

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 1350/2  
ДАТУМ: 10.07.2015.

На основу захтева доц. др Радише Јовановића, бр. 1350/1 од 07.07.2015. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 09.07.2015. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Да се за рецензенте Техничког решења под насловом: „**Ансамбл различитих неуронских мрежа за предвиђање потрошње топлоте**“, чији су аутори: доц. др Радиша Јовановић, асистент Александра Сретеновић, дипл.инж.маш. и ван. проф. Бранислав Живковић, именују:

- проф. др Зоран Миљковић, Универзитет у Београду, Машински факултет,
- проф. др Милица Јовановић-Поповић, Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



2 Д Е К А Н  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

  
Проф. др Милорад Милованчевић

## **Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за признање техничког решења**

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 1350/2 од 10.07.2015. године именовани смо за рецензенте нове методе под називом „**Ансамбл различитих неуронских мрежа за предвиђање потрошње топлоте**” аутора: доцент др Радиша Јовановић, асистент Александра Сретеновић, и проф. др Бранислав Живковић. На основу предлога и након анализе методе подносимо следећи:

### ИЗВЕШТАЈ

Нова метода (M85) под називом „**Ансамбл различитих неуронских мрежа за предвиђање потрошње топлоте**” представљена је на 14 страница А4 формата. Опис методе садржи 3 једначине, 14 слика и 3 табеларна приказа резултата примене нове методе представљених у следећих шест тематских целина, уз списак коришћене литературе:

1. Област на коју се техничко решење односи
2. Технички проблем
3. Постојеће стање у свету
4. Суштина техничког решења
  - 4.1 Експериментални скуп података – Универзитетски Кампус
  - 4.2 Улазна обрада података
  - 4.3 Избор улазних променљивих
  - 4.4 Креирање модела неуронских мрежа и ансамбла неуронских мрежа
5. Приказ резултата примене
6. Закључак.

Техничко решење припада области термотехнике и аутоматског управљања и односи се на решавање проблема предвиђања потрошње топлоте за грејање применом метода вештачке интелигенције. Развијена метода обухвата интеграцију различитих модела вештачких неуронских мрежа у такозвани ансамбл неуронских мрежа, а у циљу побољшања квалитета предвиђања потрошње.

У оквиру другог поглавља образложен је технички проблем и дате су теоријске основе примењених модела неуронских мрежа. У основим цртама представљене су теоријске поставке: 1) вишеслојних мрежа са повратним простирањем грешке, 2) мрежа са радијалним базисним функцијама, 3) адаптивних неуро-фази система и 4) ансамбла неуронских мрежа. У проблемима предвиђања, уопште, а у великој мери и код предвиђања потрошње енергије, све значајнију улогу имају системи засновани на вештачкој интелигенцији, при чему су вештачке неуронске мреже најзаступљеније. Способност генерализације појединачне неуронске мреже може бити значајно побољшана применом ансамбла, и то представља основну идеју нове методе.

У трећем поглављу наведено је постојеће стање у свету. Кроз одговарајући преглед научних публикација дат је осврт на постојеће методе предвиђања потрошње енергије (класичан приступ, инверзни модели, регресиони модели), са посебним акцентом на методе засноване на вештачким неуронским мрежама.

Четврто поглавље садржи суштину техничког решења приказану кроз концепцијско решење ансамбла неуронских мрежа. Предвиђање потрошње енергије за грејање решено је применом различитих неуронских мрежа, и њиховим комбиновањем кроз квалитативно нов приступ, ансамбл неуронских мрежа. Најпре, креирана су, обучена и тестирана три независна, тополошки различита модела неуронских мрежа, чије су теоријске поставке дате у другом поглављу. Потом, у циљу побољшања показатеља квалитета предвиђања, синтетизовани модели су имплементирани у ансамбл неуронских мрежа применом три различите методе комбиновања (аритметичко осредњавање, тежинско осредњавање и методом медијане). Овако предложени модел за предвиђање обучаван је и тестиран на експерименталном скупу података потрошње топлоте једног универзитетског кампуса. Кроз анализу и примену предложене методе третирано



је неколико важних проблема и задатака присутних у области предвиђања уопште, као што су улазна предобрада и анализа података, избор улазних и излазних величина модела, након чега следи синтеза модела и ансамбла.

Пето поглавље приказује експерименталну верификацију развијене методе предвиђања топлоте на бази ансамбла различитих неуронских мрежа. Најпре, приказани резултати показују да све предложене топологије мрежа могу са високом тачношћу да предвиде потрошњу топлоте за грејање. Надаље, показано је да се применом ансамбла побољшавају резултати предвиђања. То и јесте била идеја методе, односно жељено и очекивано побољшање, јер велика је вероватноћа да неуронске мреже не праве грешке у истим тачкама, те се коришћењем ансамбла, као комбинације излаза појединачних мрежа, настале грешке могу компензовати. И на крају, такође важан резултат је дат кроз поређење резултата предвиђања потрошње три модела са различитим бројем улазних величина, јер избор улазних величина модела има једну од кључних улога у проблемима предвиђања. За одређивање тачности предвиђања коришћени су коефицијент детерминације ( $R^2$ ), корен средње вредности квадратне грешке (RMSE) и средња апсолутна процентуална грешка (MAPE). У одговарајућим табелама су приказане вредности ових параметара за периоде обучавања и тестирања, а на сликама су дати резултати предвиђања различитих ансамбала и различитих модела.

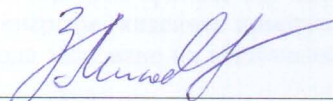
У оквиру закључка наглашен је значај предвиђања потрошње енергије у згради, која је кључна за стратегију енергетског снабдевања и процену инвестиција, као и потребе за сталним развојем нових техника како би се добили што тачнији резултати. Потврђено је да су неуронске мреже, а посебно њихови ансамбли, веома корисна техника која се може користити за овакав тип предвиђања.

У складу са датом анализом предлога техничког решења, као именовани рецензенти дајемо следеће

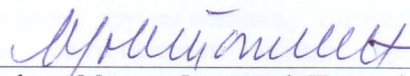
## М И Ш Љ Е Њ Е

Аутори нове методе (M85) под називом „**Ансамбл различитих неуронских мрежа за предвиђање потрошње топлоте**” су на јасан начин описали решење проблема предвиђања потрошње топлоте за грејање на бази примене различитих типова вештачких неуронских мрежа и кроз њихово комбиновање применом ансамбла неуронских мрежа. Из приложеног описа се јасно уочава потпуно оригиналан, научно верификован и савремен приступ, а резултати остварени применом ове нове методе указују на то да постоји очит допринос постојећем стању развоја, и потврђују и то да се применом метода вештачке интелигенције ефикасно могу решавати задаци предвиђања у различитим техничким областима.

На основу увида у предлог нове методе и остварене резултате, а у складу са одредбама *Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије (“Службени гласник РС”, бр. 38/2008), мишљења смо да она представља научни резултат који поред стручне компоненте пружа оригинални научноистраживачки допринос, и предлажемо да се нова метода под називом „**Ансамбл различитих неуронских мрежа за предвиђање потрошње топлоте**” прихвати као ново техничко решење.



Проф. др Зоран Миљковић  
Универзитет у Београду  
Машински факултет



Проф. др Милица Јовановић-Поповић  
Универзитет у Београду  
Архитектонски факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
БРОЈ: 1350/3  
ДАТУМ: 28.09.2015.

На основу захтева доц. др Радише Јовановића, бр. 1350/1 од 07.07.2015. године и чл. 63. Статута Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 24.09.2015. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Прихвата се техничко решење (М85) под насловом: „**Ансамбл различитих неуронских мрежа за предвиђање потрошње топлоте**“, чији су аутори: доц. др Радиша Јовановић, асистент Александра Сретеновић, дипл.инж.маш. и проф.др Бранислав Живковић

Одлуку доставити: Министарству просвете, науке и технолошког развоја РС, рецензентима и архиви Факултета ради евиденције.



ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић