handbook, CRC Press, Boca Raton, 1995.
[40] BOKAL D.: Vzdrževanje distribucijskega elektroenergetskega omrežja, ref. št. 1078, EIMV Ljubljana, september 1989.
[41] BOKAL D.: Vzdrževanje distribucijskega elektroenergetskega omrežja in postrojev, del II.A, ref. št. 1118, EIMV Ljubljana, april 1991.
[42] HEP-OPS: Pravila o održavanju postrojenja i opreme elektroenergetskih građevina prijenosne mreže, HEP Grupa, HEP-Operator prijenosnog sustava, d. o. o., BILTEN br. 238, HEP VJESNIK, Zagreb, 21. travnja 2011.
[43] ELES: Pravilnik o vzdrževanju elektroenergetskih prenosnih naprav, ELEKTRO-SLOVENIJA, p. o., Ljubljana, april 1996
[44] SSKJ: Slovar slovenskega knjižnega jezika, Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša, ZRC SAZU, Ljubljana, 1994.
[45] ZELENIKA R.: Metodologija i tehnologija izrade znanstvenog i stručnog djela, Ekonomski fakultet u Rijeci, četvrto izdanje, Rijeka, 2000.
[46] ULE A.: Znanje, znanost in stvarnost, Znanstveno in publicistično središče, zbirka SOPHIA 8/96, Ljubljana, 1996.
[47] HRIBAR T.: Teorija znanosti in organizacija raziskovanja, Znanstvena knjižica, Fakulteta za sociologijo, politične vede in novinarstvo, Ljubljana, 1991.
[48] ULE A.: Sodobne teorije znanosti, Znanstveno in publicistično središče, Ljubljana, 1992.
[49] BARRY R.: Teorija o skoraj vsem, Vodnikova založba, Ljubljana, 1998.
[50] POPPER K.: Logika znanstvenega odkritja, Studia humanitatis, Ljubljana, 1998.
[51] Računalniške verzije različnih slovarjev dosegljivih na internetu.
[52] STEVEN B.: Total productive maintenance, McGraw-Hill, New York2006.
[53] NASCIF J.: Results oriented maintenance management strategy, TECEM, http://www.tecem.com.br/wp-content/uploads/2015/02/GI048_-_RESULTS_ORIENTED_MAINTENANCE_MANAGEMENT_STRATEGY-Julio_Nascif.pdf, prevzeto 09.04.2017.
[54] HAARMAN M., DELAHAY G.: VDM – Value Driven Maintenance, New faith in maintenance, second edition, Mainnovation, 2008.
[55] DHILLON B. S.: Life Cycle Costing for Engineers, CRC Press, 2010.
[56] CIGRE WG B3.32: Saving through optimised Maintenance in air Insulated substations, junij 2016.

ABSTRACT

MAINTENANCE IN ELECTRIC POWER SYSTEM – CONCEPTS, METHODS, MAINTENANCE WORKS AND TASKS

Abstract – Maintenance is organically connected with all activities of human society. This is especially important for technical activities where maintenance is necessary to guarantee uninterrupted operation of industrial systems. Each technical field strives for establishment of theoretical foundations, which enable correct understanding, efficient task performance and enables development. On the grounds of these motivations, theoretical concepts of maintenance are presented. This enabled better understanding of maintenance, insight in the hierarchy of process structure, their categorization and effects on maintenance and cause-effect links between maintenance tasks on specific devices and their state. The link between personnel and maintenance tasks is established, whose role is very important as the quality of performed maintenance tasks is significantly dependent on them. Another important aspect is the usage of unambiguous and unified terminology for efficient communication between personnel.

Keywords: maintenance in the past, legislation and standards from the field of maintenance, maintenance concepts, maintenance methods, maintenance tasks, preventive maintenance, corrective maintenance, maintenance efficiency and performance.

VZDRŽEVANJE ELEKTRIČNIH VOZIL

Piše: **dr. Viktor Lovrenčić**, univ. dipl. inž. el.[1] in **Ana Lovrenčič,** mag. inž. el.[1]
[1]C&G d.o.o Ljubljana



VARNO VZDRŽEVANJE ELEKTRIČNIH VOZIL

Učinkovita raba energije je ključnega pomena za zagotavljanje boljših življenjskih pogojev sedanjim in bodočim generacijam. Vse večje potrebe po energiji ter naraščajoč vpliv lokalnega in globalnega onesnaževanja zahteva trajnostne in učinkovite ukrepe. Posebna pozornost je usmerjena v sektor prometa, saj je eden največjih porabnikov končne energije in eden večjih onesnaževalcev okolja. Elektromobilnost je le eden od smiselnih ukrepov za izničenje negativnih učinkov zaradi naraščajočega števila vozil.

Hitro uvajanje elektromobilnosti v sektor prometa v Sloveniji je za obratovanje elektroenergetskega sistema velik izziv. Elektromobilnost in infrastruktura za polnjenje električnih vozil sta v fazi razvoja. Ojačitev predvsem distribucijskega omrežja je nujna, kar je velik finančni in časovni infrastrukturni izziv. Brez nadzora nad polnjenjem električnih vozil bo prišlo do preobremenitev. S tem izzivom se aktivno ukvarjajo stroka, od snovalcev razvoja omrežja do proizvajalcev polnilnic, kot tudi državni organi, inštituti ter drugi zainteresirani deležniki. Žal je v Sloveniji drugi vidik elektromobilnosti, varnosti in zdravja delavcev še posebej zanemarjen v sektorju nastajajočih proizvajalcev električnih vozil (npr. avtobusov ali osebnih vozil) in tudi že v številnih delujočih servisih električnih vozil vseh tipov, od osebnih vozil do večjih porabnikov, kot so tovornjaki in avtobusi.

Ugotoviti je potrebno, da s stališča varnosti in zdravja delavcev v Sloveniji obstaja velika vrzel, saj ni oblikovanega zakonskega okvira niti uradnih stališč oz. navodil za varno delo. Dosegljivi so nekateri javno objavljeni tuji dokumenti in številna interna navodila proizvajalcev električnih vozil, ki so v glavnem internega poslovnega značaja in večinoma niso dostopna strokovni javnosti. Obstajajo primeri dobre prakse, kot npr. ko se interno usposabljanje serviserjev električnih vozil podpre s strokovnim usposabljanjem s področja varnosti pred nevarnostjo električnega toka, dotika in električnega obloka.

Ključne besede: elektromobilnost, električna vozila, servisiranje, električni udar in oblok, varnost vzdrževalcev pri delu, nič nezgod

1. Opredelitev pojmov

Pravilnik ZN št. 100 [1] – Enotne določbe za homologacijo vozil v zvezi s posebnimi zahtevami za električni pogonski sistem uporabljajo naslednje opredelitve pojmov (povzetek) – dostopen je tudi Pravilnik ZN št. 136 [2]:

- *2.1 „način omogočene aktivne vožnje“ pomeni stanje vozila, pri katerem pritisk na stopalko za plin (ali aktiviranje enakovrednega upravljalnega elementa) ali sprostitev zavornega sistema povzroči, da električni pogonski sistem premakne vozilo;*
- *2.3 „samodejni izklop“ pomeni napravo, ki ob sprožitvi prevodno loči vire električne energije od ostalega visokonapetostnega tokokroga električnega pogonskega sistema;*
- *2.5 „celica“ pomeni posamezno zaprto elektrokemično enoto, ki vsebuje en pozitiven in en negativen priključek, ima na obeh priključkih različno napetost ter se uporablja kot naprava za shranjevanje električne energije z možnostjo ponovnega polnjenja;*
- *2.10 „neposredni stik“ pomeni stik oseb z deli pod visoko napetostjo;*
- *2.11 „sistem za pretvorbo električne energije“ pomeni sistem, ki ustvarja in zagotavlja električno energijo za električni pogon;*
- *2.12 „električni pogonski sistem“ pomeni električni tokokrog, ki vključuje pogonske motorje in lahko vključuje sistem REESS (rechargeable energy storage system), sistem za pretvorbo električne energije, elektronske pretvornike, ustrezne kable in konektorje ter priklopni sistem za polnjenje sistema REESS;*
- *2.13 „električna šasija“ pomeni sklop električno povezanih prevodnih delov, katerih potencial se upošteva kot referenca;*
- *2.14 „električni tokokrog“ pomeni sklop povezanih delov pod napetostjo, ki so zasnovani tako, da so pri običajnem delovanju oskrbovani z električno energijo;*
- *2.15 „pregrada za električno zaščito“ pomeni del, ki ščiti pred neposrednim stikom z deli pod visoko napetostjo;*
- *2.17 „elektronski pretvornik“ pomeni napravo, ki omogoča krmiljenje in/ali pretvorbo električne energije za električni pogon;*

- *2.18 „ohišje“ pomeni del, ki obdaja notranje enote in jih ščiti pred kakršnim koli neposrednim stikom;*
- *2.20 „izpostavljeni prevodni del“ pomeni prevodni del, ki se ga je mogoče dotakniti v skladu z določbami zaščite IPXXB in ki zaradi napake v izolaciji pride pod napetost. To vključuje dele pod pokrovom, ki ga je mogoče odstraniti brez orodja;*
- *2.21 „zunanji vir napajanja z električno energijo“ pomeni vir napajanja z električno energijo z izmeničnim (AC) ali enosmernim tokom (DC) zunaj vozila;*
- *2.24 „visoka napetost“ pomeni razvrstitev električnega sestavnega dela ali tokokroga, če je njegova delovna napetost > 60 V in ≤ 1500 V DC ali > 30 V in ≤ 1000 V AC efektivne vrednosti (r.m.s.);*
- *2.26 „posredni stik“ pomeni stik oseb z izpostavljenimi prevodnimi deli;*
- *2.27 „deli pod napetostjo“ pomeni prevodne dele, ki so v običajnih pogojih delovanja oskrbovani z električno energijo;*
- *2.32 „vgrajeni sistem za nadzor izolacijske upornosti“ pomeni napravo, ki nadzira izolacijsko upornost med visokonapetostnimi vodili in električno šasijo;*
- *2.35 „stopnja zaščite IPXXB“ pomeni zaščito pred stikom z deli pod visoko napetostjo, ki jo zagotavlja pregrada ali ohišje za električno zaščito in se preizkusi s spojenimi preizkusnimi zobci (IPXXB), kot je opisano v Prilogi 3;*
- *2.36 „stopnja zaščite IPXXD“ pomeni zaščito pred stikom z deli pod visoko napetostjo, ki jo zagotavlja pregrada ali ohišje za električno zaščito in se preizkusi s preizkusno žico (IPXXD), kot je opisano v Prilogi 3;*
- *2.40 „vzdrževalno stikalo“ pomeni napravo za izklop električnega tokokroga pri opravljanju pregledov in servisiranju sistema REESS, gorivnih celic itd.;*
- *2.41 „trdni izolator“ pomeni izolacijsko prevleko kabelskih snopov, ki obdaja dele pod visoko napetostjo in preprečuje kakršen koli neposredni stik z njimi.*

V poglavju št. 5 je navedena določba »Zahteve za vozilo glede posebnih zahtev za električni pogonski sistem«, ki opredeljuje tudi zaščito pred električnim udarom, zaščito pred neposrednim stikom, zaščito pred posrednim stikom, izolacijsko upornost in drugo. Te zahteve za električno varnost se uporabljajo za visokonapetostna vodila električnega pogonskega sistema in električne sestavne dele, ki so galvansko povezani z visokonapetostnim vodilom električnega pogonskega sistema, kadar niso povezani z visokonapetostnimi zunanjimi viri napajanja. Pri tem je potrebno poudariti zahtevo št. 5.1.1.4.3 »Kabli za visokonapetostna vodila, ki niso v ohišjih, morajo imeti zunanji ovoj oranžne barve.«.

2. Zakonodajni okvir in tuja praksa

Usposabljanje strokovnih oseb elektrotehniške stroke in poučenih oseb za varno delo na nizkonapetostnih električnih inštalacijah izmeničnega in enosmernega toka [3-6] se v praksi izvaja in vsebinsko oblikuje na osnovi zakonodajnega okvira [7,8], standardov [9] ter tuje prakse, razvite za področje vzdrževanja električnih vozil [10].

Varnost in zdravje pri delu (VZPD) sta v Sloveniji urejena z zakonom (ZVZD-1) [7] in številnimi podzakonskimi akti oz. pravilniki (problematika požarne varnosti presega okvir te obravnave). Omenimo le dva akta, in sicer:

- Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1), Uradni list RS, št. 43/11 [7],
- Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka (PVDNET), Uradni list RS, št. 29/92, 56/99 – ZVZD in 43/11 – ZVZD-1 [8].

ZVZD-1 določa pravice in dolžnosti delodajalcev in delavcev v zvezi z varnim in zdravim delom ter ukrepi za zagotavljanje varnosti in zdravja pri delu. ZVZD-1 je pomemben pravni okvir, ki ga prevzame odgovorna oseba delodajalca ob podpisu Izjave o varnosti z oceno tveganja. In ob tem se delodajalcu, proizvajalcu in serviserju električnih vozil (EV) odpirajo številna vprašanja na področju VZPD, na katera trenutno še ni odgovora, saj v slovenskem okolju ni zakonodajnega okvira, ki bi odgovoril na le-ta.

PVDNET oblikuje osnove VZPD pred nevarnostjo električnega toka, čeprav je zelo težko najti povezave s področjem električnih vozil. Trenutno je lahko uporaben le standard SIST EN 50110-1:2023 Obratovanje električnih postrojev – 1. del: Splošne zahteve [9], ki ga pravkar prevaja SIST/TC DPN. V točki 1 namreč omenja, da ta dokument ni bil izrecno izdelan za uporabo na naštetih električnih postrojih, vendar pa se lahko uporabijo načela tega dokumenta, če drugi predpisi ali postopki niso na voljo, in sicer tudi za »inštalacije v vozilih«.

V zvezi s tem se odpirajo številne razlike in definicije o zahtevah na področju VZPD (odgovorne osebe, usposabljanje delavcev za varno delo, izobrazba izvajalcev, organizacija delovišča, definicija nivoja napetosti, obseg osebne varovalne opreme).

Ena pomembnejših zahtev ZVZD-1 navaja, kakšne so naloge delodajalca (38. člen, usposabljanje delavcev), kar je tudi poudarek v članku.*Delodajalec mora delavca usposobiti za varno opravljanje dela ob sklenitvi delovnega razmerja pred razporeditvijo na drugo delo, pred uvajanjem nove tehnologije in novih sredstev za delo ter ob spremembi v delovnem procesu, ki lahko povzroči spremembo varnosti pri delu.*

- Usposabljanje mora biti prilagojeno posebnostim delovnega mesta in se izvaja po programu, ki ga mora delodajalec po potrebi obnavljati in katerega vsebino mora spreminjati glede na nove oblike in vrste nevarnosti.
- Usposobljenost za varno delo preverja delodajalec na delovnem mestu.
- Delodajalec določi obvezne občasne preizkuse teoretične in praktične usposobljenosti za varno delo za delavce, ki delajo na delovnem mestu, na katerem iz ocene tveganja izhaja večja nevarnost za nezgode in poklicne bolezni ter za delavce, ki delajo na delovnih mestih, na katerih so nezgode pri delu in poklicne bolezni pogostejše.

- Rok za občasne preizkuse iz prejšnjega odstavka ne sme biti daljši od dveh let.
- Inšpektor za delo lahko po opravljenem inšpekcijskem nadzorstvu odredi uskladitev programa usposabljanja s posebnostmi delovnega mesta glede na oblike in vrste nevarnosti. Inšpektor za delo lahko po opravljenem inšpekcijskem nadzorstvu odredi tudi preizkus teoretične in praktične usposobljenosti za varno delo.
- Delodajalec mora zagotoviti usposabljanje delavcev v njihovem delovnem času in zanje brezplačno.

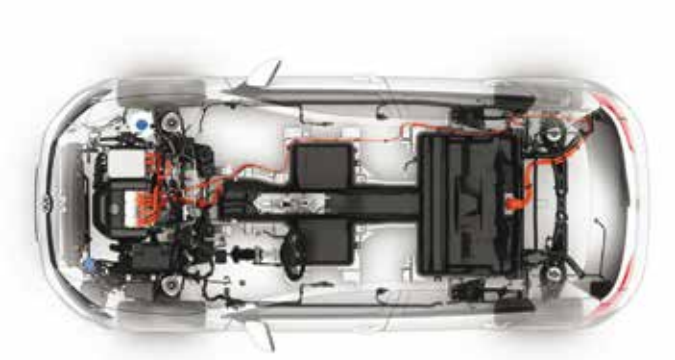
Pregled številnih tujih virov, zakonodaje, standardov, priročnikov in navodil opozarja na različne pristope, ki zahtevajo in tudi uvajajo specifične programe usposabljanja za avtomehanike in elektromehanike. Še posebej so različni pristopi pri zahtevah strokovnih kompetenc pri vzdrževanju električnih vozil v breznapetostnem stanju in na področju dela pod napetostjo. Odpira se resno vprašanje, kdo in pod kakšnimi pogoji sme vzdrževati oz. popravljati visokonapetostno baterijo. Če to sme opravljati elektrikar, je vprašljivo, še posebej ko le-te primanjkuje v servisnih delavnicah. Problematika presega okvir članka in bo le omenjena ter predstavljena naslednjič. Omenimo, da v Sloveniji glede usposabljanja sledimo priporočilom standarda SIST EN 50110-1.

3. Posebnosti električnih vozil

Hitro naraščajoče število električnih vozil postavlja vprašanje varnosti električnega dela v delavnicah. Tradicionalno električna varnost ni bila problem v avtomobilski industriji in poprodajnem trgu. Moderna električna vozila uporabljajo napetost baterije 300–800 V, kar zagotovo povzroči potencialno nevarnost električnega udara pri določenih popravilih in vzdrževalnih dejavnostih. Poleg tega velik kratkostični tok in tudi nevarnost požara z emisijami strupenih plinov predstavljata tveganje za servisne mehanike [10].

Ob pregledu literature na področju ocenjevanja tveganja in usposabljanja vzdrževalcev oz. serviserjev električnih vozil je potrebno prepoznati tudi razlike med definicijami električnih inštalacij v industriji ali stavbah in v električnih vozilih. Ko govorimo o teh razlikah, moramo s stališča VZPD biti pozorni predvsem na oceno tveganja in varno izvajanje dela, organizacijo dela (oprema delavnice), odgovorne osebe, nivo napetosti, izvedbo inštalacije (barva vodnikov) ter opredelitev osebne varovalne opreme (OVO) in uporabo orodja ter inštrumentov oz. naprav.





Slika 1: Predstavitev električnega sistema vozila [10,14]

1.1 Ocena tveganja pri vzdrževanju električnih vozilih

Ocena tveganja pri vzdrževanju električnih vozilih je kompleksna, saj mora upoštevati številne aktivnosti in okoliščine (npr. novo vozilo, starejše vozilo, poškodovano vozilo), ki vplivajo na oceno nevarnosti in škodljivosti pri delu. Splošno je pri oceni tveganja potrebno ovrednotiti pogostost in resnost nezgode pri delu. Ocenjevanje tveganja in izjava o varnosti posameznih aktivnosti oz. vzdrževalnih dejavnosti sta zavezujoča tako za direktorja družbe (ZVZD-1, 17. člen) kot za posameznika, ki izvaja nevarno aktivnost (SIST EN 50110-1).

Na spletu so dosegljivi številni predvsem tuji viri na temo varnega dela in ocene tveganja pri vzdrževanju električnih vozil. Kljub potencialnim tveganjem hujše nezgode niso bile zaznane. Ker se število vozil povečuje in vozni park stara, postanejo popravila pogostejša, kar lahko povzroči nezgode pri delu. Celovita analiza tveganja pri izvajanju popravil električnih vozil ter pridobljeni rezultati se lahko uporabljajo pri razvoju in obveščanju o varnih delovnih praksah in predpisih o dejavnosti popravil električnih vozil [10].

Žal niso dostopni podatki o frekvenci dogodkov ter resnosti nezgod pri delu. Na splošno lahko zapišemo, da so redke nezgode na teh delovnih mestih kot posledica električnega udara (dotika) in obloka (kratek stik). To lahko pripišemo kratki zgodovini vzdrževanja električnih vozil in lahko predpostavimo, da so vzdrževalci dobro usposobljeni za servisiranje posameznih tipov vozil s strani proizvajalcev, torej imajo interna usposabljanja. Vsekakor manjka kritična analiza izvedbe servisiranja v številnih delavnicah (organizacija, usposobljenost, opremljenost z osebno varovalno premo in

orodjem) ob vse večjem številu hibridnih in električnih vozil (osebna vozila, tovornjaki in avtobusi).

Tveganja pri popravilu električnih vozil so osredotočena predvsem na visokonapetostni litij-ionski pogonski akumulator v vozilu in lahko opredelijo kot nevarnost električni udar, električni oblok, požar in kemično tveganje. Razen notranjih popravil baterije se vsa popravila izvajajo v breznapetostnem stanju ob izklopljeni bateriji oz. izolirani bateriji od šasije vozila. Baterije same ni mogoče preprosto izklopiti kot generator, saj kemične reakcije znotraj celic ni mogoče ustaviti. Zato bo vozilo vedno predstavljalo tveganje, še posebej če je baterija poškodovana v nezgodi oz. nesreči [10].

Ko primerjamo električno varnost pri gradnji električnih inštalacij v stavbah in električnih vozil, ugotovimo bistveno razliko, da so gradbene inštalacije izvedene po obveznih zahtevah zakonodaje in standardov, ki praviloma temeljito opredeljujejo glavno strukturo inštalacije. Pri električnih vozilih predpisi in standardi praviloma opredeljujejo le cilje in proizvajalec vozil lahko izbere le način izvajanja in doseganja želene varnosti. Evropska homologacija, Norma UN/ECE 100 oz. Pravilnik ZN št. 100 [1], npr. opisuje samo, kako zaščito pred kratkim stikom preizkušamo, vendar ni niti zahteve za dejansko izvedbo niti ne obstajajo zahteve za merjenje dejanske vrednosti toka kratkega stika [10].

Električno vozilo predstavlja »novo« tehnologijo, ki uvaja električno energijo na krovu cestnih vozil. Različna tveganja, povezana s to tehnologijo, je treba natančno oceniti. Vendar zaradi strahu pred neznanim ne bi smeli precenjevati ravni tveganja. Pri električnih vozilih je mogoče upoštevati različne vidike električne varnosti [11]:

- varnost električnega sistema,
- funkcionalno varnost sistema,
- varnost polnjenja baterije,
- vzdrževanje vozil, upravljanje in usposabljanje voznikov.

Pri varnosti električnega sistema se moramo osredotočiti na varovanje pred direktnim in posrednim dotikom. Ostali vidiki varnosti presegajo obseg članka (sistemska varnost, celovit pogled na baterije v vozilih z nevarnostmi, ki so prisotne od uporabne dobe – polnitev/praznitev, požarne varnosti, kemijske varnosti kot eksplozijska varnost). Tu je potrebno še posebej izpostaviti baterijo, ki je najbolj kritičen element v električnem vozilu, saj predstavlja več možnih nevarnosti, in sicer električno, mehansko, kemično nevarnost in nevarnost požara oz. eksplozije.

Dele sistema električne vleke pod napetostjo je treba zaščititi pred neposrednim dotikom oz. stikom osebe v vozilu ali zunaj njega zaradi odsotnosti ali poškodovane izolacije ali nedostopnega položaja. Izolacije, kot so laki, emajli, premazi, se ne štejejo za izolacijo za zaščito pred neposrednim stikom. Odstranitev zaščitnih naprav in odpiranje vrat, ohišja ter pokrovov motorja omogoča dostop do električne opreme pod napetostjo, vendar sme biti omogočen le s primernim orodjem ter osebno varovalno opremo. Treba je dosledno uveljaviti običajne stopnje zaščite (IPXXB ali IPXXD), kar je pri sodobnih električnih vozilih v celoti izpolnjeno [11].

Problem posrednih stikov je tesno povezan s problemom okvare ogrodja oz. šasije vozila. Vsaka povezava med vodniki oz. pogonskim tokokrogom in šasijo je potrebno obravnavati kot napako. Napake ohišja lahko povzročijo več nevarnosti [11]:

- kratke stike,
- električni udar,
- nekontrolirano delovanje.

Da bi se izognili tem nevarnostim, je treba sprejeti naslednje ukrepe [11]:

- varovalka mora biti vgrajena znotraj paketa baterij, po možnosti v električnem središču baterije;ohišje vozila mora biti izolirano od tokokroga tako, da se ne sme oblikovati noben napajalni električni tokokrog;vsi prevodni deli vozila, zlasti dostopni deli ali deli v bližini električne opreme, morajo biti povezani z izenačitvijo potencialov;odkrivanje uhajavega toka na ohišju mora biti vključeno v redno vzdrževanje, stalno spremljanje napak ogrodja je obvezno za določena vozila.

1.2 Nivo napetosti v električnih vozilih in zahteve varnega dela

Pri varnem delu vzdrževanja električnih vozil moramo prepoznati bistvene razlike med definicijami nivoja napetosti, kot so v klasičnih električnih inštalacijah, saj je od tega odvisna zahteva uporabe primerne metode dela pri vzdrževanju električnih vozil. Dela na elektroenergetskih objektih in elektroenergetskih postrojih, električnih napravah in opremi se delijo na tri kategorije (PVDNET, 24. člen), in sicer [8]:

a) dela v breznapetostnem stanju,
b) dela v bližini naprav, ki so pod napetostjo,
c) dela pod napetostjo.

Definicije nivoja napetosti, ki jih ponujata PVDNET [8] in SIST EN 50110-1 [9], so:

- mala napetost (ELV/MN) navadno ne presega 50 V izmenične napetosti AC ali 120 V enosmerne napetosti DC brez valovitosti med prevodniki ali proti zemlji,nizka napetost (LV/NN) navadno ne presega 1 000 V izmenične napetosti AC ali 1 500 V enosmerne napetosti DC,
- visoka napetost (HV/VN) navadno presega 1 000 V izmenične napetosti AC ali 1 500 V enosmerne napetosti DC.

Pri električnih vozilih je definirana „visoka napetost“ – razvrstitev električnega sestavnega dela ali tokokroga, če je njegova delovna napetost > 60 V in ≤ 1500 V DC ali > 30 V in ≤ 1000 V AC efektivne vrednosti (r. m. s.) [1,2].

Potrebno je torej poznati bistvene razlike o nivojih napetosti ter jih upoštevati pri organizaciji in izvajanju varnega dela

s tremi predpisanimi kategorijami; dela v breznapetostnem stanju, dela v bližini naprav, ki so pod napetostjo, ter dela pod napetostjo. Neposredno izbrana ali določena z navodilom kategorija dela pri vzdrževanju električnega vozila opredeljuje zahteve kvalifikacije serviserja (elektrikar, mehanik) ter vsebine in obseg usposabljanja za varno delo.

1.3 Kategorije varnega dela na inštalacijah v električnih vozilih

Dela v breznapetostnem stanju

Dela v breznapetostnem stanju so dela v prostoru ali na prostem, ki se opravljajo na elektroenergetskem postroju, električni napravi, električni opremi ter električni instalaciji, v katerih je iz vseh električno vodljivih delov, tudi iz kabelskih in zračnih vodov, izklopljena napetost, in če so pred pričetkom dela izvedeni predpisani varstveni ukrepi (PVDNET, 5. člen).

Delo v breznapetostnem stanju predstavljajo delovni postopki v električnih postrojih, ki niso pod napetostjo ali nimajo električnega naboja, ki se izvaja potem, ko so bili izvedeni vsi ukrepi za preprečitev električne nevarnosti (SIST EN 50110-1:2023).

Pred začetkom dela v breznapetostnem stanju se mora zavarovati mesto dela z uporabo petih varstvenih pravil po naslednjem vrstnem redu (PVDNET, 28. člen):

1. izklopiti in vidno ločiti naprave pred napetostjo z vseh strani,
2. preprečiti ponovno vklopitev,
3. ugotoviti breznapetostno stanje,
4. izvršiti ozemljitev in kratkostično povezavo naprav,
5. ograditi mesto dela od delov, ki so pod napetostjo.

Podjetje, družba oziroma delodajalec s splošnimi akti uredijo način izvajanja navedenih varstvenih pravil. Delavec, ki vodi dela, ali tisti, ki jih izvaja, pred uporabo zaščitnih izolacijskih sredstev s pregledom ugotovi njihovo brezhibnost in ustreznost.

V praksi vzdrževanja električnih inštalacij tudi na električnih vozilih se v podporo petih varnostnih oz. zlatih pravil pred začetkom dela v breznapetostnem stanju uveljavlja sistem LOTO (LOCK OUT/TAG OUT = ZAKLENI/OZNAČI), ki ga podrobno opisuje predlog novega standarda prEN 17975 Vzdrževanje – Proces obvladovanja tveganj energij in fluidov pri vzdrževalnih dejavnostih – Smernice, ki je v fazi evropskega glasovanja. Ob doslednem spoštovanju petih zlatih pravil in LOTO sistema lahko dosegamo pri vzdrževanju električnih vozil cilj »nič nezgod«.

Priročnik DGUV Information 200-006 & BGI/GUV-I 8686 E [13] dosledno opisuje zahtevo uporabe petih varnostnih pravil. Teh pet pravil za varno delo je bistvenega pomena. Na splošno je treba upoštevati pravila v navedenem vrstnem redu (1 do 5). Med delom na visoki napetosti je treba upoštevati vsaj prva tri pravila. Ali je treba uporabiti tudi četrto in peto pravilo (Slika 5), je treba določiti za vsak primer posebej. Primer izpolnjene zahteve varnega dela je predstavljen (kot določi posamezen proizvajalec), in sicer:

1. pravilo: Izolacija (Slika 2)

- Izključite vžig,
- izvlecite servisni vtič/izklopite glavno baterijsko stikalo,
- odstranite varovalke,
- izvlecite vtič za blokirno/pilotno/nadzorno vezje,
- odklopite iz stacionarnega omrežja (npr. polnilni vtič).

2. pravilo: Zaščita pred ponovnim vklopom (Slika 3)

- Shranite ključ za vžig in preprečite nepooblaščen dostop do njega,
- servisni vtič shranite pred nepooblaščenim dostopom/zavarujte glavno baterijo,
- preprečite ponovni vklop stikala, na primer s ključavnico ali ohišjem, ki ga je mogoče zakleniti,
- upoštevajte nadaljnja interna določila podjetja in informacije proizvajalca.

3. pravilo: Preverite neaktivno stanje – preverite breznapetostno stanje (Slika 4)

- Z inštrumentom ali indikatorjem prenapetosti preverite breznapetostno stanje – lahko bi bila prisotna tudi preostala napetost (na primer napetosti v vmesnih tokokrogih – običajno proizvajalci zahtevajo pavzo 5–10 minut).





Slika 2: Servisni vtič (1. pravilo) [13]

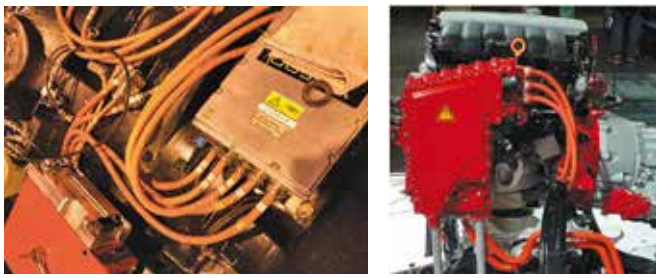




Slika 3: LOTO metoda varnega dela (2. pravilo) [13]



Slika 4: Preverjanje breznapetostnega stanja (instrument) (3. pravilo) [10,13]



Slika 5: Osnovna zaščita z izolacijo in zastiranjem – oranžna barva VN-kablov [10,13]

Četrto in peto pravilo sta v posameznih državah urejeni s predpisi, priročniki ali preprosto navodili proizvajalcev električnih vozil. Četrto pravilo se izvaja v zelo specifičnih primerih, saj je ozemljitev in kratkostična povezava naprav tehnološko težko izvedljiva. Peto pravilo, ograditi mesto dela od delov, ki so pod napetostjo, je večinoma določeno in zahtevano – primer v Grčiji predpisane ureditve delavnice in postavitve ograje (Slika 5).

Z ustreznimi ukrepi je treba preprečiti prostorsko in časovno sovpadanje nevarnosti in ljudi. Ukrepi so lahko razvrščeni na naslednji način:

- tehnični, npr. izolacija, fiksni pokrov (Slika 5),
- organizacijski, npr. upoštevanje določenih čakalnih dob, ki omogočajo disipacijo napetosti,
- osebno, npr. osebna varovalna oprema (izolacijske rokavice, čelada z vizirjem), navodilo.

Dela v bližini napetosti

Dela v bližini napetosti so dela, ki se opravljajo na predpisani varnostni razdalji od delov pod napetostjo, če iz določenih razlogov ni bilo mogoče zagotoviti breznapetostnega stanja sosednjih delov. Ta dela so dela s povečano nevarnostjo in je zaradi tega potrebno delavce posebej opozoriti na dele, ki so ostali pod napetostjo, in natančno določiti delokrog, območje gibanja ter izvesti varstvene ukrepe (PVDNET, 5. člen).

Delo v bližnjem območju (delov pod napetostjo) – vsako delo, pri katerem delavec s svojimi deli telesa, z orodjem ali z drugimi predmeti vstopi v bližnje območje delov pod napetostjo, ne da bi segel v območje dela pod napetostjo (SIST EN 50110-1:2023). To velja, ko ni izpolnjena zahteva: stopnja mehanske zaščite najmanj nivo IP2X (IP2XB, B pomeni prst), kar pomeni, da je izdelek zaščiten pred vdorom katerega koli predmeta, ki je večji od 12,5 mm v premeru in daljši od 80 mm v dolžino.

Pri delih, ki se izvajajo v bližini nezavarovanih delov pod napetostjo (ni dosežena zaščita IP2X), je treba postaviti zaščito pred slučajnim dotikom teh delov z uporabo dovolj trdnih in zanesljivo postavljenih izolacijskih zaščitnih pregrad, plošč, pokrival in podobno (direktno na neizoliran del). Izjemoma se dela v bližini napetosti lahko izvajajo brez uporabe izolacijske zaščitne pregrade ali plošče, če ne obstaja možnost uporabe izolacijske zaščitne pregrade ali plošče, vendar razdalja ne sme biti manjša od 400 mm.

Dela pod napetostjo

Dela pod napetostjo so tista, ki se jih pod napetostjo dotikamo po predpisanem postopku (PVDNET, 5. člen).

Delo pod napetostjo je vsako delo, pri katerem se delavec z deli telesa ali z orodjem, opremo ali napravami zavestno dotakne delov pod napetostjo ali poseže v območje dela pod napetostjo (SIST EN 50110-1:2023).

OPOMBA: Pri nizki napetosti izvaja delo pod napetostjo delavec, kadar se dotika neizoliranih delov pod napetostjo (ta opis velja tudi za električna vozila do 1.000 V AC oz. 1.500 V DC in dosežene zaščite IP2X). Pri visoki napetosti izvaja delo pod napetostjo delavec, ko vstopi v območje dela pod napetostjo, neodvisno od tega, ali se dotakne neizoliranih delov pod napetostjo ali ne.



Slika 5: Primer v Grčiji predpisane ureditve delavnice in postavitve ograje [15]

4. Usposabljanje izvajalcev in osebna varovalna oprema ter orodje pri delu na električnih vozilih

Ko obravnavamo področje varnosti delavcev v proizvodnji in servisnih delavnicah, najdemo številne vrzeli, saj v Sloveniji nimamo usmeritev v zvezi z organizacijo varnega dela, še posebej pred nevarnostjo električnega toka, električnega udara in obloka. Odpira se problem usposobljenosti delavcev v sektorju, v katerem primanjkuje elektrikarjev (serviserji so večinoma avtomehaniki, in ne avtoelektrikarji) ter nujnih ukrepov varnosti le-teh.

V praksi je v zadnjem obdobju izvedeno nekaj usposabljanj, usklajenih med naročnikom in izvajalcem [3-6], upoštevajoč tuje izkušnje [10-16] ter priporočil SIST EN 50110-1.

Ob usposabljanju se odpira tudi vprašanje uporabe osebne varovalne opreme (OVO), ki jo potrebujejo izvajalci, saj ni jasne definicije med delom v breznapetostnem stanju (pet varnostnih pravil) ali med delom pod napetostjo (specifične zahteve PVDNET). Pri tem je odprto vprašanje tudi varno delo pod napetostjo in uporaba OVO na VN-baterijah. C&G kot partner HEP NOC (Slika 6) je pripravil program in priročnike dela pod napetostjo na baterijah električnih vozil, kar bo detajlno predstavljeno v naslednjem članku [16].

Posebej je potrebno opozoriti na uporabo osebne varovalne opreme, naprav in posebnega orodja pri delu oz. vzdrževanju električnih vozil. Eno od priporočil izbire primerne OVO ter opreme in orodja je priročnik TOOO – NN KEE - ŠEE [6].

5. Tuja praksa in priporočila varnega dela na električnih vozilih

Raziskava tuje prakse in priporočil varnega dela na EV opozori raziskovalca na številne že sprejete predpise in priročnike ter standarde tako v Evropski uniji kot v svetu. Nadaljnja raziskava je potrebna in trenutno se s to problematiko ukvarja Evropsko združenje društev vzdrževalcev (EFNMS) in Evropsko združenje dela pod napetostjo (LWA), saj je področje varnega dela na električnih vozilih relativno slabo raziskano in predstavljeno.

Večina predpisov članic EU se sklicuje na standard EN 50110-1. Posamezne članice rešujejo zahteve varnega dela in organizacije delovišča (npr. Grčija [15]) ob podpori predpisov za področje EV. Za stroko so zanimivi številni nemški specializirani priročniki, ki jih izdajajo inštitucije, kot so DGUV oz. BGI/GUV [13].

Tuja podjetja, ki uvajajo proizvodnjo in izvajajo servisiranje električnih vozil (osebna vozila, avtobusi, tovornjaki), prinašajo





Slika 6: Utrip z usposabljanja serviserjev za delo pod napetostjo Porsche na Hrvaškem v HEP NOC

v slovensko prakso novosti, ki bi jih bilo potrebno ovrednotiti in oceniti s stališča zahtev ZVZD-1.

Na osnovi teh predvsem tujih izkušenj je C&G [3-6] v sodelovanju z domačimi serviserji električnih tovornjakov in avtobusov in tujimi proizvajalci pripravil program usposabljanja strokovnih oseb elektrotehniške stroke in poučenih oseb za varno delo na nizkonapetostnih električnih inštalacijah izmeničnega in enosmernega toka, delo v breznapetostnem stanju in delo pod napetostjo s specifičnim pogledom na organizacijo in izvedbo varnega vzdrževanja električnih vozil. V sodelovanju s HEP NOC [16] bo ponujen verificiran hrvaški program dela pod napetostjo na baterijah električnih vozil, ki je bil prvič izveden v letu 2024.

6. Zaključki

V slovenskem prostoru je nujno sprožiti procese, ki bodo podprli različne vidike slovenskih proizvajalcev in serviserjev električnih vozil. Potrebno je predvsem odpreti strokovno razpravo in operativna vprašanja na dveh področjih:

- varnosti in zdravja pri delu na električnih vozilih v proizvodnji in servisnih delavnicah (organizacija, kompetence serviserjev, usposabljanje, osebna varovalna oprema in orodje ter oprema),
- požarni varnosti (presega okvir te razprave).

Na področju varnosti in zdravja pri delu na električnih vozilih v proizvodnji in servisnih delavnicah je potrebno zapolniti vrzeli, in sicer vsaj pri:

- oblikovanju srednješolskega in/ali poklicnega programa »avtoelektrikar«,
- dopolnjevanju ocen tveganja v podjetjih, ki proizvajajo ali servisirajo električna vozila,
- usposabljanju izvajalcev za varno delo na električnih vozilih (uveljavitev priporočil SIST EN 50110-1 in vključitev tega področja varnega dela v nov PVDNET, ki ga že leta elektro stroka pripravlja za sprejem na MDDSZ) – oblikovanje programa usposabljanja serviserjev električnih vozil – več nivojev, od breznapetostnega dela do dela pod napetostjo na baterijah,
- opisu nujne uporabe zahtevane osebne varovalne opreme, opreme in orodja za varno delo na električnih vozilih.

V naslednjem članku bo poudarek na programu usposabljanja delavcev oz. serviserjev električnih vozil tako glede na strokovne kompetence (električar, mehanik) kot tudi na nivoje oz. stopnje usposobljenosti (dela v breznapetostnem stanju, dela v bližini naprav, ki so pod napetostjo, dela pod napetostjo).

LITERATURA:

[1] Pravilnik ZN št. 100 – Enotne določbe za homologacijo vozil v zvezi s posebnimi zahtevami za električni pogonski sistem [2021/2190], sprememb 03 – začetek veljavnosti: 9. junij 2021 (UL L št. 449, 15.12.2021, str. 1–90). Dostopno na https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/ALL/?uri=CELEX%3A42021X2190.

[2] Pravilnik št. 136 Ekonomske komisije Združenih narodov za Evropo (UN/ECE) – Enotne določbe o homologaciji vozil kategorije L v zvezi s posebnimi zahtevami za električni pogonski sistem [2019/1120] (UL L št. 176, 1.7.2019, str. 80–143).

[3] LOVRENČIĆ V.: Safe maintenance of electric and hybrid vehicles (EV & EHV), DVS Slovenia, EFNMS – EHSEC, Helsinki, 3.6.2022.

[4] LOVRENČIĆ V. in LOVRENČIČ A.: Vidik slovenskih proizvajalcev in serviserjev električnih vozil na elektromobilnost, Prva vseslovenska energetska konferenca (VEK), Ljubljana, Cankarjev dom, 16-17.10.2024

[5] LOVRENČIĆ V. in LOVRENČIČ A.: Usposabljanje strokovnih oseb elektrotehniške stroke in poučenih oseb za varno delo na nizkonapetostnih električnih inštalacijah izmeničnega in enosmernega toka, Delo pod napetostjo – Level 3, Maribor, 19.6.2024.

[6] Tehnični opis osebne varovalne opreme, opreme in orodja za delo pod napetostjo na nizki napetosti pri izvajanju meritev kakovosti električne energije in menjavi števcev električne energije, TOOO – NN KEE - ŠEE, C&G d.o.o. Ljubljana, Prva izdaja (229/ML/20), september 2020

[7] Zakon o varnosti in zdravju pri delu (ZVZD-1), Uradni list RS, št. 43/11,

[8] Pravilnik o varstvu pri delu pred nevarnostjo električnega toka (PVDNET), Uradni list RS, št. 29/92, 56/99 – ZVZD in 43/11 – ZVZD-1.

[9] SIST EN 50110-1:2023 Obratovanje električnih postrojev.

[10] LINJA-AHO V.: Assessing the Electrical Risks in Electric Vehicle Repair, 2022 IEEE IAS Electrical Safety Workshop (ESW), DOI: 10.1109/ESW49146.2022, Copyright Material IEEE, Paper No. ESW2022-30, 7-11 March 2022.

[11] VAN DEN BOSSCHE P.; Safety considerations for electric vehicles, CITELEC, Brussels, Belgium, 27.7.2003.

[12] prEN 17975 Vzdrževanje – Proces obvladovanja tveganj energij in fluidov pri vzdrževalnih dejavnostih – Smernice.

[13] DGUV Information 200-006 & BGI/GUV-I 8686 E., Training for work on vehicles with high voltage systems, april 2012.

[14] ARAÚJO P., KOMLÓSI I., VARGA T., MENYHÁRT J.: Maintenance of Electric and Hybrid Vehicles, International Journal of Engineering and Management Sciences 5(3):37-46, DOI:10.21791/IJEMS.2020.3.5, December 2020.

[15] SKROUMPELOS G.: Safe maintenance of high voltage electrical vehicles, 28th Inernational and Mediterranean HDO Conference MeditMaint 2023 – MAINTENANCE 2023, Rovinj, Hotel Lone, Croatia, 22.-25.5.2023.

[16] HEP NOC (C&G d.o.o. Ljubljana), Program in priročniki dela pod napetostjo na baterijah električnih vozil, Velika, Hrvaška, 2024.

ABSTRACT

SAFE MAINTENANCE OF ELECTRIC VEHICLE

Efficient energy use is crucial for ensuring better living conditions for current and future generations. The increasing need for energy and the growing impact of local and global pollution require sustainable and effective measures. Special attention is focused on the transport sector, as it is one of the largest energy consumers and one of the largest environmental pollutants. Electromobility is just one of the sensible measures to eliminate the negative effects of the growing number of vehicles.

The rapid introduction of electromobility into the transport sector in Slovenia is a major challenge for the operation of the electricity system. The infrastructure for charging electric vehicles are in the development phase. Strengthening the distribution network is essential, which is a major financial and time-consuming infrastructure challenge. Without control over the charging of electric vehicles, overloads will occur. This challenge is actively addressed by professionals from network development designers to charging station manufacturers, as well as state authorities, institutes and other interested stakeholders.

Unfortunately, in Slovenia, another aspect of electromobility, worker safety and health, is particularly neglected in the sector of emerging electric vehicle manufacturers (e.g. buses or cars) as well as in the numerous already operating electric vehicle repair shops of all types, from cars to larger consumers such as trucks and buses.

It should be noted that from the point of view of the safety and health of workers in Slovenia, there is a large gap, as there is no legal framework, official positions or instructions for safe work. Some published foreign documents are available, and there are numerous internal instructions of electric vehicle manufacturers, which are mainly of an internal business nature and are mostly not accessible to the professional public. There are examples of good practice where internal training of electric vehicle repairers is supported by professional training in the field of safety against the dangers of electric current, contact and electric arc.

Keywords: electromobility, electric vehicles, servicing, electric shock and arc, safety maintenance, zero accidents

DRUŠTVO VZDRŽEVALCEV SLOVENIJE
DVS

Mednarodni industrijski sejem
8. – 11. APRIL 2025

Dan vzdrževanja
50. obletnica
Društva vzdrževalcev
Slovenije

Dvorana Celjanka, 10. 4. 2025, 9.30 do 14.00

Celjski sejem

VZDRŽEVANJE FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV



Piše: **mag. Drago Pavlič**, univ. dipl. inž. el.[1] in **Boštjan Meža**, univ. dipl. inž. el.[2]
[1,2] – ESOTECH, d. d., Velenje

PREGLEDI IN VZDRŽEVANJE FOTONAPETOSTNIH SISTEMOV, PRIKLJUČENIH NA OMREŽJE V SKLADU Z ZAHTEVAMI PREDPISOV IN STANDARDOV V RS

V Sloveniji je vsako leto zgrajenih več fotonapetostnih sistemov, ki pred zagoni in med samim obratovanjem potrebujejo redna preverjanja in vzdrževanje skladno z veljavnimi predpisi in standardi. V članku so predstavljene zahteve glede pregledov in vzdrževanja fotonapetostnih sistemov z uporabo zahtev Tehnične smernice TSG-N-002:2021 Nizkonapetostne električne inštalacije, ki določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za dosego zahtev Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 140/21). Prav tako so podane ključne zahteve slovenskega standarda SIST EN 64446-1:2016/A12018 – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 1. del: Sistemi, priključeni na omrežje – Zahteve za dokumentacijo, ki ga v svojih referenčnih dokumentih citira tudi tehnična smernica TSG-N-002:2021, katerega vsebina je premalo prepoznana in se v praksi skoraj ne uporablja, še posebej ne pri manjših fotonapetostnih elektrarnah, na kar je v članku posebej opozorjeno s primeri iz prakse.

Še posebej pa se vzdrževalci in obratovalci premalo zavedajo, da obstajajo tudi podrobno opredeljene zahteve in napotki v zvezi z vzdrževanjem fotonapetostnih sistemov, ki jih opredeljuje slovenski standard SIST EN IEC 62446-2:2020 Fotonapetostni sistemi – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 2. del: Sistemi, priključeni na omrežje – Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov.

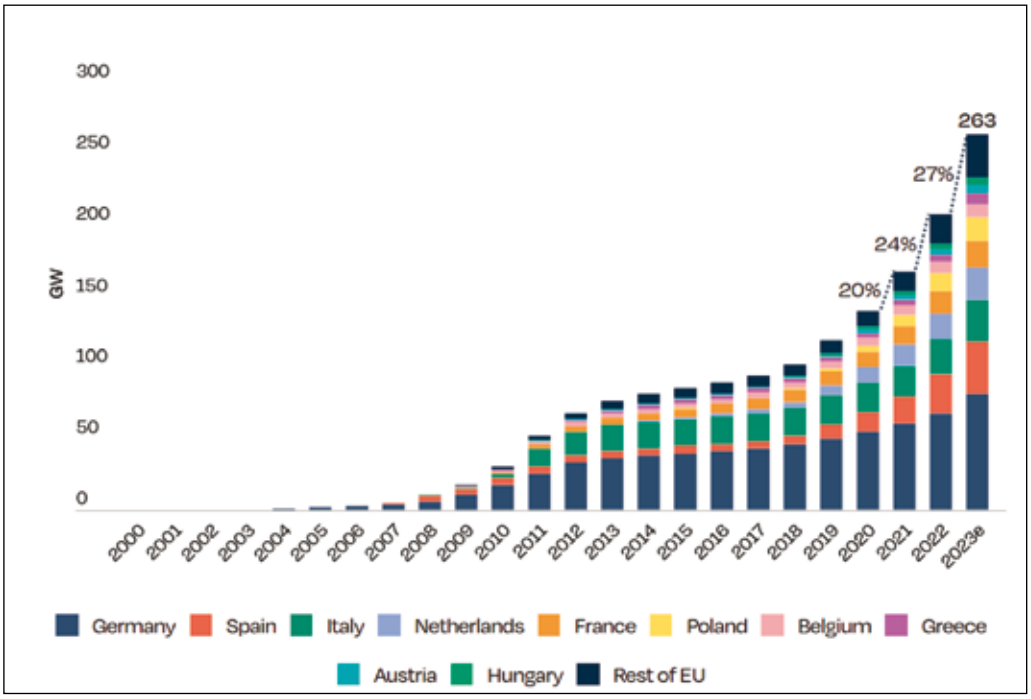
Zahteve obeh standardov so navedene kot minimalni nabor zahtev ob prevzemu in med obratovanjem za zanesljivo in dolgotrajno varno obratovanje, zagotavljanje požarne varnosti in ustrezno vzdrževanje fotonapetostnih sistemov, priključenih na omrežje, z namenom ohranjanja življenjske dobe in načrtovane proizvodnje, kar pa je danes vse preveč prepuščeno laikom – lastnikom in nepoučenim izvajalcem tovrstnih projektov, ki se premalo zavedajo zakonskih obveznosti.

Ključne besede: vzdrževanje fotonapetostnih sistemov, pregledi fotonapetostnih sistemov, požarna varnost, FNE, SIST EN 64446-1, SIST EN IEC 64446-2:2020, TSG-N-002:2021 …

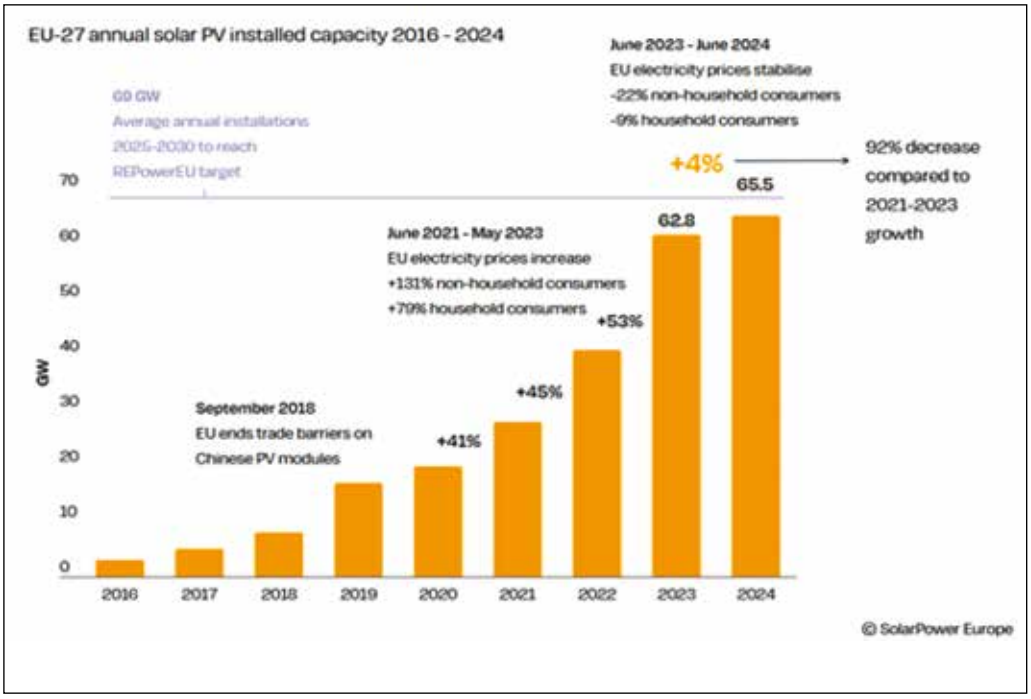
1. Uvod

Evropski zeleni dogovor (»green deal«) Evropske komisije je naravnan v strategijo rasti za evropsko gospodarstvo, prebivalce in planet. Podnebne spremembe so bile začrtane kot ena glavnih prednostnih nalog Evropske komisije, ko je 11. decembra 2019 objavila podrobnosti svojega evropskega zelenega dogovora, ki opisuje zavezo za dosego podnebne nevtralnosti do leta 2050 in določa pot za pravičen prehod na področju energetike in gospodarstva v smislu socialne pravičnosti. Evropski zeleni dogovor predstavlja vrsto ukrepov v vseh sektorjih (energija, promet, industrija, finance, trgovina), ki jih mora EU sprejeti v prihodnjih letih, da bi dosegla podnebno nevtralnost. Pri tem je sončna energija kot najcenejša in najpreprostejša čista energija tista pripravljena igrati vodilno vlogo pri uresničevanju evropskega zelenega dogovora.

V Evropi (in tudi Sloveniji) je bilo leto 2022 prelomno, ko je sončna energija (fotonapetostne elektrarne, sistemi – v nadaljevanju FNE) prvič pokazala svoj pravi potencial v EU zaradi rekordno visokih cen energije in geopolitičnih napetosti, kar je v veliki meri izboljšalo njen poslovni potencial. Glede na to, da dobaviteljski trg ni bil omejen s hudimi ozkimi grli v dobavni verigi in omejitvami, povezanimi s COVIDOM-19, je 27 držav članic EU zgradilo 2022. leta 41,4 GW novih FNE, povezanih na njihova omrežja, kar je pomenilo kar 47-odstotno povečanje v primerjavi z letom 2021. Tudi leto 2023 je bilo še eno rekordno leto za FNE v EU, saj je bilo v 27 državah članicah nameščenih novih 55,9 GW, kar kaže na 40-odstotno rast



Slika 1: Skupna inštalirana moč FNE v letih 2000-2023 v EU [vir: www.solarpowereurope.org*]*



Slika 2: Letna inštalirana zmogljivost sončne energije v EU-27 [vir: www.solarpowereurope.org]

od leta 2022 in podvojitev trga v samo dveh letih. Že tretje leto zapored je tako trg EU podrl prejšnji rekord in imel tudi tretje leto zapored letno stopnjo rasti vsaj 40 %. Tako je bilo konec leta 2023 v EU zgrajenih 263 (269) SolarPower Europe GW FNE (vir: www.solarpowereurope.org).

Vendar pa je v letu 2024 prišlo do upočasnitve rasti, saj je bila nameščena rekordna količina 65,5 GW FNE, kar predstavlja le 4-odstotno povečanje v primerjavi z letom 2023. Ta upočasnitev je vzbudila zaskrbljenost glede zmožnosti EU, da doseže svoje cilje na področju obnovljivih virov energije (www.reuters.com) Reuters.

Kljub temu je leta 2024 EU prvič proizvedla več električne energije iz sonca kot iz premoga, pri čemer je sončna energija predstavljala 11 % mešanice električne energije, premog pa 10 % (theguardian.com).

Podobno je tudi v Sloveniji, kjer je bilo po številu in po moči novih inštaliranih FNE rekordno, Slovenija je namreč konec leta 2022 imela postavljenih za 697,7 MW kapacitet FNE. Zgolj v letu 2023 jih je bilo postavljenih dodatnih več kot 400 MW, tako da je konec leta skupna inštalirana moč FNE znašala 1101,5 MW (vir: MOPE). Leta 2023 je torej Slovenija presegla mejo 1 gigavat (GW) postavljenih FNE. Skupna

inštalirana moč sončnih elektrarn je tako konec leta 2023 znašala 1101,5 MW (skupaj 49093 zgrajenih FNE), kot je v začetku leta 2024 objavilo ministrstvo za okolje, podnebje in energijo. V skupno število FNE so zajete vse elektrarne, od nekaj kW, ki se uporabljajo za samooskrbo, do največje FNE (6 MW), ki je priključena na prenosni sistem. Na nizko napetostno omrežje je priključenih 48.407 FNE, od tega jih je kar 44.430 zgrajenih za individualno samooskrbo, na srednje napetostno omrežje jih je priključenih 685 ter na visokonapetostno omrežje ena FNE (vir: ELES). Za leto 2024 še ni podatkov na razpolago.

S takšno rastjo je Slovenija bila dejansko ena izmed vodilnih držav v EU glede na kazalec postavljene kapacitete FNE na prebivalca – leta 2023 je bila v EU uvrščena na 9. mesto z inštalirano močjo 593 W/prebivalca. S pomočjo sonca smo v Sloveniji v lanskem letu proizvedli dobrih 7 odstotkov električne energije oziroma 884 gigavatnih ur (GWh). V letu 2024 bo tudi proizvodnja električne energije iz sonca po napovedih presegla 1 teravatno uro (TWh). To tudi pomeni, da si s prenovo Nacionalnega energetskega in podnebnega načrta, ki do leta 2030 predvideva približno 3500 MW postavljenih FNE, Slovenija postavlja realne in uresničljive ambiciozne cilje, ki pa imajo tudi stranske učinke, vendar to ni tema našega prispevka.

Zakonodajni ukrepi, kot je ZUNPEOVE – Zakon o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije, so odpravili številne ovire in zdaj omogočajo umeščanje sončnih elektrarn na širokem spektru lokacij, vključno s kmetijskimi in prometnimi površinami in v urbanih okoljih. Prav je, da se je Slovenija zavezala k obvezni namestitvi sončnih elektrarn na večje strehe, parkirišča in spodbujanju skupnostnih sončnih projektov. Z novozgrajenimi kapacitetami postaja obratovanje, preverjanje in vzdrževanje FNE pomembna aktivnost za dosego načrtovanih proizvodnih količin električne energije.

Ravno zaradi hitro rastočega trga novogradenj FNE so bile za ustrezno in tehnično primerno gradnjo FNE, kakor tudi obratovanje in vzdrževanje, nujne spremembe na področju predpisov za projektiranje, gradnjo, obratovanje in vzdrževanje tovrstnih postrojenj. Zaradi spremenjenih razmer, zakonodajnih zahtev in pa precejšnjih sprememb na področju nizkonapetostnih električnih inštalacij, kamor sodijo v pretežni meri tudi FNE, še posebej glede na zadnje stanje tehnike na tem področju in strokovne trende ter potrebe uporabnikov, je bil v letu 2021 sprejet Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 41/09 in 2/12, v nadaljevanju pravilnik) in pripadajoče tehnične smernice; TSG-N-002:2013 Nizkonapetostne električne inštalacije (v nadaljevanju tehnična smernica), ki so v svoje vsebine vključile zahteve za projektiranje in gradnjo FNE (kot novejše tehnologije), kakor tudi za samo preverjanje in dokumentacijo. Spremenjeno zakonodajo na tem področju so pogojevale tudi spremenjene razmere v elektroenergetskem sistemu, ki so skozi sprejem nove zakonodaje s tega področja postale stalnica uvajanja sprememb na področju nizkonapetostnih električnih inštalacij, saj uvajanje novih tehnologij zahteva nove koncepte načrtovanja in obratovanja nizkonapetostnih inštalacij in omrežij ter s tem posledično nove tehnološke rešitve tako z vidika načrtovanja kakor tudi obratovanja. FNE namreč pred zagoni in med samim obratovanjem potrebujejo redna preverjanja in vzdrževanje skladno z veljavnimi predpisi in standardi. V prispevku so predstavljene zahteve glede pregledov in vzdrževanja fotonapetostnih sistemov z uporabo zahtev iz veljavnih predpisov, kakor tudi dveh pomembnih standardov, navedenih v povzetku.

Za sončne elektrarne je potrebno zagotavljati ustrezen nivo varnosti obratovanja na osnovi novih pravilnikov in tehničnih smernic (TSG) ter standardov s področja nizkonapetostnih inštalacij, zaščite pred delovanjem strele ter požarne varnosti objektov, in ti so:

- Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah,
- Pravilnik o zaščiti stavb pred delovanjem strele,
- Pravilnik o požarni varnosti v stavbah,
- Tehnična smernica; Požarna varnost v stavbah,
- Tehnična smernica; Nizkonapetostne električne inštalacije,
- Tehnična smernica; Zaščita pred delovanjem strele,
- Veljavni slovenski standardi s področja FNE.

2. Zakonodaja in tehnična smernica TSG-N-002:2021 nizkonapetostne električne inštalacije

Na področju nizkonapetostnih električnih inštalacij in z razvojem tehnologij na področju obnovljivih virov energije je s sprejemom Gradbenega zakona-GZ (Uradni list RS, št. 61/17 z dne 2. 11. 2017) in njegovih dopolnitev v letu 2017 nastala potreba po koreniti prenovi Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije, ki je bil takrat v veljavi (iz leta 2012), in še posebej pripadajoče Tehnične smernice. Z razmahom novih tehnologij, še posebej na področju fotonapetostnih sistemov, in ob dejstvu, da so novosti običajno posledično zapisane v standardih, standardi pa se spreminjajo hitreje (včasih v povprečju na pet ali več let, sedaj že na dve leti oziroma na določenem tehnološkem področju še hitreje), kot pa je možnost spreminjati smernice, je bilo pravzaprav nujno pristopiti k posodobitvi smernice. Dejstvo je tudi, da je bilo od leta 2013 (ko sta bila sprejeta pravilnik in smernica) postavljenih kar nekaj novih sodobnih rešitev v povezavi z novimi tehnologijami, predstavljenimi v standardih, ki jih je bilo treba vsaj v minimalnem obsegu vključiti v prenovljeno tehnično smernico, kar pa je omogočal posodobljeni pravilnik. V 21. členu takratnega Gradbenega zakona je postavljena zahteva, da morajo objekti zaradi varčevanja z energijo in ohranjanja toplote ter čim večje rabe obnovljivih virov energije zagotavljati **učinkovito rabo energije in rabo obnovljivih virov energije.** S tem je Gradbeni zakon dal

osnovo za uvajanje **novih tehnologij** tudi v **Pravilnik za nizkonapetostne električne inštalacije.**

Pravilnik in smernica sta bila usklajena in v javni obravnavi že leta 2019, nato pa je Ministrstvo za okolje in prostor 27. avgusta 2021 v Uradnem listu RS, št. 140/21, objavilo **Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah** (hkrati tudi Pravilnik o zaščiti stavb pred delovanjem strele). Sočasno z objavo pravilnika sta bili izdani tudi dve prenovljeni smernici: Tehnična smernica za graditev **TSG-N-002:2021 Nizkonapetostne električne inštalacije** in Tehnična smernica za graditev TSG-N-003:2021 Zaščita pred delovanjem strele.

Pravilnik prinaša kar nekaj sprememb, med drugim določa **zahtevnost** električnih inštalacij, opredeli področje preverjanja izvedenih električnih inštalacij in podaja zahtevo po obveznem preverjanju izdelane projektne dokumentacije za izvedbo, če niso bili pri projektiranju upoštevani ukrepi, navedeni v pripadajoči tehnični smernici. Pomembna novost, ki je predpisana v pravilniku, je obveza investitorja, da mora pred pričetkom izvajanja zagotoviti imenovanje izvajalca preverjanja.

Pravilnik že takoj v 1. členu, ki govori o vsebini in uporabi pravilnika, podaja **prvo pomembno spremembo**, da pravilnik določa zahteve in načine, s katerimi se zagotavlja varnost nizkonapetostnih električnih inštalacij in **trajno vgrajenih naprav**. Te namreč s tehnološkim razvojem postajajo neločljivi del objekta oziroma stavbe, kar pa bistveno spremeni pogled na načrtovanje električnih inštalacij.

Pri pojmu trajno vgrajenih naprav pravilnik v 4. členu posebej opredeli izraz in je dodano, **da naprave in oprema lahko proizvajajo in shranjujejo električno energijo**, kar je tudi podrobno opredeljeno v tehnični smernici. S tem se opredeljujejo nove tehnologije, ki jih mora upoštevati tako pravilnik kot tehnična smernica.

Pravilnik navaja, da so **zahtevne** nizkonapetostne električne inštalacije stavb ali tudi **njihove zaključene celote** sledeče:

- kompletne električne inštalacije v stavbah z eksplozijsko ogroženimi prostori ali v tistih delih stavbe in tokokrogih, ki jih določa elaborat eksplozijske ogroženosti;
- električne inštalacije, izvedene s sistemom ozemljitve IT;
- priključni napajalni dovodni, odvodni in krmilni tokokrogi **z napravo za proizvodnjo ali pretvorbo električne energije v stavbah z napravo za proizvodnjo ali pretvorbo električne energije;**
- električne inštalacije stavb ali tiste njene električno zaključne celote, ki se lahko po prekinitvi ali izpadu napajanja iz omrežja kratko ali dolgotrajno napajajo iz lastnega vira električne energije;
- glavni električni razvod inštalacij in povezanih delov ozemljitvenega sistema, kjer so tokokrogi varovani z zaščitno napravo z naznačenim tokom 63 A ali več.

V pravilniku je jasno opredeljeno, da so **stavbe z napravo za proizvodnjo ali pretvorbo električne energije** tiste stavbe, v katerih so trajno priključene električne inštalacije v posredni povezavi z omrežjem s proizvodnim virom električne energije, namenjenem za **lastno potrošnjo ali oddajanje energije** v električno omrežje, in sodijo med zahtevne nizkonapetostne inštalacije.

Pri tem jih pravilnik našteje, in sicer so to: električni agregati, fotonapetostne naprave, vodne naprave, vetrne naprave, bioplinarne, hranilniki električne energije in UPS-naprave z nazivno navidezno močjo več kot 41 kVA pri 400 V ali 15 kVA pri 230 V.

Uporaba pravilnika se ne nanaša samo na NN-inštalacije v stavbah in pripadajoče nove tehnologije, saj je v 1. členu pravilnika zapisano, da se ob določenih pogojih njegove zahteve lahko smiselno uporabijo ne le za stavbe, pač pa tudi za druge objekte – gradbene inženirske objekte, kamor sodijo tudi fotonapetostne naprave, ki niso del stavb, ampak so grajene na prostem. Torej je tudi področje uporabe tehnične smernice znatno širše od področja pravne veljave pravilnika. V pravilniku je tudi jasno opredeljeno **preverjanje** električnih inštalacij v stavbah (kakor tudi posledično na fotonapetostnih napravah), ki zajema vizualni pregled, preskuse in meritve električnih inštalacij. Izjemno pomembna novost v pravilniku je **imenovanje izvajalca preverjanja**, kjer je v 11. členu pravilnika določeno, **da mora investitor pred pričetkom izvajanja del** zagotoviti imenovanje izvajalca preverjanja. Tega se morajo zavedati tudi nadzorni inženirji pri gradnji objektov, kajti le-ti so dolžni sodelovati s preglednikom, pri tem pa so dolžni tudi preveriti raven pridobljene poklicne kvalifikacije. To obvezo seveda lahko pogodbeno prenese na izvajalca gradnje, pri tem pa to ne zmanjša njegove obveznosti. To določilo je v pravilnik dodano zaradi nevključevanja elektrotehniške stroke v začetna gradbena dela, kar pa je žal še vedno kar pogosta praksa na gradbiščih.

Preverjanje se deli na prvo, redno (periodika) in izredno. Podrobno so posamezne aktivnosti opisane v tehnični smernici. Izrecno je predpisano, da **se izredno preverjanje** opravi **po priključitvi novih naprav za proizvodnjo in hranjenje električne energije**, ki lahko vplivajo na varnost. Opravi se na električno zaključnih celotah električnih inštalacij, na katerih je bil poseg izveden.

Pri vseh teh preverjanjih se preveri varnost električnih inštalacij in **sestavi zapisnik** v obsegu in na način, kot je to določeno v tehnični smernici in pripadajočih standardih, več o tem bo zapisano v naslednjih poglavjih.

Glede na to, da sta bila pravilnik in pripadajoča smernica (tudi o zaščiti pred delovanjem strele) sprejeta v letu 2021, velja opozoriti, da je bilo v tem času do danes sprejetih kar nekaj novih predpisov, ki se navezujejo na fotonapetostne naprave in jih je potrebno upoštevati, tako pri gradnji kakor tudi pri

preverjanju in vzdrževanju, pri tem so nekateri že zajeti v smernicah in so samo posodobljeni, na primer:

- ***Gradbeni zakon GZ-1*** *(Ur. list RS, št 199/2021, 133/23 85/24), uporaba od 1. 6. 2022, ki je zamenjal GZ;*
- ***Energetski zakon*** *(Uradni list RS, št. 60/19 – uradno prečiščeno besedilo, 65/20, 158/20 – ZURE, 121/21 – ZSROVE, 172/21 – ZOEE, 204/21 – ZOP in 44/22 – ZOTDS);*
- * ***Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije*** *(Uradni list RS, št. 17/19, 197/20 in 121/21 – ZSROVE);*
- **** Pravilnik o zaščiti nizkonapetostnih omrežij in pripadajočih transformatorskih postaj*** *(Uradni list RS, št. 202/21*, 38/24 – EZ-2*);*
- *** SONDSEE – Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije** (Uradni list RS, št. 7/21, 41/22, 77/24).

V nadaljevanju navajamo še pomembnejše predpise, ki pa še niso zajeti v tehnični smernici, bili pa so sprejeti od pričetka veljavnosti obravnavane tehnične smernice pa do leta 2024 in jih je prav tako potrebno upoštevati pri gradnji in obratovanju ter vzdrževanju FNE:

- **Uredba o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije** (Uradni list RS, 43/22);
- **Zakon o oskrbi z električno energijo** (ZOEE) (Uradni list RS, 172/21, 121/22 - ZUOKPOE, 158/22 - ZNPOVCE);
- **Zakon o uvajanju naprav za proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov energije** (ZUNPEOVE) (Uradni list RS, 78/23 in 95/24);
- **Zakon o spodbujanju rabe obnovljivih virov energije** (ZSROVE) (Uradni list RS, št. 121/21, 189/21, 29/22 - ZUOPVCE, 121/22 - ZUOKPOE, 158/22 - ZNPOVCE in n 102/24);
- **Pravilnik o tehničnih zahtevah za priključitev proizvodnih naprav električne energije na distribucijsko omrežje in** o izvajanju 5. člena Uredbe Komisije (EU) št. 2016/631 o vzpostavitvi kodeksa omrežja za zahteve za priključitev proizvajalcev električne energije na omrežje (Uradni list RS, št. 97/21 in 38/24 – EZ-2);
- **Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah** (Uradni list RS, št. 70/22, 161/22 ,129/23 in 103/24);
- **Pravilnik o tehničnih zahtevah za priključitev in obratovanje vtične proizvodne naprave na obnovljive vire energije** (Uradni list RS, št.161/2022 z dne 23. 12. 2022 in 38/24 – EZ-2);
- *Energetski zakon (EZ-2) (Uradni list RS, št. 38/24), uporaba od 8. 5. 2024.*

Vsi ti zakoni in podzakonski akti imajo v posameznih členih zapisane zahteve, ki jih morajo upoštevati tako naročnik kot projektant in izvajalec pri vključevanju novih tehnologij v nizkonapetostne električne inštalacije, kakor tudi pri samem vzdrževanju.

Tako je na primer v 9. členu Uredbe o samooskrbi z električno energijo iz obnovljivih virov energije (Uradni list RS, 43/22) podana zahteva glede priključevanja v povezavi s preverjanji: » Uporabnik sistema distribucijskemu operaterju v najkrajšem možnem času dostavi **zapisnik o pregledu, preizkusu in meritvah vgrajenih inštalacij skladno s predpisi, ki urejajo zahteve za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah, ter izjavo izvajalca preverjanja**, da je vgrajena oprema enaka opremi, navedeni v vlogi.« Pri tem velja opozoriti, da preglednik, ki bo izvedel prvo preverjanje skladno z zahtevami pravilnika in po postopkih, zapisanih v tehnični smernici in standardih, potrebuje ustrezno projektno dokumentacijo, ki je pa v praksi pogosto zelo pomanjkljiva in ni narejena skladno z zahtevami Pravil stroke (IZS), kar se v nadaljevanju kaže kot problem pri obratovanju in vzdrževanju.

V smernici so navedeni standardi, ki jih je potrebno upoštevati pri uporabi tehnične smernice. Pri tem velja povedati, da so standardi navedeni po **nedatiranem sistemu**, kar pomeni, da morajo uporabniki tehnične smernice vedno upoštevati zadnje veljavne standarde, ki so navedeni, kajti pri nedatiranih dokumentih velja najnovejša izdaja dokumenta (vključno z morebitnimi spremembami). Za primer navajamo nekaj novih in pomembnejših standardov:

- **SIST HD 60364**; Nizkonapetostne električne inštalacije – **vsi deli** posodobljeni

Pri tem še posebej izpostavljam sledeče poddele, ki so novi ali pa posodobljeni od leta 2021 in se nanašajo na nove tehnologije, ki so vključene v smernico:

- **SIST HD 60364-6; Nizkonapetostne električne inštalacije – 6. del: Preverjanje**
- SIST HD 60364-8-1; Nizkonapetostne električne inštalacije – 8-1. del: Energijska učinkovitost
- SIST HD 60364-8-2; Nizkonapetostne električne inštalacije – 8-2. del:
- Električne inštalacije proizvajalcev-odjemalcev
- SIST HD 60364-7-712; Električne inštalacije zgradb – 7-712. del: Zahteve za posebne inštalacije ali lokacije – Fotonapetostni (PV) sistemi
- **SIST EN 61439**; Sestavi nizkonapetostnih stikalnih in krmilnih naprav – vsi deli

Tudi vsi ti deli so posodobljeni in nosijo novejše letnice izdaje prenovljenih in dopolnjenih delov standarda, posebej so navedene zahteve za razdelilnike (DC) za fotonapetostne naprave, nekaj podatkov o tem bo navedenih v nadaljevanju prispevka.

- **SIST EN 50549-1**; Zahteve za vzporedno vezavo generatorskih postrojev z javnim razdelilnim omrežjem – 1. del: Priklop na nizkonapetostno razdelilno omrežje – Generatorski postroji do vključno tipa A
- SIST EN 50549-1-2; Zahteve za vzporedno vezavo generatorskih postrojev z javnim razdelilnim omrežjem – 1. del: Priklop na nizkonapetostno razdelilno omrežje – Generatorski postroji do vključno tipa B
- SIST EN **62446**-1; Fotonapetostni sistemi – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 1. del: Si-

stemi, priključeni na omrežje – Dokumentacija, prevzemni preskusi in nadzor
- SIST EN 62446-2; Fotonapetostni sistemi – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 2. del: Sistemi, priključeni na omrežje – Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov

Za projektiranje in gradnjo novih električnih inštalacij se vedno upošteva zadnje stanje tehnike, ki je zapisano v zadnji verziji standardov, kar mora biti tudi navedeno v projektni dokumentaciji. Odstopanja od zahtev pravilnika, njemu pripadajoče smernice oziroma standardov morajo biti potrjena in dokumentirana.

Tehnična smernica tsg in zahteve za preverjanje fotonapetostnih sistemov

V tehnični smernici so v poglavju 11 podane zahteve za posebne primere električnih inštalacij in lokacij. Glede na to, da so danes obnovljivi viri energije neizogibni, njihovo vključevanje v NN-inštalacijski sistem pa predpisano v prej obravnavanih predpisih, je še posebej pomembno razumevanje in upoštevanje sprememb koncepta pretoka moči pri končnem porabniku in vplivu na NN-omrežje. Fotonapetostne naprave se namreč vključujejo in povezujejo v nizkonapetostne električne inštalacije, zato je bilo dodano v tehnično smernico celotno novo podpoglavje **11.3.7 Vgrajene fotonapetostne naprave in fotonapetostna napajalna omrežja**, v katerem so podane usmeritve za izvedbo tovrstnih tehnologij in inštalacij (ki pa zopet ne upoštevajo vseh novosti, ki so zajete v standardih. Pri namestitvi in inštalaciji tovrstnih sistemov je treba upoštevati standarde serije SIST HD 60364, posebej pa standard **SIST HD 60364-7-712**, ki med drugim navaja naslednje zahteve:
- kable na enosmerni strani je treba izbrati in položiti tako, da je tveganje za kratki stik in zemeljski stik minimalno, kar se lahko izvede z:
  - enožilnimi kabli z nekovinskim plaščem,
  - izoliranim (enožilnim) vodnikom, položenim v izolirano elektroinštalacijsko cev ali kanal,
  - z vodnikom, odpornim na UV-sevanje (na primer H07RN-F);
- zaščita pred električnim udarom se izvaja s posebno pozornostjo, ker se šteje, da je oprema na enosmerni strani pod napetostjo tudi, če je izmenična stran ločena od omrežja oziroma je pretvornik ločen od enosmerne strani.

Posebej je v smernici opredeljeno, da morajo izmenični tokokrogi imeti **vgrajeno zaščito RCD tipa B** v skladu s SIST EN 62423, **razen če je**:
- v pretvorniku izvedena vsaj enostavna ločitev med enosmerno in izmenično stranjo,
- v inštalaciji izvedena vsaj enostavna ločitev med pretvornikom in RCD z ločenim navitjem v transformatorju,
- ali če je pretvornik v skladu s SIST EN 62109-1 in ni zahteve po RCD tipu B, kar mora biti napisano v navodilih proizvajalca pretvornika.

V nadaljevanju podajamo nekaj napotkov za preverjanje NN-razdelilnikov za fotonapetostne sisteme, povzete po standardu **SIST EN 61439,** ki niso zapisani v smernici, so pa v standardu in jih je potrebno pri preverjanju upoštevati.
- V nizkonapetostne inštalacije FNE se lahko vgrajujejo samo nizkonapetostni sestavi, ki izpolnjujejo zahteve veljavne evropske in slovenske zakonodaje, kar se izkazuje z ustreznimi izjavami o skladnosti. Vsak vgrajen NN-sestav mora imeti **preverjeno zasnovo**, kosovno preverjanje in ustrezno **EU-izjavo o skladnosti**. Preverjanje zasnove je po standardu mogoče s preizkušanjem, s primerjavo z referenčno zasnovo in ocenitvijo.
- Za vsak razdelilnik (sestav) sta potrebna **samo dva dela standarda** za določitev vseh zahtev in postopkov ugotavljanja skladnosti: 61439-1 (osnovni standard) in poseben standard, če ni delov 3 in naprej, velja del 2 tega standarda, (2 do 7) iz skupine standardov, ki obravnava posamezno področje uporabe. Celotno področje NN-sestavov je zelo obširno in kompleksno in trenutno obsega osem veljavnih delov standarda družine 61439 oziroma skupno skoraj 500 strani. Vsi standardi so navedeni med referenčnimi dokumenti tehnične smernice.
- Prenovljeni standard **SIST EN IEC 61439-2:2021** vsebuje bistvene spremembe glede na predhodno izdajo, ki niso zajete v tehnični smernici, predvsem tudi glede zahtev za sestave za uporabo v fotovoltaičnih inštalacijah, označene kot fotovoltaični sestavi (PVA). Posebne značilnosti, posebni pogoji delovanja in zahteve za PVA so vključeni v informativnih dodatkih DD, EE in FF. Posebej obsežen je dodatek DD, ki na devetih straneh podaja zahteve za PVA. V dodatku EE je podloga, v kateri so navedene zahteve za vnos v pogodbo med proizvajalcem in naročnikom, v dodatku FF pa je v tabela s seznamom preverjanj za preverjanje zasnove.Za sestave, ki so lahko napajani iz več kot enega vira (primer fotonapetostnega sistema) je v poglavju 6.2.2 podana zahteva, da mora biti na sestavu oznaka, ki označuje, da je **sestav napajan iz več kot enega vira** in da so lahko deli v sestavu še vedno pod napetostjo, razen če so vsi viri napajanja izolirani.

Za fotonapetostne naprave, katerih del so tudi NN-sestavi oziroma razdelilniki, je potrebno poudariti, da je v standardih **SIST EN IEC 61439-1:2021** in **SIST EN IEC 61439-2:2021** naveden zadnji datum (dow), do katerega morajo biti iz nacionalne zakonodaje umaknjeni dokumenti, ki so v nasprotju z zahtevami teh dveh standardov, to je **21. 5. 2024**, kar pomeni, da so **zahteve za razdelilnike za fotonapetostne naprave** navedene v dodatkih DD, EE in FF standarda SIST EN IEC 61439-2:2021 **postale obvezujoče za proizvajalce teh sestavov.** Pri pregledih izvedenih fotonapetostnih sistemov, predvsem na področju samooskrbe, stroka ugotavlja, da ti sestavi (razdelilniki) večkrat ne izpolnjujejo vseh predstavljenih zahtev v standardu. Namen tega opozorila je opozoriti strokovno javnost in izvajalce, da je potrebno te sestave oziroma razdelilnike po zahtevah prej navedenih standardov obravnavati kot posebni primer sestavov močnostnih stikalnih in krmilnih

naprav in jih kot takšne temu primerno načrtovati, preverjati in vgrajevati v fotonapetostne sisteme.

Zaradi varnosti vzdrževalcev, inšpektorjev, distributerjev, gasilcev in reševalcev je v smernici poudarjeno bistveno, da je na objektih označena prisotnost fotonapetostne inštalacije v stavbi. Tako so v smernici opredeljeni oblika znaka, velikost znaka in lokacija namestitve.

Posebej nas smernica usmerja na standard **SIST EN 62446-1**: Osnovne minimalne zahteve za sistemsko dokumentacijo, prevzemne preskuse in nadzor, katerega vsebina je premalo prepoznana in se v praksi skoraj ne uporablja, še posebej ne pri manjših samooskrbnih fotonapetostnih napravah. Ta standard v dveh delih podaja zahteve za:

- dokumentacijo sistema, ki mora uporabniku podati informacije o fotonapetostnem sistemu, priključenem na omrežje;
- preverjanje (pregled in preskušanje) z informacijami, pričakovanimi za prvo (ali periodično) preverjanje nameščenega sistema.

Zahteve za dokumentacijo sistema obsegajo minimalno dokumentacijo, ki naj se zagotovi po namestitvi na omrežje priključenega sistema, in so ključni podatki uporabniku, vzdrževalcu in pregledniku o sistemu, ki morajo biti podani v navodilih za obratovanje in vzdrževanje. Več o tem bo navedeno v nadaljevanju tega prispevka.

Preverjanje nn-inštalacij in fotonapetostnih sistemov – zahteve iz smernice

Pri postavitvi fotonapetostnih sistemov se moramo zavedati, da gre za proces vnosa električne energije iz drugega zunanjega vira v objekt oz. nizkonapetostno omrežje. To pomeni, da je tudi tukaj treba upoštevati razloge, ki bodo zagotavljali **električno varnost**. Poleg pridobitve dovoljenja za namestitev in priključitev fotonapetostnih sistemov (skladno s SONDSEE) je izredno pomemben tudi sam proces do končne priključitve na omrežje in vzdrževanje po priključitvi. Treba je upoštevati, da bi morali biti v proces inštalacije/namestitve vključeni ključni udeleženci:

1. **projektant**, ki pripravi ustrezno in pravilno projektno dokumentacijo
2. **izvajalec**, ki pravilno izvede inštalacijo in povezave v skladu s projektno dokumentacijo
3. **nadzornik**, ki zagotovi, da je bilo delo izvedeno skladno s tehničnimi rešitvami
4. **preglednik**, ki preveri ustreznost tehnoloških rešitev po veljavni zakonodaji

Po končani izvedbi električnih inštalacij ter namestitvi električne opreme, ki je sestavni del fotonapetostne naprave, kakor tudi po spremembah, obnovah, popravilih in občasno (po predpisani periodiki) je treba opraviti preverjanje ustreznosti in kakovosti električnih inštalacij fotonapetostne naprave, njihovih lastnosti, varnosti, zanesljivosti in funkcionalnosti ter uporabe ustreznih proizvodov, ki sestavljajo napravo. Skladno s pravilnikom preverjanje zajema vizualni pregled, preskuse in meritve. Pravilnik tako v 11. členu določa zahteve za prvo preverjanje, in sicer:

1. Investitor mora pred pričetkom izvajanja del na objektu zagotoviti imenovanje izvajalca preverjanja. Izvajalec preverjanja pri gradnji istega objekta ne more nastopati kot nadzornik.
2. Izvajalec preverjanja mora za novo izvedene električne inštalacije ob sodelovanju nadzornika za električne inštalacije v ustreznih fazah gradnje opraviti preverjanje.
3. Pri preverjanju izvajalec preverjanja preveri skladnost električnih inštalacij s tem pravilnikom in njihovo varnost, kar vključuje tudi oceno združljivosti na električne inštalacije priključenih naprav, opreme in strojev, ter sestavi zapisnik na način, kot je določen v tehnični smernici. Zapisnik je obvezna priloga dokazila o zanesljivosti objekta in je določen v predpisih, ki urejajo gradnjo objektov.

Fotonapetostne naprave na objektih ali ob njih sodijo **med zahtevne NN-inštalacije**, zato preverjanje zahtevnih nizkonapetostnih električnih inštalacij in fotonapetostnih sistemov lahko opravljajo le posamezniki, ki so pridobili poklicno kvalifikacijo **NPK za preglednika zahtevnih** električnih inštalacij in inštalacij zaščite pred delovanjem strele.

Pri prvem preverjanju se istočasno preveri nizkonapetostne električne inštalacije fotonapetostne naprave in sistem zaščite pred delovanjem strele, če je vgrajen. Če bi pregledovana fotonapetostna naprava morala imeti sistem zaščite pred delovanjem strele, pa je nima, **preverjanja ni uspešno opravila**.

Kadar ima fotonapetostna naprava vgrajeno zaščito pred udarom strele, je treba preverjanje električnih inštalacij opraviti v rokih, ki so predpisani s pravilnikom, na podlagi katerega je izdana tehnična smernica; v rokih, določenih za preverjanje zaščite pred udarom strele, pa preverjanje zaščite pred električnim udarom z električno inštalacijo povezanega sistema za zaščito pred delovanjem strele.

V tehnični smernici je poudarjeno, da je električne inštalacije fotonapetostne naprave treba redno preverjati, saj tudi standard **SIST HD 60364-6** podaja naslednje razloge za redno preverjanje električne inštalacije (fotonapetostnega sistema- AC del) brez razklapljanja ali delnega razklapljanja, da se zagotovi:

- varnost ljudi in živali pred učinki električnega udara in opeklinami,
- zaščito pred škodo na lastnini, ki jo povzročita ogenj in vročina zaradi napake na električni inštalaciji,
- potrditev, da so pravilno izbrane in nastavljene naprave za zaščito pred električnim udarom,
- potrditev, da so pravilno izbrane in nastavljene naprave za nadzorovanje,
- potrditev, da inštalacija ni poškodovana ali poslabšana in s tem zmanjšana njena varnost,

- identifikacijo poškodb inštalacije in neskladnosti z zahtevami drugih standardov, ki se nanašajo na električne inštalacije, kar lahko poveča nevarnost,
- potrditev, da so pravilno izbrane in nastavljene zaščitne naprave.

V kolikor so tokokrogi stalno pod nadzorom naprav za nadzorovanje izolacijske upornosti in naprav za nadzorovanje preostalega toka in so te naprave preverjene ter delujejo pravilno, ni treba meriti izolacijske upornosti. Instrumenti za merjenje in preizkušanje ter postopki morajo ustrezati ustreznim delom standardov serije SIST EN 61557.

Na FNE je potrebno skladno z zahtevami smernice izvajati tudi **vzdrževalne preglede**, ki se po navadi izvajajo med rednimi preverjanji. Izvaja jih lahko lastnik sam ali ustrezno kvalificirana pooblaščena oseba. Ko je FNE priključena na omrežje, zanjo v celoti odgovarja **lastnik**. Ta mora torej osebno (ali imenovani skrbnik) spremljati delovanje in stanje FE ter poskrbeti za preventivne ukrepe in preglede. Lastnik nosi škodno odgovornost za premoženje iz vira električne energije. V praksi se vedno ne upošteva pravilnih postopkov izvedbe, prav tako pa nimajo vsi, ki sodelujejo v procesu namestitve, ustreznih znanj oziroma izpustijo določene faze del. V nekaterih državah je to rešeno z **uvedbo strokovnih kompetenc** za izvajalce (montažerje), preglednike inštalacije, vzdrževalce/skrbnike FNE.

Pregledniki pri svojem delu pri preverjanju FNE po izvedeni izgradnji upoštevajo zahteve iz tehnične smernice- poglavja **12. Preverjanje nizkonapetostnih električnih inštalacij**, kjer so v podpoglavju **12.1.1 Pristojnosti preglednika** podane vse njegove pristojnosti na objektu FNE. Predvsem je tukaj novost oz. zahteva, da mora biti preglednik izbran ob začetku gradnje. Pristojnosti preglednika so podane celovito in široko, medtem ko so **odgovornosti preglednika** (podpoglavje **12.1.2**) podane v štirih alinejah. Verjamemo, da bo v prihodnje treba tudi to poglavje razširiti, natančneje in jasneje opredeliti tudi odgovornosti ter sankcioniranje nestrokovnega ali celo malomarnega izvajanja preverjanja, kar se v praksi velikokrat primeri, še posebej na manjših samooskrbnih FNE.

Preglednik ima v poglavju **12.2 Vizualni pregled** opisano, kaj mora preveriti na objektu, še posebej pa so v podpoglavjih **12.3 Preskusi** in **12.4 Meritve**, ki sta v tehnični smernici ločena, naštete vse aktivnosti, potrebne za izvedbo preskusov in meritev (tudi na FNE). Za vse te primere so v smernici navedeni zahtevani postopki in merilne metode, ki jih je treba izvesti, in so podrobno opredeljene v standardih.

V podpoglavju **12.5 Vzdrževalni pregled** je navedeno, kdo lahko opravlja te preglede, kaj je treba vizualno pregledati in kako je z vodenjem evidence o pregledih. Vzdrževalni pregled lahko izvaja lastnik oziroma ustrezno kvalificirana pooblaščena oseba.

V zadnjem podpoglavju smernice **12.7 Zapisnik o preverjanju** pa so podrobno podane usmeritve glede zapisnika, obenem pa zahteva, da ima zapisnik o preverjanju najmanj vsebino, kot je določena v standardu SIST HD 60364-6 in pripadajočih standardih za FNE. V sami smernici je v prilogi tudi prikazan predlog zapisnika o preverjanju fotonapetostnega sistema, ki ga lahko preglednik uporabi.

3. Zahteve iz standarda SIST EN 62446-1:2016/A1 2018

Standard opredeljuje informacije in dokumentacijo, ki mora biti izročena uporabniku ob prevzemu nameščenega in na omrežje priključenega fotonapetostnega sistema. Opisuje tudi prevzemne preskuse, merila pregleda in dokumentacijo, pričakovano za preverjanje varnosti namestitve in pravilnega delovanja sistema. Uporabi se lahko tudi pri periodičnih preskusih. Standard podaja zahteve za na omrežje priključene fotonapetostne sisteme, ki ne uporabljajo hranilnikov energije (na primer baterij) ali hibridnih sistemov, čeprav je kar nekaj delov mogoče uporabiti tudi zanje. Uporabljajo ga tako projektanti kakor pregledniki in inštalaterji na omrežje priključenih sončnih fotonapetostnih sistemov, ki jim služi za podlago, da je uporabniku izročena uporabna dokumentacija. Podrobnosti prevzemnih preskusov in meril pregleda so namenjene v pomoč pri preverjanju/pregledu na omrežje priključenega fotonapetostnega sistema po namestitvi in pri poznejšem ponovnem pregledu, vzdrževanju ali spremembah.

Standard **SIST EN 64446-1:2016/A12018 – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje** – 1. del: Sistemi, priključeni na omrežje – **Dokumentacija, prevzemni preskusi in nadzor** v dveh delih podaja zahteve za:

- dokumentacijo sistema, ki mora uporabniku podati informacije o fotonapetostnem sistemu, priključenem na omrežje;
- preverjanje (pregled in preskušanje) z informacijami, pričakovanimi za prvo (ali periodično) preverjanje nameščenega sistema.

Sklicuje se na standard **IEC TS 62548:2016** Zahteve za načrtovanje fotonapetostnih (PV) polj, pri čemer se v Sloveniji namesto slednjega upošteva standard: **SIST HD 60364-7-712** Električne inštalacije zgradb-7-712. del, na katerega se sklicuje tudi tehnična smernica.

Zahteve za dokumentacijo sistema

Obsegajo minimalno dokumentacijo, ki naj se zagotovi po namestitvi na omrežje priključenega sistema, so ključni podatki uporabniku, vzdrževalcu in pregledniku o sistemu in morajo biti podani v navodilih za obratovanje in vzdrževanje. Podrobno so zahteve opredeljene in opisane v 4. poglavju standarda v naslednjih točkah:

1. Podatki o sistemu

a) Osnovne informacije (št. projekta, naznačena moč, podatki o modulih, razsmernikih, datum namestitve, datum predaje v obratovanje, ime stranke, lokacija)
b) Informacije o načrtovalcu sistema
c) Informacije o inštalaterju sistema

2. Načrt ožičenja

a) Fotonapetostno polje (tipi in število modulov, nizov, število modulov v nizu, priključitev na razsmernike)
b) Informacije o PV-nizu (tipi, nazivni podatki o kablu, nadtokovni zaščiti in blokirnih diodah)
c) Električne podrobnosti o polju (mesto, tipi, nazivni podatki o nadtokovni zaščiti, DC-odklopnem ločilniku, kombinirani omarici polja, kablu in drugih elektronskih vezjih, npr. zaznavi obloka)
d) Izmenični sistem (mesto, tipi, nazivni podatki o ločilniku, nadtokovni in RCD-zaščiti, če je uporabljena)
e) Ozemljitev in prenapetostna zaščita (mesto, tipi, nazivni podatki o vseh ozemljitvenih vodnikih, povezavah na LPS in prenapet, zaščitnih napravah)

3. Razpored nizov (načrt razporeditve PV-sistema za sisteme z več kot tremi nizi)

4. Seznami podatkov (najmanj za vse tipe PV-modulov in razsmernikov)

5. Informacije o mehanski izvedbi (dokumentacija, če je vgradna struktura izvedba po naročilu)

6. Sistemi za nujna stanja (dokumentacija o sistemih, vezanih na PV-sistem, na primer požarni, dimni alarmni …)

7. Informacije o delovanju in vzdrževanju

a) postopki za preverjanje pravilnega delovanja PV-sistema
b) kontrolni seznam, kaj se izvede v primeru izpada sistema
c) postopki zaustavitve/ločevanja v izrednih razmerah
d) priporočila za vzdrževanje in čiščenje (če je predvideno)
e) nasveti za prihodnja gradbena dela (na primer krovska dela)
f) garancijska dokumentacija za module in razsmernike (začetek in trajanje garancije)
g) garancijska dokumentacija o izvedenih obrtniških delih ali odpornosti tesnjenja proti vremenskim pojavom

8. Rezultati preskusov in podatki o prevzemu

Obvezne so kopije vseh preskusov in predaj v obratovanje z rezultati preskusov preverjanja, ki so podrobno obdelani v poglavjih od 5. do 9. standarda.

3.2 Preverjanje

V poglavju 5. standarda so podane zahteve za prvo in periodična preverjanja električne inštalacije fotonapetostne naprave, priključene na omrežje, ki naj se, kolikor je praktično smiselno, izvedejo s sklicevanjem na **SIST HD 60364-6.**

Dograditev oz. sprememba električne inštalacije ne sme zmanjšati njene varnosti, ta mora biti skladna s SIST HD 60364-6. Izvajalec preverjanja mora biti strokovna in kompetentna oseba za preverjanje, (opravljen NPK za preglednika zahtevnih električnih inštalacij in zaščite pred delovanjem strele).

Prvo preverjanje se mora izvesti po dokončanju dodatnih električnih inštalacij ali spremembi obstoječih električnih inštalacij. Interval periodičnega preverjanja PV-sistema (DC-del) ne sme biti daljši kot za izmenični električni sistem, na katerega je priključen, v Sloveniji je interval določen v pravilnikih [1], [2],[3].

Obrazci preskusov so podani v dodatkih A, B, C standarda in tudi v Tehnični smernici TSG-N- 002:2021, točka 13., Dodatek A. Preverjanje mora obsegati **pregled in preskušanje, meritve** ter zapisnik o preverjanju.

3.2.1 Pregled

Pregled mora biti izveden pred preskušanjem in pred priključitvijo inštalacije pod napetost ter izveden po zahtevah iz tehnične smernice SIST HD 60364-6. Če ožičenje po namestitvi inštalacije ne bo dostopno, ga je treba pregledati pred ali med inštalacijskimi deli (faze po Pravilniku za NN-električne inštalacije). V pregled morajo biti vključene naslednje točke, ki so specifične za v omrežje priključene fotonapetostne sisteme:

1. Enosmerni sistem:

a) Splošno (sistem je specificiran, zasnovan in izveden po zahtevah IEC 60364 in IEC 62548:2016; najvišja napetost polja ustreza lokaciji polja, komponente vzdržijo pričakovane zunanje vplive; strešne pritrditve in kabelski uvodi so vodotesni)
b) Zaščita pred električnim udarom (malo napetostjo, razreda II ali enakovredno, kabli z ojačano izolacijo)
c) Zaščita pred učinki okvar izolacije (galvanska ločitev, izvedena v razsmerniku ali na izmeni strani, nameščen sistem za javljanje okvar izolacijske upornosti (IMD) in nadzor preostalega toka (RCM))Zaščita pred nadtokom (mora ustrezati IEC 62548:2016, kjer ni vgrajena, mora biti naznačeni tok serijske varovalke modula večji, kot je možni povratni tok, in kabli morajo biti prilagojeni največjemu kombiniranemu toku okvare iz vzporednih nizov)Sestavi za ozemljitev in za izenačitev potencialov (ustreznost z IEC 62548:2016: v primeru funkcijske ozemljitve DC-vodnika, funkcionalnega odklopnika v primeru neposredne povezave z zemljo na DC- strani, povezave okvirjev in da so PE-vodniki vzporedni in oviti okoli DC-kablov)Zaščita pred učinki strel in prenapetostmi (zmanjšanje inducirane napetosti in površine možnih induktivnih zank, zaščita dolgih kablov z zaslanjanjem ali uporabo prenapetostnih odvodnikov in namestitev prenapetostnih odvodnikov skladno z IEC 62548:2016)

Izbira in namestitev električne opreme (moduli izbrani za najvišjo sistemsko DC-napetost, DC- komponente za najvišjo možno sistemsko napetost in tok skladno z IEC 62548:2016, prenapetostni odvodniki, ločilniki skladni z IEC 62548:2016, vtiči in vtičnice enakega tipa in ustrezno IEC 62548:2016)

2. **Izmenični sistem skladno s TSG -N-002:2021** in **SIST HD 60364-6**

3. **Označevanje in identifikacija** (tokokrogi, stikala, priključki skladno s SIST EN 60364 in IEC 62548:201, opozorilne table na DC-omaricah, na medomrežnem spojnem mestu, na kraju samem: enočrtni načrt, podrobnosti inštalacije in postopki za izklapljanje, postopki za ravnaje v izrednih razmerah, jasno označena sredstva za ločevanje na AC-strani)

3.2.2 Preskušanje in preskusni postopki

Preskušanje električne inštalacije je treba izvesti skladno z zahtevami **SIST HD 60364-6**. Merilni instrumenti in nadzorna oprema ter metode morajo biti izbrani skladno z ustreznimi deli SIST EN 61557 in SIST EN 61010.

Vsak preskus mora biti izveden tako, kot je opisano v poglavju 6. standarda. Vsi preskusi morajo biti izvedeni tam, kjer je potrebno, in po navedenem zaporedju. Če preskus ugotovi okvaro, jo je treba odpraviti, in če je okvara vplivala na rezultate preskusov, je treba ponoviti vse prejšnje preskuse. Če katerikoli preskus pokaže neskladnost z zahtevami, je tega treba ponoviti in tudi vse dotedanje preskuse, na katere je morda vplivala okvara.

Preskusni režimi in dodatni preskusi
Določena sta dva preskusna režima skupaj z dodatnimi preskusi, ki so lahko izvedeni po končanju standardnega preskuševalnega zaporedja.

Preskusi kategorije 1 so standardni nabor preskusov in morajo biti izvedeni na vseh sistemih.**Izmenična stran**
Izvedejo se preskusi na vseh izmeničnih tokokrogih po zahtevah SIST HD 60364-6.

1. Enosmerna stran
Izvedejo se naslednji preskusi:

a) Preskus neprekinjenosti ozemljitvenih vodnikov in vodnikov za izenačitev potencialov
b) Preskus polaritete (preverimo, če so kabli pravilno priključeni na naprave)
c) Preskus kombinirane omarice fotonapetostnega niza (preverimo, če so nizi pravilno medsebojno povezani)
d) PV-niz – merjenje napetosti odprtih sponk tokokroga (preverimo pravilno priključitev in pravo število modulov v nizu)
e) PV-niz – merjenje toka (preverimo pravilno delovanje PV-sistema in okvare na ožičenju):
   - kratkostični preskus (z namenskim instrumentom ali s pomočjo naprave za kratkostičenje)
   - preskus delovanja (meritev z DC-kleščami, preko tokovnih transformatorjev ali v razsmerniku)
f) Funkcijski preskusi (stikalni in preskus krmilnih naprav in razsmernikov po navodilih proizvajalca)
g) Preskus izolacijske upornosti fotonapetostnega polja

Postopek je podoben kot pri izmeničnih tokokrogih, posebno pozornost je treba posvetiti **varnostnim ukrepom,** ker so DC-tokokrogi podnevi stalno pod napetostjo. V primeru vprašljivosti rezultatov se izvede preskus z mokro izolacijo (dodatni preskus). Med preskusom je potrebno začasno izklopiti vse prenapetostne odvodnike. Uporabljajo se namenski merilni instrumenti, skladni s SIST EN 61557-2 (možnost samorazelektritve).

Podani sta dve preskusni metodi:
1. preskus med negativnim polom in zemljo, ki mu sledi preskus med pozitivnim polom in zemljo
2. preskus med zemljo in kratko spojenima pozitivnim in negativnim polom

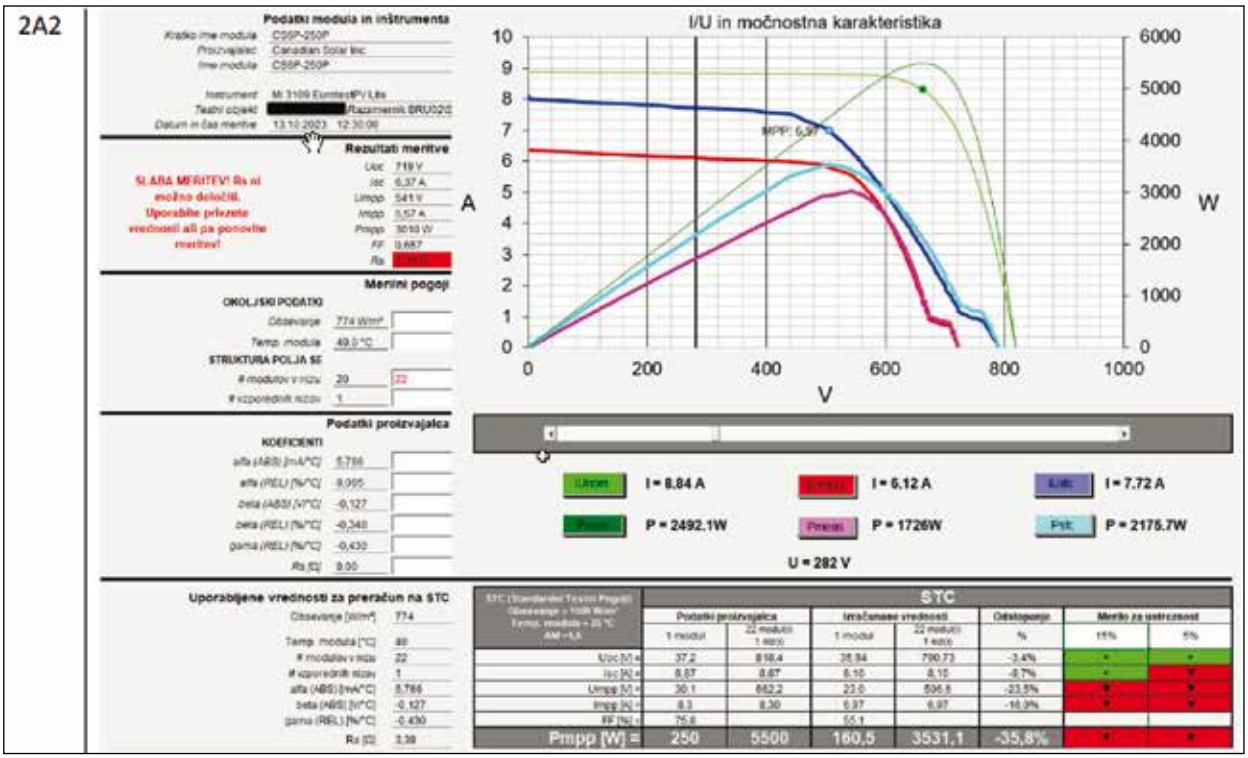
Najmanjše vrednosti izolacijske upornosti in preskusne napetosti so podane v Preglednici 2 [5] za PV-polja do 10 kWp.

Za PV-polja nad 10 kWp postopamo po metodi A ali metodi B:
- **Metoda A:** Izvede se preskus izolacijske upornosti na posamičnih nizih ali na kombiniranih nizih. Izolacijska upornost mora ustrezati vrednostim iz Preglednice 2.
- **Metoda B:** Dopušča merjenje izolacijske upornosti celotnega polja. Če se z meritvijo dosežejo rezultati, ki ustrezajo podanim iz Preglednice 2, je sistem sprejemljiv. Če preskus z meritvijo po metodi ni uspešen, je treba preskuse izvesti na poodsklopih po metodi A.

Preskusi kategorije 2 so razširjeno zaporedje preskusov, ki predpostavlja, da so bili že izvedeni vsi preskusi kategorije 1:

1. Meritev krivulje I-V nam lahko poda naslednje informacije:
1. napetost odprtih sponk niza (V_{oc}) in kratkostični tok (I_{sc}),
b) napetost največje moči (V_{mpp}), tok (I_{mpp}) in največjo moč (P_{max}),
c) preverjanje tehničnih lastnosti (učinkovitosti) PV-polja,
d) faktor polnjenja modula/niza,
e) prepoznavanje hib ali zadev z osenčenjem modulov/nizov (poškodovane celice/moduli,
f) prebite obvodne (premostitvene) diode, lokalna osenčenja, neusklajenost modulov, prisotnost vzporedne (shunt) upornosti v celicah/modulih/poljih, čezmerna zaporedna upornost).

Meritev V_{OC} in I_{SC} s pomočjo krivulje I-V lahko nadomesti meritve, ki so zahtevane v preskusih kategorije 1, pod po-



Slika 2: Meritve U-I karakteristike fotonapetostnega niza [Vir: Metrel]

gojem, da se preskus izvaja na ustrezni stopnji preskusnega zaporedja (d) in (e).

OPOMBA: V informativnem dodatku D [4] je podano **tolmačenje oblik krivulje I-V**.

Komentar merilnih rezultatov na Sliki 2:
Merilo za ustreznost izmerjenih vrednosti je bilo izbrano po naslednjih kriterijih:

- Skupni merilni pogrešek merilne opreme: merilnik sevanja, merilnik temperature, meritev toka in napetosti z instrumentom Eurotest MI 3109 PV lite ocenimo po priporočilu proizvajalca in znaša 5 %.
- Degradacija moči modulov po 10 letih po podatkih proizvajalca znaša 10 %.
- Za merilo ustreznosti zato izberemo 15 %.
- Iz diagrama je razvidna stopnica v zadnjem delu navpičnega dela I-V krivulje, ki je najverjetneje posledica lokalne kratkotrajne sence v času meritev, posledično je instrument izmeril tudi nenavadno visoko serijsko upornost 3,39 Ω. Možen vzrok za stopnico bi lahko bile tudi kakšne lokalne vroče točke ali slabi spoji, ki pa jih termovizijski pregled naročnika ni zaznal.

Postopek pregleda fotonapetostnega polja z infrardečo kamero:

Namen je **odkriti neobičajne temperaturne spremembe** na delujočih PV modulih, ki lahko nakazujejo:

a) težave na modulih in/ali polju, npr. obrnjeno priključene celice
   Vroča mesta v modulu običajno kažejo na električni problem, verjetno zaporedno upornost, obvodno upornost ali neusklajenost (slabe celice).
b) okvaro obvodne diode
   Če je vroča katera od obvodnih diod, je treba pregledati polje zaradi očitnih razlogov, kot so zasenčenje ali umazanija na modulu, ki ga ščiti dioda. Če ne najdemo očitnega vzroka, je lahko modul slab.
c) okvaro spajkanega spoja
   Spoji kabelskih povezav med moduli naj ne bodo bistveno bolj vroči kot sami kabli. Če so, se preveri, ali je spoj slabo pritrjen ali korodiran.
d) slabe spoje in druge pogojih,? ki povzročajo mesta z visoko temperaturo

Dodatni preskusi so drugi preskusi, ki se lahko izvajajo v nekaterih okoliščinah:

1. **Napetost proti zemlji** – uporovni ozemljeni sistemi
   Preskus se izvede po posebnih zahtevah proizvajalca, na kraju samem se preverita vrednost ozemljitvene upornosti in obstajanje enosmernega sistema na sprejemljivih napetostih proti zemlji ali znotraj sprejemljivih območij uhajavega toka.**Preskus blokirnih diod**
   Blokirne diode so lahko ali prekinjene ali prebite. Vse diode morajo biti preverjene, ali so pravilno priključene in ali ni na njih znakov pregrevanja ali karbonizacije.**Fotonapetostno polje – preskus upornosti mokre izolacije**
   Namenjen je še posebej iskanju okvar, ki so bile odkrite pri normalnem preverjanju izolacije. Preskus simulira padanje dežja ali rose na PV-polje in njegovo ožičenje. Izvaja se lahko na celotni napravi ali samo na njenih delih.

Sistem	Sprememba standardnega preskusnega režima
Izmenični modul	— Ni zahtevan enosmerni preskus ali pregled
Mikro razsmernik *Ne uporablja se ožičenje, izvedeno na kraju samem (vse povezave uporabljajo žične povezave modula in razsmernika)*	— Ni zahtevano preskušanje enosmernih tokokrogov — Zahtevan je pregled enosmernega dela
Mikro razsmernik *Uporablja se ožičenje, izvedeno na kraju samem*	— Zahteva se preskušanje enosmernih tokokrogov — Zahteva se pregled enosmernega dela
Moduli z vgrajeno elektroniko	— Kjer je mogoče, se uporabi standardni preskusni režim — Posvet s proizvajalcem za določitev vseh omejitev pri preskusih (na primer preskus izolacijske upornosti) — Posvet s proizvajalcem o merilih dober/slab pri preskusih (na primer pričakovani V_{OC})

Preglednica 1: Spremembe preskusnega režima za sisteme z elektronskimi moduli [4],[5]

2. Ovrednotenje osenčenja
Namen je zapis trenutno prisotnih senc in pogojev na obzorju – kot podlage za bodoče primerjave. Za male sisteme naj se zapis osenčenja izvede praktično na sredini polja. Za večje sisteme z več podpolji ali pri kompleksnem osenčenju se lahko zahteva več meritev osenčenja.

Preskusni režimi za sisteme z elektronskimi moduli

Za sisteme, konstruirane za uporabo izmeničnih modulov, **optimizatorjev moči** ali katerihkoli drugih oblik elektronskih modulov, je treba za določitev pravilnega preskusnega režima uporabiti Preglednico 1.

Tipično merjenje I-U krivulje in pregled elektroluminiscence za te sisteme **nista mogoča.** Namesto tega se lahko podatki na ravni modula uporabijo za iskanje tehničnih težav na ravni modula.

3.2.3 Poročilo o preverjanju

Poročilo mora vsebovati naslednje informacije:
a) informativni povzetek o sistemu (ime, naslov itd.),
b) seznam pregledanih in preskušenih tokokrogov,
c) zapisnik o pregledu,
d) zapisnik o rezultatih preskusa vsakega preskušenega tokokroga,
e) interval do naslednjega preverjanja,
f) podpis osebe (oseb), ki je (so) izvedla(-e) preverjanje (skladno s zahtevami pravilnika [1], [2]).

Vzorci poročil o preverjanju so prikazani v dodatkih A, B in C tega standarda (v Sloveniji tudi v Tehnični smernici TSG-N-002:2021, točka 13. Dodatek A).

OPOMBA: V nekaterih državah je interval med preverjanji predpisan z nacionalnimi predpisi. V Sloveniji je interval določen v pravilnikih [1], [2],[3].

4. Zahteve iz standarda SIST EN IEC 62446-2:2020

Standard **SIST EN IEC 62446-2:2020 Fotonapetostni sistemi – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje** – 2. del: Sistemi, priključeni na omrežje – **Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov** določa zahteve in priporočila za vzdrževanje fotonapetostnih sistemov, vključno s periodičnimi pregledi, preventivnim vzdrževanjem, popravljalnim vzdrževanjem in odpravljanjem težav.

Fotonapetostni sistemi zahtevajo določeno raven **preventivnega in popravljalnega vzdrževanja**, da delujejo, kot je pričakovano, v življenjski dobi, ki lahko presega 20 let. Raven vzdrževanja, se lahko znatno razlikuje glede na lastnikove želje ali pogodbene obveznosti za proizvodnjo električne energije, vendar pa je minimalna raven spremljanja oziroma vzdrževanja ključna za varnost in zmanjšanje tveganja za požar.

Upoštevanje **minimalnega nabora zahtev za vzdrževanje** je tudi sestavni del ciljev sistema za ugotavljanje skladnosti IECRE*, ki je namenjen spodbujanju licenciranja in certificiranja fotonapetostnih sistemov in naprav od faze načrtovanja do obratovanja.

Zahteve iz [6] se uporabljajo skupaj z zahtevami iz [4] in [5] in dopolnjujejo ali spreminjajo določbe iz [4] in [5]. Uporabljajo se vsa poglavja **od 1 do 9** iz [4] in [5], vključno z ustreznimi prilogami. Kadar [6] vsebuje določbe, ki dopolnjujejo, spreminjajo ali nadomeščajo določbe v [4] in [5], je treba uporabiti ustrezno besedilo v [4] in [5] z zahtevanimi spremembami.

Ključne razlike med obema standardoma so podane v Preglednici 1.

Preglednica 1: Ključne razlike med SIST EN 62446-1 in SIST EN IEC 62446-2

Kriterij	SIST EN 62446-1	SIST EN IEC 62446-2
1. Obseg in namen	Osredotoča se na zahteve za dokumentacijo in preverjanje delovanja fotonapetostnih sistemov ob priključitvi na električno omrežje; ukvarja se s prvim delom življenjskega cikla.	Širi obseg na celotno življenjsko dobo PV-sistemov, vključuje vzdrževanje in dolgotrajno učinkovitost; poudarja pomen rednega vzdrževanja in dokumentacije skozi čas.
2. Dokumentacija	Osredotoča se na dokumentacijo, ki mora biti na voljo ob začetku obratovanja sistema, kot so načrti in specifikacije, poročila o preverjanju, navodila za obratovanje, postopki v izrednih razmerah, garancijska dokumentacija, dokumentacija izvedenih del …	Zahteva obsežnejšo dokumentacijo, ki vključuje zapise o rednih pregledih, preskusih in morebitnih vzdrževalnih delih ter informacije za končno demontažo.
3. Preverjanje in testiranje	Postavlja osnovne zahteve za preverjanje sistema pred predajo v obratovanje, brez podrobnih smernic za daljnosežno spremljanje.	Določa sistematične postopke za redna testiranja in preglede, da zagotovi skladnost z varnostnimi in kakovostnimi standardi skozi celotno obdobje delovanja.
4. Vzdrževanje	Vzdrževanje ni posebej obravnavano; osredotoča se na začetno namestitev in preskuse.	Določa konkretne smernice za redno vzdrževanje, vključno s preprečevalnim in popravljalnim vzdrževanjem za podaljšanje življenjske dobe sistema.
5. Varnostne zahteve	Osredotoča se na osnovne varnostne zahteve, kot je npr. zaščita pred električnim udarom.	Razširja varnostne zahteve, vključuje zaščitne ukrepe pred požarom in vremenskimi vplivi ter zahteva redno preverjanje teh ukrepov.
6. Usposabljanje in usposobljenost osebja	Razen za preverjanja ne vključuje posebnih zahtev po usposabljanju za osebje, predvideva, da morajo biti izvajalci ustrezno usposobljeni.	Poudarja pomen usposobljenosti osebja za izvajanje preskusov, vzdrževanja in dokumentacije ter določa smernice za usposabljanje osebja.

4.1 Postopki vzdrževanja

Opisani so različni **postopki vzdrževanja za PV-sisteme**, priključene na omrežje, ki **vključujejo**:

- *redno preverjanje*
  Potrebno je, da se ugotovi, ali je inštalacija in vsa oprema, ki jo sestavlja, še vedno v zadovoljivem stanju, ki vključuje preglede in vzdrževalne preskuse, povezane z varnostjo.
- *priporočeno redno vzdrževanje*
  Služi doseganju tehničnih lastnosti.
- *pogojno ali na stanju temelječe vzdrževanje*
  Je kot odziv na vprašanja ali težave, ugotovljene pri nadzoru, pregledih ali preskusih.
- *administrativne aktivnosti vzdrževanja*
  Te se zahtevajo s pogodbami in garancijami. Sem spada preprečevalno vzdrževanje, ki se običajno izvaja kot opis postopkov, ki se izvajajo periodično, da bi zagotovili ciljno življenjsko dobo sestavnih delov.
- *postopke popravljalnega vzdrževanja*
  Izvajajo se kot odziv na ugotovljene težave.
- *odpravljanje težav*
  To sovpada s splošnimi ukrepi, opisanimi v standardu, ter postopki, ki jih za posamezne sestavne dele opreme določi proizvajalec.

Namen teh postopkov je tudi, da:

- omogočajo diagnostične metode na daljavo za redno preverjanje, ugotavljanje težav in zgodnje odkrivanje napak;zagotavljajo, da služijo doseganju zahtev (vzdrževanje, dovoljeni nadomestni načini za prilagoditev inovacijam, specifične metode proizvajalca, zahteve strank …).

Osebje, ki opravlja preglede ali vzdrževanje električne opreme, mora biti usposobljeno za postopke in mora upoštevati splošne smernice, opisane v Dodatku E standarda.

4.1.1 Intervali in sprožilniki preverjanja

Na podlagi priporočil ali garancijskih zahtev proizvajalcev sestavnih delov in sistemskih integratorjev je treba načrtovati aktivnosti preprečevalnega vzdrževanja. Tako se ohranja oprema v vrhunskem stanju, hkrati pa se zmanjšajo izpadi z načrtovanjem vzdrževanja, po možnosti med urami, ko se ne proizvaja, ter se preprečijo daljši izpadi zaradi nenačrtovanih popravil. Pri večjih sistemih je priporočljivo, da se nadomestni deli za ključne komponente skladiščijo, da se skrajša odzivni čas. Odvisno od priporočil proizvajalca in želja lastnika/upravljavca lahko aktivnosti vključujejo čiščenje/zamenjavo

Preglednica 3: Primer za razsmernik

Sestavni del/Naloga	Pog./ Toč.	TL	D	Osnova intervala
Razsmernik				
Vizualni znaki iz luči in prikazovalnikov razsmernika		X	X	Uporabno za preverjanje majhnih sistemov, vključno z nekvalificiranim osebjem ali za odpravljanje težav
Pregled zunanjosti ohišja razsmernika	11.4.1			Občasno ali v intervalih po navodilih proizvajalca razsmernika, pogosteje na lokacijah s korozivnim okoljem
Notranjost razsmernika (voda, prah, glodavci)	11.3.1	X	X	Občasno, razen na lokacijah, kjer so težave z glodavciali z močnim deževjem, visoko vlažnostjo, poplavami, izpostavljenostjo prahu ali kondenzacijo v povezovalnih kanalih
Notranjost razsmernika – oznake navora vijakov in sledi pregretja na priključnih sponkah	11.3.1	X	X	Za odpravljanje težav in/ali v intervalih po navodilih proizvajalca razsmernika, intervali so lahko pogostejši v prvih dveh letih
Redno vzdrževanje – po navodilih proizvajalca	13.4.1			Kot je določeno

filtrov razsmernika, zamenjavo plastičnih kabelskih vezic, ciklično preskušanje stikal, zamenjavo varovalk itd.

Redno preverjanje in vzdrževanje je treba izvajati v **časovnih razmikih** v celotni življenjski dobi naprave, ki se lahko precej razlikujejo glede na:

- vrsto sistema (elektrarna na tleh, komercialni, stanovanjski sistem itd.),
- možnosti daljinskega upravljanja,
- pogodbene zahteve ali garancije za izvedbo,
- priporočene prakse proizvajalca za vzdrževanje določenih sestavnih delov,
- posebne pogoje na mestu uporabe,- analizo stroškov in koristi.

Standard [6] ne določa intervalov preverjanja ali vzdrževanja glede na obsežen nabor dejavnikov, ki se razlikujejo glede na uporabo, lokacijo in obveznosti lastnika ali upravljavca. Vendar v **obsežni Preglednici 3** opredeljuje naloge preverjanja na ravni sistema in sestavnih delov ter vsebuje navodila za določanje intervalov preverjanja.

V Preglednici 3 so za module, polje, ohišja, odklopnike/ločilna stikala, ožičenje, elektroinštalacijski sistem, ozemljitve, montažni sistem, sledilnik, podstavek opreme, streho, vremenske/podatkovne dejavnike, čiščenje polja in drugo definirane naloge preverjanja in vzdrževanja, za posamezno nalogo pa podani ustrezna točka standarda in osnova za določitev intervala. V Stolpcih „TL“ in „D“ je označeno, ali so naloge preverjanja sprožene zaradi odkritih težav z doseganjem tehničnih lastnosti („TL“), kot je nizka izmerjena proizvodnja, ali posebnih dogodkov („D“), kot so napake ali okvare sestavnih delov.

4.1.2 Drugi vidiki za določanje posebnih intervalov preverjanja

Nekatera preverjanja lahko izvaja nekvalificirano osebje, kot so lastniki sistemov (in lastniki stavb), ki imajo stalen dostop do nadzornih sistemov ali lahko vidno prepoznajo težavo, ne da bi fizično posegali v sistem.

Intervale nalog je mogoče uskladiti ali prilagoditi tako, da sovpadajo z drugimi aktivnostmi, na primer če je usposobljeno osebje na kraju samem že prisotno zaradi drugih nalog odpravljanja težav ali pregledov.

Prisotnost ali stopnja zaščitnih naprav lahko vpliva na intervale preverjanja. Na primer sistemi z delujočimi **detektorji obloka** lahko zahtevajo **manj pregledov** spojev priključkov. Podobno sistemi, ki niso funkcionalno ozemljeni in jih stalno nadzoruje RCM v skladu z IEC 62020 ali IMD v skladu z IEC 61557-8, ne potrebujejo rednih periodičnih meritev izolacije.

4.2 Naloge preverjanja

Osebje mora uporabljati kontrolne sezname, da zagotovi, da so pregledi temeljiti in popolni. Pri zelo velikih sistemih se lahko preverjanja izvajajo na reprezentativnem vzorcu opreme. Če se pogoji na celotnem območju razlikujejo, mora vzorec vključevati podvzorce z različnih lokacij. Za nizkonapetostne električne inštalacije mora **preverjanje vključevati električne preskuse** v skladu z zahtevami **IEC 60364-6** (SIST HD).

4.2.1 Splošni vizualni pregled

1. Vsi sistemi

- Potrdi se, da so električna ohišja dostopna samo pooblaščenemu osebju, da so zavarovana pred odpiranjem z orodjem ali s ključavnicami in imajo oznake za omejen dostop;

- preveri se, ali na zunanji strani okrovov in podpornih konstrukcij ni korozije;
- preveri se čistoča na celotnem območju – ne sme biti nobenih odpadkov pod polji, v območju podstavka za opremo razsmernika ali drugje; pod polji ne sme biti skladiščenih predmetov. To lahko ovira pretok zraka in s tem povezano hlajenje opreme. Na razsmernikih ali v njihovi bližini se ne sme shranjevati vnetljivih predmetov, da bi kar najbolj zmanjšali nevarnost požara;- preveri se, ali so pod poljem znaki pretirane vegetacije ter aktivnosti živali ali škodljivcev;
- preveri se zanesljivost ukrepov za zaščito električnih vodov na kritičnih mestih sistema, kjer lahko okvara zaščite povzroči izpade;
- preveri se, ali obstajajo opozorilne table, vključno z zahtevami glede obloka ali osebne varovalne opreme za dostop do opreme in upošteva se opozorilne table. Dokumentira se vse manjkajoče, zbledele ali kako drugače neuporabne oznake.

Posebej so opisane zahteve za preverjanja za opremo:
1. Fotonapetostni sistemi na strehah
2. Fotonapetostni sistemi na tleh

4.2.2 Pregled in varnostno vzdrževanje komponent

1. Razsmernik in glavna električna oprema
2. Kombinirane omarice, ločilna mesta in izolatorji
3. Moduli
4. Fotonapetostni konektorji
5. Ožičenje
6. Montažni sistem
7. Elektroinstalacijke cevi in kabelske police
8. Vremenska postaja

4.2.3 Tehnične lastnosti in vzdrževanje

Vzdrževanje za zagotavljanje tehničnih lastnosti vključuje posebne postopke preskušanja ali vzdrževanja, ki se uporabljajo za zagotovitev, da sistem proizvaja **največjo možno energijo** glede na njegovo zasnovo, namestitev, pogoje, lokacijo in starost.

Preverjanja so naslednja:
1. Omska upornost spojev
2. Ovrednotenje osenčenja
3. Preverjanje niza in ožičenja kabelskih sklopov
4. Nadzor vegetacije
5. Čiščenje umazanije fotonapetostnih polj

4.3 Odpravljanje težav in popravilo napak

Pri okvarah v PV-sistemu se običajno nakazuje vzrok ali izvor okvare. Če je znak težave znan, ne pa tudi osnovni vzrok, je treba sprejeti ukrepe za odpravljanje težav in ugotoviti težavo. Ko je to uresničeno, se lahko izvedejo postopki popravljalnega vzdrževanja, da se ublaži težavo ali okvaro in se prepreči ponovni pojav. Upošteva se ustrezni postopek za ublažitev iz standarda ali uporabniških priročnikov za posamezne komponente.

Popravljalno vzdrževanje se lahko izvaja med rednimi načrtovanimi vzdrževalnimi pregledi ali, odvisno od pomembnosti, kot nenačrtovan postopek. Okvare, povezane z varnostjo, lahko predstavljajo trajno ali kritično nevarnost in zahtevajo takojšen odziv. Časi popravil za delovanje ali nekritične težave (brez nevarnosti ali zmanjšanja varnosti) so pogojeni z zahtevami lastnika, pogodbenimi zahtevami itd. in jih lahko v veliki meri določajo analize stroškov in koristi, kot so tiste, ki se priporočajo za čiščenje PV-polj.

Odpravljanje težav in popravilo napak zajema naslednje ukrepe:
1. Izklop opreme kot odziv na nevarne okvare
2. Odpravljanje težav pri nenevarnih okvarah
3. Odpravljanje težav, ki so posledica incidentov ali sproženih dogodkov
4. Odkrivanje težav za doseganje tehničnih lastnosti

4.4 Dodatni postopki

1. Varnostni postopki

Osnovne varnostne zahteve, vidiki in koristni sklici, ki se nanašajo na lokalne predpise, so podani v prilogi E standarda, posebej pa so podane zahteve za varno delovanje ločilnih stikal.

1. Postopki električnega ločevanja
- Izklop v sili
- Načrtovani izklop

2. Pregled in preprečevalno vzdrževanje
- Posebni postopki proizvajalca razsmernika
- Posebni postopki proizvajalca sledilnika
- Posebni postopki za sistem zajemanja podatkov

3. Postopki električnega preskušanja
- Preskušanje zemeljskih stikov
- Preskusi varovalk
- Preskusi obvodnih diod

4. Diagnostični postopki
- Preverjanje sistemov za zajem podatkov (DAS)
- Diagnostika razsmernikov

Dodatek E (normativni) zajema varnostne vidike

E.1 Usposobljene osebe
E.2 Splošni varnostni vidiki
E.3 Osebna zaščitna oprema
E.4 Postopki električnega ločevanja
E.5 Izključitev/označitev
E.6 Posebni znaki in označevanje v PV-sistemih

Preglednica 2 – Najpogostejše sporočene napake razsmernika [6]

Napaka razsmernika	Ukrep
Podnapetost enosmernega toka	Koraki za diagnosticiranje slabo delujočih sistemov
Prenapetost enosmernega toka	Preskus napetosti niza VDC
Zemeljski stik zaradi enosmernega toka	Postopek odkrivanja zemeljskega stika
Napaka krmiljenja	Preverite povezave. Obrnite se na proizvajalca.
Podnapetost izmeničnega toka	Prepričajte se, da so vsi odklopniki vklopljeni (zaprti) Preverite izmenično napetost z voltmetrom, če je v območju, izvedite ročni ponovni zagon, če ni v območju, se obrnite na dobavitelja električne energije.
Nadnapetost izmeničnega toka	Preverite izmenično napetost z voltmetrom, če je v območju, izvedite ročni ponovni zagon, če je zunaj območja, se obrnite na dobavitelja električne energije.
Nizka moč	Sistem se verjetno izklopi zaradi pomanjkanja sonca; če je sončno, izvedite korake za diagnosticiranje slabo delujočih sistemov.
Previsoka temperatura – ventilator ne deluje	Preverite napajanje ventilatorja – če je dobro, zamenjajte ventilator, če je slabo, zamenjajte napajalnik.
Previsoka temperatura – ventilator deluje	Preverite, ali so odčitki senzorjev ustrezni – če so slabi, zamenjajte senzor, če so dobri, preverite dovodne in izpušne filtre, če so prekomerno zaprašeni, jih po potrebi očistite ali zamenjajte.

Dodatek F (informativni) obravnava primer načrta preprečevalnega vzdrževanja

V tem dodatku je opisan **primer načrta preprečevalnega vzdrževanja** na reprezentativni fotonapetostni elektrarni z uporabo modela iz Preglednice 3 iz poglavja 10 [6], ki prikaže vidike, ki vodijo razvoj premišljenega programa vzdrževanja, s poudarkom na specifičnosti lokacije in sistema.

Primer je dejansko reprezentativen in odstopa v več vidikih, da bi ponazoril, kako se lahko nekatere nenavadne okoliščine izkažejo na nekem fotonapetostnem sistemu, in je podan v obsežni Preglednici F.1 [6].

Dodatek G (informativni) obravnava obratovanje fotonapetostnega sistema

Ta standard ne obravnava tehničnih in poslovno operativnih ter upravljavskih postopkov in protokolov, ki so potrebni za celovito obravnavo obratovanja fotonapetostnih elektrarn ali parkov elektrarn, opiše in opredeli pa funkcije obratovanja fotonapetostnega sistema:

a) *Administracijo*, ki zagotavlja učinkovito izvajanje in nadzor nad delovanjem in dejavnosti obratovanja in vzdrževanja, vključno z arhiviranjem načrtov, popisom opreme, priročnikov za lastnike in uporabo, garancij; vodenjem evidenc o delovanju in izvedenih ukrepih obratovanja in vzdrževanja; pripravo obsega dela in meril za izbiro izvajalcev storitev; sklepanjem pogodb z dobavitelji in izvajalci storitev; pripravo proračuna in zagotavljanjem financiranja ter načrtov za nepredvidene dogodke za aktivnosti obratovanja in vzdrževanja; odobritvijo dela in obdelavo računov. Po potrebi vključuje fizično varovanje v varovanje objekta ali ga zagotavlja ločeno.stracijo; ?*izvedbo aktivnosti* – določbe in navodila za izvajanje del ter zagotavljanje varnega in učinkovitega vzdrževanja;

b) *ocenjevanje* in stalno zagotavljanje zadostnega nadzora nad stanjem opreme;

c) *načrtovanje in vzdrževanje* znanja operaterjev, protokolov, dokumentacije in usposabljanja;*storitve,* ki se nanašajo na napovedovanje, omejevanje, ki ga povzroča omrežje, in obratovalne dejavnike zunaj sistema;*storitve*, ki niso povezane z dobavo energije (regulacija napetosti, korekcija faktorja moči itd.);

d) *sistem nadzora dela* – nadzor nad izvajanjem vzdrževanja na učinkovit in varen način;

e) *razvoj politike*, kot so delovne smernice preventivnega vzdrževanja in optimizacija korektivnega vzdrževanja ter podrobno načrtovanje, oblikovanje proračuna in utemeljitve stroškovne učinkovitosti;

f) *načrtovanje sistema* ali posodobitve delovanja, kot je preprogramiranje enoosnih sledilnih naprav.

Dodatki so v standardu napisani za praktično uporabo in jih je možno uporabiti v prilagojeni obliki za lastno fotonapetostno napravo, saj so dobro vodilo za pripravo in načrtovanje vzdrževanja in obratovanja.

4. Zaključki

V prispevku smo poskušali predstaviti bistvene zahteve regulative s področja fotonapetostnih sistemov, še posebej s poudarkom na preverjanjih in vzdrževanjih. Glede na to, da je v Sloveniji vsako leto zgrajenih vedno več fotonapetostnih sistemov, je še kako pomembno, da se zavedamo, da je za ustrezno obratovanje in vzdrževanje potrebno izvesti najprej ustrezen prevzem zgrajene FNE, ki zajema med drugim tudi vso ustrezno in s predpisi zahtevano dokumentacijo. Pri predaji naprave in med usposabljanjem se mora lastnik ali upravljalec FNE seznaniti z delovanjem FNE in njenih varnostnih elementov ter z zahtevami za njeno varno in učinkovito delovanje, pri tem mora od izvajalca ali projektanta dobiti tudi navodila za uporabo, obratovanje in vzdrževanje. Velja opozoriti, da s FNE lahko upravljajo samo tiste osebe, ki uspešno opravijo strokovno usposabljanje in preizkus znanja skladno s Pravilnikom o strokovnem usposabljanju in preizkusu znanja za upravljanje energetskih naprav. V prispevku smo želeli prikazati zahtevnost in sistematičnost faze preverjanj in dokumentiranja ob upoštevanju zahtev ter priporočil, ki so zapisana v standardih za FNE, saj tovrstni sistemi pred zagoni in med samim obratovanjem potrebujejo redna preverjanja in vzdrževanje skladno z veljavnimi predpisi in standardi, tudi s ciljem doseganja načrtovane letne proizvodnje električne energije. Predstavljene so zahteve glede pregledov in vzdrževanja fotonapetostnih sistemov z uporabo zahtev Pravilnika o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 140/21) in Tehnične smernice TSG-N-002:2021 Nizkonapetostne električne inštalacije, ki med drugim podaja tudi ključne zahteve slovenskega standarda SIST EN 64446-1:2016/A12018- Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje –1. del: Sistemi, priključeni na omrežje – Zahteve za dokumentacijo, katerega vsebina je ***žal*** premalo poznana in se v praksi premalo uporablja, kakor tudi napotki v zvezi z vzdrževanjem fotonapetostnih sistemov, ki jih opredeljuje prav tako slovenski standard SIST EN IEC 62446-2:2020 Fotonapetostni sistemi – Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje – 2. del: Sistemi, priključeni na omrežje – Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov.

Zahteve obeh standardov so navedene kot minimalni nabor zahtev ob prevzemu in med obratovanjem za zanesljivo in dolgotrajno varno ter donosno obratovanje, zagotavljanje požarne varnosti in ustrezno vzdrževanje fotonapetostnih sistemov, priključenih na omrežje.

LITERATURA:

[1] MOP: Pravilnik o zahtevah za nizkonapetostne električne inštalacije v stavbah (Uradni list RS, št. 140/21).

[2] MOP: Pravilnik o zaščiti stavb pred delovanjem strele (Uradni list RS, št. 140/21).

[3] MOP: Pravilnik o zaščiti nizkonapetostnih omrežij in pripadajočih transformatorskih postaj (Uradni list RS, št. 202/21).

[4] SIST: Slovenski standard SIST EN 62446-1:2016, Fotonapetostni sistemi - Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje - 1. del: Sistemi, priključeni na omrežje - Dokumentacija, prevzemni preskusi in nadzor,

[5] SIST: Slovenski standard SIST EN 62446-1:2016 /A1:2018, Fotonapetostni sistemi - Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje - 1. del: Sistemi, priključeni na omrežje - Dokumentacija, prevzemni preskusi in nadzor - Dopolnilo A1,

[6] SIST: Slovenski standard SIST EN IEC 62446-2:2020, Fotonapetostni sistemi - Zahteve za preskušanje, dokumentiranje in vzdrževanje - 2. del: Sistemi, priključeni na omrežje - Vzdrževanje fotonapetostnih sistemov

[7] Tehnična smernica TSG-N-002:2021 Nizkonapetostne električne inštalacije.

[8] Gradbeni zakon (Uradni list RS, št. 61/17 in 72/17- popr.)

[9] Gradbeni zakon (Uradni list RS, št. 199/21, 105/22 – ZZNŠPP in 133/23)

[10] Zakoni in predpisi, navedeni v tehnični smernici.

[11] Standardi, navedeni v tehnični smernici in omenjeni v prispevku.

ABSTRACT

INSPECTION AND MAINTENANCE OF PHOTOVOLTAIC GRID CONNECTED SYSTEMS ACCORDANCE WITH THE APPLICABLE REGULATIONS AND STANDARDS IN SLOVENIA

Every year, several photovoltaic systems are built in Slovenia, which require regular checks and maintenance in accordance with the applicable regulations and standards before commissioning and during operation. This article presents the requirements for inspection and maintenance of photovoltaic systems using the requirements of Technical Guideline TSG-N-002:2021 Low-voltage electrical installations, which specifies construction measures or solutions to meet the requirements of the Regulation on requirements for low-voltage electrical installations in buildings (Official Journal of the Republic of Slovenia, No. 140/21). It also provides the key requirements of the Slovenian standard SIST EN 64446-1:2016/A12018- Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 1: Grid connected systems - Documentation, commissioning tests and inspection, which is also quoted in its reference documents by the Technical Guideline TSG-N-002:2021, the content of which is under-recognised and hardly used in practice, especially for smaller photovoltaic power plants, which is specifically pointed out in the article with examples from practice.

In particular, maintenance and operation personnel are not sufficiently aware that there are also detailed requirements and guidance on the maintenance of photovoltaic systems, as defined in the Slovenian standard SIST EN IEC 62446-2:2020 Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems

The requirements of both standards are stated as a minimum set of requirements at the time of takeover and during operation for reliable and long-lasting safe operation, ensuring fire safety and proper maintenance of grid-connected photovoltaic systems in order to preserve the lifetime and the planned production, which is nowadays too much left to laymen-owners and untrained contractors of such projects, who are not sufficiently aware of the legal obligations.

Key words: maintenance of photovoltaic systems, inspection of photovoltaic systems, fire safety, SIST EN 64446-1, SIST EN IEC 64446-2:2020, TSG-N-002:2021 ...

DRUŠTVO VZDRŽEVALCEV SLOVENIJE
DVS

JAKŠA
MAGNETNI VENTILI
od 1965

- vrhunska kakovost izdelkov in storitev
- zelo kratki dobavni roki
- strokovno svetovanje pri izbiri
- izdelava po posebnih zahtevah
- širok proizvodni program
- celoten program na internetu



www.jaksa.si

SIQ CERTIFIKAT št. 006 ISO 9001

Jakša d.o.o., Šlandrova 8, 1231 Ljubljana
T (0)1 53 73 066, F (0)1 53 73 067, E info@jaksa.si

+ SEJEM KOMOT

Celjski sejem

Mednarodni industrijski sejem



KJER SE SREČAJO INDUSTRIJSKI VELIKANI!

Odkrijte inovacije, tehnologije, rešitve prihodnosti in vrhunske strokovnjake!

8.-11. APRIL 2025

EARLY BIRD VSTOPNICE

Celjski sejem

Mednarodni industrijski sejem
8. – 11. APRIL 2025

Dan vzdrževanja
50. obletnica Društva vzdrževalcev Slovenije

Dvorana Celjanka, 10. 4. 2025, od 9.30 do 14.00

Ura	Tema	Izvajalec
9.30 – 9.40	**Uvodna predstavitev načrtov DVS za prihodnje obdobje** (Presentation of DVS plans for the future)	**dr. Viktor Lovrenčić,** predsednik DVS
9.40 – 10.00	**Dobro opredeljeni procesi vzdrževanja, pogoj za uspešnost in učinkovitost** (Well-defined maintenance processes, a condition for success and efficiency)	**mag. Andrej Androjna**, QUANTUM Consulting
10.00 – 10.20	**Oblikovanje navodil za vzdrževanje po načelih obvladovanja premoženja ISO 55000** (Designing Maintenance Manuals Based on ISO 55000 Asset Management Principles)	**g. Janez Tomažin**, DIMAS d.o.o.
10.20 – 10.30	**Varno delo vzdrževalcev pri servisiranju električnih vozil** (Safe work of maintenance workers when servicing electric vehicles)	**dr. Viktor Lovrenčić,** C&G d.o.o. Ljubljana, **ga. Ana Lovrenčič**, C&G d.o.o. Ljubljana
10.30 – 10.40	**Ključni kazalniki uspešnosti in učinkovitosti (KPI) v vzdrževanju** (Key performance indicators (KPIs) in maintenance)	**dr. Damjan Maletič**, UM FOV
10.40 – 11.00	**Umetna inteligenca v vzdrževalnih procesih** (Artificial Intelligence in maintenance processes)	**g. Andrej Terkaj**, TASK d.o.o.
11.00 – 11.20	**UI v napovedovanju proizvodnje in prediktivnem vzdrževanju sončnih elektrarn** (UI in production forecasting and predictive maintenance for solar power plants)	**dr. Matjaž Eberlinc,** HSE d.o.o., **g. Igor Voršič,** HSE d.o.o., **g. Viktor Brajak**, Medius d.o.o.
11.20 – 11.50	**Odmor** (Break)	
11.50 – 12.50	**OKROGLA MIZA** **Pomen informacijske podpore v vzdrževanju** ROUND TABLE The Importance of Information Support in Maintenance	**g. Boštjan Malavašič**, Inden d.o.o. (voditelj) **g. Saša Ciglar**, Papirnica Vevče d.o.o., **mag. Jurij Cvikl**, Marcelino d.o.o., **g. Aljaž Gradišnik**, KOPA d.d., **g. Matej Kramar**, MM Količevo, d.o.o., **g. Marjan Polak**, Steklarna Hrastnik d.o.o., **g. Andrej Terkaj**, TASK d.o.o., **g. Igor Voršič**, HSE d.o.o.
12.50 – 13.10	**Metode tehnične diagnostike rotacijskih strojev** (Methods of technical diagnostics of rotating machines)	**g. Jovan Jovanović**, INSTRO d.o.o.
13.10 – 13.30	**Zahteve glede vzdrževanja in pregledov delovne opreme, dvigal, opreme pod tlakom in sistemov aktivne požarne zaščite** (Requirements for maintenance and inspections of work equipment, lifts, pressure equipment and active fire protection systems)	**mag. Ivan Božič**, ZVD Zavod za varstvo pri delu d.o.o.
13.30 – 13.45	**Zadostnost podatkovne podpore vzdrževanju in obvladovanju premoženja** (Adequacy of data support for maintenance and asset management)	**mag. Drago Bokal**, DVS, **dr. Jože Pihler**, DVS, **mag. Rado Ferlič**, ELES d.o.o.
13.45 – 14.00	**LOTO za varno vzdrževanje** (LOTO for safe maintenance)	**g. Jurij Žvab**, NEXUM d.o.o.

PRIMA
FILTERTEHNIKA

Vaša filtracija - naša skrb

Strokovnjaki za industrijsko filtracijo

FILTRIRAMO:

- Motorno in hidravlično olje
- Gorivo
- Zrak
- Različne tekočine in pline





Prima FILTRI

Donaldson. FILTRATION SOLUTIONS

FILTERMIST

TEKA

FILTREC Technical Filtration

OPTIMIZACIJA RAZPOLOŽLJIVOSTI

Pišejo: **Dr. Hasan Avdić**[1], **mag. Viktor Jemec**[2] in **Alma Avdić**[3]
1. Ekspert za upravljanje in vzdrževanje tehničnih sistemov, Banovići, BiH
2. Urednik revije Vzdrževalec, Društvo vzdrževalcev Slovenije
3. Direktorica poprodajnih storitev, AC Grand Auto d.o.o. Tuzla, BiH



OPTIMIZACIJA RAZPOLOŽLJIVOSTI Z UMETNO INTELIGENCO (UI)

V skladu s standardom SIST EN 13306 : 2018 »razpoložljivost predstavlja zmožnost predmeta/elementa, da je v določenih pogojih v stanju, ko lahko deluje, kakor in kadar se to od njega zahteva, ob predpostavki, da so na voljo potrebni zunanji viri«.

Ta zmožnost je odvisna od kombiniranih vidikov zanesljivosti, udobja vzdrževanja, vračila predmetov in podpore pri vzdrževanju. Zahtevani zunanji viri, razen virov za vzdrževanje, ne vplivajo na razpoložljivost izdelka, čeprav z vidika uporabnika morda ni na voljo. Razpoložljivost se lahko količinsko opredeli z ustreznimi ukrepi ali kazalniki, da lahko izrazimo učinek razpoložljivosti.

Umetna inteligenca (ang. Artificial Intelligence UI) se nanaša na razvoj računalniških sistemov, ki lahko opravljajo naloge, ki običajno zahtevajo človeško inteligenco, kot so vizualno zaznavanje, prepoznavanje govora, odločanje in razumevanje naravnega jezika. Umetna inteligenca je hitro razvijajoče se področje, ki ima potencial za preoblikovanje številnih industrij in vidikov vsakdanjega življenja.

Optimizacija razpoložljivosti z uporabo umetne inteligence se nanaša na izboljšanje sposobnosti sistema, opreme ali storitve, da deluje in je na voljo, ko je to potrebno. To vključuje zmanjšanje odpovedi, napovedovanje in hitro odpravljanje napak.

Namen prispevka je z uporabo študije primera prikazati možnost optimizacije razpoložljivosti z uporabo umetne inteligence.

Ključne besede: razpoložljivost, optimizacija, umetna inteligenca

1. Uvod

V današnjem svetu, kjer industrijska produktivnost in učinkovitost veljata za ključna dejavnika uspeha, je optimizacija razpoložljivosti visoko cenjene in kompleksne opreme nujna. Z uporabo naprednih tehnologij, kot je umetna inteligenca (UI), se odpirajo nove priložnosti za izboljšanje učinkovitosti, zmanjšanje stroškov in povečanje zanesljivosti delovnih strojev.

Članek se osredotoča na optimizacijo razpoložljivosti industrijskih bagerjev z uporabo umetnih nevronskih mrež, ki predstavljajo eno najnaprednejših orodij za analizo in napovedovanje operativne uspešnosti. Umetna inteligenca omogoča poglobljeno razumevanje različnih dejavnikov, ki vplivajo na razpoložljivost opreme, zagotavlja natančne napovedi in omogoča odločanje na osnovi informacij. Z analizo podatkov, zbranih med delovanjem, je mogoče identificirati optimalne intervale za vzdrževanje, zmanjšati odpovedi in s tem povečati zmogljivost opreme.

Namen prispevka je pokazati, kako lahko uporaba umetne inteligence izboljša procese vzdrževanja in optimizacije razpoložljivosti bagerja, s posebnim poudarkom na praktičnih primerih in rezultatih, doseženih z uporabo umetnih nevronskih mrež.

2. Teoretične raziskave

2.1. Koncept optimizacije razpoložljivosti

Razpoložljivost je verjetnost, da bo sistem lahko kadar koli pravilno deloval, tj. da bo začel delovati (če še ni deloval). Očitno obstajajo nekatere razlike v značaju „vključevanja v delo“, odvisno od tega, ali je bil sistem prej v uporabi ali v rezervi. Če je sistem v uporabi, je njegovo stanje znano in njegove vključenosti v delovanje ne spremlja negotovost. Če

je sistem na razpolago (v rezervi), je njegovo stanje načeloma neznano, zato obstaja negotovost, ali ga bo mogoče zagnati ali ne [1].

Razpoložljivost je s tehničnega vidika neposredno povezana z zmogljivostjo izkoriščenosti obrata, brez vzrokov za odpovedi splošne organizacijske narave ali zaradi politike podjetja. Razpoložljivost lahko izrazimo v dvojnem pomenu:

- kot dejstvo, ki se lahko po eni strani prikaže kot odstotek časa brezhibnega delovanja proizvodnega sistema za daljše časovno obdobje;
- po drugi strani pa jo lahko razlagamo kot verjetnost, da bo v nekem trenutku sistem (popravljiv) v stanju delovanja. Ta verjetnost je na splošno odvisna od časa, ki je začel teči v trenutku, ko je sistem »nov«; Izračun te funkcije je mogoč, čeprav je matematično zapleten [2,3,4].

Razpoložljivost je mogoče opredeliti na več načinov, odvisno od pristopa in ciljev analize. Na splošno je razmerje [1]:

$$RA(t) = \frac{t_r}{t} = \frac{t_r}{t_r + t_o} = \frac{\sum t_{ri}}{\sum t_{ri} + \sum t_{oi}}$$

kjer je:

RA(t) – funkcija razpoložljivosti, odvisna od časa t,
tr – čas „V DELU“ (kumulativno, od 0 do n, do časa t) (T_{ur}),
t_0 – čas „V ODPOVEDI“ zaradi vzdrževanja (kumulativno, od 0 do n, do časa t) (T_{uo}),
t – skupni čas opazovanja ($T_{ur} + T_{uo}$).

Ker sta čas „V DELU“ in „V ODPOVEDI“ kompleksni časovni kategoriji, se lahko opredelitev razpoložljivosti izrazi tudi na druge načine, v povezavi s posameznimi obdobji iz časovne slike stanja. Od več možnosti si koncepti notranje in dosežene razpoložljivosti zaslužijo pozornost.

Notranja razpoložljivost je opredeljena glede na čas aktivnega vzdrževanja t_{oa} (bodisi preventivno (t_{opa}) ali naknadno t_{ona} vzdrževanje), zato v tem primeru velja naslednje:

$$RA_u(t) = \frac{t_r}{t_r + t_{oa}}$$

Iz te opredelitve je razvidno, da notranja razpoložljivost kot značilnost vzdrževalnega sistema vključuje le tiste časovne intervale, ki so neposredno pogojeni s tehničnim sistemom, ki se analizira, razen elementov, ki so rezultat logistične podpore. To pomeni, da je notranja razpoložljivost značilnost vzdrževalnega sistema samega tehničnega sistema in je pogojena z njegovo zanesljivostjo, strukturnimi in drugimi značilnostmi.

Dosežena razpoložljivost ima širši pomen. V tem primeru analiza poleg časa aktivnega vzdrževanja vključuje tudi čakalno dobo ($t_{oč}$), najpogosteje pa le v zvezi z rezervnimi deli. Izražen je na naslednji način [1,5]:

$$RA_o(t) = \frac{t_r}{t_r + t_{oa} + t_{oč}}$$

V standardu EN 15341 sta v skupini ključnih kazalnikov tehničnega vzdrževanja opredeljeni dve stopnji (T1 in T2).

T1=

$$\frac{Skupni\ čas\ v\ delu}{Skupni\ čas\ v\ delu + čas\ zastoja\ zaradi\ vzdrževanja}\ x\ 100$$

To pomeni, da je T1 = RA = $\frac{T_{ur}}{T_{ur}+T_{oa}}\ x\ 100$

To pomeni RAZPOLOŽLJIVOST, povezano z vzdrževanjem.

T2

$$\frac{Čas\ V\ DELU}{Potrebni\ čas}\ x\ 100$$

To pomeni, da je T2 = RA = $\frac{T_{ur}}{T_p}\ x\ 100$

To je OPERATIVNA RAZPOLOŽLJIVOST [6].

Optimizacija je proces iskanja najboljše rešitve ali najučinkovitejšega načina za doseganje določenega cilja ali izpolnitev naloge. V bistvu to pomeni izboljšanje razpoložljivosti, zmanjšanje stroškov ali povečanje učinkovitosti.

Optimizacija razpoložljivosti se nanaša na izboljšanje sposobnosti sistema, opreme ali storitve, da deluje in je na voljo, ko je to potrebno. To vključuje zmanjšanje odpovedi, napovedovanje in hitro odpravljanje napak.

Optimizacija razpoložljivosti pomaga povečati učinkovitost in zanesljivost sistemov in virov, zaradi česar so dostopnejši in učinkovitejši za uporabnike.

Optimizacija razpoložljivosti je bistvenega pomena za industrijo iz več ključnih razlogov: **zmanjšanje odpovedi, povečanje učinkovitosti, izboljšanje kakovosti, zmanjšanje stroškov, zadovoljstvo strank in izboljšanje varnosti pri delu.** V bistvu optimizacija razpoložljivosti omogoča industrijam, da so bolj konkurenčne, produktivne in učinkovite, s čimer zagotavljajo trajnostno rast in razvoj. Iskanje optimalne vrednosti razpoložljivosti je zapleten proces, tako zaradi stohastične narave vzdrževalnega sistema kot zaradi odvisnosti programske opreme od velike količine in točnosti podatkov, ki se uporabljajo za optimizacijo razpoložljivosti.

2.2. Umetna inteligenca

Umetna inteligenca (ang. Artificial Intelligence – UI) se nanaša na razvoj računalniških sistemov, ki lahko opravljajo naloge, ki običajno zahtevajo človeško inteligenco, kot so vizualno zaznavanje, prepoznavanje govora, odločanje in razumevanje naravnega jezika. Umetna inteligenca je hitro razvijajoče se področje, ki ima potencial za preoblikovanje številnih industrij in vidikov vsakdanjega življenja.

Obstajajo različne vrste umetne inteligence, med njimi so sistemi, ki temeljijo na pravilih, strojno učenje, globoko učenje in obdelava naravnega jezika.

- **Sistemi, ki temeljijo na pravilih,** so računalniški programi, ki sledijo nizu vnaprej določenih pravil za reševanje težav.
- **Strojno učenje** vključuje usposabljanje računalniških programov za učenje iz podatkov, brez eksplicitnega programiranja. Algoritmi strojnega učenja lahko prepoznajo vzorce v podatkih in na podlagi teh vzorcev napovedujejo ali sprejemajo odločitve.
- **Globoko učenje** je vrsta strojnega učenja, ki vključuje uporabo nevronskih mrež – kompleksnih algoritmov, ki se lahko naučijo prepoznati vzorce v podatkih. Globoko učenje je bilo še posebej uspešno na področjih, kot so prepoznavanje slik in govora.
- **Obdelava naravnega jezika** vključuje učenje računalnikov za razumevanje in ustvarjanje človeškega jezika. Obdelava naravnega jezika se uporablja v aplikacijah, kot so chatboti, glasovni pomočniki in jezikovno prevajanje.

Umetno inteligenco je mogoče uporabiti na različnih področjih, vključno z zdravstvom, financami, prometom, rudarstvom, vzdrževanjem in zabavo. Vendar pa obstajajo tudi pomisleki glede vpliva umetne inteligence na zaposlovanje, zasebnost, varnost in še več.

V svoji najpreprostejši obliki je umetna inteligenca področje, ki združuje računalništvo in robustne nabore podatkov, da omogoča reševanje problemov. Zajema tudi podpodročja strojnega učenja in globokega učenja, ki se pogosto omenjata v povezavi z umetno inteligenco. Te discipline so sestavljene iz algoritmov umetne inteligence, ki si prizadevajo ustvariti strokovne sisteme, ki se napovedujejo ali razvrščajo na podlagi vhodnih podatkov.

2.2.1. Strojno učenje

Strojno učenje je oblika umetne inteligence, temelječe na algoritmih, ki se trenirajo na podatkih. Ti algoritmi lahko zaznajo vzorce in se naučijo, kako napovedati in pripraviti priporočila za obdelavo podatkov in izkušenj, namesto da bi prejemali izrecna navodila za programiranje. Algoritmi se prilagajajo tudi kot odziv na nove podatke in izkušnje, da bi sčasoma izboljšali svojo učinkovitost. Obseg in kompleksnost podatkov, ki se zdaj ustvarjajo, sta prevelika, da bi jih ljudje razumno računali, zato sta povečala potencial strojnega učenja in potrebo po njem. V letih od njegove široke uporabe, ki se je začela v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, je strojno učenje vplivalo na številne panoge, vključno z napredkom v analizi časovnih kart pri vzdrževanju in napovedovanju obnašanja tehničnih sistemov v prihodnosti.

2.2.2. Globoko učenje

Globoko učenje je vrsta strojnega učenja, ki lahko obdela širši nabor podatkovnih virov (na primer slike, poleg besedila), zahteva še manj človeškega posredovanja in lahko pogosto proizvede natančnejše rezultate kot tradicionalno strojno učenje. Globoko učenje uporablja nevronske mreže, te temeljijo na načinih, kako nevroni medsebojno delujejo v človekovih možganih – za vnos podatkov in njihovo obdelavo skozi več ponovitev, ki se učijo vse bolj zapletenih značilnosti podatkov. Nevronska mreža lahko nato sprejema odločitve o podatkih, se nauči, ali je določitev pravilna, in uporabi to, kar se je naučila, za sprejemanje odločitev o novih podatkih. Na primer ko se »nauči«, kako izgleda predmet, ga lahko prepozna na novi sliki.

Izraz *nevronska mreža* se prvotno nanaša na mrežo nevronov, ki so med seboj povezani s sinapsami. V povprečju so človekovi možgani sestavljeni iz $1{,}5.10^{10}$ nevronov različnih vrst, pri čemer vsak nevron sprejema signale skozi eno od 10^4 sinaps. Izraz „*umetna nevronska mreža*“ se nanaša na računalniško arhitekturo vzporedne prostorske povezave med preprostimi „nevronskimi“ procesorji. Ideja je prišla iz dejstva, da so ljudje boljši od računalnikov pri prepoznavanju vzorcev. Trajalo je milijone let, da so se možgani razvili v sedanjo arhitekturo, ko so postali najbolj popoln stroj za prepoznavanje slik in govora. Zato morajo obstajati nekatera računska načela, ki jih možgani uporabljajo za tako hitro „prepoznavanje vzorcev“ (“pattern recognition”). Dve osnovni podobnosti umetnih nevronskih mrež z možgani sta [7,8]:

- Mreža zbira znanje skozi učne procese,koeficienti teže, dodeljeni povezavam med nevroni (sinapsami), se uporabljajo za pomnjenje tega znanja.

Nekatere dobre lastnosti nevronskih mrež so:

- *nelinearnost*
  Nevron je v bistvu nelinearen, kar ima za posledico, da je nevronska mreža sama po sebi nelinearna.
- *posploševanje*
  Gre za sposobnost omrežja, da zagotovi logične izhode za vhode, ki se ne uporabljajo med učenjem.
- *prilagodljivost*
  Nevronska mreža, usposobljena za delovanje v določenem okolju, se lahko prekvalificira, da se prilagodi majhnim spremembam v delovnem stanju okolja.
- *dokazni odgovor*
  V kontekstu prepoznavanja vzorcev je nevronska mreža lahko zasnovana tako, da zagotavlja ne le informacije o tem, v kateri razred spada vzorec, temveč tudi informacije o zanesljivosti te odločitve.

Nevronska mreža se uči o svojem okolju s ponavljajočim se procesom prilagajanja svojih sinaptičnih uteži in pragov, imenovanih *pravilo učenja*. Obstajajo trije osnovni razredi učenja: nadzorovano učenje, okrepljeno učenje in nenadzorovano ali samoorganizirano učenje.

- *Nadzorovano učenje* je modifikacija sinaptičnih uteži nevronske mreže z uporabo niza označenih učnih vzorcev. Vsak vzorec tvori edinstven vhodni signal in ustrezen želeni odziv. Sinaptične uteži omrežja so spremenjene, da se zmanjša razlika med želenim in dejanskim odzivom omrežja.
- *Okrepljeno učenje* je „on-line" učenje o razmerju med vhodom in izhodom s postopkom poskusa povečanja skalarnega indeksa, imenovanega ojačevalni signal.
- *Nenadzorovano ali samoorganizirano učenje* je učenje, pri katerem ni možnosti spremljanja, tj. ni primerov funkcije, ki se jo mora omrežje naučiti.

Glede na način, kako so nevroni razporejeni v nevronski mreži, obstaja več struktur nevronskih mrež. S strukturo nevronske mreže so tesno povezana pravila, ki se uporabljajo za njihovo učenje. Za uporabo nevronskih mrež pri problemu prepoznavanja vzorcev se najpogosteje uporabljajo tri vrste nevronskih mrež: *večplastni perceptron, omrežja z radialno-baznimi funkcijami in samoorganizirajoči zemljevidi*.

Pri reševanju *problema prepoznavanja vzorcev* nevronska mreža najprej gre skozi učni proces, v katerem je omrežju predstavljen nabor vhodnih vzorcev skupaj z razredom, ki mu ta vzorec pripada. Omrežje se nato potrdi na vzorcih, ki pripadajo isti populaciji vzorcev, vendar med učnim procesom niso bili predstavljeni mreži. Klasifikacija vzorcev, opredeljenih na ta način, je problem nadzorovanega učenja. Opozoriti je treba, da ima nenadzorovano učenje tudi pomembno vlogo pri razvrščanju vzorcev, zlasti kadar ni apriornega znanja o kategorijah, v katere so vhodni vzorci razvrščeni. V tem primeru nenadzorovano učenje prevzame vlogo združevanja ("clustering"), preden so vzorci razvrščeni [7,8].

2.3. Uporaba umetne inteligence za optimizacijo razpoložljivosti

Uporaba umetne inteligence večinoma temelji na:

- **prediktivnem vzdrževanju**
  Algoritmi umetne inteligence, zlasti strojno učenje, lahko analizirajo podatke senzorjev in napovedujejo, kdaj bo oprema verjetno odpovedala. To omogoča načrtovano vzdrževanje, preden pride do okvare, kar zmanjša čas odpovedi.
- **analizi podatkov v realnem času**
  UI lahko spremlja in analizira ogromne količine podatkov v realnem času, prepoznava anomalije in morebitne težave, preden postanejo kritične.
- **optimizaciji virov**
  Umetna inteligenca lahko pomaga pri dodeljevanju virov (ljudi, opreme, materialov) na najučinkovitejši način, da se zagotovi stalna razpoložljivost.
- **avtomatiziranju odzivanja na incidente**
  Sistemi umetne inteligence se lahko samodejno odzovejo na določene incidente, kot je prehod na varnostne sisteme ali začetek postopkov obnovitve.

Izzivi uporabe umetne inteligence se nanašajo na:

- **kakovost podatkov**
  Algoritmi umetne inteligence so odvisni od kakovostnih podatkov. Slabi podatki lahko privedejo do napačnih napovedi.
- **stroške izvajanja**
  Izvajanje rešitev umetne inteligence je lahko drago, zlasti za manjša podjetja.
- **etična vprašanja**
  Avtomatizacija in spremljanje delavcev lahko povzročita etične dileme in odpor zaposlenih.

Z uporabo tehnologij umetne inteligence, kot so nevronske mreže in strojno učenje, je mogoče doseči znatne izboljšave razpoložljivosti in učinkovitosti strojev, kar lahko privede do zmanjšanja stroškov vzdrževanja in povečanja produktivnosti.

3.Eksperimentalne raziskave

Raziskava je bila izvedena v skladu z raziskovalnim načrtom v realnih pogojih na primeru bagerja Marion 201 v Rudnikih rjavega premoga „Banovići" d.d. v Banovićih.

V okviru raziskave so bile opravljene naslednje dejavnosti:

- dobro opredeljen tehnični sistem,
- opredeljena razpoložljivost – v okviru teoretičnega raziskovanja,
- predeljene meje,
- opravljena analiza razpoložljivosti bagrov,
- optimizirana razpoložljivost z uporabo umetnih nevronskih mrež z uporabo programske opreme Alyuda neuroIntelligence 2.1.

Bager MARION-201 M ima električni pogon in spada v skupino bagrov s cikličnim delovnim procesom, tj. enim delovnim elementom – žlico. Osnovni tehnični podatki za bager so: prostornina žlice 20,1 [m^3], nameščena moč 1610 [KW] teoretična zmogljivost 1100 [m^3/h]. Ta bager je sleden s tesno vezanim vedrom, ki se uporablja linearno za delo na visokih tleh.

Videz bagerja je prikazan na Sliki 1.



Slika 1: Videz bagerja Marion 201 M

Če se bager Marion 201 obravnava kot sistem, ki ima energijo, material in informacije na vhodu ter zmogljivost, učinkovitost in kakovost kot izhod, lahko ta sistem razdelimo na več podsistemov:

- energetski del,
- dvižni mehanizem,
- linearni potisni mehanizem,
- mehanizem za obračanje in
- mehanizem za transport.

Ti podsistemi so v serijski povezavi, kar pomeni, da je v primeru okvare katerega koli podsistema bagerja Marion 201 celoten sistem v stanju odpovedi.

Struktura sistema z ordinalno povezavo vozlišč je struktura, v kateri je izvajanje funkcije merila pogojeno z delovanjem v mejah dovoljenih odstopanj vseh vozlišč v sistemu.

Za namene te raziskave so bile določene naslednje omejitve:

- za tehnični sistem je bil izbran bager Marion 201,
- uporabljeni so bili podatki iz rudniških evidenc,za analizo razpoložljivosti so bili uporabljeni podatki o delovanju in izpadih bagerja (časovni podatki),
- zahtevane mesečne efektivne ure delovanja bagerja: 500 ur,
- čas predaje bagerja: 0,5 ure na izmeno ali 45 ur na mesec,
- optimizacija razpoložljivosti je bila izvedena na obstoječem sistemu vzdrževanja opreme v Rudnikih rjavega premoga „Banovići“ d.d. Banovići.

Opazovanja stanja bagrov so bila opravljena vsak dan v neprekinjenem obdobju 69 mesecev. Podatki o delovanju in izpadih bagerja Marion 201 M so bili vzeti iz rudniške dokumentacije. Na podlagi teh podatkov je bila narejena časovna slika stanja tega bagerja za opazovano obdobje.

Razpoložljivost bagerja je bila izračunana po formuli, ki je bila podana v teoretičnih raziskavah pod T1, pri čemer so bile upoštevane efektivne ure bagerja za čas obratovanja in ure odpovedi zaradi vzdrževanja.

Podatki o razpoložljivosti bagerja Marion 201 M so predstavljeni z diagramom (Slika 2) in histogramom (Slika 3).



Slika 2: Diagram razpoložljivosti bagerja Marion 201 M



Slika 3: Histogram razpoložljivosti bagerja Marion 201 M

Sliki 2 in 3 prikazujeta, da je bil bager Marion 201 M največje razpoložljivosti oktobra 2007 (88,1 %) in julija 2007 (85,8 %). Zaradi pomanjkanja delov za popravilo je bil bager izključen iz proizvodnega procesa oktobra in novembra 2008 ter junija in julija 2010.

Optimizacija razpoložljivosti se izvaja z uporabo umetne inteligence (UI), natančneje z uporabo nevronskih mrež.

Za opredelitev nevronske mreže kot načina načrtovanja in napovedovanja vrednosti razpoložljivosti bagerja Marion 201 so bili uporabljeni podatki iz obdobja od januarja 2005 do septembra 2010, skupaj 69 mesecev. Iz časovne slike razmer so bili izbrani naslednji elementi za optimizacijo razpoložljivosti bagrov:

- Tef – efektivne ure delovanja bagerja
- Da – čas aktivnega vzdrževanja
- Tč – čakalna doba za popravilo
- T1 – razpoložljivost

Časovna slika stanja za obdobje 12 mesecev
ZA BAGER : M 201 M

Mesec	Maksimalno mogoče opravljene ure	Planirane ure pravilnosti	Opravljene ure pravilnosti	Opravljene efektivne ure	Razpoložljivost (%) (Ure pravilnosti)	Razpoložljivost (%) (Efektivni sati)	ZASTOJI (h)																						
							Mazanje	Strojna popravila	Elektro popravila	Čakanje na strojno popravilo	Čakanje na elektro popravilo	Servis	Remonti	Zastoj tehnične narave	Rezerva	Zaradi vagona	Zaradi kamiona	Miniranje	Zaradi elektrike	Trasa	Kabli	Mehanizacija	Poppji	Odmor	Transport	Praznik	Primopredaja	Ostali zastoji	Skupna vsota
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Januar	744	500	599	499	80,51	67,07	49	32	1	52	3	8		145			23			8			4	40	1	24		100	245
Februar	672	400	474	405,5	70,54	60,34	42	35,5	4	106		10,5		198			12,5	2,5	10	2			14,5	26	1			68,5	266,5
Marec	744	500	306	258	41,13	34,68	22	116	10	280	8	2		438			4							19	1	24		48	486
April	720	500	602	478,5	83,61	66,46	48	23	14	3	9	21		118	4		68	2		2			2	39,5	6			123,5	241,5
Maj	744	250	543	357	72,98	47,98	47	80	1	63	3	7		201			100	11	9	4			1	32	5	24		186	387
Junij	720	450	596,5	364	82,85	50,56	49,5	14	27		21	12		123,5	13	5	126	11,5	16	3,5	5,5		6	41	5			232,5	356
Julij	744	450	666	472	89,52	63,44	33	15	6	15	1	8		78			53	10	13		5		44	54	15			194	272
August	744	450	485	370	65,19	49,73	36	98	9	104	4	8		259	25	1	31	9	8			3	36	2				115	374
September	720	450	554	385,5	76,94	53,54	49	34	28	24	16	15		166		121			3	2			2	39,5	1			168,5	334,5
Oktober	744	450	744	444	100	59,68	18	26	2			14					184	1	25	3	4		15	57	3	8		300	300
November	720	450	648	385	89,72	53,47	45	18	3			8		74	44		117		12	9	2		25	47	5			261	335
December	744	450	508	290,5	68,28	39,05	44	37	107		40	8		236	55	4	94	9		5			6	39,5	5			217,5	453,5
Vsota	8760	5300	6724	4709	76,75	53,76	482,5	528,5	212	647	105	121,5	0	2037	141	131	812,5	56	96	38,5	16,5	3	155,5	436,5	48	80	0	2015	4051

Slika 4: Časovna slika stanja bagerja Marion 201 M

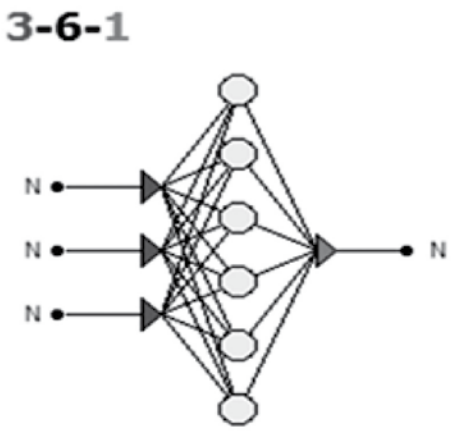
Časovnica stanja bagerja Marion 201 M za obdobje 12 mesecev je prikazana na Sliki 4. Časovna slika stanja za preostanek obdobja, ki je bilo predmet te raziskave, so v arhivih rudnika.

V prispevku je bila uporabljena programska oprema Alyuda NeuroIntelligence 2.2, napredna platforma za delo z nevronskimi mrežami, ki omogoča reševanje kompleksnih problemov na področju analize in modeliranja napovedi. Alyuda NeuroIntelligence 2.2 je znana po svoji enostavnosti uporabe in močni sposobnosti ustvarjanja in treniranja nevronskih mrež, zaradi česar je idealno orodje za analizo podatkov in napovedovanje operativne zmogljivosti [9].

Ta programska oprema omogoča uporabnikom, da razvijejo sofisticirane modele napovedi, najdejo vzorce v velikih podatkovnih nizih in natančno napovedujejo na podlagi eksperimentalnih podatkov. V tem članek analiziramo z uporabo Alyuda NeuroIntelligence 2.2 čas delovanja in odpovedi bagerja Marion 201 z namenom optimizacije razpoložljivosti s pomočjo umetne inteligence.

Programska oprema sama samodejno izbere podatke za usposabljanje, testiranje in potrjevanje. Ko so določeni vsi potrebni vhodni parametri, programska oprema samodejno zagotavlja prvih pet omrežij v skladu z želenimi merili. Glede na merilo, ki se uporablja pri ocenjevanju veljavnosti omrežja, je želeno omrežje izpostavljeno za nadaljnjo uporabo. Za bager Marion 201 M je bila izbrana strukturna mreža 3-6-1, katere videz je prikazan na Sliki 5, osnovni parametri pa so prikazani na Sliki 6.

Slika 7 prikazuje porazdelitev napak izbranega omrežja, medtem ko je porazdelitev utežnih koeficientov prikazana na sliki 8.



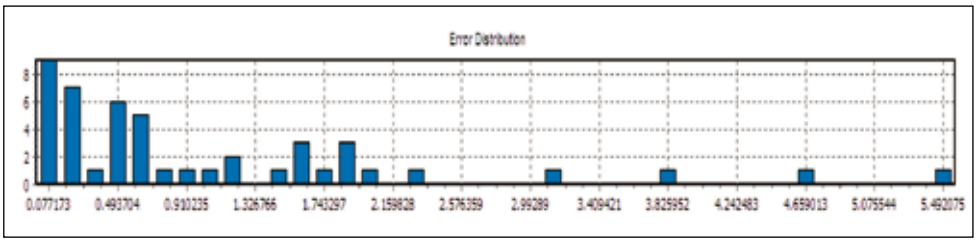
Slika 5: Postavitev izbrane nevronske mreže za bager Marion 201 M

Parameters		
	Training	Validation
Absolute error:	1.059029	1.537434
Network error:	0.000314	0
Error improvement:	6.81E-07	
Iteration:	501	
Training speed, iter/sec:	1252.499981	
Architecture:	[3-6-1]	
Training algorithm:	Quick Propagation	
Training stop reason:	All iterations done	

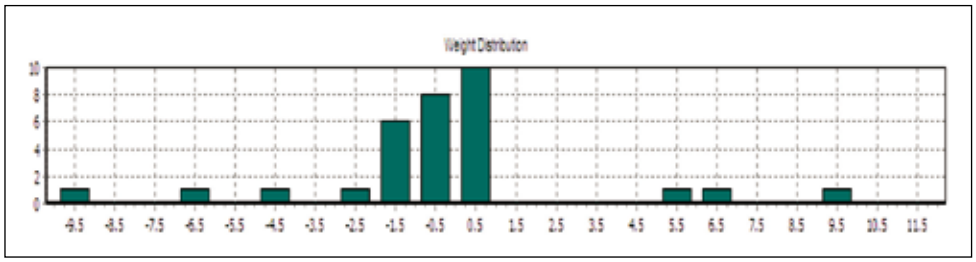
Summary				
	Target	Output	AE	ARE
Mean:	65.050842	65.136088	1.146931	298507462.706036
Std Dev:	19.946855	18.922728	1.433981	1701754365.81619
Min:	0	5.561497	0.007752	0.000132
Max:	88.095238	83.398733	6.574103	10000000000

Correlation: 0.996932
R-squared: 0.990584

Slika 6: Parametri izbrane nevronske mreže



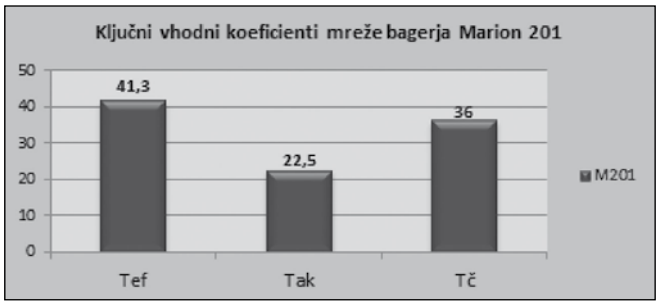
Slika 7: Porazdelitev napak izbranega omrežja



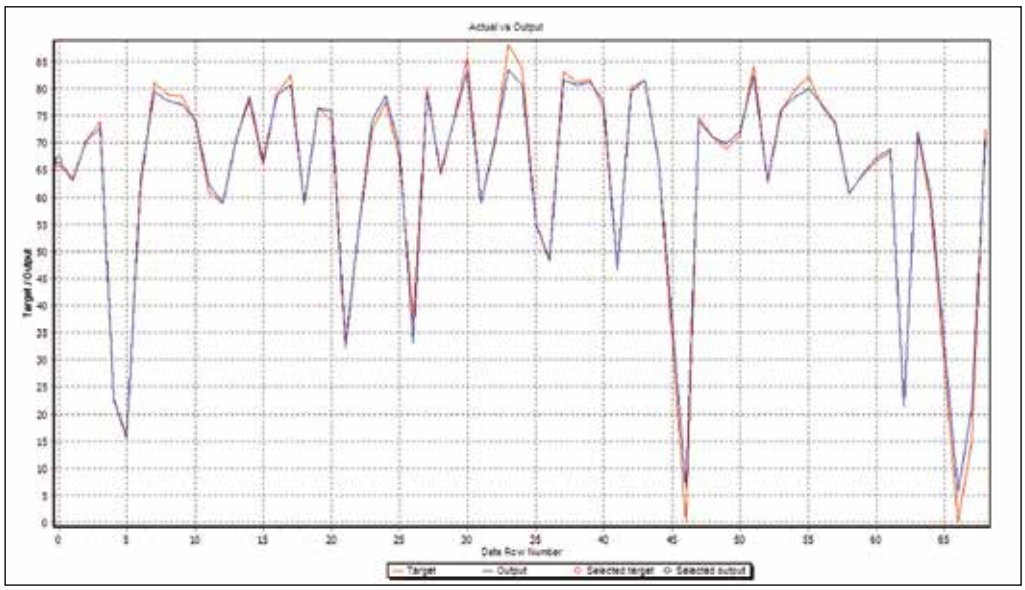
Slika 8: Porazdelitev utežnih koeficientov izbranega omrežja

Po opravljeni obdelavi podatkov v izbrani nevronski mreži je bil pridobljen diagram, ki prikazuje dejanske podatke in podatke, pridobljene iz naučene mreže, kar je prikazano na Sliki 9.

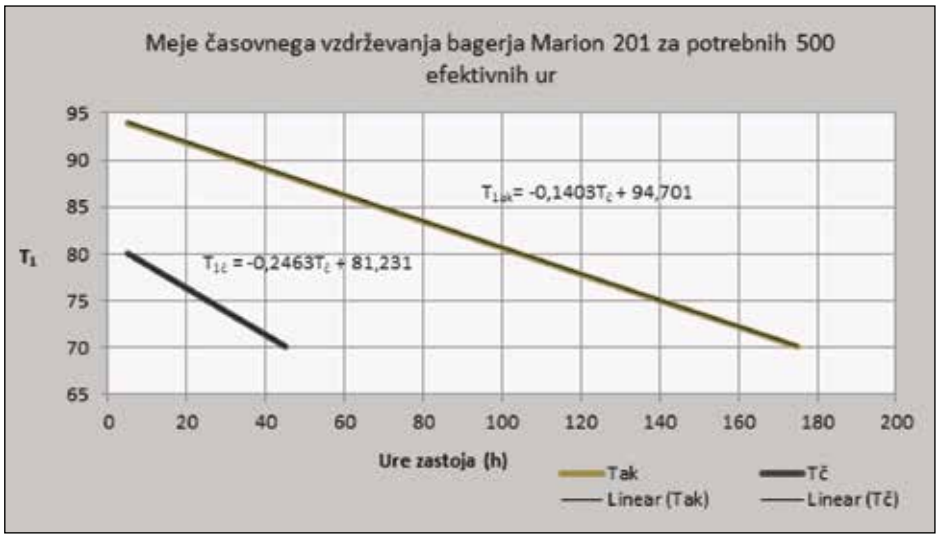
V izbrani nevronski mreži s podatki za 69 mesecev opazovanja je bila pridobljena odstotna pomembnost vhodnih parametrov, kar je prikazano na Sliki 10. Slika kaže, da je največji vpliv na učinkovito delovanje bagerja, in sicer 41,3 %, najmanjši vpliv pa na čas aktivnega vzdrževanja, in sicer 22,5 %.



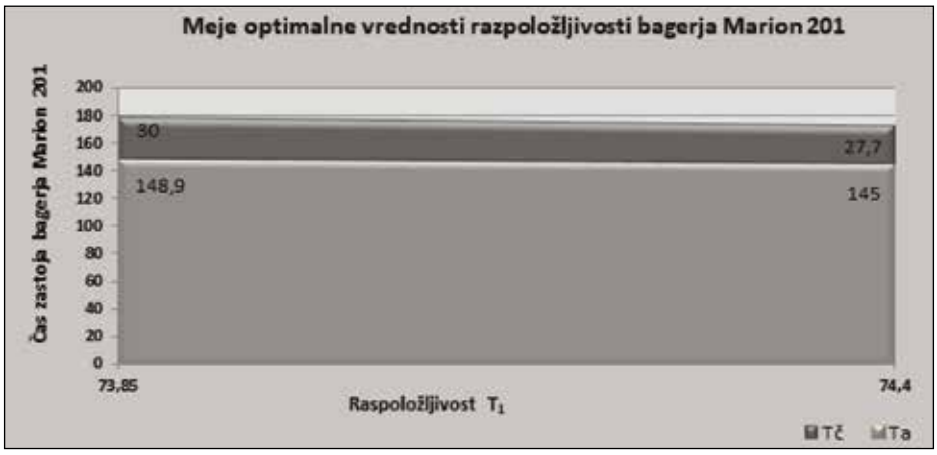
Slika 10: Pomembnost vhodnih koeficientov (%)



Slika 9: Realni podatki in podatki, pridobljeni iz naučenega omrežja



Slika 11: Odvisnost časa vzdrževanja in razpoložljivosti



Slika 12. Omejitve odpovedi za optimalno razpoložljivost

Iz naučenega omrežja je bil pridobljen diagram odvisnosti razpoložljivosti in odpovedi, ki je prikazan na Sliki 11. Za sprejete omejitve in zahtevanih 500 efektivnih ur delovanja bagerja so bile pridobljene optimalne meje razpoložljivosti, ki so prikazane v Tabeli 1.

Tabela 1: Meje optimalne vrednosti razpoložljivosti

Vrednosti razpoložljivosti T1	Tak	Tč
73,85	149	30
74,4	145	27,7

Slika 12 grafično prikazuje vrednosti odpovedi za dobljene optimalne omejitve razpoložljivosti. Za spodnjo mejo razpoložljivosti, ki znaša 73,85 %, je razvidno, da mora biti čas aktivnega vzdrževanja bagerja 148,9 ure, čakalna doba za vzdrževanje pa 30 ur. Za zgornjo mejo razpoložljivosti, ki je 74,4 %, mora biti čas aktivnega vzdrževanja bagerja Marion 201 145 ur, čakalna doba za vzdrževanje pa 27,7 ure.

4. Sklep

Čas, porabljen za odpovedi zaradi vzdrževanja tako drage in visoko produktivne opreme, povzroča ogromne stroške, tako neposredne kot posredne. Zavedajoč se tega dejstva, je treba uporabiti vse razpoložljive človeške in materialne zmogljivosti, da bi našli optimum med zahtevanim delovanjem bagerja in potrebnim časom za vzdrževanje. V prispevku je predstavljen eden od načinov uporabe umetne inteligence v obliki umetnih nevronskih mrež kot orodja za napovedovanje razpoložljivosti vrednosti, neprekinjenega delovanja in odpovedi zaradi vzdrževanja, vse s ciljem iskanja optimalne vrednosti razpoložljivosti za bager Marion 201.

Ta članek predstavlja, kako je mogoče uporabiti umetne nevronske mreže za napovedovanje razpoložljivosti bagerja, časa delovanja in časa vzdrževanja, vendar je potrebno veliko več podatkov za zmanjšanje napak v omrežju in povečanje natančnosti napovedovanja z novimi podatki, ki niso bili uporabljeni. Ena od rešitev bi bila uporaba podatkov, ki se hranijo vsak dan, kar bi na koncu dalo veliko število iteracij, s čimer bi se zmanjšalo število ponovitev in rezultat bi bil veliko boljši.

LITERATURA:

[1] Avdić H., Tufekčić Dž.: Terotehnologija I, Univerzitet u Tuzli, Tuzla , BiH, 2007.
[2] Avdić H., Tufekčić Dž.: Prilog analizi raspoloživosti složenih tehničkih sistema, Zbornik radova – ODRŽAVANJE 2007, (143 – 150), 13. Međunarodno savjetovanje HDO, ODRŽAVANJE 2007, 15. – 17. maja, Šibenik 2007, Hrvatska.,
[3] Avdić H., Demirović A.: Prilog analizi utjecaja raspoloživosti na produktivnost tehničkih sistema u RMU Banovići, Zbornik radova – ODRŽAVANJE 2009, (115 – 120), 15. Međunarodno savjetovanje HDO, Održavanje 2009, 08.-10. juna, Opatija 2009, Hrvatska.,
[4] Belak S.: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment, Šibenik, 2005.,
[5] Todorović J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, Institut za istraživanje i projektovanje u privredi, Beograd, Srbija, 2006.
[6] Avdic H., Jemec V., Avdić A.: Razpoložljivost kot ključni kazalnik učinka vzdrževanja, Revija Društva vzdrževalcev Slovenije –VZDRŽEVALEC, številka 201 - 202, julij – december (18 - 26), Ljubljana, 2022.
[7] Avdic H., Jemec V., Avdić A.: Umetna inteligenca in vzdrževanje, Revija Društva vzdrževalcev Slovenije – VZDRŽEVALEC, številka 207 - 208, januar -junij (17 - 28), Ljubljana, 2024.
[8] Avdic H., Jemec V., Avdić A.: Uporaba umetne inteligence pri vzdrževanju v rudarstvu, Revija Društva vzdrževalcev Slovenije –VZDRŽEVALEC, številka 209 - 210, avgust - decembar (33 - 46), Ljubljana, 2024.
[9] Pouland M. E., Naylor D., Fung A. S.: Prediction of local heat transfer in a vertical cavity using artificial neural neztwurk, The 6th IBPSA Canada Conference La 6e conférence d'IBPSA – Canada Winnipeg, May 19 – 20 (193-200), Department of Mechanical & Industrial Engineering Ryerson University, Toronto, 2010.
[10] Negnevitsky M.: Artificial Intelligence – A Guide to Intelligent Systems, Second Edition 2025, Addison Wesley.
[11] Kumar G. P., Venkataram P.: Artificial intelligence approaches to network management: recent advances and a survey, Computer Communications 20 (1997) 1313- I322, Department of Electrical Communication Engineering, Indian Institute of Science, Bangalore 560012 1997, India.
[12] Garcija A.: Artificial Intelligence System Optimisation: Improving Performance and Efficiency, Global Journal of Technology and Optimization Volume 14:2, 2023, Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University, Incheon 2023, Republic of Korea.
[13] Lin, C., Jiang, X., Yin, H. et al.: Optimizing availability and QoS of heterogeneous distributed system based on residual lifetime in uncertain environment. The Journal of Supercomputing, An International Journal of High-Performance Computer Design, Analysis, and Use 48, 243–263 (2009). https://doi.org/10.1007/s11227-008-0217-x
[14] EN 13306:2017 - Maintenance — Maintenance terminology
[15] EN 15341:2007 - Maintenance — Maintenance Key Performance Indicators
[16] EN 15341:2019 - Maintenance — Maintenance Key Performance Indicators
[17] EN 17007 - 2017 - Maintenance process and associated indicators
[18] GLOME – Global Metricators – Measuring Maintenance and Reilability Performance Internationally, 1st Edition, Publication: European Federation of National Maintenance Societies vzw.
[19] SMRP 2020 - Society for Maintenance and Reliability Professionals.
[20] https://www.perplexity.ai/
[21] https://copilot.microsoft.com
[22] https://www.alyuda.com
[23] http://verify.wiki › wiki › Alyuda

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF AVAILABILITY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE (UI)

According to the EN 13306 – 2017 standard, „availability is the ability of equipment to be able to operate as and when required, under given conditions, assuming that the necessary external resources are provided". This ability depends on the combined aspects of reliability, maintainability, item recovery and maintenance support. The required external resources, except for maintenance resources, do not affect the availability of an item, although the item may not be available from the user's point of view. Availability can be quantified using appropriate measures or indicators and is then called availability performance.

Artificial Intelligence (UI) refers to the development of computer systems that can perform tasks that usually require human intelligence, such as visual perception, speech recognition, decision-making and natural language understanding. Artificial intelligence is a rapidly developing field that has the potential to transform many industries and aspects of everyday life.

Availability optimization with the application of artificial intelligence refers to improving the ability of a system, equipment or service to be operational and available when needed. This includes reducing downtime, predicting and quickly fixing failures.

The aim of this paper is to demonstrate the possibility of optimizing availability using artificial intelligence through a case study.

Keywords: Availability, Optimization, Artificial intelligence

NEVARNOST ELEKTROSTATIKE

Piše: **mag. Ivan Božič**, univ. dipl. inž. el., ZVD Zavod za varstvo pri delu d. o. o.



NEVARNOST ELEKTROSTATIKE V EKSPLOZIJSKO OGROŽENIH PROSTORIH

Elektrostatične naelektritve nastanejo na več načinov in so na mnogih področjih v glavnem moteč in nezaželen, v eksplozijsko ogroženih prostorih pa lahko tudi zelo nevaren pojav. S stališča protieksplozijske zaščite so nevarne predvsem hitre razelektritve, saj sproščena energija lahko presega najmanjšo vžigno energijo eksplozivnih zmesi.

Ukrepi za odpravo in omejitve nevarnosti in posledičnih tveganj zaradi elektrostatičnih naelektritev na povsem nenevarno stopnjo so velikokrat iz praktičnih in ekonomskih razlogov nesprejemljivi. Če se dopuščajo procesi z elektrostatičnimi naelektritvami, ki so potencialno nevarne, je treba ob tem dosledno izvajati vse potrebne zaščitne ukrepe, ki preprečujejo nevarne razelektritve.

Ključne besede: elektrostatika, naelektritev, razelektritev, ozemljitev, protieksplozijska zaščita

1. Uvod

Elektrostatični pojavi so povezani z izolatorji in električno izoliranimi prevodniki. Izraza »izolator, izoliran« se nanašata na naboj, ki je v izolatorjih težko gibljiv oziroma statičen. V izoliranem prevodniku se še vedno lahko hitro giblje, vendar je v njem ujet.

Pod določenimi pogoji se tudi v makroskopskem svetu pojavijo materiali oziroma predmeti, ki navzven niso nevtralni, ker ni več ravnovesja med obema vrstama naboja. Do tega navadno pride, ko relativno majhen delež elektronov steče iz enega na drug predmet. Predmet s primanjkljajem negativnega naboja postane pozitivno naelektren, nasprotno je predmet z viškom elektronov negativno nabit. Med predmetoma nastane elektrostatično polje. Ob procesu naelektritve se v sistemu nakopiči elektrostatična energija, ki se ob razelektritvi sprosti. Sproščena energija lahko presega najmanjšo vžigno energijo eksplozivnih zmesi. Če z raznimi ukrepi naelektritve ne moremo povsem preprečiti, moramo vsaj doseči pogoje, v katerih razelektritev ne more vžgati eksplozivnih zmesi.

Elektrostatika je tudi na drugih področjih v glavnem moteč in nezaželen, včasih tudi nevaren pojav, na primer:

1. šoki oseb ob neprijetnih in nepričakovanih razelektritvah, ki so navadno le posredno lahko tudi nevarni,
2. nezaželeno nabiranje prahu in nečistoč v nekaterih tehnoloških postopkih,
3. lepljenje tankih plasti (filmov) raznih neprevodnih materialov, moteče zlasti pri postopkih pakiranja,
4. poškodbe in uničenje polprevodniških komponent in
5. nepravilno delovanje mikroprocesorskih sistemov.

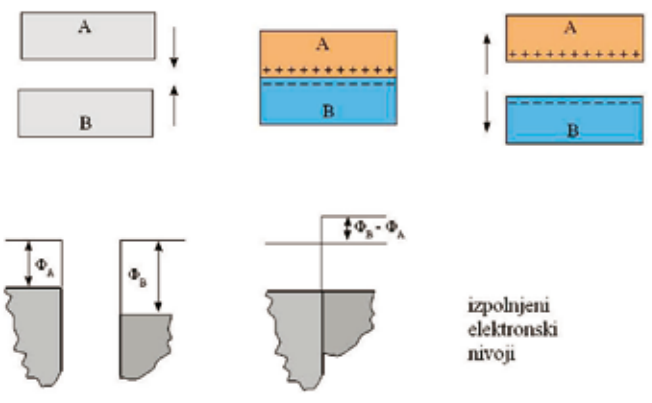
V nekaterih primerih pa se pojav tudi koristno uporablja v tehnoloških postopkih – predvsem v zvezi z nanašanjem in transportom delcev na površine: nanašanje barv, fotokopiranje, razvrščanje …

2. Procesi naelektritev

Elektrostatične naelektritve lahko nastanejo na več načinov: z ločevanjem staknjenih in drgnjenjem predmetov iz različnih materialov, z vplivom zunanjega elektrostatičnega polja (influenca) ter tudi z neposrednim dovajanjem električnega naboja na predmete – na primer ionov iz zraka.

2.1 Ločevanje materialov

Kontakt dveh površin predmetov iz različnih snovi oziroma materialov povzroči pretok ustreznega števila elektronov z ene na drugo površino. S pretakanjem se izenačijo različni energijski nivoji atomov, ki mejijo na točke kontakta (Slika 1).



Slika 1: Razmere pred in med stikanjem ter po stikanju izolatorjev

Statična naelektritev se pojavi, ko se dve površini, ki sta v kontaktu, ločita in je površinska hitrost premikanja naboja na eni izmed površin majhna – vsaj en material je izolator. Če bi se naboj po obeh površinah lahko premaknil do zadnje točke kontakta v dovolj kratkem času (to se dogaja ob ločevanju dveh prevodnikov), bi se pozitivni in negativni naboj medsebojno nevtralizirala. Pri tem predpostavimo, da naboj ne more sam zapustiti druge površine, torej tudi druga površina sama ne prevaja naboja ali pa je izolirana od okolice.

Količina prerazporejenega naboja je odvisna predvsem od razlike »kontaktnega potenciala«. Glede na tendenco kopičenja naboja na površini so posamezni materiali razvrščeni v **triboelektrično vrsto**. Večja kot je razlika materialov v legi na razpredelnici, več naboja bomo »proizvedli« pri mehanskem trenju teh dveh. Poznavanje teh lastnosti materialov je ključnega pomena pri njihovi izbiri za tehnološke procese, kjer so elektrostatični pojavi lahko nevarni.

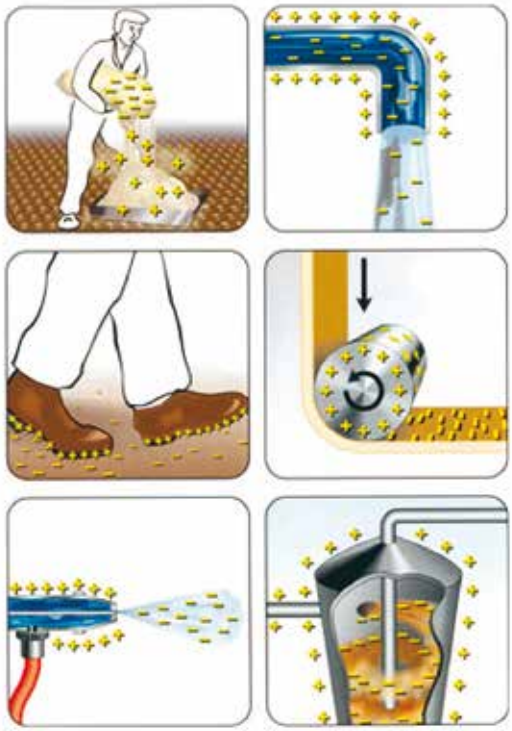
Ker gre za površinski pojav, je zelo pomembno stanje površin. Že majhna nečistoča, umazanija, usedlina na površini lahko bistveno spremeni potek pretakanja naboja in posledice tega. Naelektritve so v takšnih primerih lahko bistveno drugačne, kot bi jih pričakovali glede na razvrstitev čistih materialov v triboelektrični vrsti.

Na naelektritev pri razmikanju materialov pa poleg lastnosti udeleženih snovi vpliva tudi hitrost ločevanja in pritisk na kontaktne površine. Če je ločevanje zelo počasno, se precejšen delež električnega naboja vrne in naelektritev po procesu ločitve je majhna. Nasprotno pa se pri hitrem ločevanju uspe vrniti le majhen del naboja, zato je naelektritev lahko zelo velika. Pri večjem pritisku je večja kontaktna površina in zato tudi večji pretok naboja. Naelektritev bo večja tudi, če stikanje in ločevanje površin ponavljamo ali površini drgnemo drugo ob drugo.

V industrijskih procesih se pogosto srečujemo s stikom in ločevanjem medsebojno različnih snovi, pri čemer lahko nastanejo nevarne elektrostatične naelektritve. Nekaj primerov je skiciranih na Sliki 2.

Pogosto uporabljajo neprevodne vnetljive tekočine. Mednje sodijo na primer pogonska goriva in razna organska topila. Nevarnosti elektrostatičnih naelektritev nastajajo pri polnjenju rezervoarjev, pretakanju tekočin po ceveh, transportu tekočin v posodah, filtriranju, mešanju, razprševanju. Pri pretakanju čistih neprevodnih tekočin po ceveh nastajajo znatne naelektritve, če je hitrost tekočine večja od približno 1 m/s. Če pretakana neprevodna tekočina ni čista, ampak vsebuje suspenzijo npr. vode ali prahu, se močno poveča površina, na kateri poteka ločevanje naboja in nastanejo lahko znatno večje naelektritve.

V mnogih vejah industrije uporabljajo neprevodne gorljive materiale v obliki prahu, bodisi kot surovino bodisi kot končni izdelek. Pri pretresanju prahu lahko nastanejo tako velike naelektritve, ki zmorejo vžgati eksplozivni oblak prahu, zato je treba posvetiti veliko pozornost izbiri posod, vreč in ostali opremi, ki se pri tem uporablja. Pretresanje je nevarno predvsem tam, kjer so prisotni tudi hlapi vnetljivih tekočin, saj jih s povzročenimi elektrostatičnimi razelektritvami zlahka vžgemo. Še večje naelektritve pa so možne pri pnevmatskem transportiranju neprevodnega prahu. Pnevmatski transport naj poteka s čim manjšo možno hitrostjo, saj so pri majhni hitrosti naelektritve manjše, s tem pa je zmanjšana tudi nevarnost zaradi elektrostatičnih razelektritev.
Transportni trak se lahko naelektri pri stiku s pogonskim valjem, če je ločitev dovolj hitra in če je trak ali valj neprevoden. Pri zelo velikih hitrostih transportnega traku so naelektritve lahko primerljive z naelektritvami pri pretakanju suspenzij ali pnevmatskem transportu prahu, zato se v eksplozijsko ogroženih prostorih izogibamo uporabe neprevodnih transportnih trakov. Dodatni ukrep je zmanjšanje hitrosti traku na najmanjšo hitrost, ki jo tehnološki postopek še dovoljuje.



Slika 2: Skicirani primeri elektrostatičnih naelektritev v industriji

Tudi pri drgnjenju površin, npr. pri čiščenju s krpo, lahko nastanejo nevarne naelektritve. Površine iz neprevodnih umetnih materialov v eksplozijsko ogroženih prostorih vedno čistimo z vlažno krpo in brez organskih topil. Pri čiščenju z vlažno krpo se na površini naredi tanka plast vode, zaradi česar postane površina prevodna in onemogoča znatno ločitev naboja.

Kljub temu pa je najbolje, da v eksplozijsko ogroženih prostorih ne uporabljamo neprevodnih snovi. Tla v eksplozijsko ogroženih prostorih morajo biti elektrostatično prevodna.

Človeško telo dobro prevaja elektriko in pri drgnjenju ali ločevanju od neprevodnih tal oziroma pri hoji v neprevodnih čevljih se lahko zelo naelektrimo. Prav tako morajo biti oblačila izdelana iz prevodnih (protistatičnih) materialov. Že uporaba bombažnih oblačil namesto sintetičnih povzroča običajno bistveno manjše naelektritve in manjša tveganja.

2.2 Influenca

Influenca je naelektritev prevodnikov zaradi vpliva elektrostatičnega polja brez dotika med predmeti. Če ni zunanjega elektrostatičnega polja, je gibljivi električni naboj enakomerno razporejen po prevodniku. Ko damo prevodnik v elektrostatično polje, elektrostatična sila prerazporedi gibljive naboje, ki se lahko v večji koncentraciji zberejo na enem delu površine. Če ta del ozemljimo, gibljivi naboj odteče in na prevodniku nastane primanjkljaj naboja. Če nato ozemljitev razklenemo, ostane prevodnik naelektren.

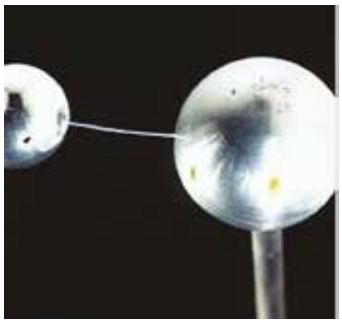
Pogoji za influenčno naelektritev so izpolnjeni v okolici prevodnih neozemljenih ali pa neprevodnih cevovodov, po katerih se pretakajo neprevodne tekočine ali transportira prah, v okolici prevodnih neozemljenih ali pa neprevodnih silosov in rezervoarjev, v katerih hranimo prah ali neprevodne tekočine, skratka povsod v okolici naprav, v katerih so lahko naelektreni materiali, ki niso znotraj ozemljenega prevodnega oklepa. V teh pogojih se lahko influenčno naelektri npr. osebje, kovinsko orodje, viličarji in tudi vsi ostali nezanesljivo ozemljeni prevodniki.

3. Hitre razelektritve

Vsak naelektren predmet se slej ko prej na nek bolj ali manj hiter način razelektri. S stališča protieksplozijske zaščite so nevarne tiste razelektritve, ki so sunkovite. Takšne so razelektritve z iskro, razširjajoča grmičasta, grmičasta in koronasta, kot je razvidno iz Tabele 1.

3.1 Razelektritev z iskro

Če električno polje v zraku pri normalni temperaturi in pritisku preseže okoli 3 MV/m (vrednost je odvisna tudi od relativne vlažnosti zraka), pride do električnega preboja. Prosti elektron ali ion se v lokalnem el. polju pospeši in doseže dovolj veliko energijo pred trkom v drugo molekulo v zraku, ki jo nato ionizira. Sproži se verižna ionizacija, ki povzroči spremembo ionizacijskih lastnosti zraka in ustvari dobro prevodno pot – kanal za pretok (tok) nakopičenega naboja. Ob tem procesu se sproščajo toplota, svetloba in zvok – to je razelektritev z iskro, ki nastane pri razelektritvi prevodnikov (Slika 3).



Slika 3: Primer razelektritve dveh kovinskih krogel z iskro

Proces se izvrši v delčku sekunde, pri čemer se sprosti praktično vsa nakopičena elektrostatična energija, ki zrak v ioniziranem kanalu segreje tudi do več tisoč kelvinov. Tako se npr. razelektrimo pri zapuščanju vozila.

Tabela 2: Orientacijske vrednosti elektrostatične energije predmetov, naelektrenih do napetosti 10kV

Predmet	Energija iskre (mJ)
prirobnica	0.5
sod (50 l)	2.5
oseba	7.5
sod (200 l)	10

V Tabeli 2 so navedene nekatere orientacijske vrednosti elektrostatične energije predmetov, naelektrenih do napetosti 10 kV, ki jih pogosto najdemo v praksi. Sproščene energije pri razelektritvi so dovolj velike za vžig vseh vrst eksplozivnih zmesi plinov, hlapov, megle ali prahu z zrakom, kot je razvidno iz Tabele 3, v kateri so podane vrednosti minimalne vžigne energije za različne kategorije eksplozivnih zmesi.

Tabela 3: Minimalne vžigne energije za različne kategorije eksplozivnih zmesi

Eksplozivne zmesi		Minimalna vžigna energija (približne vrednosti v mJ)
plini, hlapi	IIA	0,25
	IIB	0,10
	IIC	0,02
prah		1

Tabela 1: Nevarne sunkovite razelektritve

Vrsta hitre razelektritve	Praviloma se pojavi	Lahko vžge
iskra	med dvema prevodnikoma	pline, prah
razširjajoča grmičasta	pri preboju tankih izolatorjev	pline, prah
grmičasta	pri razelektritvi izolatorjev, redkeje prevodnikov	pline, občutljiv prah
korona	med ostro ozemljeno konico ali robom in izolatorjem	pline skupine IIC

3.2 Koronasta razelektritev

Če naelektrenemu izolatorju približamo ostro prevodno konico ozemljene igle in so pogoji za verižno ionizacijo izpolnjeni le v lokalnem območju okoli konice, v preostalem delu razdalje do nabitega izolatorja pa je povprečna vrednost polja relativno nizka, pride do koronaste razelektritve. Prihaja do lokaliziranih razelektritev z razmeroma nizkimi tokovi (ranga mA, Slika 4). Električna moč je pri koronasti razelektritvi tako majhna, da ne more vžgati večine eksplozivnih zmesi, ki jih srečujemo v industriji. Izjema so eksplozivne zmesi skupine plinov IIC (vodik, acetilen in ogljikov disulfid).



Slika 4: Primer koronaste razelektritve

3.3 Grmičasta razelektritev

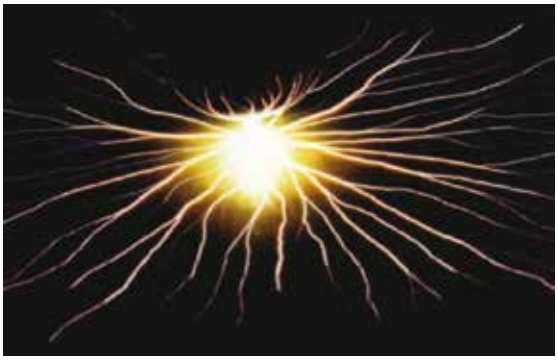
Če namesto ostre konice uporabimo elektrodo z večjo površino (npr. kroglo s premerom nekaj mm) in je preseganje prebojne trdnosti zraka doseženo na nekoliko večji, vendar še vedno lokalizirani površini, se pojavi grmičasta razelektritev. Iskra ne more preskočiti, pač pa med predmetoma nastane več šibkejših razvejanih tokovnih sunkov, katerih oblika spominja na grm. Šop razvejanih svetlobnih kanalov običajno ne doseže nasprotne elektrode (Slika 5). Z grmičasto razelektritvijo se razelektrijo naelektreni izolatorji, v nekaterih primerih pa tudi naelektreni prevodniki. V splošnem je električna moč tudi pri grmičasti razelektritvi manjša kot pri razelektritvi z iskro, saj pojav poteka počasneje kot preskok iskre. Pri grmičasti razelektritvi se lahko vžgejo eksplozivne zmesi plinov, hlapov, megel in občutljivega prahu z zrakom.



Slika 5: Primer grmičaste razelektritve

3.4 Razširjajoča grmičasta razelektritev

Največja moč in največ sproščene energije nastane pri razširjajočih grmičastih razelektritvah. Nastane lahko pri zelo močni naelektritvi predmetov. V industriji se ustvarijo takšni pogoji predvsem pri pnevmatskem transportu prahu in pri hitrem pretakanju suspenzij, pa tudi pri zelo hitrih transportnih trakovih. Z razširjajočo grmičasto razelektritvijo se lahko razelektri tanka plast izolatorja, ki je na nasprotnih straneh naelektrena z nasprotnim nabojem. Razelektritev nastane šele takrat, ko se dotaknemo izolatorja z ozemljenim prevodnikom, ali pa takrat, ko jakost električnega polja preseže prebojno trdnost izolatorja. Energija, ki se sprosti skoraj v trenutku, pogosto presega več joulov, poškoduje material in lahko vžge tudi težko vnetljive snovi. Na Sliki 6 vidimo razširjajočo grmičasto razelektritev na polikarbonatnem vlaknu debeline 100 µm. Slikana je površina širine 500 mm. Nastanku razširjajočih grmičastih razelektritev se izognemo z omejitvijo hitrosti pretoka tekočin, transporta prahu in transportnih trakov.



Slika 6: Primer pojava raz širjene grmičaste razelektritve

4. Zaščita pred nevarnimi razelektritvami

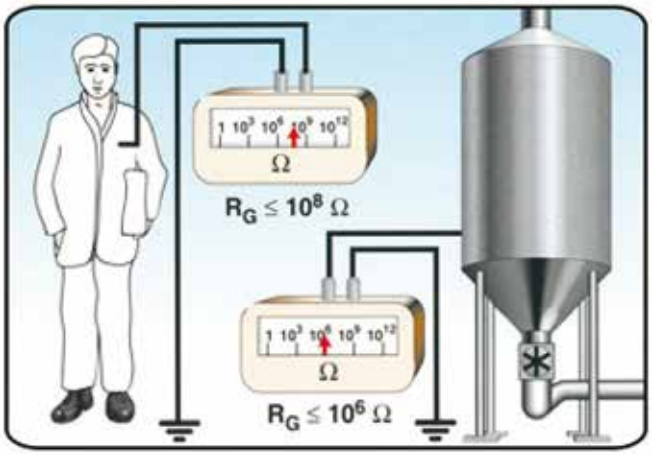
Ukrepi za odpravo in omejitve nevarnosti in posledičnih tveganj zaradi elektrostatičnih naelektritev na povsem nenevarno stopnjo so teoretično mogoči, vendar velikokrat iz praktičnih in ekonomskih razlogov nesprejemljivi. Če se dopuščajo procesi z elektrostatičnimi naelektritvami, ki so potencialno nevarne, je treba ob tem dosledno izvajati vse potrebne zaščitne ukrepe, ki preprečujejo nevarne razelektritve.

Ukrepe lahko razdelimo v naslednje skupine:

1. **električni** – predvsem ozemljitev in izenačitev potencialov stabilnih, prenosnih ter mobilnih prevodnih površin in opreme,
2. **gradbeni** – izbira ustreznih materialov pri gradnji prostorov,
3. **strojno tehnološki** – uporaba ustreznih materialov, opreme, tehnologij postopkov (omejevanje hitrosti gibanja, pretakanja …) in
4. **organizacijski** – izobraževanje, obleka, obutev, ustrezni tehnološki in vzdrževalni postopki.

4.1 Ozemljitev prevodnikov

Najpogostejši elektrostatični vir vžiga eksplozivnih zmesi so razelektritve neozemljenih prevodnih predmetov, zato je prvi in najpomembnejši ukrep pred nevarnostmi elektrostatičnih razelektritev dosledna in zanesljiva ozemljitev vseh prevodnikov. Pravilo velja za nepremične in premične prevodne dele, osebje, prevodne posode, transportno opremo itd. S postopkom mora biti zagotovljeno, da iskra, ki lahko nastane v trenutku ozemljitve, ne nastane v eksplozijsko ogroženem prostoru.



Slika 7: Ozemljitve – mejne vrednosti za osebje in opremo običajno niso enake

S povezavo vseh prevodnih delov na zemljo se izognemo najbolj pogostemu problemu na tem področju – kopičenju naboja na prevodnikih in hitri sprostitvi vse nakopičene energije s preskokom iskre na zemljo ali na drug prevodnik.

V industrijskem okolju, kjer se lahko pojavijo vnetljive atmosfere, je navadno veliko prevodnih predmetov, ki se lahko ob neustrezni ozemljitvi nevarno naelektrijo. Nekateri od teh predmetov so nujni deli same tovarne ali opreme: struktura stavbe, reakcijske posode, cevovodi, ventili, cisterne, sodi in podobno. Najdejo se tudi predmeti, ki so tam slučajno ali po nepotrebnem zaradi nepazljivosti, na primer neuporabljene rezervne žice, kovinske posode na neprevodni tekočini, kovinsko orodje in mlake prevodne tekočine na neprevodni podlagi.

V fazi načrtovanja obratov moramo določiti in preučiti možne nevarnosti zaradi neželenih naelektritev. Določi se ustrezen sistem ozemljitve v skladu z veljavnimi standardi. Kjer ni na razpolago drugih ozemljil, se uporabijo bakrene palice ali trakovi, zabiti ali zakopani v zemljo. Z ustreznim načrtovanjem moramo zagotoviti, da so naprave za ozemljitev:

a) razpoznavne in sprejete kot bistven del varnostnega sistema obrata;
b) dobro vidne ali pa neobhodno potrebne za delovanje sistemov, tako da so napake hitro odkrite;
c) dovolj robustne in trajne, da ne podležejo visokouporovnim vplivom, kot so na primer korozija, barvanje …;
d) enostavne za montažo in zamenjavo. Kable za ozemljitev gibljivih elementov moramo opremiti z nazobčano podložko, ki predre plast barve ali korozije.

Naprave moramo ozemljiti pred elektrostatično nevarnim procesom. Ozemljitev je dovoljeno odstraniti po tem, ko so odstranjene nevarnosti zaradi elektrostatičnih pojavov.

Kontrole ozemljitev, ki predstavljajo zaščito pred nevarnimi učinki elektrostatike, moramo ločiti od kontrol ozemljitev za zaščito proti udaru strele in kontrol ozemljitev električnih napajalnih sistemov. Kontrolo moramo izvajati pred pričetkom obratovanja oziroma uporabe, po vsakem rednem in izrednem vzdrževanju ter po vsaki spremembi na omenjenih sistemih.



Slika 8: Primeri nevarnih razelektritev (levo), ki v primeru ustrezne ozemljitve niso mogoče (desno), ker so onemogočene naelektritve

Osnova nadzora je merjenje upornosti med posameznimi deli obrata proti zemlji. Meritve morajo biti dopolnjene s podrobnim vizualnim pregledom. To pripomore k odkrivanju začetnih napak pri ozemljitvenih napravah in k zmanjšanju tveganj zaradi prekinitev teh povezav. Z načrtovanim sistemom nadzora izmerjenih vrednosti dobimo tudi orodje za odkrivanje sprememb posameznih upornosti.

4.2 Izbira pravih materialov, opreme in tehnoloških postopkov

Prevodno kovinsko opremo in inštalacije danes na mnogih področjih izpodrivajo razni umetni materiali, ki so zvečine neprevodni, če niso ustrezno obdelani. Ozemljitev izolatorjev je neučinkovit ukrep pri preprečevanju zbiranja velike nevarne količine elektrostatičnega naboja. Omenili smo že, da je včasih mogoče preprečevati nevarne naelektritve s koronastim razelektrevanjem, ki pa je za eksplozijsko ogrožena območja preveč nezanesljivo in včasih celo nevarno. V eksplozijsko ogroženih prostorih se je najbolje izogibati uporabi neprevodnih materialov. Če je le mogoče, je treba uporabljati tako imenovane elektrostatično prevodne (disipativne) umetne materiale, ki omogočajo sprotno odtekanje elektrostatičnega naboja na ozemljilo. Tla pa morajo biti v ogroženih prostorih elektrostatično prevodna.

V primeru uporabe izolatorjev je potrebno upoštevati omejitve glede maksimalne dovoljene površine posameznih delov opreme, ki se lahko naelektri, proizvodni proces pa ne sme povzročiti intenzivnih procesov naelektritev niti nevarnih razelektritev.

Tabela 4: Dovoljena površina neprevodnih delov opreme

Cona	Dovoljena površina v cm²			
	Prah[1]	IIA	IIB	IIC
0	250	50	25	4
1	500	100	100	20
2	Ni omejitve[2]	Ni omejitve[2]	Ni omejitve[2]	Ni omejitve[2]

Opombi:
1. Nekateri standardi v primeru prahu ne zahtevajo omejitev površin.
2. V skladu z IEC-standardi so omejitve tudi v coni 2, razen če se dokaže, da ni nevarnosti vžiga.

Na naelektritev vpliva predvsem hitrost ločevanja predmetov, zato jo je treba omejiti. Hitrost pretakanja neprevodnih tekočin naj ne bi presegala 1 m/s. Pri višjih hitrostih postanejo naelektritve prenevarne. Prav tako naj bo pnevmatski transport prahu kar najbolj počasen in na ustreznih medijih. Bistvo ukrepov za preprečevanje prevelikih naelektritev je torej omejitev hitrosti ločevanja predmetov na najmanjšo hitrost, ki jo tehnološki proces še dovoljuje.

Tudi na tem področju je pomembna tako imenovana vgrajena varnost. Že v fazi načrtovanja in izbire objektov, proizvodnje, procesa, opreme je treba uporabiti ustrezne materiale, postopke in ostale zaščitne ukrepe za zagotavljanje varnosti. Veliko težje je naknadno zmanjševanje prevelikih preostalih tveganj.

4.2.1 Osebje

Najpomembnejši ukrep, ozemljitev vseh prevodnikov, je pogosto pogojen tudi z doslednim izvajanjem ustreznih organizacijskih postopkov. Pri tem so bolj kot pritrjeni prevodniki (rezervoarji, cevovodi, prirobnice ...), ki so stalno ozemljeni, nevarne kovinske posode, vozički, orodje, skratka predmeti, ki jih premikamo in pri tem lahko prekinemo ozemljitev. Iz tega sledi, da je zelo pomemben element pri zagotavljanju doslednega izvajanja zaščitnih ukrepov izobraževanje, ozaveščanje in nadzor osebja, ki v eksplozijsko ogroženih prostorih upravlja s potencialno nevarnimi predmeti. Osebje mora v eksplozijsko ogroženih prostorih nositi le protistatična oblačila in obutev.

Oseba, ki je izolirana proti zemlji, se lahko hitro naelektri in naboj tudi obdrži. Izolacija proti zemlji nastane zaradi neprevodnih tal ali neprevodnega materiala, iz katerega je izdelana obutev. Obstajajo številnimi mehanizmi, ki povzročajo naelektritve oseb. Nekaj značilnih primerov:
a) hoja po tleh;
b) vstajanje s sedeža;
c) slačenje oblačil;
d) rokovanje z umetno maso;
e) praznjenje ali polnjenje posod z naelektrenim materialom;
f) stanje v bližini naelektrenih objektov, npr. transportnih trakov;
g) električna influenca.

Če se naelektreni dotaknemo prevodnega objekta (kljuke vrat, ročaja ograje, kovinske posode …), se lahko v točki kontakta pojavi iskra, ki jo redko vidimo, slišimo ali drugače občutimo, lahko pa povzroči vžig vnetljive atmosfere. Iskre ob razelektritvi oseb lahko vžgejo pline, pare in nekatere najbolj občutljive vrste prahu.

Pomembno je, da so osebe, ki delajo v potencialno vnetljivih atmosferah, zavarovane pred naelektritvijo. Nevarne naelektritve preprečujemo z ustrezno prevodnim ali disipativnim podom in z nošenjem ustrezno prevodne obutve.

4.2.2 Elektrostatično prevodni podi in tla

V številnih industrijskih okoljih so običajno tla, npr. betonske plošče, ustrezno elektrostatično prevodna. Zaradi ohranjanja ustrezne prevodnosti se tal ne sme prekrivati z gumijastimi preprogami, plastičnimi ploščami itd. Preprečiti moramo nabiranje razne umazanije, kot je smola in podobni neprevodni materiali.

4.2.3 Disipativna in prevodna obutev

Obstajata dve vrsti obutve, ki omogočata ozemljitev oseb in tako preprečujeta naelektritev.

Disipativna obutev izpolnjuje spodnjo in zgornjo omejitev glede upornosti (upornost proti zemlji, večjo od $10^5\Omega$ in manjšo od $10^8\Omega$). Zgornja meja je dovolj nizka, da je preprečeno nabiranje električnega naboja v večini razmer. Spodnja meja pa nudi določeno zaščito v primeru nehotenega neposrednega dotika delov pod napetostjo. Takšen tip obutve je primeren za splošne namene.

Prevodna obutev ima zelo nizko upornost (upornost proti zemlji, manjšo od $10^5\Omega$) in jo nosi npr. osebje, ki dela z zelo občutljivimi eksplozivi. Takšna obutev se ne bi smela uporabljati v okolju, v katerem obstaja nevarnost dotika delov pod napetostjo, in tako ni primerna za splošno uporabo.

Nogavice običajno ne vplivajo na prevodne lastnosti naštetih tipov obutve, za razliko od raznih galoš in podobnih obuval, ki jih nataknemo povrhu normalne obutve.

4.2.4 Oblačila

Navkljub dejstvu, da se moderna oblačila iz sintetičnega tekstila zlahka naelektrijo, na splošno ni visokega tveganja, če je oseba ozemljena preko prevodne obutve in ustreznih tal. V vsakem primeru se mora oblačilo tesno prilegati, kolikor je praktično mogoče, in ga ni dovoljeno slačiti ali odpenjati v področjih s potencialno prisotnimi vnetljivimi atmosferami (npr. v conah 0, 1, 20 in 21).

V coni 0 ali v specialnih okoljih (npr. kjer je bogata mešanica s kisikom) visoko neprevodnih sintetičnih oblačil ne bi smeli uporabljati. Zgornji oziroma vrhnji sloj oblačila bi moral biti disipativen. Disipativna oblačila so oblačila iz materiala s površinsko specifično upornostjo, manjšo od $2{,}5\times10^9\ \Omega$, ali pa imajo lastnost, da se na njih količina nabrane elektrine hitro zmanjšuje (glej EN 1149-3). Disipativna obleka mora prekrivati vsa ostala oblačila. Vrhnji sloj obleke moramo ozemljiti: posredno s kontaktom s kožo osebe ali z neposredno povezavo na ozemljilo.

Elektrostatične lastnosti obleke se lahko sčasoma spremenijo zaradi uporabe, po čiščenju ali izpostavitvi ekstremnim razmeram. Obleko moramo vzdrževati v skladu z navodili proizvajalca. Obleko je po vsakem pranju potrebno obdelati s posebnim sredstvom.

4.2.5 Zaščitne rokavice

Predmeti, ki jih prijemamo z rokavicami iz neprevodnih materialov, lahko postanejo ali ostanejo naelektreni. Zato moramo v conah 0 in 1 uporabiti rokavice iz disipativnih materialov.

4.2.6 Ostala oprema

Zaščitne čelade in vizirji iz umetne mase se lahko naelektrijo (npr. pri čiščenju s suho krpo), vendar je tveganje za vžig vnetljive atmosfere majhno. V večini primerov uporaba in varovalna funkcija te opreme prevlada nad tveganjem zaradi učinkov elektrostatike. Tako opremo moramo čistiti z vlažno krpo.

LITERATURA:

[1] SIST-TP CLC/TR 60079-32-1:2019 Eksplozivne atmosfere - 32-1. del: Elektrostatične nevarnosti - Navodilo (IEC/TS 60079-32-1:2013);

[2] EN 1149-1:2006 Protective clothing - Electrostatic properties - Part 1: Test method for measurement of surface resistivity;

[3] EN 1149-3:2004 Protecting clothes – Electrostatic properties – Part 3: Test method for measuring the charge dissipation;

[4] EN 1149-5:2018 Protective clothing – Electrostatic properties – Part 5: Material performance and design requirements;

[5] EC, Non-binding guide of good practice for implementing Directive 1999/92/EC of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres, Bruselj, oktober 2005;

[6] ISSA: Static Electricity: Ignition, Hazards and Protection Measures, ISSA, 1996;

[7] ISSA: Identification and evaluation of hazards, determination of measures Part 7 Hazards arising from explosions, 3/2024

[8] Nevarnost elektrostatike, ZVD d.d., 2008;

[9] Thuba EHB Ltd: Ignition Hazards Caused by Electrostatic Charges in Industrial Processes, februar 2015.

ABSTRACT

HAZARDS OF STATIC ELECTRICITY IN EX ZONES

Electrostatic charges can arise in various ways and are generally disruptive and undesirable in many fields. In explosion-hazardous environments, they can also pose a serious danger. From the perspective of explosion protection, rapid discharges are particularly dangerous, as the released energy can exceed the minimum ignition energy of explosive mixtures.

Measures to eliminate or limit the risks and potential consequences of electrostatic charges to a completely safe level are often unacceptable for practical and economic reasons. If processes involving potentially hazardous electrostatic charges are allowed, it is crucial to consistently implement all necessary protective measures to prevent dangerous discharges

Keywords: electrostatics, charge, discharge, grounding, explosion protection

Piše: **Jovan Jovanović**, dipl. el. inž.



METODE TEHNIČNE DIAGNOSTIKE ROTACIJSKIH STROJEV

Industrija se v zadnjem desetletju sooča z vse večjimi izzivi, ki jih prinaša potreba po energetski učinkovitosti, zmanjševanju nenačrtovanih zastojev in podaljšanju življenjskega cikla strojev.

Veliko se lahko naučimo iz poročila „MORE4CORE“ ((Maintenance, Overhaul and Repair for Competitiveness of the NWE Region). Poročilo obravnava ključne izzive, s katerimi se sooča industrija v severozahodni Evropi. Ugotovitve obsežne študije kažejo na pomembnost prediktivnega vzdrževanja, tehnične diagnostike in poudarjajo razlike med najboljšimi izvajalci in zaostalimi, ki se odražajo v dolgoročnih stroških in učinkovitosti.

Ključne besede: vzdrževanje, diagnostika, PF-krivulja, vibracije, ultrazvok

Poročilo poudarja ključno vlogo vzdrževanja pri ohranjanju industrijske konkurenčnosti v severozahodni Evropi. Izboljšave v strategijah vzdrževanja in boljšega upravljanja življenjskega cikla sredstev bi lahko znatno vplivale na splošno industrijsko učinkovitost in gospodarsko uspešnost.

Če želimo biti med najboljšimi, moramo izvajati vzdrževanje na podlagi stanja (CBM, condition based maintenance) in razumeti metode tehnične diagnostike.

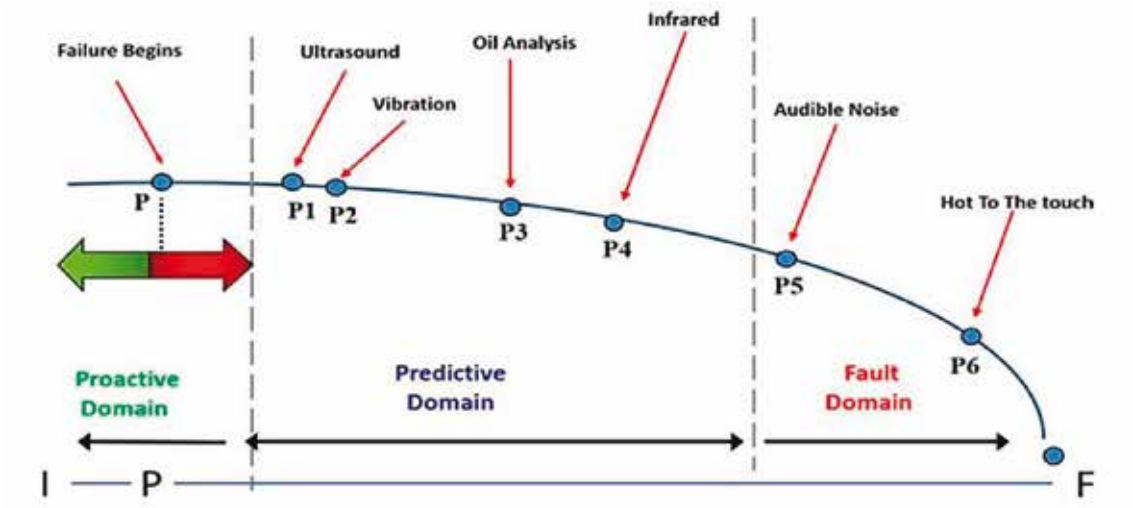
Eden od temeljnih konceptov za razumevanje življenjskega cikla stroja je **PF-krivulja**, ki prikazuje stanje stroja in napredovanje okvare stroja skozi čas.

Razumevanje PF-krivulje

PF-krivulja je široko uporabljen model pri prediktivnem vzdrževanju in diagnostiki, ki opisuje običajen potek okvare rotacijskih strojev skozi časi.

- **Točka P (točka potencialne okvare)**: Točka, pri kateri je mogoče najprej zaznati težavo ali napako. Stroj še vedno deluje, vendar so že prisotni znaki poslabšanja.
- **Točka F (točka funkcionalne okvare)**: Točka, pri kateri stroj ne izpolnjuje več svoje funkcije ali se popolnoma pokvari.
- **P1, P2, P3, P4** – Signali okvare v zgodnji fazi; lahko jih detektiramo z metodami tehnične diagnostike (ultrazvočna in vibracijska diagnostika, analiza olja, termografija …); signali okvare so lahko časovno tudi drugače razporejeni.

PF-interval je časovno obdobje med točko potencialne okvare in točko funkcionalne okvare. Cilj prediktivnega vzdrževanja je zaznati napake blizu točke P in izvesti vzdrževalne ukrepe pred dosego točke F, s čimer se izognemo nepričakovanim izpadom in visokim stroškom popravila.



Slika 1: PF-krivulja – življenjski cikel stroja

Spremljanje stanja strojev v industriji

Različne diagnostične metode pomagajo pri spremljanju stanja strojev in odkrivanju težav v različnih fazah vzdolž PF-krivulje, kar podaljšuje interval med P in F ter omogoča pravočasno posredovanje (Mobley, 2002; Bloch in Geitner, 1999).

1. Analiza vibracij

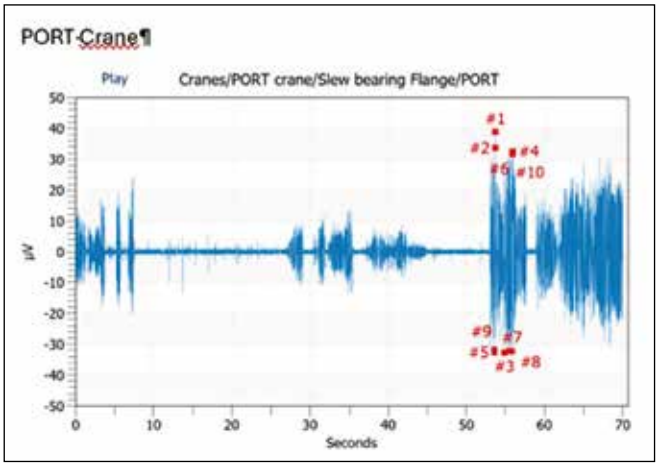
Analiza vibracij je običajno prva metoda, ki se uporablja za odkrivanje potencialnih okvar na točki P. S spremljanjem vibracijskih signalov lahko odkrijemo težave, kot so neravnovesje, necentriranost, ohlapna pritrditev in obraba ležajev (Rao, 2000). Za analizo vibracij je potrebno strokovno osebje z veliko znanja in izkušenj in je to pogosto problem.

Podjetje se lahko odloči za uporabo lastnega osebja za zbiranje podatkov o vibracijah in spremljanje osnovnih podatkov ter najame zunanje podjetje za napredno analizo vibracij. Vendar pa so vibracijski instrumenti danes opremljeni z naprednimi strokovnimi sistemi, ki so zmožni analize FFT in spremljanja osnovnih napak rotacijskih strojev. To je lahko zelo koristno in uporabno, še posebej za delavnice ali enostavne stroje. Za analizo stanja kompleksnega stroja še vedno potrebujemo izkušenega strokovnjaka, ki bo opravil analizo vibracijskih signalov in dal priporočila za nadaljnje vzdrževalne ukrepe.

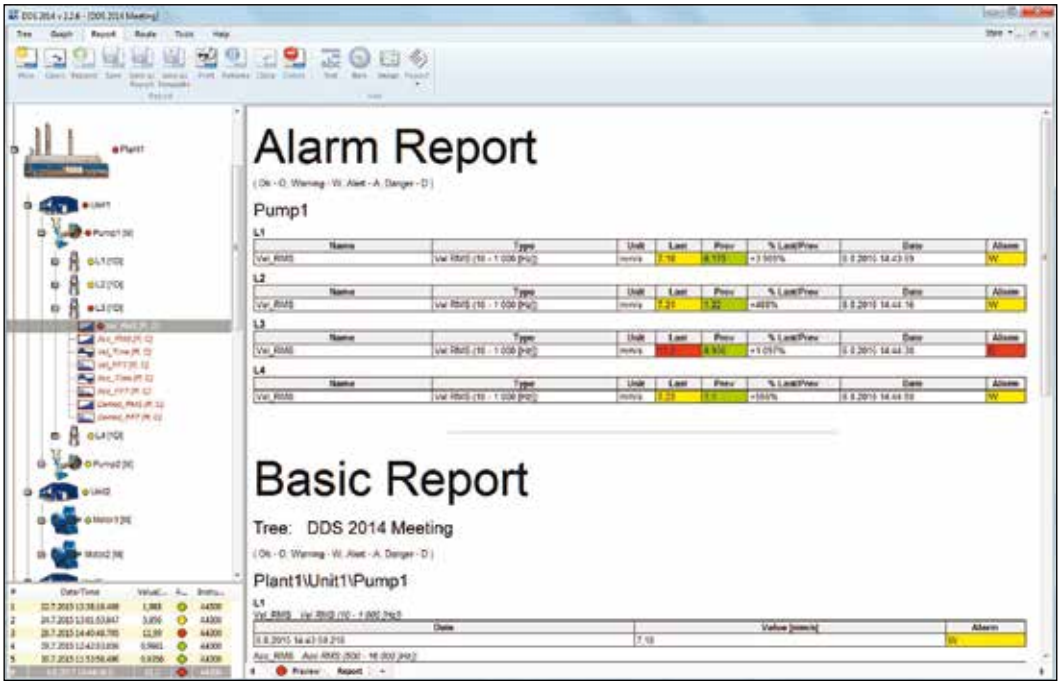
2. Ultrazvočna analiza stroja

Ultrazvok nastaja zaradi trenja in udarcev v strojnih komponentah ter uhajanja plina. Lahko ga zaznamo in izmerimo s pomočjo ultrazvočnega inštrumenta (ultrazvočnega senzorja in merilnega inštrumenta). To je še posebej učinkovito za prepoznavanje obrabe ležajev, kavitacije in mehanskih težav v zgodnjih fazah, ki morda še niso vidne v vibracijskih signalih (Beebe, 2004). Ultrazvočno spremljanje stanja strojev je zelo učinkovito pri počasnih strojih (npr. žerjavih).





Zdaj so na voljo ultrazvočne kamere, s katerimi lahko določimo lokacijo in količino uhajanja plina.

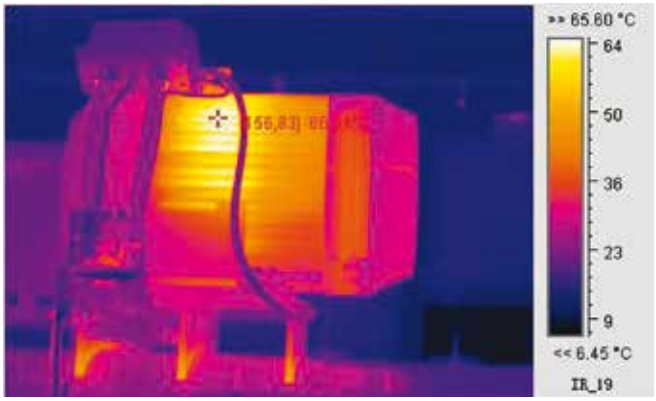




3. Termografija

S termografskimi pregledi se v industriji ocenjuje stanje naprav in postrojev. Vsako pregrevanje na mestih, kjer to ni običajno, je napoved za bodočo okvaro.

Običajno se uporablja v kasnejših fazah PF-intervala, ko se deli stroja segrevajo zaradi obrabe (Alfredson in Cawley, 2002). Uporablja se za pregled električnih omaric, kablov in drugih komponent, ki so podvržene visokim obremenitvam. To pomaga zaznati pregrevanje in morebitne težave v elektroinštalacijah, ki lahko povzročijo izpade ali celo požare. V naftni in plinski industriji pa termografija omogoča zgodnje odkrivanje puščanja in pregrevanja v cevovodih in črpalkah.





Termografska slika stroja

4. Lasersko uravnavanje (centriranje) gredi

Lasersko uravnavanje (centriranje) preverja poravnavo gredi v rotacijskih strojih, saj lahko necentriranost povzroči prekomerne vibracije in obrabo. Čeprav gre predvsem za preventivni ukrep, korekcija poravnave lahko prepreči razvoj težav vzdolž PF-krivulje.

V proizvodni industriji se lasersko centriranje pogosto uporablja pri montaži motorjev in črpalk. S pravilnim centriranjem se zmanjšajo vibracije in podaljša življenjska doba opreme.



5. Spremljanje stanja kritične opreme v luči pomanjkanja usposobljenega kadra

Stanje opreme lahko spremljamo s pomočjo ročnih merilcev po določeni ruti (route based measurement) ali s pomočjo stalno nameščenih senzorjev (stalno spremljanje stanja).

Oba načina imata svoje prednosti in pomanjkljivosti, izbira pa je odvisna od potreb in virov podjetja.

Analiza vibracij na osnovi poti:

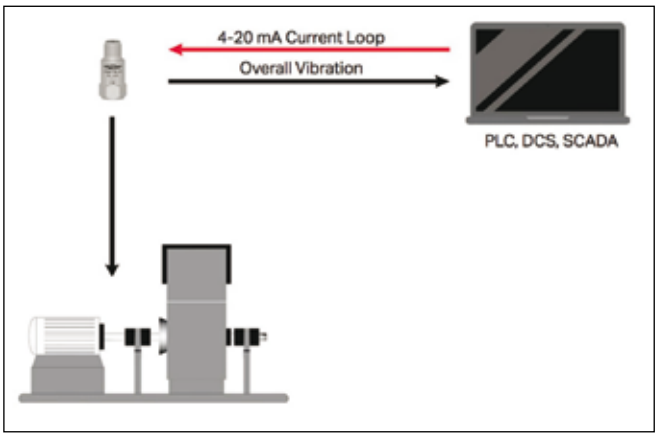
- Tehnik periodično obiskuje lokacijo, da izvede meritve z mobilno opremo.
- Prednosti: nižji stroški, minimalna potrebna oprema, enostavna implementacija.



- Pomanjkljivosti: omejen dostop do podatkov (le med obiski), težave pri dostopu do nevarnih ali težko dosegljivih lokacij, manj možnosti za spremljanje trendov.

Stalno spremljanje stanja:
- Senzorji so stalno nameščeni na opremi, podatki pa se zbirajo v realnem času.
- Prednosti: neprekinjeno spremljanje, boljša varnost, dostop do težko dosegljivih lokacij, avtomatizirano zbiranje podatkov.
- Pomanjkljivosti: višji začetni stroški in potreba po bolj kompleksni opremi, problem obdelave in shranjevanja merilnih podatkov.

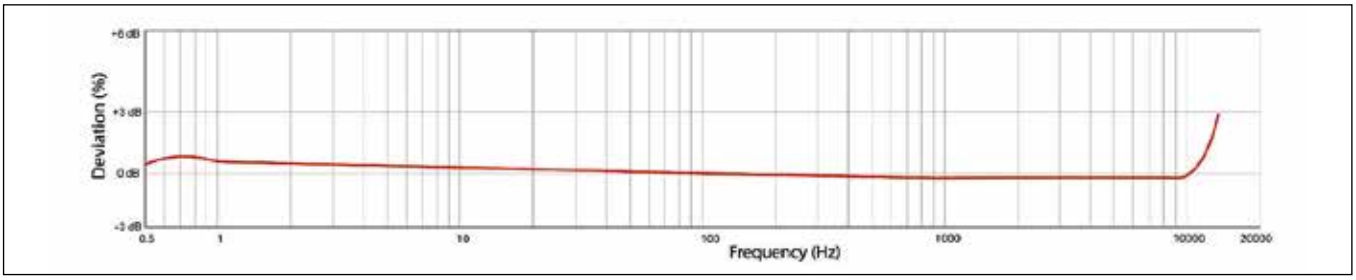
V industriji, kjer se soočamo s pomanjkanjem usposobljenega kadra za vzdrževanje in diagnostiko strojev, postaja **stalno spremljanje stanja s pomočjo nameščenih senzorjev** ključna rešitev za zagotavljanje zanesljivosti in učinkovitosti procesov.
Pomembno je razumeti vrste senzorjev vibracij in možnost izbire pravega. Najpogosteje se srečujemo s senzorji z dinamičnim izhodom in senzorji 4-20mA:
- Senzorji z dinamičnim izhodom
  Senzorji vibracij z dinamičnim izhodom so zasnovani za podrobno analizo vibracij v širokem frekvenčnem spektru. Najpogostejši so IEPE-senzorji (Integrated Electronic Piezo Electric). Ti senzorji merijo natančne signale vibracij in jih pretvarjajo v električni analogni signal (»raw data« ali surovi podatki), ki jih je mogoče analizirati z naprednimi orodji za diagnostiko. Zaradi svoje visoke občutljivosti in zmogljivosti so idealni za aplikacije, kjer je potrebno poglobljeno razumevanje stanja strojev, kot so neuravnoteženost, resonanca, težave z ležaji ali druge mehanske anomalije. Uporabljajo se predvsem v okoljih, kjer strokovnjaki izvajajo podrobne diagnostične analize za napovedovanje okvar in optimizacijo delovanja opreme.
- Ti senzorji zahtevajo dodatno opremo, kot so analizatorji vibracij ali specializirani sistemi za zbiranje podatkov, kar pomeni, da so primernejši za tehnično usposobljene uporabnike. So robustni, vendar zaradi svoje kompleksnosti tudi dražji in zahtevnejši za implementacijo.
- Treba se je zavedati, da dolžina kabla vpliva na slabljenje vibracijskega signala.
- Senzorji 4-20mA so namenjeni preprostemu spremljanju vibracij in ponujajo osnovno spremljanje stanja strojev. Merijo skupne ravni vibracij in te podatke pretvorijo v standardni signal 4 – 20mA (možno je tudi 0 – 10V), ki ga je možno enostavno integrirati v industrijske kontrolne sisteme, kot so PLC-ji in SCADA. Njihova glavna prednost je enostavna uporaba in združljivost s širokim naborom obstoječe opreme. Ti senzorji so idealni za aplikacije, pri katerih ni potrebna kompleksna analiza, temveč osnovno spremljanje stanja strojev in hitro zaznavanje morebitnih težav. Pogosto jih najdemo v sistemih za spremljanje vibracij na preprostih strojih ali v okoljih, kjer ni na voljo tehnično usposobljenega osebja. Njihova cena in vzdrževanje sta nižja, kar jih naredi privlačne za širšo uporabo v industriji. Dolžina kabla pri senzorjih 4 – 20mA ne slabi signala, kar je njihova pomembna značilnost.



Povezava senzor 4-20mA – PLC ali SCADA …



Vizualizacija merilnih podatkov v kontrolni sobi s pomočjo »semaforjev«



O sistemih umetne inteligence v vzdrževanju se veliko govori, vendar so tovrstni sistemi še vedno orodje, ki pomaga usposobljenim strokovnjakom, vendar jih ne zamenja.

Stroškovno sprejemljivi in tudi učinkoviti sistemi so kombinacija stalno nameščenih senzorjev (npr. 4-20mA), povezanih na SCADO, ki bodo opozorili na povečanje skupnih vibracij (»semafor« na zaslonu kontrolne sobe). Takrat je potrebno poklicati usposobljenega vibroanalitika, ki bo s piezzo senzorjem in pripadajočo opremo analiziral stanje opreme in na podlagi zgodovine in trenutnega stanja stroja določil naslednje vzdrževalne korake.

Za tehnično diagnostiko rotacijskih strojev je izbira prave vrste pospeškomera ključna za natančno spremljanje in analiziranje značilnosti vibracij. Najprimernejše vrste pospeškomerov za to uporabo:

1. **Piezoelektrični pospeškomeri IEPE**: Ti so najpogosteje uporabljeni pospeškomeri za spremljanje rotacijskih strojev. Ponujajo visoko občutljivost in lahko obvladujejo širok razpon frekvenc, kar jih naredi idealne za zaznavanje tako visokih kot nizkih frekvenc vibracij. Piezoelektrični senzorji so robustni, imajo odličen dinamični odziv in lahko delujejo v ekstremnih temperaturah, ki so pogoste v industrijskih okoljih.
2. **MEMS-pospeškomeri**: Pospeškomeri mikroelektromehanskih sistemov (MEMS) so vse bolj priljubljeni zaradi svoje majhnosti in nizkih stroškov. Primerni so za vgrajene aplikacije in se lahko uporabljajo v prenosni opremi za analizo vibracij. Čeprav so na splošno manj občutljivi kot piezoelektrični senzorji, so MEMS-pospeškomeri zadostni za mnoge rutinske naloge spremljanja in so še posebej učinkoviti v okoljih, kjer sta prostor in teža omejena. MEMS-pospeškometri so energetsko učinkoviti in porabijo manj energije kot piezoelektrični. Zaradi tega se uporabljajo za brezžične aplikacije.

VIRI:

[1] https://www.bemas.org/en/projects/more4core

ABSTRACT

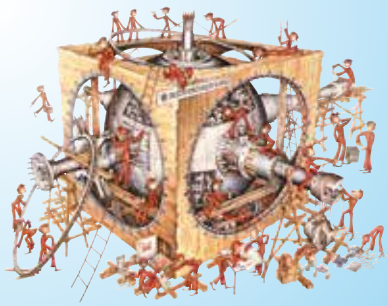
METHODS OF TECHNICAL DIAGNOSIS OF ROTATING MACHINERY

Over the last decade, industry has been facing increasing challenges in terms of energy efficiency, reducing unplanned downtime and extending the life cycle of machines.

There is much to learn from the „MORE4CORE“ report (Maintenance, Overhaul and Repair for Competitiveness of the NWE Region). The report looks at the key challenges facing the industry in North West Europe. The findings of the comprehensive study show the importance of predictive maintenance, technical diagnostics and highlight the differences between the best performers and the laggards, which are reflected in long-term costs and efficiency

Keywords: maintenance, diagnostics, PF curve, vibration, ultrasound

50 LET DVS



Piše: **Kamilo Domitrovič**, strojni tehnik, upokojenec



SERVISIRANJE GOSPODINJSKEGA STROJA

V današnjem času, ko je viden hiter tehnološki razvoj na vsakem koraku, smo deležni tega tudi v domačem hišnem gospodinjstvu. Ko se znajdemo v kuhinji, nas takoj obkrožajo razne naprave, strojčki, reznice, mikserji, pečice, posode, pribor in drugo. Vsekakor pa v kuhinji ne gre brez pomivalnega stroja, saj nam delo zelo olajša, poenostavi, predvsem pa prihrani čas.

Tudi v naši kuhinji imamo tak stroj že več kot 25 let, vendar se je pred dobrim letom med pranjem posode pokvaril. Na svetlobnem displeju stroja se je pojavil rdeč signal, črpalka pa je neprenehoma delovala. Stroja ni bilo mogoče izklopiti, dokler nisem iz električnega omrežja izklopil varovalko.

Takoj sem pomislil na nov stroj, saj je ta že star. Po tehtnem premisleku in daljšem iskanju po internetu sem se s pooblaščenim serviserjem le dogovoril za obisk in morebitno popravilo. Serviser se je lotil dela po ogledu situacije. Po premestitvi stroja izpod kuhinjskega pulta in odstranitvi stranskih ploskev je ugotovil, da je plastični mrežni register čiščenja pralne vode delno zamašen z usedlinami predhodnih pranj. Ugotovil je tudi, da je poseben senzor zaznal vodo pod strojem, zato je črpalka neprekinjeno delovala, kar je bilo vidno na displeju. Po čiščenju registra in odstranitvi vode izpod stroja je serviser stroj ponovno sestavil v celoto. Po preizkusu je pomivalec brezhibno deloval, stroški pa niso bili ravno majhni. Kljub letom je bilo videti, da je tudi v notranjosti stroj dobro ohranjen.

Nekaj mesecev zatem se je pojavila enaka napaka na stroju. Znašel sem se v dilemi, kaj storiti – ponovno klicati serviserja, kupiti nov stroj ali se sam lotiti popravila? Odločil sem se za zadnje. Stroj sem odklopil iz električnega omrežja, ga premaknil izpod kuhinjskega pulta, odstranil stranice. Bil sem presenečen, ker je bilo pod strojem veliko več vode kot pri prvem popravilu. Po odstranitvi plastičnega čistilnega registra, ki je vstavljen v steno pomivalnega dela stroja preko posebne gumijaste manšete, sem opazil, da ta ne tesni dobro, zato se voda počasi nabira pod strojem, kar zazna senzor in sproži alarm črpalke. Te manšete pri prejšnjem popravilu serviser ni omenjal. Po zamenjavi stare manšete z novo zdaj stroj deluje kot nov.

Včasih serviserji ne naredijo ali ne povedo vsega, kar bi morala stranka vedeti, moda tudi kaj spregledajo. Vesel sem, da sem doma sam odkril napako in tako prispeval k ponovni uporabi naprave, k ekonomiji lastnega žepa in droben delček tudi k skupni ekologiji vsaj za nekaj let, dokler bo stroj deloval.



Izgled pomivalnega stroja v kuhinji



Pomivalni stroj z zadnje strani

Elektrotehniška Revija

Revija izhaja že petindvajseto leto, v treh obsežnih številkah letno. Zaradi konsistentne strokovnosti in praktične uporabnosti revija med bralci uživa velik ugled. Je naročniška in v prosti prodaji ni na voljo.

Stalnim naročnikom nudimo tudi posebne ugodnosti - 20 % popust ob prijavi na strokovna usposabljanja.

Postanite naročnik tudi vi!

Edina strokovna revija v Sloveniji za elektrotehniko s praktično vsebino!



01/511-39-20
Stegne 7, 1000 Ljubljana
info@elektrotehniska-revija.si
www.elektrotehniska-revija.si

Spremljajte pa nas tudi na:

Strokovna usposabljanja:

- **Investicijsko in tekoče vzdrževanje objektov** | Zakonodajne zahteve
- **Vsi upravni in drugi obvezni postopki v procesu graditve objektov v skladu z GZ-1 |** UPRAVNI POSTOPKI za izdajo gradbenega in uporabnega dovoljenja, INŠPEKCIJSKI POSTOPKI v zvezi z gradnjo in POSTOPKI za pridobitev mnenj, za predhodni preizkus vplivov na okolje in za prijavo pričetka del
- **Odgovornost udeležencev gradnje za napake in za izpolnitev vseh obveznosti ter obvezno zavarovanje poklicne odgovornosti** | Vsi NOVI predpisi | Vse oblike odgovornosti in vrste obveznosti | Kazenska in odškodninska odgovornost projektantov, izvajalcev in nadzornikov za napake na objektu v času garancijske dobe in za napake v zvezi s pogodbenimi določili
- **PRAVILNIKI, STANDARDI in TEHNIČNE SMERNICE za nizkonapetostne inštalacije in zaščito pred delovanjem strele** | Vse na enem mestu
- **Zaščita pred delovanjem strele in prenapetostna zaščita** | Novi Pravilnik in Tehnična smernica
- **DELO POD NAPETOSTJO - uspešno izvajanje v praksi** | Pridružite se vi ali vaši sodelavci že več kot 500 usposobljenim za delo pod napetostjo (DPN)
- **Obratovanje in vzdrževanje električnih inštalacij in postrojev - v skladu s predpisi in slovenskim standardom SIST EN-50110** | Obveznosti delodajalca in delojemalca za varno delo na električnih inštalacijah in postrojih ter obvezni INTERNI PRAVILNIKI
- **VARNO VZDRŽEVANJE v proizvodni in infrastrukturni dejavnosti - LOTO (Lock out / Tag out = Zakleni / Označi)** | Osamitev opreme, odstranitev virov energije, zaklepanje in označevanje pri vzdrževanju s ciljem nič nezgod
- **Šola ASSET MANAGEMENTA za sodobne proizvodne in infrastrukturne sisteme** | Celovito obvladovanje celotnega življenjskega cikla strojev, opreme, naprav, nepremičnin. | Predstavitev vseh ISO, EN, TP CEN/TR, ... standardov, ki so relevantni za to področje | Investicije, obratovanje in vzdrževanje
- **Protieksplozijska zaščita - usposabljanje za varno delo v eksplozijsko ogroženih prostorih in preverjanje usposobljenosti (osnovno in obnovitveno usposabljanje)**
- **Obvladovanje ELEKTROSTATIKE v delovnem okolju** | V proizvodnji elektronike kot ESD zaščita, v >EX< področjih, tam, kjer so v prostorih in na izdelkih zahteve po tehnični čistoči, v čistih sobah, v prostorih, kjer potekajo dela s prašnimi materiali in tudi v dejavnostih kot so medicina, optika, finomehanika, telekomunikacije, v dejavnostih kjer se predelujejo termoplasti, plastični izdelki, .
- **OMREŽNINA - učinkoviti ukrepi za optimizacijo stroškov električne energije** | Nov tarifni sistem in metodologija obračunavanja
- **OBVEZNO zagotavljanje in preverjanje varnosti delovanja SONČNIH ELEKTRARN** | Nova zakonodaja in nove Tehnične smernice
- **Vzdrževanje eVOZIL in zanesljivo delovanje ePOLNILNIC** | Standardi, tehnične smernice in zakonodaja za varno upravljanje, vzdrževanje in obratovanje
- **Nova zakonodaja za SAMOOSKRBO in postavitev & priključevanje naprav iz obnovljivih virov, energetsko učinkovitost in električno mobilnost** | Vse na enem mestu
- **HRANILNIKI ELEKTRIČNE ENERGIJE - neodvisna in zanesljiva (samo)oskrba z električno energijo** | Nova zakonodaja in pogoji za priključevanje ter nove tehnologije, Tehnične smernice, zadnje stanje tehnike in subvencije
- **Male VETRNE ELEKTRARNE - načrtovanje, namestitev, ekonomika obratovanja, vzdrževanje in sofinanciranje** | V skladu z novo zakonodajo in slovenskimi standardi za poslovne in stanovanjske objekte



POROČILO PROGRAMSKEGA SVETA DVS

Piše: **mag. Andrej Androjna**, u. d. i. s., QUANTUM Consulting, Andrej Androjna s. p.

AKTIVNOSTI PROGRAMSKEGA SVETA DVS

Po ustanovitvi Programskega sveta in njegovi potrditvi konec oktobra 2024 je ta začel aktivno delovati na ravni članstva in znotraj njegovih delovnih skupin:

- DSAM – Delovna skupina za Asset Management (obstoječa),
- DSVV – Vodenje vzdrževanja,
- DSIV – Izvajanje vzdrževanja,
- DSVO – VZD in ravnanje z okoljem v vzdrževanju,
- DSIN – Inženirske tehnike vzdrževanja in
- DSDT – IT podpora in digitalna transformacija vzdrževanja.

Uvodoma je bil poudarek na aktivnostih, potrebnih za opredelitev okvira in usmeritev za delovanje PS in tudi širše v okviru DVS:

1. Poslovnik o delu PS DVS

Člani PS in DS so pripravili predlog prenovljenega Poslovnika o delu PS, ki od izdaje leta 2006 ni bil posodobljen. Predlog je bil usklajen, potrjen na IO DVS in je na voljo na spletnem portalu dokumentov.

2. Strateški program DVS

Po sklepu IO DVS je PS pripravil predloga strateškega programa DVS za novo mandatno obdobje 2025–2028. Program je bil potrjen na IO DVS v januarju in bo predvidoma predstavljen na Skupščini DVS v marcu 2025.

3. Program dela PS za mandatno obdobje 2025–2028

Pripravljen je bil program dela, vključno z vizijo in poslanstvom PS, ki se bo po potrebi dokončno uskladil in potrdil po prejemu rezultatov ankete o pričakovanjih članstva DVS.

4. Plan dela PS DVS za leto 2025

Vodje DS so s svojimi člani pripravili predloge aktivnosti in na njihovi podlagi je pripravljen plan dela celotnega PS DVS za leto 2025, ki je potrjen s strani IO DVS in objavljen na spletnem portalu. V skladu s planom so se izvedle sledeče aktivnosti:

- objava petih prispevkov članov PS v zadnjem izvodu revije Vzdrževalec in članek v reviji GZS Glas gospodarstva;
- pomembnejše novice so bile tekoče posredovane v objavo na LinkedIn, v okviru DSDT je bil objavljen podcast v obliki intervjuja s predsednikom PS z namenom promocije vzdrževanja, obvladovanja premoženja in DVS;
- januarja je v bil okviru DSIN in podjetja Tinex izveden seminar o vibro-diagnostiki in kotalnih ležajih;
- pripravljena, usklajena in objavljena je bila anketa o pričakovanjih sedanjega in potencialnega članstva, ki je še vedno aktivna na spletni strani DVS;
- februarja sta člana PS in DSAM Janez Tomažin in Andrej Androjna uspešno izvedla prvo usposabljanje za AAMC (Awareness in Asset Management Cerificate);
- pripravljen je bil program predavanj in okrogle mize v okviru Dneva vzdrževanja, ki bo hkrati tradicionalno Tehniško posvetovanje vzdrževalcev Slovenije (TPVS) na Celjskem sejmu 10. 4. 2025, na njem bodo aktivno sodelovali tudi člani PS;
- V skladu s planom se pripravljajo prihodnja usposabljanja oz. delavnice, npr.
  - metode za odkrivanje nepravilnosti v strojnih delih in konstrukcijah (DSIN),
  - nega olj za podaljšanje uporabne dobe naprav (DSAM),
  - ponovitev AAMC (DSAM),
  - vzdrževanje rotirajočih strojev (DSIV),
  - proces DN v vzdrževanju (DSVV).

Dogodki bodo pravočasno objavljeni na spletnih straneh DVS in na LinkedInu.

5. Redni sestanki PS

Koordinacija aktivnosti PS in znotraj delovnih skupin se redno izvaja na sestankih v živo in po spletu ter z neposredno komunikacijo med člani. Predsednik PS se udeležuje tudi sestankov IO DVS.

6. Mednarodno sodelovanje članov PS

Člani PS aktivno sodelujejo v različnih evropskih in svetovnih združenjih in inštitucijah (EFNMS, GFMAM, WPiAM, CEN), o čemer obdobno poročajo v reviji Vzdrževalec in na LinkedInu ter preko svojih delovnih skupin prenašajo novosti v DVS.

Vse sedanje in potencialne člane DVS vljudno vabimo k aktivnemu sodelovanju v delovnih skupinah PS, trenutno še posebej k izpolnitvi **ankete o pričakovanjih članov DVS** (1ka.si/a/846ce1ef), v kateri boste sooblikovali prihodnje delovanje društva.

Za vse informacije v zvezi z delom PS ali glede vključevanja v delovne skupine se lahko obrnete na predsednika. E-mail: andrej.androjna@quantum-consulting.si.

Predsednik PS DVS:
Andrej Androjna

Piše: **Janez Tomažin**, član EFNSM, GFMAM in WPiAM



NAŠE DRUŠTVO DVS JE PREKO SVOJIH PREDSTAVNIKOV ZELO AKTIVNO V EFNSM, GFMAM IN WPiAM

Neprofitno društvo GFMAM (*Global Forum on Maintenance and Asset Management*) https://gfmam.org/ je bilo ustanovljeno leta 2014 s sedežem v Švici. Glavni promotor ustanovitve je bil prav EFNSM (*European Federation of National Maintenance Societies*) https://www.efnms.eu/. Sedež je bil kasneje zaradi organizacijskih razlogov prestavljen v Kanado.

Vizija:

biti svetovna skupnost, ki zagotavlja voditeljstvo skupnosti za vzdrževanje in obvladovanje premoženja

Poslanstvo:

spodbujanje in razvijanje poklicev na področju vzdrževanja in obvladovanja premoženja s sodelovanjem pri razvoju znanja, standardov in praks.

Cilji:

- združevanje, spodbujanje in krepitev skupnosti za vzdrževanje in obvladovanje premoženja po vsem svetu
- podpirati ustanavljanje in razvoj društev ali institucij, katerih cilji so usmerjeni v vzdrževanje in/ali obvladovanje premoženja
- omogočiti izmenjavo in usklajevanje znanja in praks na področju vzdrževanja obvladovanja premoženja
- povečati verodostojnost organizacij članic z izboljšanjem prepoznavnosti svetovnega foruma

Imam čast in odgovornost, da v tem društvu predstavljam EFNMS. Dvakrat letno se srečujemo v živo. Tridnevni sestanki se običajno odvijajo pred konferencami o vzdrževanju in obvladovanju premoženja. Naslednja konferenca bo na primer v Kolumbiji v mesecu juniju, ko bom v imenu GFMAM tudi predaval, mag. Andrej Androjna pa bo naš predstavnik v mesecu avgustu v Avstraliji.

WPiAM (*World Partners in Asset Management*) je konec leta 2014 ustanovljeno svetovno partnerstvo nacionalnih neprofitnih strokovnih društev, ki si skupaj prizadevajo



Ljubljana, februar 2025



Maribor, marec 2025

posameznikom in organizacijam omogočiti razvoj, ocenjevanje in priznavanje kompetenc na področju obvladovanja premoženja v korist svojih članov in skupnosti obvladovanja premoženja po vsem svetu.

Namen društva:

omogočiti organizacijam in industriji, da razvijajo, ocenjujejo in priznavajo kompetence posameznikov na področju obvladovanja premoženja po vsem svetu

Poslanstvo:

- vzdrževanje in krepitev globalnega sistema certificiranja (GCS) v podporo usposobljenosti za obvladovanje premoženja
- priznavanje in potrjevanje vsebine ponudnikov usposabljanja in kvalifikacij na področju obvladovanja premoženja
- ostati neodvisno neprofitno, večjezično in vključujoče združenje
- ostati usklajen z gradivi GFMAM in ISO

Vrednote:

- integriteta
- dolžnost do globalne skupnosti obvladovanja premoženja
- sodelovanje

WPiAM ima nadzorni svet, katerega član sem tudi sam. Tehnični tim je odgovoren za pripravo vprašanj in izvedbo testiranj posameznikov, medtem ko za usklajevanje finančnega dela najemajo profesionalno podjetje. Nadzorni svet ima mesečne spletne sestanke, na katerih usklajujemo strategijo in aktivnosti. Več na: https://www.wpiam.com/en_uk/.

Tehnični tim WPiAM je potrdil EFNMS kot priznanega izvajalca usposabljanja AAMC (*Awareness in Asset Management Certificate*) oziroma Certifikat o osnovnem poznavanju obvladovanja premoženja. EFNSM je doslej izvedel štiri usposabljanja in podelil 73 certifikatov. Poleg Italije in Grčije sva dve usposabljanji izvedla tudi z mag. Andrejem Androjno v Sloveniji.



Piše: mag. **Viktor Jemec**



UREDNIŠKI ODBOR REVIJE VZDRŽEVALEC NA ZVD

Člani uredniškega odbora (UO) smo na povabilo prijaznega predstojnika Centra za tehnično varnost in strokovne naloge in člana UO mag. Ivana Božiča obiskali Zavod za varstvo pri delu (ZVD).

Obravnavali smo pridobivanje člankov za revijo Vzdrževalec, ki bo izšla v treh mesecih celo v dveh izdajah, kar je precejšen zalogaj za prostovoljno društvo vzdrževalcev. Najprej smo obravnavali revijo Vzdrževalec št. 211-212, ki izide pred skupščino 26. marca 2025, nato pa še ob 50. obletnici DVS izdajo revije št. 213-214, ki bo na voljo pred Dnevom vzdrževanja 10. aprila 2025, na katerem bodo strokovnjaki s področja vzdrževanja predstavili svoja predavanja tako v živo v dvorani Celjanka na Mednarodnem industrijskem sejmu (MIS 2025) kot tudi v reviji Vzdrževalec. Ukvarjali smo se še z navajanjem literature in s spremembami poslovnika UO, ki pa so še v dopolnjevanju.

Predstojnik Centra mag. Ivan Božič nam je podal še organiziranost in delovanje ZVD-ja. ZVD je bil ustanovljen davnega leta 1960 kot Zavod LRS za zdravstveno in tehnično varnost. Sprva je izvajal naloge na področju zdravstvenega in tehničnega varstva, proučeval psihološke, fiziološke in tehnične elemente varnosti v prometu, zlasti v cestnem prometu.

ZVD že 65 let zagotavlja vrhunske in celovite storitve na področju zdravja, tako v delovnem kot življenjskem okolju. Je vodilna in referenčna ustanova na področju varnosti in zdravja pri delu v Sloveniji. Z neprestanim vlaganjem v razvoj širi svoje delovanje in tako danes pod eno streho združuje storitve, ki jih izvajajo strokovnjaki na področjih medicine dela prometa in športa, varnosti in zdravja pri delu, tehnične varnosti, varstva pred sevanji, ekologije in toksikologije ter mnogih drugih področjih. Izvaja tudi izobraževanja in usposabljanja na vseh teh področjih ter izdaja strokovne publikacije.



Medicina dela

ZVD je največja in vodilna ustanova na področju medicine dela v Sloveniji. S stalnim vlaganjem v razvoj dejavnosti preventivne in športne medicine se je razvila v medicinski center, ki zagotavlja širok razpon sodobnih medicinskih storitev na visoki ravni. Vrhunski strokovnjaki, lastni laboratoriji in sodobna diagnostična oprema omogočajo ustanovi opravljanje vrhunskih zdravstvenih storitev z natančnimi in hitrimi rezultati.

Varnost in zdravje pri delu

Za zmanjševanje možnosti poškodb in drugih nevarnosti za zdravje na najnižjo možno raven so strokovnjaki opremljeni z aktualnimi interdisciplinarnimi znanji, najsodobnejšo opremo, tehnološkimi rešitvami in dolgoletnimi izkušnjami. To vključuje temeljito poznavanje veljavne zakonodaje in uvid v dejanske potrebe delodajalcev in zaposlenih.

Strokovnjaki opravljajo vse strokovne naloge s področja varnosti in zdravja pri delu, varstva pred požarom in tehničnega varstva v skladu z veljavnimi predpisi in standardi. Strokovna znanja, pridobljena z več kot 60-letnimi izkušnjami, so neprecenljiva za naročnike storitev, ki cenijo praktično in teoretsko svetovanje. Največ poudarka dajejo preventivnim dejavnostim, ki imajo ugodne učinke na zdravje in dobro počutje zaposlenih, za delodajalce pa pomenijo neposredno finančno korist, saj se izognejo negativnim dogodkom in nepotrebnim stroškom. Ključno je, da so zaposleni s preventivnimi dejavnostmi dobro seznanjeni, zato organizirajo tudi številna usposabljanja.

Zdravo okolje

Zdravo okolje bistveno vpliva tako na kakovost življenja kot na delovne rezultate. V ZVD Zavodu za varstvo pri delu delujejo štirje okoljski laboratoriji. Opravljajo akreditirane,



K. Domitrovič, B. Šinkovec, V. Jemec, I. Božič, J. Pihler in D. Cafuta

profesionalne in neodvisne meritve, ki so nujne, če želimo zagotoviti zdravo delovno in življenjsko okolje na naslednjih področjih:

- varstva pred ionizirajočimi sevanji in osebne dozimetrije,
- meritve radioaktivnosti,
- ekologije in toksikologije,hrupa in gradbene akustike,
- toplotnega udobja in osvetljenosti.

Za področje vzdrževanja so izmed področij še posebej pomembne storitve Laboratorija za ekologijo in toksikologijo, v katerem z meritvami emisij in imisij ugotavljajo čistost zraka in vplive nanjo. Med drugim opravljajo tudi meritve in analize na delovnih mestih, kjer se uporabljajo kemične snovi. V ta sklop dejavnosti sodijo meritve, analize in ocene izpostavljenosti delavcev kemičnim snovem v obliki trdnih delcev, hlapov, aerosolov in plinov, kemijske analize bioloških vzorcev (snovi in metabolitov v urinu) delavcev, ki so pri delu izpostavljeni kemičnim snovem, in kemijske analize vzorcev zraka iz delovnega, zunanjega, bivalnega okolja ter emisij.

Gostitelju Ivanu se zahvaljujemo za prijetno okolje in pogostitev in mu želimo še uspešno delo na ZVD.

POROČILO Z DELAVNICE V TINEXU

Piše: mag. **Viktor Jemec**



IZOBRAŽEVANJE JE KLJUČ DO USPEHA

V organizaciji Društva vzdrževalcev Slovenije (DVS) ter podjetij Tinex in Tinex industrijska diagnostika iz Šenčurja pri Kranju je bilo v četrtek, 30. januarja 2025, od 9. do 14. ure z več kot 30 udeleženci v dvorani podjetja Tinex izvedeno zelo uspešno usposabljanje o vibrodiagnostiki in kotalnih ležajih.

Za uspešno delovanje in racionalno gospodarjenje podjetij moramo čimbolj natančno poznati »kondicijo« svojih strojev in naprav. Tako je mogoče pravočasno izvajati potrebne vzdrževalne posege in se izogniti neprijetnim presenečenjem s preventivnim vzdrževanjem, danes predvsem s predvidljivim vzdrževanjem. Nenadne okvare pomenijo prekinitev proizvodnega procesa, ogrožajo varnost in zdravje zaposlenih in so tudi izvor nepotrebnih stroškov, zmanjšati je potrebno kurativno vzdrževanje. Pomembno vlogo pri pridobivanju informacij o dejanskem stanju strojev imata merjenje in analiza mehanskih vibracij. Gre za eno najstarejših in tudi najbolj razširjenih metod tehniške diagnostike. Tu pa vstopamo na področje vzdrževanja po stanju, ki zahteva drage diagnostične naprave, ki se sicer cenijo, več znanja in usposabljanja, podaljšujemo pa življenjsko dobo strojnih delov in zanesljivost delovanja.

Prvo predavanje je izvedel dr. Samo Ulaga, ki je strokovno predstavil zelo široko in najmodernejšo problematiko diagnostike, ki spada na področje vzdrževanja po stanju (CBM), in tudi



Marjan Skubic je predaval o pravilni izbiri, montaži in mazanju ležajev



Montaža in demontaža ležajev

podjetje Tinex industrijsko diagnostiko d. o. o., v katerem opravlja vlogo direktorja. Diagnostika je skupno ime za aktivnosti, s pomočjo katerih na podlagi opazovanja različnih fizikalnih veličin ugotavljamo stanje tehniških sistemov z namenom zagotavljanja varnosti, zanesljivosti in učinkovitosti delovanja. Mogoče jo je uporabiti v skoraj vseh vejah industrije, strokovnjaki pa sodelujejo tudi z Univerzo v Mariboru ter s podjetjem Messfeld iz Celovca.

Pravilna izbira ležajev, primerno oblikovanje ležajnih mest ter pravilna montaža in vzdrževanje, ki je vezano predvsem na ustrezno mazanje ležajev, že v osnovi zagotavljajo daljšo življenjsko dobo ležajev in manj zastojev delovnih procesov. Sodobni načini avtomatskega mazanja omogočajo pravilno mazanje vsakega ležaja in manjšo porabo maziv, pametni mazalni sistemi pa stalen pregled nad delovanjem mazalnih naprav. Vse to vpliva na zanesljivost obratovanja, zmanjšanje stroškov ter manjšo obremenitev zaposlenih in okolja, predvsem pa zagotavlja večjo varnost obratovanja.

Udeleženci so dobili vpogled v ključne metode za zagotavljanje zanesljivega delovanja strojev. Poudarek je bil na merjenju in analizi vibracij ter pravilni izbiri, montaži in mazanju kotalnih ležajev.



Dr. Samo Ulaga kaže uporabo laserske tehnike centriranja gredi

Ključne teme usposabljanja so bile:

- teoretične osnove merjenja vibracij in njihova uporaba,
- praktične metode diagnostike in preventivnega vzdrževanja,
- avtomatsko in pametno mazanje ležajev za večjo učinkovitost.

Udeležence je pozdravil vodja tehnike Marjan Skubic, ki je na kratko predstavil uspešen razvoj celotne skupine Tinex. V imenu DVS je udeležence pozdravil urednik Vzdrževalca Viktor Jemec, ki je poudaril pomembnost vzdrževanja v prehod v industrijo 4.0 in se zahvalil podjetju Tinex za pomoč pri obveščanju in za prostor.

Skozi teoretični in praktični del so udeleženci pridobili dragocena znanja, ki jih bodo lahko uporabili v svojem delovnem okolju. Vsem sodelujočim in predavateljem se zahvaljujemo za odlično izvedbo in izmenjavo izkušenj. Udeleženci so spoznali, kako je možno izboljšati razpoložljivost strojev, zmanjšati nepredvidene okvare in stroške vzdrževanja. Tinexu, Tinex industrijski diagnostiki in DVS se posebej zahvaljujemo za ta dogodek. Takih delavnic si še želimo, so izjavljali navdušeni udeleženci.

https://www.tinex-diagnostika.si/index.php
https://www.tinex.si/aktualno/izobrazevanje-je-kljuc-do-uspeha
https://www.tinex.si/

Piše: mag. **Viktor Jemec**



DVS NA STROKOVNEM SEJMU IFAM – INTRONIKA – ROBOTICS 2025



Na sejmu *IFAM – INTRONIKA – ROBOTICS 2025*, ki je potekal na Gospodarskem razstavišču v Ljubljani od 11. do 13. februarja 2025, nas je letos gostilo podjetje MARCELINO d.o.o., katerega direktor mag. Jurij Cvikl je omogočil DVS predstavljanje na njihovem razstavnem prostoru. Prejeli smo tudi brezplačne karte za obisk sejma. Prejšnja leta nam je omogočilo sodelovanje podjetje INSTRO d.o.o.

Na sejmu IFAM – INTRONIKA – ROBOTICS 2025 smo se lahko seznanili z načini p***oslovanja in s prodajnimi priložnostmi*** kvalitetno predstavljenih izdelkov, z uspešnimi rešitvami, s prikazom inovacij in z razvojem novih trgov ter z mednarodno distribucijo.

Omogočeno je bilo mreženje in poslovne priložnosti. Ti sejmi že dvajset let (od 2005) ustvarjajo močno in široko regionalno mrežo poslovnih priložnosti. So stičišče in center zbiranja, srečujejo se namreč strokovnjaki, podjetja in potencialni kupci, da navežejo medsebojne stike in razvijejo strateška partnerstva.

Seznanili smo se z novostmi v industriji in z gibanji tržnih trendov. Predavanja in predstavitve v okviru Business foruma in sejmov ohranjajo podjetja na tekočem, spodbujajo prilagodljivost in dvigujejo močno konkurenčnost. Za predstavitve proizvodov so bile namenjene tri sejemske dvorane preko 7.000 m^2 sejemskih površin.

IFAM *(ustanovljen 2005)*je najstarejši strokovni sejem v tej organizaciji in v letu 2025 praznuje dvajset let obstoja. Odzvala so se inovativna, k rešitvam usmerjena podjetja. IFAM je B2B sejem za avtomatizacijo, mehatroniko, montažo in operativno tehnologijo, sisteme pozicioniranja, procesno in industrijsko avtomatizacijo, tehnologijo pogonov, senzoriko, merilno, testno in označevalno tehnologijo, identifikacijo in avtomatsko zajemanje podatkov, računalniški vid, industrijo 4.0, lasersko tehnologijo in fotoniko, umetno inteligenco (UI), 3D-tiskanje in skeniranje …

INTRONIKA *(ustanovljena 2006)*kot vodilni regionalni strokovni sejem elektronike pokriva celoten spekter sodobne elektronike in omogoča veliko prostora za strokovno izmenjavo in mreženje iz vsebinskih segmentov profesionalne in industrijske elektronike, komponent, polprevodnikov, vgrajenih sistemov, mikro- in nanosistemov, elektronskega designa, pasivnih komponent, displejev, merilne tehnike, perifernih enot, elektromehanskih sistemov, napajalnikov, virov električne energije ...



DVS na razstavnem prostoru podjetja Marcelino d.o.o.

ROBOTICS *(samostojen od 2017, pred tem sestavni del sejma IFAM)*je posvečen izključno vsebinam robotike, kot so: industrijska robotika, specialni roboti, profesionalna servisna robotika, robotski mobilni sistemi & vozila, roboti za specialna področja, logistika, medicina, varnost, čiščenje, konstruiranje, rušenje, humanoidni roboti, komponente za robote, prijemala, navigacija, manipulacija …

Zahvaljujemo se podjetju Marcelino d.o.o za brezplačno gostovanje.

Piše: izr. prof. **dr. Mateja Dovjak**, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana



POROČILO SLOVENSKEGA DRUŠTVA ZA AKUSTIKO (SDA)

SDA – Slovensko društvo za akustiko (v nadaljevanju društvo), https://www.drustvo-akustika.si/2019/05/06/o-drustvu/, je prostovoljno in nepolitično strokovno združenje občanov, ki so se združili, da bi uresničevali svoje interese na področju akustike, hrupa in vibracij. Društvo ima sedež na Jamovi cesti št. 2 v Ljubljani.

Zgodovina SDA. Slovensko društvo za akustiko (SDA) je ustanovil prof. dr. Mirko Čudina 22. oktobra 1997 v Ljubljani. Na ustanovni skupščini je bilo prisotnih preko 50 članov, ki se aktivno ukvarjajo z akustiko, hrupom in vibracijami. Slovensko društvo za akustiko je neprofitna strokovna organizacija, katere osnovni namen je pomoč slovenskim inženirjem, da bodo lahko v vse strožjih zahtevah po zmanjševanju hrupa in po čim tišjih izdelkih uspešno konkurirali na zahtevnih tujih trgih. Danes ima društvo 66 individualnih in kolektivnih članov, ki delujejo na različnih področjih akustike, kot so: tehnična, arhitekturna, gradbena, podvodna, elektro, glasbena, psihofiziološka (medicinska), bioakustika, okoljevarstvena in druge smeri akustike. Društvo skrbi za močno povezavo med industrijo in univerzo v Sloveniji in na tujem. Slovensko društvo za akustiko je član več tujih in domačih združenj, kot so: EAA (European Acoustics Association), ICA (International Commission for Acoustics), I-INCE (International Institute of Noise Control Engineering), IIAV (International Institute for Acoustics and Vibration), ZSITS (Zveza strojnih inženirjev Slovenije). Aktivnosti društva so definirane v statutu društva. Društvo se ukvarja z izobraževanjem, organizacijo predavanj, seminarjev, mednarodnih kongresov in delavnic na temo akustika. Društvo aktivno sodeluje pri kreiranju in izpopolnjevanju nacionalne zakonodaje in mednarodnih standardov s področja akustike.

Praviloma vsaki dve leti društvo organizira kongres z mednarodno udeležbo. Prvi, drugi in tretji kongres z močno mednarodno udeležbo je bil v Portorožu leta 1998, 2000 in 2003. Leta 2000 je SDA v sodelovanju z avstrijskim in hrvaškim društvom za akustiko (AAA in HAD) ustanovilo regionalno združenje Alps Adria Acoustics Association (AAAA), katerega prvi predsednik je bil prof. Mirko Čudina, ki je organiziral tudi prvi kongres AAAA leta 2003 v Portorožu. Predsedniki AAAA se menjavajo s predsednikom tistega društva, ki je na vrsti za organizacijo naslednjega kongresa. Od takrat je bilo organiziranih že 10 kongresov, drugi leta 2005 v Opatiji v organizaciji HAD pod vodstvom predsednika društva prof. Bojana Ivančevića, tretji leta 2007 v Gradcu v Avstriji v organizaciji AAA pod vodstvom predsednika prof. Evalda Benesa, četrti v okviru evropskega kongresa EUROREGIO leta 2010 v Ljubljani v organizaciji SDA pod vodstvom predsednika prof. Mirka Čudine, peti leta 2012 v Petrčanih pri Zadru v organizaciji HAD pod vodstvom predsednika društva prof. Bojana Ivančevića, šesti leta 2014 v Gradcu v Avstriji v organizaciji AAA pod vodstvom predsednika prof. Gregorja Widholma in dr. Franza Grafa. 7. kongres AAAA se je uspešno izvedel 22. in 23. septembra 2016 v Ljubljani v organizaciji Slovenskega društva za akustiko in pod predsedovanjem predsednika SDA prof. dr. Mirka Čudine. Na vseh dosedanjih kongresih so sodelovali številni vabljeni predavatelji, svetovno priznani profesorji in strokovnjaki iz Združenih držav Amerike, Nemčije, Velike Britanije, Japonske, Italije, Rusije, Francije, Avstrije, Hrvaške in Slovenije. V letu 2018 je potekal kongres na Hrvaškem, v Zagrebu, 2021 na Madžarskem, v Budimpešti. V letu 2023 je kongres AAAA potekal v Sloveniji, v Izoli. V letu 2025 pa bo 11. kongres AAAA potekal na Hrvaškem, v Varaždinu (18. in 19. septembra).

Skupščina SDA. Skupščina društva je najvišji organ društva in jo sestavljajo vsi člani društva. Člani društva se redno sestajajo na redni letni skupščini pred koledarskim letom ali po njem. V letu 2025 smo imeli redno letno skupščino, ki je obravnavala aktivnosti za leto 2024. Redna letna skupščina je bila sklicana dne 13. 2. 2025 na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, Hajdrihova ulica 28, Ljubljana (predavalnica H001, 10.30–12.00). Skupščina se lahko sklicuje tudi izredno, če razmere v društvu tako narekujejo. Redno skupščino sklicuje predsednik društva na predlog sklepa Upravnega odbora vsako leto, pri čemer vnaprej obvesti člane društva o predlaganem dnevnem redu najmanj en teden pred sejo skupščine. Pobudo za sklic izredne skupščine da Upravni odbor ali vsaj 10 članov društva.

Skupščina v letu 2025 je potekala 13. 2. Vsem članom smo posredovali vabilo s točkami dnevnega reda:

- Poročilo o delu društva za leto 2024, seznanitev/potrditev s finančnim poročilom
- Program dela društva za leto 2025
- Članarina za leto 2025 in evidenca članov SDA (sprejem novih članov)
- Aktualne informacije o 11. Kongresu AAAA, Hrvaška
- Razno

Člani so se odzvali glasovanju, pripomb ni bilo.

Aktivnosti 2024. V letu 2024 je potekala organizacija 11. mednarodne znanstvene konference Alps Adria Acoustics Association, Hrvaška, https://www.alpsadriaacoustics.eu/. Glavni organizator: Hrvaško društvo za akustiko, ob njem HAD in soorganizatorji OPAKFI, Madžarska, in SDA, Slovenija. V uredniškem odboru sodelujemo tudi člani SDA. Izvedli smo več srečanj UO in delovne skupine za pripravo pritožbenika o hrupu toplotnih črpalk. Vse zainteresirane vabimo k izpolnjevanju: https://www.drustvo-akustika.si/2024/06/28/hrup-toplotnih-crpalk-vprasalnik/.

Na skupščini društva 2025 smo poleg letnega poročila o delu in poročila blagajnika obravnavali tudi stanje članstva. Številčno stanje društva je 66 individualnih članov in 2 kolektivna.

Pri točkah dnevnega reda smo posebno pozornost posvetili odzivom na pritožbenik o hrupu toplotnih črpalk (predstavila ga je ga. Klara Kopavnik, IMS Merilni sistemi) ter predstavitvi Mednarodnega dneva ozaveščanja o hrupu s strokovnim posvetom (predstavila ga je dr. Sonja Jeram, NIJZ).

Predsednik društva zastopa in predstavlja društvo doma in v tujini. Njegove obveznosti so skrb za izvrševanje sklepov skupščine, skrb za zakonito poslovanje društva, vodenje seje skupščine, sklicevanje in vodenje seje Upravnega odbora in opravljanje drugih zadev, ki jih določata statut društva in program dela za tekoče leto. Predsednik se udeležuje tudi skupščin mednarodnih asociacij, katerih član je SDA (EAA, I-INCE, ICA, IIAV).

- V letu 2025 so se v okviru društva vršila redna srečanja članov ali ožjih skupin z namenom strokovnih izmenjav informacij, znanja in izkušenj, spremljanja najnovejših trendov in izobraževanja članov pri sprejemanju novih slovenskih Uredb, Pravilnikov in standardov v okviru Tehničnega odbora za akustiko pri SIST (Slovenskem inštitutu za standardizacijo), nudenja pomoči pri objavah strokovnih in znanstvenih člankov itn.
- Na SDA strani https://www.drustvo-akustika.si/ so dostopne aktualne informacije posveta o vetrnih elektrarnah, o problematiki hrupa obratovalne opreme in toplotnih črpalk ter zbornik povzetkov in člankov kongresa AAAA.

Pri poslovanju društva skrbimo za nemoteno funkcioniranje društva, plačevanje članarine v treh mednarodnih združenjih, katerih člani smo (EAA, I-INCE in ICA), za sprejem novih članov in za servisiranje bančnih in računovodskih storitev s posebno skrbjo za pozitivni saldo društva. Cilji društva so bili večinoma uresničeni. Prizadevali si bomo, da bi v letu 2025 pridobili še več novih individualnih in kolektivnih članov društva ter uspešno realizirati kongrese in posvete.

Predsednica društva:
izr. prof. dr. Mateja Dovjak



MARKETINŠKO SPOROČILO

VZDRŽEVANJE NA OSNOVI STANJA ZA VSAKOGAR

Začnite ga z instrumentom ADASH 4900 Vibrio M.

Kljub temu, da je majhen, nudi veliko možnosti.
Sestavni del merilnika vibracij je ekspertni sistem, ki namesto vas naredi analizo meritev in ugotovi napake in okvare na stroju.

Ta ekspertni sistem je vgrajen v vsak ADASH 4900 Vibrio M. Meritve vibracij in analizo podatkov je Vibrio M približal vzdrževalcem, ki niso eksperti za vibracije.

Ekspertni sistem:

samodejno ugotovi in prikaže napake in okvare stroja



Vklopi in začni z meritvami!
Ni potrebno narediti nobenih nastavitev, takoj začneš z meritvami.

- FFT, valovna oblika
- pospešek, hitrost, premik
- ISO 10816 standard
- deluje 8 ur
- IR termometer
- Stetoskop
- USB-C komunikacija
- LED Stroboskop

NE MOREMO SI VEČ ZAMISLITI VZDRŽEVANJA PO STANJU BREZ Vibrio M!

VIBRIO M

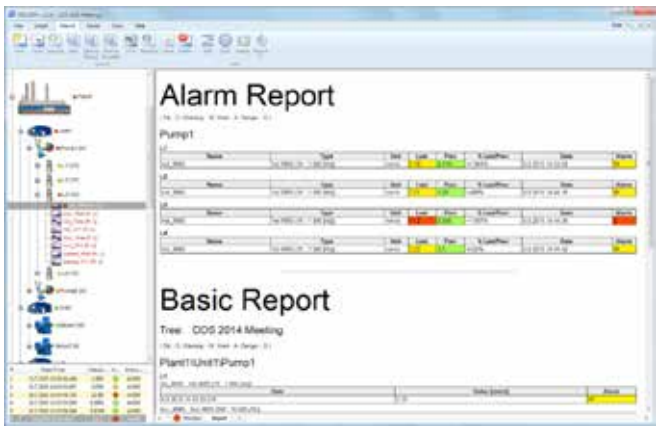
Vse je že nastavljeno – samo vklopi in meri.

VIBRIO M + brezplačen DDS SOFTWARE



Brezplačna programska oprema DDS za zbiranje podatkov po določeni poti, prikaz trendov izmerjenih vrednosti

Poročila: osnovno poročilo, poročilo o alarmih





Primer meritve premika osi/gredi s senzorjem za približevanje

Zbiranje in prenos podatkov na računalnik

Vibrio M je skupaj z brezplačno programsko opremo DDS najlažji začetek vašega programa vzdrževanja, ki temelji na stanju strojev.

Redno zbirajte podatke z Vibrio M in jih uvozite v programsko opremo DDS. Spremljajte trende vibracij, dejansko stanje strojev in ga primerjajte z dovoljenimi nivoji vibracij.

Vibrio M je izdelan za najtrše pogoje v industriji.

Vsebuje:

- trpežno ohišje,
- LED svetilko,
- merjenje signalov senzorjev za približevanje (merjenje dviga osi/gredi – izbirno naročilo),
- priključek USB-C za prenos podatkov.

Instro d.o.o.
Stegne 7, 1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: info@instro.si, tel.: +386 (0)40 243 755
www.instro.si

EASY-LASER®



Spoznajte svoj stroj *iz vseh kotov*

Z Easy-Laser® XT sistemi za poravnavo gredi omogočite vašim rotacijskim strojem najboljše predpogoje za optimalno delovanje in maksimalno obratovanje brez okvar.
Easy-Laser omogoča vse pomembne vidike montaže strojev:

- ✓ Poravnavo gredi
- ✓ Meritev ravnosti in ukrivljenosti pritrdilnih plošč stroja
- ✓ Preverjanje »mehke noge«
- ✓ Dinamične meritve

EASY-LASER XT

Prenesite in preizkusite BREZPLAČNO aplikacijo XT Alignment

Instro d.o.o.
www.instro.si info@instro.si T: 040 243 755



od 1996
MAXIMO
v Sloveniji

V Slovenijo smo prvi pripeljali **celovit računalniško podprt informacijski sistem za vzdrževanje** in podporo pri odločanju na področju upravljanja s sredstvi. IBM Maximo se je kot najboljša globalna rešitev za Enterprise Asset Management v tem času **dokazal tudi v najbolj zahtevnih produkcijskih okoljih** slovenskih energetskih in proizvodnih podjetij. V podjetju **KOPA z usposobljeno in izkušeno ekipo strokovnjakov za IBM Maximo** prevzemamo najzahtevnejše projekte doma in v regiji.

MAXIMO® je registrirana blagovna znamka podjetja IBM.

KOPA

produktivnost
vodenje in nadzor
razpoložljivost
stroški
varnost
kakovost
poslovna uspešnost
učinkovitost

Premier Business Partner IBM™

KOPA d.d. I Kidričeva 14 I 2380 Slovenj Gradec I T: 02 88 39 700 I www.kopa.si I info@kopa.si