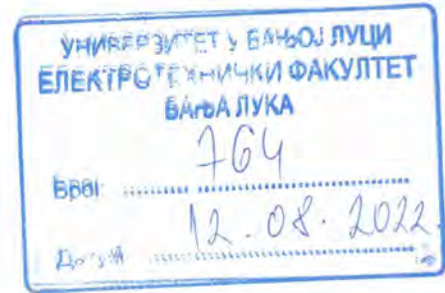


УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
ФАКУЛТЕТ:



## ИЗВЈЕШТАЈ

*о оцјени урађене докторске дисертације*

### І ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Одлуку о именовању Комисије за преглед и оцјену урађене докторске дисертације, донијело је Научно-наставно вијеће Електротехничког факултета Универзитета у Бањој Луци, број 20/3.268-6/22, 13.05.2022. године.
  2. Комисија у саставу:
    - 1) Проф. др Бранко Докић, професор емеритус, предсједник, Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци
    - 2) Проф. др Бранко Блануша, ментор, редовни професор, Електроника и електронски системи, Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци
    - 3) Проф. др Чедомир Зељковић, члан, ванредни професор, Електроенергетика, Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци
    - 4) Проф. др Жељко Ивановић, члан, ванредни професор, Електроника и електронски системи, Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци
    - 5) Проф. др Игор Крчмар, члан, ванредни професор, Аутоматика и роботика, Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци
    - 6) Проф. др Слободан Лубура, члан, редовни професор, Аутоматика и роботика, Електротехнички факултет, Универзитет у Источном Сарајеву
- 1) Навести датум и орган који је именовао комисију;  
2) Навести састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, научно-наставног звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање и назива универзитета/факултета/института на којем је члан комисије запослен.

### ІІ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Драгана, Јован, Петровић
  2. Рођена 05.01.1977. Нови Сад, Република Србија
  3. Постдипломске магистарске студије завршила је на Факултету техничких наука у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду, на смјеру за електронику и стекла научно звање Магистар техничких наука.
  4. Магистарску тезу под називом „DC UPS са коректором фактора снаге као оптимално решење за непрекидно напајање уређаја ИТ“, одбранила је на Факултету техничких наука у Новом Саду, 08.07.2011. године на смјеру за електронику, уже научне области Примењена електроника.
- 1) Име, име једног родитеља, презиме;  
2) Датум рођења, општина, држава;  
3) Назив универзитета и факултета и назив студијског програма академских студија II циклуса, односно последијепломских магистарских студија и стечено стручно/научно звање;

- 4) Факултет, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране магистарског рада;  
 5) Научна област из које је стечено научно звање магистра наука/академско звање мастера;  
 6) Година уписа на докторске студије и назив студијског програма.

### III УВОДНИ ДИО ОЦЈЕНЕ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов дисертације: „Нови приступ повећању енергетске ефикасности система напајања“

Тему докторске дисертације прихватио је Сенат Универзитета у Бањој Луци, 13.07.2017.

Садржај докторске дисертације:

1. УВОД.....	1
2. СИСТЕМИ НАПАЈАЊА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ ОПРЕМЕ.....	5
2.1. Извори електричне енергије.....	5
2.1.1. Енергија сунца.....	7
2.1.2. Енергија ветра.....	8
2.1.3. Хидроенергија.....	8
2.1.4. Агрегати.....	8
2.2. Енергетски претварачи.....	9
2.3. Акумулациони елементи.....	10
2.4. Ефикасност коришћења енергије.....	11
3. ПРЕГЛЕД СТАЊА У ПРЕДМЕТНОЈ ОБЛАСТИ.....	14
3.1. Технике управљања енергетским претварачима у хибридном системима напајања заснованим на обновљивим изворима енергије.....	14
3.2. Фотонапонски системи.....	21
3.3. Системи са ветроагрегатом.....	26
3.4. Гориве ћелије као извори енергије.....	30
3.5. Хибридни системи напајања.....	33
3.6. Софтверски алат примењен у хибридном системима напајања.....	47
4. РЕАЛИЗАЦИЈА УПРАВЉАЧКОГ МОДУЛА.....	52
4.1. Опис управљачког модула.....	52
4.1.1. Управљање претварачем на који је повезан ФН систем.....	58
4.1.2. Управљање претварачем на који је повезан ветроагрегат.....	67
4.1.3. Правила коришћења батерије.....	69
4.2. Резултати симулације.....	70
5. КВАЛИТЕТ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ У ХИБРИДНИМ СИСТЕМИМА ЗА НАПАЈАЊЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ УРЕЂАЈА.....	73
5.1. Квалитет електричне енергије.....	73
5.2. Електромагнетна компатибилност телекомуникационог система... ..	73
5.2.1. Кондуктивне сметње хибридног система напајања.....	83
5.2.2. Поље сметњи.....	86
6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА.....	88
7. ЗАКЉУЧАК.....	96
ЛИТЕРАТУРА.....	99
БИОГРАФИЈА.....	104
Прилог.....	106
Изјава 1.....	107
Изјава 2.....	108
Изјава 3.....	109

4. Обим дисертације: 122 стране

Број табела: 18



Број слика: 59  
 Број шема: 0  
 Број графикана: 0  
 Број цитиране литературе: 57  
 Број поглавља: 7

- 1) УВОД
- 2) СИСТЕМИ НАПАЈАЊА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНЕ ОПРЕМЕ
- 3) ПРЕГЛЕД СТАЊА У ПРЕДМЕТНОЈ ОБЛАСТИ
- 4) РЕАЛИЗАЦИЈА УПРАВЉАЧКОГ МОДУЛА
- 5) КВАЛИТЕТ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ У ХИБРИДНИМ СИСТЕМИМА  
 ЗА НАПАЈАЊЕ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОНИХ УРЕЂАЈА
- 6) ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА АНАЛИЗА
- 7) ЗАКЉУЧАК

- 1) Наслов докторске дисертације;
- 2) Вријеме и орган који је прихватио тему докторске дисертације
- 3) Садржај докторске дисертације са страничењем;
- 4) Истаћи основне податке о докторској дисертацији: обим, број табела, слика, шема, графикана, број цитиране литературе и навести поглавља.

#### IV УВОД И ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

С обзиром на повећање потребе за коришћењем електричне енергије, Европска унија врши стални утицај и спроводи подстицаје за коришћење обновљивих извора енергије, чему се придружује и Република Србија. Упоредо са истраживањима на обновљивим изворима енергије дефинисане су и процедуре о управљању одрживим изворима енергије и повећању енергетске ефикасности, а уведени су и подстицаји државе да се користе обновљиви извори енергије и да се повећава енергетска ефикасност. Према стандардима ISO 50001:2018 и SRPS EN ISO 14001:2015 један од начина повећања енергетске ефикасности је и коришћење обновљивих извора енергије умјесто необновљивих (фосилних). Захваљујући подстицајима и подизању еколошке свијести, проценат коришћења обновљивих извора енергије је сваке године већи.

Један од основних проблема у примјени обновљивих извора енергије је њихова непредвидивост [1]. Тешко је обезбједити стабилан систем који се ослања само на обновљиве изворе енергије тј. неопходно је, у сваком тренутку, обезбједити потребну енергију за напајање потрошача. Једно од ријешења је предимензионисање система, које се није показало као исплативо рјешење, а други начин је коришћење софистицираних система за складиштење енергије [2]. У данашње вријеме постоје разноврсне технологије за складиштење енергије различите аутономије и капацитета. Хибридни системи напајања, на бази коришћења различитих извора енергије, обезбјеђују разноврстан пренос снаге у циљу оптимизације енергетске ефикасности система и поузданог напајања потрошача.

За успјешан прелазак на коришћење обновљивих извора енергије, неопходно је дизајнирање енергетских система који испуњавају циљеве који се односе на капацитет, доступност, поузданост као и повољан економски сегмент, с тим да је неопходно узети у обзир и циљеве који се баве еколошким и социјалним или друштвено политичким питањима [3].

У литератури су истакнути хибридни системи напајања који користе различите обновљиве изворе енергије и различите методе управљања како би искористивост расположиве енергије била што већа [4]. Коришћењем соларних панела и одговарајућих DC/DC претварача који су управљани контролером на бази фази логике обезбјеђује се одговарајућа искористивост енергије која се добија из сунчеве свјетлости [5]. Контрола управљања код соларних панела заснована је на коришћењу

МППТ (MPPT - *Maximum Power Point Tracking*) алгоритма како би се у сваком тренутку користила максимална снага из обновљивог извора [6]. Уколико извори енергије имају више снаге него што је потребно потрошачима, користе се различити начини складиштења енергије. Примјена гориве ћелије је доказано високо ефикасан електрохемијски метод директног претварања хемијске енергије у електричну енергију чиме се значајно побољшава ефикасност система напајања [7,8]. Прегледом референтне литературе, може се закључити да су интересантни проблеми у реализацији хибридних система за напајање DC потрошача ефикасно кориштење расположиве снаге из обновљивих извора, глатки и брзи преласци са једног извора напајања на други и стабилно напајање потрошача, посебно у прелазним режимима. Ово се остварује избором одговарајуће топологије хибридног система, примјеном претварача једносмјерног напона за повезивање извора напајања са потрошачем и реализацијом управљања којим се обезбјеђује ефикасно и поуздано напајање потрошача.

Комбинацијом различитих извора енергије, са могућношћу њеног складиштења, може се обезбиједити напајање потрошача на локацијама код којих нема расположиве електродистрибутивне мреже. Тренутно су најраспрострањенији изоловани хибридни системи који се састоје од соларних панела, вјетрогенератора и горивих ћелија [9, 10]. При различитим комбинацијама извора енергије, увијек се води рачуна о стабилности излазног напона при брзим промјенама улазне снаге [11]. У докторској дисертацији представљен је систем који користи два извора енергије, соларни систем и вјетрогенератор и батерију као елемент за складиштење енергије. Контролер на бази фази логике омогућава контролу, односно стабилност излазног напона потрошача. На овај начин, потрошачи не осјете прелазне процесе са једног на други извор енергије. Фази логика има четири улаза и један излаз како би се из расположивог извора (соларног система) искористила максимална снага. Контролер бира различите модове рада користећи и MPPT алгоритам уколико је то неопходно [12]. Укључивањем MPPT алгоритма у фази закључивање, повећана је ефикасност коришћења расположивих извора енергије. Батерија се користи као додатни извор енергије само у ситуацијама када укупна снага обновљивих извора није довољна за напајање потрошача. На овај начин, потрошачи су обезбијеђени стабилним напоном и потребном снагом чак и у ситуацији када обновљиви извори не могу да обезбиједе напајање потрошача. Пуњење батерије је омогућено у ситуацијама када обновљиви извори енергије имају више снаге од потребе потрошача.

На овај начин осигурано је ефикасно, стабилно и поуздано напајање потрошача у различитим радним режимима. Овакав систем има глатке прелазне процесе и стабилно напајање потрошача, чак и у случајевима брзе промјене улазних параметара, те као такав представља унапређење сличних система публикованих у референтној литератури.

Описани хибридни систем напајања може да се користи за напајање потрошача у удаљеним (руралним) телекомуникационим објектима у којима нема електродистрибутивне мреже.

Поред тога што треба да обезбиједе поуздан рад потрошача, системи напајања имају и заштитну функцију. При пројектовању хибридног система напајања неопходно је водити рачуна о квалитету и поузданости напајања у зависности од извора напајања, фактору снаге и хармонијских изобличења. Ефикасну препреку електромагнетном зрачењу у области радиофреквенције представљају високопроводни немагнетни материјали. Такође, анализирајући податке о апсорпцији на разним фреквенцијама, закључује се да је добра заштита могућа комбинацијом високопроводних немагнетних материјала обложених са високо-пермеабилним материјалом [13].

За потискивање сметњи у реализованом хибридном систему напајања изабран је Mn-Zn ферит као магнетни материјал и употребљено је велико, посебно дизајнирано

цјевасто феритно језгро са великим централним отвором за провлачење енергетског кабла. Добијени резултати су показали да феритно језгро мијења својства са промјеном фреквенције, а у складу са промјеном броја намотаја и струјом која се пропушта кроз језгро. Облик и величина језгра такође играју важну улогу у индуктивности, радној тачки хистерезисне петље и паразитној капацитивности између намотаја (завоја). На овај начин направљен је индуктивни филтар који се поставља на каблове без коришћења великих кондензатора и ефикасан је за сузбијање сметњи у хибридном системима за напајање. Докторска дисертација обухвата анализу и давање конкретних идеја за напајање потрошача на мјестима који немају могућност напајања из електродистрибутивне мреже. Такође, бави се рјешавањем проблематике ЕМИ зрачења, кондуктивних сметњи и утицаја поља сметњи. Развојем филтра коришћењем Mn-Zn ферита омогућено је сузбијање ЕМИ зрачења што је доказано мјерењима кондуктивних сметњи и спектра поља сметњи.

#### Литература:

- [1] Carrasco JM, Franquelo LG, Bialasiewicz JT, Galvan E, PortilloGuisado RC, Prats MAM, et al. Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: a survey. *IEEE Trans Indus Electron* 2006;53(4):1002–16.
- [2] Denholm P, Kulcinski G. Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. *Energy Convers Manage* 2004;45(13–14):2153–72.
- [3] E.L.V. Eriksson, E.MacA. Gray, Optimization and integration of hybrid renewable energy hydrogen fuel cell energy systems – A critical review, *Applied Energy*, Volume 202, 15 September 2017, Pages 348-364
- [4] Farhan Mumtaz, Nor Zaihar Yahaya, Sheikh Tanzim Meraj, Balbir Singh, Ramani Kannan, Oladimeji Ibrahim, Review on non-isolated DC-DC converters and their control techniques for renewable energy applications, *Ain Shams Engineering Journal*, Available online 14 May 2021.
- [5] Hafsa Abouadane, Abderrahim Fakkar, Youssef Elkouari, David Ouoba, Performance of a new MPPT method for Photovoltaic systems under dynamic solar irradiation profiles, *Energy Procedia*, 21-24 August 2017, Cardiff, UK, *Energy Procedia*, Volume 142, December 2017, Pages 538-544.
- [6] Ardjal A, Merabet A, Bettayeb M, Mansouri R, Labib L. Design and implementation of a fractional nonlinear synergetic controller for generator and grid converters of wind energy conversion system. *Energy* 2019; 186: 115861.
- [7] Al-Khori K, Bicer Y, Koç M. Integration of solid oxide fuel cells into oil and gas operations: needs, opportunities, and challenges. *J Cleaner Prod* 2020;245.
- [8] Mohd Alam, Kuldeep Kumara, Saket Verma, Viresh Dutta, Renewable sources based DC microgrid using hydrogen energy storage: Modelling and experimental analysis, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 42, December 2020.
- [9] M. Talaat, Farahat MA, Elkholy MH. Renewable power integration: Experimental and simulation study to investigate the ability of integrating wave, solar and wind energies. *Energy* 2019; 170: 668–682
- [10] M. Talaat, A. Elgarhy, M.H. Elkholy, M.A. Farahat, Integration of fuel cells into an off-grid hybrid system using wave and solar energy, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 130, September 2021, 106939

- [11] S. Saravanan, S. Thangavel, Instantaneous reference current scheme based power management system for a solar/wind/fuel cell fed hybrid power supply, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 55, February 2014, Pages 155-170.
- [12] D. Petrović, M. Lazić, B. Jovanović Lazić, B. Blanuša, S. Aleksić, Hybrid Power Supply System with Fuzzy Logic Controller: Power Control Algorithm, Main Properties, and Applications, in Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, doi:10.35833/MPCE.2020.000069, 05 April 2021, Pages: 1 - 9.
- [13] D. Petrović, M. Lazić, O. Aleksić, M. V. Nikolić, V. Ibrahimović, M. Pajnić, Mn-Zn ferrite line EMI suppressor for power switching noise in the impulse/high current bias regime, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, Turk J Elec Eng & Comp Sci (2018) 26: 2426 – 2436, doi:10.3906/elk-1710-52

- 1) Укратко истаћи разлог због којих су истраживања предузета и представити проблем, предмет, циљеве и хипотезе;
- 2) На основу прегледа литературе сажето приказати резултате претходних истраживања у вези проблема који је истраживан (водити рачуна да обухвата најновија и најзначајнија сазнања из те области код нас и у свијету);
- 3) Навести допринос тезе у рјешавању изучаваног предмета истраживања;
- 4) Навести очекиване научне и прагматичне доприносе дисертације.

## V МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

У истраживању су примијењене симулације и експерименталне методе. Симулациони модел хибридног система напајања моделован је коришћењем MATLAB/Simulink-а и експериментално верификован у различитим временским условима.

Експериментално су измјерени прелазни процеси у напајању потрошача, са обновљивих извора на батерију и обрнуто. Такође, приказан је и прелаз са једног на други извор енергије без коришћења батерије.

Да би се верификовао пројектовани филтар, експериментално су урађена мјерења кондуктивних и поља сметњи са и без предложеног филтра. Резултати су показали потискивање шума у мјереном опсегу.

Основне научне методе примијењене у раду су:

- Прикупљање, анализа и систематизација доступне литературе.
- Анализа различитих система напајања који садрже један или више обновљивих извора енергије.
- Пројектовање и реализација филтра за потискивање кондуктивних сметњи.
- Реализација система за повезивање два обновљива извора енергије и батерије.
- Анализа рада реализованог хибридног система при промјенама улазних величина, односно при различитим условима рада.

Истраживање је изведено примјеном адекватних метода истраживања и на основу предвиђеног плана, којим су остварени постављени циљеви.

Верификација резултата извршена је објављивањем резултата истраживања у научним часописима са SCI листе:



1. Dragana J. Petrović, Miroslav M. Lazić, Obrad S. Aleksić, Maria V. Nikolić, Vedran B. Ibrahimović, Milan M. Pajnić, "A round cable Mn-Zn ferrite EMI suppressor for power switching noise in the impulse/high current bias regime", *Turkish journal of electrical engineering & computer science*, ELK-1710-52, 2018.

2. D. Petrović, M. Lazić, B. Jovanović Lazić, B. Blanuša, S. Aleksić, "Hybrid Power Supply System with Fuzzy Logic Controller: Power Control Algorithm, Main Properties, and Applications, in *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, doi:10.35833/MPCE.2020.000069, 05 April 2021, Pages: 1 - 9.

- 1) Објаснити материјал који је обрађиван, критеријуме који су узети у обзир за избор материјала;
- 2) Дати кратак увид у примјењени метод истраживања при чему је важно оцијенити следеће:
  1. Да ли су примјењене методе истраживања адекватне, довољно тачне и савремене, имајући у виду достигнућа на том пољу у свјетским нивоима;
  2. Да ли је дошло до промјене у односу на план истраживања који је дат приликом пријаве докторске тезе, ако јесте зашто;
  3. Да ли испитивани параметри дају довољно елемената или је требало испитивати још неке, за поуздано истраживање;
  4. Да ли је статистичка обрада података адекватна.

## VI РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ИСТРАЖИВАЊА

Најзначајнији резултат добијен у докторској дисертацији је реализовани хибридни систем за повезивање два обновљива извора енергије и батерије који може бити примјењен за напајање телекомуникационих објеката код којих није доступна електродистрибутивна мрежа. Доказано је да се телекомуникациони потрошачи, који захтијевају стабилно напајање, могу напајати употребном обновљивих извора енергије и батерије. Ефикасно коришћење енергије из обновљивих извора постигнуто је коришћењем DC/DC претварача којима се управља помоћу контролера на бази фази логике. Анализом различитих ситуација у које може да се постави систем, дефинисана је фази логика са четири улазне и једном излазном промјенљивом за један мод рада реализованог система напајања. Експерименталним резултатима је показана стабилност излазног напона у прелазним процесима и при варирању снаге која се добија из извора напајања. Поређењем са другим резултатима објављеним у референтној литератури и на сличну тематику, овај систем показује подједнако брз прелаз при промјени улазних параметара система, али глатке прелазне процесе и већу стабилност напона на потрошачу.

Кандидаткиња је јасно приказала добијене резултате, те их правилно, логично и јасно протумачила. Анализом реализованог рјешења, кандидаткиња је испољила довољно критичности и показала да приказано рјешење представља нову могућност реализације напајања, посебно у удаљеним објектима који немају прикључак на електроенергетску мрежу.

- 1) Укратко навести резултате до којих је кандидат дошао;
- 2) Оцијенити да ли су добијени резултати јасно приказани, правилно, логично и јасно тумачени, упоређујући са резултатима других аутора и да ли је кандидат при томе испољавао довољно критичности;
- 3) Посебно је важно истаћи до којих нових сазнања се дошло у истраживању, који је њихов теоријски и практични допринос, као и који нови истраживачки задаци се на основу њих могу утврдити или назирати.

## VII ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације Драгане Петровић, магистра техничких наука, закључујемо да је ова докторска дисертација самостални рад кандидата и да садржи све елементе научног приступа и оригиналне резултате у рјешавању проблема стабилног напајања телекомуникационих објеката, уз повећање енергетске ефикасности коришћења обновљивих извора енергије.

Кандидат је постигао постављене циљеве и доказао хипотезу да је могуће реализовати стабилно напајање телекомуникационих објеката коришћењем обновљивих извора енергије и употребом батерије као акумулативног елемента у условима промјењивих улазних параметара. Описано и реализовано рјешење је могуће искористити на телекомуникационим објектима на којима није присутна електродистрибутивна мрежа.

Резултати истраживања представљени су и стручној међународној јавности, тако да су из теме докторске дисертације објављена 2 научна рада у часописима са SCI листе.

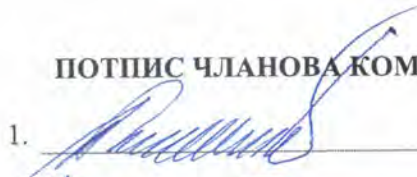
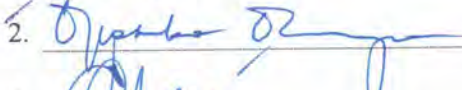

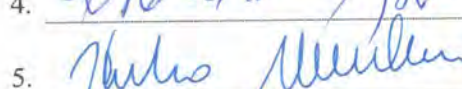
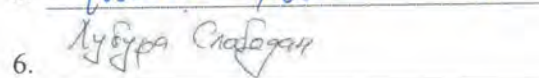
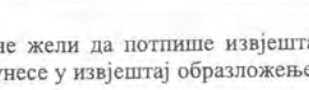
На основу укупне оцјене дисертације комисија предлаже да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана.

- 1) Навести најзначајније чињенице што тези даје научну вриједност, ако исте постоје дати позитивну вриједност самој тези;
- 2) На основу укупне оцјене дисертације комисија предлаже:
  - да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана,
  - да се докторска дисертација враћа кандидату на дораду (да се допуни или измијени) или
  - да се докторска дисертација одбија.

Датум: \_\_\_\_\_

12.08.2022.

## ПОТПИС ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. 
2. 
3. 
4. 
5. 
6. 

ИЗДВОЈЕНО МИШЉЕЊЕ: Члан комисије који не жели да потпише извјештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извјештај образложење, односно разлог због којих не жели да потпише извјештај.