

## ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p><b>27.02.2020. године, Декан Факултета техничких наука у Новом Саду, на основу Одлуке Наставно Научног већа факултета, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, решење број: 012-199/5-2019</b></p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>др Слободан Дудић</b>, ванредни професор, УНО: Мехатроника, роботика, аутоматизација и интегрисани системи, датум избора у звање: 25.09.2017. године, Факултет техничких наука у Новом Саду, председник комисије;</li> <li>2. <b>др Ивана Миленковић</b>, ванредни професор, УНО: Мехатроника, роботика, аутоматизација и интегрисани системи, датум избора у звање: 18.02.2020. године, Факултет техничких наука у Новом Саду, члан;</li> <li>3. <b>др Милан Рапаић</b>, ванредни професор, УНО: Аутоматика и управљање системима, датум избора у звање: 07.10.2016. године, Факултет техничких наука у Новом Саду, члан;</li> <li>4. <b>др Владислав Благојевић</b>, ванредни професор, УНО: Производни системи и технологије, датум избора у звање: 30.05.2016. године, Машински факултет у Нишу, члан;</li> <li>5. <b>др Драган Шешлија</b>, редовни професор, УНО: Мехатроника, роботика, аутоматизација и интегрисани системи, датум избора у звање: 04.10.2007. године, Факултет техничких наука у Новом Саду, ментор.</li> </ol>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: <b>Вуле, Лука, Рељић</b></li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: 21.06.1990. године, Власеница, Република Српска (БиХ)</li> <li>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив <b>Факултет техничких наука у Новом Саду, Студијски програм: Мехатроника, Мастер инжењер мехатронике</b></li> <li>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија <b>2014., Факултет техничких наука у Новом Саду, Студијски програм: Мехатроника</b></li> <li>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -</li> <li>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -</li> </ol>

### III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Даљинско управљање дигиталном пнеуматиком у концепту Индустије 4.0

### IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација под насловом „Даљинско управљање дигиталном пнеуматиком у концепту Индустије 4.0“, кандидата Вулета Рељића, садржи укупно 5 поглавља на 127 страница куцаног текста, укључујући и прилоге. У дисертацији је приказано укупно 78 слика, 22 табеле и 4 графикона, а дато је и 5 прилога. Списак коришћене литературе обухвата укупно 167 референци. Главном делу дисертације претходи документација на 13 страница која садржи:

- Насловну страницу дисертације (1 страница),
- Кључну документацијску информацију на српском језику, са изводом и кључним речима (1 страница),
- Кључну документацијску информацију на енглеском језику, са изводом и кључним речима (1 страница),
- Посвету (1 страница),
- Захвалницу (1 страница),
- Садржај (2 странице),
- Резиме на српском језику (1 страница),
- Резиме на енглеском језику (1 страница),
- Списак слика (2 странице),
- Списак табела (1 страница), и
- Списак графикона (1 страница).

Главни део документације обухвата следеће елементе:

- ПОГЛАВЉЕ 1 – УВОД (19 страница)
  - 1.1 Индустија 4.0
    - 1.1.1 *Флексибилност производних система*
    - 1.1.2 *Поузданост производних система*
  - 1.2 Даљинско управљање
  - 1.3 Пнеуматски управљачки системи
  - 1.4 Предмет истраживања
  - 1.5 Циљ истраживања и очекивани резултати
  - 1.6 Преглед дисертације по поглављима
- ПОГЛАВЉЕ 2 – ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ И ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ (21 страница)
  - 2.1 Пнеуматско управљање
    - 2.1.1 *ON-OFF управљање*
    - 2.1.2 *Регулација брзине кретања пнеуматских радних елемената*
    - 2.1.3 *Регулација притиска у управљачком систему*
    - 2.1.4 *Дигитална пнеуматика*
- ПОГЛАВЉЕ 3 – ИСТРАЖИВАЊЕ (53 странице)
  - 3.1 Методологија истраживања
    - 3.1.1 *Фазе истраживања*
    - 3.1.2 *Истраживачке методе*
    - 3.1.3 *Лабораторије и опрема за експериментални рад*
  - 3.2 Експеримент 1: Даљински управљан пнеуматски кружни манипулатор
    - 3.2.1 *Хардверска реализација пнеуматског кружног манипулатора*
    - 3.2.2 *Софтверска реализација пнеуматског кружног манипулатора*
    - 3.2.3 *Управљачки алгоритам*
  - 3.3 Експеримент 2: Даљински управљана пнеуматска опруга
    - 3.3.1 *Опруге као машински елементи*
    - 3.3.2 *Хардверска реализација пнеуматске опруге*
    - 3.3.3 *Софтверска реализација пнеуматске опруге*

- 3.3.4 *Управљачки алгоритам*
- 3.4 Експеримент 3: Уређај за даљинску регулацију протока ваздуха под притиском
  - 3.4.1 *Хардверска реализација уређаја за даљинску регулацију протока ваздуха под притиском*
  - 3.4.2 *Софтверска реализација уређаја за даљинску регулацију протока ваздуха под притиском*
  - 3.4.3 *Управљачки алгоритам*
  - 3.4.4 *Даљински управљан пригушно-неповратни вентил*
- 3.5 Експеримент 4: Даљински управљан дигитални флуидни погон
  - 3.5.1 *Хардверска реализација система*
  - 3.5.2 *Софтверска реализација система*
  - 3.5.3 *Управљачки алгоритам*
  - 3.5.4 *Даљински управљан регулатор притиска*
  - 3.5.5 *Подсистем за детекцију предмета рада*
  - 3.5.6 *Идејно софтверско рјешење*
- ПОГЛАВЉЕ 4 – АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА (15 страница)
  - 4.1 Надградња постојећих пнеуматских управљачких система
    - 4.1.1 *Даљинско управљање кретањем пнеуматских радних елемената*
    - 4.1.2 *Даљинска регулација притиска у пнеуматским управљачким системима*
    - 4.1.3 *Даљинска регулација протока у пнеуматским управљачким системима*
  - 4.2 Развој флексибилног, дигиталног пнеуматског управљачког система
- ПОГЛАВЉЕ 5 – ЗАКЉУЧЦИ И ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА (3 странице)
- ЛИТЕРАТУРА (8 страница)
- ПРИЛОГ (8 страница)

## **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

У уводном делу докторске дисертације (**ПОГЛАВЉЕ 1- УВОД**) детаљно је приказан предмет истраживања, тако што је прво дефинисан основни концепт Индустрије 4.0, са посебним акцентом на флексибилност и поузданост производних система, а затим су приказане основне поставке даљинског управљања системима. Даљинско управљање данас, веома често представља саставни део индустријских процеса јер се, у складу са сталном потребом за прилагођавањем новим захтевима тржишта, јавља потреба за изменама у управљачким поступцима у реалном времену, чак и са удаљене локације. У наставку уводног дела, приказани су пнеуматски управљачки системи, који су међу најзаступљенијим у савременим индустријским процесима, захваљујући својој способности да се прилагоде новим рачунарским и електронским технологијама. На тај начин, идући од ширег ка ужем, позициониран је и јасно дефинисан предмет истраживања, а у складу са њим дефинисане су и истраживачке хипотезе, као и очекивани резултати истраживања.

Дефинисани проблем истраживања је актуелан, и истраживачке хипотезе су јасно дефинисане.

У другом делу докторске дисертације (**ПОГЛАВЉЕ 2 – ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ И ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ**), дат је приказ актуелног стања у области истраживања. Детаљно су приказане основне поставке пнеуматског управљања, са посебним освртом на традиционално ON-OFF управљање (управљање кретањем пнеуматских актуатора), управљање по сили (регулација радног притиска у пнеуматским управљачким системима), управљање по брзини (регулација протока у пнеуматским управљачким системима) и управљање кретањем и позиционирањем актуатора коришћењем паралелног повезивања или прекидачких технологија (дигитална пнеуматика).

Преглед актуелног стања у области је систематичан и одговарајући.

У трећем делу докторске дисертације (**ПОГЛАВЉЕ 3 - ИСТРАЖИВАЊЕ**) приказане су истраживачке методе и фазе истраживања. Детаљно су приказана четири развијена експериментална постројења:

- Даљински управљан пнеуматски кружни манипулатор,
- Даљински управљана пнеуматска опруга
- Уређај за даљинску регулацију протока ваздуха под притиском, и
- Даљински управљан дигитални флуидни погон.

За свако од развијених експерименталних постројења, детаљно су описане његова хардверска (развој механичке конструкције постројења, начин функционисања, и слично) и софтверска реализација (корисничка апликација, примена SEyeClon платформе за даљинско управљање, програмски код за одговарајући контролер, и слично), а дати су и одговарајући управљачки алгоритми. Додатно, у свим случајевима, реализоване су одговарајуће пнеуматске управљачке шеме. Посебна пажња посвећена је приказу развоја нових компоненти, даљински управљаног пригушно-неповратног вентила и даљински управљаног регулатора притиска. За новоразвијене компоненте су предложени и нови симболи.

Развој експерименталних постројења објашњен је јасно и недвосмислено. Експерименталне поставке су постављене адекватно.

У четвртном делу докторске дисертације (**ПОГЛАВЉЕ 4 – АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА**) приказани су добијени резултати и урађена је одговарајућа дискусија. Први део дискусије посвећен је доказу хипотезе 1, која говори о томе да је постојеће пнеуматске системе могуће надградити тако да се, даљинским путем, омогући управљање кретањем пнеуматских актуатора и промена управљачких параметара (радни притисак и проток) како би се остварило даљинско управљање по сили, односно по брзини. Дат је критички осврт на постојећа софтверска решења за даљинско управљање и дефинисане су основне предности изабране SEyeClon платформе. Посебно су анализирани новоразвијене компоненте, даљински управљан регулатор притиска и даљински управљан пригушно-неповратни вентил, и дефинисани су начини за њихово побољшање како би, у будућности, постале комерцијално доступне на тржишту. Други део дискусије посвећен је доказу хипотезе 2, који говори о томе да је могуће, пнеуматски систем развити тако да буде искључиво софтверски реконфигурабилан, без физичке замене компоненти, са могућношћу директне промене управљачких параметара у току процеса рада, чак и даљинским путем, у складу са тренутним захтевом. Тиме се постиже ниво флексибилности који је потребан да се задовоље основни концепти Индустије 4.0. У складу са тим, развијен је и модел за даљинско управљање дигиталним пнеуматским системима у склопу Индустије 4.0.

Дискусија добијених резултата представљена је на јасан и разумљив начин. Констатација доказа постављених хипотеза је оправдана.

У последњем делу докторске дисертације (**ПОГЛАВЉЕ 5 – ЗАКЉУЧЦИ И ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА**) још једном је приказан проблем истраживања и изведени су најважнији закључци. Такође, приказани су и правци даљих истраживања који подразумевају унапређене новоразвијених компоненти, даљински управљаног регулатора притиска и даљински управљаног пригушно-неповратног вентила, као и унапређење постојећих управљачких алгоритама како би се у потпуности елиминисала грешка позиционирања актуатора. Поред тога, дефинисан је начин примене развијеног модела за даљинско управљање дигиталним пнеуматским системима у савременим, комплексним аутоматизованим ћелијама, у циљу додатног побољшања производног процеса.

Закључци јасно сажимају главне доприносе дисертације. Такође, представљени су и смислени правци даљих истраживања.

**VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

1. **V. Reljić**, I. Milenković, B. Bajči, D. Šešlija, J. Šulc, „Remotely controlled compressed air spring- Design and implementation for distance education,“ Computer Applications in Engineering Education, Vol. 26, No. 6, pp. 2131– 2140, 2018., ISSN 1061-3773 (**M22; Engineering, Multidisciplinary; 44/88; IF 2018 = 1,435**)
2. J. Šulc, B. Bajči, **V. Reljić**, I. Milenković, D. Šešlija, S. Dudić, „Automatic manipulator for remote measurement of linear dimensions—development and integration in education courses,“ Computer Applications in Engineering Education., Vol. 26, No. 4, pp. 947–958, 2018., ISSN 1061-3773 (**M22; Engineering, Multidisciplinary; 44/88; IF 2018 = 1,435**)
3. **V. Reljić**, D. Šešlija, I. Milenković, B. Bajči, S. Dudić, J. Šulc, „Concept of remotely controlled digital pneumatic system in accordance with Industry 4.0 approach,“ 5th Experiment@ International Conference (exp.at'19), University of Madeira, Funchal (Madeira Island), Portugal, June 12, 2019 - June 14, 2019, pp. 419–423 (**M33**)
4. B. Bajči, S. Dudić, J. Šulc, **V. Reljić**, D. Šešlija, I. Milenković, „Demonstration: Using Remotely Controlled One-Way Flow Control Valve for Speed Regulation of Pneumatic Cylinder,“ 15th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2018), University of Applied Sciences, Duesseldorf, Germany, March 21, 2018 - March 23, 2018, pp. 144–152 (**M33**)
5. **V. Reljić**, B. Bajči, J. Šulc, D. Šešlija, S. Dudić, „Remote Control of Pneumatic Circular Manipulator Using CEyeClon Platform,“ 4th Experiment@ International Conference (exp.at'17), University of Algarve, Faro, Portugal, June 6, 2017 – June 8, 2017, pp. 103–104 (**M33**)
6. J. Šulc, **V. Reljić**, B. Bajči, D. Šešlija, T. Buač, „Development of Pneumatic Valve Remote Control,“ 8th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology - ICET, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia, June 8, 2017 - June 10, 2017, pp. 1–4 (**M33**)
7. B. Bajči, S. Dudić, J. Šulc, I. Milenković, D. Šešlija, **V. Reljić**, „Remote system for measuring geometric tolerances: Roundness,“ 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2016), UNED Madrid, Madrid, Spain, February 24, 2016 - February 26, 2016, pp. 285–286 (**M33**)
8. **V. Reljić**, B. Bajči, J. Šulc, D. Šešlija, S. Dudić, „Remote control of pneumatic circular manipulator using CompactRIO controller,“ 6th International Conference Technics and Informatics in Education – TIE 2016, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, May 28, 2016 – May 29, 2016, pp. 385–390 (**M33**)
9. **V. Reljić**, P. Vidicki, B. Bajči, D. Šešlija, J. Šulc, „Using of remote controlled pneumatic spring in teaching,“ 6th International Conference Technics and Informatics in Education – TIE 2016, Faculty of Technical Sciences, Čačak, Serbia, May 28, 2016 – May 29, 2016, pp. 391–396 (**M33**)
10. **V. Reljić**, D. Šešlija, J. Šulc, B. Bajči, S. Dudić, I. Milenković, „Modular Construction of Circular Manipulator as a Test Bed for Testing Pneumatic Control,“ 9th International Symposium KOD 2016 - Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Faculty of Engineering, Hunedoara, Faculty of Engineering, Szeged, Balatonfüred, Hungary, June 9, 2016- June 12, 2016, pp. 225–228 (**M33**)

11. **V. Reljić**, B. Bajčić, I. Milenković, J. Šulc, D. Šešlija, S. Dudić, „Development of an experimental setup for remote testing of pneumatic control,“ International Journal of Online Engineering, Vol. 14, No. 1, 2018., ISSN 1861-2121 **(M53)**
12. **V. Reljić**, I. Milenković, D. Šešlija, S. Dudić, J. Šulc, „Development of Remote Controlled Pneumatic Spring,“ 12th International Scientific Conference MMA 2015 - Flexible Technologies, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia, September 25, 2015 - September 26, 2015, pp. 195–198. **(M63)**
13. **V. Reljić**, D. Šešlija, C. Dudić, I. Milenković, J. Šulc, B. Bajčić, „Управљање на даљину пнеуматским кружним манипулатором,“ XXII скуп „Трендови развоја: Нове технологије у настави – ТРЕНД 2016“, Факултет техничких наука, Златибор, Србија, 16. фебруар, 2016 - 19. фебруар, 2016, pp. 1–4. **(M63)**
14. **V. Reljić**, B. Bajčić, J. Šulc, C. Dudić, I. Milenković, D. Šešlija, „Уређај за даљинску регулацију ваздуха под притиском,“ Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, 2018. **(M85)**
15. **V. Reljić**, I. Milenković, D. Šešlija, J. Šulc, C. Dudić, „Даљински управљана пнеуматска опруга,“ Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, 2015. **(M85)**

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

У склопу ове докторске дисертације, потврђене су постављене истраживачке хипотезе.

Доприноси ове докторске дисертације су следећи:

- Показано је на који начин је могуће постојеће пнеуматске управљачке системе надградити тако да се даљинским путем омогући управљање кретањем пнеуматских актуатора, даљинско управљање по сили (даљинска регулација радног притиска) и даљинско управљање по брзини (даљинска регулација протока).
- Показано је на који начин је могуће развити флексибилни, дигитални пнеуматски управљачки систем, који може да оствари већи број функција, као и савремена дигитална вентилска острва, и који је искључиво софтверски реконфигурабилан (не долази до физичке замене компоненти), Притом, има могућност измене управљачких параметара, током самог процеса рада, чак и са удаљене локације.
- Развијене су нове компоненте – даљински управљан пригушно-неповратни вентил и даљински управљан регулатор притиска, и тестирана је њихова функционалност. За новоразвијене компоненте су предложени и одговарајући симболи.
- Развијен је модел за даљинско управљање дигиталним пнеуматским системима, у концепту Индустије 4.0, који се може применити на различите системе.

Примена резултата добијених истраживањем у оквиру ове докторске дисертације могућа је у свим индустријским, а потом и неиндустријским системима, у којима постоје пнеуматски актуатори.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Сви резултати истраживања приказани су на адекватан начин, систематично и прегледно. Закључци који су проистекли из истраживања су аргументовани и јасни.

Рад је проверен у претраживачу *Google*, тако што су сви делови текста дисертације проверавани да ли постоји плагијаризам и утврђено је да докторска дисертација кандидата Вулета Рељића представља оригинални допринос.

Напомена: Овакав начин провере на плагијаризам је урађен, имајући у виду чињеницу да софтвер за детекцију плагијаризма *iThenticate* није био на располагању због недостатка лиценци за његово коришћење.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Да.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Главни допринос докторске дисертације је развој модела за даљинско управљање дигиталним пнеуматским системима у концепту Индустрије 4.0. Показано је како је могуће постојеће пнеуматске системе надградити тако да се омогући даљинско управљање кретањем пнеуматских актуатора, даљинско управљање по сили (даљинска регулација радног притиска) и даљинско управљање по брзини (даљинска регулација протока). Ово је веома значајно будући да није реално очекивати масовну изградњу нових, „ pamетних“ фабрика а притом је потребно, на неки начин, прилагодити постојеће савременим трендовима које доноси Индустрија 4.0. Даље, показано је како је могуће развити флексибилан, дигитални пнеуматски управљачки систем који има могућност реализације већег броја функција, као што су:

- даљинско управљање одводом и доводом ваздуха под притиском,
- даљинско управљање кретањем и позиционирањем пнеуматских актуатора,
- даљинска регулација протока у систему,
- даљинска регулација притиска у систему, и слично.

Све ове функције реализују се искључиво софтверском променом управљачких параметара, без физичке замене компоненти система, у току самог процеса рада. На тај начин, систем постиже онај ниво флексибилности који је потребан да се задовољи основни концепт Индустрије 4.0.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања.

У докторској дисертацији нису уочени недостаци који би утицали на резултат истраживања.

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
- да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана

У Новом Саду, 27.03.2020.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

**др Слободан Дудић**, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник

---

**др Ивана Миленковић**, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

---

**др Милан Рапаић**, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

---

**др Владислав Благојевић**, ванредни професор,  
Машински факултет, Ниш, члан

---

**др Драган Шешлија**, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.