

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

**REŠEVANJE PROBLEMA PREGREVANJA
PRIKLJUČNIH SPONK ELEKTRONSKIH KRMILIJ ZA
IZMENIČNE MOTORJE**

DIPLOMSKO DELO

Marijan Kerševan

Mentor: prof. dr. Juš Kocijan

Nova Gorica, 2009

ZAHVALA

Za strokovno vodenje, nasvete ter pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Jušu Kocijanu.

Zahvaljujem se tudi podjetju Iskra Avtoelektrika, ki mi je omogočilo opravljati diplomsko nalogo z uporabo internega gradiva, strojne in programske opreme.

Posebna zahvala pa velja Aleksandri, Janu in Tamari, ki so mi stali ob strani in me spodbujali v času študija.

NASLOV

Reševanje problema pregrevanja priključnih sponk elektronskih krmilij za izmenične motorje

IZVLEČEK

V diplomskem delu smo predstavili problematiko pregrevanja priključnih sponk elektronskega krmilja namenjenega za krmiljenje pogonov avtonomno napajanih električnih vozil. Pregrevanje priključnih sponk se pojavlja kot posledica neupoštevanja osnovnih pravil konstruiranja. Prikazali smo dva načina odkrivanja povišane temperature z merjenjem med delovanjem elektronskega krmilja. Meritev temperature smo izvajali na dva načina in sicer s kontaktnim termometrom in s termografsko kamero. V opisu metode termografije smo predstavili prednosti, ki jih ta ponuja v primerjavi z metodo merjenja s kontaktnim termometrom. Za obe metodi smo naredili primerjavo tako s tehničnega kakor tudi z ekonomskega vidika. Kot dokaz, da je povišana temperatura na priključnih sponkah posledica nepravilnega naleganja priključne sponke na prečno povezovalno lamo, pa smo predstavili še rentgenski posnetek neustreznega naleganja priključnih sponk elektronskih krmilij. V diplomskem delu je opisan tudi konstrukcijski predlog izboljšave, ki bi prispevala k odpravi pregrevanja priključnih sponk elektronskega krmilja.

KLJUČNE BESEDE

Temperatura, elektronsko krmilje, kontaktni merilni instrument, termometer, termografija, termografska kamera.

TITLE

Solving the overheating problem of the connection terminal on AC electronic controllers

ABSTRACT

In the Bachelor thesis the overheating problem of the connection terminal on AC electronic controllers designed for battery-supplied electric drive systems is introduced. The overheating of the connection terminal appears as a consequence of ignoring the basic construction rules. Two methods of detecting overheating problem with measuring the temperature, during the functional test of electronic controller, are described. The measuring of the temperature is performed with a contact measuring instrument and with a thermographic camera. The benefits of the thermography versus the measuring method with contact measuring instrument are given. The technical and economical comparison is represented for both methods. The radiographic picture is presented as the proof that the overheating problem is caused by the incorrect fitting between connection terminal and cross connection bar. The improvement for the construction is suggested in the thesis, which would eliminate the cause of overheating problem of the connection terminal on AC controllers.

KEY WORDS

Temperature, electronic controller, contact measuring instrument, thermometer, thermography, thermo camera.

KAZALO

1	UVOD	1
2	ELEKTRONSKO KRMILJE	3
2.1	Vrste elektronskih krmilij	3
2.1.1	Elektronska tiristorska krmilja za enosmerne kolektorske motorje	4
2.1.2	Elektronska krmilja za enosmerne BLPM motorje	4
2.1.3	Elektronska krmilja za asinhronske motorje	6
2.2	Količina proizvedenih elektronskih krmilij	9
2.3	Kakovost izdelkov	10
2.4	Vzroki za odpovedi krmilij	11
3	PROCES IZDELAVE ELEKTRONSKIH KRMILIJ	12
4	KOREKTIVNI UKREPI ZA ODPRAVO NAPAK TER IZBOLJŠANJE KVALITETE	15
4.1	Preizkusna metoda »Burn in«	15
4.2	Uvedba metode merjenja temperature	18
4.3	Načini merjenja temperature	18
4.4	Merjenje temperature s kontaktnim termometrom	20
4.4.1	Opis naprave TESTOTERM 9010	20
4.4.2	Izvedba in rezultati meritev	23
4.5	Merjenje temperature s termografsko kamero	24
4.5.1	Glavne značilnosti termografije	24
4.5.2	Termografske naprave	25
4.5.3	Vplivi na delovanje ter točnost meritev	25
4.5.4	Sestava termokamere	28
4.5.5	Delovanje termokamere	30
4.5.6	Opis naprave FLIR Systems ThermaCam E65	31

4.5.7	Uporaba termografije pri merjenju temperature elektronskega krmilja	33
4.6	Zgodnje odkrivanje napak na podlagi rezultatov termografskih meritev pri merjenju temperature elektronskega krmilja	38
4.6.1	Odkrivanje napak	38
4.6.2	Ugotovitve rezultatov meritev	40
4.6.3	Analiza obstoječega stanja elektronskega krmilja pri katerem prihaja do pregrevanja priključnih sponk	40
4.6.4	Rentgenski posnetki elektronskega krmilnika	41
4.6.5	Predlog izboljšave	42
5	PRIMERJAVA IN STROŠKOVNI VIDIK NAČINA MERJENJA S KONTAKTNIM MERILNIKOM TEMPERATURE TER TERMOGRAFSKE KAMERE	43
5.1	Čas, potreben za izvedbo meritev	43
5.1.1	Termografska kamera	43
5.1.2	Kontaktni termometer	43
5.2	Investicijska vrednost naprav	43
5.2.1	Termografska kamera	43
5.2.2	Kontaktni termometer	45
5.3	Stroškovna primerjava	47
5.4	Koliko privarčujemo s pravočasnim odkritjem napake	48
6	ZAKLJUČEK	50
7	LITERATURA	51

KAZALO SLIK

Slika 1: Elektronsko krmilje za krmiljenje motorja pogona ter hidravlike viličarja (Pogonski, 2008)	3
Slika 2: Elektronsko tiristorsko krmilje (Pogonski, 2008).....	4
Slika 3: Vgradno elektronsko krmilje za BLPM motorje	5
Slika 4: Elektronsko krmilje za ločeno vgradnjo	5
Slika 5: AC elektronsko krmilje.....	6
Slika 6: Prikaz krmilja ter ostalih komponent v viličarju (Pogonski, 2008).....	7
Slika 7: Elektronsko krmilje AES24V350/350A T/H 5/1.....	8
Slika 8: Proizvodnja elektronskih krmilij AES v letu 2007	10
Slika 9: Poškodba plastičnega ohišja fazne sponke W	11
Slika 10: Prikaz sinoptičnega plana proizvodnje elektronskega krmilja AES	13
Slika 11: Grafični prikaz proizvodnje elektronskih krmilij	14
Slika 12: Grafični prikaz funkcionalnega testa	16
Slika 13: Sinoptični plan proizvodnje elektronskega krmilja AES po uvedbi meritve temperature.....	17
Slika 14: Prikaz delovnega mesta, opremljenega z merjencem	19
Slika 15: Poenostavljena električna povezava krmilja.....	20
Slika 16: TESTOTERM termometer 9010	21
Slika 17: Temperaturna sonda TESTO	21
Slika 18: Merjenje temperature s kontaktnim termometrom	23
Slika 19: Sestava termokamere (Tršan, 2000)	28

Slika 20: Princip delovanja termografske kamere	30
Slika 21: Termografska kamera proizvajalca FLIR Systems, ThermaCam E65	32
Slika 22: Prikaz delovnega mesta z nameščeno termografsko kamero.....	33
Slika 23: Termovizijski posnetek el. krmilja s temperaturo, manjšo od 20 °C.....	34
Slika 24: Nameščanje maskirnega traku (lepilni trak) na priključne sponke.....	36
Slika 25: Termografska slika elektronskega krmilja med merjenjem z nameščenim maskirnim trakom	36
Slika 26: Termografska slika krmilja.....	39
Slika 27: Detajl konstrukcije spoja pri obstoječem krmilju	40
Slika 28: Rentgenski posnetek priključne sponke V.....	41
Slika 29: Predlog izboljšanja pritrditve priključne sponke	42
Slika 30: Pakiranje elektronskih krmilij v skupno embalažo.....	48
Slika 31: Nastali stroški v primeru zavrnitve pošiljke elektronskih krmilij s strani kupca	49

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnični podatki elektronskega krmilja.....	9
Tabela 2: Količina proizvedenih AES elektronskih krmilij v letu 2007 po.....	9
Tabela 3: Tehnični podatki TESTOTERM 9010.....	22
Tabela 4: Tehnični podatki sonde TESTO tip K.....	22
Tabela 5: Rezultati meritev temperature s kontaktnim termometrom.....	23
Tabela 6: Emisivnost materialov (FLIR, 2007).....	27
Tabela 7: Tehnični podatki ThermaCam E65.....	32
Tabela 8: Prikaz nastavitve parametrov termografske kamere in izmerjenih vrednosti.....	34
Tabela 9: Prikaz izmerjenih vrednosti pri merjenju z nameščenim maskirnim trakom.....	37
Tabela 10: Izmerjene temperature s kontaktnim merilnikom temperature.....	37
Tabela 11: Prikaz nastavitve kamere ter izmerjenih vrednosti.....	39
Tabela 12: Investicijska vrednost termografske kamere.....	44
Tabela 13: Izračun amortizacije za termografsko kamero.....	44
Tabela 14: Izračun neodpisanih vrednosti po letih.....	45
Tabela 15: Investicijska vrednost kontaktnega merilnika temperature TESTOTERM 9010.....	45
Tabela 16: Izračun amortizacije za kontaktni merilnik TESTOTERM 9010 ter pripadajočo sondo po letih.....	46
Tabela 17: Potrebno število delavcev po letih.....	46
Tabela 18: Stroški plače delavca s IV. stopnjo izobrazbe.....	47

Tabela 19: Struktura stroškov ob uvedbi termografske kamere..... 47

Tabela 20: Struktura stroškov ob uvedbi kontaktnega merilnika TESTOTERM 47

1 UVOD

Iskra Avtoelektrika nastopa na globalnem trgu s programom enosmernih baterijsko napajanih motorjev in elektronskih krmilij v različnih tržnih segmentih, pri čemer spadajo proizvajalci električnih viličarjev med pomembnejše. Vizija podjetja je biti vodilni svetovni dobavitelj električnih pogonskih sistemov in komponent za najpomembnejše svetovne proizvajalce mobilnih transportnih sredstev. Pri tem želi povečevati razvojno podporo kupcem ter pospešeno uvajati nove tehnologije. Glede na zgoraj omenjene trende, je za Iskro Avtoelektriko nujno, da tudi sama razvija in ponudi pogonske sisteme, ki temeljijo na brezkontaktnih motorjih in so krmiljeni s področnim serijskim komunikacijskim omrežjem za krmilja (ang. Controller Area Network- CAN). Sestavni del pogonskih sistemov je tudi elektronsko krmilje. Elektronika prevzema na električnih transportnih sredstvih vse pomembnejšo, celo odločilno vlogo.

Vsak elektronski sklop oziroma krmilje potrebuje za povezavo z zunanji periferne enote tako imenovane priključne sponke. Pri uporabi le-teh je potrebno upoštevati pravila ter zakone tako, da ne prihaja do poškodb periferije ali krmilne enote. Znanost in tehnika je pri šibko točnih povezavah problem rešila z brezžično povezavo, ki pa pri jako točnih povezavah ne pride v poštev, zato so te še vedno vezane na konvencionalni prenos toka. Slabo načrtovanje, neupoštevanje osnovnih pravil elektrotehnike ter drugi vplivi lahko privedejo do napak, ki povzročijo poškodbe priključnih sponk, električne izgube na samih spojih ter posledično tudi na celotnem sistemu. Poškodbe lahko povzročijo odpovedi krmilja ali periferne enote v garancijski dobi, kar je povezano z dodatnimi stroški za ponudnika, ki niso načrtovani in jih je nemogoče predvideti.

Osnovni namen naloge je določiti vzrok in razviti način odkrivanja napak pri izdelavi elektronskih krmilij za izmenične motorje. Osredotočili se bomo na najpogostejše napake krmilij zaradi katerih je bilo elektronsko krmilje zavrnjeno s strani kupca.

Cilj naloge je izbrati najustreznejši postopek merjenja temperature med funkcionalnim preizkusom in ga uvesti kot standardni proizvodni postopek z namenom odkrivanja potencialno slabih izdelkov.

Prikazali in podrobno opisali bomo dve metodi za odkrivanje potencialno slabih izdelkov, ki zajemata funkcionalni preizkus pri povišani temperaturi. Med funkcionalnim preizkusom izdelka bomo merili temperaturo priključnih sponk. Meritev temperature bomo izvajali s kontaktnim termometrom in s termografsko kamero. S pomočjo dobljenih rezultatov bomo metodi med seboj primerjali tako s tehničnega kakor tudi z ekonomskega vidika ter pokazali katera merilna metoda je primernejša.

2 ELEKTRONSKO KRMILJE

Elektronsko krmilje (slika 1) so naprave močnostne elektronike, ki izkoriščajo nelinearno delovanje polprevodniških elementov. Sem sodijo v glavnem tranzistorji in tiristorji, ki pretvarjajo eno obliko električne energije v drugo (Miljavec in drugi, 2005). Iskra Avtoelektrika proizvaja elektronska krmilja za krmiljenje pogona vozila, hidravlike in krmiljenje za servo sisteme.



Slika 1: Elektronsko krmilje za krmiljenje motorja pogona ter hidravlike viličarja (Pogonski, 2008)

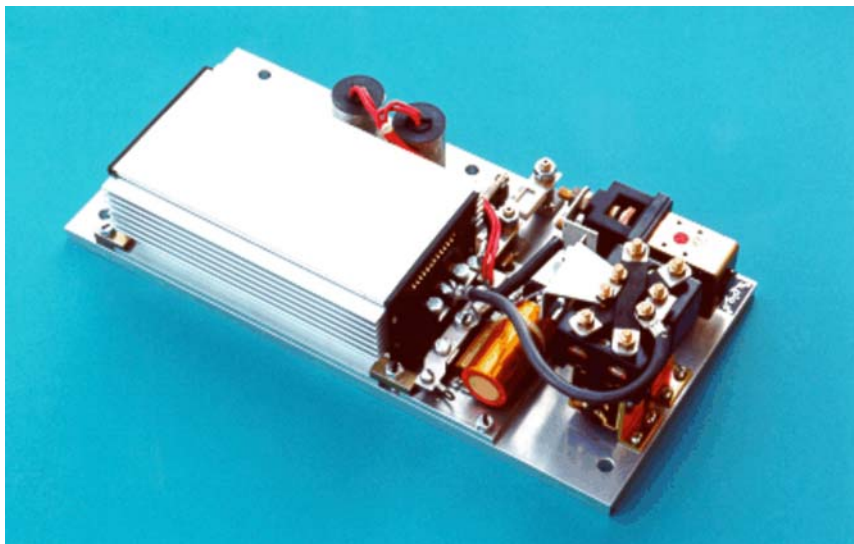
2.1 Vrste elektronskih krmilij

V nadaljevanju so opisane najpomembnejše družine krmilij v pogonski tehniki in sicer:

- elektronska tiristorska krmilja za enosmerne kolektorske motorje,
- elektronska krmilja za enosmerne brezkontaktno motorje,
- elektronska krmilja za asinhronske motorje.

2.1.1 Elektronska tiristorska krmilja za enosmerne kolektorske motorje

Elektronsko tiristorsko krmilje (slika 2) spada v generacijo elektronskih krmilij, ki imajo kot osnovni polprevodniški element tiristor, krmiljen z mikroprocesorjem. Odlikuje ga prožnost ter robustnost konstrukcije.



Slika 2: Elektronsko tiristorsko krmilje (Pogonski, 2008)

2.1.2 Elektronska krmilja za enosmerne BLPM motorje

Elektronsko krmilje za enosmerne brezkontaktno elektronsko komutirane motorje (angl. Brushless Permanent Magnet Motor - BLPM) ima kot osnovni polprevodniški element MOS FET tranzistor. Največje prednosti BLPM motorjev v povezavi z elektronskim krmiljem so visok izkoristek ter minimalno vzdrževanje.

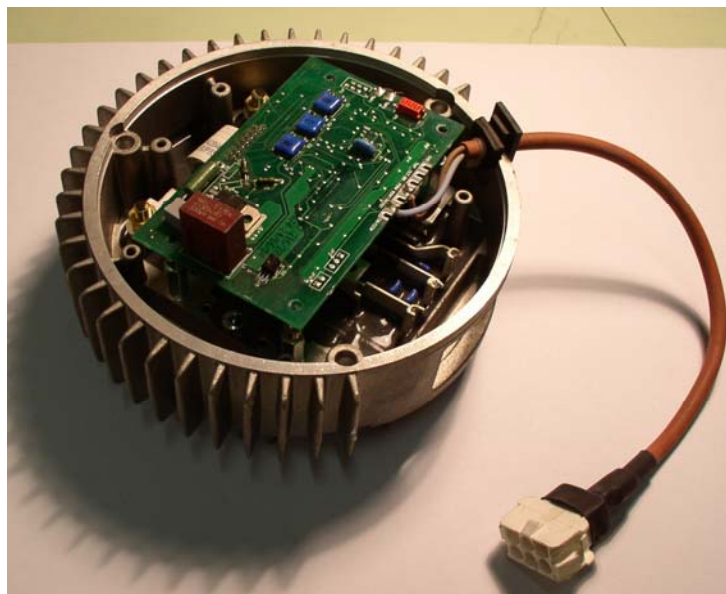
Delimo jih v dve skupini in sicer :

- vgradna elektronska krmilja,
- elektronska krmilja za ločeno vgradnjo.

Vgradna elektronska krmilja na BLPM motorjih

Vgradna elektronska krmilja (slika 3) na BLPM motorjih se uporabljajo za :

- elektro hidravlične servo-volanske sisteme (angl. Electro Hydraulic Power assisted Steering - EHPS),
- električne servo-volanske sisteme (angl. Electrically Powered Steering - EPS),
- pogone klimatskih agregatov.



Slika 3: Vgradno elektronsko krmilje za BLPM motorje

Elektronsko krmilje za ločeno vgradnjo

Ločena elektronska krmilja (slika 4) se uporabljajo v segmentu, kjer je potrebna večja moč, ki je z vgradnimi elektronskimi krmilji ne moremo doseči.



Slika 4: Elektronsko krmilje za ločeno vgradnjo

2.1.3 Elektronska krmilja za asinhronske motorje

Krmilje za izmenični tok (angl. Alternating Current - AC) (slika 5) je tri fazno krmilje za asinhronski motor, ki je primerno za pogon električnih vozil. Zasnovano je na visoko zmogljivem digitalnem procesorju signalov (angl. Digital Signal Processors – DSP), ki krmili vektor magnetnega pretoka asinhronskega motorja v realnem času. Rezultat je izvrstna dinamika motorja in izkoristek. V istem ohišju je lahko dodatno vključen krmilnik za enosmerni tok (angl. Direct Current - DC) kolektorskega motorja za pogon hidravličnih črpalk.

Fleksibilne komunikacije z vgrajenim CAN protokolom in preprosta električna povezava, naredijo ta sistem še privlačnejši za uporabo pri mobilnih in hidravličnih sistemih.



Slika 5: AC elektronsko krmilje

Elektronsko krmilje AESH24V/350/350A T/H 5/1

Elektronsko krmilje AES24V350/350A T/H 5/1 se uporablja v aplikaciji AC pogona viličarjev ter v aplikaciji DC motorja za črpalko viličarja. V vseh meritvah in opisih v nadaljevanju bo predmet naše obravnave elektronsko krmilje AES24V350/350A. To krmilje predstavlja najpomembnejši del proizvodnega ter tržnega segmenta podjetja. Slikovni prikaz krmilja ter ostalih komponent v viličarju prikazuje slika 6.

CELOVITA SISTEMSKA REŠITEV ZA BATERIJSKO NAPAJANA ELEKTRIČNA VOZILA

Iskra
Iskra Avtoelektrika d.d.

Za več informacij obiščite www.iskra-ae.com ali pokličite +386 5 33 93 614

1 Centralni CAN krmilnik

2 Grafični prikazovalnik

3 DC kolektorski motor za pogon črpalke hidravlike

4 Elektronski krmilnik za AC indukcijski motor

5 AC indukcijski motor

6 Elektronsko komutiran motor s trajnimi magneti za servo volanske sisteme

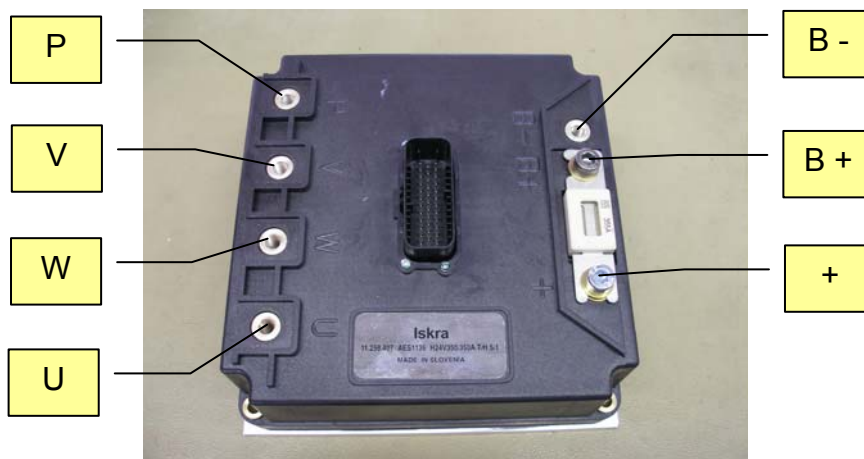
Lastnosti:

- Vsi parametri posameznih komponent so optimalno prilagojeni, tako da tvorijo izredno učinkovit pogonski sistem vozila
- CANopen komunikacija za povezavo med mikroprocesorsko vodenimi enotami
- Povezava z osebnim računalnikom za programiranje in diagnostiko pogonskega sistema
- Izredno tiho delovanje sistema
- Termična zaščita vseh komponent sistema
- Izvrstni izkoristki porabljene električne energije in odlične maneverske sposobnosti vozila
- V skladu z evropskimi CE in UL standardi
- Brez obrabljivih delov - minimalno potrebno vzdrževanje

Markacija

Slika 6: Prikaz krmilja ter ostalih komponent v viličarju (Pogonski, 2008)

Obravnavano elektronsko krmilje ima sedem močnostnih priključnih sponk, kar nazorno prikazuje slika 7. Elektronsko krmilje je zasnovano tako, da ima na eni strani napajalne priključne sponke, na drugi pa priključne sponke preko katerih je povezano breme oziroma motor.



Slika 7: Elektronsko krmilje AES24V350/350A T/H 5/1

Opis simbolov:

- | | |
|-----|--|
| P | pozitivna priključna sponka za DC enosmerni motor za črpalko |
| V | fazna priključna sponka za pogonski AC asinhronski motor |
| W | fazna priključna sponka za pogonski AC asinhronski motor |
| U | fazna priključna sponka za pogonski AC asinhronski motor |
| B - | minus priključna sponka napajanja |
| B + | plus priključna sponka varovalke |
| + | plus priključna sponka napajanja |

V tabeli 1 navajamo tehnične podatke za elektronsko krmilje AES24V350/350A T/H 5/1.

Tabela 1: Tehnični podatki elektronskega krmilja

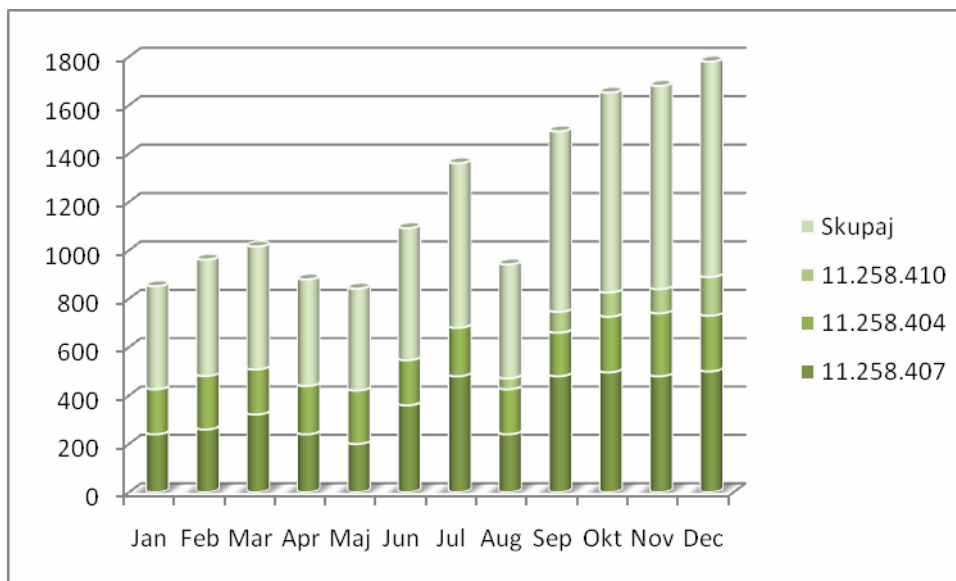
Napajalna napetost	24 V
Območje delovne napetosti	16 V < U > 32 V
Najvišja izhodna napetost	3 x 17 V (RMS)
Najvišji tok trakcije	5 s...370 A
Najvišji tok trakcije	2 min...350 A
Najvišji tok trakcije	60 min...190 A
Najvišji tok črpalke	5 s...350 A
Najvišji tok črpalke	2 min...300 A
Najvišji tok črpalke	60 min...180 A
Delovna frekvenca	10 kHz
Temperaturno delovno območje	- 30 °C < T < 45 °C
Priključni konektor	AMP 776231

2.2 Količina proizvedenih elektronskih krmilij

V letu 2007 so v podjetju Iskra Avtoelektrika proizvedli skupaj 44.000 kosov elektronskih krmilij. Od tega je bilo 7.275 kosov krmilij za krmiljenje motorja pogona ter hidravlike v viličarju, kar je podrobneje prikazano v tabeli 2 in na sliki 8. V tabeli so zajete tri družine elektronskih krmilij AES.

Tabela 2: Količina proizvedenih AES elektronskih krmilij v letu 2007 po posameznih mesecih

ID številka	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
11.258.407	240	260	322	240	200	360	480	240	480	496	480	500
11.258.404	186	221	186	200	221	186	200	186	180	230	260	230
11.258.410	-	-	-	-	-	-	-	45	86	100	100	160
Skupaj	426	481	508	440	421	546	680	471	746	826	840	890



Slika 8: Proizvodnja elektronskih krmilij AES v letu 2007

2.3 Kakovost izdelkov

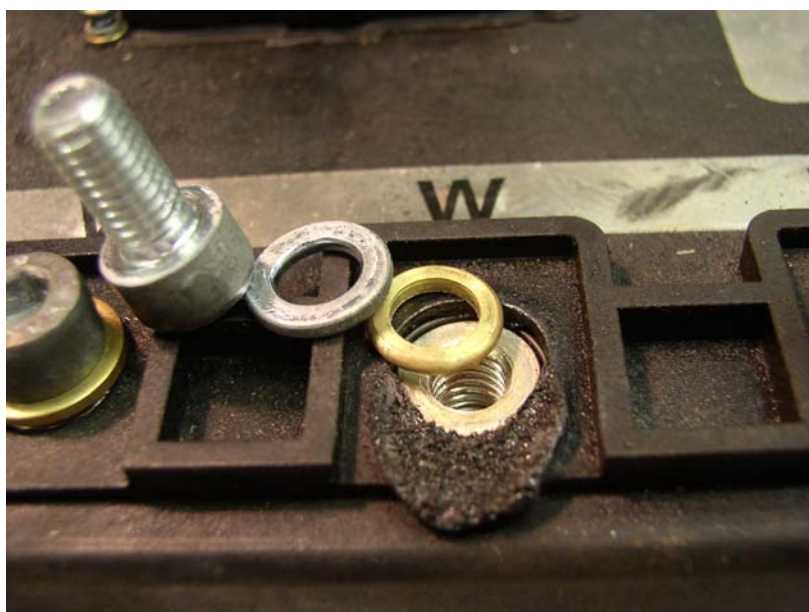
Ena temeljnih nalog ter dolžnosti vsakega proizvodnega podjetja je stalen nadzor nad kvaliteto izdelkov v fazi proizvodnje, nenazadnje pa tudi spremljanje njihove kakovosti tekom življenjske dobe. Politika kakovosti v podjetju Iskra Avtoelektrika je predanost dobaviteljem, svojim odjemalcem ter prepoznavnost pri zadovoljevanju njihovih potreb in zahtev po kakovosti (Poslovnik, 2008).

V vseh organizacijskih enotah in poslovnih procesih načrtujemo, izvajamo, vzdržujemo in nadzorujemo udejanjanje načel vodenja kakovosti s ciljem, da presežemo pričakovanja naših odjemalcev in ostalih deležnikov. Na ta način, pa tudi z vključevanjem vseh zaposlenih v izvajanje nenehnih izboljšav, dosegamo cilje kakovosti in zagotavljamo uspešnost vodenja kakovosti (Poslovnik, 2008).

Podatek, ki ga stalno spremljamo, je nivo odpovedi pri posamezni družini izdelkov. Za elektronska krmilja je zastavljeni cilj pod 9.000 kosi na milijon proizvedenih v enem letu (BQ 09.02, 2004).

2.4 Vzroki za odpovedi krmilij

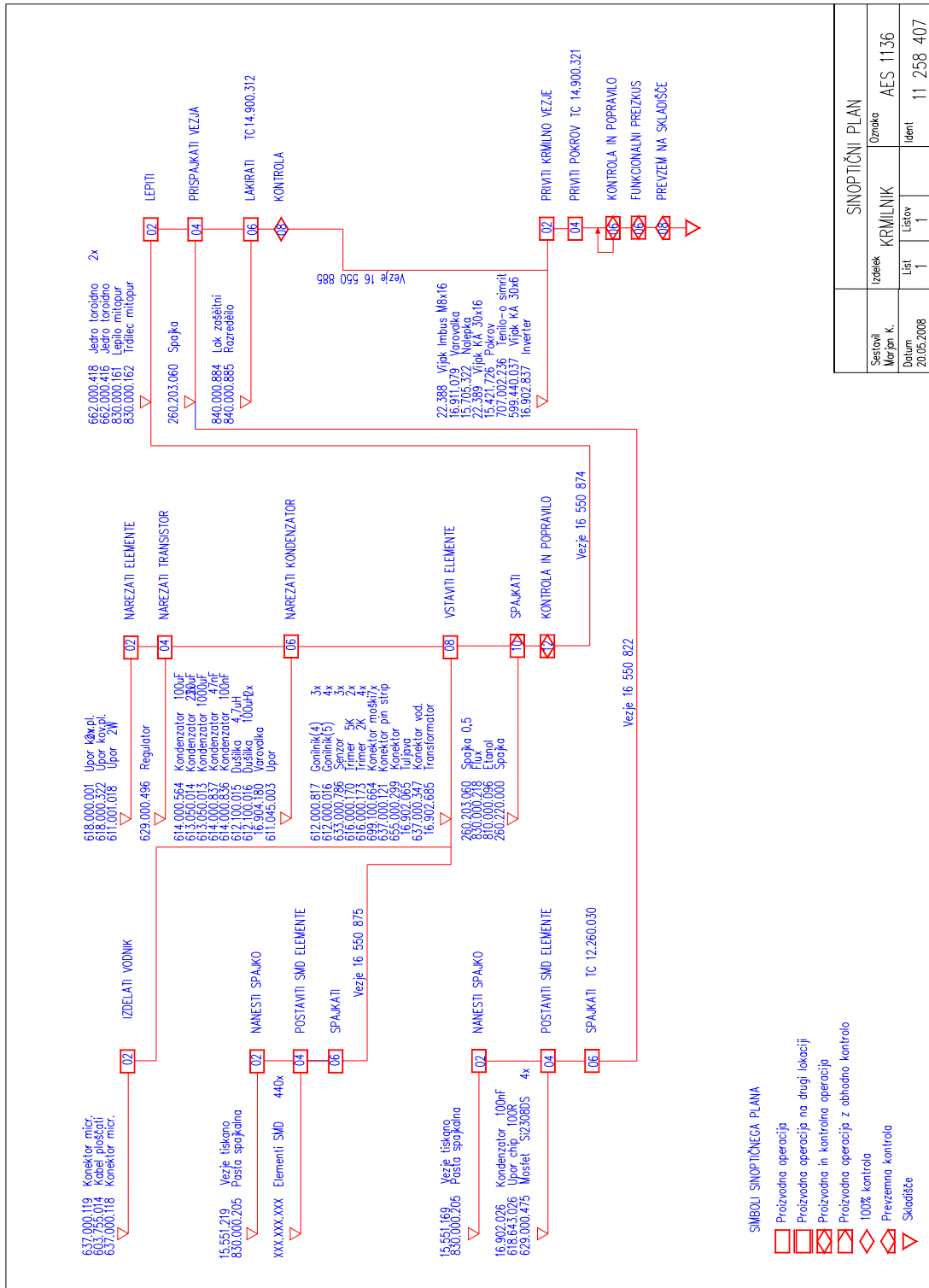
Na področju kakovosti je pomembno, da podjetja izdelke, ki so bili s strani kupca vrnjeni, nemudoma analizirajo. Po podatkih, ki smo jih na ta način zbrali, je bil vzrok odpovedi elektronskega krmilja odpoved močnostne stopnje. Na vseh močnostnih stopnjah poškodovanih elektronskih krmilij, so bile razvidne napake, ki kažejo na to, da je na priključnih sponkah U, V in W prišlo do pregrevanja. Slika 9 prikazuje poškodbo, ki je nastala zaradi pregrevanja priključne sponke W. Razvidno je, da je v tem primeru šlo za pregretno plastičnega pokrova.



Slika 9: Poškodba plastičnega ohišja fazne sponke W

3 PROCES IZDELAVE ELEKTRONSKIH KRMILIJ

Za odpravljanje vzrokov odpovedi elektronskih krmilij je potrebno najprej posneti sam proces izdelave elektronskih krmilij. Na sliki 10 je prikazan sinoptični plan izdelave izdelka, ki omogoča vpogled na morebitne šibke točke ter pomaga pri določanju dodatnih varoval, ki bodo pravočasno prispevala k zaznavi morebitnih napak.

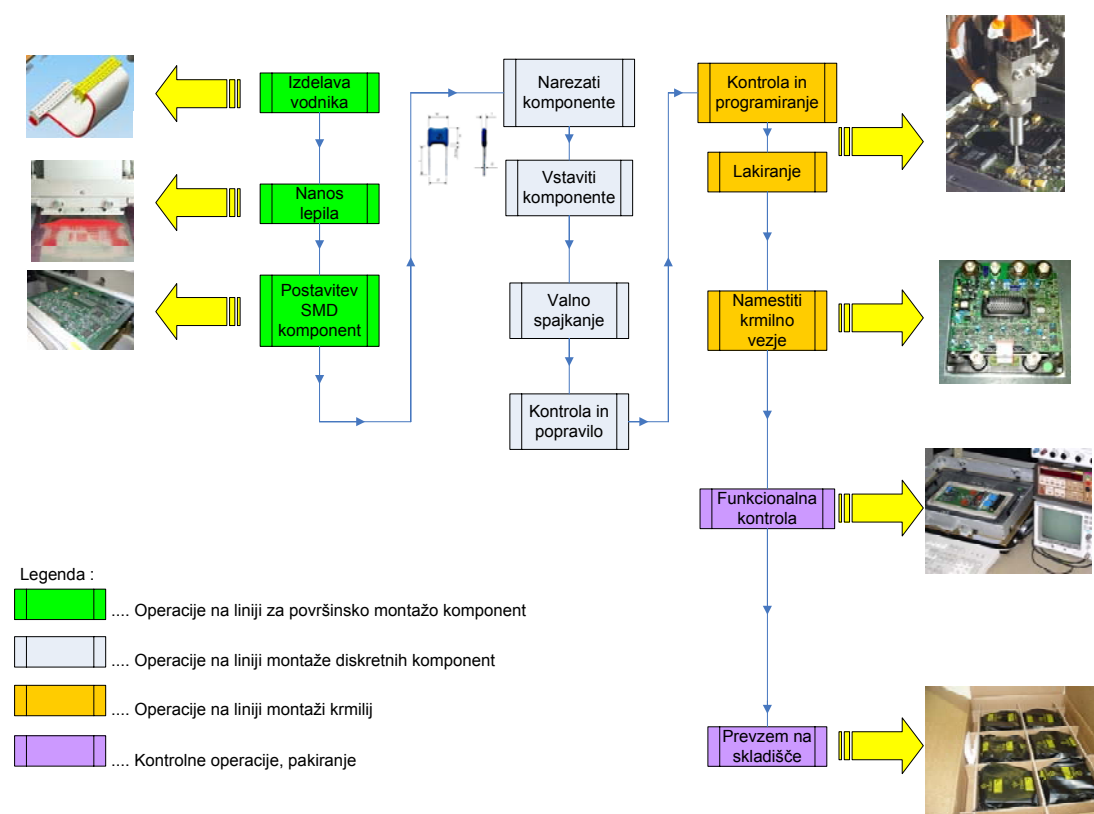


Slika 10: Prikaz sinoptičnega plana proizvodnje elektronskega krmilja AES

Iz podrobnega prikaza postopkov proizvodnje elektronskega krmilja, prikazanega na sliki 10 je razvidna razdelitev proizvodnje krmilja na štiri segmente.

- 1. segment: izdelava elektronskega vezja, ki vključuje površinsko montažo komponent.
- 2. segment: izdelava elektronskega vezja, ki vključuje montažo diskretnih elektronskih komponent ter valno spajkanje.
- 3. segment, ki vključuje montažo prej izdelanega elektronskega vezja na osnovni močnostni modul.
- 4. segment, ki vključuje nadzorne operacije ter pakiranje.

Navedeni segmenti so ponazorjeni s sliko 11.



Slika 11: Grafični prikaz proizvodnje elektronskih krmilij

4 KOREKTIVNI UKREPI ZA ODPRAVO NAPAK TER IZBOLJŠANJE KVALITETE

Korektivni ukrep kot aktivnost za odpravo napak ter izboljšanje kvalitete proizvoda predstavlja stalno izboljševanje v vseh segmentih proizvodnje, z namenom dosega cilja in preseganja pričakovanj naših kupcev.

Na osnovi rezultatov analiz vrnjenih elektronskih krmilij, ki smo jih opravili v podjetju in z namenom izpolnjevanja ciljev predanosti kakovosti, smo se odločili, da z uvedbo dodatnega preizkušanja v fazi končnega nadzora kakovosti odkrijemo ter izločimo potencialno slaba elektronska krmilja.

4.1 Preizkusna metoda »Burn in«

Preobremenitveni (angl. Over-stress) preizkus, tudi t.i. »Burn-In« preizkus je namenjen zgodnjemu odkrivanju napak, tako v fazi razvoja izdelka, kot tudi v procesu proizvodnje. Glavne prednosti te metode so:

- zgodnje odkrivanje potencialnih napak (slabih komponent),
- zmanjšanje proizvodnih in reklamacijskih stroškov,
- večja zanesljivost izdelkov.

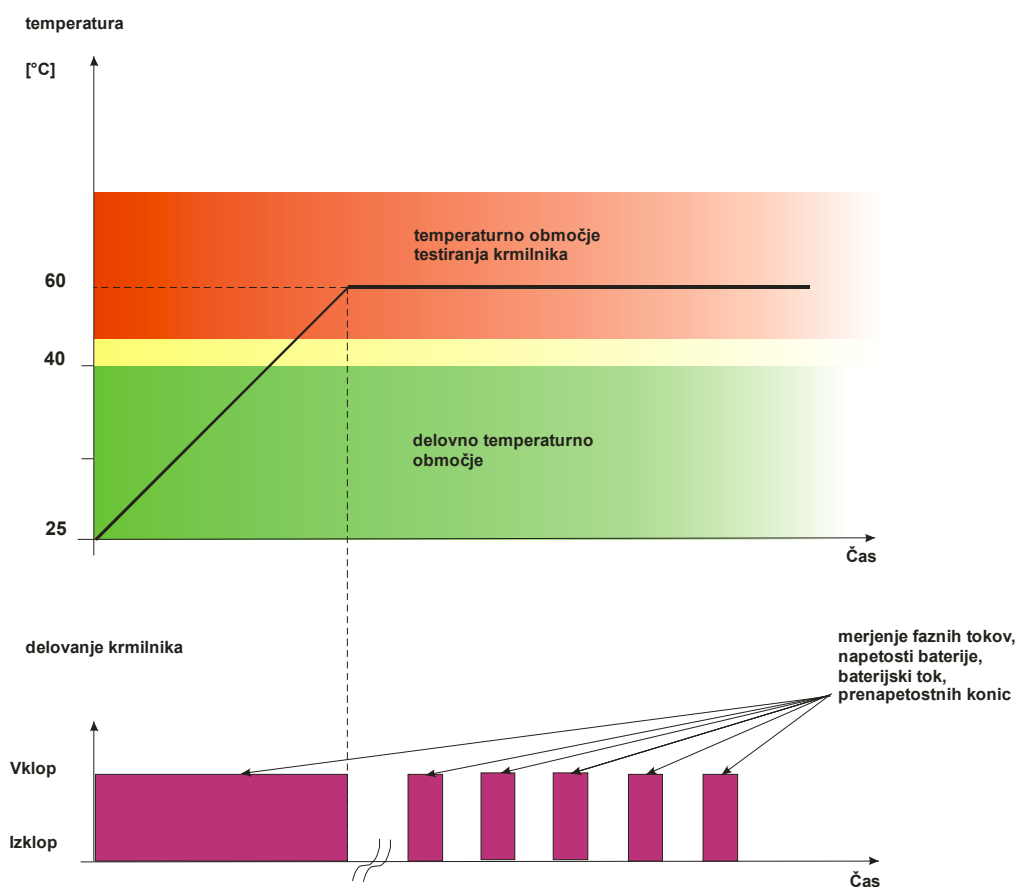
Preizkus zajema dve fazi, t.i. HALT in HASS.

Pospešeni preizkus staranja (angl. Highly Accelerated Life Testing - HALT) se izvaja v razvojni fazi izdelka. Preizkus temelji na povečanju funkcijskih in okoljskih stresov in posledično ugotavljanju šibkih točk proizvoda ter nenazadnje skrajne meje delovanja.

Pospešeni izločitveni preizkus (Highly Accelerated Stress Screening - HASS) je nedestruktiven preizkus, ki se izvaja v procesu proizvodnje izdelka. Namen preizkusa je izločitev slabih, oziroma potencialno slabih izdelkov, ki bi odpovedali kmalu v eksploataciji.

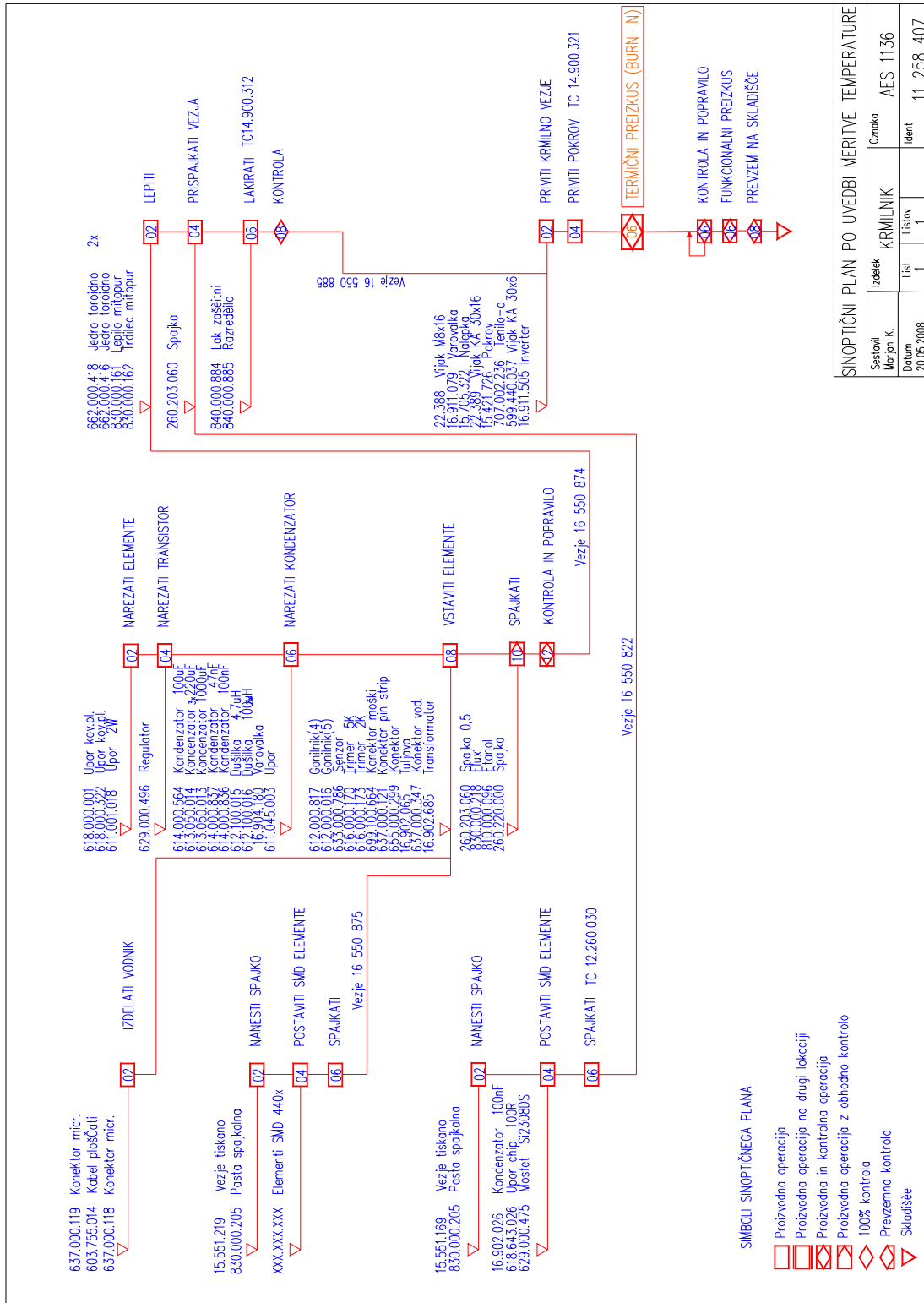
HASS preizkuse v splošnem delimo na temperaturne, vibracijske, napetostne, frekvenčne in funkcionalne.

Kot najprimernejšo metodo smo si izbrali funkcionalni preizkus, v katerem so zajeti tako vplivi okolice (temperatura) ter električni stres pri polni obremenitvi izdelka, kar je nazorno prikazano na sliki 12. Smisel funkcionalnega testa je simulacija najslabše možne okoliščine delovanja, ki je še realna. Med funkcionalnim testom bomo merili temperaturo na priključnih sponkah elektronskega krmilja. V kolikor bi temperatura posamezne sponke presegla temperaturo ostalih sponk za 18 °C bi to pomenilo, da obstaja potencialno slab spoj med priključno sponko in elektronskim krmiljem (QR 12.257.007, 2006).



Slika 12: Grafični prikaz funkcionalnega testa

Uvedba metode merjenja temperature med funkcionalnim preizkusom je pripeljala do spremembe oziroma nadgradnje sinoptičnega plana, ki je v novi obliki prikazan na sliki 13. Med operacijo »04 Priviti pokrov« ter operacijo »06 Kontrola in popravilo« je umeščen termični preizkus (BURN-IN), ki je na sliki 13 obrobjen z rdečo barvo.



Slika 13: Sinoptični plan proizvodnje elektronskega krmilja AES po uvedbi meritve temperature

4.2 Uvedba metode merjenja temperature

Izhajamo iz dejstva, da se zaradi spremembe fizikalnih lastnosti snovi spreminja tudi temperatura. V našem primeru bi, s povečanjem električne upornosti v posamezni veji, prišlo do povečanja izgub energije ter s tem posledično do povečanja temperature.

Pri opravljanju meritev smo poleg podatka o temperaturi spremljali tudi čas, ki smo ga potrebovali za izvedbo posamezne meritve.

Meritve smo izvedli tako, da smo elektronsko krmilje povezali v sistem, ki sta ga sestavljala stabiliziran usmernik kot vir napajanja ter pripadajoči motor, ki je služil kot breme. Ob delovanju elektronskega krmilja je tako prihajalo do segrevanja priključnih sponk. Temperaturo teh smo ves čas merili in spremljali.

4.3 Načini merjenja temperature

Za objektivno določanje temperature so v uporabi najrazličnejši termometri. V nadaljevanju sta prikazana dva načina merjenja temperature in sicer merjenje temperature s kontaktnim termometrom ter merjenje temperature s termografsko kamero. V naslednjih poglavjih bo poudarek namenjen merjenju temperature s termografsko kamero.

V splošnem je bila oprema, ki smo jo uporabili za izvedbo meritev v obeh primerih sledeča:

- AC krmilje (preizkušane),
- napajalnik (akumulatorji, podprti z usmernikom) s tokovno zmogljivostjo 600 A,
- AC indukcijski motor 3,2 kW (breme),
- zavora z vpetjem motorja,
- AMP konektor (35 pinski),
- napajalni kabli,
- računalnik, delovna postaja za zagon krmilja in kontrolo delovanja

ter odvisno od posamezne vrste meritve

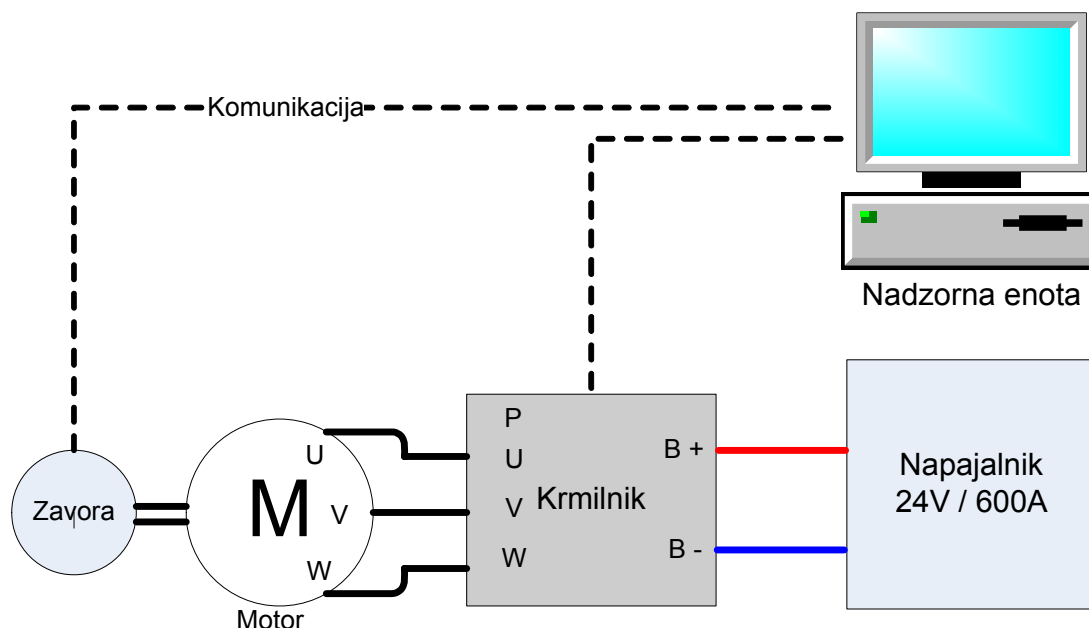
- digitalni merilnik TESTOTERM 9010 (slika 16),
- sonda TESTOTERM (slika 17)
- ali
- IR termovizijska kamera FLIR E65 (slika 21).

Na sliki 14 smo prikazali delovno mesto, ki je opremljeno z merilno napravo in merjencem. Krmilje smo povezali z bremenom, ki je bil v našem primeru AC indukcijski motor.



Slika 14: Prikaz delovnega mesta, opremljenega z merjencem

Meritve smo izvedli z računalnikom, ki je zagotavljal ustrezne parametre za funkcijsko delovanje krmilja. To smo izvedli na način, ki je prikazan na sliki 15. Ta slika ponazarja poenostavljeno električno povezavo krmilja.



Slika 15: Poenostavljena električna povezava krmilja

4.4 Merjenje temperature s kontaktnim termometrom

Merjenje temperature s kontaktnim termometrom je preizkušena ter precej razširjena metoda. Na voljo imamo pester izbor kontaktnih termometrov z najrazličnejšimi tolerancami. Razlikujejo se tudi glede na cenovne razrede. V našem primeru smo uporabili kontaktni termometer proizvajalca TESTOTERM, tip 9010.

4.4.1 Opis naprave TESTOTERM 9010

Kontaktni termometer TESTOTERM 9010, prikazan na sliki 16 je enokanalna merilna naprava za kontaktno merjenje temperature na katero lahko priklopimo temperaturno sondo TESTO, prikazano na sliki 17. Merilnik ima monokromatski zaslon na katerem neprekinjeno prikazuje minimalno ter maksimalno izmerjeno temperaturo. S funkcijsko tipko zadrži (angl.»hold«) lahko izmerjeno vrednost zamrznemo na zaslonu. Naprava ima tudi vgrajeno zvočno signalizacijo, ki se aktivira ob prekoračitvi limitne vrednosti. Napaja ga 9 V akumulator. Izredno varno ter zaščiteno ohišje ščiti omenjeni merilnik pred zunanji vplivi vlage in prahu (TESTO, 2005).



Slika 16: TESTOTERM termometer 9010



Slika 17: Temperaturna sonda TESTO

Osnovne tehnične lastnosti naprave TESTOTERM 9010

Tabela 3: Tehnični podatki TESTOTERM 9010

TEHNIČNA ZNAČILNOST	VREDNOST
Tempearura skladiščenja	- 40 °C do + 70 °C
Delovna temperatura	- 20 °C do + 50 °C
Tip akumulatorja	9 V akumulator, 6F22
Teža	171 g
Dimenzije	182 x 64 x 40 mm
Ohišle/material	ABS

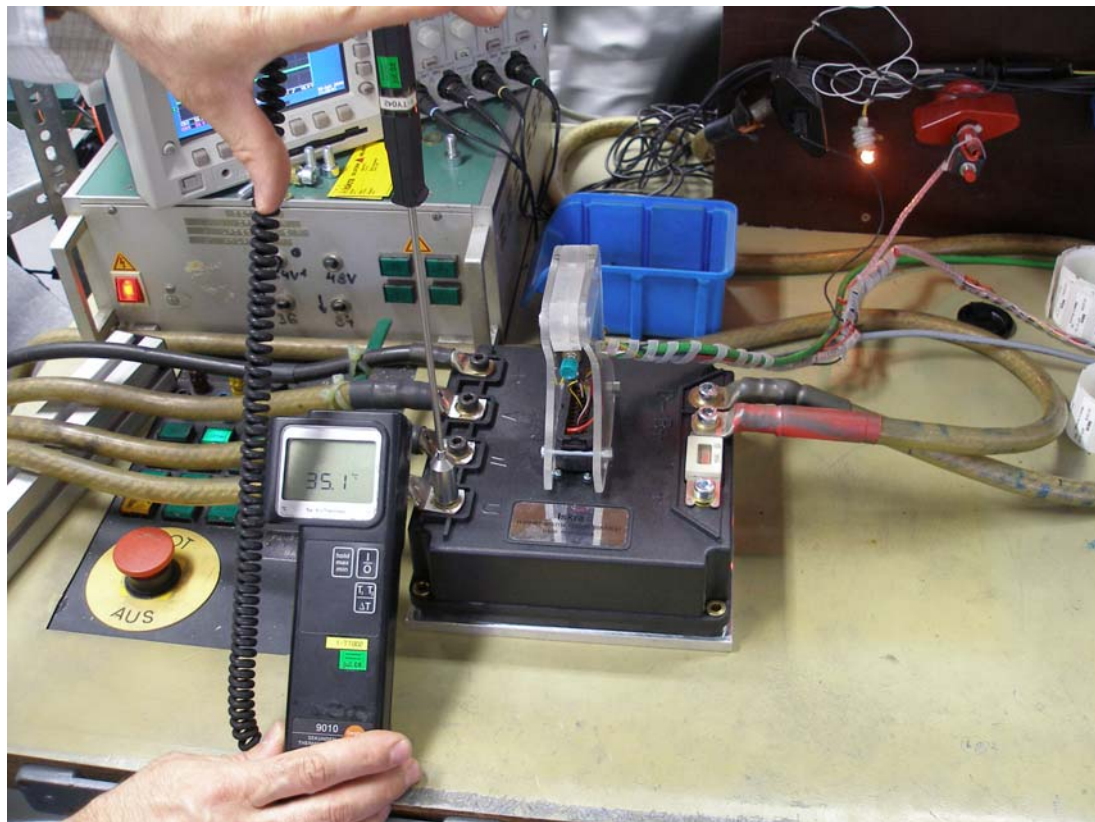
Osnovne tehnične lastnosti sonde TESTO tip K

Tabela 4: Tehnični podatki sonde TESTO tip K

TEHNIČNA ZNAČILNOST	VREDNOST
Tip sonde	Tip K (NiCr-Ni)
Merilno območje	-50 °C do + 1000 °C
Resolucija	0.1 °C (-50 °C do + 199,9 °C) 1 °C, preostalo območje
Delovna temperatura	-50 °C do + 50 °C
Dimenzije	Dolžina 250 mm Konica Ø 4 mm

4.4.2 Izvedba in rezultati meritev

Merjenje temperature priključnih sponk smo izvajali tako, da smo s sondo termometra merili najprej priključno sponko V, nato W in kot zadnjo sponko U. Nazorni prikaz meritev s kontaktnim termometrom lahko vidimo na sliki 18.



Slika 18: Merjenje temperature s kontaktnim termometrom

Iz rezultatov meritev (tabela 5) je razvidno, da je temperatura na posameznih priključnih sponkah različna.

Tabela 5: Rezultati meritev temperature s kontaktnim termometrom

Izmerjeni parametri	Temp. (°C)	Čas (s)
Izmerjena temperatura sponke V	51	63
Izmerjena temperatura sponke W	54	
Izmerjena temperatura sponke U	52	

Kot je razvidno je v tabeli zapisan tudi čas, ki je bil potreben za opravljeno meritev. Glede na dolžino meritve (63 sekund) je lahko to pomanjkljivost takega načina meritve. Metoda merjenja temperature s kontaktnim termometrom je sicer zanesljiva, žal pa pomeni v količinski proizvodnji preveliko izgubo dragocenega časa.

V kolikor bi želeli v proces izdelave elektronskih krmilij umestiti tudi merjenje temperature priključnih sponk, bi to pomenilo povečanje časa izdelave elektronskih krmilij ter s tem povezane produktivnosti.

4.5 Merjenje temperature s termografsko kamero

Potreba po poenostavitvi in prihranku časa pri postopku meritve temperature priključnih sponk ter uvajanju novih, zanesljivejših metod nas je pripeljalo do uvedbe merjenja temperature s termografsko kamero. Vsa telesa sprejemajo ali oddajajo elektromagnetno - EM sevanje, kot funkcijo njihove temperature. S termovizijskimi napravami, ki jih pogosto imenujemo tudi infrardeče ali pa toplotne kamere, so človekovo sposobnost zaznavanja svetlobe razširile iz vidnega v infrardeči del spektra tako, da z njimi lahko sprejemamo ter zaznavamo energijo infrardečega dela EM sevanja. To omogoča brezkontaktno merjenje temperatur različnih teles ter porazdelitev temperature na merjencu (Tršan, 2000).

Opisana lastnost omogoča lociranje najbolj vročih točk opazovanega sistema, ki so povečini posledica slabega delovanja ali poškodovanega materiala. Uporaba infrardeče termografije v celotnem spektru industrije, pa tudi v vsakdanjem življenju postaja nepogrešljivo orodje za preprečevanje okvar na strojih, za odkrivanje napak na električnih daljnovodih in nenazadnje za zmanjševanje porabe energije za potrebe ogrevanja.

4.5.1 Glavne značilnosti termografije

Termografija je, kratko povedano, tehnika vizualizacije porazdelitve temperature na merjencu. To lahko opravimo z uporabo različnih pripomočkov in naprav. Najceneje, zato pa tudi dolgotrajno, je ročno merjenje temperature v izbranih točkah s cenanim kontaktnim ali nekontaktnim točkovnim termometrom ter posledično grafični prikaz na ta način pridobljenih rezultatov. V termografiji danes praktično uporabljajo

termovizijo povsod, kjer se med nekim procesom tvori ali prenaša toplota, saj se s tem spreminja tudi temperatura in njena porazdelitev.

S termografsko kamero hitro, enostavno in zanesljivo najdemo šibka mesta v sistemu za prenos energije. Američani so izkustveno ugotovili, da v 345 kV prenosnem sistemu s termokamero najdejo šibka mesta, ki predstavljajo veliko potencialno nevarnost v nekaj tednih, medtem ko bi jih z drugimi metodami lahko iskali neprimerno dalj časa (Tršan, 2000).

4.5.2 Termografske naprave

Termografske naprave, ki jih pogosto imenujemo tudi infrardeče ali pa toplotne kamere, so človekovo sposobnost zaznavanja svetlobe razširile iz vidnega v infrardeči del spektra. Po delovanju se prav nič ne razlikujejo od običajnih TV video kamer, le da toplotno sliko spremenijo v vidno. Medtem ko je vidna slika predvsem rezultat razlik v reflektivnosti teles in je za njen nastanek nujno potrebna osvetlitev, bodisi z naravno ali pa z umetno svetlobo, je toplotna slika predvsem posledica lastnega sevanja in razlik v emisivnosti. Prav v tem pa tiči razlog za izredno razširjeno uporabo termovizije na vseh področjih človekovega delovanja. Uporabnost termovizijskih naprav je omejena na območje »atmosferskih oken«, to je na tisti del spektra infrardečega-IR sevanja, ki ga ozračje prepušča v zadovoljivi meri. Najpomembnejši za termovizijo sta okni v območju valovnih dolžin med 3 in 5 ter med 8 in 14 mikrometri (Tršan, 2000).

4.5.3 Vplivi na delovanje ter točnost meritev

IR sevanje se pri prehodu skozi ozračje oslabi zaradi absorpcije ter sipanja na molekulah, aerosolih, dimu, prahu, dežju in snegu. Poznavanje mehanizmov, predvsem pa stopnje slabljenja sevanja, je zelo pomembno s stališča uporabe termovizijskih naprav v vojaške namene. Pri uporabi termokamer za nekontaktno merjenje temperature na večjih razdaljah, se mora slabljenje ozračja upoštevati, sicer so izmerjene vrednosti premajhne. Za laboratorijske razdalje do nekaj deset metrov se slabljenja ozračja ne upošteva. V našem primeru je bila kamera oddaljena za 0,5 m od merjenca, zato smo vpliv ozračja zanemarili.

Različni materiali imajo tudi različen faktor sevanja oziroma emisije. Črno telo, ki je idealni sevalec, seva največji možni energijski tok, kar pomeni, da je njegova emisivnost enaka 1. Pri merjenju temperature teles s stopnjo emisivnosti manjšo od 1 moramo zelo paziti, da se v njih ne zrcali kakšno telo z višjo temperaturo, kot jo ima merjenec. V tem primeru bi namreč preko zrcaljenja merili višjo temperaturo.

Natančno določanje emisivnosti je zamudno delo in zahteva drago opremo. Zato je najbolje, da pri delu s termovizijo uporabljamo podatke o emisivnosti iz dostopne strokovne literature v našem primeru priročnik proizvajalca FLIR (FLIR, 2007). Omenjene podatke emisivnosti za nekaj karakterističnih materialov prikazujemo v tabeli 6.

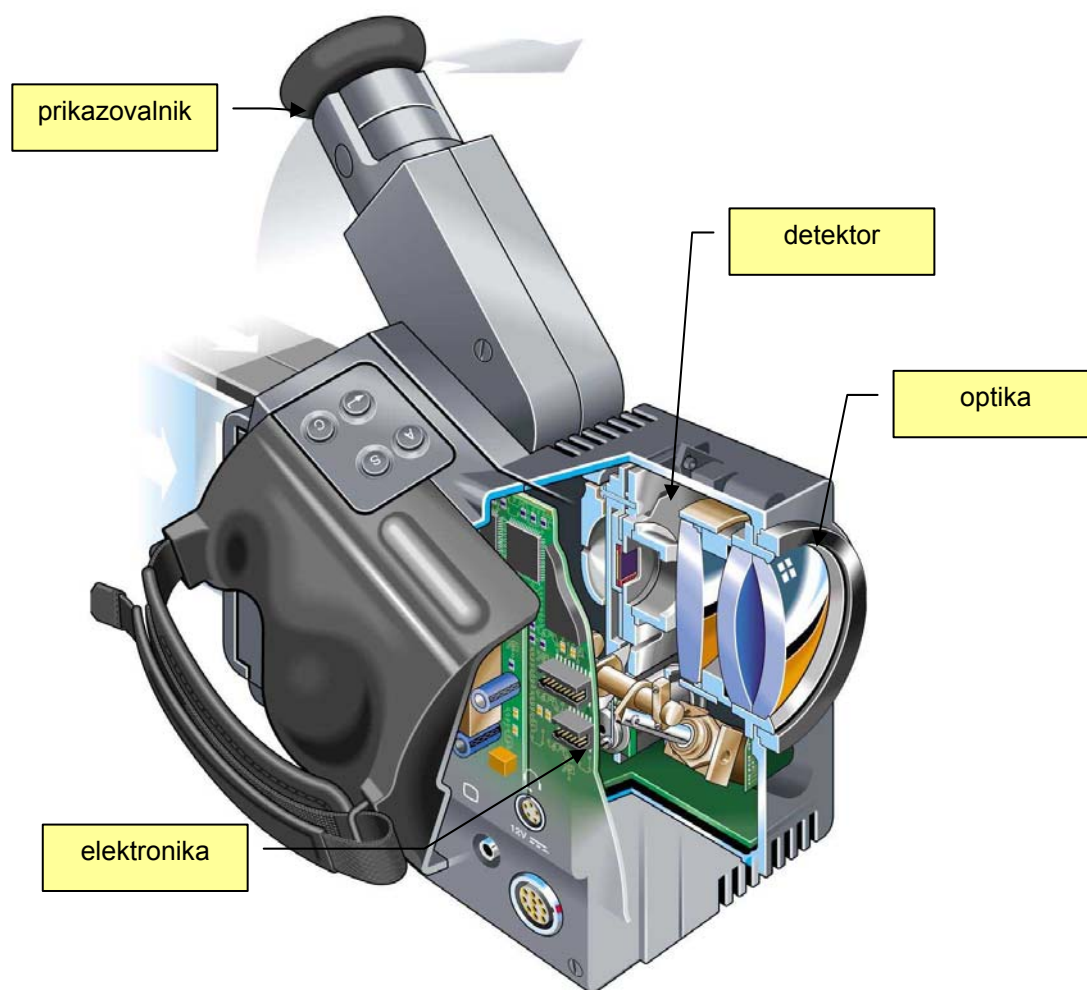
Tabela 6: Emisivnost materialov (FLIR, 2007)

MATERIAL	OBDELAVA	TEMP. (°C)	EMISIVNOST
Aluminij	Polirana pločevina	100	0,05
	Oksidirano	100	0,55
	Vakuumsko neparjen	20	0,04
Medenina	Polirana	100	0,03
	Peskana	20	0,20
	Oksidirana	100	0,61
Baker	Poliran	100	0,05
	Močno oksidirano	20	0,78
Zlato	Polirano	100	0,02
Železo	Lito, polirano	40	0,21
	Lito, oksidirano	100	0,64
	Pločevina, zelo oksidirano	20	0,69
Magnezij	Poliran	20	0,07
Nerjavno jeklo	Kovano	20	0,16
	Oksidirano na 800 °C	60	0,85
Jeklo	Polirano	100	0,07
	Oksidirano	200	0,79
Nikelj		20	0,05
Opeka	Navadna, rdeča (glinasta)	20	0,93
Ogljik	Saje, sveča	20	0,95
	Grafit, popiljena površina	20	0,98
Beton		20	0,92
Steklo	Polirana plošča	20	0,94
Lak	Bel	100	0,92
	Črn mat	100	0,97
Barve oljne	Povprečje za 16 barv	100	0,94
Papir	Bel pisemski	20	0,93
Omet	Grobi	20	0,91
Pesek		20	0,91
Koža	Človeška	32	0,98
Prst	Suha	20	0,92
Voda	Vlažna	20	0,95
	Destilirana	20	0,96
	Led, gladek	-10	0,96
	Led, kristali	-10	0,98
Sneg		-10	0,85
Les		20	0,90

4.5.4 Sestava termokamere

Glavni sestavni moduli termokamere so:

- optika,
- detektor (s skenerjem in hladilnikom pri starejših termokamerah),
- elektronika,
- prikazovalnik slike.



Slika 19: Sestava termokamere (Tršan, 2000)

Optika

Ta ima pri termokamerah nalogo, da ustvari čim boljše sliko scene. Konstruirana in izdelana je po enakih principih kot optika za vidno svetlobo, od nje se razlikuje le z nekaj posebnostmi, ki zelo grenijo življenje izdelovalcem. Materiali, iz katerih je izdelana so pravi posebnosti, tako po lastnostih, kot tudi po ceni. Med številno izbiro je najbolj znan germanij. Uporablja se praktično v vseh napravah, ki sprejemajo infrardeče - IR sevanje v pasu od 8 do 14 mikrometrov (Tršan, 2000).

Detektor

Detektor je srce termovizijske naprave, saj IR sevanje scene, ki ga vanj usmerjata optika in skener, pretvarja v električne signale. Njemu je podrejena celotna zasnova naprave. Določa, kakšna bo optika, kako bo konstruiran skener, kaj bo počela elektronika, kakšna bo občutljivost in, ne nazadnje, kolikšna bo cena. Detektor je namreč najdražji element. Cena narašča premo sorazmerno s kvaliteto in številom senzorskih elementov.

Današnji fotoniski IR detektorji za spekter od 8 do 14 mikrometrov se morajo ohladiti na temperaturo vsaj 80 K. Tehnike hlajenja so različne, najpreprostejša je uporaba tekočega dušika, ki pa se praktično ne izvaja več. V modernih termokamerah s fotoniskimi detektorji se ti hladijo z miniaturnimi Stirlingovimi hladilniki. (Infrared, 2008).

Elektronika

Elektronika opravlja veliko nalog. Poganja in nadzira motorje skenerja, če jih kamera seveda ima, ojačuje mikrovoltne signale detektorjev in jih obdeluje ter predeluje s prijemi, ki so praktično enaki tistim v televizijski tehniki.

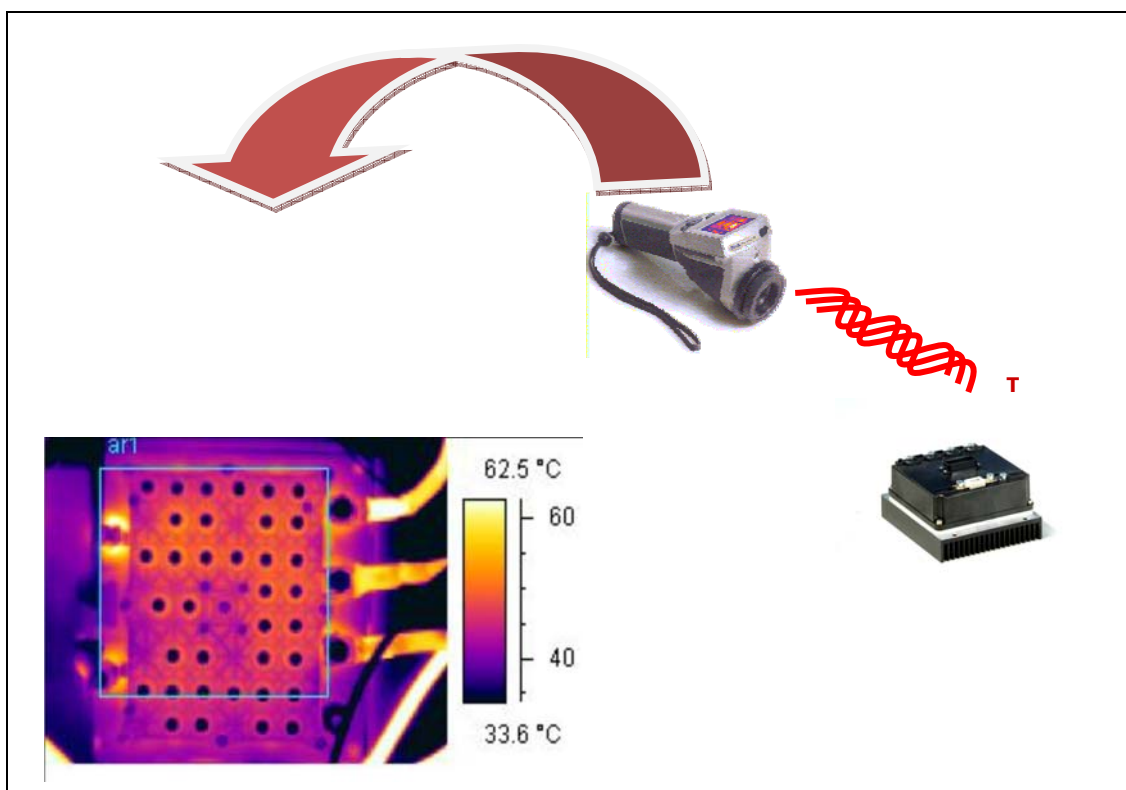
Prikazovalnik

Prikazovalniki termovizijske slike so pri napravah starejše generacije iz svetlečih diod - LED, ki sevajo rdečo ali zeleno svetlobo, operater pa opazuje sliko skozi optiko okularja. Dinamika in kvaliteta slike prikazovalnikov LED pa ni tako dobra, kot jo daje katodna elektronika in to je eden od razlogov za njeno uporabo v

prikazovalnikih naprav novejšje generacije. Pri tem svoj delež seveda prispeva tudi vse tesnejše povezovanje termografske kamere in računalnika (Tršan, 2000).

4.5.5 Delovanje termokamere

Termografska kamera je brezkontaktna naprava, ki zaznava energijo infrardečega sevanja (toploto) in jo spremeni oziroma konvertira v elektronski signal, ki je potem predelan do take mere, da tvori termično sliko, ki jo je mogoče videti na nekem prikazovalniku oziroma monitorju. Toplota, ki jo kamera posname, pa je zelo natančno določena oziroma izmerjena, kar nam dopušča ne le opazovanje termičnega odziva, temveč tudi razpoznavnost in možnost natančne ocene resnosti problemov, povezanih s temperaturo. Termokamera se lahko uporablja kot samostojen, direktni merilni instrument. V tem primeru s programom, ki je vgrajen v termokamero, na licu mesta izmerimo parametre, ki nas zanimajo. Rezultati se prikažejo na vgrajenem monitorju (prikazovalniku) in so superponirani termični sliki.



Slika 20: Princip delovanja termografske kamere

Slika 20 prikazuje princip delovanja termografske kamere. Kot je z nje razvidno, v okolici predmet seva EM valovanje. Preko optike na kameri se zbira infrardeče sevanje, ta pa ga usmerja na infrardeči detektor. Infrardeči detektor jakost infrardečega sevanja spremeni v električni signal. Elektronika v kameri poskrbi za procesiranje signala do take mere, da je uporaben za vizualizacijo na prikazovalnikih oziroma monitorjih.

4.5.6 Opis naprave FLIR Systems ThermaCam E65

Pri merjenju temperature smo v našem primeru uporabljali termokamero proizvajalca FLIR Systems, ThermaCam E65. Termokamera ThermaCam E65 je namenjena nekontaktnemu merjenju temperaturnih polj v realnem času. Njene značilnosti in prednosti so:

- majhne dimenzije in masa,
- majhna poraba električne energije,
- enostavna uporaba,
- velika stopnja fleksibilnosti,
- nezahtevno vzdrževanje,
- dolga življenjska doba,
- video izhod kompatibilen z EIA, VGA in PAL standardi,
- najmodernejša tehnologija,
- matrični mikrobolometriški IR detektor, ki ga ni treba hladiti,
- velika temperaturna občutljivost ($< 0,15$ K),
- elektronska analiza (skeniranje) termične slike,
- vgrajena video kamera.

Napravo, ki smo jo uporabljali za merjenje temperature priključnih sponk elektronskega krmilnika, prikazuje slika 21.



Slika 21: Termografska kamera proizvajalca FLIR Systems, ThermaCam E65

Osnovne tehnične lastnosti naprave

V nadaljevanju je predstavljena tabela, ki prikazuje osnovne tehnične značilnosti termokamere in njihove vrednosti.

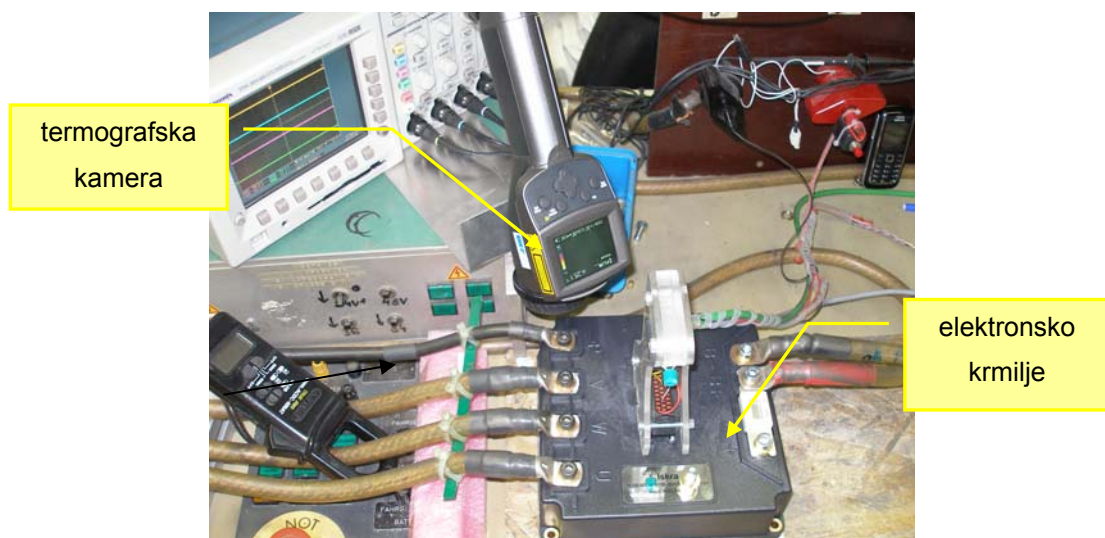
Tabela 7: Tehnični podatki ThermaCam E65

TEHNIČNA ZNAČILNOST	VREDNOST
Spektralno območje delovanja	7,5 – 13 mikrometrov
Tip IR detektorja	Matrični, 320 × 240 elementov, nehlajen
Vidno polje	24 ° × 18 ° (H × V) (s standardno optiko)
Trenutno vidno polje	1,3 mrad
Točnost merjenja	2 %, ali 2 K, odvisno od obsega
Optika	Germanijeva, izmenljiva, po izbiri
Video izhod	EIA, CCIR, VGA
Monitor	LCD, barvni, 1 inčni premer

Območje merjenja(kalibrirano)	-20 °C do 500 °C, opcija do 1500 °C
Temperaturno območje delovanja	-15 °C do 50 °C
Temp. območje skladiščenja	-40 °C do 70 °C
Masa	2,3 kg z baterijo
Velikost	220 × 133 × 140 mm
Čas delovanja	1,5 ure z eno baterijo
Dinamika termične slike	14 bit

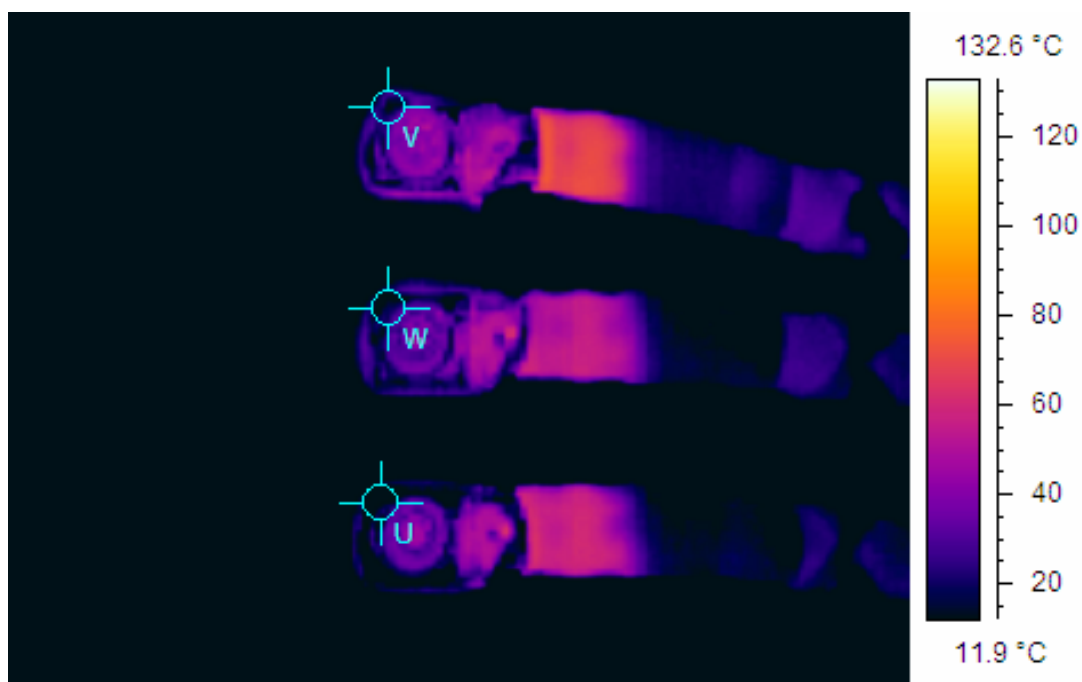
4.5.7 Uporaba termografije pri merjenju temperature elektronskega krmilja

Kot metodo meritve temperature priključnih sponk smo uporabili enak postopek, kot pri merjenju s kontaktnim merilnikom temperature Testoterm termometrom 9010 (opisanim v poglavju 4.4.2). V ta namen smo termografsko kamero namestili nad merjenec ter tako merili temperaturo. Slika 22 prikazuje delovno mesto, ki je opremljeno z merilno napravo in merjencem.



Slika 22: Prikaz delovnega mesta z nameščeno termografsko kamero

Rezultat meritve ni bil primerljiv z rezultatom, ki smo ga dobili pri merjenju s kontaktnim termometrom. Pričakovali smo, da bo temperatura priključnih sponk elektronskega krmilja v območju med 50 °C in 60 °C, vendar smo na prikazovalniku termografske kamere razbrali temperaturo priključnih sponk manjšo od 22 °C, kar je razvidno tudi na sliki 23 in tabeli 8.



Slika 23: Termovizijski posnetek el. krmilja s temperaturo, manjšo od 20 °C

Tabela 8: Prikaz nastavitve parametrov termografske kamere in izmerjenih vrednosti

Osnovni parametri merjenja	Vrednost
Emisivnost	0,20
Oddaljenost merjenja	0,5 m
Temperatura okolice	20,0 °C
Izmerjeni parametri	Vrednost
Izmerjena temperatura sponke V	7,0 °C
Izmerjena temperatura sponke W	18,2 °C
Izmerjena temperatura sponke U	6,5 °C

Ugotovili smo, da so priključne sponke, preko katerih je povezan AC elektro-motor, ki deluje kot breme, iz bakra (Cu), površinsko pa so zaščitene s kositrom (Sn). Ker v tabeli 6 nismo dobili podatka za omenjeni material, v nadaljevanju navajamo povzetek metode za določanje emisivnosti materialov, ki niso črne barve. Metoda je podrobneje opisana v priročniku Termovizija (Tršan, 2000).

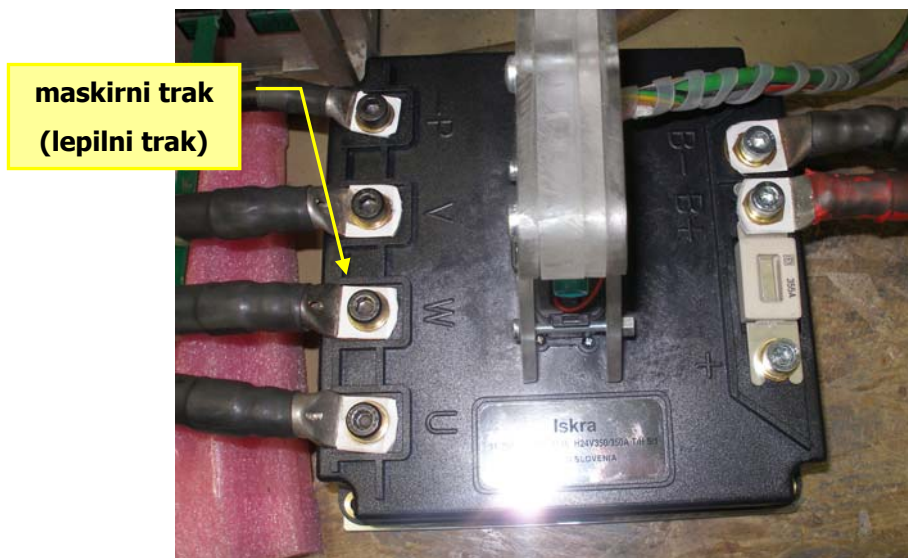
Določanje faktorja emisivnosti

V kolikor potrebnega podatka o emisivnosti materiala merjene površine ni mogoče najti, sta na voljo dva enostavna, a dovolj natančna postopka za njeno določitev.

Kot prvi način s kontaktnim termometrom izmerimo temperaturo merjenca ali vzorca materiala. Postopek ponovimo še s termokamero tako da emisivnost na termokameri nastavimo na tisto vrednost, pri kateri kaže enako temperaturo kot kontaktni termometer. Pri tem mora biti temperatura vzorca, ki mu določamo emisivnost, vsaj 30 °C višja od temperature okolice.

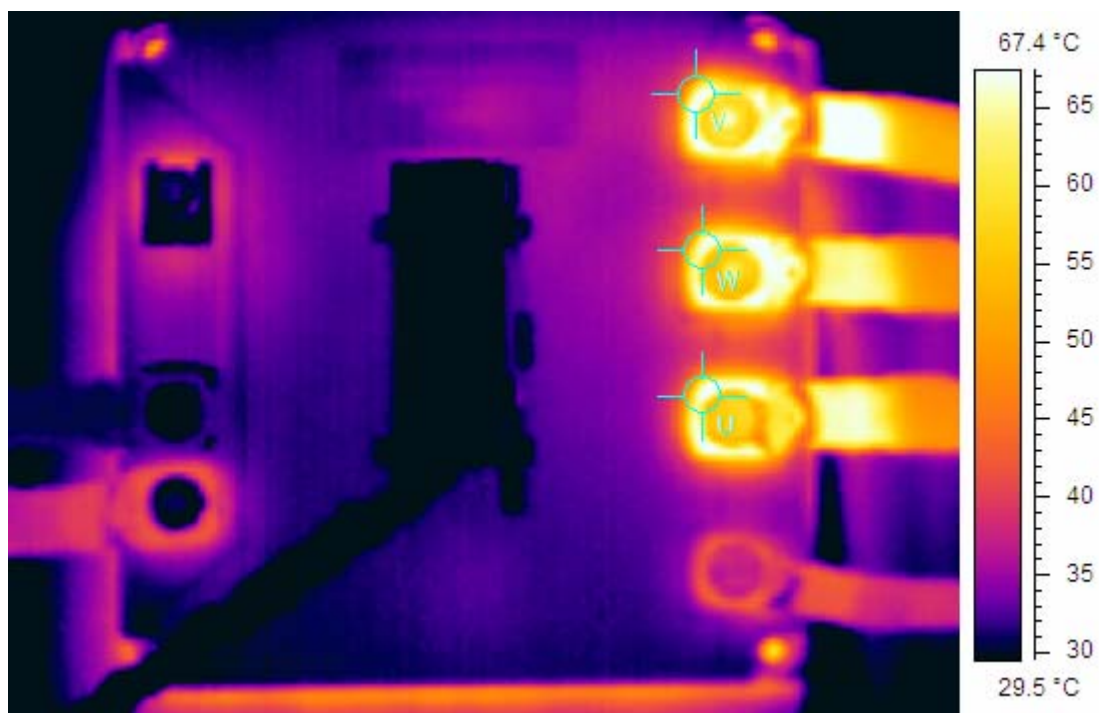
Drugega načina določanja emisivnosti se poslužimo v primeru, da nimamo primernega kontaktnega termometra. Na merjenec prilepimo maskirni trak (lepilni trak), ki ima emisivnost reda 0,92 in počakamo, da se segreje na temperaturo merjenca. Nato na termokameri nastavimo emisivnost na 0,92 in izmerimo temperaturo traku, ki je hkrati temperatura merjenca.

Opisani postopek smo uporabili, ko smo ponovili postopek zastavljene meritve. Na priključne sponke smo nalepili maskirni trak, kot je prikazano na sliki 24.



Slika 24: Nameščanje maskirnega traku (lepilni trak) na priključne sponke

Nato smo posneli termografsko sliko elektronskega krmilja z nameščenim maskirnim trakom. Faktor emisivnosti je bil v našem primeru nastavljen na vrednost 0,92. Tokrat so bili rezultati meritev drugačni, kar je razvidno iz slike 25 in tabele 9.



Slika 25: Termografska slika elektronskega krmilja med merjenjem z nameščenim maskirnim trakom

Tabela 9: Prikaz izmerjenih vrednosti pri merjenju z nameščenim maskirnim trakom

Osnovni parametri merjenja	Vrednost
Emisivnost	0,92
Oddaljenost merjenja	0,5 m
Temperatura okolice	20,0 °C
Izmerjeni parametri	Vrednost
Izmerjena temperatura sponke V	64,4 °C
Izmerjena temperatura sponke W	67,3 °C
Izmerjena temperatura sponke U	67,8 °C

Postopek meritve temperaure smo ponovili na istem merjencu s kontaktnim merilnikom temperature TESTOTERM 9010. Rezultate meritev prikazujemo v tabeli 10.

Tabela 10: Izmerjene temperature s kontaktnim merilnikom temperature

Izmerjeni parametri	Vrednost
Izmerjena temperatura sponke V	64 °C
Izmerjena temperatura sponke W	67 °C
Izmerjena temperatura sponke U	67 °C

Če primerjamo izmerjene vrednosti istega merjenca z različnima metodama, ki so prikazane v tabeli 9 in tabeli 10 vidimo, da je bil način nastavitve faktorja emisivnosti na termokameri ustrezen. Rezultati meritev s termografsko kamero in kontaktnim termometrom se razlikujejo za vrednost po decimalni vejici.

Vzroki za odstopanje pri meritvi so:

- težko se doseže popolnoma enako stanje pri obeh merilnih metodah,
- možno nepravilno naleganje temperaturne sonde pri merjenju s kontaktnim termometrom,
- seštevek toleranc obeh merilnikov.

Iz navedenih vzrokov odstopanja in dobljenih rezultatov pa lahko razberemo, da so odstopanja zadovoljiva, saj ne presegajo vrednosti 1 % izmerjene vrednosti. Kar pa je najpomembneje, dokazali smo točnost v okviru razreda merilnika in zanesljivost meritev s termografsko kamero.

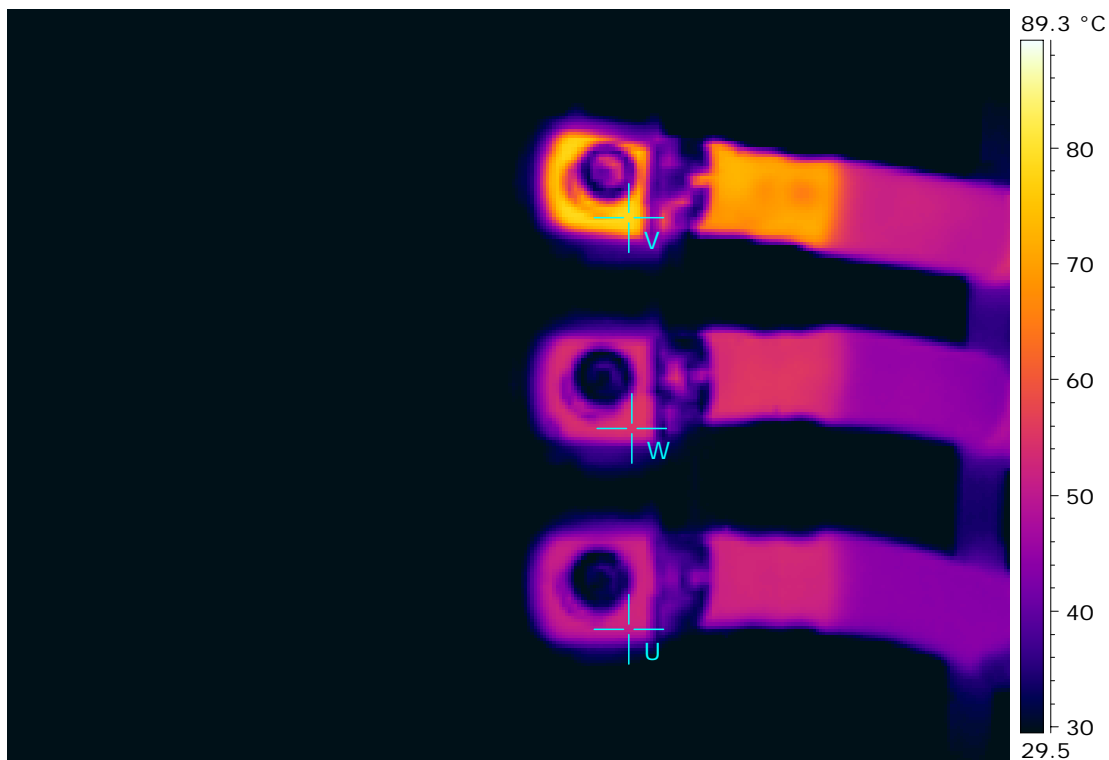
4.6 Zgodnje odkrivanje napak na podlagi rezultatov termografskih meritev pri merjenju temperature elektronskega krmilja

Značilnost in istočasno prednost termografske kamere je, da lahko z njo sočasno merimo vse tri priključne sponke. Temperatura je stalno prikazana na prikazovalniku.

Največja prednost meritev s termografijo pa je vsekakor prihranek časa, glede na merjenje s kontaktnim termometrom. Ker meritev poteka med samim funkcionalnim preizkusom elektronskega krmilja, je čas meritve enak nič.

4.6.1 Odkrivanje napak

Praktičen primer odkrivanja napak na krmiljih z uporabo termografije pri merjenju temperature je razviden iz slike 26.



Slika 26: Termografska slika krmilja

V tabeli 11 so prikazane merilne vrednosti ter posebne nastavitve termografske kamere. Kot čas meritve je naveden čas, ki ga meritve zahtevajo izven samega procesa funkcionalnega preizkusa, torej dodatni čas, potreben za izvedbo meritev.

Tabela 11: Prikaz nastavitve kamere ter izmerjenih vrednosti

Osnovni parametri merjenja	Vrednost	
Emisivnost	0,92	
Oddaljenost merjenja	0,5 m	
Temperatura okolice	20,0 °C	
Izmerjeni parametri	Vrednost	Čas meritve
Izmerjena temperatura sponke V	77,8 °C	0
Izmerjena temperatura sponke W	54,6 °C	0
Izmerjena temperatura sponke U	50,6 °C	0

Izmerjene vrednosti kažejo na povišano temperaturo priključne sponke V. Ta je bistveno višja in presega zgornjo dovoljeno mejo. Izmerjena temperatura 77,8 °C kaže na nepravilnost delovanja krmilja.

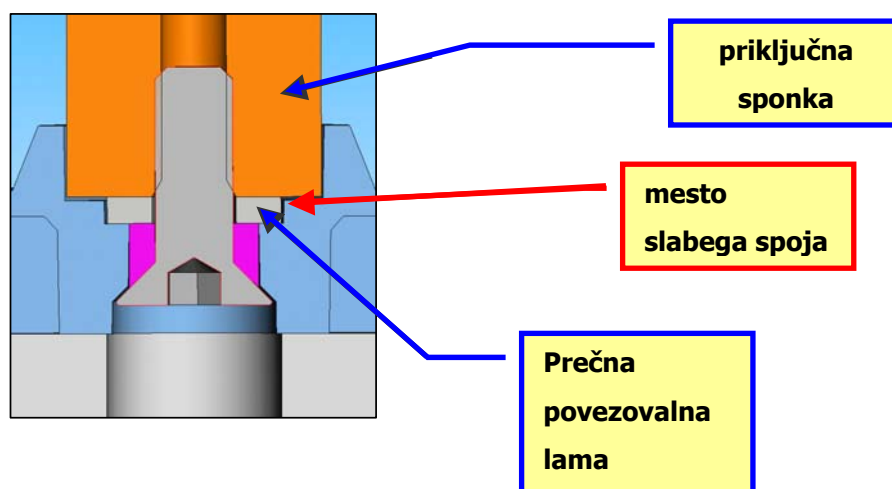
4.6.2 Ugotovitve rezultatov meritev

Meritve temperature elektronskih krmilij so pokazale šibke točke na močnostnih priključnih sponkah elektronskega krmilja.

Temperatura močnostnega priključne sponke V se je močno povečala v primerjavi s temperaturo preostalih dveh priključnih sponk, kar je razvidno iz tabele 11. Tudi izdelki, ki so odpovedali v redni uporabi, imajo na enem ali dveh priključnih sponkah vidne sledi povišane temperature. Vzrok odpovedi je nedvomno močno povišana temperatura na priključnih sponkah, ki ima za posledico odpoved izdelka.

4.6.3 Analiza obstoječega stanja elektronskega krmilja pri katerem prihaja do pregrevanja priključnih sponk

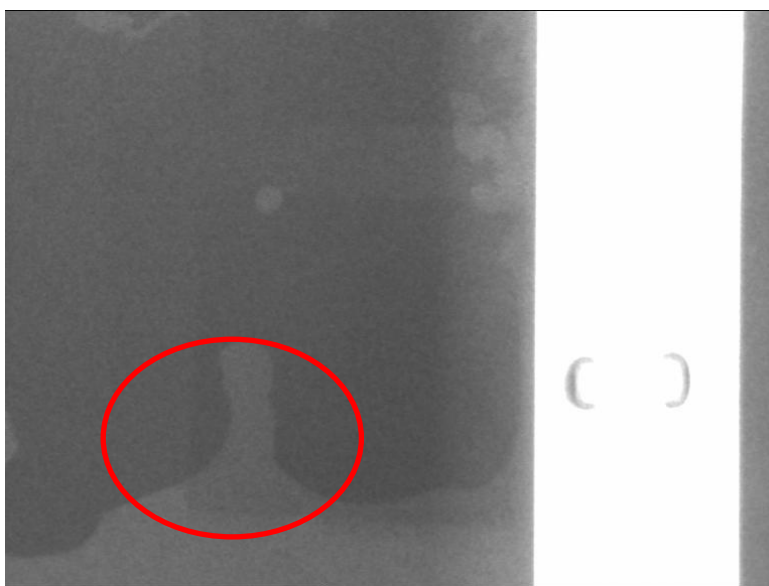
Predvidevamo, da je vzrok povišanja temperature pomanjkljivost konstrukcije spoja med priključno sponko in močnostnim priključkom. Med delovanjem prihaja do popuščanja spoja, kar privede do močnega povišanja temperature in kasnejše odpovedi izdelka. Na sliki 27 je grafično prikazan detajl konstrukcije pritrditve priključne sponke.



Slika 27: Detajl konstrukcije spoja pri obstoječem krmilju

4.6.4 Rentgenski posnetki elektronskega krmilnika

Za potrditev ustreznosti ugotovitev o konstrukcijski napaki spojev pa je potrebno pogledati v notranjost elektronskega krmilnika. Z razstavljanjem posameznih komponent krmilnika bi nedvomno zakrili ali celo izničili potencialne napake. Odločili smo se, da bomo izdelali rentgensko fotografijo (slika 28), s katero bomo ugotovili morebitne neustreznosti.



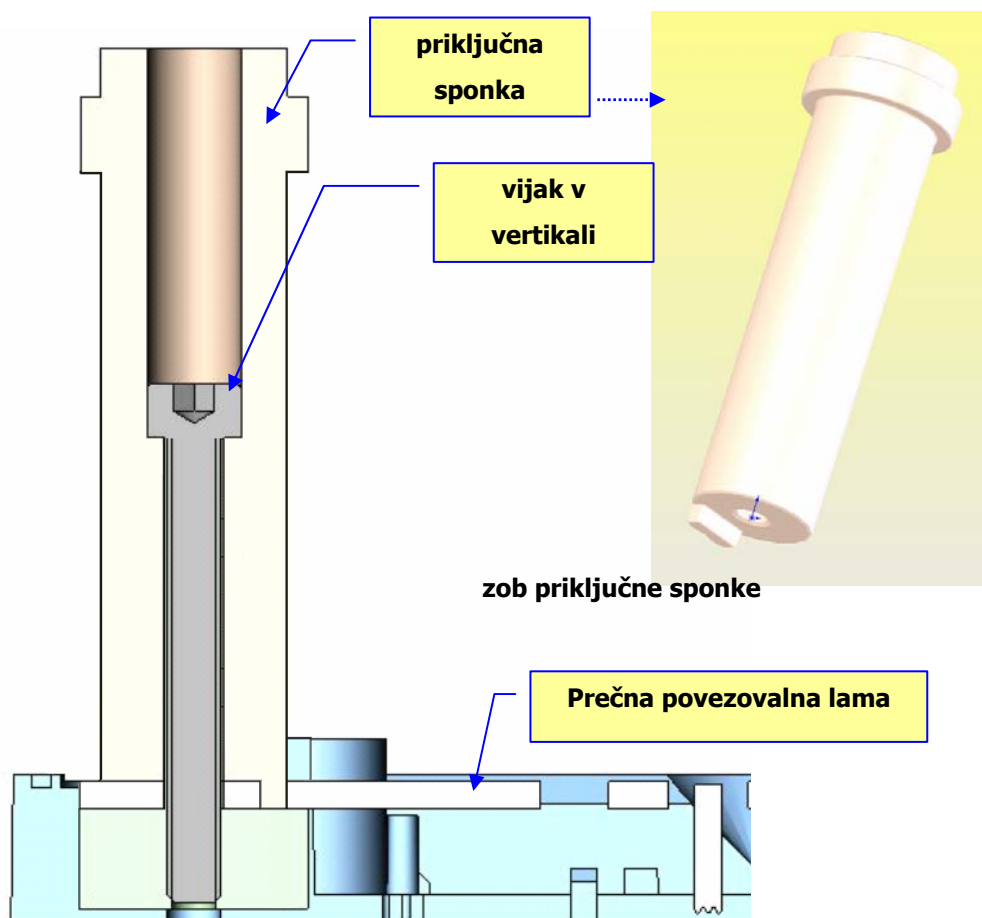
Slika 28: Rentgenski posnetek priključne sponke V

Rentgenska fotografija na sliki 28 prikazuje neustreznost nalaganja priključnega sponke na prečno povezovalno lamo (močnostni priključek), ki je vidno kot svetlejši odtенок, ki smo ga obkrožili z rdečo barvo. Neustreznost naleganja priključne sponke na prečno povezovalno lamo se na rentgenskem posnetku kaže kot svetlejšo območje – svetlo sivi odtенок. Na teh delih ni električnega stika. Praktično je na tem območju t.i. zračni mehurček, zaradi katerega je zmanjšana naležna površina in s tem tudi zmanjšan presek voda, kjer teče električni tok.

Pri pravilnem oziroma popolnem naleganju priključne sponke na prečno povezovalno lamo bi na rentgenskem posnetku videli le temno sivo oziroma črno barvo.

4.6.5 Predlog izboljšave

Kot tehnično rešitev, ki bi privedla do izboljšave v spoju med priključno sponko in prečno povezovalno lamo predlagamo uvedbo priključne sponke, pri kateri ne bi prihajalo do slabega spoja. Predlagana rešitev je priključna sponka s posebnim zobom, ki bi preprečeval odvijanje od prečne povezovalne lame ter bi bil dodatno pritrjen z vijakom po vertikali. Predlog izboljšave konstrukcije je ponazorjen na sliki 29.



Slika 29: Predlog izboljšanja pritrditve priključne sponke

Prednosti, ki jih prinaša izboljšana konstrukcija so :

- izključena možnost odvijanja priključne sponke,
- povečana kontaktna površina med vertikalno priključno sponko in prečno povezovalno lamo,
- operacija pritrjevanja se vrši iz zgornjega dela, s tem se skrajša čas izdelave.

5 PRIMERJAVA IN STROŠKOVNI VIDIK NAČINA MERJENJA S KONTAKTNIM MERILNIKOM TEMPERATURE TER TERMOGRAFSKE KAMERE

Za primerjavo obeh vrst merilnikov temperature s stroškovnega vidika smo izbrali dva nabora pridobljenih podatkov. Primerjali smo investicijsko vrednost obeh merilnikov ter čas, ki je s posamezno vrsto merilnika potreben za izvedbo meritev.

5.1 Čas, potreben za izvedbo meritev

5.1.1 Termografska kamera

Kot je bilo v prejšnjem poglavju ugotovljeno, poteka merjenje s termografsko kamero sočasno s funkcijsko kontrolo delovanja krmilja. Iz tega sledi, da je dodatni čas, potreben za meritve enak vrednosti 0.

5.1.2 Kontaktni termometer

Pri merjenju s kontaktnim termometrom je porabljen čas meritve 63 sekund za en kos krmilja kar pomeni, da bi bilo pri dani količini potrebno zaposliti dodatnega delavca.

5.2 Investicijska vrednost naprav

Za izračun investicijske vrednosti smo uporabili investicijske vrednosti obeh naprav in orodij. Zajeli smo podatke za obdobje 4 let, ki predstavljajo življenjsko dobo izdelka. Pri izračunih je bila upoštevana linearna amortizacija. V nadaljevanju bomo izdelali stroškovno primerjavo.

5.2.1 Termografska kamera

Izračun investicijske vrednosti termografske kamere je po posameznih postavkah nazorno prikazan v spodnjih tabelah. Poleg investicijske vrednosti same kamere, je potrebno pri izračunu upoštevati še investicijsko vrednost orodja, ki služi kot nastavek za termografsko kamero in nenazadnje tudi investicijsko vrednost programske opreme.

Tabela 12: Investicijska vrednost termografske kamere

LETO	2008	2009	2010	2011	skupaj (EUR)
Oprema (termografska kamera)	17.412	0	0	0	17.412
Orodja (nastavek za termokamero)	4.000	0	0	0	4.000
Orodja SW (programska nastavitvev opreme)	2.000	0	0	0	2.000
SKUPAJ EUR	23.412	0	0	0	23.412

Tabela 13: Izračun amortizacije za termografsko kamero

LETO	2008	2009	2010	2011	% / leto
Oprema (termografska kamera)	4.353	4.353	4.353	4.353	25 %
Orodja (nastavek za termokamero)	1.000	1.000	1.000	1.000	25 %
Orodja SW (programska nastavitvev opreme)	500	500	500	500	25 %
SKUPAJ EUR	5.853	5.853	5.853	5.853	

V tabeli 14 so navedeni izračunani podatki o neodpisanih vrednostih termografske kamere, orodja, ki služi kot nastavek ter programske opreme po posameznih letih. Leta 2011 bo predvidoma skupna odpisana vrednost enaka 0.

Tabela 14: Izračun neodpisanih vrednosti po letih

LETO	2008	2009	2010	2011
Oprema (termografska kamera)	13.059	8.706	4.353	0
Orodja (nastavek za termokamero)	3.000	2.000	1.000	0
Orodja SW (programska nastavitvev opreme)	1.500	1.000	500	0
SKUPAJ	17.559	11.706	5.853	0

5.2.2 Kontaktni termometer

Izračun investicijske vrednosti kontaktnega termometra je po posameznih postavkah nazorno prikazan v tabelah 15 - 18.

Osnova za izračun je investicijska vrednost Testoterm termometra 9010, ki znaša 1.917,00 EUR, vrednost temperaturne sonde TESTO pa 211,00 EUR.

Tabela 15: Investicijska vrednost kontaktnega merilnika temperature
TESTOTERM 9010

LETO	2008	2009	2010	2011	Skupaj (EUR)
Oprema (Merilnik TESTOTERM 9010)	1.917	0	0	0	1.917
Oprema (Sonda TESTO)	211	0	0	0	211
SKUPAJ	2.128	0	0	0	2.128

Tabela 16: Izračun amortizacije za kontaktni merilnik TESTOTERM 9010 ter pripadajočo sondo po letih

LETO	2008	2009	2010	2011	% / leto
Oprema(Merilnik TESTOTERM 9010)	479	479	479	479	25 %
Oprema(Sonda TESTO)	53	53	53	53	25 %
SKUPAJ	532	532	532	532	

Poleg investicijskih stroškov samega merilnika temperature je potrebno pri zajemu stroškov upoštevati še potrebo po dodatnem delavcu, kar smo ponazorili v tabeli 17. Stroški dela so izračunani za delavca s IV. stopnjo izobrazbe (tabela 18). Podatki o stroških dela so interni podatki podjetja Iska Avtoelektrika (Iskra, 2008).

Tabela 17: Potrebno število delavcev po letih

IZOBRAZBA	2008	2009	2010	2011
IP				
VIII				
VII				
VI				
V				
IV				
VI				
V				
IV	1	1	1	1
III				
II				
SKUPAJ	1	1	1	1

Tabela 18: Stroški plače delavca s IV. stopnjo izobrazbe

STROŠKI DELA	2008	2009	2010	2011
Proizvodnih delavcev	16.241	16.728	17.230	17.747
Režijskih (brez proiz. r.)	0	0	0	0
SKUPAJ EUR	16.241	16.728	17.230	17.747

5.3 Stroškovna primerjava

Povzetka izračunov stroškov v primeru uvedbe merilne metode z uporabo termografske kamere oziroma ob uvedbi merilne metode z uporabo kontaktnega merilnika temperature sta prikazana v tabelah 19 in 20.

Tabela 19: Struktura stroškov ob uvedbi termografske kamere

STRUKTURA STROŠKOV				
Postavka	2008	2009	2010	2011
Stroški dela proizvodnih delavcev	0	0	0	0
Stroški dela režijskih delavcev	0	0	0	0
Stroški amortizacije	5.853	5.853	5.853	5.853
Ostali stroški programa	0	0	0	0
SKUPAJ STROŠKI	5.853	5.853	5.853	5.853

Tabela 20: Struktura stroškov ob uvedbi kontaktnega merilnika TESTOTERM

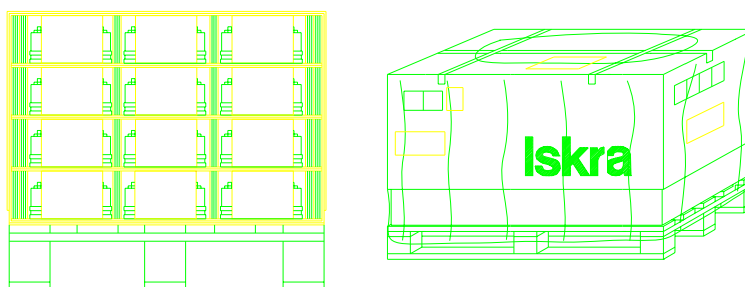
STRUKTURA STROŠKOV				
Postavka	2008	2009	2010	2011
Stroški dela proizvodnih delavcev	16.241	16.728	17.230	17.747
Stroški dela režijskih delavcev	0	0	0	0
Stroški amortizacije	532	532	532	532
Ostali stroški programa	0	0	0	0
SKUPAJ STROŠKI	16.773	17.260	17.762	18.279

Merjenje temperature s kontaktnim termometrom je nedvomno cenejša merilna metoda s stališča cene opreme. V kolikor upoštevamo tudi strošek dela pa lahko z zanesljivostjo ugotovljamo, da ta postane dražja v primerjavi z investicijsko vrednostjo termografske kamere.

5.4 Koliko privarčujemo s pravočasnim odkritjem napake

Če se postavimo v vlogo kupca zahtevamo, da proti plačilu dobimo ustrezno količino ter kakovost blaga. Odstopanje zaradi neustrezne kakovosti lahko privede do tega, da pošiljko blaga kupec v celotni zavrne. V nadaljevanju bomo opisali minimalno embalažno enoto, ki opisuje količino elektronskih krmilij ter na podlagi vrednosti prevoza blaga do kupca pokazali izgubo oziroma prihranek v primeru pravočasnega odkritja napak.

Elektronska krmilja pakiramo v embalažne enote, ki jih prikazuje slika 30. Količina zapakiranih elektronskih krmilij je 60 kosov.



Slika 30: Pakiranje elektronskih krmilij v skupno embalažo

Pri izračunih bomo upoštevali, da je strošek transporta ene palete od tovarne do končnega kupca 600 EUR, strošek dodatnega nakladanja pa 34 EUR.

V kolikor kupec ugotovi neustreznost na enem samem izdelku proizvajalcu zavrne celotno pošiljko. Poleg izgube zaradi neprodanega blaga je potrebno tukaj prišteti dodatne stroške transporta, ki jih krije proizvajalec ter dodaten strošek zaradi nakladanja. V tabeli 21 prikazujemo stroške, ki nastanejo zaradi neustrezne kakovosti, ki imajo za posledico zavrnitev blaga proizvajalcu.

Slika 31: Nastali stroški v primeru zavrnitve pošiljke elektronskih krmilij s strani kupca

LETO	cena na enoto	količina pakiranja	Skupaj EUR
Vrednost ene palete elektronskih krmilij	243	60	14.580
Stroški prevoza do kupca	600	1	600
Stroški prevoza zavrnitve	600	1	600
Stroški dodatnega nakladanja	34	1	34
STROŠKI ZAVRNITVE POŠILJKE			1.234
CELOTNA VREDNOST ZAVRNITVE			17.048

Kot lahko vidimo je prihranek v primeru pravočasnega odkritja napake 1.234 EUR. Če upoštevamo še vrednost blaga, ki je vrnjeno s strani kupca pa celotna vrednost zavrnitve znaša 17.048 EUR.

6 ZAKLJUČEK

Naloga, ki smo jo opravili, je bila relativno zahtevna, saj je zahtevala teoretično poznavanje konstruiranja tehnoloških procesov in naprav ter znanje elektrotehnike, fizike in znanje merjenja temperature s termografsko kamero.

V nalogi je bila opravljena analiza povišane temperature priključnih sponk elektronskih krmilij, na katerih smo izvajali funkcijski preizkus. Z merjenjem temperature priključnih sponk elektronskega krmilja smo pokazali, da je vzrok odpovedi slab spoj med priključno sponko in povezovalno lamo elektronskega krmilja. Z rentgenskim posnetkom smo ugotovitev tudi potrdili. Opisali smo dve metodi merjenja temperature, ki smo jih med seboj primerjali tako s tehničnega kakor tudi z ekonomskega vidika.

Kot zaključek lahko na osnovi podatkov, zbranih v diplomskem delu navedemo naslednje sklepe:

Vzrok nepravilnosti delovanja elektronskega krmilja so na podlagi meritev slabi električni spoji priključnih sponk.

- Z meritvami temperature in izdelanimi rentgenskimi posnetki priključnih sponk smo dokazali, da je vzrok povišanja temperature na priključnih sponkah neustrezno naleganje priključnih sponk na prečno povezovalno lamo.
- S primerjalnimi metodami dveh načinov meritev smo pokazali, da je uporaba merilne metode s termografsko kamero hitrejša in ne bistveno dražja metoda.
- Predlagani postopek meritve temperature med funkcionalnim preizkušanjem elektronskih krmilij je bil uveden kot standardni proizvodni postopek v Iskri Avtoelektriki.
- Uspešno smo izvedli analizo, na osnovi katerih je bil uveden nov postopek ugotavljanja ustreznosti elektronskih krmilij v proizvodni fazi. S tem sta bila izpolnjena namen in cilj naloge.

7 LITERATURA

Miljavec D., Jereb P. (2005). Električni stroji. Temeljna znanja. Ljubljana: samozaložba.

Infrared cameras. Pridobljeno 27.09.2008 s svetovnega spleta http://www.flirthermography.com/cameras/all_cameras.asp

Tršan N. (2000). Termovizija. Priročnik z navodili za uporabo. Sweden: Flir Systems AB.

Flir Manual 2007 (2007). Sweden: Flir Systems AB.

Poslovník kakovosti Iskra Avtoelektrike 2008 (2008). Interno gradivo. Šempeter pri Gorici: Iskra Avtoelektrika.

BQ 09.02 Poslovník kakovosti (2004). Interno gradivo. Šempeter pri Gorici: Iskra Avtoelektrika.

Stročki dela Iskra Avtoelektrika, (2008). Interno gradivo. Šempeter pri Gorici: Iskra Avtoelektrika.

Pogonski sistemi. Pridobljeno 27.09.2008 s svetovnega spleta <http://www.iskra-ae.com/slo/catalogues.php>

QR 12.257.007 Kontrolni načrt (2006). Interno gradivo. Šempeter pri Gorici: Iskra Avtoelektrika.

Flir Manual 2007 (2007). Sweden: Flir Systems AB.

TESTO Instruction manual for TESTOTERM 9010 2005 (2005). Germany: TESTO AG.