



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Elektroenergetika

Modul: Vodenje obratovanja elektroenergetskih sistemov

**PREVENTIVNO ELEKTRO VZDRŽEVANJE
CNC STROJEV ZA ZMANJŠANJE IZPADOV
V PROIZVODNJI**

Mentor: mag. Georgi Zlatarev, univ. dipl. inž. el
Lektorica: Jana Vaupotič, mag. prof. slov.

Kandidat: Benjamin Barbarič

Ljubljana, julij 2026

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Georgiju Zlatarevu, univ. dipl. inž. el., za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Jani Vaupotič, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebna zahvala je namenjena moji družini za vso podporo, razumevanje in spodbudo skozi celoten študij. Hvala, ker ste verjeli vame, mi stali ob strani in me spodbujali pri doseganju zastavljenih ciljev.

Zahvaljujem se tudi prijateljem ter vsem, ki so me na kakršen koli način podpirali, spodbujali in prispevali k uspešnemu zaključku študija.

Vsem iskrena hvala.

IZJAVA

Študent Benjamin Barbarič izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal/a pod mentorstvom mag. Georgija Zlatareva, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole in v institucionalnem oz. nacionalnem repozitoriju (COBISS).

Dne: 26. 7. 2026

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomska naloga obravnava preventivno elektro vzdrževanje CNC strojev kot metodo za pravočasno odkrivanje vzrokov okvar in posledičnega zmanjšanja izpada proizvodnje CNC strojev.

Teoretični del pojasnjuje osnovne električne komponente CNC stroja ter različne metode vzdrževanja, ki so odvisne predvsem od finančnih zmogljivosti in usmeritev podjetij. Pojasnjeni so najpogostejši vzroki okvar in izpadov pri CNC strojih ter primer načrta preventivnega elektro vzdrževanja CNC stroja na podlagi opisanih vzrokov okvar in izpadov delovanja CNC strojev.

V praktičnem delu so prikazani primeri najpogostejših okvar, potek diagnostike ter odprava okvar. Nadalje so prikazani rezultati uvedenega preventivnega elektro vzdrževanja na podlagi primerjalnih izračunov in nasvetov za zmanjšanje vzrokov za okvare, ki smo jih dopolnili s predlogi za izboljšanje in optimizacijo elektro vzdrževanja CNC strojev.

KLJUČNE BESEDE

- CNC stroj
- elektro vzdrževanje
- okvara
- diagnostika
- preventiva

SUMMARY

This thesis addresses preventive electrical maintenance of CNC machines as a method for timely detection of failure causes, resulting in reduction of CNC machine production downtimes.

Theoretical part explains the basic electrical components of CNC machines, and various methods of machine maintenance, which depend mainly on the companies financial capabilities and their internal policies. We explained most common causes of machine failures and downtimes as well as an example of a plan for preventive electrical maintenance of CNC machine which is based on described causes of failures and downtimes of CNC machine.

The practical part shows examples of most common machine electrical failures, their diagnostics and process of eliminating these failures. Furthermore, we represented the results of introduced preventive maintenance, which is based on comparative calculations and advice for reducing the causes of failures, which we supplemented with suggestions for improvement and optimization of electrical maintenance of CNC machines.

KEYWORDS

- CNC machine
- electrical maintenance
- failure
- diagnostics
- prevention

KAZALO

1 UVOD.....	1
1.1 Predstavitev problema	1
1.2 Cilji naloge	1
1.3 Predstavitev okolja.....	1
1.4 Predpostavke in omejitve	2
1.4.1 Predpostavke	2
1.4.2 Omejitve	2
1.5 Metode dela	2
2 TEORETIČNE OSNOVE	3
2.1 CNC stroji.....	3
2.2 Sestava CNC stroja	4
2.3 Elektro komponente CNC strojev.....	7
2.3.1 Krmilnik	7
2.3.2 Napajalna enota in napajalniki.....	7
2.3.3 Motorji in pogoni	7
2.3.4 Enkoderji	8
2.3.5 Releji in kontaktorji	10
2.3.6 Končna stikala in senzorji bližine	10
2.3.7 Varnostni elementi.....	12
2.3.8 Krmilni panel.....	13
2.3.9 Ventilatorji in hladilne naprave	13
2.3.10 Odklopniki, varovalke	14
2.3.11 Kabli, vodniki in konektorji	14
3. ELEKTRO VZDRŽEVANJE CNC STROJEV	16
3.1 Vzroki okvar in izpadov pri CNC strojih.....	17
3.1.1 Elektroenergetski vzroki	17
3.1.2 Strojni in okoljski vzroki	17
3.1.3 Človeški faktor.....	18
3.2 Orodja in merilna oprema	19
3.3 Načrt preventivnega elektro vzdrževanja	21
3.3.1 Pregledna tabela	21
3.3.2 Točkovna lista	24
3.3.3 Seznam okvar	26

3.3.4 Seznam standardnih rezervnih delov.....	27
4 ŠTUDIJA PRIMERA IZ PRAKSE.....	28
4.1 Primeri okvar in analiza	28
4.1.1 Poškodba kabla v energijski verigi.....	28
4.1.2 Pregorela varovalka kombinirane servo enote	32
4.1.3 Pregretje kontakta na konektorju	34
4.1.4 Izguba referenc osi stroja	37
4.2 Stroški okvare CNC stroja – uporaba zunanjega izvajalca, serviserja CNC stroja.....	37
4.2.1 Izračun stroška izpada proizvodnje CNC stroja	38
4.2.2 Izračun stroška zunanjega serviserja CNC stroja	38
4.2.3 Izračun celotnega stroška okvare CNC stroja.....	39
4.2.4 Podatki za izračun stroškov okvare CNC stroja	39
4.2.5 Izračun stroškov okvare CNC stroja	40
4.3 Optimizacija stroškov okvare CNC stroja – uporaba lastnega vzdrževalnega osebja	42
4.3.1 Izračun stroška lastnega vzdrževalca CNC stroja.....	42
4.3.2 Primer 1: Poškodba kabla v energijski verigi.....	44
4.3.3 Primer 2: Pregorela varovalka kombinirane enote	45
4.3.4 Primer 3: Pregretje kontakta na konektorju.....	46
4.3.5 Primer 4: Izguba referenc	46
4.3.6 Ugotovitve	47
4.4 Predlogi za izboljšavo in optimizacijo vzdrževanja.....	48
4.4.1 Digitalizacija zapisov o vzdrževanju.....	48
4.4.2 Spremljanje stanja stroja v realnem času	49
4.4.3 Usposabljanje vzdrževalcev	49
4.4.4 Analiza CNC alarmov	49
4.4.5 Varnostno kopiranje podatkov CNC.....	50
5 ZAKLJUČEK	51
6 VIRI IN LITERATURA	52

KAZALO SLIK

Slika 1: CNC stroji	3
Slika 2: Sestavni deli CNC stroja	5
Slika 3: Transporterji ostružkov (zgoraj) in podajalci palic (spodaj)	6
Slika 4: Industrijski roboti	6
Slika 5: Servo motorji in servo pogoni	8
Slika 6: Rotacijski optični enkoder	9
Slika 7: Mehanski enkoder	9
Slika 8: Rele, kontaktor	10
Slika 9: Kapacitivni, induktivni in optični senzorji	11
Slika 10: Končna stikala	11
Slika 11: Svetlobna zavesa	12
Slika 12: Krmilni panel Fanuc, Siemens, Heidenhain	13
Slika 13: Motorno zaščitno stikalo, varovalke	14
Slika 14: Servo kabli motorjev in enkoderjev	15
Slika 15: Industrijski in military konektorji	15
Slika 16: Vpliv okolja na ventilatorje (desno) in prezračevalne kanale (levo)	18
Slika 17: Poškodovani kabli zaradi neupoštevanja navodil	19
Slika 18: Multimeter, kleščni ampermeter	20
Slika 19: Termokamera	21
Slika 20: Slab stik na sponki 110 V	29
Slika 21: Energijska veriga	30
Slika 22: Poškodba kabla	31
Slika 23: Ventilator, izpostavljen vplivom okolja	34
Slika 24: Posnetek pregretega spoja s termografsko kamero	35
Slika 25: Pregret spoj	36
Slika 26: Staljen kabel zaradi napačnega priklopa	36

KAZALO TABEL

Tabela 1: Pregledna tabela	24
Tabela 2: Točkovna lista	26
Tabela 3: Seznam okvar	26
Tabela 4: Seznam standardnih delov	27

POJMOVNIK

feedback loop: povratna zanka, proces, pri katerem se izhod nekega sistema ali naprave poveže nazaj na vhod naprave ali sistema, kjer se nato uporabi za ponastavitev, regulacijo ali izboljšanje izhodnega signala

military konektorji: znani tudi kot MIL-SPEC ali MS konektorji, ki so posebni konektorji, ki ustrezajo vojaškim standardom in se zaradi svojih visoko odpornih lastnosti na vplive okolja uporabljajo v industrijskem okolju

KRATICE IN AKRONIMI

AC: iz angl. Alternating Current – izmenični (električni) tok

APC: iz angleške besedne zveze Absolute Pulse Coder, absolutni kodirnik (enkoder)

CNC: iz angl. Computer Numerical Control – računalniško numerično krmiljenje

DC: iz angl. Direct Current – enosmerni (električni) tok

HMI: iz angl. Human Machine Interface – vmesnik med človekom in strojem

MCU: iz angl. Main Control Unit – glavna kontrolna enota, krmilnik

OZS: Obrtna zbornica Slovenije

PLC: iz ang. Programmable logic controller – programirljiv logični krmilnik (PLK)

PSU: iz angl. Power supply unit – napajalna enota

SP: okrajšava iz angl. Spindle – vreteno

SV: okrajšava za Servo, običajno se uporablja tudi kot okrajšava za servo enoto

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

V sodobni proizvodnji CNC stroji predstavljajo ključne elemente za zagotavljanje kakovosti, ponovljivosti in produktivnosti. Njihovo nedelovanje ali izpadi pogosto povzročijo občutne finančne izgube ter znižanje izkoristka proizvodnih linij. Velik del izpadov proizvodnje nastane zaradi okvar električnih komponent strojev, kot so npr. napajalniki, servo pogoni, okvare senzorike, kablov ter staranje električnih komponent. V številnih proizvodnih podjetjih se elektro vzdrževanje izvaja predvsem reaktivno – posegi se izvajajo šele po pojavu okvare. Z ustreznimi metodami elektro vzdrževanja CNC strojev lahko okvare električnih komponent preprečimo ali pa vsaj zmanjšamo njihov pojav in posledičen vpliv na delovanje CNC strojev in posledičen izpad proizvodnje.

1.2 Cilji naloge

Namen naloge je analizirati, kako lahko s pravilnim elektro vzdrževanjem CNC strojev zmanjšamo možnosti za nastanek okvar in posledične izpade proizvodnje. Cilj je določiti kritične električne komponente, ki najpogosteje povzročijo izpade, ter prikazati, kako lahko s pravilnim elektro vzdrževanjem stroja zmanjšamo izpade proizvodnje in v večini primerov tudi preprečimo morebitne okvare.

1.3 Predstavitev okolja

Za izdelavo diplomske naloge smo si izbrali štiri najbolj pogoste primere okvar iz prakse elektro servisiranja CNC strojev, ki se pojavljajo v podjetjih, ki se ukvarjajo z obdelavo kovin s pomočjo CNC strojev. Primeri, navedeni v diplomskem delu, se nanašajo predvsem na najbolj pogoste tipe CNC strojev (3-osne obdelovalne centre in stružnice), vendar pa lahko podobne tipe okvar zasledimo tudi pri preostalih tipih CNC strojev.

Podjetja, ki se ukvarjajo z obdelavo kovin, imajo v svojem industrijskem parku prav gotovo vsaj en, če ne celo več enakih ali različnih tipov CNC strojev. Predvsem v okolju, kjer se izvaja velikoserijska proizvodnja kovinskih izdelkov, so posamezni CNC stroji del večjega proizvodnega procesa, s katerim tvorijo zaključeno celoto, katere produkt je končni izdelek zahtevane kvalitete. Zaradi tega so stroji običajno podvrženi neprekinjenemu delovanju, ki povzroča raznorazne obremenitve stroja (mehanske, električne ...). Obremenitve stroja pa povzročajo dotrajanost opreme stroja in posledične okvare strojev. Za nemoteno delovanje proizvodnje je potrebno poskrbeti, da stroji delujejo brez okvar, saj vsaka okvara lahko povzroči zaustavitev proizvodnega procesa in s tem povezane stroške, ki lahko podjetju povzročijo ne le

finančne izgube, temveč tudi izgubo ugleda. Zato je potrebno preprečiti okvare strojev, kar pa lahko storimo z ustreznim vzdrževanjem strojev.

1.4 Predpostavke in omejitve

1.4.1 Predpostavke

Izdelki, izdelani z uporabo CNC strojev, so pogosto izdelki, kjer se zahteva velika natančnost in v primeru velikoserijskih izdelkov tudi ponovljivost. Vsaka okvara in posledična zaustavitev delovanja stroja ima lahko velike posledice za podjetja. Podjetja, ki izdelujejo velikoserijske izdelke, imajo običajno majhne dobičke na posamezen kos, zato je v njihovem interesu, da stroj proizvede čim večje število izdelkov. V večini podjetij se zato izvajanje vzdrževanja izvaja predvsem kurativno. Stroji se popravljajo takrat, ko se nekaj pokvari. To pa ima lahko velike posledice na celotno proizvodnjo. Tudi če se izvaja vzdrževanje stroja, se večinoma izvaja vzdrževanje predvsem mehanskih komponent. Elektro komponente strojev med vzdrževanjem dostikrat ostanejo prezrte, saj običajno niso tako vidne in dovzetne mehanskim vplivom kot ostale komponente. Kljub temu so v večini primerov okvare električnih komponent posledica mehanskih in okoljskih obremenitev, ki se jih da preprečiti s pravilno izvedenim preventivnim elektro vzdrževanjem.

1.4.2 Omejitve

Podatki, uporabljeni v diplomskem delu, se nanašajo na dejansko stanje v podjetjih, vendar pa zaradi poslovnih skrivnosti podjetij večina podatkov ni javno dostopna. Kljub temu so v diplomskem delu uporabljeni vsi javno dostopni podatki, v primerih, ko podatkov ni bilo mogoče pridobiti prek javno dostopnih mest, pa so uporabljeni podatki, ki temeljijo na izkušnjah iz prakse servisiranja CNC strojev.

1.5 Metode dela

Pri pripravi diplomskega dela smo uporabili sledeče metode dela:

- **Opisno metodo:** s pomočjo katere smo v prvem delu diplomske naloge ob pomoči domače in tuje strokovne literature ter spletnih virov predstavili osnovne električne komponente CNC strojev. V nadaljevanju je ta metoda uporabljena tudi za predstavitev možnih vzrokov za nastanek okvar CNC strojev in različnih metod vzdrževanja.
- **Primerjalno metodo:** s pomočjo katere smo v praktičnem delu primerjali stroške okvar CNC strojev, na podlagi resničnih primerov iz prakse, s stroški, nastalimi v primeru izvajanja preventivnega elektro vzdrževanja.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 CNC stroji

CNC stroj je stroj, krmiljen s pomočjo računalniško podprtega krmilnika, s pomočjo katerega se izvaja krmiljenje mehanskih delov stroja. Beseda CNC izhaja iz angleškega izraza Computer Numerical Control, kar bi lahko dobesedno prevedli kot računalniško numerično krmilje. S pomočjo programske opreme in jezika lahko krmilimo posamezne dele stroja in nadziramo njihovo delovanje. Za premik posameznih delov stroja skrbijo posamezni servo motorji, nadzor pa lahko izvajamo z merjenjem električnih in fizikalnih lastnosti z uporabo raznoraznih senzorjev. Prednost računalniško krmiljenega stroja v primerjavi z ročnim upravljanjem (upravljanje z ročicami in vzvodi) je predvsem v večji natančnosti in ponovljivosti posameznih premikov. Uporaba programsko podprtih krmilnikov nam omogoča tudi hitrejšo izdelavo zahtevnejših izdelkov v primerjavi s klasično krmiljenimi stroji (Wikipedia, b. l. a).

Poznamo več vrst CNC strojev, v osnovi pa so to vsi stroji ki so tako ali drugače krmiljeni s pomočjo računalniško podprtih krmilnikov. CNC stroje lahko delimo glede na postavitev glavnega vretena na horizontalne in vertikalne stroje, glede na število osi na dvo- ali večosne stroje ter glede na tehnologijo obdelave. Tako poznamo npr. stružne CNC stroje ali stružnice, vertikalne rezkalne CNC stroje ali večnamenske obdelovalne centre (VMC), tračne žage, žične in potopne erozije itd. Med naštetimi med najbolj pogoste uvrščamo večosne rezkalne centre in stružnice, ki jih najdemo praktično v vsaki delavnici ali proizvodnji, kjer se ukvarjajo z obdelavo kovine. (Wikipedia, b. l. a.)

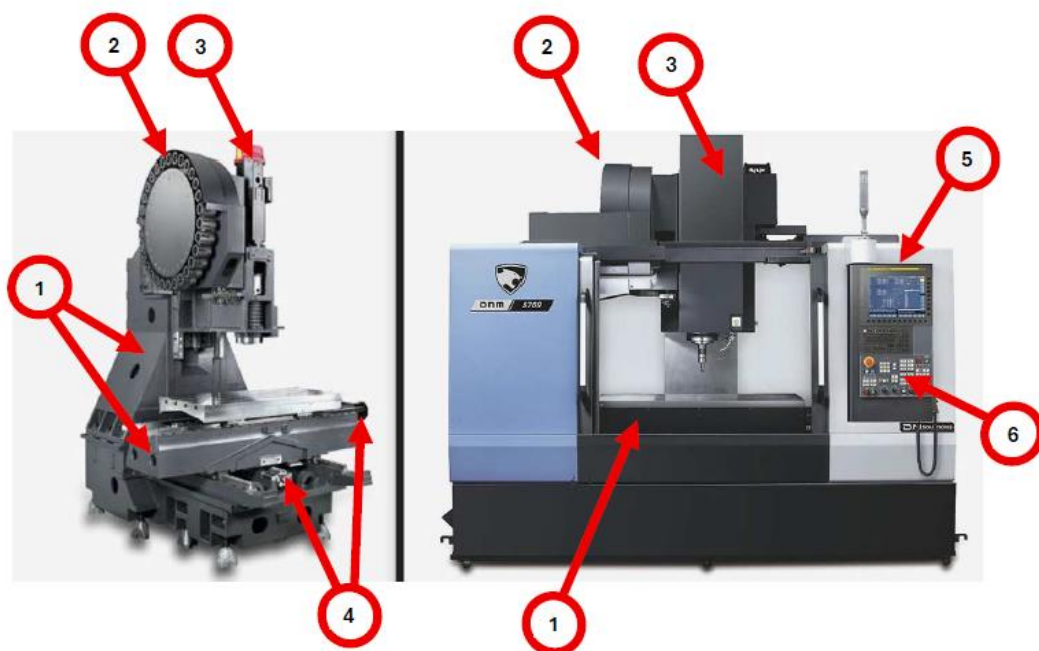


Slika 1: CNC stroji
(Vir: BTS Company, b. l.)

2.2 Sestava CNC stroja

Kot smo že omenili, poznamo več vrst CNC strojev, ki služijo različnim namenom in imajo temu prilagojeno tudi strukturo samega stroja. V osnovi pa je vsak CNC stroj sestavljen iz osnovnih elementov, ki so:

- **okvir in postelja stroja:** okvir in postelja stroja je običajno iz litega železa in stroju zagotavlja togo konstrukcijo, ki podpira vso opremo stroja in obenem zmanjšuje vibracije stroja med delovanjem;
- **krmilnik (MCU):** imenovan tudi »možgani stroja«, ki pretvarja programsko kodo v gibanje motorjev;
- **pogonski sistem:** sestavljen iz servo pogonov in navojnih vreten, s katerimi se izvaja mehanski pomik osi stroja na podlagi digitalnih navodil krmilnika, po vodilih stroja;
- **glavni pogon (vreteno):** kot že samo ime pove, gre za glavni pogon stroja, krmiljen s pomočjo elektromotorja, ki vrti orodje ali obdelovanec;
- **vpenjalne priprave:** naprave za vpenjanje obdelovanca med izvajanjem obdelovalnega programa;
- **skladišče orodij:** naprava, v katero vstavimo različna orodja, za uporabo med obdelovalnimi programi;
- **programski vmesnik (HMI):** vmesnik, prek katerega poteka komunikacija med operaterjem stroja (človekom) in strojem.



SESTAVNI DELI CNC STROJA	
1	OKVIR IN POSTELJA STROJA
2	SKLADIŠČE ORODIJ
3	GLAVNO VRETENO
4	POGONSKI SISTEM
5	KRMILNIK (MCU)
6	PROGRAMSKI VMESNIK (HMI)

Slika 2: Sestavni deli CNC stroja
(Vir: DN Solutions, b. l.)

Poleg zgoraj omenjenih osnovnih komponent lahko omenimo še dodatne komponente, ki niso prisotne na vseh CNC strojih, vendar pa jih v takšni ali drugačni obliki najdemo na večini CNC strojev. Take komponente so na primer:

- **vpenjalne priprave:** naprave za vpenjanje obdelovanca med izvajanjem obdelovalnega programa;
- **hladilni in izpihovalni sistemi:** črpalke in ventili za izpiranje/izpihovanje orodij in obdelovancev ter delovnega prostora stroja, uporabljajo se za hlajenje orodij med obdelavo, ter odstranjevanje odvzetega materiala z orodja ali obdelovanca med obdelavo;
- **transportni sistemi:** za odstranjevanje odvzetega materiala (transporterji ostružkov), podajalci palic, lovilci kosov;



Slika 3: Transporterji ostružkov (zgoraj) in podajalci palic (spodaj)
(Vir: BTS Company, b. l.)

- **roboti in manipulatorji:** s katerimi avtomatiziramo posluževanje stroja, s tem pa zmanjšamo stroške dela, povečamo produktivnost in natančnost proizvodnje.



Slika 4: Industrijski roboti
(Vir: BTS Company, b. l.)

2.3 Elektro komponente CNC strojev

Vsak CNC stroj je sestavljen iz mehanskih in elektro komponent. V tem diplomskem delu se bomo osredotočili predvsem na elektro komponente CNC strojev, ki so v praksi velikokrat prezrte, dokler se ne pojavijo okvare.

Osnovne elektro komponente CNC stroja vključujejo krmilne in napajalne sisteme, servo pogone in motorje, senzorje itd. Delovanje in natančnost CNC strojev sta poleg mehanskih komponent odvisna tudi od zanesljivosti in kakovosti vgrajenih elektro komponent. V nadaljevanju bomo predstavili nekaj ključnih elektro komponent, ki jih najdemo v vsakem CNC stroju.

2.3.1 Krmilnik

Na trgu obstajajo različni proizvajalci krmilnikov CNC strojev, med najpogostejše uporabljenimi pa so krmilniki proizvajalcev FANUC, Siemens, Heidenhain in HAAS. Krmilnik je sestavljen iz programirljivega logičnega krmilnika (PLK oz. angl. PLC) ter vhodno-izhodne (I/O) enote, s pomočjo katere PLK krmilnik upravlja izhodne enote, kot so releji, ventili, kontaktorji itd., ter sprejema informacije s pomočjo vhodnih enot, kot so senzorji, stikala, enkoderji idr.

2.3.2 Napajalna enota in napajalniki

Napajalna enota (PSU) skrbi za napajanje močnostnih komponent stroja, kot je na primer servo regulator, ki krmili delovanje servomotorja. Namen napajalne enote je, da poskrbi za ustrezno in stabilno napetost preostalih elektro komponent, predvsem enot, ki delujejo na višjih napetostih. Poleg napajalne enote se v glavni elektro omari stroja nahajajo tudi manjši napajalniki, ki pretvarjajo izmenično napetost v enosmerno – običajno 24V DC, ki je namenjena napajanju vhodno-izhodnih signalov.

2.3.3 Motorji in pogoni

Vsak stroj potrebuje pretvornike, ki pretvarjajo električno energijo v mehansko. Za to skrbijo elektromotorji v kombinaciji z različnimi pogoni, s pomočjo katerih nato krmilimo elektromotorje. Najpogostejše se uporabljajo servo motorji v kombinaciji s servo pogoni ter koračni motorji (angl. stepper motor). Tako servo kot tudi koračni motorji za svoje optimalno delovanje potrebujejo svoje pogone, ki so krmiljeni prek krmilnika, ki pogonu sporoča svoje ukaze, pogon pa nato na podlagi teh ukazov krmili elektromotor. Servo pogoni in pogoni koračnih motorjev prav tako sporočajo povratne informacije nazaj krmilniku. t. i. feedback loop. Bistvena razlika med obema vrstama motorjev pa je v tem, da so servo motorji znani po svoji visoki natančnosti, zato se uporabljajo predvsem za aplikacije, kjer se zahteva visoka natančnost pozicioniranja in hitrosti. Servo motorji si pri tem pomagajo z uporabo povratnih informacij, ki jih

pridobijo s pomočjo enkoderjev, s pomočjo katerih lahko konstantno prilagajajo in ohranjajo konstantno pozicijo. Po drugi strani so koračni motorji cenejši in bolj preprosti. Premikajo se v diskretnih korakih, zato so primerni za aplikacije kjer se zahteva natančno pozicioniranje, vendar ni potrebe po visokih hitrostih in navoru (AMCI, b. l. ; Wikipedia, b. l. b).



Slika 5: Servo motorji in servo pogoni
(Vir: Fanuc, b. l.)

2.3.4 Enkoderji

Enkoder je naprava ki pretvarja linearno ali rotacijsko mehansko gibanje v digitalni signal. Poznamo več vrst enkoderjev, ki jih med seboj ločimo po načinu delovanja. Poznamo elektromagnetne enkoderje, ki pretvarjajo mehanske pomike v električne signale z merjenjem sprememb v magnetnem polju, optične enkoderje, ki pretvarjajo mehanske pomike v signale s pomočjo prekinitve svetlobe med oddajnikom in sprejemnikom. Mehanski enkoderji, ki pretvarjajo mehanske pomike v električne signale z merjenjem spremembe električne upornosti, delujejo na principu potenciometra (Renishaw, 2026b).



*Slika 6: Rotacijski optični enkoder
(Vir: Renishaw, 2026a)*



*Slika 7: Mehanski enkoder
(Lastni vir)*

2.3.5 Releji in kontaktorji

Releji in kontaktorji so elektromagnetna stikala, ki delujejo na podoben princip, vendar pa se med seboj razlikujejo predvsem v načinu uporabe in zmožnosti prenašanja električnih bremen. Releji se uporabljajo predvsem za krmiljenje manjših napetosti in električnih tokov. Uporabljajo se predvsem za preklapljanje krmilnih signalov. Kontaktorji so, v primerjavi z releji, narejeni tako, da lahko prenesejo večje napetosti in električne tokove, zato jih uporabljamo predvsem za krmiljenje večjih porabnikov, kot so na primer elektromotorji.



Slika 8: Rele, kontaktor
(Vir: Schneider electric, 2026)

2.3.6 Končna stikala in senzorji bližine

Tako končna stikala kot tudi senzorji bližine se uporabljajo za zaznavanje prisotnosti ali odsotnosti predmeta. Končna stikala so elektromehanska stikala, ki zaznavajo prisotnost ali odsotnost predmeta z uporabo fizičnega stika s pomočjo ročic in vzvodov. Na CNC strojih se uporabljajo predvsem za zaznavanje končnih pozicij linearnih pomikov in služijo kot varnostni element, ki ob aktivaciji sproži zaustavitev gibanja npr. osi stroja. Senzorji bližine se prav tako uporabljajo za zaznavanje prisotnosti ali odsotnosti predmeta, vendar pa za razliko od končnih stikal to počnejo na brezkontaktni način. Poznamo več vrst senzorjev bližine, med najpogostejše uporabljenimi so:

- induktivni senzorji: ki zaznavajo predmete s pomočjo indukcije in se uporabljajo za zaznavanje kovinskih predmetov;
- kapacitivni senzorji: ki zaznavajo predmete s pomočjo kapacitivnosti (delujejo na principu kondenzatorja) in so primerni za zaznavanje tekočin, ne pa votlih predmetov;
- optični senzorji: ki zaznavajo predmete na principu prisotnosti ali odsotnosti svetlobe.



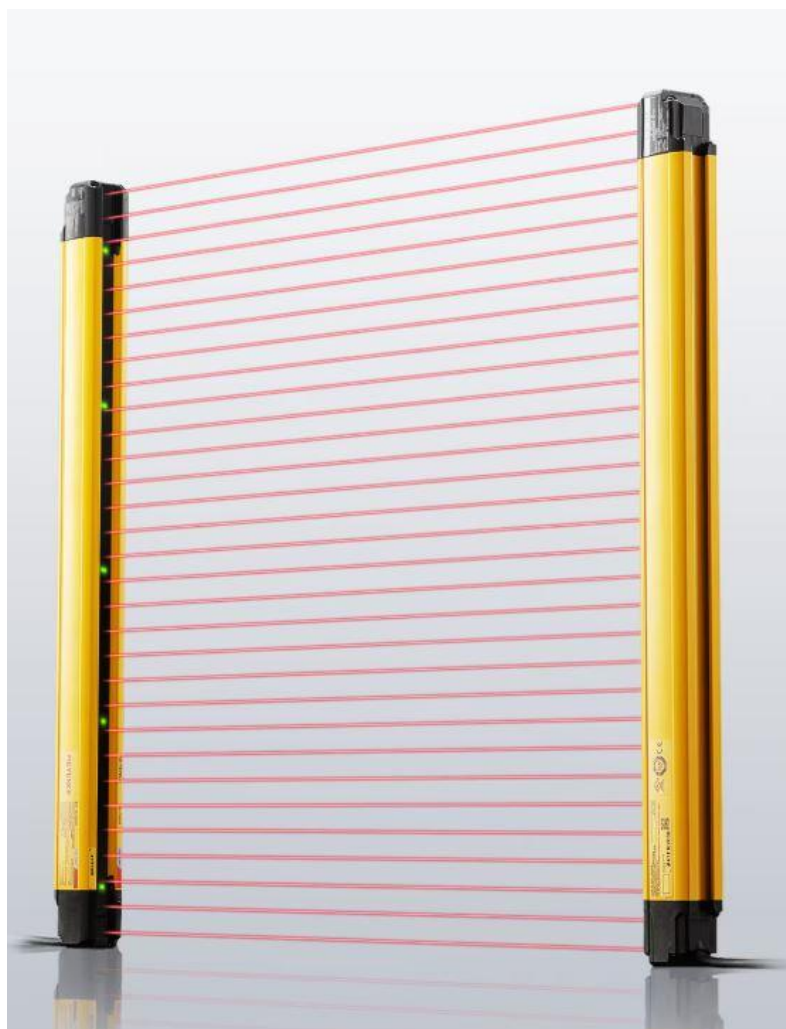
Slika 9: Kapacitivni, induktivni in optični senzorji
(Vir: Sick, 2026)



Slika 10: Končna stikala
(Vir: AutomationDirect, 2026)

2.3.7 Varnostni elementi

Za varno delo s strojem mora imeti vsak stroj vgrajene varnostne elemente, ki v primeru nepravilnega delovanja stroja preprečijo poškodbe stroja, ljudi in okolice. V ta namen je vsak CNC stroj opremljen z varnostnimi tipkami v obliki rdeče gobice. Tipka se imenuje izklop v sili in služi zaustavitvi stroja v sili. Pri pritisku na tipko se stroj ustavi, obenem pa se morajo na stroju tudi sprostiti vsi sistemi: zaustavitev servo pogonov, prekinitev dovoda zraka, prekinitev hidravličnega tlaka... Poleg izklopa v sili so stroji opremljeni tudi z varnostnimi ključavnicami, ki preprečujejo dostop do premikajočih se delov stroja med delovanjem stroja. Dodatno se na stroje lahko vgradijo tudi dodatni zaščitni elementi, kot je na primer dvoročni vklop, varnostni robovi, svetlobne zavese in drugi.



Slika 11: Svetlobna zavesa
(Vir: Keyence Corporation, 2026)

2.3.8 Krmilni panel

Krmilni panel predstavlja vez med uporabnikom stroja in krmilnikom stroja. Sestavljen je iz prikazovalnika, iz katerega lahko razberemo podatke o stroju, kot je na primer stanje vhodno-izhodnih enot, pozicija osi, potek programa itd. Vsak krmilnik je opremljen tudi s tipkami, s katerimi lahko vnašamo programe in ukaze, ki se nato pretvorijo v ukaze in posledično v mehansko gibanje delov stroja. Oblika krmilnega panela se razlikuje od proizvajalca do proizvajalca krmilnika, običajno pa je sestavljen iz dveh delov, pri čemer en del predstavlja proizvajalca krmilnika in je enak na vseh strojih z enakim krmiljem, drugi del pa je v domeni proizvajalca stroja in se lahko razlikuje od stroja do stroja.



Slika 12: Krmilni panel Fanuc, Siemens, Heidenhain
(Vir: Fanuc, b. l. ; Siemens, 2026; Ajax, 2026)

2.3.9 Ventilatorji in hladilne naprave

Električne naprave in elementi med svojim delovanjem proizvajajo toploto, ki lahko negativno vpliva na delovanje naprav in elementov. Zaradi tega je potrebno učinkovito hlajenje komponent in odvajanje toplote. Pri tem si lahko pomagamo z ventilatorji, ki odvajajo odvečno toploto iz notranjosti naprav ali pa skrbijo za kroženje in posledično ohlajanje segretega zraka. V elektro omarah strojev, kjer se nahaja več elementov, ki med svojim delovanjem ustvarjajo večje količine toplega zraka in kjer zaradi prostorske omejitve ni mogoče zagotoviti ustreznega prezračevanja oz. kroženja zraka, se poleg ventilatorjev uporabljajo tudi industrijske klime, ki s svojim delovanjem znižujejo temperaturo v notranjosti elektro omar.

2.3.10 Odklopniki, varovalke

Vsaka elektro omara vsebuje zaščitne elemente, s katerimi ščitimo električne komponente pred preobremenitvami. Preobremenitve so lahko tokovne ali napetostne. Za varovanje elementov se uporabljajo raznorazni odklopniki, varovalke ter motorna zaščitna stikala, ki v primeru preobremenitev prekinejo električne tokokroge in s tem preprečijo poškodbe opreme, naprav in vodnikov.



*Slika 13: Motorno zaščitno stikalo, varovalke
(Lastni vir)*

2.3.11 Kabli, vodniki in konektorji

Povezavo med posameznimi elementi izvajamo z uporabo kablov in vodnikov, ki morajo biti ustrezno dimenzionirani, da lahko zdržijo električne in mehanske obremenitve. Vodniki morajo biti ustreznih barv in presekov ter morajo biti ustrezno označeni. Kabli morajo biti poleg ustreznih oznak in presekov tudi zaščiteni z ustrezno izolacijo. Kabli, položeni v energijske verige, morajo biti gibljivi, prav tako morajo biti zaščiteni pred mehanskimi poškodbami in kemičnimi snovmi (olja, hladilne tekočine ...). Kabli, uporabljeni za komunikacijo med motorji, so dodatno zaščiteni s kovinskim opletom, ki zmanjšuje vpliv elektromagnetnih motenj na kakovost električnih signalov. Povezava med kabli in napravami je izven elektro omare stroja izvedena z uporabo industrijskih konektorjev, ki so zasnovani tako, da omogočajo dober stik in preprečujejo vdor umazanije in vlage med stiki.



Slika 14: Servo kabli motorjev in enkoderjev
(Vir: Igus, 2026)



Slika 15: Industrijski in military konektorji
(Lastni vir)

3. ELEKTRO VZDRŽEVANJE CNC STROJEV

Vsaka naprava ali stroj potrebuje vzdrževanje. S tem napravi ali stroju podaljšamo življenjsko dobo in omogočimo optimalno delovanje proizvodnje. Vzdrževanje strojev in naprav lahko v podjetju organiziramo na več različnih načinov, bodisi glede na namen, čas ali finančne zmogljivosti podjetja. Grilj (2005) je ugotovil, da lahko vzdrževanje v grobem organiziramo po naslednjih metodah:

Planirano vzdrževanje: metoda temelji na določenem načrtu t. i. planu popravil. Pri tej metodi izvajamo popravila in vzdrževanje strojev in naprav po vnaprej določenem planu, s katerim lahko napovemo in omilimo izpade proizvodnje, npr. izvajamo popravila v času kolektivnih dopustov oz. v času, ko proizvodnja ne obratuje. V tem času lahko izvedemo manjša popravila (npr. menjava olj, filtrov, obrabljenih potrošnih delov strojev, naprav itd.), srednja popravila (npr. menjava ležajev, vodil ...), ter večja popravila (npr. menjava ali obnova glavnih vreten, obnova krmilj itd.). V moderni proizvodnji se večinoma izvajajo letni pregledi oz. letni servisi strojev, pri čemer se preverja geometrijsko stanje strojev, obrabo gibljivih delov ter zamenjavo olj in filtrov.

Preventivno vzdrževanje: metoda, ki temelji na metodi planiranega vzdrževanja. Metoda se uporablja predvsem v podjetjih, kjer vsak zastoj lahko pomeni velike izgube ali nevarnost za zdravje in življenje ljudi. Že samo ime pove, da metoda temelji na preventivi oz. preprečevanju okvar, še preden se le-te zgodijo. Pri tej metodi izvajamo preventivne menjave pomembnih strojnih delov, za katere presodimo, da ne bodo vzdržali nadaljnjih obremenitev, in za katere predvidevamo, da bodo kmalu lahko odpovedali in s tem povzročili zastoj stroja in posledično proizvodne linije. Pri ugotavljanju rizičnih komponent si pomagamo z različnimi diagnostičnimi metodami, kot je npr. monitoring oz. spremljanje stanja stroja s pomočjo meritev, na podlagi katerih lahko določimo dejansko stanje stroja in njegovih kritičnih komponent.

Neplanirano vzdrževanje: kot že ime pove, gre za metodo nepredvidenega, neplaniranega vzdrževanja. Dokler stroji delujejo v skladu s svojimi zmogljivostmi, se ne ustvarja nobenih stroškov vzdrževanja. Metoda se uporablja predvsem v manjših podjetjih, saj takšno vzdrževanje predstavlja manjše stroške, kot če bi stalno zaposlovali dodatno osebje za vzdrževanje strojev. Metodo lahko opišemo tudi kot metodo just-in-time oz. vzdrževanje ob pravem času. Stroje popravljamo takrat, ko se pokvari. Pri tej metodi se za popravila strojev uporabljajo večinoma zunanji izvajalci.

Kurativno vzdrževanje: metoda je zelo podobna metodi neplaniranega vzdrževanja. Pri tej metodi stroje popravljamo, ko se kaj pokvari. Pri tej metodi uporabimo lastno vzdrževalno osebje, v primeru večjih, zahtevnejših okvar, pa si pomagamo tudi z zunanjimi izvajalci. Pomembno pri tej metodi je, da ima vzdrževalno osebje dovolj znanja, da lahko samo opravi manjša popravila, podjetje pa razpolaga z lastno zalogo

standardnih rezervnih delov (tesnila, vijaki...), s katerimi lahko zmanjša zastoje čase zaradi nepredvidljivih dobavnih verig.

V praksi se uporabljajo predvsem kombinacije posameznih metod. Vrsta in način vzdrževanja sta odvisna predvsem od usmeritve in finančnih zmogljivosti posameznih podjetij. Da bi izbrali učinkovito metodo vzdrževanja, moramo poznati vzroke okvar in izpadov pri CNC strojih. Na podlagi zbranih ugotovitev lahko nato izdelamo plan (preventivnega) vzdrževanja.

3.1 Vzroki okvar in izpadov pri CNC strojih

Obstaja več vzrokov, zaradi katerih lahko pride do odpovedi delovanja CNC stroja. V nadaljevanju bomo možne vzroke razdelili na tri področja.

3.1.1 Elektroenergetski vzroki

Med elektroenergetske vzroke za okvare CNC strojev uvrščamo različne dejavnike, kot so na primer prenapetosti in padci napetost, kratki stiki, elektromagnetni vplivi in drugi. Vzroki za omenjene dejavnike so lahko različni, med najpogostejšimi pa najdemo okvare varovalnih elementov, kot so npr. varovalke, nihanja napetosti, slabi spoji, izrabljeni konektorji, mehanske poškodbe kablov in poškodbe izolacije kablov zaradi kemičnih vplivov... Vsi naštetih vzroki lahko povzročijo okvare napajalnikov in pogonov zaradi preobremenitev, posledično pa tudi okvare preostalih komponent, kot so npr. motorji, ventili in drugo.

3.1.2 Strojni in okoljski vzroki

Sem lahko uvrstimo vzroke za okvare, ki indirektno vplivajo na delovanje električnih komponent CNC stroja. Indirektni vzroki okvar so na primer:

Prah in vlaga v ozračju: v industrijskem okolju se pogosto srečamo z raznoraznimi oblikami prahu, ki lahko nastane zaradi tehnološkega postopka in/ali slabega prezračevanja v industrijskih objektih. Prah povzroča blokiranje prezračevalnih kanalov, s tem pa nepravilno delovanje prezračevalnih sistemov in posledično pregrevanje električnih komponent. Tako kot prah je v sodobnih industrijskih okoljih tudi visoka prisotnost vlage, ki nastane zaradi uporabe hladilnih sredstev med strojno obdelavo, tako imenovane oljne meglice. Oljna megla v kombinaciji s prašnimi delci v ozračju ne povzroča le blokade prezračevalnih kanalov, temveč tudi preobremenitev ventilatorjev in hladilnih naprav. Vdor vlage in prahu v elektro omaro stroja prav tako vpliva na delovanje in življenjsko dobo elektronskih komponent.



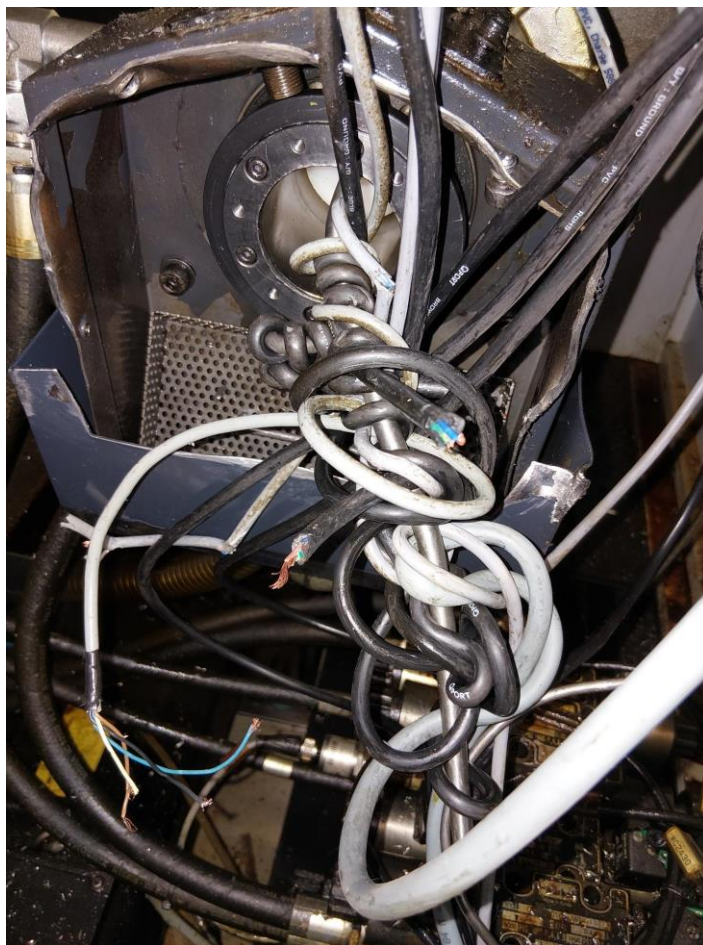
*Slika 16: Vpliv okolja na ventilatorje (desno) in prezračevalne kanale (levo)
(Lastni vir)*

Vibracije: stroji med delovanjem povzročajo takšne in drugačne vibracije. Vibracije so lahko posledica grobe obdelave obdelovancev, zračnosti med mehanskimi deli stroja, nepravilne postavitve stroja in opreme... Vibracije stroja lahko povzročijo številne okvare na električnih komponentah CNC stroja, kot so na primer podrgnjeni, stisnjeni in prepognjeni kabli, slabi spoji idr.

3.1.3 Človeški faktor

Pri odkrivanju vzrokov okvar in izpadov pri CNC strojih ne smemo zanemariti človeškega faktorja, ki ima velik vpliv na pravilno delovanje CNC strojev. Veliko okvar nastane kot posledica nepravilnega upravljanja stroja, pomanjkljivega vzdrževanja in neustrezne nastavitve stroja. Človeške napake so pri delovanju s strojem praktično neizogibne, lahko pa jih omejimo z ustreznimi postopki in navodili za upravljanje stroja. Pripravimo lahko posebna navodila za vzdrževanje in kontrolo stanja stroja, navodila za nastavitve stroja in nenazadnje tudi navodila za kontrolo upoštevanja navodil.

Na spodnji sliki lahko vidimo primer okvare zaradi nepravilne rabe stroja. Delavec je pri nastavljanju stroja presodil, da kljub navodilom ne potrebuje dodatne podpore palice med obdelavo. Zaradi napake v materialu (kriva palica) je le-ta med obdelavo začel nekontrolirano opletati v vretenu stroja. Palica je nato začela navijati kable, zaradi česar je posledično prišlo do pretrganja kablov in kratkega stika na stroju.



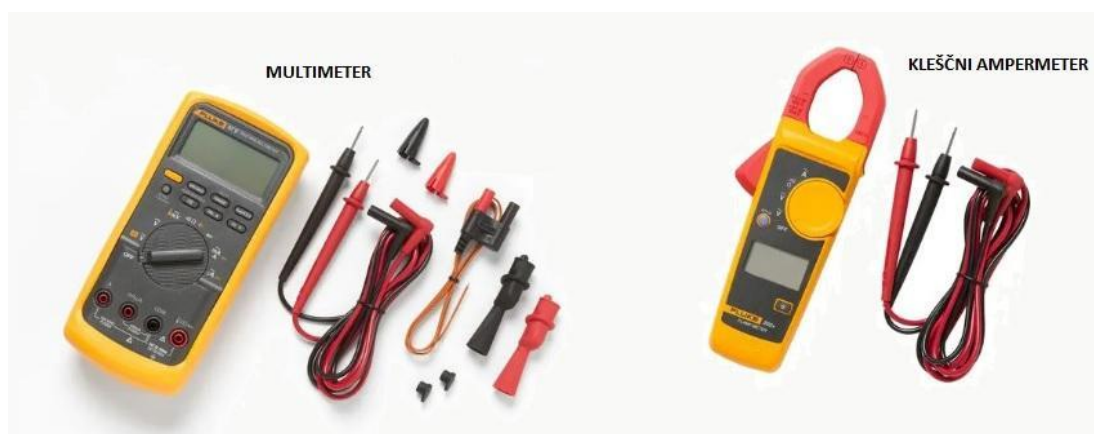
*Slika 17: Poškodovani kabli zaradi neupoštevanja navodil
(Lastni vir)*

Kot lahko vidimo na zgornjem primeru, je kljub navodilom prišlo do nepravilne rabe stroja in posledične okvare stroja. Tako da, kot smo že omenili, človeškega vpliva ne moremo nikoli popolnoma preprečiti, vendar pa lahko z upoštevanjem navodil zmanjšamo možnosti za nastanek okvar.

3.2 Orodja in merilna oprema

Pri odkrivanju morebitnih rizičnih dejavnikov, omenjenih v prejšnjih poglavjih, si lahko pomagamo z različnimi diagnostičnimi orodji. Seveda je razpoložljivost posameznih orodij v veliki meri odvisna od finančnih sredstev podjetja in predvsem znanja vzdrževalnega osebja. Dober inštrument nam ne koristi prav veliko, če ga ne znamo pravilno uporabljati. Pri diagnostiki in odkrivanju vzrokov za nastanek okvar si lahko pomagamo že z osnovnimi merilnimi inštrumenti, večina proizvajalcev krmilnikov pa ima v svojih uporabniških menijih tudi določena orodja, ki nam olajšajo diagnostiko. Osnovna orodja za diagnostiko so tako lahko:

Multimeter in kleščni ampermetri: multimeter je merilni inštrument, ki se uporablja za merjenje različnih električnih veličin, kot so npr. električni tok, napetost in upornost. Z osnovnim multimetrom lahko izmerimo izmenične in enosmerne tokove in napetosti, izmerimo ohmske upornosti različnih bremen ter preverimo neprekinjenost električnega toka. Kleščni ampermetri se uporabljajo za merjenje (predvsem) izmeničnih električnih tokov. Kleščni ampermetri omogočajo tehnikom meritve električnega toka, ki teče po vodnikih in kabljih v električnem sistemu brez potrebe po razelektritvi ali izklopu napajanja v sistemu.



*Slika 18: Multimeter, kleščni ampermeter
(Vir: Fluke Corporation, 2026)*

Termografska kamera: termografska kamera ali krajše termokamera se uporablja za brezkontaktno merjenje temperature. Termografska kamera izmerjeno temperaturo zaznava s pomočjo infrardečega sevanja, ki ga nato pretvori v sliko. S termografsko kamero si lahko pomagamo pri odkrivanju območij pregrevanja električnih komponent, kar nam lahko pomaga pri zgodnjem odkrivanju morebitnih kritičnih komponent. S pomočjo termo kamere lahko zaznamo npr. pregrevanje vodnikov zaradi prevelike tokovne obremenitve, pregrevanje elementov, kot sta npr. rele ali kontaktor, ter morebitne slabe spoje na konektorjih in tiskanih vezjih.



Slika 19: Termokamera

(Vir: Robert Bosch Power Tools GmbH, 2022)

Diagnostika servo pogonov (npr. prek proizvajalčeve programske opreme): kot smo že omenili, proizvajalci krmilnikov CNC strojev prek svojih HMI vmesnikov omogočajo raznorazna diagnostična orodja. S pomočjo teh orodij lahko spremljamo stanje vhodno-izhodnih enot, podatke o servo motorjih, npr. temperaturo motorja, obremenitev motorja itd., stanje baterij spomina in ventilatorjev, s pomočjo integriranih alarmnih sporočil pa nam lahko tudi krmilniki sporočijo pojav okvar in odstopanj v električnih komponentah.

Tehnična dokumentacija: pomembno orodje vsakega vzdrževalnega osebja je tehnična dokumentacija stroja in prigradjene opreme. Pri tem imamo v mislih predvsem sheme (elektro-vezalne, pnevmatske, hidravlične), tehnične liste (angl. datasheet) posameznih električnih komponent ter raznorazne priročnike, ki so dobavljeni s strojem ali opremo. S pomočjo tehnične dokumentacije lahko lažje odkrijemo mesta okvar, določimo specifikacije posameznih komponent, z uporabo priročnikov pa lahko določimo tudi morebitne vzroke za nastale okvare.

3.3 Načrt preventivnega elektro vzdrževanja

Ko poznamo morebitne vzroke za okvare in imamo pregled nad razpoložljivimi orodji za diagnostiko okvar ter poznamo električne komponente CNC stroja, lahko pripravimo načrt preventivnega elektro vzdrževanja, v katerega vključimo vse morebitne vzroke za nastanek okvar in določimo časovni okvir, v katerem moramo preveriti stanje. Načrt preventivnega elektro vzdrževanja je del preventivnega vzdrževanja stroja, z njim želimo le zagotoviti, da se med izvajanjem preventivnega vzdrževanja stroja ne spregleda ključnih električnih delov stroja. Preventivno elektro vzdrževanje stroja lahko organiziramo na različne načine, pri tem pa si pomagamo s posebej izdelanimi navodili in preglednicami, ki zajemajo vse kritične električne komponente CNC stroja. V naslednjih podpoglavjih so predstavljeni primeri posameznih delov načrta preventivnega elektro vzdrževanja stroja.

3.3.1 Pregledna tabela

V pregledni tabeli lahko razdelimo električne komponente stroja v posamezne sklope, za lažjo preglednost med izvajanjem preventivnega elektro vzdrževanja. Za lažji pregled lahko opišemo posamezne naloge, ki naj se izvajajo med preventivnim vzdrževanjem, določimo časovne okvire, znotraj katerih je potrebno izvesti posamezne ukrepe, ter določimo odgovorne osebe za izvajanje preventivnega vzdrževanja. Dodatno lahko dopolnimo pregledne tabele z opisi in slikami postopkov za posamezne korake preventivnega elektro vzdrževanja.

PREGLEDNA TABELA				
STROJ:		SER.ŠT. STROJA:		
SKLOP	NALOGA	OPOMBE	ČASOVNI INTERVAL	ODGOVORNA OSEBA
1. Ventilacija in filtracija	Pregled stanja filtrov	- preveriti stanje filtrov, menjava filtrirnega papirja	TEDENSKO	VZDRŽEVALEC
	Čiščenje filtrov	- čiščenje filtrov z uporabo čistilnih sredstev ali menjava	MESEČNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled in čiščenje ventilatorjev elektro omare	- odstranitev in čiščenje notranjih in zunanjih ventilatorjev	POLLETNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled in čiščenje ventilatorjev servo enot	- odstranitev in čiščenje notranjih in zunanjih ventilatorjev	POLLETNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled in čiščenje ventilatorjev servo motorjev	- odstranitev in čiščenje ventilatorjev in zaščitnih mrežic	POLLETNO	VZDRŽEVALEC
2. Varnostni elementi	Preverjanje delovanja in stanja tipk za izklop v sili	- preveriti funkcionalnost in stanje tipk	DNEVNO / VSAKO IZMENO	VZDRŽEVALEC / OPERATER
	Preverjanje delovanja in stanja varnostnih svetlobnih zaves in robov	- preveriti funkcionalnost in vizualni pregled stanja	DNEVNO / VSAKO IZMENO	VZDRŽEVALEC / OPERATER
	Preverjanje delovanja in stanja varnostnih ključavnic	- preveriti funkcionalnost in vizualni pregled stanja	DNEVNO / VSAKO IZMENO	VZDRŽEVALEC / OPERATER
	Preverjanje delovanja in stanja	- preveriti funkcionalnost	DNEVNO / VSAKO IZMENO	VZDRŽEVALEC / OPERATER

	nožnih stopalk	in vizualni pregled stanja		
	Preverjanje delovanja in stanja tipk za dvoročni vklop	- preveriti funkcionalnost in vizualni pregled stanja	DNEVNO / VSAKO IZMENO	VZDRŽEVALEC / OPERATER
3. Električne komponente	Osvetlitev delovnega prostora stroja	- vizualni pregled	DNEVNO	VZDRŽEVALEC / OPERATER
	Stanje krmilnega panela in tipk	- preveriti funkcionalnost in vizualni pregled stanja	DNEVNO	VZDRŽEVALEC / OPERATER
	Pregled stanja energijskih verig	- vizualni pregled	MESEČNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled stanja notranjosti elektro omare stroja	- vizualni pregled čistoče in stanja, pregled z termografsko kamero	POLLETNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled stanja zaščitnih cevi in kablov	- vizualni pregled	LETNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled stanja konektorjev	- vizualni pregled	LETNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled stanja motorjev in črpalk	- vizualni pregled čistoče in stanja, pregled z termografsko kamero	LETNO	VZDRŽEVALEC
	Pregled stanja dodatne električne opreme	- vizualni pregled čistoče in stanja, pregled z termografsko kamero	LETNO	VZDRŽEVALEC

	Preverjanje dovodne napetosti	pregled medfaznih, faznih napetosti z uporabo merilnega inštrumenta	LETNO	VZDRŽEVALEC
	Menjava baterij servo enot	- menjava baterij servo enot	LETNO	VZDRŽEVALEC
	Menjava baterij NC enote	- menjava baterij NC enote	LETNO	VZDRŽEVALEC
Okvare in kakršnokoli odstopanje od normalnega stanja <u>TAKOJ</u> javiti vodji izmene oz. vodji vzdrževanja!!!				

Tabela 1: Pregledna tabela
(Lastni vir)

3.3.2 Točkovna lista

Točkovna lista služi kot dopolnilo pregledni tabeli. V osnovi je točkovna lista namenjena izvajalcem preventivnega vzdrževanja in služi kot zapis opravljenih pregledov in opravil, ki so se izvršili med izvajanjem preventivnega vzdrževanja stroja. Izvajalci med izvajanjem preventivnega vzdrževanja označijo izvedene postopke, ki so se izvedli, dodatno pa lahko zabeležijo tudi svoje opombe in opažanja, ki so jih zaznali med izvajanjem vzdrževanja.

TOČKOVNA LISTA ZA PREVENTIVNI ELEKTRO PREGLED CNC STROJA					
Datum:					
Stroj:				Ser.št.stroja:	
Pregled izvedel:					
SKLOP	OPRAVILO	OPOMBE	STANJE		
			OK	NI OK	NI IZVEDENO
1. Ventilacija in filtracija	Vizualni pregled filtrov elektro omare		☐	☐	☐
	Vizualni pregled ventilatorjev elektro omare		☐	☐	☐
	Čiščenje ventilatorjev elektro omare		☐	☐	☐
	Vizualni pregled ventilatorjev servo regulatorjev		☐	☐	☐

	Čiščenje ventilatorjev servo regulatorjev		☐	☐	☐
	Vizualni pregled ventilatorjev elektro motorjev		☐	☐	☐
	Čiščenje ventilatorjev elektro motorjev		☐	☐	☐
2. Varnostni elementi	Pregled delovanja in stanja tipk za izklop v sili		☐	☐	☐
	Preverjanje stanja in delovanja varnostnih svetlobnih zaves		☐	☐	☐
	Preverjanje delovanja in stanja varnostnih ključavnic		☐	☐	☐
	Preverjanje delovanja in stanja nožnih stopalk		☐	☐	☐
	Preverjanje delovanja in stanja tipk za dvoročni vklop		☐	☐	☐
3. Električne komponente	Osvetlitev delovnega prostora		☐	☐	☐
	Stanje krmilnega panela in tipk		☐	☐	☐
	Pregled stanja energijskih verig		☐	☐	☐
	Pregled stanja notranjosti elektro omare stroja		☐	☐	☐
	Pregled stanja zaščitnih cevi in kablov		☐	☐	☐
	Pregled stanja konektorjev		☐	☐	☐

	Pregled stanja motorjev in črpalk		☐	☐	☐
	Preverjanje dovodne napetosti		☐	☐	☐
	Menjava baterij servo enot		☐	☐	☐
	Menjava baterij NC enote		☐	☐	☐
Dodatne opombe in priporočila:					

Tabela 2: Točkovna lista
(Lastni vir)

3.3.3 Seznam okvar

Pomemben del vsakega načrta preventivnega vzdrževanja je tudi seznam s kratkim opisom okvar na posameznem stroju. S tem si ustvarimo evidenco okvar in popravil na posameznem stroju, s pomočjo katere lahko prilagodimo načrt preventivnega vzdrževanja in dopolnimo seznam potrebnih rezervnih delov. Obenem nam detajlno vodenje evidenc okvar lahko omogoča tudi hitrejšo diagnostiko ob morebitnem pojavu okvar, še posebej v primeru ponavljajočih se okvar.

SEZNAM OKVAR			
Stroj:		Ser.št.stroja:	
DATUM OKVARE	OPIS OKVARE (alarmi na stroju, operacija stroja ob pojavu okvare...)	DATUM ODPRAVE OKVARE	REŠITEV

Tabela 3: Seznam okvar
(Lastni vir)

3.3.4 Seznam standardnih rezervnih delov

Vsak stroj vsebuje določene standardne električne komponente, ki jih je dobro imeti na zalogi v primeru okvare katere izmed komponent na stroju. S tem lahko zmanjšamo izpadni čas stroja zaradi čakanja na ustrezne dele. Seveda je smotno na zalogi hraniti komponente, ki so bolj dovzetne za okvare, kot so npr. releji, kontaktorji, varovalke, baterije itd. Dražje komponente, kot so npr. servo motorji, regulatorji itd., je dobro hraniti na zalogi, le v primeru večje proizvodnje, kjer imamo npr. več strojev z enakimi komponentami. V nasprotnem primeru je hranjenje dražjih komponent nesmiselno, saj gre za komponente, ki se ne kvarijo pogosto, predstavljajo pa velik strošek, če jih hranimo na zalogi.

SEZNAM STANDARDNIH DELOV				
Stroj:		Ser.št. stroja:		
OPIS ARTIKLA	SPECIFIKACIJA	PROIZVAJALEC	ŠIFRA PROIZVAJALCA	DOBAVITELJ
Motorno zaščitno stikalo	4-6,3A ; 3P 200V	SCHNEIDER ELECTRIC	GV2ME10	MARCHIOL D.O.O.
Dodatni kontakti za motorno zaščitno stikalo	2 NO	SCHNEIDER ELECTRIC	GVAE20	MARCHIOL D.O.O.
Kontaktor 2,2kW, krmilna napetost 110VAC	2,2kW pri 200V AC Uc=110V 50/60Hz	SCHNEIDER ELECTRIC	LC1D09F7	MARCHIOL D.O.O.
Rele	Uc=24VDC ; 250VAC ; 6A	WEIDMULLER	1122770000WM	ELEKTROPOJI D.O.O.
Tipka - izklop v sili	40mm , fi vgradni: 22mm , 2NC kontakt	SCHNEIDER ELECTRIC	XB4BS8444	TELMAK D.O.O.
Tipka - zelena	fi22	SCHNEIDER ELECTRIC	ZB4BW333	TELMAK D.O.O.
Tipka - rdeča	fi22	SCHNEIDER ELECTRIC	ZB4BW343	TELMAK D.O.O.

Tabela 4: Seznam standardnih delov
(Lastni vir)

4 ŠTUDIJA PRIMERA IZ PRAKSE

4.1 Primeri okvar in analiza

Serviserji CNC strojev se pogosto srečujemo z raznoraznimi okvarami, ki so posledica nepravilne rabe ali nepravilnega vzdrževanja CNC stroja. V nadaljevanju diplomskega dela so predstavljene nekatere električne okvare, vzroki za njihov nastanek, postopki diagnostike in predlogi za preprečitev ponovitve nastanka okvar. Predstavljeni primeri zajemajo najpogostejše okvare električnih komponent, ki se pojavljajo na CNC strojih. Zaradi velikega števila okvar in vrst CNC strojev se bomo osredotočili predvsem na okvare, ki se pojavljajo na stružnicah in večnamenskih obdelovalnih strojih s krmilnikom proizvajalca Fanuc.

Primeri zajemajo okvare napajalnih modulov, pregrevanje električnih komponent, okvare strojev zaradi prekinjenih tokokrogov in kratkih stikov ter druge.

4.1.1 Poškodba kabla v energijski verigi

Pri tem primeru se je med obdelavo z večnamenskim obdelovalnim strojem pojavila sledeča okvara: stroj se je med delom ustavil v stanju zasilne zaustavitve. Na prikazovalniku krmilnika so se pojavili alarmi:

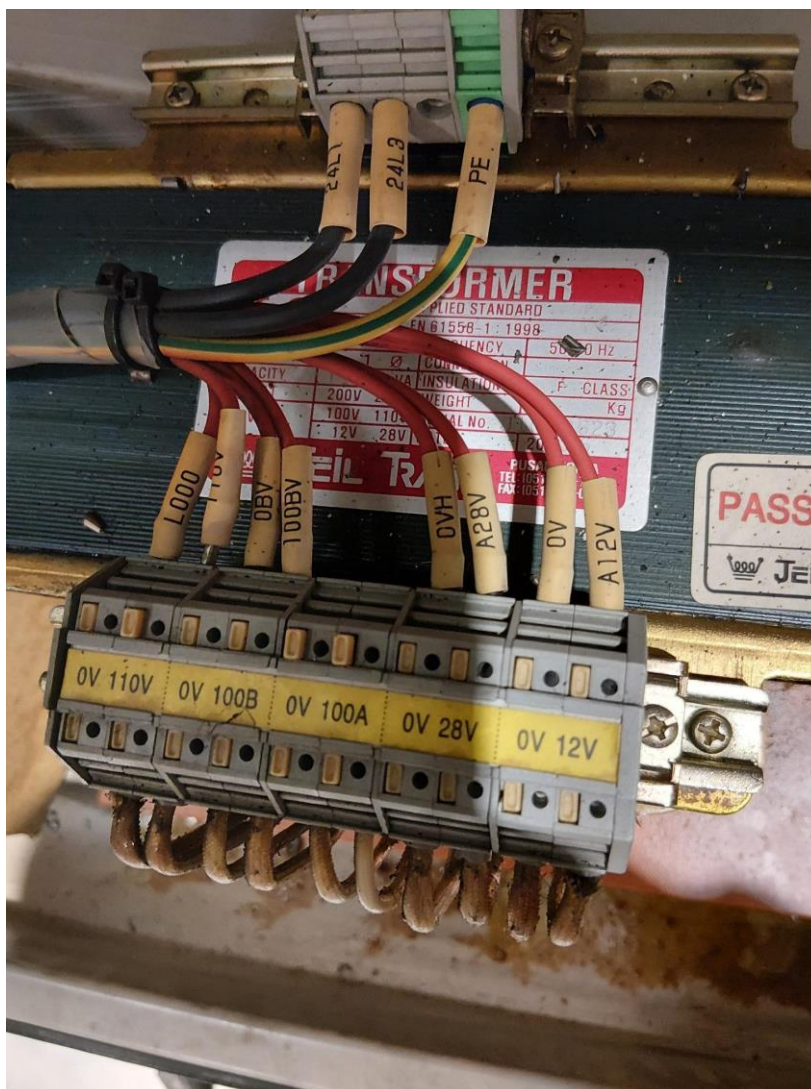
- 9111 SPN 1: S-SPINDLE ERROR (AL-111)
- 432 Z AXIS: CNV. LOW VOLT CONTROL
- 432 Y AXIS: CNV. LOW VOLT CONTROL
- 432 X AXIS: CNV. LOW VOLT CONTROL

Kot smo že omenili v prejšnjih poglavjih, si lahko pri diagnostiki pomagamo z navodili proizvajalca stroja in navodili proizvajalcev prigrajene opreme. Čeprav nam stroj sporoča, kje naj bi bila težava, je zaradi omejenega spomina krmilnika opis okvare omejen le na številko alarma in njegov kratek opis. Tu velja omeniti, da so številke alarmov in njihovi opisi različni glede na proizvajalca krmilnika in proizvajalca stroja. Tako ločimo alarmna sporočila proizvajalcev krmilnikov, krmilnik Fanuc ima drugačne alarme kot npr. Siemensov krmilnik, ter alarmna sporočila proizvajalca strojev – proizvajalec DN Solutions ima tako drugačna alarmna sporočila kot pa npr. proizvajalec DMG Mori idr. Govorimo o tako imenovanih sistemskih in proizvajalčevih alarmih. Poznavalci krmilnikov lahko že na prvi pogled določijo, ali gre za sistemski alarm ali alarm proizvajalca stroja. V našem primeru gre za sistemski alarm proizvajalca krmilnika Fanuc. S poznavanjem tipov alarmov si lahko olajšamo iskanje definicije alarma, saj vemo, da moramo iskati informacije v dokumentaciji proizvajalca Fanuc.

Glede na opis alarma lahko v dokumentaciji zasledimo možne vzroke za nastanek alarma, v našem primeru nam proizvajalec ponudi sledeče morebitne vzroke:

- manjkajoča faza (fazna napetost) dovodne napetosti
- padec napetosti dovodne krmilne napetosti

Z opisa smo pridobili informacijo o morebitnih vzrokih za okvaro. Sedaj moramo s pomočjo dokumentacije (elektro sheme) proizvajalca stroja ugotoviti, kateri tokokrogi vplivajo na morebiten vzrok okvare. S pomočjo multimetra lahko preverimo stanje dovodne napetosti ter krmilne napetosti. Ugotovili smo, da imamo zadostno dovodno napetost, brez manjkajočih faznih napetosti, kar pomeni da lahko izločimo en morebitni vzrok. Ob pregledu krmilne napetosti smo ugotovili, da le-ta ni prisotna, zato se osredotočimo na izvor krmilne napetosti in začnemo iskati prekinjenost tokokroga. Pri pregledu izvora smo takoj naleteli na vzrok naše okvare, in sicer slab stik na priključnih sponkah. Po ponovni pritrditvi vodnika smo znova zagnali stroj.



*Slika 20: Slab stik na sponki 110 V
(Lastni vir)*

Ob ponovnem zagonu stroja smo opazili, da so prejšnji alarmi izginili, vendar pa smo dobili nove sistemske alarme, in sicer:

- 364 Y AXIS:SOFT PHASE ALARM (INT)
- 453 Y AXIS: SPC SOFT DISCONNECT ALARM

Po pregledu zgodovine alarmov in pogovoru s stranko smo prejeli informacijo, da so se ti alarmi pojavili že prejšnji dan ter da je stranka sama poskušala ugotoviti vzrok za okvaro, vendar ni bila uspešna. Tako smo prišli do ugotovitve, da so bili prejšnji alarmi zgolj posledica nepazljivosti vzdrževalnega osebja pri preverjanju stanja v elektro omari stroja. Prava okvara se skriva v opisu alarmov, ki ga najdemo v navodilih proizvajalca, ki pravi da je programska oprema servo pogona zaznala neveljavne podatke z enkoderja. Opis se nanaša na splošno (n) os stroja, vendar iz opisa alarma na krmilniku lahko ugotovimo, da gre v našem primeru za napako na Y osi stroja. Osredotočimo se na območje enkoderja motorja Y osi in si najprej ogledamo stanje.



Slika 21: Energijska veriga
(Lastni vir)

Takoj nam pade v oči slabo stanje kablov motorja in velika količina kovinskih ostružkov v energijski verigi, kjer so napeljeni kabli. Glede na stanje energijske verige lahko takoj pomislimo na poškodbo kablov v energijski verigi. Preverimo kabel enkoderja in ne opazimo nobenih posebnosti. Čeprav nas opis alarma usmerja v

okvaro enkoderja, preventivno izvedemo še meritve upornosti napajalnega kabla motorja ter morebiten preboj med fazami motorja in ozemljitvijo stroja z uporabo multimetra. Ugotovimo prekinjenost ene faze motorja ter kratek stik med fazo motorja in ozemljitvijo. Za natančnejšo diagnostiko odklopimo kabel iz motorja in preverimo upornost navitij motorja ter morebiten preboj med navitji motorja in ohišjem motorja. Ugotovimo, da so upornosti navitij motorja dobre ter da ne prihaja do preboja med navitji motorja in ohišjem. Ponovno izvedemo meritve, tokrat merimo samo kabel motorja in potrdimo preboj med fazo in ozemljitvijo. Potrebna je menjava napajalnega kabla servo motorja Y osi.



Slika 22: Poškodba kabla
(Lastni vir)

Pred menjavo kabla očistimo energijsko verigo in odstranimo kovinske ostružke. V našem primeru je bilo potrebno izdelati napajalni kabel, saj je bil dobavni rok nadomestnega kabla predolg. Pri izbiri kabla smo upoštevali, da je kabel nameščen v energijsko verigo in je izpostavljen hladilni tekočini in mazalnim oljem stroja. Zato

smo naročili poseben na olje odporen kabel, primeren za vgradnjo v energijsko verigo. Poleg tega je kabel dodatno zaščiten z opletom, ki dodatno ščiti kabel pred elektromagnetnimi motnjami. Na kabel smo namestili konektorje in kabel napeljali po energijski verigi. Nato smo zagnali stroj, ki se je zagnal brez alarmov. Izvedemo testiranje delovanja stroja in potrdimo, da je bila okvara uspešno odpravljena.

Ugotovili smo, da je do okvare stroja prišlo zaradi nepravilnega vzdrževanja stroja, stranka ni preverjala stanja energijskih verig, posledično je v energijski verigi prišlo do nabiranja kovinskih ostružkov, ki so povzročili pretrganje kabla in posledično okvaro stroja. Med izvlekom poškodovanega kabla smo ugotovili tudi, da je bil kabel v preteklosti že zamenjan, vendar pa zamenjani kabel ni bil pravilno dimenzioniran za uporabo v tako zahtevnih pogojih. Kabel je bil namreč primeren za polaganje v nepremične inštalacije, poleg tega ni imel dodatnega kovinskega opleta. Zaradi tega je prišlo do deformacije in posledičnega pretrganja kabla.

Stranki smo svetovali, da se lahko ponovitev okvare v prihodnosti prepreči, če bo izvajala preventivno elektro vzdrževanje stroja in redno spremljala stanje energijskih verig.

Pri tem primeru lahko vidimo, da imamo v praksi običajno več vzrokov, ki so privedli do okvare:

- **Elektroenergetski vzroki:** pretrganje kabla, kratek stik med fazo motorja in ozemljitvijo.
- **Okoljski vzrok:** nabiranje ostružkov v energijski verigi in otrdelost kabla zaradi olja in hladilnega sredstva.
- **Človeški faktor:** nepravilna izbira kabla, nepazljivost pri diagnostiki.

Zato je pomembno da imamo pravilno izdelan načrt preventivnega vzdrževanja, v katerem zajamemo vse možne vzroke za nastanek okvar. Z rednim izvajanjem preventivnega elektro vzdrževanja bi lahko preprečili nastanek okvare oz. bi lahko predvideli morebitno okvaro in ukrepali, še preden je prišlo do izpada delovanja stroja.

4.1.2 Pregorela varovalka kombinirane servo enote

Pri svojem delu se velikokrat srečamo z okvarami strojev, ki so posledica kratkih stikov. Tokrat je stroj obstal v stanju zasilnega izklopa takoj po vklopu stroja. Na krmilniku so bili prisotni alarmi:

- SP1220 (S1)NO SPINDLE AMP
- SP1999 SPINDLE CONTROL ERROR
- SV1067 FSSB: CONFIGURATION ERROR (SOFT)

Ponovno lahko vidimo, da gre za sistemske alarme proizvajalca Fanuc, pri čemer se kratica SP nanaša na glavno vreteno, kratica SV pa na servo enoto. Že na podlagi teh kratic vemo, da se moramo osredotočiti na module v elektro omari stroja. Ob pregledu elektro omare smo opazili, da ima stroj samo eno t. i. kombinirano enoto oz. modul. Kombinirana enota je enota, ki vsebuje tako napajalno enoto (PSU) kot tudi servo enote, vse v eni napravi. Ob pogledu na enoto smo opazili, da kljub vklopljenemu stroju na enoti ni prisotnih nobenih znakov življenja. V takih primerih najprej posumimo na izpad napajanja, zato z multimetrom najprej preverimo stanje krmilnih in napajalnih napetosti ter stanje električnih komponent, ki tvorijo napajalni tokokrog. Po preverjanju ugotovimo, da so vse napetosti prisotne in vrednosti normalne, zato se osredotočimo na samo kombinirano enoto.

Vsaka enota vsebuje v svoji notranjosti tudi svoje varovalke, ki varujejo notranjost enote pred morebitnimi prenapetostmi in kratkimi stiki. Pri preverjanju notranjih varovalk ugotovimo, da je pregorela varovalka, ki ščiti enoto pred kratkimi stiki krmilnega tokokroga enote. Izvedemo menjavo varovalke in ponovno zaženemo stroj. Ugotovimo, da je takoj po vklopu stroja ponovno pregorela varovalka. To nam ponudi dodatne informacije, saj sedaj vemo, da do okvare varovalke pride takoj po vklopu stroja, ko sistem in z njim povezane vhodno-izhodne enote še niso zagnane. Za lažjo diagnostiko in preprečitev nepotrebnega uničevanja varovalk moramo razmisliti, kaj se najprej zažene v enoti, takoj po vklopu stroja. Vsaka enota ima svoj ventilator, ki skrbi za odvajanje odvečne toplote iz notranjosti enote. Običajno imajo enote dva ventilatorja, in sicer notranji ventilator, ki odvaja toploto iz notranjosti enote, ter zunanji ventilator, ki odvaja toploto iz hladilnih reber enote. Naša enota ima samo en ventilator, ki odvaja toploto iz enote. Preventivno odstranimo ventilator in ponovno zaženemo stroj. Enota in stroj se zažene normalno, na ekranu pa se nam pojavi alarm za okvaro ventilatorja, ki smo ga odstranili. Po pregledu ventilatorja opazimo sledove olja v notranjosti ventilatorja, preizkus z multimetrom pa potrdi hipotezo, da je ventilator v kratkem stiku.



*Slika 23: Ventilator, izpostavljen vplivom okolja
(Lastni vir)*

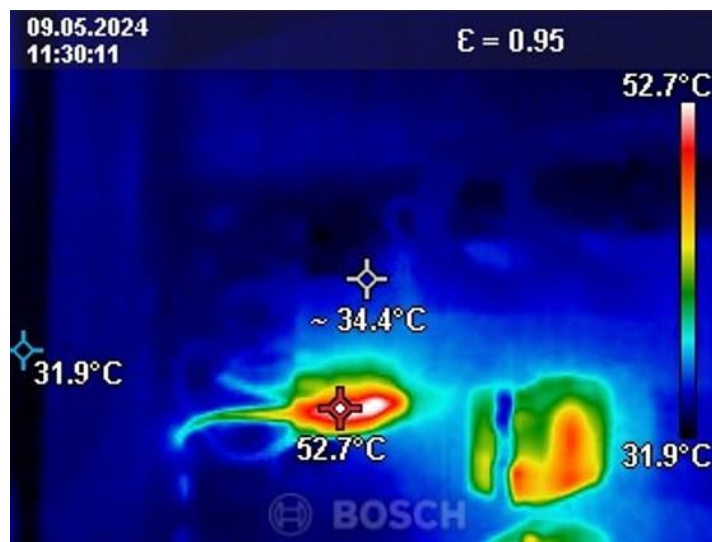
Po zamenjavi ventilatorja stroj in enota delujeta normalno in brez alarmov. Ponovno, gre za okvaro, ki se pogosto pojavlja na strojih, ki se nahajajo v industrijskih okoljih, kjer je prisotno veliko vlage in prahu. V takšnih okoljih je še posebej potrebno izvajanje preverjanja stanja ventilatorjev in filtrov, saj se lahko le tako izognemo nepredvidenim okvaram strojev.

4.1.3 Pregretje kontakta na konektorju

Tokrat bomo predstavili diagnostiko okvare na električni komponenti stroja s pomočjo uporabe termografske kamere. Poleg uspešne diagnostike in odprave okvare električnih komponent je v industrijskem procesu treba okvaro najti v najkrajšem možnem času, saj lahko le tako zmanjšamo stroške, povezane z izpadom delovanja stroja. V nekaterih primerih lahko zaradi splošnega opisa okvare in velikega števila povezanih tokokrogov izgubimo precej časa z odkrivanjem vzroka okvar z uporabo

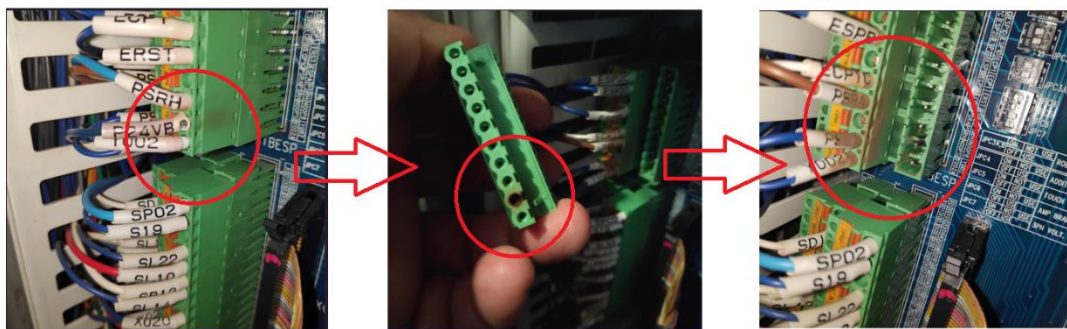
osnovnih diagnostičnih orodij. V nekaterih primerih nam tako pridejo prav nekatera ne tako pogosta orodja, kot je recimo termografska kamera.

V tem primeru je prišlo do okvare na stroju med delovanjem stroja. Stroj je obstal med delovanjem, vendar nam alarmna sporočila na prikazovalniku niso bila v pomoč, saj so nam sporočala samo splošen opis okvare, in sicer nedelovanje nekaterih senzorjev. Pri pregledu elektro sheme ni bilo takoj možno razvideti, kateri tokokrogi vplivajo na odpoved delovanja senzorjev. Okvarjeni senzorji imajo različne izvore napajanja in se nahajajo na različnih mestih na stroju. Pregled krmilnih napetosti na napajalnikih in sponkah z uporabo multimetra ni pokazal nobenih posebnosti. Ob ponovnem zagonu stroja se je stroj zagnal normalno in obratoval brez težav nekaj minut, nato pa se ponovno ustavil na drugem mestu kot prej, z drugačnimi alarmi kot prej. Po večkratnem testiranju se je napaka vedno ponovila v različnih časovnih intervalih in na različnih mestih. Glede na videno smo takoj pomislili na izrabljenost električnih komponent ali na slab stik na eni ali več električnih komponentah. Preverjanje vsake komponente in iskanje slabega stika bi nam vzelo preveč časa, zato smo si pri diagnostiki pomagali z uporabo termografske kamere. Pri pregledu s termografsko kamero smo tako lahko pregledali spoje električnih komponent in temperaturo posameznih komponent. Pri tem nam je v oči padla vroča točka na enem izmed priključnih mest na I/O plošči v elektro omari stroja, in sicer na enem izmed izhodov konektorja, iz katerega je izpeljan vodnik do priključnih sponk.



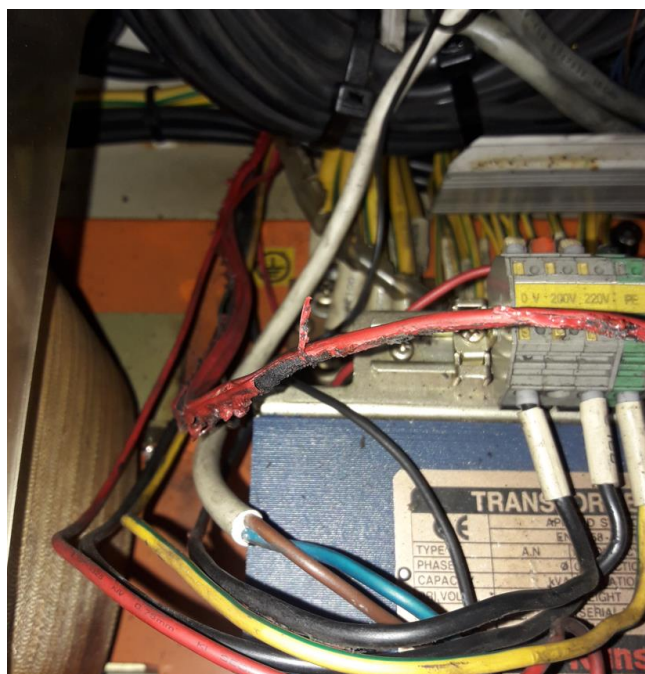
Slika 24: Posnetek pregretega spoja s termografsko kamero
(Lastni vir)

Po pregledu konektorja in vodnika smo takoj opazili sledi pregrevanja in posledično vzrok naše okvare. Spoj med konektorjem in I/O ploščo ni bil ustrezen, zaradi česar je prišlo do pregrevanja, s časom pa je nato pregrevanje povzročilo deformacijo pina konektorja in posledično prekinitev stika med konektorjem in I/O ploščo.



Slika 25: Pregret spoj
(Lastni vir)

Tokrat je okvaro povzročil elektroenergetski vzrok, in sicer slab stik na priključni sponki konektorja. Ta primer nam prikazuje, kako lahko s termografsko kamero odkrijemo morebitne nepravilno pritrjene spoje, brez da bi morali preveriti vsak spoj posebej z ustreznimi navornimi ključi ipd. V praksi se velikokrat zgodi, da stranke same vgradijo kakšno dodatno opremo, pri čemer se dostikrat uporabljajo bližnjice v obliki neprimerno dimenzioniranih vodnikov in neprimernih načinov priklopa. Zato je smotno preveriti spoje vodnikov ob vsaki montaži novih ali zamenjavi obrabljenih električnih komponent ter preveriti stanje spojev ob vsakem preventivnem pregledu, saj lahko zaradi vibracij stroja med delovanjem pride do razrahljanja priključkov.



Slika 26: Staljen kabel zaradi napačnega priklopa
(Lastni vir)

4.1.4 Izguba referenc osi stroja

Najpogostejša elektro okvara CNC strojev je t.i. izguba referenčnih točk stroja. Ta tip okvare se pojavlja predvsem pri CNC strojih, ki delujejo na principu Fanuc krmilnika, in je posledica izpraznitve baterij, ki ohranjajo spomin pozicij enkoderjev ob izklopu stroja. Baterije imajo določeno kapacitivnost in so namenjene izključno ohranjanju vrednosti pozicije osi v času, ko je stroj izklopljen. Baterije so nepolnilne, kar pomeni da se sčasoma izpraznijo. Proizvajalec zagotavlja, da je kapacitivnost baterij dovolj velika, da lahko ohranjajo spomin, tudi če je stroj izklopljen dlje časa, vendar priporoča menjavo baterij enkrat letno. V praksi je življenjska doba baterij odvisna od več dejavnikov, kot so recimo temperatura okolja, starost baterij pred vgradnjo, koliko časa je stroj dejansko izklopljen... Ob izpraznitvi baterij se iz spomina izgubijo vrednosti trenutne pozicije posameznih osi, kar pomeni, da stroj ne ve, na kateri poziciji se osi stroja fizično nahajajo. Zato je ob izpraznitvi baterij potrebno baterije zamenjati, obenem pa tudi nastaviti nove referenčne točke, kar pa zahteva poseben postopek, ki ga ne more opraviti vsak. Nastavitev referenčnih točk je treba izvesti z uporabo posebnih orodij, s posegom v parametre stroja ter z uporabo posebnih znanj. Če nastavitev ni izvedena ustrezno, lahko namreč pride do loma orodij, v najslabšem primeru pa tudi do strojeloma. Običajno ima krmilnik v sebi vgrajeno posebno orodje, s katerim nadzira stanje baterije, in ko voltaža baterije pade pod določeno vrednost, nam to sporoči s posebnim alarmnim sporočilom. V tem primeru lahko preprosto zamenjamo baterije pri prižganem stroju in pobrišemo alarmno sporočilo. Stroj bo delal dalje brez težav. Kot smo že omenili, se izpraznitev baterij krmilnika dogaja ob izklopu stroja. V praksi se tako velikokrat zgodi, da imajo baterije še dovolj kapacitete, da se alarmno sporočilo ne pojavi, ko je stroj prižgan, vendar pa se ob daljšem izklopu stroja (npr. med kolektivnimi dopusti) baterije izpraznijo in se alarm ne more generirati. Ob vklopu stroja se nam tako (na krmilnikih Fanuc) pojavi APC alarm: NEED REFERENCE RETURN (N) in stroja ne moremo uporabljati, dokler alarma ne izbrišemo, to pa lahko storimo le tako, da odpravimo vzrok za alarm. Kot smo že omenili, gre za zahteven postopek, ki ga mora opraviti ustrezno usposobljeno osebje, kar pomeni, da moramo pridobiti ustreznega izvajalca, kar pomeni dodatne stroške. Zato je pomembno, da spremljamo časovne intervale menjave baterij in baterije menjamo v rednih časovnih intervalih, saj se lahko le s tem izognemo morebitnim nepredvidenim okvaram.

4.2 Stroški okvare CNC stroja – uporaba zunanjega izvajalca, serviserja CNC stroja

Primeri, omenjeni v prejšnjem podpoglavju, predstavljajo tipične primere okvar električnih komponent CNC strojev v sodobnih proizvodnih procesih. Okvare CNC strojev predstavljajo za podjetja precejšnje stroške, saj poleg izpada proizvodnje nastanejo tudi dodatni stroški za odpravo okvar. V nadaljevanju bomo predstavili stroške, nastale zaradi okvar, omenjenih v prejšnjem poglavju. Za izračun stroškov

okvar moramo najprej poznati nekatere osnovne podatke za izračun, ti so predstavljeni v naslednjih podpoglavjih.

4.2.1 Izračun stroška izpada proizvodnje CNC stroja

Strošek izpada proizvodnje CNC stroja nam pove, kolikšno vrednost, izraženo v EUR, bi lahko proizvedli s CNC strojem, če bi stroj deloval brez okvare. Strošek izpada lahko izračunamo z uporabo podatkov, koliko časa je bil CNC stroj v nedelovanju zaradi okvare, to je čas od pojava okvare do ponovne vzpostavitve delovanja stroja, ter cene strojne ure, ki predstavlja vrednost, ki jo stroj s svojim delovanjem proizvede z obdelavo kosov in je odvisna od zahtevnosti obdelave kosa. Ob poznavanju teh podatkov lahko izračunamo strošek izpada CNC stroja po enačbi 1:

$$T_{\text{IZPAD}} \times C_{\text{STR.URE}} = S_{\text{IZPADA}} \quad \text{En. 1}$$

Pri tem je:

T_{IZPAD} – čas izpada proizvodnje CNC stroja v urah

$C_{\text{STR.URE}}$ – cena strojne ure CNC stroja v EUR/uro

S_{IZPADA} – strošek izpada proizvodnje CNC stroja v EUR

4.2.2 Izračun stroška zunanjega serviserja CNC stroja

Strošek zunanjega serviserja CNC stroja predstavlja strošek, izražen v EUR, ki je nastal zaradi servisiranja CNC stroja s strani zunanjega izvajalca. Če podjetje nima lastnega vzdrževalnega osebja, ki je usposobljeno za popravilo CNC stroja, je primorano v primeru okvare za odpravo okvare najeti zunanje izvajalce – serviserje CNC strojev.

Zavoljo poenostavitve izračuna so za izračun stroška serviserja uporabljeni le podatki o številu opravljenih servisnih ur ter ceni servisne ure. V praksi se običajno k temu prištejejo še dodatni stroški, kot je npr. kilometrina, čas na poti, dodatki za delo izven rednega delovnega časa itd.

Strošek serviserja CNC stroja lahko poenostavljeno izračunamo po enačbi 2:

$$C_{\text{SER.URE}} \times N_{\text{SER.UR}} = S_{\text{SERVISER}} \quad \text{En. 2}$$

Pri tem je:

$C_{\text{SER.URE}}$ – cena servisne ure

$N_{\text{SER.UR}}$ – število opravljenih servisnih ur

S_{SERVISER} – strošek serviserja CNC stroja

4.2.3 Izračun celotnega stroška okvare CNC stroja

Celoten strošek okvare CNC stroja predstavlja strošek izpada proizvodnje CNC stroja in strošek, potreben za popravilo CNC stroja oz. za ponovno vzpostavitev delovanja CNC stroja, in ga izračunamo po enačbi 3:

$$S_{IZPADA} + S_{SERVISER} + S_{REZ.DEL} = S_{CELOTNI} \quad \text{En. 3}$$

Pri tem je:

S_{IZPADA} – strošek izpada proizvodnje CNC stroja

$S_{SERVISER}$ – strošek serviserja CNC stroja

$S_{REZ.DEL}$ – strošek rezervnih delov

$S_{CELOTNI}$ – celotni strošek okvare CNC stroja

4.2.4 Podatki za izračun stroškov okvare CNC stroja

Za izračun stroškov, povezanih z izpadom stroja, moramo poleg enačb za izračun stroškov poznati tudi nekatere osnovne podatke, kot je na primer podatek o ceni strojne ure, ceni servisne ure itd. Te podatke lahko pridobimo prek internih podatkov podjetja (cena strojne ure) ter prek povpraševanj zunanjim izvajalcem servisnih storitev. V našem primeru smo podatke poiskali s pomočjo spleta in so predstavljeni spodaj:

Čas nedelovanja stroja (izražen v urah): Kot nam pove že ime, je to čas, v katerem stroj zaradi okvare ni proizvajal kosov. V triizmenskih proizvodnjah ta čas znaša 24 ur na dan, medtem ko v enoizmenskih znaša 8 ur na dan. Čas je odvisen od več dejavnikov, med drugim tudi od časa, potrebnega za dobavo rezervnih delov, časa, potrebnega za diagnostiko, razpoložljivosti zunanjih izvajalcev idr.

Čas popravila (izražen v urah): celoten čas, namenjen odkrivanju vzroka za okvaro, ter čas, potreben za popravilo okvare. Upoštevamo dejansko opravljene ure.

Strošek rezervnih delov (izražen v EUR): predstavlja strošek nadomestnih delov (če so potrebni), pri katerem je upoštevana cena rezervnega dela in vsi pripadajoči stroški, povezani z rezervnim delom (pakiranje, transport, režija ...).

Povprečna urna postavka za strojno uro (izražena v EUR/uro): cena strojne ure je odvisna od načina obdelave, materiala, amortizacijske stopnje stroja, stroškov energije itd. in se lahko spreminja od nekaj deset do nekaj sto ali celo tisoč EUR. Za poenostavitev izračuna je uporabljena priporočena cena OZS za strojno uro obdelave na CNC stroju in znaša 40,00 EUR/uro (OZS, 2015).

Povprečna urna postavka servisa CNC (izražena v EUR/uro): predstavlja ceno servisne ure zunanjega serviserja CNC stroja. Cena je v praksi odvisna od več

dejavnikov (zahtevnost okvare, tip okvare idr.). Poleg tega večina podjetij, ki se ukvarja s servisno dejavnostjo, poleg servisnih ur zaračuna tudi stroške poti in režijskega dela. Za poenostavitev izračuna bomo uporabili le ceno servisne ure, brez dodatnih stroškov. Ta znaša 84,00 EUR/uro (HAAS Automation, 2026).

4.2.5 Izračun stroškov okvare CNC stroja

Primer 1: Poškodba kabla v energijski verigi

Podatki za izračun:

- čas nedelovanja stroja (T_{IZPAD}): 72 ur
- cena strojne ure: 40 EUR/uro
- čas trajanja diagnostike in servisa: 15 ur
- strošek serviserja: 84 EUR/uro
- strošek rezervnih delov: 250 EUR

Strošek izpada proizvodnje stroja, izračunan po enačbi 1:

$$\begin{aligned}S_{IZPAD} &= T_{IZPAD} \times C_{STR.URE} \\S_{IZPAD} &= 72 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{IZPAD} &= 2880 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek serviserja CNC stroja, izračunan po enačbi 2:

$$\begin{aligned}S_{SERVISER} &= C_{SER.URE} \times N_{SER.UR} \\S_{SERVISER} &= 84 \text{ EUR/uro} \times 15 \text{ ur} \\S_{SERVISER} &= 1260 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Celotni strošek okvare CNC stroja, izračunan po enačbi 3:

$$\begin{aligned}S_{CELOTNI} &= S_{IZPAD} + S_{SERVISER} + S_{REZ.DEL.} \\S_{CELOTNI} &= 2880 \text{ EUR} + 1260 \text{ EUR} + 250 \text{ EUR} \\S_{CELOTNI} &= 4390 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Primer 2: Pregorela varovalka kombinirane enote

Podatki:

- čas nedelovanja stroja: 24 ur
- cena strojne ure: 40 EUR/uro
- čas diagnostike in servisa: 8 ur
- strošek serviserja: 84 EUR/uro
- strošek rezervnih delov: 50 EUR

Strošek izpada proizvodnje stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{IZPAD}} &= T_{\text{IZPAD}} \times C_{\text{STR.URE}} \\S_{\text{IZPAD}} &= 24 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{\text{IZPAD}} &= 960 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek serviserja CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{SERVISER}} &= C_{\text{SER.URE}} \times N_{\text{SER.UR}} \\S_{\text{SERVISER}} &= 84 \text{ EUR/uro} \times 8 \text{ ur} \\S_{\text{SERVISER}} &= 672 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Celotni strošek okvare CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{CELOTNI}} &= S_{\text{IZPAD}} + S_{\text{SERVISER}} + S_{\text{REZ.DEL.}} \\S_{\text{CELOTNI}} &= 960 \text{ EUR} + 672 \text{ EUR} + 50 \text{ EUR} \\S_{\text{CELOTNI}} &= 1682 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Primer 3: Pregretje kontakta na konektorju

Podatki:

- čas nedelovanja stroja: 72 ur
- cena strojne ure: 40 EUR/uro
- čas diagnostike in servisa: 8 ur
- strošek serviserja: 84 EUR/uro
- strošek rezervnih delov: 2000 EUR

Strošek izpada proizvodnje stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{IZPAD}} &= T_{\text{IZPAD}} \times C_{\text{STR.URE}} \\S_{\text{IZPAD}} &= 72 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{\text{IZPAD}} &= 2880 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek serviserja CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{SERVISER}} &= C_{\text{SER.URE}} \times N_{\text{SER.UR}} \\S_{\text{SERVISER}} &= 84 \text{ EUR/uro} \times 8 \text{ ur} \\S_{\text{SERVISER}} &= 672 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Celotni strošek okvare CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{CELOTNI}} &= S_{\text{IZPAD}} + S_{\text{SERVISER}} + S_{\text{REZ.DEL.}} \\S_{\text{CELOTNI}} &= 2880 \text{ EUR} + 672 \text{ EUR} + 2000 \text{ EUR} \\S_{\text{CELOTNI}} &= 5552 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Primer 4: Izguba referenc

Podatki:

- čas nedelovanja stroja: 32 ur
- cena strojne ure: 40 EUR
- čas diagnostike in servisa: 8 ur
- strošek serviserja: 84 EUR/uro
- strošek rezervnih delov: 20 EUR

Strošek izpada proizvodnje stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{IZPAD}} &= T_{\text{IZPAD}} \times C_{\text{STR.URE}} \\S_{\text{IZPAD}} &= 32 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{\text{IZPAD}} &= 1280 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek serviserja CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{SERVISER}} &= C_{\text{SER.URE}} \times N_{\text{SER.UR}} \\S_{\text{SERVISER}} &= 84 \text{ EUR/uro} \times 15 \text{ ur} \\S_{\text{SERVISER}} &= 672 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Celotni strošek okvare CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{CELOTNI}} &= S_{\text{IZPAD}} + S_{\text{SERVISER}} + S_{\text{REZ.DEL.}} \\S_{\text{CELOTNI}} &= 1280 \text{ EUR} + 672 \text{ EUR} + 20 \text{ EUR} \\S_{\text{CELOTNI}} &= 1972 \text{ EUR}\end{aligned}$$

4.3 Optimizacija stroškov okvare CNC stroja – uporaba lastnega vzdrževalnega osebja

4.3.1 Izračun stroška lastnega vzdrževalca CNC stroja

Strošek vzdrževalca CNC stroja predstavlja strošek, ki bi nastal v primeru, da ima podjetje zaposleno svoje vzdrževalno osebje, ki je ustrezno usposobljeno za odpravo okvar na CNC strojih. V tem primeru se lahko izognemo strošku serviserja CNC stroja in namesto njega upoštevamo strošek vzdrževalca. Prednost uporabe lastnega, ustrezno usposobljenega vzdrževalnega osebja je tudi v tem, da lahko zmanjšamo

strošek izpada proizvodnje CNC stroja, saj je čas od pojave okvare do ponovnega zagona stroja lahko bistveno krajši.

Seveda, kot smo že omenili v poglavju 3. Elektro vzdrževanje CNC strojev, je vrsta in način vzdrževanja CNC stroja odvisna predvsem od usmeritve in finančnih zmogljivosti podjetja. Manjše podjetje, ki razpolaga z majhnim številom strojev in izdeluje maloserijske izdelke, si verjetno ne bo ustvarjalo dodatnih stroškov z zaposlitvijo dodatnega vzdrževalnega osebja in je v primeru okvar odvisno predvsem od lastnega znanja in zunanjih izvajalcev servisne dejavnosti. V primeru, da ima podjetje večje število strojev in izvaja serijsko proizvodnjo kosov, pa ima po vsej verjetnosti v svojem kolektivu zaposlenih vsaj nekaj vzdrževalcev, ki skrbijo za ustrezno (mehansko in elektro) delovanje proizvodnih linij. Če so ti vzdrževalci tudi ustrezno usposobljeni, lahko zmanjšamo stroške okvar, saj za popravilo stroja lahko uporabimo lastno vzdrževalno osebje.

Strošek vzdrževalca lahko izračunamo po enačbi 4:

$$C_{URE\ VZD.} \times N_{UR\ VZD.} = S_{VZD.} \quad En. 4$$

Pri tem je:

$C_{URE\ VZD.}$ – cena ure usposobljenega vzdrževalca

$N_{UR\ VZD.}$ – število opravljenih servisnih ur lastnega vzdrževalca

$S_{VZD.}$ – strošek lastnega vzdrževalca CNC stroja

Ceno ure vzdrževalca lahko izračunamo na podlagi povprečnega stroška vzdrževalca za podjetje in povprečnega števila delovnih ur v tekočem letu:

- povprečna bruto plača elektro vzdrževalca: 2175 EUR (Alma Career Slovakia, 2026)
- povprečno število delovnih ur na mesec: 174 ur (Računovodja.com, 2024)
- povprečen mesečni strošek vzdrževalca za podjetje (pri čemer smo upoštevali, da delavec prejme 7,96 EUR na dan za prehrano ter 37 EUR povrnjenih stroškov za prevoz na mesec – strošek mesečne vozovnice LPP: 2757,06 EUR) (Data d.o.o., 2026).

Izračun povprečne urne postavke:

$$C_{URE\ VZD.} = \frac{S_{PMSV}}{N_{PŠDU}} \quad En. 5$$

Pri tem je:

$C_{URE\ VZD.}$ – povprečna cena ure usposobljenega vzdrževalca

S_{PMSV} – povprečen mesečni strošek vzdrževalca za podjetje

$N_{PŠDU}$ – povprečno število delovnih ur vzdrževalca na mesec

Na podlagi zgornjega izračuna pridobimo nov podatek, ki ga uporabimo pri izračunu optimiziranega stroška okvare CNC stroja:

Povprečna urna postavka vzdrževalca CNC: Povprečno urno postavko vzdrževalca CNC stroja smo določili na podlagi podatkov, pridobljenih prek spleta, ter jo za potrebe izračuna določili pri 15,85 EUR/uro.

Kot smo že omenili, lahko celoten strošek okvare CNC stroja optimiziramo (zmanjšamo) z uporabo lastnega vzdrževalnega osebja. V tem primeru prilagodimo enačbo za izračun celotnega stroška okvare CNC stroja:

$$S_{\text{IZPADA}} + S_{\text{VZD}} + S_{\text{REZ.DEL}} = S_{\text{CELOTNI}} \quad \text{En. 6}$$

Pri tem je:

S_{IZPADA} – strošek izpada proizvodnje CNC stroja

S_{VZD} – strošek vzdrževalca CNC stroja

$S_{\text{REZ.DEL}}$ – strošek rezervnih delov

S_{CELOTNI} – celotni strošek okvare CNC stroja

Razliko med stroškom okvare lahko izračunamo po enačbi 7:

$$S_{\text{RAZLIKA}} = S_{\text{CELOTNI}} - S_{\text{CELOTNI}}' \quad \text{En. 7}$$

Sedaj lahko ponovno izračunamo stroške okvare, ki so nastali pri okvarah CNC strojev, omenjenih v podpoglavju 4.1. Pri izračunu tokrat uporabimo nove podatke in tako izračunamo optimizirane stroške okvare CNC stroja.

4.3.2 Primer 1: Poškodba kabla v energijski verigi

Na podlagi prejšnjih izračunov lahko vidimo, da je celoten strošek okvare znašal 4390 EUR. Sedaj si pogledajmo še, koliko bi znašal strošek okvare v primeru, da ima podjetje lastno, ustrezno usposobljeno vzdrževalno osebje. Predpostavimo, da bi ustrezno usposobljen vzdrževalec porabil enako količino časa za diagnostiko in odpravo napake. Cena uporabljenih rezervnih delov ostaja nespremenjena, se pa čas nedelovanja stroja skrajša na čas trajanja diagnostike in servisa. V praksi se namreč popravilo stroja izvaja, dokler stroj ni popravljen, saj lahko zaradi narave dela (vsak stroj proizvaja le delno obdelavo – obdelava po stopnjah) okvara enega stroja povzroči zaustavitev celotne linije.

Strošek izpada proizvodnje CNC stroja, izračunan po prilagojeni enačbi 1:

$$S_{\text{IZPAD}} = N_{\text{SER.UR}} \times C_{\text{STR.URE}}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{IZPAD}} &= 15 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{\text{IZPAD}} &= 600 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek vzdrževalca izračunan po prilagojeni enačbi 2:

$$\begin{aligned}S_{\text{VZD.}} &= C_{\text{URE VZD.}} \times N_{\text{UR VZD.}} \\S_{\text{VZD.}} &= 15,85 \text{ EUR/uro} \times 15 \text{ ur} \\S_{\text{VZD.}} &= 237,75 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Izračunajmo še celotni strošek okvare CNC stroja po prilagojeni enačbi 3:

$$\begin{aligned}S_{\text{CELOTNI'}} &= S_{\text{IZPAD}} + S_{\text{VZD.}} + S_{\text{REZ.DEL.}} \\S_{\text{CELOTNI'}} &= 600 \text{ EUR} + 237,75 \text{ EUR} + 250 \text{ EUR} \\S_{\text{CELOTNI'}} &= 1087,75 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Razliko med stroškom okvare lahko izračunamo po enačbi 6:

$$\begin{aligned}S_{\text{RAZLIKA}} &= 4390 \text{ EUR} - 1087,75 \text{ EUR} \\S_{\text{RAZLIKA}} &= 3302,25 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Kot lahko vidimo na podlagi zgornjih izračunov, lahko podjetje z ustrezno usposobljenim osebjem prihrani precejšnje stroške v primeru okvare.

4.3.3 Primer 2: Pregorela varovalka kombinirane enote

Strošek izpada proizvodnje CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{IZPAD'}} &= N_{\text{SER.UR}} \times C_{\text{STR.URE}} \\S_{\text{IZPAD'}} &= 8 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{\text{IZPAD'}} &= 320 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek vzdrževalca:

$$\begin{aligned}S_{\text{VZD.}} &= C_{\text{URE VZD.}} \times N_{\text{UR VZD.}} \\S_{\text{VZD.}} &= 15,85 \text{ EUR/uro} \times 8 \text{ ur} \\S_{\text{VZD.}} &= 126,80 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Izračunajmo še celotni strošek okvare CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{CELOTNI'}} &= S_{\text{IZPAD}} + S_{\text{VZD.}} + S_{\text{REZ.DEL.}} \\S_{\text{CELOTNI'}} &= 320 \text{ EUR} + 126,80 \text{ EUR} + 50 \text{ EUR} \\S_{\text{CELOTNI'}} &= 496,80 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Stroškovna razlika:

$$\begin{aligned}S_{\text{RAZLIKA}} &= 1682 \text{ EUR} - 496,80 \text{ EUR} \\S_{\text{RAZLIKA}} &= 1185,20 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Ponovno lahko vidimo razliko med uporabo zunanega servisnega izvajalca in ustrezno usposobljenim vzdrževalcem.

4.3.4 Primer 3: Pregretje kontakta na konektorju

Strošek izpada proizvodnje CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{IZPAD}'} &= N_{\text{SER.UR}} \times C_{\text{STR.URE}} \\S_{\text{IZPAD}'} &= 72 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{\text{IZPAD}'} &= 2880 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek vzdrževalca:

$$\begin{aligned}S_{\text{VZD.}} &= C_{\text{URE VZD.}} \times N_{\text{UR VZD.}} \\S_{\text{VZD.}} &= 15,85 \text{ EUR/uro} \times 8 \text{ ur} \\S_{\text{VZD.}} &= 126,80 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Izračunajmo še celotni strošek okvare CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{CELOTNI}'} &= S_{\text{IZPAD}} + S_{\text{VZD.}} + S_{\text{REZ.DEL.}} \\S_{\text{CELOTNI}'} &= 2880 \text{ EUR} + 126,80 \text{ EUR} + 2000 \text{ EUR} \\S_{\text{CELOTNI}'} &= 5006,80 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Stroškovna razlika:

$$\begin{aligned}S_{\text{RAZLIKA}} &= 5520 \text{ EUR} - 5006,80 \text{ EUR} \\S_{\text{RAZLIKA}} &= 513,20 \text{ EUR}\end{aligned}$$

V tem primeru razlika, čeprav nezanemarljiva, ni tako očitna kot v prejšnjih primerih. Z uporabo lastnega ustrezno usposobljenega vzdrževalnega osebja lahko podjetje prihrani na račun optimizacije stroška, potrebnega za popravilo, vendar pa na optimizacijo celotnih stroškov okvare CNC stroja vplivajo tudi številni drugi dejavniki, ki jih ni mogoče vedno optimizirati. V našem primeru sta dva izmed dejavnikov tudi dobavni rok in razpoložljivost rezervnih delov.

4.3.5 Primer 4: Izguba referenc

V primeru pravočasne menjave baterij se lahko izognemo neplanirani zaustavitvi stroja, saj lahko menjavo baterij izvedemo med delovanjem stroja. V tem primeru

nimamo nobenih stroškov z izpadom proizvodnje, menjava baterij vzame vzdrževalcu manj kot 5 minut, tako da nimamo tudi nobenih stroškov, povezanih s časom vzdrževalca. Celoten strošek nam tako predstavlja le strošek rezervnih delov.

Strošek izpada proizvodnje CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{IZPAD}'} &= N_{\text{SER.UR}} \times C_{\text{STR.URE}} \\S_{\text{IZPAD}'} &= 0 \text{ ur} \times 40 \text{ EUR/uro} \\S_{\text{IZPAD}'} &= 0 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Strošek vzdrževalca:

$$\begin{aligned}S_{\text{VZD.}} &= C_{\text{URE VZD.}} \times N_{\text{UR VZD.}} \\S_{\text{VZD.}} &= 15,85 \text{ EUR/uro} \times 0,08 \text{ ur} \\S_{\text{VZD.}} &= 1,27 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Izračunajmo še celotni strošek okvare CNC stroja:

$$\begin{aligned}S_{\text{CELOTNI}'} &= S_{\text{IZPAD}} + S_{\text{VZD.}} + S_{\text{REZ.DEL.}} \\S_{\text{CELOTNI}'} &= 0 \text{ EUR} + 1,27 \text{ EUR} + 20 \text{ EUR} \\S_{\text{CELOTNI}'} &= 21,27 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Stroškovna razlika:

$$\begin{aligned}S_{\text{RAZLIKA}} &= 1972 \text{ EUR} - 21,27 \text{ EUR} \\S_{\text{RAZLIKA}} &= 1950,73 \text{ EUR}\end{aligned}$$

Ta primer nam nazorno prikazuje, kako lahko že najmanjša okvara prinese nezanemarljive stroške in v primerih, ko je stroj kritičen del proizvodnje, vpliva na celotno proizvodnjo.

4.3.6 Ugotovitve

V prejšnjih podpoglavjih so predstavljeni primeri, kako lahko podjetje optimizira stroške okvare CNC stroja, z uporabo lastnega, ustrezno usposobljenega vzdrževalnega kadra. Vendar pa, kot smo že omenili, s tem optimizira le stroške dela, potrebnega za odpravo okvare. Če želi podjetje znižati celotne stroške okvare, lahko to stori z ustreznim izvajanjem preventivnega elektro vzdrževanja. V primeru poškodovanega kabla v energijski verigi bi podjetje z ustreznim izvajanjem preventivnega elektro vzdrževanja preprečilo nastanek okvare ali vsaj omejilo čas izpada delovanja CNC stroja, saj bi lahko na podlagi preventivnega pregleda določilo potrebne postopke za preprečitev nastanka okvare, obenem pa tudi znižalo vpliv okvare stroja na preostali del proizvodnje. Ob pravočasnem odkritju morebitne okvare si lahko podjetje že vnaprej zagotovi potrebne rezervne dele, preusmeri del

proizvodnega procesa med druge stroje in tako posledično zmanjša vpliv na celotni proizvodni proces in tudi zmanjša čas nedelovanja stroja.

Tudi pri ostalih primerih lahko podjetje z uporabo metod preventivnega elektro vzdrževanja zmanjša oz. ponekod tudi popolnoma odpravi vzroke za nastanek okvar CNC strojev. V primeru okvare zaradi okvarjenega ventilatorja bi podjetje, ki izvaja preventivno elektro vzdrževanje stroja, lahko pravočasno zaznalo vplive okolja na elektro komponente in jih ustrezno zaščitilo bodisi z ustrezno zaščito pred vplivi okolja na električne komponente (filtracija) ali v primerih, ko to ni izvedljivo, z rednim čiščenjem izpostavljenih komponent.

Videli smo lahko tudi, da včasih ni mogoče optimizirati vseh stroškov okvare. V primerih, ko potrebujemo za odpravo posledic okvare posebne rezervne dele, smo večinoma časa odvisni od dobavnih rokov in razpoložljivosti rezervnih delov. Vendar pa lahko tudi v teh primerih optimiziramo stroške z uporabo različnih dobaviteljev in tako morebiti zmanjšamo čas okvare za nekaj ur ali celo dni. Zato je smotrno voditi seznam standardnih rezervnih delov, v katerem imamo zabeležene specifikacije rezervnih delov, s pomočjo katerih lahko poiščemo tudi ustrezne alternativne rezervne dele.

Na zadnjem primeru, primeru izgube referenc zaradi izpraznitve baterij, smo lahko videli, da bi lahko z ustreznim izvajanjem preventivnega elektro vzdrževanja prihranili nezanemarljive stroške. Vsak proizvajalec strojev vedno strojem priloži navodila za upravljanje stroja, v katerih so običajno tudi vsaj osnovna navodila za vzdrževanje stroja. Pomembno je da si podjetje oziroma odgovorne osebe za vzdrževanje stroja preberejo ta navodila in si na podlagi teh navodil dopolnijo svoj načrt preventivnega elektro vzdrževanja. Z ustreznim izvajanjem preventivnega elektro vzdrževanja bi se lahko izognili okvari stroja in obenem zmanjšali stroške na praktično zanemarljivo vrednost.

4.4 Predlogi za izboljšavo in optimizacijo vzdrževanja

Glede na primere, opisane v prejšnjih poglavjih, lahko predlagamo dodatne predloge za izboljšanje in optimizacijo (elektro) vzdrževanja. To lahko naredimo na več načinov. V naslednjih podpoglavjih so predstavljeni nekateri predlogi za optimizacijo elektro vzdrževanja CNC stroja.

4.4.1 Digitalizacija zapisov o vzdrževanju

Digitalizacija tehnične dokumentacije in ostalih zapisov o vzdrževanju stroja nam lahko prihrani veliko časa, ki ga drugače izgubimo z iskanjem in pregledom ustrezne dokumentacije. Dokumentacija v digitalni obliki, shranjena na npr. strežniku, nam omogoča hiter dostop, obenem pa tudi iskanje po npr. tipu stroja, okvare ali alarma. Nadalje lahko stroje opremimo s posebnimi QR oznakami, tako da imamo z uporabo

mobilnega telefona takojšen dostop do dokumentacije in ostalih podatkov o stroju. Dokumentacijo lahko dopolnimo s slikovnim gradivom in podrobnim opisom posameznih postopkov vzdrževanja in odpravljanja okvar. S tem bomo zagotovili hitrejšo in tudi bolj natančno izvedbo vzdrževalnih postopkov in odpravljanja okvar.

4.4.2 Spremljanje stanja stroja v realnem času

Z dogradnjo posebnih merilnih naprav lahko spremljamo dejansko stanje posameznega stroja. Z vgradnjo temperaturnih senzorjev lahko spremljamo stanje temperature posameznih komponent stroja ali pa preverjamo temperaturo elektro omare stroja in na podlagi meritev določimo npr. zamašenost prezračevalnih filtrov in delovanje ventilatorjev, še preden temperatura povzroči okvaro električnih komponent.

Z vgradnjo merilcev napetosti lahko takoj opazimo nihanja posameznih napetosti in izvedemo ustrezne ukrepe, še preden pride do večje okvare stroja. Merilci napetosti se velikokrat uporabljajo kot cenejša alternativa za spremljanje stanja delovanja stroja, npr. ali je stroj v delovanju ali stroj miruje itd.

Posebna pozornost se v zadnjem času namenja tudi spremljanju vibracij stroja. Z uporabo posebnih senzorjev vibracij lahko npr. omejimo hitrosti stroja, preprečimo močnejše nalete stroja, kontroliramo obrabo orodij itd.

4.4.3 Usposabljanje vzdrževalcev

Posebno pozornost je potrebno nameniti usposabljanju vzdrževalnega osebja. Vzdrževalec stroja mora poznati delovanje stroja, delovanje posameznih komponent stroja in imeti dovolj znanja za uspešno diagnostiko in odpravljanje vsaj osnovnih okvar na stroju. Z usposabljanjem vzdrževalcev se lahko izognemo nepotrebnim zastojem in dodatnim stroškom zaradi uporabe zunanjih izvajalcev. Usposabljanje vzdrževalnega osebja za podjetje pomeni dodaten strošek, ki pa ga lahko podjetje zmanjša z ustreznimi ukrepi, kot sta na primer interno izobraževanje in prenos znanja. S tem načinom lahko omilimo stroške, saj namesto celotnega vzdrževalnega osebja na izobraževanje pošljemo le manjšo skupino vzdrževalcev, ki nato pridobljeno znanje lahko delijo s svojimi kolegi.

4.4.4 Analiza CNC alarmov

Kot smo že omenili v prejšnjih poglavjih, so nam pri diagnostiki vzrokov za okvare v veliko pomoč alarmna sporočila na prikazovalnikih krmilj strojev. Zato je dobro, da si priskrbimo vsaj splošne opise alarmnih sporočil proizvajalca strojev in proizvajalca krmilnika, saj si bomo s tem olajšali postopek diagnosticiranja okvare. Poleg splošnih opisov si lahko dopolnimo dopise z lastnimi ugotovitvami in slikovnim gradivom, seznamami uporabljenih rezervnih delov itd.

4.4.5 Varnostno kopiranje podatkov CNC

Varnostno kopiranje podatkov stroja je izjemno pomembno. Vsak novi stroj ima poleg osnovnih navodil tudi varnostno kopijo sistemskih parametrov in podatkov, ki so prednaloženi na stroj ob izhodu stroja iz tovarne. Ti podatki so, kot že omenjeno, podatki, naloženi na stroju ob zaključku izdelave stroja, zato je potrebno varnostno kopiranje podatkov ob vsaki spremembi parametrov in ostalih nastavitev, ki vplivajo na delovanje stroja. Tako kot vsaka električna komponenta ima tudi spomin stroja svojo življenjsko dobo, ki sčasoma peša, podatki se okvarijo in jih je potrebno občasno osvežiti. Zato je dobro ustvarjati varnostno kopijo teh podatkov, ne le ob vsaki spremembi, temveč tudi vsaj enkrat letno.

5 ZAKLJUČEK

V praksi dostikrat slišimo, da je preventivno elektro vzdrževanje nepotrebno, saj se komponente ne kvarijo tako pogosto, da bi potrebovale dodatno pozornost. Takšno mišljenje še vedno prevladuje med podjetniki, ki na preventivno elektro vzdrževanje gledajo le kot na dodaten strošek. Vendar pa lahko okvara ene električne komponente povzroči verižno reakcijo, ki posledično vpliva še na preostale električne komponente CNC stroja. Okvara ene servo enote lahko povzroči več tisoč evrov vredno okvaro, kar pa ni več tako zanemarljiv strošek. Na samo vzdrževanje stroja kot tudi na preventivno elektro vzdrževanje stroja moramo gledati kot na živ sistem, ki se prilagaja okolju in potrebam. Zato je pomembno spremljanje stanja in ustrezno prilagajanje spremembam. Z ustreznim preventivnim elektro vzdrževanjem lahko podaljšamo življenjsko dobo električnih komponent in posledično tudi življenjsko dobo samega stroja. Zmotno je tudi mišljenje, da je preventivno elektro vzdrževanje CNC strojev primerno le za velika podjetja z velikim številom strojev in velikoserijskimi izdelki. Tudi manjša podjetja brez lastnega vzdrževalnega osebja lahko veliko naredijo v smeri preventive, bodisi s pravočasnim odkrivanjem vzrokov za okvare in z odpravljanjem vzrokov za nastanek okvar. Seveda so manjša podjetja brez ustreznega znanja za odpravo okvar na električnih komponentah CNC stroja odvisna predvsem od zunanjih izvajalcev servisnih dejavnosti, vendar pa si lahko z uvedbo vsaj osnovnega preventivnega elektro vzdrževanja CNC stroja konkretno znižajo stroške, povezane z okvaro stroja. To lahko storijo na primer z vodenjem evidenc okvar strojev, rednimi pregledi strojev in ukrepanjem ob prvem pojavu znakov za morebiten nastanek okvar.

Elektro vzdrževanje CNC strojev je velikokrat spregledano med samim postopkom vzdrževanja stroja. Dostikrat se ga spregleda, saj električne komponente niso tako izpostavljene očem, kot so posamezni mehanski deli stroja. Vendar pa igrajo pomembno vlogo v vsakem CNC stroju, saj brez njih stroj ne bi deloval tako, kot deluje. Z razvojem diagnostičnih orodij in senzorike so električne komponente postale precej pametnejše kot pred leti in nam že same dostikrat sporočajo morebitne okvare. Vendar pa jih moramo znati poslušati in pravočasno ukrepati, saj bomo le tako lahko preprečili okvare, ki se po navadi zgodijo ob najbolj neprimernem času. Če bomo posvetili enako pozornost električnim komponentam, kot jo posvečamo ostalim mehanskim delom stroja, potem bomo lahko stroj uporabljali še leta, brez večjih okvar in z okvarami povezanih izpadov proizvodnje.

6 VIRI IN LITERATURA

Ajax Machine Tools. (2026). *Heavy Duty CNC Machining Centres*. Pridobljeno 1. 5. 2026 z naslova <https://www.ajax-mach.co.uk/cnc-milling-machines/compact-vertical-cnc-machining-centres/>

Alma Career Slovakia. (2026). *Plača za delovno mesto Električar (industrijski), Slovenija*. Pridobljeno 2. 5. 2026 z naslova <https://www.boljsaplaca.si/placa/elektrotehnika-elektronika-telekomunikacije/elektricar-industrijski>

AMCI. (b. l.). *Stepper vs Servo*. Pridobljeno 15. 4. 2026 z naslova <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/stepper-vs-servo/>

AutomationDirect.com. (2026). *Knowing your limit switches*. Pridobljeno 10. 4. 2026 z naslova <https://library.automationdirect.com/knowning-limit-switches/>

BTS Company d.o.o. (b. l.). *Stroji*. Pridobljeno 1. 5. 2026 z naslova <https://www.bts-company.com/stroji-list/>

Data d. o. o. (b. l.). *Izračun plače*. Pridobljeno 10. 5. 2026 z naslova <https://data.si/izracun-place/>

DN Solutions. (b. l.). *DNM 5700*. Pridobljeno 29. 4. 2026 z naslova <https://www.dn-solutions.com/eu/product/machining-center/vertical/dnm-5700.do>

Fanuc. (b. l.). *Servo ojačevalniki*. Pridobljeno 15. 4. 2026 z naslova <https://www.fanuc.eu/si-sl/pogon/ojacevalnikinapajanje/servo-ojacevalniki>

Fluke Corporation. (2026). *Fluke products: Test and measurement tools and software*. Pridobljeno 2. 5. 2026 z naslova <https://www.fluke.com/en-us/products>

Grilj, C. (2005). *Vzdrževanje strojev in naprav: priročnik za vzdrževanje in proizvodnjo*. Slovenska Bistrica: IZZA d.o.o.

HAAS Automation. (2026). *Servis in vzdrževanje*. Pridobljeno 1. 5. 2026 z naslova <https://www.haascnc.com/sl/HFO/HFO-Slovenia/service.html#gsc.tab=0>

Igus. (2026). *News*. Pridobljeno 1. 5. 2026 z naslova <https://www.igus.eu/harnessing-and-connectors/news>

Keyence Corporation. (2026). *Safety light curtain*. Pridobljeno 3. 5. 2026 z naslova <https://www.keyence.eu/products/safety/light-curtain/gl-r/>

OZS. (2015). *Informativni cenik strojne ure (priporočene cene)*. Pridobljeno 1. 5. 2026 z naslova <https://www.ozs.si/datoteke/ozs/staro/Media/Dokumenti/OZS/Sekcije%20in%20odbo ri/Rudi/sekcija%20kovinarjev/Cenik%20strojne%20ure,%2022.01.2015.pdf>

Računovodja.com. (2024). *Število delovnih dni za leto 2026 (40-urni delovni teden)*. Pridobljeno 2. 5. 2026 z naslova <https://www.racunovodja.com/clanki.asp?clanek=13268>

Renishaw. (2026a). *RESOLUTE™ absolute optical encoder montage*. Pridobljeno 1.5. 2026 z naslova <https://www.renishaw.com/resourcecentre/en/details/resolute-absolute-optical-encoder-montage--21514>

Renishaw. (2026b). *What is an encoder?* Pridobljeno 1. 5. 2026 z naslova <https://www.renishaw.com/en/what-is-an-encoder--47256?srsId=AfmBOoq-biMabUGCB5YatSWx7blzRPHFiuLUBbMtYx8Ja29DQ2ZVNVKhj>

Robert Bosch Power Tools GmbH. (2022). *PRO GTC 400 C*. Pridobljeno 2. 5. 2026 z naslova <https://www.bosch-professional.com/om/en/products/gtc-400-c-0601083101>

Schneider electric. (2026). *Industrijska avtomatizacija in upravljanje*. Pridobljeno 2. 5. 2026 z naslova <https://www.se.com/si/sl/work/products/industrial-automation-control/>

SICK. (2026). *Detection sensors*. Pridobljeno 15. 4. 2026 z naslova <https://www.sick.com/ag/en/catalog/products/detection-sensors/c/g568257>

SIEMENS. (2026). *Product announcement for SINUMERIK 828D HW PPU 290.5 and SINUMERIK MCP 1500U with SINUMERIK 828D CNC software V5.25 SP1*. Pridobljeno 1. 5. 2026 z naslova <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109994334/product-announcement-for-sinumerik-828d-hw-ppu-290-5-and-sinumerik-mcp-1500u-with-sinumerik-828d-cnc-software-v5-25-sp1?dti=0&lc=en-PY>

Wikipedia. (b. I. a). *Computer numerical control*. Pridobljeno 2. 5. 2026 z naslova https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_numerical_control

Wikipedia. (b. I. b). *Servomotor*. Pridobljeno 15. 4. 2026 z naslova <https://en.wikipedia.org/wiki/Servomotor>