



Република Србија – АП Војводина  
Универзитет у Новом Саду  
Технички факултет «Михајло Пупин»  
Зрењанин, Ђуре Ђаковића бб  
[www.tfzr.uns.ac.rs](http://www.tfzr.uns.ac.rs)  
Тел.023/550-515 факс: 023/550-520  
ПИБ: 101161200



Дел.број:  
Дана:

**ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА**  
**са 173. седнице Наставно-научног већа Техничког факултета «Михајло Пупин»**  
**Зрењанин одржане 23.09.2020. године**

**Непотребно изостављено!**

**2. Разматрање записника катедре за информационе технологије**

2.1.

На основу **достављене рецензије** проф. др Ивана Бекера (Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука) и доц. др Небојше Бркљача (Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука), **достављене оцене техничког решења од стране корисника** решења – Техничког факултета „Михајло Пупин“ Зрењанин – за потребе научних истраживања, као и резултата тестирања у компанији „Јомапекс“, а према Правилнику о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије 2016. године ("Сл. гласник РС", бр. 24/2016 и бр. 21/2017), и предлога катедре, гласањем, једногласно је донета

**ОДЛУКА**

Усваја се предлог катедре да се техничко решење под називом:

**"Предикциони модел за повећање сигурности у термоелектранама"**, аутора Владимир Бртка, Весна Макитан, Љиљана Петровић, Елеонора Бртка, Зоран Живковић, прихвати као техничко решење у категорији М85 - ново техничко решење у фази реализације које је развијено у оквиру пројекта „Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса“ ТР-32044.

За тачност  
Стојак Ленуца

Доставити:  
1. Катедри  
2. Архиви



Председница Наставно научног већа  
Проф. др Драгица Радосав





Република Србија – АП Војводина  
Универзитет у Новом Саду  
Технички факултет «Михајло Пупин»  
Зрењанин, Буре Ђаковића бб  
[www.tfzr.uns.ac.rs](http://www.tfzr.uns.ac.rs)  
Тел.023/550-515 факс: 023/550-520  
ПИБ: 101161200



Дел.број: 03-6183/15  
Дана: 21.11.2019.

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА  
са 142. седнице Наставно-научног већа Техничког факултета «Михајло Пупин»  
Зрењанин одржане 20.11.2019.године

15. Разматрање записника катедре за информационе технологије

15.3.

Након кратке информације проф. др Драгице Радосав, а на предлог Катедре, гласањем, једногласно од укупног броја присутних, донета је

ОДЛУКА

Прихвата се предлог да се за техничко решење „Предикциони модел за повећање сигурности у термоелектранама“ аутора:

- Владимир Бртка, Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин
- Весна Макитан, Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин
- Љиљана Петровић, Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин
- Елеонора Бртка, Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин
- Зоран Живковић, Термоелектрана „Никола Тесла“ А (ТЕНТ-А), Обреновац

именују следећи рецензенти:

1. Проф. др Иван Бекер, Факултет техничких наука, Нови Сад
2. Доц. др Небојша Бркљач, Факултет техничких наука, Нови Сад

За тачност  
Стојак Ленуца

Председница Наставно научног већа Факултета  
Проф. др Драгица Радосав

Доставити:

1. Катедри
2. Рецензентима
3. Архиви





Мишљење о техничком решењу:

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ „МИХАИЛО ПУЊИЋ“ ЗРЕЊАНИН  
Број 01-3240/1  
18.09.2020 год.  
23000 ЗРЕЊАНИН

## Предикциони модел за повећање сигурности у термоелектранама

Са циљем да се побољша контрола, управљање и брзина реаговања који се примењују у термоелектранама, предложено је техничко решење којим је описан предикциони модел заснован на теорији грубих скупова (ТГС) за предвиђање отказа пумпе на парном блоку. Предложени модел омогућава издвајање најзначајнијих параметара који могу утицати на отказ пумпе и чијим се праћењем може предвидети отказ водене пумпе, са циљем да се спрече откази и хаварије.

Емпиријски подаци коришћени за креирање и тестирање решења су параметари рада напојне пумпе и мерења обезбеђени SCADA системом. Применом теорија грубих скупова је омогућено: добијање дескриптивних резултата које могу анализирати експерти; аутоматизација поступака анализе података тако да се модел може једноставно применити на сличним или аналогним примерима; осетљивост на промене режима рада система у различитим циклусима примене модела и селектовање различитих параметара који указују на отказ напојне пумпе.

Техничким решењем је утврђено да у стварним условима рада напојне пумпе посебно треба обратити пажњу на температуру лежаја мотора и вибрације на унутрашњем лежају. У технолошком смислу, у случају смањења температуре лежаја мотора, смањује се трење, више се греје уље, док се у случају смањења вибрација на унутрашњем лежају смањује број обртаја мотора, што све указује на приближавање престанка рада пумпе.

Техничким решењем је остварен постављени циљ да се одреди време до отказа рада напојне пумпе пре него што се достигну критичне вредности мерених параметара, у ком случају SCADA систем покреће планирану процедуру у случају отказа. На овај начин је омогућено превентивно деловање и у најбољем случају отказ се може у потпуности избећи. У случају да се отказ не може избећи, ствара се временска резерва за мобилизацију ресурса потребних за санирање последица услед отказа напојне пумпе.

У складу са Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС“, бр. 24/2016 и 21/2017) ово техничко решење спада у категорију М85 ново техничко решење у фази реализације.

16.9.2020. године

Проф. др Иван Бекер

Универзитет у Новом Саду  
Факултет техничких наука

Доц. др Небојша Бркљач

Универзитет у Новом Саду  
Факултет техничких наука





УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
Технички факултет „Михајло Пупин“  
Зрењанин

## Оцена техничког решења Предикциони модел за повећање сигурности у термоелектранама

Техничко решење је реализовано у оквиру пројекта „Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса“ ТР32044.

Рад на припреми техничког решења почео је 2018. године и у прво време се односио на прикупљање емпиријског материјала, односно података који настају мерењем параметара рада термоелектране. Анализом података, као и применом теорије грубих скупова (ТГС) дошло се до резултата који су објављени у научном часопису (М21). Даљим радом је уобичено техничко решење које омогућава предикцију времена отказа, односно повећање сигурности рада у термоелектранама. Значај модела је потврђен тестирањем у другачијем систему (у питању је живинарска фарма). У овом случају је примена модела допринела сигурности рада система захваљујући предикцији времена престанка рада фарме.

Истраживање на припреми техничког решења има вишеструки значај. Поред резултата објављених у часопису и сарадње са компанијама које су омогућиле креирање модела и његово тестирање, отворене су могућности за будућа истраживања. На тај начин се доприноси укупној вредности резултата пројекта, као и Техничког факултета „Михајло Пупин“ на пољу науке.

У Зрењанину,

15.9.2020. године

Руководилац пројекта ТР32044

Проф. др Ивана Берковић



## Техничко решење М85

## Предикциони модел за повећање сигурности у термоелектранама

<b>Аутори решења</b>	<b>Владимир Бртка</b> Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин <b>Весна Макитан</b> Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин <b>Љиљана Петровић</b> Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин <b>Елеонора Бртка</b> Технички факултет „Михајло Пупин“ – Зрењанин <b>Зоран Живковић</b> Термоелектрана „Никола Тесла“ А (ТЕНТ-А), Обреновац
<b>Назив техничког решења</b>	<b>Предикциони модел за повећање сигурности у термоелектранама</b>
<b>Област на коју се решење односи</b>	Информационе технологије
<b>Врста техничког решења</b>	М85 – ново техничко решење у фази реализације
<b>Пројекат на којем је развијено техничко решење</b>	„Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса“ ТР-32044
<b>Наручилац решења</b>	Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
<b>Корисник решења</b>	Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин – за потребе научних истраживања
<b>Година завршетка решења</b>	2020.
<b>Решење прихваћено од</b>	Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
<b>Решење примењује</b>	Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин – за потребе научних истраживања
<b>Година примене решења</b>	2020.
<b>Начин верификације решења</b>	Прикупљање емпиријског материјала – параметри рада напојне пумпе у ТЕНТ-А термоелектрани, анализа емпиријског материјала и креирање модела за предикцију отказа.
<b>Кључне речи</b>	Сигурност термоелектрана, откази напојне пумпе, модели базирани на теорији грубих скупова
<b>Начин коришћења решења</b>	Решење се може користити приликом праћења параметара рада напојне пумпе парног блока. Захваљујући примени модела могу се издвојити параметри који највише утичу на отказ, са циљем да се спрече будући откази и повећа сигурност рада термоелектране.



## 1. Увод

Савремене термоелектране са својим парним блоковима су веома сложене у техничком и технолошком смислу, а са друге стране су изузетно скупе. Поуздан, сигуран и дуготрајан рад ових постројења је од стратешког значаја за економију сваке земље. У нестационарним режимима рада ова постројења су највише изложена ризицима уласка у недозвољене режиме рада и могу проузроковати велику материјалну штету која се не одражава само на трошкове поправки, већ и на губитке у производњи. Јасно је да се појава нестационарних режима (кретање, обуставе, растерећења, испади, итд.) не може у потпуности елиминисати, али се њихов број може смањити побољшањем контроле, управљања и брзине реаговања. [1, 2]

У прилог побољшању контроле, управљања и брзине реаговања који се примењују у термоелектранама, овим техничким решењем је описан предикциони модел заснован на теорији грубих скупова (ТГС) за предвиђање отказа пумпе на парном блоку. Параметри који могу утицати на отказ пумпе су бројни и детаљно су описани у [1], док предложени модел омогућава издвајање оних који су најзначајнији и чијим праћењем се може предвидети отказ водене пумпе. Такође, приказан је начин издвајања најзначајнијих параметара са циљем да се спрече откази и хаварије.

Сврха примене оваквог модела јесте повећање поузданости рада система, смањивањем броја отказа и, према томе, повећање сигурности рада термоелектрана. Наведено је у сагласности са применом европске Директиве 2005/89/EU [3], као и Националне стратегије одрживог развоја (НСОР) [4], према којој је потребно обезбедити: поуздане, сигурне, ефикасне и квалитетне изворе енергије.

### 1.1. Потреба за увођењем техничког решења

Неопходно је успоставити услове за поуздан и сигуран рад и одрживи развој енергетског система. Реализација одрживог енергетског развоја у Србији до 2030. године захтева даљи развој енергетског сектора Србије: изградњу енергетских објеката, обнову и модернизацију постојећих; усклађивање и развој националних прописа ради пружања подршке сигурном техничком управљању енергетском инфраструктуром (НСОР, 2015) [5]. Наведено је у сагласности са циљевима развоја модела описаног овим техничким решењем.

Узроци престанка рада и сигурносни проблеми у електранама често су резултат појаве вишеструких отказа који нису увек део директног оперативног тока. Укупна поузданост, сигурност и економичност термоелектрана, као и оптимално искоришћење ресурса се могу побољшати постављањем фокуса на критичне компоненте. Обично је довољно концентрисати се на 10–20% критичних компоненти, како би се елиминисао највећи део ризика, чиме се постижу два, наизглед неспојива, циља: уштеда и већа поузданост, сигурност и расположивост [3, 6].

### 1.2. Стање решености проблема у свету

Теорија грубих скупова (ТГС), коју је увео З. Павлак [6-9], је математички алат који третира неизвесности својствене за податке и процес доношења одлука. Теорија грубих скупова се изучава више од 30 година и користи се у областима индуктивног закључивања, машинског



учења, анализе података, подршке одлучивању, предиктивног моделовања, контроле процеса, аутоматске класификације итд.

Рана примена теорије грубих скупова у области дијагностике отказа је описана у [10]. Ту су аутори користили ТГС за дијагностику отказа вентила вишецилиндричног дизел мотора. Такође, помиње се проблем дискретизације података који је предпроцес примене ТГС-а и предлаже се нова метода дискретизације, тако да се квалитет апроксимације сматра стандардом за оцену коначног резултата дискретизације. Према истраживању аутора, ТГС коришћена за дијагностику отказа вентила 4135 дизел мотора се показала ефикасном.

Према [11] ТГС се показала изузетно практичном у праћењу услова и утврђивању отказа. У овом раду ТГС се користи за утврђивање отказа пумпе са пет клипова. Предложени приступ има за циљ да идентификује основне догађаје који се јављају у радном режиму пумпе. Како овај приступ укључује субјективне процене експерата, непрецизне, неконзистентне, непотпуне или нејасне податке, ТГС се сматра одговарајућим алатом. Полазећи од претпоставке да се задрже главне информације о условима рада пумпе, ТГС може помоћи у смањењу отказа. У овом истраживању изабрано је осам карактеристика из фреквенцијског спектра добијених на основу вибрационих сигнала тестираних у хоризонталном смеру хидрауличког краја пумпе, док је ТГС коришћена за препознавање и утврђивање отказа пумпе. Различита радна стања пумпе представљена су са шест правила одлучивања. Резултати су показали да је овај приступ добар за откривање и дијагнозу оштећења пумпе.

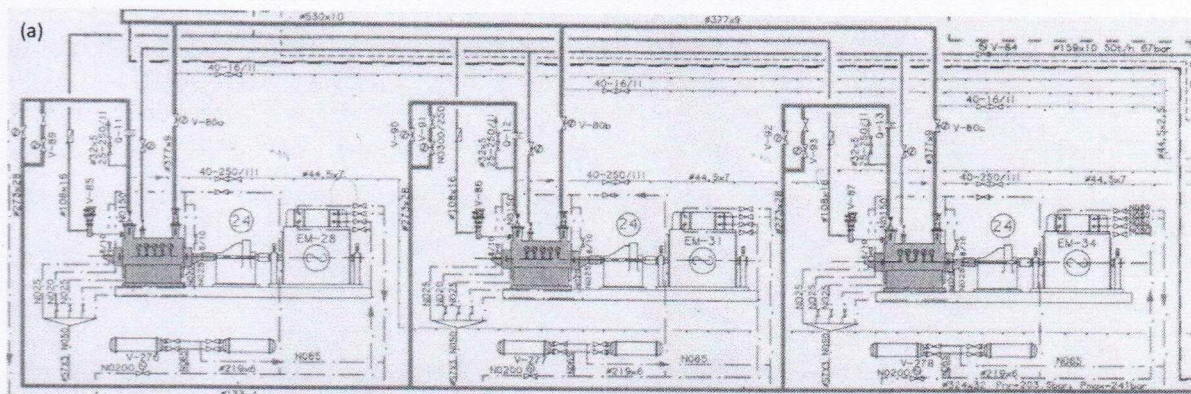
У раду [12] је коришћена ТГС за издвајање правила дијагностификовања из базе података SCADA система у случају котлова у термоелектрани. Уобичајено је да се циклус дијагностификовања понови неколико пута како би се утврдила грешка комплексне опреме. Редукциони алгоритам заснован на ТГС је коришћен за налажење минималног скупа променљивих међу свим дискретним променљивама, како би се издвојила правила дијагнозе. Овај хибридни интелигентни систем за анализу података користи само податке добијене у SCADA системима и једноставан је за инжењере који га разумеју и користе у индустријским апликацијама.



## 2. Детаљан опис техничког решења

### 2.1 Опис материјала коришћених за дефинисање модела

Емпиријски подаци коришћени у овом раду прикупљени су из термоелектране ТЕНТ-А, која у електропривреди Србије учествује са око 25% производње електричне енергије. Технолошки процес рада термоелектране је заснован на примени кружног, деснокретног, термодинамичког Ранкин-Клаузијусовог циклуса са водом, односно воденом паром као радним флуидом. За потребе дефинисања модела посматрани су параметри рада напојне пумпе као веома важног елемента у раду парног блока (на слици 1 су приказане напојне пумпе).



Слика 1. Напојне пумпе

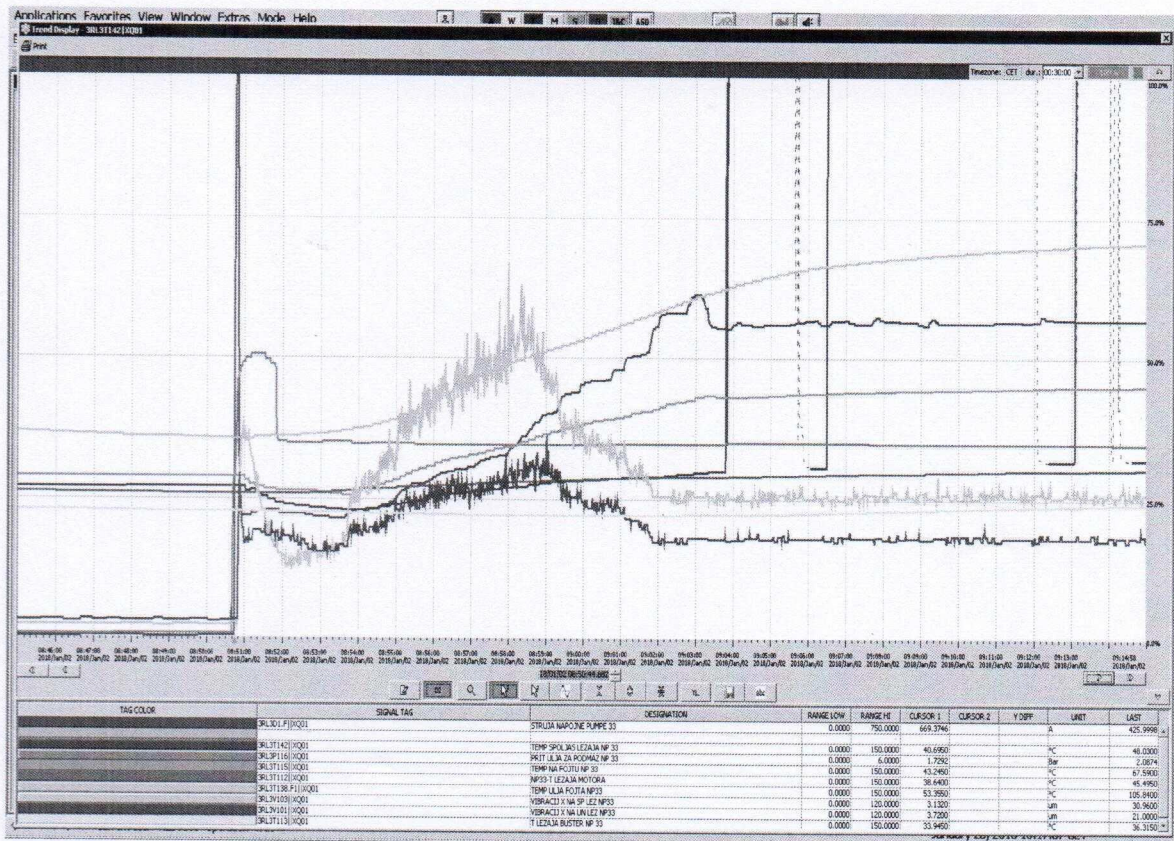
У случају посматране термоелектране у раду једног блока увек раде две пумпе док је трећа напојна пумпа у резерви, како би се омогућило да котла увек има довољну количину воде. Заштите на пумпи су тренунте, тј. 1-3 секунде, уколико неки од мерених параметара достигне максималну вредност. У том случају, захваљујући примени софтвера новије генерације, пумпа се аутоматски искључује из рада. Трећа пумпа се аутоматски стартује како не би дошло до смањења снаге парног блока и чак, до искључења котла, с обзиром на то да престанак рада све три пумпе представља заштиту котла и долази до гашења ватре у котлу и до аутоматског искључења блока.

Емпиријски подаци су мерене вредности параметара који утичу на рад напојне пумпе, и то:

- (1) Струја напојне пумпе ( $S$ )
- (2) Температура спољашњег лежаја ( $T_{Lezaja}$ )
- (3) Притисак уља за подмазивање ( $P_{Ulja}$ )
- (4) Температура на фојту ( $T_{Fojta}$ )
- (5) Температура лежаја мотора ( $T_{LezajaMatora}$ )
- (6) Температура уља фојта ( $T_{UljaFojta}$ )
- (7) Вибрације на спољашњем лежају ( $V_{Spolja}$ )
- (8) Вибрације на унутрашњем лежају ( $V_{Unutra}$ )
- (9) Температура лежаја бустер ( $T_{LezajaBustera}$ )



Праћење параметара рада напојне пумпе и мерења су обезбеђена SCADA системом. Систем омогућава чување параметара у облику нумеричких вредности и линијских дијаграма. Анализом ових података утврђено је да време између отказа и момента мерења не сме бити предуго и, у овом случају је постављено да износи 256 минута пре отказа, док су одабране вредности параметара на сваких 10 минута. Овај временски интервал је довољан за утврђивање значајних промена на компонентама система. Такође, не постоји значајна корелација између било ког параметра и времена до отказа.



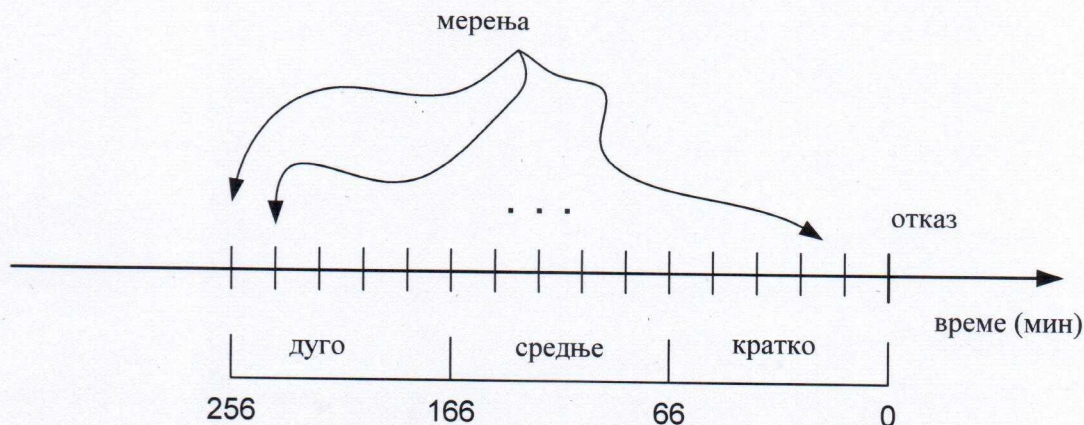
Слика 2. Линијски дијаграм за 2.1.2018.





Слика 3. Линијски дијаграм за 5.1.2018.

Мерене вредности су преузете за два случаја искључења пумпе из рада: због повећања температуре спољашњег лежаја (2.1.2018.), и у случају планског заустављања напојне пумпе због пропуштања воде на прирубничком споју вентила за убризгавање (5.1.2018.). Оба случаја са дијаграмима мерених величина приказана су на сликама 2. и 3. Одабране су вредности мерених параметара у 27 корака у размаку од 10 минута до момента престанка рада пумпе (отказа) у оба случаја, што је укупно 55 инстанци (слика 4.).



Слика 4. Распоред вредности мерених параметара



## 2.1 Опис метода коришћених за дефинисање модела

Техничко решење је настало са циљем да се одреди време до отказа рада напојне пумпе пре него што се достигну критичне вредности мерених параметара, у ком случају SCADA систем покреће планирану процедуру у случају отказа. На овај начин је омогућено превентивно деловање и у најбољем случају отказ се може у потпуности избећи. У случају да се отказ не може избећи, ствара се временска резерва за мобилизацију ресурса потребних за санирање последица услед отказа напојне пумпе.

Веома је важно испитати квалитативне вредности параметара пре отказа, с обзиром на то да SCADA систем свакако прати критичне параметре, има прописане процедуре и делује у складу са вредностима параметара. Теорија грубих скупова (ТГС) омогућава синтезу дескриптивних правила која су смислена и једноставна за анализу. Посебно је занимљива разлика у правилима која описују параметре у случајевима дугог и кратког времена пре отказа (слика 2.). Поред тога, ТГС омогућава издвајање параметара и вредности који јасно указују на отказ рада напојне пумпе у блиској будућности.

С обзиром на то да је за примену теорије грубих скупова потребно табеларно организовати податке, креирана је табела података. Она се састоји од 55 редова које представљају број мерења и девет колона које престављају вредности мерених параметара. Параметри или атрибути, како се називају у ТГС терминологији су класификовани у два скупа: скуп атрибута услова  $C$  и скуп атрибута одлуке  $D$ . Скуп атрибута одлуке обично има само један елемент. Теорија грубих скупова омогућава стицање увида у вредност атрибута одлуке на основу вредности атрибута услова, другим речима, могуће је формирати релацију између атрибута услова и атрибута одлуке у облику правила:  $C \Rightarrow D$ . У овом случају се скуп атрибута услова састоји од горе наведених девет параметара, док је атрибут одлуке време до отказа.

Релација (1) неразберивости (енг. indiscernibility – неразберивост, неразлучивост, неопазљивост) је математичка основа ТГС. Сваки објекат или догађај карактерише више атрибута; вредности атрибута су дискретне. Догађаји карактерисани истим вредностима одређених атрибута су неразбериви с обзиром на доступне информације о њима.

Нека је  $U$  универзум (коначни скуп објеката),  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\}$  коначни скуп атрибута,  $V_q$

домен атрибута  $q$  и  $\bigcup_{q \in Q} V_q$ . Информациони систем је четворка  $S = \langle U, Q, V, f \rangle$  где је  $f = U \times Q \rightarrow V$  функција таква да је  $f(x, q) \in V_q$  за свако  $q \in Q, x \in U$ . Функцију  $f$  називамо информациона функција [21]. Сваком непразном подскупу атрибута  $P$  придружена је релација неразберивости на  $U$  и ту релацију означавамо са  $I_P$ :

$$I_P = \{(x, y) \in U \times U : q(x) = q(y), \forall q \in P\} \quad (1)$$

Овде се  $q(x)$  односи на вредност мерења  $x$  атрибута/параметра  $q$ ;  $q(y)$  има аналогно значење.

Релација (1) омогућава разумевање разлика, односно сличности између два мерења. На овај начин релација (1) формира партицију свих мерења, јер су мерења истих вредности груписана у исту партицију и не могу се међусобно разликовати. Како ТГС не оперише са непрекидним вредностима, у фази пред-процеса непрекидне вредности морају бити дискретизоване. Дискретизација је процес стављања вредности у интервале тако да постоји ограничен број могућих стања која се третирају као уређене и дискретне вредности. За потребе креирања овог



техничког решења коришћен је једноставан алгоритам зван *Equal Frequency Binning (EFB)*. Број интервала  $n$  (дискретне вредности) је фиксан и алгоритам испитује хистограм сваког атрибута. Одређено је  $n-1$  интервала тако да приближно исти број мерења припада сваком од  $n$  интервала. У случају овог техничког решења постављено је да је  $n=3$ .

Друга важна карактеристика овог техничког решења јесте редукција атрибута услова, тако да су само они атрибути који подржавају релацију неразберивости (1) задржани. Одбачени

атрибути су редувантни (сувишни). Нека је  $P$  непразни подскуп атрибута услова  $\emptyset \neq P \subseteq Q$  и  $a$  је

атрибут из  $P$ . Атрибут  $a$  је сувишан у  $P$  ако је  $I_P = I_{(P-\{a\})}$ . Ово значи да ако са атрибут  $a$  уклони, а релација неразберивости остане непромењена, онда је атрибут  $a$  сувишан, у супротном за атрибут  $a$  се каже да је неопходан. Обично постоји неколико подскупова неопходних атрибута који се зову редуктима, али налажење редукта са минималном кардиналношћу атрибута међу свим редуктима је екстремно тешко. У случају креирања овог техничког решења коришћени су генетски алгоритми да би се проценили вишеструки скупови редукта [13]. Заједнички атрибути свих редукта су атрибути језгра и они формирају скуп језгра.

Креирање модела техничког решења је реализовано на следећи начин. Мерење вредности девет параметара пре момента отказа су подељена у три скупа: дуго време до отказа, средње време до отказа и кратко време до отказа и одређена је унија ова три скупа. Непрекидне вредности параметара су дискретизоване применом EFB алгоритма, затим је примењен генетски алгоритам за израчунавање скупа редукта. Како је креиран вишеструки скуп редукта, могуће је одредити атрибуте језгра, као и формирати правила. У овом истраживању је коришћен софтвер *Rosetta - A Rough Set Toolkit for Analysis of Data* за потребе дискретизације, израчунавања скупа редукта и генерисања правила. Софтвер *Rosetta* је развијен у сарадњи норвешке *Knowledge Systems Group*, департмана за компјутере и информационе науке универзитета *NTNU* и *Logic Group*, пољског математичког института универзитета у Варшави.

Након израчунавања редукта састављена су правила преклапањем сваког редукта преко табеле података и једноставним читањем вредности, тако да се антецедент („АКО“ део) правила формира од атрибута из скупа редукта повезаних „И“ логичким оператором. Свако правило је карактерисано подршком правила; ово је број мерења чије вредности атрибута одговарају вредностима атрибута укључених у правило.

### 3. Примена и тестирање техничког решења

Употребом генетског алгоритма за израчунавање скупа редукта могуће је генерисати више од једног редукта. Алгоритам је имплементиран као што је описано у [13] и примењен помоћу *Rosetta* система. У овом случају је генерисано осам редукта:

{TLezaja, TFojta, TLezajaMotora, TULjaFojta, VSpolja, VUnutra},  
{S, TLezaja, TLezajaMotora, TULjaFojta, VSpolja, VUnutra },  
{S, TLezaja, TFojta, TLezajaMotora, VUnutra, TLezajaBustera},  
{S, TLezaja, TLezajaMotora, TULjaFojta, VUnutra, TLezajaBustera},  
{S, TLezaja, TLezajaMotora, VSpolja, VUnutra, TLezajaBustera},  
{S, TFojta, TLezajaMotora, TULjaFojta, VSpolja, VUnutra },



{S, TFojta, TLezajaMatora, VSpolja, VUnutra, TLezajaBustera},  
 {TLezaja, PUlja, TLezajaMatora, TUljaFojta, VSpolja, VUnutra, TLezajaBustera}

Ово значи да је могуће изабрати више скупова редукта, а сваки од њих одређује атрибуте услова који ће се користити за процену вредности атрибута одлуке. Постоји неколико критеријума за избор скупа редукта, и један од њих је укупни трошак мерених вредности свих атрибута из тог скупа. У овом случају, цена мерења није од интереса јер су мерења доступна преко SCADA система, тако да су сви скупови редукта испитани. Табела 1 приказује значај атрибута у односу на број њихових појављивања у скуповима редукта.

Табела 1. Значај атрибута

Условни атрибути	Број појављивања атрибута у скуповима редукта
S	6/8 = 0.75
TLezajaMatora	8/8 = 1.0
Tlezaja	6/8 = 0.75
TFojta	4/8 = 0.5
TUljaFojta	5/8 = 0.625
VSpolja	5/8 = 0.625
VUnutra	8/8 = 1.0
TLezajaBustera	5/8 = 0.625
PUlja	1/8 = 0.125

С обзиром на то да се атрибути TLezajaMatora и VUnutra појављују у свим скуповима, они су најзначајнији и према томе чине скуп језгра (core):

core={TLezajaMatora, VUnutra}.

Генерисана су правила за дуго време до отказа и кратко време до отказа. Има укупно седам правила за дуго време до отказа и 14 правила за кратко време до отказа. Правила за средње време до отказа нису коришћена јер се овај временски период користио као врста временског бафера, са циљем стварања што веће разлике између правила која су настала за дуго време пре отказа и правила која су настала за кратко време пре отказа.

Разлика између ова два скупа правила одређена је посматрањем вредности атрибута из core скупа, а настају два општа правила:

R1: АКО TLezajaMatora није мала И VUnutra није мала ОНДА је време до отказа  $\geq 66$  минута

R3: АКО TLezajaMatora јесте мала И VUnutra јесте мала ОНДА ја време до отказа  $\leq 176$  минута

Ово значи да отказ није вероватан у наредних 66 минута, али се предвиђа отказ после 176 минута или раније. То указује на постојање 66-оминутне резерве времена док би отказ требало да буде вероватан у наредних 110 минута ако вредности температуре лежаја мотора и вибрација на унутрашњем лежају почну да се смањују. То такође значи да се вредности температуре лежаја мотора и вибрације унутрашњег лежаја морају проверавати најмање сваких 66 минута, ако се вредности смање, могућност отказа се повећава.







### 3.3. Анализа рада техничког решења

Техничким решењем је утврђено да у стварним условима рада напојне пумпе посебно треба обратити пажњу на температуру лежаја мотора и вибрације на унутрашњем лежају, јер вредности њихових мерења највише упућују на приближавање времена отказа. Конкретно, на приближавање времена отказа указује смањење температуре лежаја мотора и смањење вибрација на унутрашњем лежају. У технолошком смислу, у случају смањења температуре лежаја мотора, смањује се трење, више се греје уље, док се у случају смањења вибрација на унутрашњем лежају смањује број обртаја мотора, што све указује на приближавање престанка рада пумпе. Техничким решењем је показано да могућност скорог отказа напојне пумпе може бити предвиђена опадањем вредности температуре лежаја мотора испод 49.8°C и вибрација на унутрашњем лежају испод 19.9 $\mu$ m, максимално 66 минута пре отказа.

За креирање техничког решења је коришћена теорија грубих скупова. Селектовани су параметри чије вредности указују на скори отказ напојне пумпе у термоелектранама. Предности примене ТГС у овом случају су:

- Добијање дескриптивних резултата које могу анализирати експерти;
- Метод је осетљив на промене режима рада система. Примена метода се може понављати у циклусима, у ком случају различити параметри који указују на отказ напојне пумпе могу бити селектовани;
- Могуће је потпуно аутоматизовати поступак анализе података тако да се метод може једноставно применити на сличним или аналогним примерима;
- Метод има теоретску подлогу, али је погодан за практичну примену јер омогућава анализу бројних система;
- Циљеви, активности и мерења у енергетском сектору који су у сагласности са европским прописима и регионалном енергетском стратегијом претпостављају креирање конкурентног и интегрисаног енергетског тржишта. Ови циљеви су наглашени у Националној стратегији одрживог развоја, док могућности представљене техничким решењем дају допринос испуњењу ових циљева.



## Библиографија

- [1] Живковић, З. Недозвољени режими рада и хаварна стања постројења блока 210MW ТЕНТ „А“. Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“, Зрењанин, дипломски рад, 2010.
- [2] Vladimir Brtko, Vesna Makitan, Ljiljana Radovanovic, Zoran Zivkovic and Oliver Momcilovic, Rough sets-based prediction model for increasing safety of thermal power plants, Energy sources, part B: economics, planning, and policy, Taylor & Francis Group, LLC, 2019.
- [3] Kucora, I., Radovanovic, Lj., Milosevic, D., Vulovic, S., Kovacevic, M., Otic, G., Adamovic, Z., 2017. Increasing Safty of Power Plant Using a New Model of Reliability, Energy Sources, Part B, doi: 10.1080/15567249.2016.1185481), 12: 460–469
- [4] Национална стратегија одрживог развоја, (НСОР), Службени гласник РС, број 75/2010, <http://www.zurbnis.rs/zakoni/Nacionalna%20strategija%20odrzivog%20razvoja.pdf>
- [5] Strategy Development of Energy Sector of Serbia until 2025 with projections until 2030, (SDESS), 2015, [http://www.parlament.gov.rs/upload/archive/files/lat/pdf/ostala\\_akta/2015/RS52-15%20lat.pdf](http://www.parlament.gov.rs/upload/archive/files/lat/pdf/ostala_akta/2015/RS52-15%20lat.pdf)
- [6] Radovanovic, Lj., Adamovic, Z., Speight, J.G., 2015. Risk Analysis for Increasing Safety in Power Plants, Energy Sources, Part B, 10: 263–270. doi: 10.1080/15567249.2010.549902
- [7] Pawlak, Z., Grzymala-Busse, J., Slowinski, R. and Ziarko, W. 1995. Rough Sets. Association for Computing Machinery. Communications of the ACM, 38, 11 ABI/INFORM Global, <http://bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/1881/Taiwan96.pdf>
- [8] Pawlak, Z. 1997. Rough set approach to knowledge-based decision support. European Journal of Operational Research, 99:48–57, doi:10.1016/S0377-2217(96)00382-7
- [9] Pawlak, Z. and Skowron, A. 2007. Rudiments of rough sets. J. of Information Sciences, 177: 3–27, doi:10.1016/j.ins.2006.06.003
- [10] Ping, Y. 2006. Data mining diagnosis system based on rough set theory for boilers in thermal power plants, Front. Mech. Eng. China2:162–167, doi: 10.1007/s 11465-006-0017-z
- [11] Shen, L., Tay, F.E.H., Qu, L. and Shen, Y. 2000. Fault diagnosis using Rough Sets Theory, Computers in Industry 43(1):61–72, ISSN: 0166-3615
- [12] Wang, J. 2013. A Rough Set Approach of Mechanical Fault Diagnosis for Five-Plunger Pump, Advances in Mechanical Engineering, 2013, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/174987>
- [13] Vinterbo, S. and Øhrn, A. 2000. Minimal approximate hitting sets and rule templates. International Journal of Approximate Reasoning, 25(2):123–143, doi:10.1016/S0888-613X(00)00051-7



**Публикације објављене у току израде техничког решења:**

- [1] Vladimir Brtka, Vesna Makitan, Ljiljana Radovanovic, Zoran Zivkovic and Oliver Momeilovic, Rough sets-based prediction model for increasing safety of thermal power plants, Energy sources, part B: economics, planning, and policy, Taylor & Francis Group, LLC, 2019. [M23]
- [2] Kucora, I., Radovanovic, Lj., Milosevic, D., Vulovic, S., Kovacevic, M., Otic, G., Adamovic, Z., 2017. Increasing Safty of Power Plant Using a New Model of Reliability, Energy Sources, Part B, doi: 10.1080/15567249.2016.1185481), 12: 460–469 [M23]
- [3] Radovanovic, Lj., Adamovic, Z., Speight, J.G., 2015. Risk Analysis for Increasing Safety in Power Plants, Energy Sources, Part B, 10: 263–270. doi: 10.1080/15567249.2010.549902. [M23]
- [4] Višnja Ognjenović, Filip Lakatuš, Jelena Stojanov, Vladimir Brtka, Vesna Makitan, Analysis of Data Histograms, XLVI Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYM-OP-IS 2019. Kladovo. 15-18.9.2019. [M33]
- [5] Eleonora Brtka, Vesna Makitan, Vladimir Brtka, Visnja Ognjenovic, “VERSION CONTROL SYSTEMS”, XXIII naučna i biznis konferencija YUINFO 2017, Kopaonik, Srbija, rad broj 69. ISBN 978-86-85525-20-9 [M63]
- [6] V. Ognjenovic, M. Jovanovic, V. Brtka and I. Berkovic: “Data Science Tools Comparison”, International conference on Applied Internet and Information Technologies October 3-4, 2019, Zrenjanin, Republic of Serbia, Proceedings, pp 197-200. [M33]



## Листа раније прихваћених техничких решења за сваког аутора посебно

### **Владимир Бртка**

Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин

1. Веб сервис за аутоматску анализу података базиран на системској синтаксној класификацији, Бртка, В. Стојанов, Ж., Добриловић, Д., Берковић, И., Јевтић, В. и Бртка, Е., Техничко решење, рађено/прихваћено за Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ, д.о.о. у оквиру пројекта „Веб портали за анализу података и саветодавство“ 13013 [М85] – 2010. године

### **Весна Макитан**

Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин

1. Веб сервис за аутоматску анализу података базиран на системској синтаксној класификацији, Бртка, В. Стојанов, Ж., Добриловић, Д., Берковић, И., Јевтић, В. и Бртка, Е., Техничко решење, рађено/прихваћено за Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ, д.о.о. у оквиру пројекта „Веб портали за анализу података и саветодавство“ 13013 [М85] – 2010. године
2. Метода за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара, Далибор Добриловић, Весна Јевтић, Иван Бекер. Техничко решење, рађено/прихваћено за Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ, д.о.о. у оквиру пројекта „Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса“ 32044 [М85] – 2013. године

### **Љиљана Радовановић**

Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин

1. Технолошко техничко решење производне линије за транспорт и складиштење отказног песка, цемента и адитива – Битно побољшано техничко решење, Толмач Д., Првуловић, С., Десница, Е., Радовановић, Љ., Пекез, Ј., Толмач, Ј., Палинкаш, И. [М84] – 2017. године

### **Елеонора Бртка**

Универзитет у Новом Саду, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин

1. Веб сервис за аутоматску анализу података базиран на системској синтаксној класификацији, Бртка, В. Стојанов, Ж., Добриловић, Д., Берковић, И., Јевтић, В. и Бртка, Е., Техничко решење, рађено/прихваћено за Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ, д.о.о. у оквиру пројекта „Веб портали за анализу података и саветодавство“ 13013 [М85] – 2010. године





# ЈОМАРЕКС

PIB 101705087

Mat.Br 08708258

Banca Intesa 160-11065-55

ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ „МИХАЈЛО ПУПИН“ ЗРЕЊАНИН  
Број 01-3240/h  
18.09.2020 год.  
23000 ЗРЕЊАНИН

Предмет:

Тестирање техничког решења

Предикциони модел за повећање сигурности у термоелектранама

које је реализовано у оквиру пројекта „Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса“ (бр. пројекта TP32044)

У току 2019. и 2020. године чланови пројектног тима са Техничког факултета „Михајло Пупин“ и компанија „Јомапекс“ сарађивали су у процесу тестирања модела за повећање сигурности.

Модел је првенствено креиран на основу емпиријског материјала мерених вредности рада термоелектране. Тестиран је на примеру система живинарске фарме у којем су утврђени параметри кључни за њено функционисање, а затим и они чије су вредности критичне за сигурност рада. Модел је омогућио да се праћењем ових параметара предвиди време престанка рада фарме и на тај начин на време предупреди евентуална штета и минимизирају губици.

Компанија „Јомапекс“ је позитивно оценила сарадњу са Техничким факултетом „Михајло Пупин“ у циљу тестирања техничког решења. Дат је предлог будуће сарадње у којој ће бити омогућена нова испитивања, анализирање емпиријског материјала и тестирања, за потребе унапређења пословних процеса.

У Новом Саду,

14.9.2020. године

М.П.

Заступник компаније

Јован Золотић



Jomapeks d.o.o za proizvodnju unutrašnju i spoljnu trgovinu marketing i inženjering  
Bul. Slobodana Jovanovića 34/2, tel/fax 021 493 006, 021 493 757 E-mail:office@jomapeks.com