

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидаткиње Совјетке Крстонијевић, магистра електротехничких наука за израду докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду, са 885. седнице од 11.04.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Совјетке Крстонијевић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Оквир за прогнозу потрошње електричне енергије у интелигентним електроенергетским мрежама заснован на генерализованом адитивном моделу“** (енгл. *“Framework for Electricity Load Forecasting in Smart Grid based on a Generalized Additive Model”*)

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1 Подаци о кандидату

1.1 Биографски подаци

Совјетка Крстонијевић рођена је 14.12.1966. године у Мостару, Босна и Херцеговина. Основну и средњу школу је завршила у Титограду (сада Подгорица) као носиоца „Луча“ дипломе. Електротехнички факултет у Београду, одсек Електроника, уписала је 1985. године. Дипломирала је фебруара 1992. године, одбраном рада под називом "Видео меморије", где јој је ментор био проф. др. Миодраг Поповић. На истом факултету је уписала постдипломске студије, а магистарски рад под називом "Препознавање замора у мишићу на основу електромиографског сигнала користећи вештачке неуронске мреже", одбранила је 2001. године, код ментора проф. др. Дејана Поповића. Школске 2015/2016 уписује докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на смеру Електроника.

По дипломирању, кандидаткиња се запошљава у Телеоптик.д.о.о., прво, на програму развоја медицинске опреме, а потом бива ангажована на пројектима одељења за Аутоматику. Након стицања дипломе Магистра електротехничких наука 2001., прелази у Институт „Михајло Пупин“, у одељење - Управљање електроенергетским системима, где и данас ради. Учесник је на бројним пројектима Министарства просвете и науке Републике Србије, као и на њиховој имплементацији у пракси. Резултати истраживања на пројектима су, махом, презентовани на домаћим и међународним конференцијама, радовима у часописима и кроз реализована техничка решења.

Током 2014/2015 била је учесник семинара за развој предузетништва у науци, финансираног од стране Европске уније, а у оквиру пројекта *PACINNO—Platform for trans-*

Говори енеглески језик, а служи се италијанским и француским.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Совјетка Крстонијевић је научно-истраживачки рад започела радом на магистарској тези, под насловом "Препознавање замора у мишићу на основу електромиографског сигнала користећи вештачке неуронске мреже", који је одбранила 19.11. 2001. на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

По запошљавању у Институту „Михајло Пупин“, бива ангажована на програмима развоја апликација и софтверских решења који се користе за управљање електроенергетским системима. За цео период рада у Институту, била је учесник на пројектима Министарства просвете и науке Републике Србије, (Програм: Технолошки развој, Област: Енергетика, рударство и енергетска ефикасност). Учествовала је у изради већег броја техничких решења, од којих је на 5 први аутор. Област њеног рада и истраживања је претрага, развој и адаптација статистичких модела, временских серија и техника машинског учења у реализацији функционалности које служе побољшању ефикасности рада електроенергетских система, те њихова примена и прилагођавање сходно захтевима корисника. Најзначајнији резултати су развој софтверског пакета за предвиђање могућности оптерећења трансформатора и далековода (ПМОТ, ПМОДВ), за краткорочну прогнозу потрошње за произвољну област електроенергетског система, дефинисану од стране корисника (СТЛФ РТ, СТЛФ Модел), као и њено даље унапређење у правцу шире примене на дистрибутивне системе и будуће интелигентне мреже.

Мр Совјетка Крстонијевић уписала је докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду школске 2015/2016 године на модулу Електроника. Кандидату је одобрен упис уз признавање испита са магистарских студија који су вредновани укупно са 42 ЕСПБ. Током докторских студија је успешно положила остале испите и испунила све предвиђене обавезе и сакупила 120 ЕСПБ. Списак признатих и положених испита и осталих обавеза дат је у следећој табели:

Р.б.	Предмет	Оцена	ЕСПБ
1.	Адаптивна и нелинеарна естимација (признато са маг.)	10	
2.	Дигитални системи управљања (признато са маг.)	9	
3.	Микропроцесорски системи (признато са маг.)	10	
4.	Препознавање облика (признато са маг.)	10	
5.	Пројектовање дигиталних система (признато са маг.)	10	
6.	Управљачки дигитални системи (признато са маг.)	9	
7.	Француски језик (признато са маг.)	П	
	Укупно признато са магистарских студија		42
8.	Одабрана поглавља из енергетске електронике	10	9
9.	Одабрана поглавља из дигиталне обраде сигнала	10	9
10.	Примена информационих технологија у електроенергетици	9	9
11.	Пројектовање и примена паметних сензора	10	9
12.	Мултирезолуциона обрада сигнала	10	9
13.	Студијски истраживачки рад 1		15
14.	Студијски истраживачки рад 2		15
15.	Научно стручни рад		3
	Укупно остварено		120

Совјетка Крстонијевић је аутор/коаутор више радова презентованих на домаћим и међународним конференцијама, коаутор студије и радова у домаћем часопису, као и аутор рада објављеног у часопису са SCI листе у категорији M21.

Научни часописи од међународног значаја (M21)

1. **S. Krstonijević**, Adaptive Load Forecasting Methodology Based on Generalized Additive Model with Automatic Variable Selection. *Sensors*, **2022**, 22, 7247.

Студија од националног значаја (M43)

1. N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, Informacioni sistemi i baze podataka u oblasti energetske efikasnosti prenosa, distribucije i potrošnje električne energije, Studija rađena za potrebe Projekta NPEE-222008, Nacionalnog saveta energetske efikasnosti MNTR, Beograd, Jun 2008.

Предавање по позиву са скупа од националног значаја (M61)

1. **S. Krstonijević**, Generalized Additive Model for Electricity Load Prediction in R, Primena slobodnog softvera i otvorenog hardvera (*Applicaton of Free Software and Open Hardware, PSSOH*), 2020, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4748377>

Радови изложени на међународним конференцијама (M33)

1. **S. Krstonijević**, Predlog prediktivnog modela potrošnje u pametnim elektroenergetskim mrežama, *15. Savetovanje BH CIGRE 2021*, Zbornik radova R.D2.06, Neum, BH, Oct., 2021.
2. **S. Krstonijević**, P. Lučić, M. Stojić, G. Jakupović, N. Čukalevski, Application for Short Term Load Forecasting in Transmission Networks with User Defined Area Extent, *DEMSEE 2018, International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe*, Nicosia, Cyprus, Sep., 2018.
3. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, S. Cvetićanin, Dynamic Rating of Overhead Lines for Real-Time Network Control and Market Support, *DEMSEE 2013, International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe*, Croatia, Sep., 2013.
4. N. Čukalevski, G. Jakupović, M. Stojić, S. Cvetićanin, **S. Krstonijević**, J. Car, I. Bundalo, Smart Grid technologies: State of the art and related activities in IMP, *VII International Forum for Clean Energy Technologies, 2013 Serbia Energy: Future and prospects*, Novi Sad, Serbia, Sep., 2013.
5. N. Petrović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, Mathematical Models and Standards for Calculation of Current Carrzing Capacity of Overhead Lines, *DEMSEE 2009, International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe*, Belgrade, Serbia, Sep., 2009.
6. N. Čukalevski, G. Jakupović, N. Damjanović, S. Cvetićanin, **S. Krstonijević**, Integrated Data Warehouse and Power Applications for a TSO Operation and Maintenance Activities Support, *DEMSEE 2008, International Conference on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe*, Nicosia, Cyprus, Sep., 2008.
7. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, N. Damjanović, S. Cvetićanin, Real-time transformer dynamic loading application implementation and practical use, *DEMSEE 2007, International Workshop on Deregulated Electricity Market Issues in South-Eastern Europe*, Istanbul, Turkey, Sep., 2007.

8. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, N. Damjanović, S. Cvetićanin, Real-time transmission elements dynamic loading applications for system operation reliability improvements, *5. Savetovanje MAKO CIGRE*, Ohrid, Makedonia, Oct., 2007.
9. N. Čukalevski, G. Jakupović, N. Damjanović, S. Cvetićanin, T. Sajdl, **S. Krstonijević**, B. Tomašević, M. Mitrović, The Data Warehouse for the Multiple Control Centers Transmission System Operator, *CIGRE Conference*, SC C2 Session, Paris, France, Aug., 2004.
10. S. Cvetićanin, N. Čukalevski, G. Jakupović, N. Damjanović, **S. Krstonijević**, Data Warehouse And Power Applications For Control Centers Of Transmission And Distribution Companies, *Regional conference and exhibition on electricity distribution JUKO CIRED*, Herceg Novi, Serbia and Montenegro, Oct., 2004.

Радови публиковани у домаћим часописима (M52)

1. N. Petrović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, Matematički modeli u standardima za proračun trajno i kratkotrajno dozvoljenih struja provodnika nadzemnih vodova, *Elektroprivreda*, ISSN 0013-5755, 2009., br. 3, 43-51.
2. T. Sajdl, G. Jakupović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, S. Cvetićanin, M. Pavlović, Z. Nedeljković, Aplikacije za proračun mogućnosti opterećenja transformatora i dalekovoda, *Elektroprivreda*, ISSN 0013- 5755, 2003., br. 2, 92-99.

Радови изложени на домаћим конференцијама (M63)

1. P. Lučić, M. Stojić, G. Jakupović, **S. Krstonijević**, T. Jelić, Aplikacija za proračun mogućnosti opterećenja dalekovoda, *36. Savetovanje Upravljanje, Telekomunikacije i Zaštita u Elektroenergetskim Sistemima, CIGRE Srbija*, Zlatibor, maj 2023.
2. **S. Krstonijević**, Prediktivni model potrošnje električne energije u pametnim elektroenergetskim mrežama, *19. Simpozijum Upravljanje i Telekomunikacije u Elektroenergetskom Sistemu, CIGRE Srbija*, Beograd, oktobar 2020.
3. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, P. Lučić, Implementacija softverskog paketa za kratkoročnu prognozu potrošnje, *17. Simpozijum Upravljanje i Telekomunikacije u Elektroenergetskom Sistemu, CIGRE Srbija*, Vršac, oktobar, 2016.
4. **S. Krstonijević**, G. Jakupović, N. Čukalevski, Korišćenje algoritma dekompozicije vremenskih serija za kratkoročnu prognozu potrošnje EES, *16. Simpozijum Upravljanje i Telekomunikacije u Elektroenergetskom sistemu, CIGRE Srbija*, Srbija, oktobar 2014.
5. N. Petrović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, Matematički modeli u standardima za proračun trajno i kratkotrajno dozvoljenih struja provodnika nadzemnih vodova, *STK B2 Nadzemni vodovi i STK C2 Upravljanje i eksploatacija, CIGRE Srbija*, Zlatibor, 2009.
6. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, S. Cvetićanin, N. Damjanović, PMOT i PMODV aplikacije za određivanje dozvoljenog opterećenja transformatora i dalekovoda distributivnih mreža, *6. Savetovanje o Elektrodistributivnim mrežama Srbije i Crne Gore, CIRED Srbija*, Vrnjačka Banja, oktobar 2008.
7. N. Damjanović, S. Cvetićanin, G. Jakupović, **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, S. Šainović, M. Mitrović, Implementacija lokalne baze istorijskih podataka i EE aplikacija u regionalnim DC EMS-a, *14. Simpozijum Upravljanje i Telekomunikacije u Elektroenergetskom sistemu, CIGRE Srbija*, Tara, jun 2008.
8. N. Damjanović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, S. Cvetićanin, G. Jakupović, Elektroenergetske aplikacije i baza istorijskih podataka u eksploataciji prenosne mreže Srbije, *INFOTEH, Jahorina*, mart 2008.
9. N. Damjanović, S. Cvetićanin, N. Čukalevski, G. Jakupović, **S. Krstonijević**, Integrisano skladište podataka i EE aplikacije na nivou celokupne prenosne mreže Srbije, *Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYMOPIS*, Banja Koviljača, oktobar 2006.

10. N. Damjanović, S. Cvetićanin, N. Čukalevski, G. Jakupović, **S. Krstonijević**, Integrirano skladište podataka i EE aplikacije na nivou celokupne prenosne mreže Srbije, 50. *ETTRAN konferencija*, Beograd, jun 2006.
11. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, N. Damjanović, S. Cvetićanin, G. Jakupović, M. Popara, Lj. Đokić, M. Mitrović, B. Tomašević, Z. Nedeljković, B. Gajić, Korišćenje skladišta podataka i aplikacije PMOT MRC-A za povećanje efikasnosti eksploatacije prenosne mreže, 27. *Savetovanje JUKO CIGRE*, Zlatibor, jun 2005.
12. N. Damjanović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, S. Cvetićanin, G. Jakupović, Primena skladišta podataka i EE aplikacija u eksploataciji prenosnih mreža", 49. *ETTRAN konferencija*, Budva, jun 2005.
13. N. Damjanović, S. Cvetićanin, G. Jakupović, **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, S. Šainović, B. Gajić, Z. Nedeljković, Implementacija i testiranje skladišta podataka i EE aplikacija u MRC Beograd, 12. *Simpozijum Upravljanje i Telekomunikacije u Elektroenergetskom sistemu JUKO CIGRE*, Bečići, maj 2004.
14. T. Sajdl, G. Jakupović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, S. Cvetićanin, M. Pavlović, Z. Nedeljković, Aplikacije za proračun mogućnosti opterećenja transformatora i dalekovoda, 26. *savetovanje JUKO CIGRE*, Banja Vrućica – Teslić, maj 2003.
15. T. Sajdl, G. Jakupović, N. Čukalevski, **S. Krstonijević**, S. Cvetićanin, N. Damjanović, Aplikacije za pomoć u odlučivanju pri eksploataciji transformatora i dalekovoda EES, *XLVII Konferencija ETRAN*, Herceg Novi, jun 2003.

Техничка решења

Техничка решења у којима је кандидаткиња први аутор

1. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, M. Stojić, P. Lučić, S. Cvetićanin, Programska podrška aplikacije STLF Model u centru upravljanja, Aplikacija STLFModel, 2017. MNTR projekat, program Tehnološkog razvoja, br. 33002. (M81)
2. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, M. Stojić, S. Cvetićanin, P. Lučić, Programska podrška za identifikaciju parameter modela kratkoročne prognoze potrošnje EES (STLF Model), 2016. Projekat MNTR, program tehnološkog razvoja, br. 330022. (M85)
3. **S. Krstonijević**, N. Čukalevski, G. Jakupović, M. Stojić, S. Cvetićanin, I. Bundalo, N. Radnović, Prototip aplikacije za kratkoročnu prognozu potrošnje (STLF). U upotrebi u Elektromreža Srbija od 2015. Projekat MNTR, program tehnološkog razvoja, br. 330022. (M85)
4. **S. Krstonijević**, G. Jakupović, N. Čukalevski, N. Damjanović, S. Cvetićanin, Aplikacija za proračun mogućnosti opterećenja i preopterećenja transformatora (PMOT), realizovana i integrisana sa BIP/EE. 2008. Projekat MNTR, program tehnološkog razvoja, br. 223008. (M81)
5. **S. Krstonijević**, G. Jakupović, N. Čukalevski, N. Damjanović, S. Cvetićanin, PMOT i PMODV aplikacije za određivanje dozvoljenog opterećenja transformatora i dalekovoda distributivnih mreža, (2008). Projekat MNTR, program tehnološkog razvoja, br. 223008. (M85)

Дана 22.05.2023. године одржана је јавна усмена одбрана теме докторске дисертације (докторски испит) пред Комисијом у саставу:

1. др. Јелена Поповић-Божовић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет (председник Комисије)
2. др. Жељко Деспотовић, научни саветник, Универзитет у Београду, Институт „Михајло Пупин“, (члан Комисије који није запослен на ЕТФ-у)

3. др. Горан Добрић, доцент, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет (члан Комисије)

Комисија је једногласно закључила да кандидаткиња Совјетка Крстонијевић испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом – задовољила.

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Приликом писања овог Извештаја, Комисија је размотрила све претходно наведене чињенице, искуства у научно-истраживачком раду, као и резултате досадашњег рада кандидаткиње Совјетке Крстонијевић. На основу резултата које је кандидаткиња постигла у свом досадашњем стручном и научном раду, публикованих научних резултата из области прогнозирања потрошње електричне енергије, Комисија је закључила да је кандидаткиња испунила услове који је квалификују да приступи изради докторске тезе на предложеној тему.

2 Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске тезе је развој функционалности краткорочне прогнозе потрошње електричне енергије, (*eng. Short Term Load Forecasting, STLF*)¹, нове генерације, пројектоване за примену у интелигентним електроенергетским мрежама. Досадашњи резултати истраживања, верификовани у пракси и алати за прогнозу који су у употреби, махом су намењени централизованом управљању на нивоу система или веће групе потрошача, развијани и прилагођени подацима за потрошњу прикупљеним са, типично, једног места у систему. Међутим, услови децентрализованог и локалног управљања у интелигентним енергетским мрежама чине ову генерацију прогностичких алата неадекватном за директну примену. Кључне карактеристике нове СТЛФ функционалности, уједно, и правци њеног даљег развоја су:

1. На локалном нивоу, мањи број потрошача обухваћен прогностичком облашћу, генерише комплексније профиле потрошње, слабије предвидљивости, те је за постизање задовољавајуће тачности прогнозе потребно унапређење постојећих или увођење напреднијих приступа њеног моделовања.
2. Прогностички алати у паметним мрежама намењени су генерисању прогноза за већи број потрошњи, са више места у систему, што захтева увођење модела и методологије које омогућавају тачност прогнозе за већи број хетерогених временских серија потрошње.
3. Потреба за динамичким прилагођавањем на промене услова прогнозирања је израженији на дистрибутивном нивоу и локалу. Поред променљивих основних фактора потрошње (метеоролошки, економски, итд.), нови начини коришћења електричне енергије, утицаји интермитентних обновљивих извора енергије, мењају њену динамику у правцу веће варијабилности. За одржавање квалитета прогнозе током времена, потребно је обезбедити правовремен одзив прогностичког модела и динамичку адаптацију на промене.
4. Савремени СТЛФ алати не представљају само прогностичке машине (*forecasting engine*), већ имају и ширу предиктивну сврху. С обзиром да се ослањају на велики број података, како техничких, из мреже, тако и из спољних извора (метеоролошки ИС, географски ИС, економски параметри), користе се и за низ других апликација (процена понашања потрошача, анализу потрошње, итд.). Стога су интерпретабилни,

¹ Short Term Load Forecasting, STLF-краткорочна прогноза потрошње се врши за временски хоризонт од наредног сата до неколико дана унапред. За већина дневних оперативних активности, од највећег значаја су прогнозе унутар дана и дан-унапред.

транспарентни модели који омогућавају тумачење модела и анализу потрошње одговарајући избор.

Истраживање спроведено међу 136 енергетских компанија из 24 земље је показало да је СТЛФ апликација од највећег приоритета у управљању електроенергетским системом [1]. Значај развоја СТЛФ функционалности горе наведених карактеристика омогућио би њену примену у планирању и одлучивању на различитим местима у мрежи, на нивоу индивидуалних или групе потрошача, зграда, градских зона, итд., као и ефикаснију имплементацију различитих програма управљања потрошњом. Ово су мотиви интензивног изучавања ове области, чему сведочи велики број публикованих радова. Усвојени приступи који се могу наћи у литератури се крећу од оних заснованих на класичним моделима (регресиони модели и временске серије), погодних за динамичке режиме рада, до, данас, веома популарних дубоких неуралних мрежа, које карактерише веома добра тачност моделовања комплексних профила потрошње.

У дисертацији је разматрана могућност развоја генералног приступа краткорочној прогнози потрошње електричне енергије, заснованог на генерализованом адитивном моделу, ГАМ, [3]. Карактеристике ГАМ-а које га кандидују за развој нових СТЛФ апликација је:

- Верификована задовољавајућа тачност прогнозе добијене за конкретне потрошње, за различит обухват потрошача, [4 - 8], (захтев 1).
- Интерпретабилност која омогућава издвајање појединачних ефеката потрошње и њихову анализу, (захтев 4). За илустрацију практичног значаја интерпретабилности модела, пример је рад [7] где је приказан IBM-ов ГАМ-базирани систем за управљање паметним зградама, *e2-Diagnoser*, који врши претраживања карактеристичних дневних и седмичних профила потрошње у зградама за потребе анализе, дијагностике и развоја стратегије управљања.
- Брзи и једноставни естимациони алгоритми. Естимација ГАМ-а је заснована на класичним регресионим техникама. Скорија алгоритамска унапређења, дата у [9] и [10], омогућавају рад са великим подацима и значајно убрзавају ГАМ естимацију.
- Распоживост алгоритама *shrinkage-type* селекције ГАМ-а, [11-14], који комбиновани са брзом естимацијом, омогућавају развој методологија динамичке адаптације модела.
- Могућност проширења и даље генерализације на различите дистрибуције променљиве која се моделује, ГАМЛСС, на хијерархијску верзију, ХГАМ, дубоку ГАМ верзију, итд.

Циљ истраживања је развој генеричког ГАМ-базираног оквира за моделовање потрошње електричне енергије, који би омогућио генерисање прогноза потрошње унутар дана и дан унапред за различите агрегације потрошача у мрежи.

Основни допринос овог истраживања је што би омогућио платформу за реализацију конкретне СТЛФ функционалности, на нивоу, на пример, веће агрегације потрошача, зграда, индивидуалног потрошача, итд. Додатни допринос је што ГАМ модел потрошње омогућава интерпретацију резултата, издвајање засебних компоненти потрошње, њихову анализу и унапређење стратегије управљања мрежом.

Коначно, константан развој ГАМ-а представља предуслов даљег унапређења и ГАМ-базиране СТЛФ функционалности, као и основ њеног даљег истраживања.

2.1 Релевантне референце

- [1] Utility analytics in 2017: Aligning data and analytics with bussines strategy, SAS
- [2] S.N.Wood, Generalized Additive Models: An Introduction with R, 2nd ed.; Chapman and Hall/CRC: New York, NY, USA, 2017.

- [3] A. Pierrot, Y. Goude, Short-term electricity load forecasting with generalized additive models, *Proceedings of the 16th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems ISAP*, Hersonisos, Crete, Greece, 25–28 September 2011
- [4] S. Fan, R.J. Hyndman, Short-term load forecasting based on a semi-parametric additive model, *IEEE Trans. Power Syst.* 2012, 27, 134–141
- [5] Y. Goude, N. Nedellec, N. Kong, Local short and middle term electricity load forecasting with semi-parametric additive models, *IEEE Trans. Smart Grids* 2012, 1, 440–446
- [6] J. Ploennigs, B. Chen, P. Palmes, R. Lloyd, e2-Diagnoser: A System for Monitoring, Forecasting and Diagnosing Energy Usage, *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Data Mining Workshop*, Shenzhen, China, 14 December 2014
- [7] P. Pompey, A. Bondu, Y. Goude, M. Sinn, Smart Grids Using Generalized Additive Models, *Modeling and Stochastic Learning for Forecasting in High Dimensions*; Springer: Cham, Switzerland; New York, NY, USA, 2015; pp. 193–212
- [8] S. Wood, Y. Goude, S. Shaw, Generalized additive models for large data sets. *J. R. Stat. Soc. Appl. Stat.* 2015, 64, 139–155
- [9] S. N. Wood, Z. Li, G. Shaddick, N.H. Augustin, Generalized Additive Models for Gigadata: Modeling the U.K. Black Smoke Network Daily Data, *Journal Am. Stat. Assoc.* 2017, 112, 1199–1210
- [10] Y. Lin, H. H. Zhang, Component Selection and Smoothing in Multivariate Nonparametric Regression, *Ann. Stat.* 2006, 34, 2272–2297.
- [11] P. Ravikumar, J. Lafferty, H. Liu, L. Wasserman, Sparse Additive Model. *J. R. Stat. Soc. Ser. B (Stat. Methodol.)*, 2009, 71, 1009–1030.
- [12] A. Chouldechova, T. Hastie, Generalized Additive Model Selection, *arXiv* 2015, arXiv:1506.03850.
- [13] G. Marra, S. Wood, Practical variable selection for generalized additive models. *Comput. Stat. Data Anal.* 2011, 55, 2372–2387

2. Полазне хипотезе

Претпоставке истраживања од којих се полази при изради ове дисертације су:

- На основу карактеристика ГАМ-а и досадашњих резултата његове примене за прогнозирање потрошње, претпоставка је да ГАМ математички и алгоритамски подржава развој нове СТЛФ функционалности која задовољава спецификацију 1-4.
- Потрошња моделована ГАМ-ом представља суму индивидуалних подмодела фактора потрошње (годишњи, седмични и дневни профили, календар, метеоролошки утицаји и остали спољашњи фактори, итд.), тј. чланова ГАМ-а, реализованих техникама сплајна. Развој ГАМ-а подразумева идентификацију фактора карактеристичних за посматрани обухват потрошње и конструкцију одговарајућих ГАМ чланова. Каталог ГАМ чланова, дефинисаних за различита места у мрежи представља оквир генералне СТЛФ функционалности и предмет је засебног истраживања, који се може даље надограђивати.
- Користећи се новим алгоритмом за брзу ГАМ естимацију са уграђеним *shrinkage-type* селекцијом ГАМ чланова могуће је развити методологију динамичке адаптације различитим потрошњама и у времену.
- Могуће је постићи задовољавајућу тачност прогнозе за различите агрегације потрошача у мрежи, компарирано са резултатима из литературе, добијеним применом других модела.

3. Научне методе истраживања

Методе истраживања које ће се користити при изради тезе су:

- Преглед литературе из предметне области истраживања, реферишући се на побројане захтеве, са циљем констатовања нивоа решености проблема у свету.
- Метода прикупљања, препроцесирање и припреме података како би се обезбедила релевантна информациона база за евалуацију предложених модела. Користе се отворени, валидирани извори података за потрошњу и метеоролошке варијабле за различитих места у систему.
- Методе анализе временских серија, као и досад установљена знања о потрошњи ће се користити за идентификацију фактора потрошње и дефинисање каталога ГАМ чланова.
- За потребе тестирања прогнозе потрошње на нивоу индивидуалних потрошача користе се методе *clustering*-а за њихово груписање.
- Развојно окружење ГАМ модела у Р језику (конкретно, пакети *mgcv*, *forecast*) користи се за:
 - Имплементацију каталога ГАМ чланова потрошње
 - Развој алгоритма груписања индивидуалних потрошњи
 - Имплементацију нових алгоритама за брзу селекцију и естимацију ГАМ-а
 - Евалуацију перформанси развијених модела на примеру унутар дана и дан-унапред СТЛФ функционалности
 - Компаративну анализу са постојећим моделима који су дали добре резултате

4. Очекивани научни допринос

Као основни резултат истраживања које ће бити спроведено биће развијен генерички оквир за моделовање и прогнозу потрошње у интелигентним електроенергетским мрежама. Очекује се да ће развијени оквир омогућити реализацију конкретне СТЛФ функционалности за прогнозу унутар дана и за дан унапред, који ће бити тестиран на примерима на нивоу:

- веће агрегације потрошача (пример неколико великих градских зона)
- зграда (пример комерцијалних и резиденцијалних зграда)
- на нивоу индивидуалног потрошача и хомогене групе потрошача

Додатно, као резултат анализе временских серија потрошње на различитим местима у мрежи, а за потребе дефинисања ГАМ каталога, очекује се и допринос бази знања о карактеристикама потрошње на различитим хијерархијским нивоима у мрежи.

5. План истраживања и структура рада

Истраживање ће се спровести кроз следеће активности:

1. Извршиће се детаљан преглед литературе, анализирати резултати досадашњег истраживања, као и постојећа решења и сагледати њихове предности и ограничења.
2. Из јавно доступних, отворених база података, извршиће се прикупљање података за потрошњу на нивоу 1) веће градске зоне, 2) зграде и 3) индивидуалног потрошача, као и за вредности одговарајућих метеоролошких параметара (температура ваздуха, брзина ветра, влажност, итд).
3. Обавиће се детаљна анализа свих временских серија потрошње прикупљених из база података, извршити идентификација фактора потрошње и њихова категоризација по нивоу агрегације.
4. На основу резултата претходних активности, биће развијен каталог ГАМ чланова потрошње у Р окружењу.

5. Новоразвијене технике за брзу ГАМ естимацију и селекцију биће искоришћене за развој методологије динамичког моделовања и аутоматску адаптацију СТЛФ функционалности конкретној потрошњи у мрежи.
6. Биће развијена СТЛФ функционалност прогнозе потрошње електричне енергије за наредни сат и дан унапред, за сваки од тест примера.
7. Резултати прогнозе за све тест примере биће упоређени са резултатима неколико референтних модела потрошње, у циљу сагледавања ограничења предложеног приступа и прецизнијег дефинисање домена његове практичне примене.

6. Закључак и предлог

На основу приложене документације и стечене слике о теми докторске дисертације и досадашњем истраживачком раду Совјетке Крстонијевић, магистра електротехничких наука и рачунарства, комисија закључује следеће

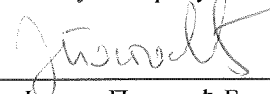
- Кандидаткиња испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета у Београду за израду докторске дисертације.
- Предложена тема **„Оквир за прогнозу потрошње електричне енергије у интелигентним електроенергетским мрежама заснован на генерализованом адитивном моделу“** је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи изградом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос.

На основу претходно изложеног, Комисија са задовољством предлаже Наставно научно већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи Совјетки Крстонијевић одобри израду тезе под насловом „Оквир за прогнозу потрошње електричне енергије у интелигентним електроенергетским мрежама заснован на генерализованом адитивном моделу“ (енгл. *“Framework for Electricity Load Forecasting in Smart Grid based on a Generalized Additive Model”*), а под менторством др Предрага Пејовића, редовног професора Електротехничког факултета у Београду.

У Београду, 23.05.2023 године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Предраг Пејовић, редовни професор
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет


др Јелена Поповић Божовић, доцент
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет


др Жељко Деспотовић, научни саветник,
Институт „Михајло Пупин“


др Горан Добрић, доцент
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет