

ANALIZA SEGRETJA MOTORSKEGA ZAŠČITNEGA STIKALA PRI TRAJNI TOKOVNI OBREMENITVI

Gorazd Hrovat¹, Anton Hamler¹, Mladen Trlep¹, Martin Bizjak²

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija

² Iskra Stikala d.d., Kranj, Slovenija

Ključne besede: temperaturno polje, MKE, motorsko zaščitno stikalo, ANSYS;

Izvleček: Delo predstavlja analizo segretja motorskega zaščitnega stikala (MZS) pri trajnem toku s programskim paketom ANSYS, ki temelji na metodi končnih elementov (MKE). Ta stikala predstavljajo enostavno obliko motorskega zaganjalnika, v katerem so združene funkcije stikanja, preobremenitvene in kratkostične zaščite. Geometrijski model zaščitnega stikala, ki je bil upoštevan pri analizi, je delno poenostavljen. V analizo je bil vključen le en pol stikala, ki je sicer tripolen. Opravljeni so bili izračuni segrevanja pri dveh različnih koeficientih toplotne prestopnosti na površinah ohišja stikala.

Analysis of Heating of Motor Protection Switch by Permanent Current Load

Key words: temperature field, FEM, motor protection switch, ANSYS;

Abstract: Nowadays, electrical motor is, due to its simplicity, robustness and immediate readiness to operate, the most wide-spread driving machine wherever electrical energy is available. Switching and protection devices should enable undisturbed working, allow complete utilization of motor and interrupt its operation only in cases when the motor is really endangered. One of such devices is the motor protection switch, in which functions of start-up, switch-off, overload and short-circuit protection are combined.

The paper deals with the analysis of heating of motor protection switch by permanent current load of 32 A. Joule losses are caused by that current and all parts of the switch are being heated as a result of heat transition from the site of production to the surrounding parts. Produced heat is partly used to increase the temperature of switch parts and partly conveyed into the surroundings. All three physical heat transition mechanisms perform at the transport of heat (Pic. 1). However, the influence of radiation was negligible because of low temperatures.

Motor protection switch present a very complex 3D geometry, which has been simplyfied during the analysis. Parts of the switch i.e. are control device, mechanism, do not influence the temperature field and for that reason their presence has been neglected. The main source of heat consists of a heating coil with bimetal, so the influence of coil has been neglected, which has slightly changed the current flow of motor protection switch (Pic. 2). Three-pole constructions with partition walls are usually located between the individual poles. Treatment has been reduced to one pole with a suitable boundary condition i.e. heat isolation of partition wall between two poles. The final model of motor protection switch is presented in figure 3. Program package ANSYS, which is based on finite element method (FEM), was used for static calculation of temperature field.

The results of calculations for two different values of convection coefficients on housing of motor protection switch were presented as that boundary condition, which has the most important influence on temperature field distribution. Convection coefficient at the conductor isolation was the same in the both cases. Temperature field distribution with a convection coefficient of 15 W/m²K is presented in figures 5 and 6. When a convection coefficient increases to 20 W/m²K temperature field distribution is presented in figures 7 and 8. As seen there, the temperature on housing of motor protection switch never exceeds the maximum heat permitted by a standard. Contact part on the bimetal and heating coil side is more strained by temperature as those two elements present the most important source of heat. Maximum temperature of the conductible part is the middle turns of the heating coil, which is caused by taking away the heat from both sides of the heating coil to the connected parts of the switch.

1 Uvod

Elektromotor je danes zaradi svoje enostavnosti, robustnosti, ekonomičnosti in takojšnje pripravljenosti na delovanje najbolj razširjen pogonski stroj povsod tam, kjer je na voljo električna energija. V sodobnih tehnoloških procesih pa sta pomembni predvsem zanesljivost in varnost. Stikalne in zaščitne naprave morajo torej omogočati nemoteno obratovanje, dopuščati popolno izkoriščenost motorja in tehnološki proces prekiniti le tedaj, ko je motor resnično ogrožen.

Ena najenostavnejših oblik motorskega zaganjalnika je motorsko zaščitno stikalo (MZS), v katerem so združene

funkcije stikanja (vklop - izklop), preobremenitvene in kratkostične zaščite. Njihova stikalna zmogljivost je mnogo večja od zahtevane za samo krmiljenje motorja, zato jih prištevamo kar med odklopnike. Nekateri jih imenujejo tudi »odklopnik za zaščito motorjev«.

Glavni sestavni deli takšnega stikala so:

- mehanizem za ročni vklop in izklop,
- kontaktni sistem s fiksnim in gibljivim kontaktom,
- komore za gašenje obloka in
- nadtokovni sprožnik kot kombinacija bimetalnega in elektromagnetnega (kratkostičnega) sprožnika.

Glede na splošno razvrstitev stikalnih aparatov spada MZS med ročno krmiljene mehanske stikalne aparate in je običajno tripolne izvedbe.

Zgradba in delovanje MZS mora ustrezati zahtevam večih standardov. Glede na njegove lastnosti se morajo pri zasnovi konstrukcije in preizkušanju upoštevati zahteve standardov IEC 60947-1 (splošni standard za nizkonapetostne stikalne aparate), IEC 60947-2 (za odklopnike) in IEC 60947-4-1 (za motorske zaganjalnike) /10/.

Ustreznost delovanja in zmogljivosti MZS se preverja z več standardiziranimi preizkusi. Kosovni preizkusi obsegajo preizkus dielektrične trdnosti stikala, delovanje bimetalnega sprožnika, občasno se opravlja kontrola umerjanja bimetalnega sprožnika. Med tipske preizkuse spada meritev segrevanja priključnih sponk, električna in mehanska trajnost stikala, pa tudi kratkostična izklopna zmogljivost. Vsi testi, ki so zahtevani po standardih tu niso navedeni.

V članku je prikazana analiza segrevanja MZS pri trajnem nazivnem toku 32 A. Analiza temelji na uporabi metode končnih elementov (MKE), ki spada med sodobne numerične metode, saj je njen razvoj šel vzporedno z razvojem računalnikov. Zaradi kompleksnosti geometrije brez poenostavitve le-te ni šlo. Obravnavan je bil le en pol stikala. Rezultati izračunov so predstavljeni za dve različni vrednosti koeficienta toplotne prestopnosti na ohišju stikala.

2. Temperaturno polje

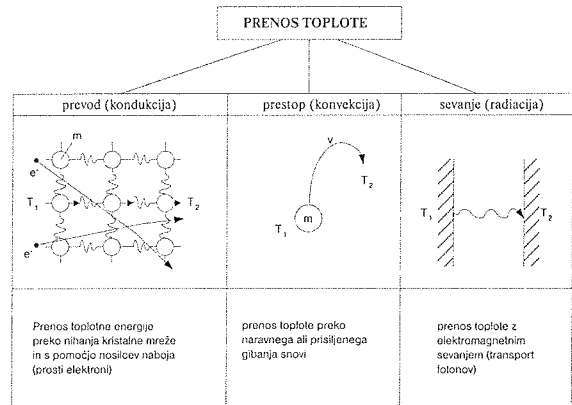
Proces prevajanja toka skozi tokovodeče dele MZS spremljajo joulske izgube, ki segrevajo vse dele stikala, saj prehaja toplota iz mesta nastanka na sosednje dele in okolico. Del nastale toplote se porablja za zvišanje temperature delov stikala, del pa odteka v okolico.

Segrevanje in ohlajanje MZS je splet fizikalnih procesov, ki jih je treba spoznati, da bi lahko razumeli pojav sam. Prenos toplote in mehanika tekočin pa sta tisti veji znanosti, ki nam dajeta na razpolago orodja, s katerimi lahko rešimo zastavljene probleme.

Prenos toplote proučuje transport toplote z enega mesta na drugo, tj. z mesta višje temperature na mesto nižje temperature. Za toplotni tok, ki je posledica krajevno in časovno spreminjajočega temperaturnega polja, veljajo zakoni termodinamike, predvsem drugi, ki govori o smeri, v kateri potekajo termodinamični procesi /5/.

Koliko toplotne energije se prenese iz enega mesta na drugo, lahko določimo le z merjenjem temperature. Torej je poznavanje temperaturnega polja ključnega pomena za izračun toplotnih tokov iz osnovnih zakonov transporta toplote, ki povezujejo temperaturni gradient in toplotni tok.

Pri transportu toplote ločimo tri fizikalno različne mehanizme, ki pa lahko nastopajo istočasno (slika 1).



Slika 1: Mehanizmi prenosa toplote

Pri MZS je temperatura prevodnih elementov majhna, zato so učinki sevanja zanemarljivi. Glavni način odvajanja sproščene toplotne energije je kombinacija prevoda v okoliški zrak in naravne konvekcije. Naravna konvekcija je v notranjosti stikala s površine prevodnih in izolacijskih delov mala, poleg tega pa se v simulaciji ne da zajeti, saj je temperatura v notranjosti stikala neznana.

2.1 Enačba temperaturnega polja

Zakon o ohranitvi energije v telesu prostornine V , ki je omejena s površino A pravi, da je prirastek notranje energije enak neto dotoku toplote skozi površino, in notranjemu izvoru toplote v telesu $\dot{q}$. Matematična oblika zakona se glasi /1/

$$\int_V c\rho \frac{\partial T}{\partial t} dV = -\int \bar{q} d\bar{A} \pm \int \dot{q} dV. \quad (1)$$

V gornji enačbi je c specifična toplota, ρ gostota snovi, $\bar{q}$ pa gostota toplotnega toka. Če ploskovni integral transformiramo z Gaussovim diferenčnim stavkom, dobi gornja enačba obliko

$$\int_V \left(c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div } \bar{q} \pm \dot{q} \right) dV = 0. \quad (2)$$

Ker je integral za poljuben V enak nič, mora biti tudi integrand nič

$$\pm \dot{q} = c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div } \bar{q}. \quad (3)$$

Gostota toplotnega toka $\bar{q}$ je vektor, ki je normalen na izotermno ploskev, določimo pa ga po (4)

$$\bar{q} = -\lambda \text{ grad } T, \quad (4)$$

kjer je λ toplotna prevodnost. Če v (3) vstavimo (4), dobimo splošno diferencialno enačbo, ki velja za vsa temperaturna polja

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div } (\lambda \text{ grad } T) \pm \dot{q}, \quad (5)$$

ki je v razviti obliki zapisana kot

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} \quad (6)$$

Ker imamo ponavadi opravka z notranjimi izvori toplote smo v (6) pred členom $\dot{q}$ pisali pozitivni predznak in ga bomo v nadaljevanju upoštevali.

Če je snov, skozi katero se prevaja toplota, izotropna ($\lambda_x = \lambda_y = \lambda_z$), preide (6) v (7)

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \dot{q}. \quad (7)$$

Če se temperatura s časom ne spreminja torej je $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$, dobimo Poissonovo diferencialno enačbo:

$$\nabla^2 T = -\frac{\dot{q}}{\lambda} \quad (8)$$

Diferencialne enačbe temperaturnih polj lahko rešimo, če poznamo začetne in robne pogoje. Začetni nam podajajo porazdelitev temperature v času $t=0$, robni pogoji pa določajo toplotne razmere na površini. Ti so lahko:

- Diricletovi – na površini je predpisana temperatura

$$T = T(x, y, z) \quad (9)$$

- Neumanovi – predpisan toplotni tok

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = q(x, y, z) \quad (10)$$

- Cauchyjev – predpisan konvektivni toplotni tok

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha (T_s - T_\infty) \quad (11)$$

kjer je α koeficient toplotne prestopnosti, T_s temperatura trde površine, T_∞ povprečna temperatura okoliškega fluida.

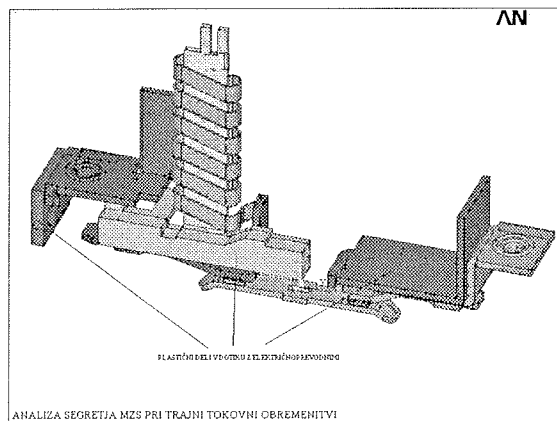
Tako imenovani poseben robni pogoj je, ko je površina toplotno izolirana.

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad (12)$$

3. Model MZS

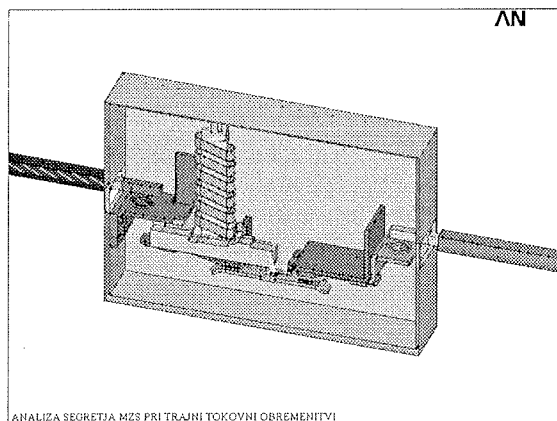
MZS predstavlja zelo kompleksno 3D geometrijo, ki bi jo pri analizi segrevanja težko ali nemogoče zajeli v celoti. Nekateri deli stikala (mehanizem, gasilne komore obloka) na temperaturno polje nimajo skoraj nikakršen vpliv, zato lahko njihovo prisotnost zanemarimo. Tudi obravnavi vseh treh polov se odrečemo, čeprav je že iz samega fizičnega modela razvidno, da je sredinski pol stikala temperaturno bolj obremenjen od zunanjih dveh.

Največji izvor toplote predstavlja grelno navitje z bimetalom, zato lahko vpliv navitja tuljave zanemarimo. S tem se nekoliko spremeni tokovna pot MZS. V stikalu pa je tudi veliko ti. prečnih plastičnih sten (slika 2), ki so v tesnem dotiku tako z električno prevodnimi deli kot tudi z ohišjem stikala. Nastala toplota na prevodnih delih se preko njih odvaja na ohišje in precej vpliva na temperaturno porazdelitev.



Slika 2: Deli tokokroga in prečne plastične stene v notranjosti ohišja MZS

Ohišje takega stikala je prav tako kompleksno, saj vsebuje polno utorov, kanalov, zaskoček, zato tudi tukaj ni šlo brez poenostavitve. Ohišje stikala za en pol smo tako nadomestili s škatlasto obliko, katere dimenzije so približno enake kot pri realnem modelu. Prav tako je pri preskusih segrevanja predpisan presek in dolžina priključnega vodnika. Vodnik mora biti okroglega preseka 6 mm^2 njegova dolžina pa 1 m. Zaradi lažjega modeliranja smo pri simulaciji uporabili vodnik pravokotne oblike, ki ima enak presek kot okrogel vodnik. Končno obliko modela MZS uporabljenega za porazdelitev temperature v stacionarnem stanju nam prikazuje slika 3.



Slika 3: Model MZS uporabljen v simulaciji

4 Robni pogoji

Določitev robnih pogojev predstavlja pri izračunih temperaturnih polj največji problem. Posebej težavno je določevanje

je koeficienta toplotne prestopnosti, ki je odvisen tako od geometrije, lastnosti površine kot tudi od lastnosti medija, ki obkroža geometrijo.

Da skozi stikalo teče tok 32 A, vsilimo na koncih vodnika določen električni potencial. Razlika potencialov med vsotno in izstopno ploskvijo električnega toka vodnika je odvisna od električne upornosti vseh tokovodečih delov stikala. Na teh dveh koncih vodnika smo vsilili tudi temperaturo – Diricletov robni pogoj, ki je enaka temperaturi okoliškega zraka 20 °C.

Med poli tripolnega stikala so vmesne stene, ki pole med seboj ločujejo in predstavljajo toplotno izolacijo, zato velja enačba (11). V nadaljevanju si podrobneje pogledimo načine za določitev koeficienta toplotne prestopnosti in sicer na ohišju stikala (α_{zs}) ter na površini priključnega vodnika (α_v).

4.1 Določanje α_{zs} na površini sten stikala

Kolik je koeficient toplotne prestopnosti α_{zs} s sten na okoliški fluid, je odvisno od več dejavnikov. Najpomembnejši sta oblika stene in vrsta gibanja fluida. Zaradi velikega razpona α je potrebno le tega čimbolj realno določiti.

V tehniki so na voljo trije načini, ki pa terjajo zelo različen trud:

- uporaba približnih izkustvenih vrednosti,
- določanje vrednosti s poskusom in
- izračun vrednosti z empiričnimi formulami.

Pri določanju toplotne prestopnosti na zunanjih stenah stikala smo se poslužili prve variante – izkustvene vrednosti. V literaturah in priročnikih se vrednosti koeficientov toplotne prestopnosti pri naravni konvekciji gibajo med 2 in 30 W/m² K. Zaradi velikega razpona smo izračun opravili za dve vrednosti in sicer za $\alpha_{zs}=15\text{W/m}^2\text{ K}$ in $\alpha_{zs}=20\text{W/m}^2\text{ K}$, ki smo jo kot robni pogoj postavili na vse stene razen na tisto, ki meji na sosednji pol stikala. Slednja je namreč toplotno izolirana, torej velja (12).

4.2 Določanje α_v na površini vodnika

Za določitev koeficienta toplotne prestopnosti na površini vodnika (α_v) smo se poslužili empiričnih obrazcev, ki temeljijo na teoriji podobnosti. Uveljavila se je cela vrsta ti. kriterialnih števil, od katerih omenimo le tista, ki so za nas pomembna /4,7/

Grasshofovo število

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot h^3}{\nu^2} \quad (13)$$

Prandtlovo število

$$P_r = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda} \quad (14)$$

Rayleighovo število

$$R_a = P_r \cdot G_r \quad (15)$$

Nusseltovo število

$$N_u = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} \quad (16)$$

V gornjih enačbah je g pospešek prostega pada, β temperaturni razteznostni koeficient fluida, ΔT razlika temperature med fluidom in trdo površino, h višina pri navpični steni ali valju, ν kinematična viskoznost fluida, c_p specifična toplota fluida pri konstantnem tlaku in L karakteristična dolžina.

Koeficient toplotne prestopnosti je najlažje določiti s pomočjo Nusseltovega števila. To število za horizontalni valj določimo po (17)

$$N_u = C \cdot R_a^n, \quad (17)$$

kjer sta konstanti C in n odvisni od vrednosti Rayleighovega števila, podani po Michejew-u v tabeli 1 /8/.

Tabela 1: Vrednosti konstant C in n v odvisnosti od R_a

R_a	C	n
$< 10^{-3}$	0,5	0
$10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	1,18	0,125
$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	0,25
$2 \cdot 10^7 \div 2 \cdot 10^{13}$	0,135	0,3

Vse snovne vrednosti fluida (zraka) se morajo vzeti pri aritmetični sredini temperatur vodnika in zraka, ki ga obkroža.

Temperatura okoliškega zraka (T_∞) je bila pri izračunu 20°C, povprečno temperaturo izolacije vodnika pa smo ocenili na 25°C. Vse snovne vrednosti za zrak bi torej morali jemati pri temperaturi 22,5°C. Ker v tabelah snovne vrednosti niso podane za to temperaturo smo le-te vzeli pri 20°C /9/.

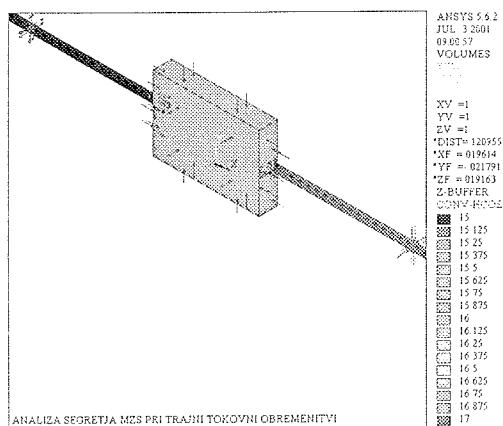
Tabela 2: Snovne vrednosti zraka pri normalnem zračnem tlaku

c_p (kJ/kg K)	η (kg/m s)	ν (m ² /s)	β (1/K)	λ (W/m K)
1,007	$18,24 \cdot 10^{-6}$	$153,5 \cdot 10^{-7}$	$3,421 \cdot 10^{-3}$	0,02569

Po Michejew-u je h v (13) za horizontalen valj pri naravni konvekciji enak

$$h = \pi \cdot r, \quad (18)$$

kjer je r polmer vodnika z izolacijo in znaša 2,18 mm. Z upoštevanjem enačb od 13 do 18 in tabel 1 in 2 dobimo vrednost koeficienta na površini vodnika 17 W/m² K.



Slika 4: Robni pogoji

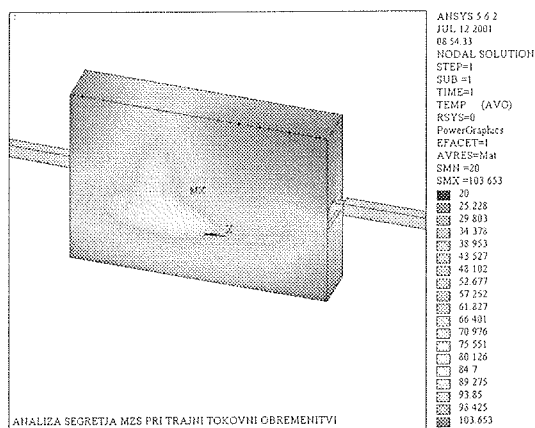
5. Rezultati

Izračuni, ki so bili narejeni s programskim paketom ANSYS, so prikazani za dve različni vrednosti koeficienta toplotne prestopnosti na površinah ohišja stikala (α_{zs}) in pri konstantni vrednosti koeficienta toplotne prestopnosti na površini vodnika (α_v). Temperatura okoliškega zraka je pri obeh izračunih bila 20°C.

Tabela 3: Koncept toplotnega izračuna MZS

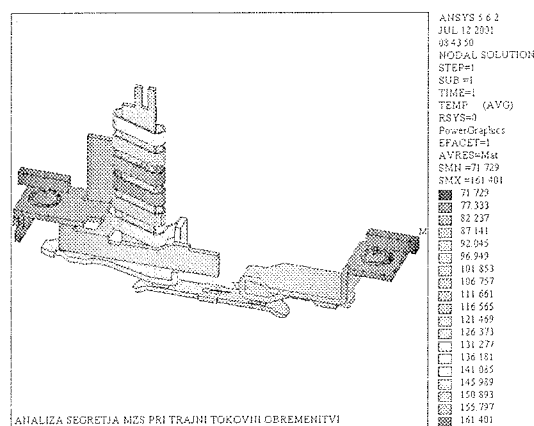
α_{zs} (W/m ² K)	α_v (W/m ² K)	T_∞ (°C)
15	17	20
20		

5.1 Analiza temperaturnega polja pri $\alpha_{zs}=15$ W/m²K



Slika 5: Temperaturno polje celega modela stikala

Sliki 5 in 6 nam podajata porazdelitev temperaturnega polja pri $\alpha_{zs}=15$ W/m²K na stenah stikala. Iz slike 5 je razvidno, da se temperatura na ohišju giblje med 30°C in 70°C, kar je še v mejah standarda IEC EN 60947, ki pravi, da se lahko zunanja stran plastičnega ohišja segreje za 50°C nad temperaturo okolice, ki je v našem primeru 20°C. Maksi-



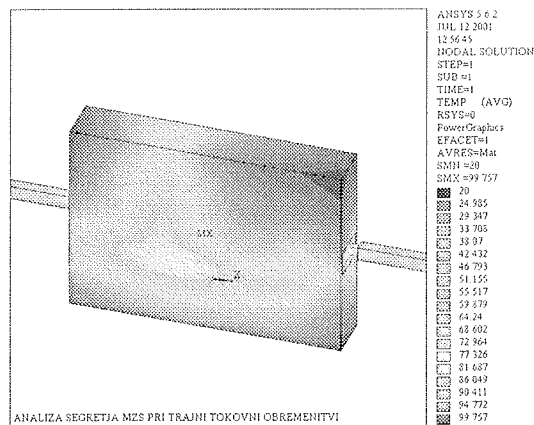
Slika 6: Temperaturno polje električno prevodnega dela

malna temperatura električno prevodnega dela je na srednjih ovojih grelnega navitja in znaša okoli 161°C (slika 6). Da je maksimalna temperatura prav na srednjih ovojih grelnega navitja, ima vzrok v odvajanju toplote z obeh koncev grelnega navitja na z njim spojenima dela stikala.

Iz slike 6 je tudi razvidno, da je kontaktni del na strani bimetal in grelnega navitja temperaturno bolj obremenjen. Prav tako je tudi temperatura priključka na strani bimetal in grelnega navitja za približno 1,5°C višja kot na delu, kjer teh dveh elementov ni in znaša 73°C.

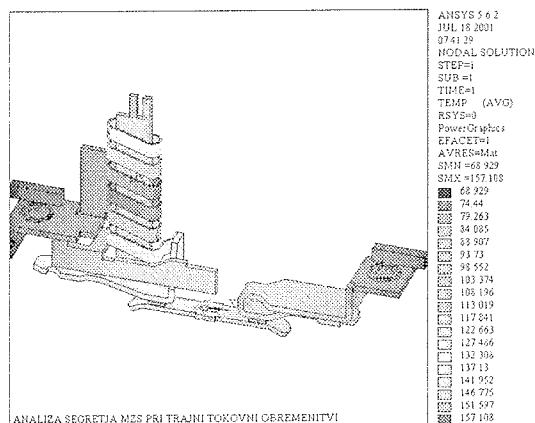
5.2 Analiza temperaturnega polja pri $\alpha_{zs}=20$ W/m²K

Oblika temperaturnega polja je podobna kot v primeru nižjega koeficienta toplotne prestopnosti na stenah stikala (sliki 5 in 6).



Slika 7: Temperaturno polje celega modela stikala

Višina temperature na posameznih delih stikala se je v povprečju znižala za 2 do 4°C. Tako je maksimalna temperatura na grelnem navitju sedaj okoli 157°C, temperatura priključka na strani bimetal in grelnega navitja pa 70°C.



Slika 8: Temperaturno polje električno prevodnega dela

6. Zaključek

Z uporabo programskega paketa ANSYS (ki temelji na metodi končnih elementov) smo preučevali porazdelitev temperaturnega polja motorskega zaščitnega stikala. Uporabljen 3D model pomeni določeno poenostavitev glede na dejanske razmere v stikalu, kljub temu pa je dovolj podroben in občutljiv, da zajema vpliv vseh tistih pojavov, ki v največji meri vplivajo na temperaturno polje v stikalu.

Iz rezultatov analize je razvidno, da temperatura na priključnih sponkah nikjer ne presega podanega RTI indeksa, ki je za uporabljen izolacijski material 105°C, pri čemer je zunanja temperatura 20°C. Ta temperatura se lahko pri testih segrevanja priključnih sponk po standardu UL 508 in IEC EN 60947 giblje med 10 in 40°C.

Segrevanje MZS je kompleksen proces, ki ga je mogoče raziskati z obsežnimi meritvami in numeričnimi študijami. V prihodnosti se bo potrebno osredotočiti tudi na konvektivni prenos toplote v notranjosti stikala in na določevanje kontaktne upornosti, ki ima lahko velik vpliv na segrevanje. Prav tako se s temperaturo spreminja specifična ohmska upornost električno prevodnih materialov, kar še dodatno povečuje izgube in s tem segrevanje stikala.

7. Literatura

- /1/ A. Alujevič, P. Škerget, *Prenos toplote*, Fakulteta za strojništvo Maribor, 1990
- /2/ C. Groth, G. Müller, *FEM für Praktiker – Die Methode der Finiten Elemente mit dem FE-Programm ANSYS*, 4. Auflage, Grafing, 1997.

- /3/ C. Groth, G. Müller, *FEM für Praktiker – Temperaturfelder*, 2. Auflage, Technische Akademie Esslingen Weiterbildungszentrum DI Elmar Wippler, 1998.
- /4/ D. Pitts, L. Sissom, *Theory and problems of heat transfer*, Second Edition, New York, McGraw-Hill, 1997.
- /5/ E. Hering, R. Martin, M. Stohrer, *Wärmeübertragung, Physik für Ingenieure*, 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 1997, str. 203-219.
- /6/ E. Prelog, *Reševanje enačbe za prenos toplote z metodo končnih elementov*, Strojniški vestnik, Ljubljana, 1973.
- /7/ F. P. Incropera, D. P. DeWitt, *Introduction to heat transfer*, third edition, John Wiley & Sons, New York, 1996
- /8/ G. Erbe, H. J. Hoffmann, *Wärmeübertragung, Einführung in die Wärmelehre*, 7. Auflage Carl Hanser Verlag, München, 1986, str. 292-309.
- /9/ *Berechnungsblätter für den Wärmeübertragung*, Verein Deutscher Ingenieure, Auflage 5, VDI Verlag Dusseldorf, 1988.
- /10/ J. Pajer, *Nizkonapetostna stikala v praksi*, Kranj, 1997

Gorazd Hrovat, univ. dipl. inž. el.,
e-mail: gorazd.hrovat1@uni-mb.si
izr. prof. dr. Anton Hamler,
e-mail: anton.hamler@uni-mb.si
izr. prof. dr. Mladen Trlep,
e-mail: mladen.trlep@uni-mb.si

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko,
računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor
tel. (02) 220 70 00

doc. dr. Martin Bizjak
e-mail: martin.bizjak@iskra-stikala.si

Iskra Stikala d.d.
Savska loka 4, 4000 Kranj
tel. (04) 237 22 26

Prispelo (Arrived): 21.05.2002 Sprejeto (Accepted): 25.03.2003