

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА

Комисија за студије другог степена академских студија Електротехничког факултета у Београду на седници одржаној 15. априла 2014. године именовала нас је за чланове Комисије за преглед и оцену мастер рада кандидата Жарка Луковића, под насловом „*Одређивање расподеле протока уља и пада притиска у енергетском трансформатору коришћењем методе коначних елемената*“. Пошто смо прегледали овај мастер рад, подносимо Наставно - научном већу следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Биографски подаци кандидата

Жарко Луковић је рођен 31.03.1988. године у Александровцу. Средњу „Машинско-електротехничку“ школу завршио је у Крушевцу. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2007. године, а завршио у септембру 2012. године на одсеку за Енергетику - смер Енергетски претварачи и погони, са просечном оценом 7,86. Мастер академске студије уписао је школске 2012/2013. године на одсеку „Енергетски претварачи“.

#### 2. Анализа рада са кључним резултатима

Мастер рад кандидата Жарка Луковића садржи укупно 109 страница: 18 поглавља, списак литературе и 3 додатка са сликама и графицима.

Рад се бави одређивањем расподеле протока и притисака уља у намотајима са цик-цак струјањем уља и лавиринт намотајима енергетских уљних трансформатора. Расподеле су одређиване коришћењем методе коначних елемената и програмског пакета Comsol. У раду је извршен низ симулација за различите геометрије намотаја, укупне протоке уља кроз намотај и температуре уља. Симулације су вршене без узимања у обзир загревање намотаја трансформатора, јер је циљ рада да се сагледају хидраулички отпори, односно локални падови притисака на елементима на којима долази до промена струјница уља (угаони елемент или елементи где долази до рачвања / спајања уља).

Брзине и падови притиска уља су важни при термичком пројектовању трансформатора помоћу програма базираних на детаљном термо-хидрауличном моделу (ТХМ) трансформатора, који представља савремену платформу за термичке прорачуне. Примена детаљног ТХМ је у прошлости била ограничена рачунарским ресурсима потребним за решавање релативно великог броја нелинеарних једначина које описују физику струјања уља кроз канале за хлађење и расподелу протока уља између делова трансформатора.

Отворено питање код примене детаљних ТХМ су изрази за локалне падове притисака на елементима на којима долази до промена струјница уља, јер се у детаљним ТХМ праве модели са концентрисаним параметрима (пад притиска на сваком од канала за хлађење или падови притиска на елементима на којима долази до промена струјница уља се представљају једним елементом (отпором) у хидрауличкој шеми). У литератури постоје изрази за ове падове притиска (базирани на мерењима), али за геометрије које се срећу код различитих цеви чије су димензије много веће од димензија канала кроз које струји уље. Резултати овог рада чине основу за добијању и проверу израза за падове притиска у намотајима трансформатора. Добијени резултати су упоређени са резултатима мерења, који су били расположиви за намотаје за цик-цак струјањем уља при собној температури, за различите вредности протока уља.

Након провере симулација са експерименталним вредностима, извршен је низ симулација за различите протоке и различите температуре уља; температура има велики утицај на расподелу протока и брзина јер са променом температуре уља долази до великих промена вискозности уља.

Коначно, у раду је извршена и симулација лавиринт намотаја за различите температуре и протоке уља. У додацима на крају мастер рада приказане су све слике и графици са расподелом притиска и брзине струјања уља дуж моделованих намотаја за све геометрије и све вредности улазних параметара.

### 3. Закључак и предлог

Тему и Комисију за преглед и оцену мастер рада је прихватила Комисија за студије II степена 15.04.2014. године, чиме су испуњени сви формални услови за преглед и оцену предатог мастер рада.

У раду је приказано да се методом коначних елемената детаљно улази у микро појаве у материји. Појављује се амбиција да овакве методе могу бити толико прецизне да се на њима врше прорачуни са различитим параметрима модела, уместо да се праве експерименти на физичким моделима. Применом симулација хидрауличног модела добијамо вредности протока уља и последично брзине струјања уља сваком каналу трансформатора. Брзине уља су основни податак за одређивање локалних коефицијента преласка топлоте, а то значи да када су познати губици снаге у сваком проводнику и када је позната вредност брзине уља у сваком каналу, пораст температуре намотај-уље се може добити за сваки проводник. Даљим поступком можемо добити целокупну термослику намотаја трансформатора. Када је позната температура свих проводника, може се добити просечна температура намотаја, а на крају вредност и позиција најтоплије тачке трансформатора. Ова методологија представља концепт који се остварује у детаљном термо-хидрауличком моделу.

Овај мастер рад приказује резултате извршених симулација хидрауличких појава које се користе за дефинисање локалних падова притисака, као елемената хидрауличких шема са концентрисаним параметрима. Поред дефинисања израза за локалне падове притиска, резултати симулација извршених у овом раду се могу користити и за процену тачности хидрауличких шема, које садржи упрошћења која засигурно доводе до одступања израчунатих од стварних брзина уља, што омогућава да се овај случај посебно истражи и квантификује.

Комисија сматра да поднети рад кандидата Жарка Луковића под називом „Одређивање расподеле протока уља и пада притиска у енергетском трансформатору коришћењем методе коначних елемената“ обрађује врло актуелну проблематику из области термичког пројектовања енергетских трансформатора, који представљају скупе и за електроенергетски систем стратешки важне уређаје. Кандидат је кроз свој рад показао следећа знања и способности, и дошао до следећих резултата:

- Разумевање тематике загревања трансформатора, односно теорије преноса топлоте трансформатора;
- Аналитичност и могућност разумевања детаљног термо-хидрауличног модела;
- Коришћење сложеног софтвера ради моделовања различитих геометрија намотаја трансформатора као и извођење и разумевање добијених симулација
- Читав низ употребљивих резултата расподеле протока и притисака за различите геометрије, протоке уља у температуре уља, за намотаје са цик-цак струјањем уља и лавиринт намотаје енергетских уљних трансформатора

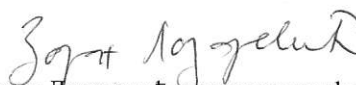
На основу изложеног, Комисија сматра да рад кандидата Жарка Луковића испуњава све услове да буде прихваћен за мастер рад. Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да рад прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 20. јун 2014.

Комисија



др Зоран Радаковић, редовни професор



др Зоран Лазаревић, редовни професор