



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

Јасмина М. Миљојковић

**МОДЕЛ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ
НАСТАВНОГ ПРОЦЕСА У ОБЛАСТИ
ИНЖЕЊЕРСТВА ЗАСНОВАН НА
ПРИМЕНИ МОДУЛАРНИХ
ЛАБОРАТОРИЈСКИХ СЕТОВА**

Докторска дисертација

Крагујевац, 2023.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF ENGINEERING

Jasmina M. Miljojković

**A MODEL FOR IMPROVING THE
PROCESS OF EDUCATION IN THE FIELD
OF ENGINEERING BASED ON THE
APPLICATION OF MODULAR
LABORATORY SETS**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2023

Аутор	
Име и презиме:	Јасмина Миљојковић
Датум и место рођења:	19.08.1971, Крагујевац
Садашње запослење:	Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Докторска дисертација	
Наслов: Модел за унапређење наставног процеса у области инжењерства заснован на примени модуларних лабораторијских сетова	
Број страница:	182
Број слика:	61
Број библиографских података:	333
Установа и место где је рад израђен: Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука	
Научна област (УДК): 62:005, 378.147::62-051, 62-047.42:62-112-024.24	
Ментор: Др Бранко Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу	
Оцена и одбрана	
Датум пријаве теме: 05.10.2020.	
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: IV-04-93/11, 10.02.2021.	
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:	
<ol style="list-style-type: none"> Др Катица Шимуновић, редовни професор, Стројарски факултет у Славонском броду, Свеучилиште у Славонском броду, уже научне области: квантитативне методе и операциона истраживања, дизајн и анализа експеримента, методологија научноистраживачког рада, управљање материјалима, ERP системи Др Милан Ерић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, уже научна област: производно машинство Др Бранко Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, уже научне области: производно машинство, индустријски инжењеринг Др Ђорђе Вукелић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, уже научне области: метрологија, квалитет, еколошко инжењерски аспекти, алати и прибори Др Миладин Стефановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, уже научне области: производно машинство, индустријски инжењеринг. 	
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:	
<ol style="list-style-type: none"> Др Миладин Стефановић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; уже научне области: производно машинство и индустријски инжењеринг Др Милан Ерић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу; уже научна област: производно машинство Др Ђорђе Вукелић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду; уже научне области: метрологија, квалитет, еколошко инжењерски аспекти, алати и прибори 	
Датум одбране докторске дисертације:	

ЗАХВАЛНИЦА

Академик Владета Јеротић ми је једном приликом, током припрема за интервју из мојих новинарских дана, на уобичајено питање „Како сте?“, иако већ дубоко у трећем добу, одговорио: „Добро сам. Бог ме чува, јер се чудим и дивим.“ Много година касније, сећање на те речи пробудио је ентузијазам, по годинама доста млађег, али по истраживачком и инжењерском искуству такође „сениора“, проф. др Бранка Тадића. Начин на који се проф. Тадић и данас „чуди и диви“ сваком новом резултату научних истраживања или инжењерских подухвата инспирисао је многе његове сараднике. Захвална сам свом ментору на пренетом знању и уложеној енергији.

Захвална сам и свом ментору саветнику, проф. др Милану Ерићу, који ме је током докторских студија мудро и добронамерно усмеравао, чинећи да препреке делују савладиво, као и проф. др Ђорђу Вукелићу на бескрајном стрпљењу и помоћи. Проф. др Миладину Стефановићу захваљујем на несебичном ангажовању и изузетно корисним сугестијама.

Током докторских студија, у развоју веб платформе и истраживачком раду, имала сам дивну сарадњу са програмерима Браниславом Георгијевићем и Јованом Ковачевићем, као и са колегама на студијама, данас докторима наука, Владимиром Кочовићем и Соњом Костић. Захваљујем и наставницима и колегама из ненаставне јединице који су ме подржавали, „неверним Томама“ што су ме додатно мотивисали, као и студентима Факултета инжењерских наука на сарадњи при спровођењу анкета, тестирању учила и веб платформе и искреним коментарима.

Ветар у леђа сам добијала од сестре и мајке, а када је бура, моје сидро је био супруг. Супругу и деци сам захвална на стрпљењу и разумевању и што су ту – да их волим и да ме воле.

И, да се не заборави наслеђе једног талентованог питомца Војнотехничког завода, захваљујем оцу што би, да је још увек ту, и он био поносан.

*У Крагујевцу,
Јун 2023.*

Аутор

РЕЗИМЕ

У дисертацији је представљен модел за унапређење процеса лабораторијских вежби заснован на развоју и имплементацији модуларних лабораторијских сетова, са циљем да се, уз постизање максималних техно-економских ефеката, студентима омогући самосталан истраживачки рад, од нивоа доказа основних физичких закона до нивоа решавања сложених теоријских, експерименталних, истраживачких и инжењерских проблема. Развоју модела претходе анализа јачине и структуре везе између квантитативних показатеља улазног знања и других утицајних параметара и анализа захтева заинтересованих страна који се односе на процес лабораторијских вежби. На основу теоријског концепта модуларног сета, техничко решење је базирано на стандардним алуминијумским профилима са великим бројем технолошких база, које преко елемената растављивих веза омогућавају имплементацију великог броја стандардних машинских елемената и формирање функционалних целина. Постизањем реконфигурабилности радног простора остварена је и модуларност у ширем смислу. Будући да значајан аспект у креирању потпуне подршке лабораторијским вежбама представља систем за аквизицију, приказ и чување резултата лабораторијских мерења, развијена је вишеслојна веб апликација, чијом применом су максимизирани предности које пружа веб окружење, укључујући стварање услова за креирање индивидуалних путања учења. На основу статистичке анализе резултата процене исхода учења, у раду су разматрани ефекти имплементације модуларних сетова у програм лабораторијских вежби.

Кључне речи: експеримент, образовање инжењера, лабораторијске вежбе, модуларни системи, учење на бази директног руковања, веб апликације

ABSTRACT

The dissertation presented a model for improving the process of laboratory exercises based on the development and implementation of modular laboratory sets, with the aim of enabling students to conduct research independently, from the level of proving the fundamental physical laws to the level of solving complex theoretical, experimental, research and engineering problems, while achieving maximum techno-economic effects. The development of the model is preceded by an analysis of the strength and structure of the connection between quantitative indicators of input knowledge and other influential parameters, as well as an analysis of the requirements of interested parties related to the process of laboratory exercises. Based on the theoretical concept of the modular set, the technical solution is based on standard aluminium profiles with a large number of technological bases, which, through elements of detachable connections, enable the implementation of a large number of standard machine elements and the formation of functional units. In a broader sense, modularity was also achieved based on the re-confirmability of workstations. As a significant aspect in the creation of complete support for laboratory exercises is the system for the acquisition, display and storage of the results of laboratory measurements, a multi-layered web application was developed, which maximised the advantages provided by the web environment, including the conditions for the creation of personalized learning paths. Based on the statistical analysis of learning outcomes assessment results, the effects of the implementation of modular sets in the program of laboratory exercises were discussed in the paper.

Keywords: experiment, engineering education, laboratory exercises, modular systems, hands-on learning, web applications

САДРЖАЈ

1. УВОД	13
1.1. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА	14
1.2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ИСТРАЖИВАЊА.....	14
1.3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ	16
1.4. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА	16
1.5. ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ	17
1.6. ПРОШИРЕНИ САДРЖАЈ РАДА	18
2. ЕВОЛУЦИЈА НАУКЕ И ЕКСПЕРИМЕНТА	20
2.1. УЛОГА ЕКСПЕРИМЕНТА У РАЗВОЈУ НАУЧНОГ МЕТОДА	21
2.2. СИНЕРГИЈА МАТЕМАТИКЕ И ФИЗИКЕ; ЕКСПЕРИМЕНТ КАО ДЕМОНСТРАЦИЈА ПРИРОДНИХ ЗАКОНА И НАУЧНИХ ДОСТИГНУЋА.....	23
2.3. КАДА ЈЕ ЗНАЊЕ ПОСТАЛО КАПИТАЛ	24
3. ЗНАЧАЈ И УЛОГА ЕКСПЕРИМЕНТА У ОБРАЗОВАЊУ ИНЖЕЊЕРА	29
3.1. ШТА ЈЕ ДОНЕО 20. ВЕК	29
3.2. ГЛАС ИНДУСТРИЈЕ АРТИКУЛИСАН КРОЗ „БОИНГОВУ ЛИСТУ“	30
3.3. ОДГОВОР <i>АВЕТ</i> -А НА БОИНГОВУ ЛИСТУ	31
3.4. <i>CDIO</i> ИНИЦИЈАТИВА – ОДГОВОР ЛИДЕРА НА ЗАХТЕВЕ ИНДУСТРИЈЕ.....	32
3.5. ГЛАС МАШИНСКИХ ИНЖЕЊЕРА У „ <i>ASME STRATEGY VISION 2030</i> “	33
3.6. ГЛАС СТУДЕНАТА У <i>TUEE</i> ИЗВЕШТАЈУ	34
3.7. УЛОГА ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ У ОСТВАРИВАЊУ ИСХОДА УЧЕЊА	36
3.7.1. Дефинисање исхода учења и компетенција у Европском образовном подручју.....	37
3.7.2. Веза између исхода учења, компетенција и лабораторијских вежби	41
3.8. УЛОГА ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ У РАЗЛИЧИТИМ КОНЦЕПТИМА ТРАНСФЕРА ЗНАЊА.....	44
3.9. ЦИЉЕВИ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ	49
4. ПРЕГЛЕД СТАЊА У ОБЛАСТИ ИСТРАЖИВАЊА	53
4.1 ПРЕПОЗНАТИ ПРОБЛЕМИ У СВЕТУ	53
4.1.1 Примери примењених решења	56
4.1.1.1 Примена нових метода над постојећом опремом.....	56
4.1.1.2 Иновативна нискобуџетна решења и развој сопствене опреме.....	58
4.2 ЛИДЕРИ У ОБРАЗОВАЊУ ИНЖЕЊЕРА – ПРИМЕРИ ДОБРЕ ПРАКСЕ НА <i>MIT</i> -У	61
4.3 РАЗВОЈ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ОПРЕМЕ НА ФАКУЛТЕТУ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА	65
5. АНАЛИЗА УТИЦАЈНИХ ПАРАМЕТАРА И ЗАХТЕВА У ВЕЗИ СА ПРОЦЕСОМ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ	67
5.1. АНАЛИЗА УТИЦАЈА УЛАЗНОГ ЗНАЊА.....	69
5.1.1. Закључци анализе.....	78
5.2. ЗАХТЕВИ НАСТАВНИКА	79
5.3. ЗАХТЕВИ КУРИКУЛУМА.....	81
5.4. ЗАХТЕВИ СТУДЕНАТА	85
5.4.2. Захтеви студената за креирање лабораторијске вежбе и система.....	85
5.4.3. Захтеви студената за додатном лабораторијском опремом	86
6. ТЕОРИЈА И ДИЗАЈН ЕКСПЕРИМЕНТА	89

7. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА КОНЦЕПТА И ОПТИМИЗАЦИЈА МОДУЛАРНИХ СИСТЕМА УЧИЛА	92
7.1. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА КОНЦЕПТА МОДУЛАРНИХ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ СИСТЕМА	94
7.2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА МОДУЛАРНОГ СЕТА	96
8. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА МОДУЛАРНОГ СЕТА У ПРОГРАМ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ.....	99
8.1. ПРИМЕНА ПРИНЦИПА МОДУЛАРНОСТИ У РАЗВОЈУ МОДУЛАРНОГ ТРИБОМЕТРА	105
8.1.1. <i>Мogućности надоградње у области испитивања статичког трења</i>	<i>107</i>
8.1.2. <i>Мogućности надоградње у области испитивања кинематског трења и верификација резултата примене новог модула.....</i>	<i>109</i>
8.2. ЗАХТЕВИ, АРХИТЕКТУРА И СТРУКТУРА ПЛАТФОРМЕ ЗА ПОДРШКУ ЛАБОРАТОРИЈСКИМ ВЕЖБАМА.....	114
8.3. ПРИМЕНА ОНЛАЈН ПЛАТФОРМЕ ЗА УНОС, ПОХРАЊИВАЊЕ, ОБРАДУ И ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА	118
8.3.3. <i>Студентски налог</i>	<i>119</i>
8.3.4. <i>Професорски налог.....</i>	<i>121</i>
8.3.5. <i>Администраторски налог.....</i>	<i>123</i>
8.3.6. <i>Предности развијене платформе</i>	<i>123</i>
9. АНАЛИЗА ЕФЕКТА ПРИМЕНЕ ПРЕДЛОЖЕНОГ МОДЕЛА	124
9.1. ПРОЦЕНА ИСХОДА УЧЕЊА ЗАСНОВАНОГ НА РАДУ У МАЛИМ ГРУПАМА.....	124
9.1.1. <i>Методологија.....</i>	<i>124</i>
9.1.1.1. <i>Теоријски оквир.....</i>	<i>124</i>
9.1.1.2. <i>Инструмент истраживања.....</i>	<i>125</i>
9.1.1.3. <i>Узорак испитаника</i>	<i>126</i>
9.1.2. <i>Статистичка анализа добијених података.....</i>	<i>127</i>
9.1.2.1. <i>Дескриптивна статистика.....</i>	<i>128</i>
9.1.2.2. <i>Експлоративна факторска анализа</i>	<i>134</i>
9.1.3. <i>Анализа резултата истраживања.....</i>	<i>142</i>
9.2. ПРОЦЕНА ИСХОДА УЧЕЊА ЗАСНОВАНОГ НА САМОСТАЛНОМ ИЗВОЂЕЊУ ЕКСПЕРИМЕНТА.....	144
9.2.4. <i>Методологија.....</i>	<i>144</i>
9.2.4.1. <i>Инструмент истраживања.....</i>	<i>145</i>
9.2.4.2. <i>Узорак испитаника</i>	<i>145</i>
9.2.5. <i>Статистичка анализа добијених података.....</i>	<i>146</i>
9.2.6. <i>Анализа и синтеза коментара студената у упитнику.....</i>	<i>149</i>
10. ДИСКУСИЈА	153
11. ЗАКЉУЧЦИ.....	160
ЛИТЕРАТУРА	163

СПИСАК СЛИКА

Слика 2.1 Компоненте дефиниција појмова науке и научне теорије – графички приказ заснован на прегледу најшире прихваћених концепата	8
Слика 2.2. Процент писменог становништва у Шведској и у земљама са највећом стопом индустријализације у 19. веку.....	13
Слика 2.3 Стопа индустријализације у земљама које су доживеле највећу експанзију индустријске производње крајем 19. века	13
Слика 2.4 Промене БДП по глави становника (%) у Шведској и у земљама са највећом стопом индустријализације у другој половини 19. века	14
Слика 3.1 Резултати истраживања <i>ASME Vision 2030</i> – области у којима је потребно унапредити компетенције дипломираних студената.....	21
Слика 3.2 <i>ASEE</i> мапа компетенција	23
Слика 3.3 Учесталост навођења основних циљева различитих типова лабораторијских вежби у литератури	39
Слика 4.1 а) Механизам часовника коришћен за једну од вежби заснованих на хорологији (Универзитет Клемсон, САД) и б) лабораторијски сет за проучавање динамике снежних лавина и клизишта (Институт за геологију и геофизику, Бохум, Немачка).....	47
Слика 4.2 Примери развоја сопствене опреме: а) модел гасне турбине (Универзитет Јужни Арканзас) и б) конзолна греда (Технички универзитет Луизијана)	48
Слика 4.3 Део лабораторијских ресурса Департмана за машинско инжењерство намењених примени директног руковања опремом у оквиру студентских пројеката – кадрови из видео презентације <i>The Birth of a Hands-On Education</i>	50
Слика 4.4 Фотографија и 3D модел простора <i>TEAL</i> пројекта.....	50
Слика 4.5 Делови играчке „ <i>See 'n say</i> “ за које студенти процењују и раде прорачун параметара процеса бризгања пластике, као што су време хлађења, притисак и др.	51
Слика 4.6 Пример лабораторијског сета за демонстрирање и анализу утицаја температуре на отпор проводника у лабораторији Департмана за физику <i>MIT</i> -а.....	51
Слика 4.7 Скице лабораторијских сетова за вежбе на Машинском инжењерству из предмета Физика 1 – Класична механика са фокусом на експерименту (енгл. <i>Physics I: Classical Mechanics with an Experimental Focus</i>) а) за проучавање слободног пада и израчунавање убрзања Земљине теже и б) за одређивање момента импулса	52
Слика 4.8 Фотографије лабораторијских система развијених на <i>MIT</i> -у: а) ротациони систем првог реда, б) транслациони систем другог реда	52
Слика 4.9 Примери уређаја на којима су вршена публикована истраживања: а) одређивање статичког коефицијента трења при повишеним температурама, б) одређивање модула еластичности,	

с) испитивање трења у навоју,	
д) одређивање кинематског коефицијента трења у динамичким условима оптерећења контакта,	
е) трибометар са модулом за истраживања у бласти кинематског трења,	
ф) испитивање ефеката кратког споја,	
г) вибрациона платформа,	
h) лабораторијска кидалица.....	54
Слика 5.1 Мапирање процеса образовања студената помоћу дијаграма тока	55
Слика 5.2 Модел процеса лабораторијских вежби	56
Слика 5.3 Зависност просечне оцене на студијама (<i>P22</i>) од	
а) просечне оцене у средњој школи (<i>OS</i>) и	
б) бодова освојених на пријемном испиту (<i>BP</i>) – МИ.....	61
Слика 5.4 Дијаграми а) кумулативне вероватноће	62
Слика 5.5 Вредности параметра D_i	65
Слика 6.1 Уопштени модел процеса, применљив и на експеримент.....	77
Слика 6.2 Илустрација полемике о квалитету дизајна и утицају спољашњих услова на рад уређаја.....	77
Слика 7.1 Приказ могућег положаја "тачака" (елемената као функционалних целина) у односу на непомични координатни систем xuz и могућа релативна кретања и обртања произвољне тачке (положај $-, P_1$) по осама ξ , η и ζ у односу на остале тачке	83
Слика 8.1 Упознавање студената са развијеном опремом	87
Слика 8.2 Примери учила за	
а) демонстрацију расподеле оптерећења просте греде и греде са препустима (омогућава одређивање отпора ослонаца; може се симулирати радијално концентрисано и континуално оптерећење у произвољно изабраним положајима) и	
б) одређивање момента и радијалне силе у укљештењу на моделу конзоле при симулацији концентрисаног и континуалног оптерећења	87
Слика 8.3 Учило за демонстрацију обртања тела око произвољно изабране осе (омогућава сагледавање кинематике улежиштења произвољног избора оптерећења тела и демонстрацију инерцијалне силе и еластично везане масе током обртања)	87
Слика 8.5 Систем сучељних сила	88
Слика 8.6 Пројекције сила на осе	89
Слика 8.7 Учило за решавање система сучељних сила у равни и простору	89
Слика 8.8 Горњи део учила на којем се могу прочитати растојања тегова.....	90
Слика 8.9 Променом положаја котура може се мењати растојање тега	90
Слика 8.10 Очитавање вредности силе	91
Слика 8.11 Скица разматраног система	91
Слика 8.12 Скица примера система у равни xu када систем није у равнотежи	92
Слика 8.13 Непознати углови α и β	92
Слика 8.14 Пројекција сила на осе	92

Слика 8.15 а) Шематски и б) 3D приказ основне конфигурације модулрног сета за испитивање статичког трења клизања и котрљања; с) стандардни сет узорака за испитивање; модули за испитивање д) трења клизања, е) трења котрљања и ф) трења у условима подмазивања	94
Слика 8.16 а) Испитивање трења при повишеним температурама, б) вакуум пумпа, с) примери узорака за испитивање, д) модул за испитивање трења при контролисаној дубини вакуума	95
Слика 8.17 Модул за испитивање трења при контролисаној дубини вакуума: а) основна конфигурација и модул са носачем узорака, б) комплетна конфигурација са системом за постизање различитих нивоа вакуума.....	96
Слика 8.18 Испитивање кинематског коефицијента трења: а) модул за истраживања у области кинематског трења, б) кретање пина низ цилиндричну вођицу у вертикалној позицији, с) пин у почетној позицији и први индуктивни сензор	97
Слика 8.19 Шема мерења и графичка илустрација резултата мерења	98
Слика 8.20 Теоријске вредности и експериментално добијене вредности убрзања ...	100
Слика 8.21 Релативне грешке мерења убрзања у односу на теоријско убрзање	101
Слика 8.22 Архитектура веб апликације	104
Слика 8.23 Постојање више различитих профила корисника	105
Слика 8.24 Приступање корисничком налогу и кориснички интерфејс при одабиру вежбе Одређивање статичког коефицијента трења клизања	107
Слика 8.25 Кориснички интерфејс за унос резултата и дугме за покретање статистичке обраде и генерисање табеларног и графичког приказа резултата	108
Слика 8.26 Самостално извођење експеримента и унос резултата.....	108
Слика 8.27 Табеларни приказа резултата	108
Слика 8.28 Графички приказ дистрибуције фреквенција – приказ видљив у студентском корисничком интерфејсу.....	109
Слика 8.29 Генерисање заједничког графичког приказа резултата мерења	110
Слика 8.30 Извођење експеримента и дискусија са проф. др Бранком Тадићем о добијеним резултатима.....	110
Слика 9.1 Релативне фреквенције оцена по ставкама – упоредни приказ	118
Слика 9.2 Дијаграм превоја.....	124
Слика 9.3 Хистограми скорова (просечних оцена) по доменима (скалама)	132
Слика 9.4 Расподела фреквенција средње оцене по студенту.....	134
Слика 9.5 Графици експоненцијалних функција облика $f_j(O) = O_{ij}^{C_j}$	136
Слика 9.6 Функције облика $f_j(O) = \prod_{i=1}^j O_i^{C_i}$	136
Слика 9.7 Фактори утицаја оцена по ставкама на просечну оцену по студенту	137

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 3.1 „Боингова листа“ жељених атрибута инжењера	19
Табела 3.2 НОКС – дескриптори исхода учења за нивое 6.1, 6.2 и 7.1	28
Табела 3.3 Примери исхода учења чијем остваривању доприносе лаб. вежбе	29
Табела 3.4 Улога лабораторијских вежби у остваривању исхода учења.....	31
Табела 4.1 Пример усклађивања фаза лабор. вежби са Колбовим циклусом	45
Табела 5.1 Резултати вишеструке компарације.....	59
Табела 5.2 Дескриптивна статистика за цео узорак (У) и по типовима средњих школа (1, 2, 3) – подаци о просечној оцени на студијама (22 заједничка предмета)	59
Табела 5.3 Резултати вишеструке компарације – подаци за МИ.....	60
Табела 5.4 Вероватноћа остваривања просечне оцене у одређеном интервалу на основу типа завршене средње школе – подаци за свршене студенте МИ.....	60
Табела 5.5 Резултати тестирања хипотезе о хетероскедастичности	62
Табела 5.6 Сажетак модела.....	63
Табела 5.7 ANOVA – резултати	63
Табела 5.8 Показатељи одсуства мултиколинearности.....	63
Табела 5.9 Резултати линеарне регресије	64
Табела 5.10 Утицајне вредности PR22	66
Табела 5.11 Исходи ОАС и МАС студијског програма Машинско инжењерство	70
Табела 9.1 Квартили по ставкама (O1÷O18) и групама (ФИН, ФТН, ВА, ТС).....	116
Табела 9.2 Резултати теста Левин–Браун–Форсајт – вредности р по ставкама	119
Табела 9.3 Резултати теста Краскал–Волис и post-hoc теста Дан–Бонферони	121
Табела 9.4 Матрица полихоричних корелација.....	123
Табела 9.5 Парцијални приказ резултата паралелне анализе.....	125
Табела 9.6 Резултати ЕФА – 1. итерација	126
Табела 9.7 Матрица факторских интеркорелација – 1. итерација	126
Табела 9.8 Резултати ЕФА – 2. итерација	127
Табела 9.10 Матрица факторских интеркорелација – 2. итерација	127
Табела 9.11 Резултати ЕФА – 3. итерација	128
Табела 9.12 Матрица факторских интеркорелација – 3. итерација	128
Табела 9.13 Структура груписаних података	129
Табела 9.14 Показатељи једнодимензионалности груписаних података.....	130
Табела 9.15 Унутрашња сагласност скала	131
Табела 9.16 Квартили и моде оцена по ставкама и просечних оцена по студенту.....	134
Табела 9.17 Резултати регресије засноване на мултипликативном моделу	135

1. УВОД

Пут ка постизању баланса између образовања заснованог на дубоком познавању научног фундамента и образовања заснованог на развоју компетенција које захтева привреда одувек је био трновит. Тај баланс је више пута довођен у питање током 20. века, у САД и у Европи, што је иницирало таласе промена у образовању инжењера. Са аспекта академске заједнице, то су биле значајне трансформације и резултати крупних компромиса. Са аспекта привреде, те промене су увек долазиле са закашњењем и биле су инкременталне природе.

Потреба за сталним повећањем квалитета образовања предмет је бројних истраживања код нас и у свету. Престижни светски универзитети непрекидно раде на побољшању квалитета наставе и подизању нивоа стеченог знања својих студената. У бројним публикацијама, аутори радова на тему образовања износе своје идеје, методе које су применили и ефекте предложених метода. На основу нивоа остварених ефеката, преиспитују се циљеви учења (дефинише се шта би студенти требало да знају), оцењују се исходи (шта су студенти научили), коригују се и усавршавају методе рада, у циљу подизања нивоа излазног знања студената и развоја компетенција у складу са захтевима будућих занимања и захтевима послодаваца.

Образовање је веома комплексан и динамичан систем, без обзира на то да ли је реч о стручном образовању или образовању у ширем смислу. Постигнути ниво квалитета образовног система једне државе зависи од тога у којој мери су задовољени захтеви заинтересованих страна и може се рећи да представља резултанту различитих погледа великог броја појединаца на појам образовања. Погледи студената, као примарних стејкхолдера у високом образовању, у великој мери рефлектују однос њихових очекивања и реалних исхода учења након завршетка претходног нивоа образовања. Сваки појединац током школовања процењује, анализира, обрађује информације, "мери" и упоређује остварене и жељене ефекте, на основу личног искуства, утицаја околине и стеченог знања. Одређени број средњошколаца, након завршне године, опредељује се за наставак школовања. Велика популација младих људи различитог социјалног статуса, велике дисперзије већ стеченог знања, различитих мотива, жеља и склоности, самосталном одлуком или одлуком условљеном економским могућностима породице, опредељује се за неки од расположивих факултета.

Имајући у виду претходно речено, логично се намећу питања која се односе на организацију наставе, избор одговарајућих метода и мотивисање студената, како би се подигао ниво знања, а настава учинила интересантном свим припадницима тако хетерогене популације какву чине студенти. У оквиру процеса лабораторијских вежби, расположиви ресурси, а нарочито лабораторијска опрема, представљају посебан ограничавајући фактор.

На факултету инжењерских наука се у последњих десет и више година развија лабораторијска опрема, која је, поред потенцијала за научноистраживачки рад доказаног бројним публикацијама, нашла примену у настави и значајно допринела подизању нивоа знања више генерација студената. Опрема је омогућила реализацију лабораторијских вежби из појединих предмета, током којих студенти, окупљени у мање тимове, добијају прилику да уче на бази извођења експеримената. Стечена искуства у развоју и примени поменуте опреме генерисала су идеју о развоју новог модела, заснованог на принципу модуларности, који би омогућио развој сетова за самостално извођење експеримената и постизање суштинског разумевања базичних научних и инжењерских дисциплина, али и утицао на повећање мотивисаности студената за учење и самосталан истраживачки рад.

1.1. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Тема учења кроз експеримент је актуелна у међународној стручној и научној литератури и представља један од захтева бројних релевантних међународних институција за акредитацију и вредновање квалитета савременог процеса образовања. Имајући у виду ограниченост расположивих ресурса, стварање услова за самостално извођење експеримената представља један од изазова са којима се суочавају бројне високообразовне институције у земљи и свету у настојању да код студената развију компетенције које су у складу са захтевима тржишта рада и савремене економије.

Циљ ове докторске дисертације је развој модела за унапређење наставног процеса имплементацијом метода учења заснованих на самосталном извођењу експеримената од стране студената применом учила пројектованих по модуларном принципу. Циљ примене метода учења кроз самостално извођење експеримената на модуларним сетовима учила, као и одговарајуће софтверске подршке у веб окружењу, је стварање услова да студенти суштински схвате нераскидиву везу између фундаменталног теоријског знања, теорије експеримента и добре инжењерске конструкције, уз постизање максималних техно-економских ефеката.

Развоју и имплементацији предложених метода учења претходи опсежни преглед литературе, као и спровођење анализе утицајних параметара и захтева заинтересованих страна. На основу теоријског концепта модуларног сета, циљ је да техничко решење склопа буде базирано на принципу модуларности, применом стандардних елемената и принципа мултифункционалности, уз остављање могућности надоградње, адаптације и модификације. Функционални захтеви који се односе на модуларне сетове треба да омогуће постизање реконфигурабилности радног простора, како би се остварила и модуларност у ширем смислу.

Имајући у виду да значајан аспект у креирању потпуне подршке лабораторијским вежбама представља систем за аквизицију, приказ и чување резултата лабораторијских мерења, циљ је и развој вишеслојне апликације, чијом применом се максимизирају предности које пружа веб окружење.

Један од циљева дисертације је анализа ефеката имплементације модуларних сетова у програм лабораторијских вежби, на основу статистичке анализе резултата самопроцене исхода учења.

Реализација модуларног сета уређаја треба да омогући самосталан истраживачки рад студената, од нивоа доказа основних физичких закона до нивоа решавања сложених теоријских, експерименталних, истраживачких и инжењерских проблема. Пратећа веб платформа треба да омогући лакше управљање ресурсима, аквизицију, ефектан приказ и дељење података, што омогућава анализу резултата и боље разумевање и решавање проблема на којима су вежбе засноване.

1.2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ ИСТРАЖИВАЊА

Инжењерски факултети широм света често се суочавају са проблемом финансирања програма лабораторијских вежби, које, између осталог, обухвата и набавку лабораторијске опреме. Стога изналажење алтернативних начина да се опрема занови, у односу на набавку скупе опреме, као и начина да се и у условима ограничених ресурса, применом адекватних метода, остваре планирани исходи учења, представљају изазове са којима се институције високог образовања често суочавају.

У високом школству у техничко-технолошком пољу, формирање малих група студената је неопходан услов за остваривање циљева лабораторијских вежби. Међутим, услови за остваривање тог циља нису уједначени, чак ни у системима високог образовања у развијеним земљама, па се немогућност формирања малих група студената при извођењу лабораторијских вежби често наводи као проблем.

Поред опреме, простор којим се располаже такође може представљати ограничење при реализацији лабораторијских вежби базираних на директном руковању опремом, па је флексибилност при дизајнирању таквог простора често императив. Предност је уколико је лабораторијска опрема флексибилне конфигурације. Међутим, уколико је реч о опреми већих габарита, мењање конфигурације изискује ангажовање додатног особља и утрошак времена, или је чак неизводљиво у случају када је опрема фиксирана или захтева испуњење специфичних захтева који се односе на пратећу инфраструктуру.

Искуства из бројних универзитетских лабораторија широм света су показала да од тога како је експеримент дизајниран зависе не само резултати, који у случају лоше организованог експеримента могу довести до погрешних закључака, већ и мотивисаност студената за учење на бази експеримента. Студенти могу различито различито перцепирати исту опрему, у зависности од тога како је на тој опреми осмишљен ток експеримента. Психолошки ефекат који неадекватно организоване лабораторијске вежбе могу имати на студенте може се огледати у формирању негативног става студената према експерименту генерално, где одређени број студената, због неуспеха при извођењу експеримента, почиње да сумња у сопствене способности.

Када су могућности за набавку нове лабораторијске опреме лимитиране, решења се најчешће траже у реорганизацији начина на који се управља опремом, редизајнирању самих експеримената, примени нових метода над постојећом опремом, иновативним нискобуџетним решењима и покретању нискобуџетних пројеката усмерених на развој сопствене опреме.

У литератури постоје примери универзитетских лабораторија у којима су конфигурације хардвера и софтвера омогућиле примену принципа модуларности у настави из различитих области. Међутим, прегледом и анализом литературних извора утврђено је да концепт модуларног пројектовања није нашао већу примену у сфери развоја едукацијске опреме, јер се у највећем броју случајева преузимају и комбинују готова решења. Познати произвођачи дидактичких система у понуди имају широк дијапазон модуларних сетова, који су нашли примену на универзитетима широм света. У питању је опрема високог професионалног нивоа, чија је конфигурација, међутим, најчешће затвореног типа, односно мерни системи и други модули са чијом конструкцијом и функцијом би студенти такође требало да се упознају, често нису видљиви. Таква опрема је најчешће заступљена у сфери специјализације инжењера из појединих области или намењена само обуци за руковање одређеним системима. Њена цена, међутим, превазилази могућности већине техничких факултета који имају амбицију да обезбеде довољан број радних станица за самостално руковање опремом.

Модуларни сет чине механички елементи, хидрауличке, пнеуматске и електро компоненте, различити мерни уређаји и остали елементи. При томе, реч је о елементима који се у највећем броју случајева израђују у складу са стандардима и представљају робу широке потрошње, па је и њихова цена вишеструко нижа од цене специјално дизајнираних елемената. Компоновањем стандардних производа и развојем релативно малог броја специјалних елемената могуће је формирати велики број учила и уређаја едукацијског и истраживачког карактера. Посебна предност концепта модуларности је могућност коришћења истих елемената при формирању различитих конструкција.

1.3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ

Докторска дисертација се базира на следећим полазним хипотезама:

I. Применом принципа модуларности могуће је створити услове (организационо, финансијски, технички и физички) да лабораторијске вежбе у процесу образовања инжењера, путем самосталног извођења експеримената од стране студената, допринесу унапређењу: теоријског знања, суштинског разумевања фундаменталних научних принципа, вештина руковања опремом, способности приказивања и анализе резултата експеримената.

II. Увођењем модуларних система (сетова), који се иначе примењују у многим областима технике, а нису у довољној мери присутни у области образовања, постићи ће се пуни техно-економски ефекти.

III. Мотивисаност студената за самосталан истраживачки рад ће имати континуалан раст током извођења вежби на училима пројектованим по модуларном систему.

У прилог првој хипотези говори то да се у великом броју индустријски развијених земаља и на престижним светским универзитетима, посебно на техничким факултетима, школовање инжењера у великој мери изводи преко самосталног експерименталног рада студената. Велики број компанија у свету, у сарадњи са високошколским установама, производи и пласира учила и уређаје намењене за самосталан експериментални рад студената. Хипотеза се заснива на заинтересованости стејкхолдера за налажење технички изводљивог и економичног решења чијом применом би се омогућило самостално руковање опремом од стране студената и постигли жељени ефекти.

У прилог другој хипотези говори то да примена модуларних система омогућава самосталан експериментални рад сваког појединачног студента, уз поштовање мера безбедности и уштеду времена, простора и финансија, што је суштина решења проблема који се често истичу у литературним изворима везаним за тему подизања нивоа излазног знања студената. Постоји велики број публикованих научних радова управо на тему развоја учила и уређаја и тему учења кроз експеримент, али не и на тему примене принципа модуларности на начин који ће бити предмет истраживања у оквиру израде ове дисертације. Примена модуларних система ће дати највеће ефекте управо при компоновању система учила, због ниске цене, високе фреквенце примене стандардних компоненти при креирању одређених лабораторијских сетова, малог смештајног простора и брзе припреме, односно монтаже и демонтаже компоненти.

У прилог трећој хипотези говори то да квалитет процеса трансфера знања, чија мера су исходи учења, у великој мери зависи од заинтересованости и мотивисаности студената за извођење и анализу експеримента, те даље бављење датим темама или феноменима. У вези са ефектима учења кроз експеримент вредно је цитирати уваженог професора Бена Симсона са британског Универзитета Нотингем Трент који је рекао да "студента треба охрабрити да се заљуби у истраживање" и уваженог професора са Машинског факултета у Београду који наводи да „студенту професор треба само до оног тренутка када студент заволи оно што ради“.

1.4. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Методе које ће бити примењене у истраживањима на тему ове дисертације су:

- анализа и синтеза досадашњих истраживања на тему унапређења система образовања кроз самостално извођење експеримената;

- статистичка анализа јачине и структуре везе између квантитативних показатеља улазног знања и других утицајних параметара;
- анализа захтева заинтересованих страна који се односе на процес лабораторијских вежби;
- теоријске анализе концепта и оптимизације модуларног система;
- развој софтверске подршке у веб окружењу;
- експериментална тестирања реализованих модуларних сетова и пратеће веб платформе;
- математичко-статистичке методе у оквиру анализе постигнутих ефеката примене предложеног концепта.

Имплементација модуларних сетова треба да донесе нову вредност у процес лабораторијских вежби и да при томе одговори на захтеве заинтересованих страна у том процесу. Анализа захтева ће као излаз дати спецификацију функционалних захтева и нефункционалних захтева, које потребно уклопити у ограничења која се односе на расположиви буџет и ограничења дизајна.

Примена метода учења кроз самостално извођење експеримената базираће се на:

- дефинисању теоријских основа наставне јединице (нпр. закон о одржању енергије, равнотежа сила на полузи, физичко клатно, кинематско треће итд.) и циљева лабораторијске вежбе;
- опису техничких карактеристика уређаја и мерне инструментације;
- упутствима за руковање уређајима и спровођење експеримената, са упозорењима која се односе на безбедност корисника;
- самосталном извођењу експеримената од стране студената;
- коришћењу система за аквизицију, обраду и приказ резултата у веб окружењу;
- дискусији, која је највећим делом везана за анализу грешака мерења тј. за утврђивање разлога настанка одступања између теоријских и експерименталних резултата;
- закључцима о узроцима разлика теоријских и експерименталних резултата и предлозима студената у смислу могућих побољшања учила и уређаја.

Анализа података добијених их анкета везаних за мишљење студената о раду у мањим групама (што је омогућила претходно развијена опрема), као и за мишљење студената о самосталном извођењу експеримента (што омогућавају модуларни системи уз подршку веб платформе) биће базирани на примени одговарајућих статистичких метода.

1.5. ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ

Модуларни систем пројектовања карактерише ниска цена, висока флексибилност, примена стандардних компоненти, мали смештајни простор и кратко време монтаже и демонтаже. С обзиром на високе техно-економске ефекте, односно на могућност креирања серије економичних учила са више функција, примена принципа модуларности ствара предуслов да се сваком студенту омогући самостални рад у лабораторији. При томе би се постигла и реконфигурабилност радног простора, односно и сам лабораторијски простор би био модуларан, уз стално повећавање броја могућих конфигурација и броја различитих вежби које је могуће извести.

Модуларни сетови за самостално извођење експеримента треба да донесу нову вредност у процес лабораторијских вежби и да при томе одговоре на захтеве заинтересованих страна у том процесу. Њихова примена би отворила простор за подизање нивоа теоријског и експерименталног знања студената, веће учешће студената у креирању

сетова за одређену вежбу, могућност избора различитих решења за одређену вежбу и анализу ефеката примене сваког појединачног решења са аспекта грешака мерења и валидности добијених резултата.

Значајна компонента наведене методологије је развој софтверског система, који треба да задовољи захтеве дефинисане са аспекта различитих циљних група (студенти, професори, ИКТ инжењери, менаџмент факултета). Примена веб апликација је логичан избор за развој софтвера, јер пружају практичност, универзални приступ и могућност једноставног скалирања и одржавања. На тај начин био би развијен систем за аквизицију, приказ и чување резултата лабораторијских мерења, уз максимизирање предности које пружа веб окружење.

Очекивани ефекти примене предложеног модела су омогућавање самосталног извођења експеримената од стране студената, постизање суштинског разумевања теоријског дела наставе, унапређење аналитичких и психомоторних вештина, повећана мотивисаност студената за самосталан истраживачки рад, омогућавање наставницима да коришћењем развијеног система у веб окружењу управљају подацима, што би отворило пут ка креирању индивидуалних путања учења.

1.6. ПРОШИРЕНИ САДРЖАЈ РАДА

Садржај дисертације је груписан у 11 поглавља:

1. Увод – Уводно поглавље садржи оквире, циљеве и теоријске основе истраживања, као и хипотезе од којих се полази, методе које су примењене и очекиване резултате.

2. Еволуција науке и експеримента – У другом поглављу направљен је осврт на улогу експеримента у развоју научног метода, као и на повезаност нивоа образовања становништва, а нарочито система образовања у области инжењерства, и економског развоја, све до периода када је знање постало капитал, а промишљања на тему унапређења едукације инжењера прерасла у област интензивних истраживања у целом свету.

3. Значај и улога експеримента у образовању инжењера – Треће поглавље се бави променама које су се догађале у поимању значаја лабораторијских вежби и експеримента генерално за образовање инжењера. Удаљавање академске заједнице од реалног инжењерства резултовало је објављивањем чувене „Боингове листе“ на измаку 20. века. Тако је глас индустрије одјекнуо широм света и акредитациона тела су одреаговала мењањем захтева и стандарда, што је у већој или мањој мери, на позитиван или негативан начин, коментарисано од стране различитих стејкхолдера и формализовано кроз низ докумената. У овом поглављу, а у контексту домаћег и европског образовног подручја, повезане су лабораторијске вежбе са исходима учења и очекиваним компетенцијама инжењера и истражени најчешће примењивани начини да се дефинишу циљеви лабораторијских вежби. Анализирана је и улога лабораторијских вежби у различитим концептима трансфера знања.

4. Предглед стања у подручју истраживања – Тема учења кроз експеримент је веома заступљена у литератури, чији је опсежан преглед резултовао груписањем проблема препознатих у универзитетским лабораторијама широм света, а затим и реализованих решења, подељених у три сегмента: решења заснована на примени нових метода над постојећом лабораторијском опремом, решења заснована на развоју сопствене опреме и иновативна нискобуџетна решења. Детаљно је анализиран један од лидера у образовању инжењера, амерички *MIT*, који примењује сва наведена решења, укључујући и развој

економичних, једноставних лабораторијских сетова, иако располаже буџетом који је далеко изнад просека у свету. На Факултету инжењерских наука се већ десетак година развијају уређаји и учила, који се примењују у настави и користе за научна истраживања, што је такође описано у овом поглављу.

5. Анализа утицајних параметара и захтева у вези са процесом лабораторијских вежби – Лабораторијске вежбе имају нарочит значај за студенте инжењерских наука, јер омогућавају стицање практичних знања и вештина неодвојивих од инжењерске професије. Због тога је неопходно идентификовати утицајне величине и утицајне стране, од чијих захтева у великој мери зависи креирање квалитетних и ефикасних лабораторијских вежби. У петом поглављу је анализирана јачина и структура везе између квантитативних показатеља улазног знања и других параметара, као и захтеви курикулума, наставника и студената у вези са процесом лабораторијских вежби.

6. Теорија и дизајн експеримента – У шестом поглављу направљен је преглед захтева које мора испунити дизајн експеримента, како би се планирани програм лабораторијских вежби успешно организовао и како би ефекти били позитивни и са аспекта студената.

7. Теоријска анализа концепта и оптимизација модуларних система учила – Искуства стечена током развоја едукацијских и истраживачких уређаја на Факултету инжењерских наука у протеклих десет година генерисала су идеју развоја лабораторијских сетова чији дизајн би био заснован на принципу модуларности. У седмом поглављу су описане усвојене смернице, извршена теоријска анализа концепта, презентован теоријски модел и поступак пројектовања и оптимизације заснован на модуларизацији.

8. Имплементација модуларног сета у програм лабораторијских вежби – У осмом поглављу је приказана примена принципа модуларности при развоју модуларног трибометра, описана је верификација засебних модула и изнети су примери могућности надоградње и модификације. У овом поглављу су анализирани захтеви који се односе на софтверску подршку предложеном моделу, као и усвојена архитектура и структура веб платформе. Приказан је начин примене веб платформе на примеру једне од низа лабораторијских вежби које се могу извести на презентованом модуларном трибометру.

9. Анализа ефеката примене предложеног модела – У деветом поглављу су приказане две фазе истраживања. У првој фази анализирана је процена исхода учења при раду у мањим групама, што је начин рада који је примењиван захваљујући развоју сопствене опреме, а претходио је имплементацији модуларних сетова. Применом експлоративне факторске анализе разматрано је груписање одговора анкетираних студената на афирмативн тврдње у упитнику у складу са Блумовом такасономијом. У другој фази анализирана је процена исхода учења при самосталном извођењу експеримената применом модуларних сетова и веб платформе. Извршена је и анализа и синтеза коментара студената у оквиру упитника.

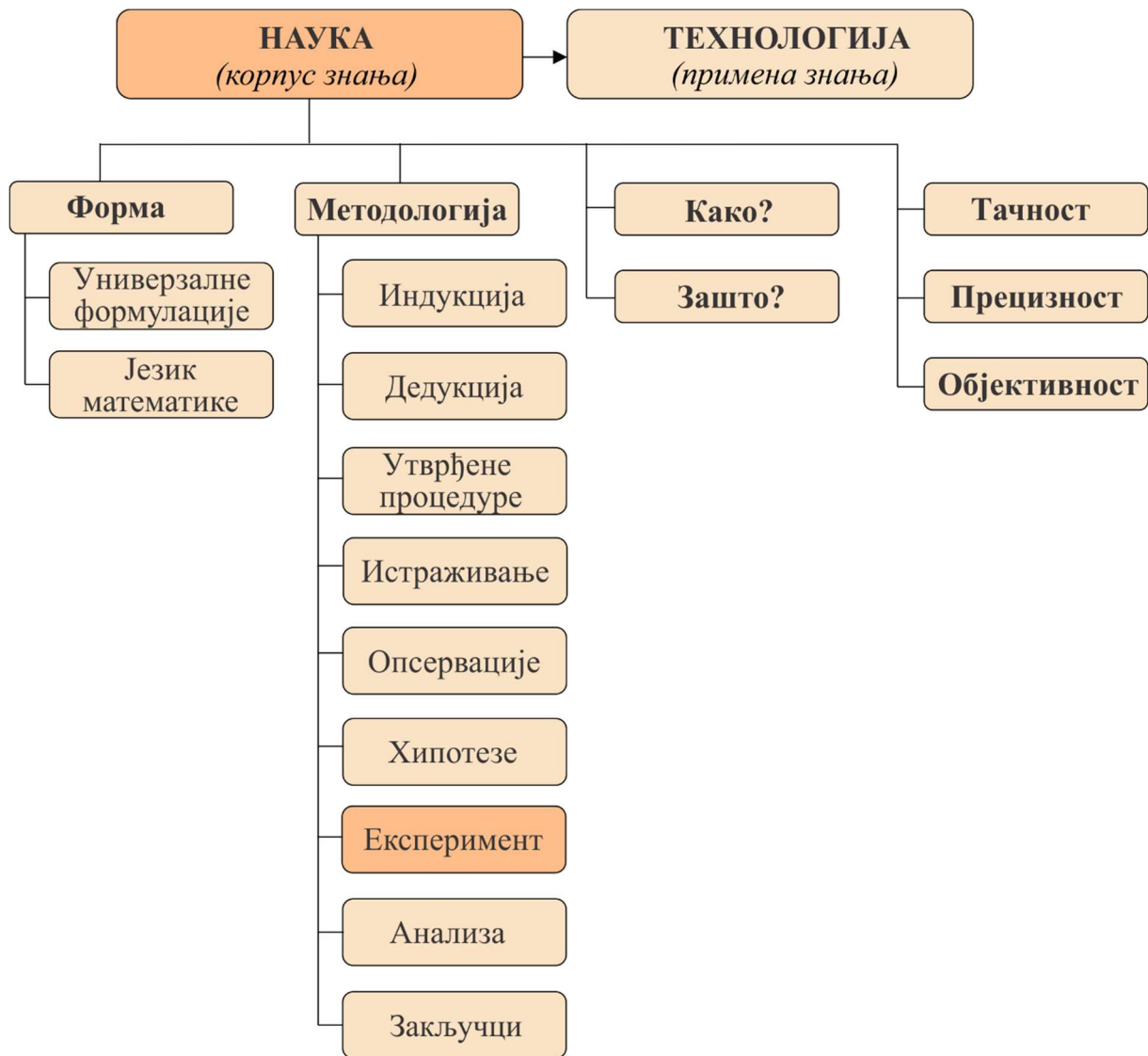
10. Дискусија – У десетом поглављу су дискутовани резултати спроведених истраживања.

11. Закључци – У оквиру овог поглавља извршена је дискусија постављених хипотеза. Наведена су ограничења модела, допринос дисертације и правци будућих истраживања.

После закључака, дат је списак цитиране литературе, где су референце наведене по редоследу појављивања. На крају рада су дати одговарајући прилози.

2. ЕВОЛУЦИЈА НАУКЕ И ЕКСПЕРИМЕНТА

Пратећи разгранате путеве вишевековног промишљања на тему суштине природних и техничких наука, бројни аутори су у литератури дали увид у најшире прихваћене концепте и њихову еволуцију [1–7].



Слика 2.1 Компоненте дефиниција појмова науке и научне теорије – графички приказ заснован на прегледу најшире прихваћених концепата

Један од приступа науку дефинише као образац понашања на основу којег су људи преузели контролу над својим окружењем, што порекло науке уско повезује са традиционалним вештинама и технологијама освајаним током људске историје. Такав начин дефинисања науке је наишао на критике, па друга дефиниција истиче јасну дистинкцију између науке, као корпуса теоријских знања, и технологије, као примене тог знања. Како наведена дефиниција није давала одговор на питање по чему се научна теорија разликује од било које друге теорије, сама форма научних теорија, као кључни критеријум, добила је велики број присталица. Форма научних теорија подразумева универзалне формулације, у облику закона, базиране, по могућству, на језику

математике. Недостаци тако крутог дефинисања науке довели су до померања фокуса на методологију, као концепта који превазилази оквире форме. Тако је наука трајно повезана са утврђеним процедурама, обично експерименталним, за истраживање природних појава и феномена и потврђивање или одбацивање хипотеза о њима. Тврдња је, дакле, научно подржана, само уколико је и експериментално потврђена. При томе, дедуктивно и индуктивно¹ закључивање се међусобно не искључују, већ комбинују и преплићу, о чему се дебатовало у појединим фазама еволуције науке. Али, оваква дефиниција је лако водила ка смештању појма науке у оквире епистемологије. Ти оквири су морали бити превазиђени, јер научника не одликује само оно у шта он верује (зна), већ и његова способност да пружи одговоре на питања „како?“ и „зашто?“ он у то верује (зна). Научници не смеју потврде својих тврдњи налазити у догми и ауторитетима, већ их морају заснивати на доказима.

Након што су форма, методологија, експеримент и дефинисање научног знања као оног које у себи додатно садржи и одговоре на питања „како?“ и „зашто?“ широко прихваћени као карактеристике науке, у поимање науке и „научног“ уграђене су и тачност, прецизност и објективност. Све наведено чини компоненте уз помоћ којих би се могао дефинисати појам науке.

Слика 2.1 је приређена на основу претходног прегледа најшире прихваћених концепата и илуструје и улогу експеримента у процесу доказивања научних теорија и провере исправности хипотеза. Та улога се у фундаменталним наукама, попут физике, може односити на контролу теоријски постављене претпоставке или на начин да се упозна и проучи одређена појава. У примењеним наукама се често наилази на недовољно познате или сувише сложене појаве, па је експеримент понекад једини извор сазнања. У инжењерској пракси, експеримент је метода истраживања која се примењује при пројектовању комплекснијих производа или увођењу нове технологије [8].

2.1. УЛОГА ЕКСПЕРИМЕНТА У РАЗВОЈУ НАУЧНОГ МЕТОДА

Посматрајући природу и уочавајући одређене законитости, Аристотел, као „филозоф природе“, је дошао до значајних сазнања, а да никада није спроводио експерименте у материјалном смислу, већ искључиво „мисаоне експерименте“ и опсервације [9]. Експеримент је постао саставни део научног истраживања када су научници почели да постављају питања на која нису могли добити одговоре путем опсервације, већ су одређене појаве морали проучавати у контролисаним условима. Пар стотина година након објављивања Еуклидове математичке теорије о начину функционисања људског вида (у књизи Оптика из око 300. године п. н. е.), Птоломеј је изнео теорију која је, на бази Еуклидове геометрије, зашла и у подручја физике и психологије. Своја истраживања је базирао на великом броју експеримената, комбинујући воду, ваздух и стакло и мерећи упадни угао и угао преламања уз помоћ бронзаног диска, на којем је по обиму била урезана скала.

Упркос негативној конотацији израза „средњовековна наука“, тадашњој доминантној улози цркве, која није била толерантна према новим теоријама, као и чињеници да су научници у том периоду највећи део свог рада посвећивали читању, тумачењу и критиковању постојећих писаних докумената на тему научних истраживања, настављајући путевима које су утабали њихови претходници, наука је у Средњем веку

¹ Индуктивна логика подразумева процес размишљања и закључивања који полази од појединачних случајева и креће се ка уопштавању, за разлику од дедуктивне логике код које се процес закључивања одвија у смеру од општег ка посебном.

ипак имала и емпиријску компоненту. У области астрономије и оптике примењивани су одређени мерни инструменти и спровођени су експерименти [2]. Уосталом, значај доприноса науци прослављеног арапског математичара, астронома и физичара Ибн Ал-Хајтама (965–104. познат и као Алхазен) је, између осталог, у томе што је експериментални рад сматрао кључним начином да се аргуменују истраживања. Управо је Ал-Хајтам у књизи Оптика, у 11. веку, први употребио реч *i'tabara*, од које је настао латински превод *experimentare* [3].

Познати историчар науке А. К. Кромби (енгл. *Alistair Cameron Crombie*, 1915–1996) је педесетих година 20. века тврдио да је управо интензиван развој експерименталних и математичких метода у 13. и 14. веку довео до рађања новог покрета у науци, који је у 17. веку прерастао у тзв. Научну револуцију, постављајући темељ модерне науке [10]. Његову теорију су касније оспорили бројни аутори, који су сматрали да улога утемељивача модерне науке ипак припада Галилеу Галилеју (ит. *Galileo Galilei*, 1564–1642), као једном од носилаца Научне револуције. Истина је, према Линдбергу [11], негде између ова два супротстављена става, јер је чињеница да су и једни и други спознали значај доказивања научних хипотеза путем експеримената, као и значај примене математике као инструмента неопходног у процесима мерења и анализе резултата. Аристотелова метафизика, која анализира свако биће и појаву на основу облика, материје, кретања и сврхе, замењена је „механичким“ светом, а експеримент је заменио посматрање природе „из далека“, између осталог и захваљујући развоју нових инструмената, попут микроскопа.

„Оцем емпиризма“ сматра се енглески филозоф и државник Франсис Бејкон (енгл. *Francis Bacon*, 1561–1626), који је био заговорник индуктивне методологије у научном истраживању, касније познате као „Бејконов метод“. Сматрао је да се „*празних руку и са разумевањем самим по себи не може ништа постићи, уколико се не користе и инструменти*“ [4], односно да, применом индуктивне логике, теорија треба да проистекне из експеримента.

У години када је преминуо Галилео Галилеј родио се други велики научник – Исак Њутн (енгл. *Isaac Newton*, 1642–1727), који је, након Декарта (фр. *René Descartes*, 1596–1650) и Лајбница (нем. *Gottfried Wilhelm Leibniz*, 1646–1716), дао финални допринос Научној револуцији. Њутн је свој приступ истраживању називао методом анализе и синтезе, за који су природни филозофи надаље користили назив хипотетичко-дедуктивни метод [5]. Сматрао је да је потребно бавити се искључиво светом какав јесте. Критиковао је Декартов приступ заснован на дедукцији у смеру од метафизичких принципа до научних закона [12], као и сваку врсту хипотетичких реконструкција или претпоставки о свету који нас окружује. Комбиновао је фазе индуктивног и дедуктивног закључивања. Сматрао је да је потребно веома пажљиво проучити карактеристике предмета истраживања, затим експериментално потврдити њихово постојање, па тек тада поставити хипотезе које се односе на објашњавање тих карактеристика, да би хипотезе на крају могле биле прихваћене или одбачене [6]. Данас, појам научног метода обухвата примену индуктивног закључивања при формирању хипотеза и теорија базираних на великом броју опсервација у којима се уочава одређени тренд или правилност, што резултује објашњењем и генерализацијом. Истовремено, научни метод подразумева и примену дедуктивног закључивања, како би се теорије примениле на конкретне ситуације.

2.2. СИНЕРГИЈА МАТЕМАТИКЕ И ФИЗИКЕ; ЕКСПЕРИМЕНТ КАО ДЕМОНСТРАЦИЈА ПРИРОДНИХ ЗАКОНА И НАУЧНИХ ДОСТИГНУЋА

У 18. веку растао је скептицизам у односу на увођење математике у саму срж природне филозофије и инсистирало се на подели на „апстрактне истине“, које су продукт људског ума и у које спадају и математички докази, и „физичке истине“, које су реалне, дакле, постоје у природи, а човек их само изучава [13]. Тако су крајем 18. века научници попут Лагранжа (фр. *Joseph-Louis Lagrange*, 1736–1813) и Лапласа (фр. *Marquis de Laplace*, 1749–1827) у описивању природних појава и „моделирању стварности“ ограничили улогу математике на инструмент уз помоћ којег се долази до нових открића у физици. Бавили су се пре свега вероватноћом, постављајући основе за будућа научна истраживања, у којима су експерименти поткрепљени управо анализама на бази теорије вероватноће и статистике. Такође, математичари су у 18. веку омогућили и јасно дефинисање величина у механици, попут импулса, момента силе, рада силе и снаге, и тиме поткрепили принципе механике.

За 18. век је карактеристично и то што је бављење науком, које је до тада углавном било „привилегија богатих“ или финансирано од стране мецена, ређе и универзитета, постајало институционализована професија. Најбољи пример је каријера математичара и физичара Леонарда Ојлера (нем. *Leonard Euler*, 1707–1783) на академијама у Санкт Петербургу и Берлину.

Имајући у виду да су се универзитети у том периоду декларисали као пре свега „преносиоци знања“, док су престижне научне академије биле посвећене генерисању новог знања и промовисању истраживања, не изненађује да су управо академије одиграле кључну улогу у дефинисању физике (експерименталне, пре свега) као науке какву данас познајемо, искључивањем ботанике, зоологије, анатомије и физиологије из спектра области које је физика до тада покривала и профилишући је као емпиријску науку [7].

Тада је на академијама, али и на универзитетима, установљена и традиција одржавања јавних предавања праћених ефектним, специјално дизајнираним експериментима, којима је у Француској повремено присуствовао и краљ Луј XV. Лондонска академија је била још активнија, па је у тамошњој јавности био широко прихваћен приступ природним наукама на бази експеримента. У Холандији су експерименталне демонстрације већ биле саставни део курикулума на Универзитету у Лајндену. Ускоро су се широм Европе предавачи утркивали у осмишљавању и набавци експерименталних поставки, како би што ефектније демонстрирали законе кретања, принципе рада једноставних машина, принципе на којима почивају статика, хидростатика, пнеуматика, простирање светлости и звука, магнетизам, електрицитет...

Физичар Жан-Антоан Нолет (фр. *Jean-Antoine Nollet*, 1700–1770) је био један од најуспешнијих предавача у Француској. Дизајнирао је и дао да се изради преко 350 апарата и експерименталних поставки. Предавања базирана на демонстрацијама су била јавна и имала су изражен едукативни карактер, јер су омогућавала да се и публици са ограниченим корпусом знања омогући увид у научна достигнућа и демонстрирају закони физике [4].

2.3. КАДА ЈЕ ЗНАЊЕ ПОСТАЛО КАПИТАЛ

У следећем столећу термин „филозофи природе“ замењен је новом речју „научници“². Век је започео открићем електричне батерије, да би, после Ерстедових (хол. *Hans Christian Ørsted*, 1777–1851) експеримената који су резултовали открићем везе између електрицитета и магнетизма, Фарадеј (енгл. *Michael Faraday*, 1791–1867) ушао у историју као експериментатор који је значајно допринео проучавању електромагнетизма, за који је Максвел (енгл. *James Clerk Maxwell*, 1831–1879) дао математичко објашњење. Термодинамика је уведена као концепт почетком 19. века, да би њени најзначајнији закони били разрађени и усвојени до 1865. године. Захваљујући претходним открићима, омогућене су израда и примена комплекснијих уређаја у експериментима који су довели и до открића *X* зрака, електрона и радиоактивности. До 19. века проучавање карактеристика материјала није имало статус научне дисциплине. Знања инжењера о понашању материјала при затезању и компресији, као и о трењу и замору материјала, значајно су проширена захваљујући научним експериментима са ливеним и кованим гвожђем, иницираним развојем железничког саобраћаја [14].

Бескрајне сате проведене у мисаоном и физичком експериментисању, које су зарад науке жртвовали „природни филозофи“, у 19. веку су умели да цене научници – настављачи њиховог дела, док су иноватори умели да их уновче, кроз бројне патенте. Профитирала је и индустрија у развијеним земљама, која је научна достигнућа примењивала у развоју нових технологија и производа попут електричног мотора, телеграфа и телефона, радио апарата.

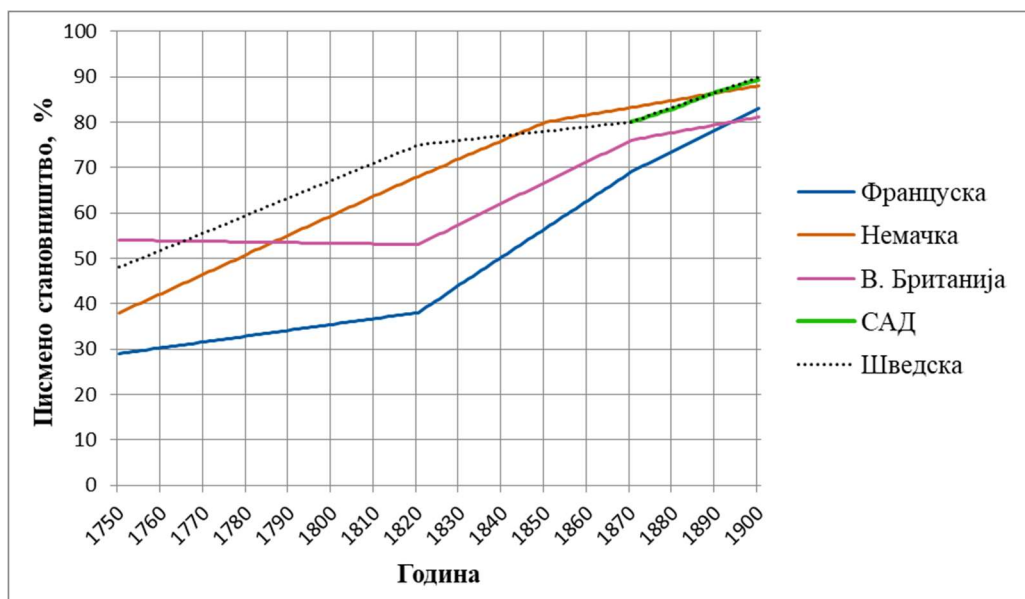
Индустријска револуција је променила свет, а како је одмицао 19. век, тако је расла и свест о томе да је знање капитал. Успостављена је снажна релација између технологије и науке. Примера ради, захваљујући водећој улози својих научника у области теоријске хемије, Немачка је постала лидер међу произвођачима боја, вештачког ђубрива и киселина које се користе у индустријским процесима [15]. Истовремено, успорени индустријски развој Француске се често доводи у везу са тиме што је индустрија била прилично затворена за научна истраживања и ослањала се на куповину патената и лиценци [16]. Са друге стране, технолошки развој је у огромној мери утицао на напредак научних истраживања, омогућујући опсервације и експерименте који без, примера ради, унапређених варијанти телескопа или катодних цеви не би били изводљиви.

Капитал са којим је Шведска ушла у процес индустријализације, иако је за тадашње европске економске прилике била сиромашна земља, био је висок проценат писменог становништва, што јој је омогућило да у другој половини 19. века оствари једну од највиших стопа раста у Европи. На слици 2.2 је уочљиво да је већ 1750. године почетна позиција Шведске, када је у питању писменост становништва, била повољнија од позиција Француске и Немачке³. Те две европске земље ће касније, уз Велику Британију и САД, имати највишу стопу индустријализације у свету (слика 2.3), али ће Шведска успешно ухватити корак, да би у 20. век ушла са преко 90% писменог становништва

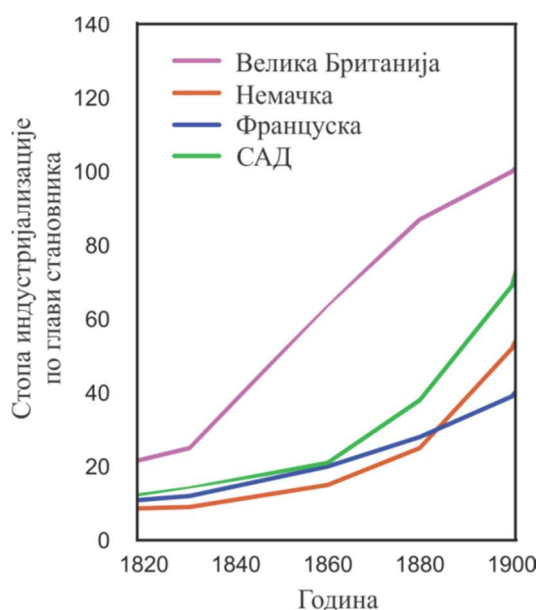
² Енглеска реч „*scientist*“ (научник) је ушла у употребу тек у 19. веку. Први ју је употребио *William Whewell* 1833. године у својој књизи *The History of the Inductive Sciences*. До тада су научници још увек називани природним филозофима.

³ Писменост је дефинисана као удео броја особа старијих од 14 година које умеју да читају и пишу у укупном броју становника. Трендови у периодима између расположивих података су приказани линеарно. У недостатку података о државама које ће се тек од 1871. године ујединити формирањем Немачког царства, коришћени су подаци који се односе на његову доминантну краљевину, Прусију. Подаци за САД су расположиви за период после 1870. године.

(слика 2.2) и са значајним растом бруто друштвеног производа по глави становника (слика 2.4).

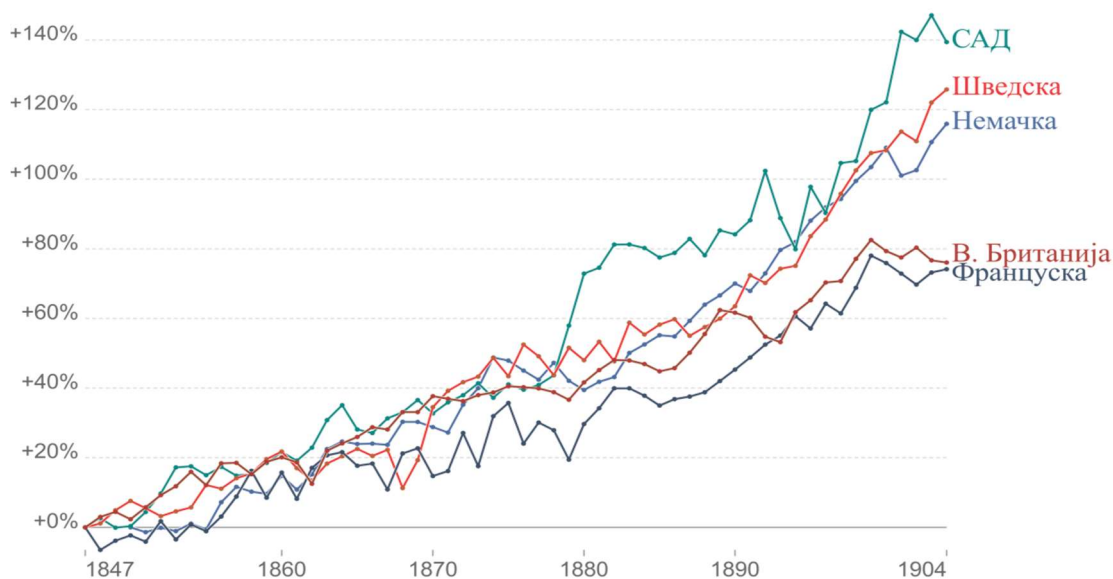


Слика 2.2 Процент писменог становништва у Шведској и у земљама са највећом стопом индустријализације у 19. веку – дијаграм на основу података у [17, 18]



Слика 2.3 Стопа индустријализације у земљама које су доживеле највећу експанзију индустријске производње крајем 19. века – прилагођено на основу [19]

У 19. веку је уочљива и зависност индустријског развоја од система и квалитета високог образовања, као и од научних истраживања у области природних и техничких наука. Већина аутора се данас слаже да та зависност ипак није била линеарна, али се не може порећи њен значај, уз узимање у обзир и других утицајних фактора [20]. Наиме, земље које су имале највећу експанзију индустријске производње крајем 19. века, Енглеска, Француска, Немачка и САД (слика 2.3) имале су различите системе образовања.



Слика 2.4 Промене БДП по глави становника (%) у Шведској и у земљама са највећом стопом индустријализације у другој половини 19. века – прилагођено на основу [21].

Уједињено Краљевство је у 19. век ушло са уделом од 25% у светском тржишту индустријских производа [22]. Покренувши рано процес индустријализације, Велика Британија је економски раст базирала пре свега на доступности сировина. Са робовласничких плантажа у колонијама памук је стизао у све савременије погоне за прераду, па је раст животног стандарда почивао на експанзији текстилне индустрије, али и на коришћењу енергије угља и воде и преради руда гвожђа, олова и бакра. образовање је постајало доступно све већем броју становника, индустрија је имала све веће потребе за технички образованим радницима, па су већ почетком 19. века оснивани институти у којима је организована обука из области као што су техничко цртање и хемија. У литератури [14, 16] се наводи да систем образовања у Великој Британији у 19. веку није био кохерентан. До 1836. године, односно до оснивања Универзитетског колеџа у Лондону (енгл. *University College London*), који је понудио и предмете из области модерних природних наука, Оксфорд и Кембриџ су били једини универзитети у Енглеској. Тек у последњих пар деценија 19. века основано је још неколико универзитета. Док су високе техничке школе у Немачкој осниване већ од 1899, у Великој Британији је, у домену машинства, највећи значај придаван стицању знања кроз радно искуство. Познати грађевински инжењер Изамбард Брунел (енгл. *Isambard Brunel*, 1806–1859) је у то време, у писму упућеном младићу који је изразио жељу да и сам постане инжењер, написао [14]:

„Морам Вас строго упозорити да не учите практичну механику из дела француских аутора. Њих користите за апстрактну науку, геометрију и сл., а никада немојте читати њихове радове из области механике... Више ћете о механици научити ако проведете пар сати у ковачкој или коларској радионици.“

Међутим, када је масивна конструкција од ливеног гвожђа у основи железничког моста у Честеру попустила и изазвала рушење моста који је пројектовао грађевински инжењер Роберт Стивенсон (енгл. *Robert Stephenson*, 1803–1859), Брунелова логика о учењу на грешкама показала се као опасна и скупа, а исправна само утолико што је поменута несрећа, у којој је неколико људи изгубило живот, иницирала увођење ригорозних стандарда у области железничке инфраструктуре. Права последица је била „промена курса“ – и сами Стивенсон и Брунел су почели да сарађују са научницима у свом даљем

раду. Тако се касније, захваљујући раду са физичким моделима и ангажовању математичара, дошло до дизајна цевних носача, а спој науке и инжењерства је од тада донео и бројне друге бенефите. Британско високо школство је ипак до краја века остало неуједначено у пољу инжењерства, а трансформација у систем који обухвата и уређено образовање у области инжењерских наука, дакле образовање базирано на теоријским знањима, завршено је до почетка Првог светског рата.

У Немачкој су у другој половини 19. века носиоци убрзаног индустријског развоја били компетентни и одлично обучени техничари, да би крајем 19. века техничке високе школе (нем. *Technische Hochschulen*) постале прави пример високог образовања у складу са потребама индустрије. У том периоду Немачка је и са стопом индустријализације (слика 2.3) и са БДП-ом оставила Француску иза себе. Почетком 20. века техничке високе школе су већ имале јасне правце деловања који су се, између осталог, ослањали на прилагођавање тешко разумљивих прорачуна потребама индустрије и систематско истраживање у области материјала и процеса применљивих у индустрији. Само од 1900. до 1914. године дипломирало је преко 10.000 инжењера [16], који су заузели важне позиције у индустрији. Тек тада су и универзитети у Немачкој почели да мењају своје програме и да их прилагођавају потребама индустрије, што је и данас карактеристика система високог образовања у техничко-технолошком пољу у Немачкој.

За разлику од Немачке, крива индустријског развоја у Француској крајем 19. и почетком 20. века је имала тренд непрекидног, али споријег раста (слика 2.3). Осим недостатка сировина, један од разлога за то био је и систем образовања, али и клима у француском друштву. Док је у Немачкој у то време инжењерска професија уживала престижни статус, знања из области емпиријских наука нису била високо цењена у француском друштву. Промене су почеле да се догађају при крају 19. века, када су отворане нове истраживачке лабораторије и успостављена је сарадња између индустрије и универзитета, што је резултовало оснивањем десетина института за примењена истраживања. Ипак, предмети попут механике и електротехнике су постали део курикулума Политехничке школе (фр. *Ecole Polytechnique*) тек када је већ одмицао 20. Век, а прве дипломе са звањем „индустријски инжењер“ (фр. *ingénieur industriel*) додељене су тек уочи Првог светског рата [16]. До 1920. квалитет образовања инжењера је у великој мери варирао од установе до установе. Тек у наредних пар деценија су основане нове високе школе (фр. *grandes écoles*), као француски еквивалент немачким *Technische Hochschulen*.

У САД су већ у првој половини века осниване институције специјализоване за образовање у пољу инжењерства и технологије, попут Академије Вест Поинт (енгл. *West Point Academy*); 1862. је основан и Институт за техногију у Масачусетсу (енгл. *Massachusetts Institute of Technology – MIT*), а тада је и Универзитет Јејл (енгл. *Yale University*) основао департман за инжењерство. Ипак, то није било довољно да се задовоље потребе америчке индустрије за инжењерима [16]. У почетку, утицај индустријалаца на високо школство је имао филантропску форму, али би свако донирање великих сума новца одјекнуло у медијима са негативном конотацијом, попут текста о донацији Џона Рокфелера (енгл. *John D. Rockefeller*, 1839–1937) у којем је Универзитет у Чикагу назван „*the Standard Oil University*“ [23]. Класична филантропија је затим трансформисана у финансирање истраживања на универзитетима, мада су у том периоду осниване и бројне истраживачке лабораторије при самим фабрикама. Касније су покретани пројекти заједничких истраживања, као претеча данашњих центара за интердисциплинарна истраживања у области инжењерства.

Илустративан је пример сукоба између истакнутог хемичара Артура Нојса (енгл. *Arthur Amos Noyes*, 1866–1936), председника департмана за хемију на *MIT*-у, и хемичара

Виљема Вокера, (енгл. *William Hultz Walker*, 1869–1934), такође истакнутог научника, који је, међутим, био оријентисан ка примењеним истраживањима [16]. Вокер није имао проблем са финансирањем својих истраживања, чији су резултати били евидентни, тако да је окупљао све шири круг истраживача око себе. Када је Вокер затражио оснивање засебног департмана за примењену хемију, Нојс је то схватио као ударац на интегритет академске заједнице и запретио је отказом. Оно што Нојс није очекивао је да ће његов отказ бити прихваћен, те је наставио успешну академску каријеру на Калтеху (енгл. *California Institute of Technology – Caltech*), док је Вокер успео у својој намери и касније је имао велики утицај на развој модерног хемијског инжењерства. На *MIT*-у су ипак настављена и фундаментална истраживања, као што је и теоријска хемија остала део курикулума.

Сукоб Нојса и Вокера и његов исход могу се сматрати примером трновитог пута ка постизању баланса између примењених и фундаменталних истраживања, као и између образовања заснованог на дубоком познавању научног фундамента и образовања заснованог на развоју компетенција које захтева привреда. Тај баланс је више пута довођен у питање током 20. века, у САД и у Европи, што је иницирало таласе промена у образовању инжењера. Са аспекта академске заједнице, то су биле значајне трансформације и резултати крупних компромиса. Са аспекта привреде, те промене су увек долазиле са закашњењем и биле су инкременталне природе.

3. ЗНАЧАЈ И УЛОГА ЕКСПЕРИМЕНТА У ОБРАЗОВАЊУ ИНЖЕЊЕРА

3.1. ШТА ЈЕ ДОНЕО 20. ВЕК

У првој половини 20. века доминирало је мишљење да су физички контакт са лабораторијском опремом и упознавање са реалним инжењерским конструкцијама, процесима и проблемима основа школовања инжењера, па су предавања и обуке често држали инжењери са богатим искуством. Они су, међутим у другој половини 20. века постепено уступали место истраживачима, јер је превладало мишљење да би студенти требало да стекли ширу слику о проблемима које проучавају.

У Сједињеним Америчким Државама базу за промене у оквиру процеса образовања инжењера у периоду од 1935. до 1965. године, када је рад у машинским лабораторијама постепено уступао место математичком моделовању и теоријском приступу, креирали су европски научници који су емигрирали у САД, попут Тимошенка (рус. *Степан Прокофьевич Тимошенко*, 1878–1972) и Кармана (мађ. *Kármán Tódor*, 1881–1963) [24].

Усвајање европског приступа образовању инжењера било је подстакнуто горким искуствима из Другог светског рата, када су се решавањем неуобичајених проблема у специфичним условима прославили физичари, остављајући инжењере у сенци. Инжењер електротехнике Фредерик Терман (енгл. *Frederick Terman*), током рата запослен у лабораторији MIT-а, а касније декан инжењерског департмана на Универзитету Станфорд (енгл. *Stanford University*), био је фрустриран чињеницом да су сву славу „приграбили“ физичари, али је признао да је и сам приметио да инжењери нису показали довољан ниво теоријског знања, посебно из области електронике и атомске енергије, те да је неопходно унети промене у образовни систем. То је била једна од послератних иницијатива које су довеле до усвајања историјског извештаја Америчког друштва за инжењерско образовање (енгл. *ASEE – American Society for Engineering Education*) из 1955. године, познатог под називом „Гринтеров извештај“ (енгл. *The Grinter report*) [25]. У Гринтеровом извештају је препоручен балансиран однос између теоријског знања и техничког знања примењивог у ширем друштвеном контексту. Касније ће се испоставити да је наведени извештај био подложен различитим тумачењима, што је довело до нових неспоразума између академске заједнице и индустрије.

Промене у образовању инжењера имале су директан утицај на фонд часова посвећених лабораторијским вежбама. Такође, са померањем фокуса на теоријска предавања, расположиви финансијски ресурси су морали бити другачије распоређени, па су лабораторијске вежбе постале „скупе“. О томе говори и искуство проф. др Ингвара Густавсона, који је студирао 60-их година у Стокхолму [26]. У то време није се пуно говорило о циљевима и исходима учења, али су лабораторијске вежбе увек покривале одређени аспект јединица обрађених током предавања. Рад у лабораторији се засебно оцењивао и студент је на испиту, на основу добијеног задатка, морао да наведе која опрема му је потребна за извођење датог експеримента. Уколико студент није био довољно прецизан, догађало се да му лаборант донесе управо оно што је тражио – на пример, осцилоскоп из музејског дела лабораторије – јер није прецизирао који тип уређаја му је потребан. По обављању експеримента, студент је дискутовао са професором и лабораторијским инструктором о добијеним резултатима. Такав начин рада захтевао је да и професор и инструктор буду ангажовани за испитивање највише осам студената, што је временом морало бити укинато, јер је редукован фонд за финансирање датог предмета. Тако је Краљевски институт за технологију (енгл. *Royal Institute of Technology*,

Stockholm) изгубио могућност издавања диплома са документованим искуством у лабораторији.

Током 70-их и 80-их година често су изражаване сумње у значај извођења експеримената у високом образовању, између осталог и због недовољне развијености метода за мерење исхода лабораторијских вежби [27]. Лабораторијске вежбе су поново почео да добијају на значају 90-их година. У литератури из тог периода често су заступљена мишљења да је рад у лабораторији „срце инжењерства“ и да се без њега не може замислити квалитетно образовање инжењера [28].

3.2. ГЛАС ИНДУСТРИЈЕ АРТИКУЛИСАН КРОЗ „БОИНГОВУ ЛИСТУ“

Оно што аутори Гринтеровог извештаја из 1955. нису могли предвидети је да ће академска заједница, према сопственом признању [25], четири деценије касније бити суочена са последицама погрешног тумачења препорука инжењерске заједнице. Оно што је требало да буде балансиран однос између теоријског и техничког знања, у реалности је постепено прерастало у доминацију теоријских предавања на рачун конструисања, рада у лабораторијама и експериментисања. То је било праћено и све већом, вољном али и обавезном, посвећеношћу професора научном истраживању на рачун наставе и иновирања курикулума. Како се ближио крај 20. века, факултети су се у све већој мери фокусирали на инжењерске науке, док је инжењерска пракса добијала све мање простора. У америчкој индустрији се тада активирао „црвени аларм“ који је упозоравао да све мањи број младих инжењера влада вештинама које су неопходне за рад и сналажење у реалном инжењерству.

Др Џон Мекмастерс (енгл. *John H. McMasters*), аеронаутички инжењер са богатом, три деценије дугом, каријером у компанији Боинг и професор Департмана за аеронаутику и астронаутику Универзитета у Вашингтону (енгл. *Department of Aeronautics and Astronautics at the University of Washington*) је у раду објављеном 2005. године [29] описао разлоге забринутости индустрије за будућност образовања инжењера, која је била веома изражена крајем 80-их и 90-их година 20. века, истичући да се слика није превише променила ни у време објављивања наведеног рада. Из перспективе индустрије, стање у образовању инжењера је на измаку 20. века, у краћим цртама, изгледало овако:

- Студије инжењерства и даље више подсећају на припрему за докторске студије, него на припрему за професионалну праксу.
- Велика већина предавача на факултетима нема никакво, или готово никакво, искуство стечено у индустрији, тако да не разуме потребе послодавца које се рапидно мењају.
- Трошкови школовања инжењера су алармантно високи, а студенти на основном нивоу студија не добијају оно што им је потребно. Скривене додатне трошкове обука и учења сноси послодавци, којима би било далеко исплативије да улажу новац у образовање инжењера, и то почев од његове најраније фазе.
- Промене у образовању инжењера су постале неопходне.

Тако је 1996. године настала тзв. „Боингова листа“ [29], која је садржала атрибуте које би требало да имају инжењери (табела 3.1).

Табела 3.1 „Боингова листа“ жељених атрибута инжењера – превод на основу [29]

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Добро разумевање фундамента инжењерских наука⁴: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Математика (укључујући статистику) ▪ Физика и науке о животу⁵ ▪ Информационе технологије (на далеко вишем нивоу од „компјутерске писмености“)
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Добро разумевање процеса дизајна и производних процеса (разумевање инжењерства)
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Мултидисциплинарна, системска перспектива
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Основно разумевање контекста у којем се одвијају инжењерске активности: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Економија (укључујући пословну праксу) ▪ Историја ▪ Окружење и животна средина ▪ Потребе купаца/корисника и друштвене потребе
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Добре комуникационе вештине: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Писање ▪ Говор ▪ Графички прикази ▪ Слушање
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Високи етички стандарди
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Способности критичког и креативног размишљања, самостално и у сарадњи са другима
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Флексибилност: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Способност и самопоуздање потребно за прилагођавање рапидним или великим променама
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Радозналост и жеља за доживотним учењем
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Дубоко разумевање значаја тимског рада

Листа је формирана са циљем да се дефинишу општи захтеви, односно фундаменталне вештине и знања која инжењери треба да поседују, без обзира на конкретну област инжењерства и на увођење нових технологија. Објављивање листе је представљало демонстрирање става индустрије да се њен глас мора чути и у академским круговима, од којих се очекивала одговарајућа реакција.

3.3. ОДГОВОР АБЕТ-А НА БОИНГОВУ ЛИСТУ

Документ познат као „Боингова листа“ је неколико година касније представљао основу за креирање поглавља посвећеног исходима учења у оквиру Критеријума у области инжењерства (енгл. *ABET Engineering Criteria 2000*) америчког Одбора за акредитацију у инжењерству и технологији (енгл. *ABET– Accreditation Board for Engineering and Technology*) [30], у складу са чијим стандардима је данас акредитовано више од 4000 студијских програма у преко 800 образовних институција широм света.

⁴ Енгл. *Engineering science* – интердисциплинарна област која се базира на математици и фундаменталним наукама, усмерена ка креативној примени знања неопходних за решавање инжењерских проблема; област науке која представља мост који спаја математику и фундаменталне науке са инжењерском праксом (извор: www.abet.org)

⁵ Енгл. *Life sciences* – науке које се баве структуром и понашањем живих бића, попут биологије, биохемије, антропологије итд. (извор: dictionary.cambridge.org)

„Глас“ индустрије, артикулисан кроз „Боингову листу“, и данас је присутан у *ABET*-овој листи очекиваних исхода учења [31], односно у опису онога што би инжењер требало да зна по завршетку студија:

- способност идентификовања, формулисања и решавања комплексних инжењерских проблема⁶ применом принципа инжењерства, природних наука и математике;
- способност примене инжењерског дизајна⁷ у циљу добијања решења која задовољавају специфичне потребе, узимајући у обзир јавно здравље, безбедност и добробит, као и глобалне, културне, социјалне, еколошке и економске факторе;
- способност успешног комуницирања са разноврсним саговорницима;
- способност препознавања етичких и професионалних одговорности у инжењерској пракси и доношење информисаних одлука, које морају узети у обзир утицај инжењерских решења у глобалном, економском, еколошком и социјалном контексту;
- способност успешног функционисања у оквиру тима чији чланови заједнички остварују водећу улогу и креирају колаборативно и инклузивно окружење, утврђују циљеве, планирају задатке и испуњавају задате циљеве;
- способност развоја и спровођења одговарајућих експеримената, анализе и интерпретирања података, примене инжењерског расуђивања при доношењу закључака;
- способност стицања и примене нових знања применом одговарајућих стратегија учења.

У претходној верзији [32], *ABET*-ова листа исхода учења је укључивала и захтев за коришћењем техника, вештина и савремених инжењерских алата неопходних у инжењерској пракси. У актуелној верзији се подразумева да је наведени захтев већ инкорпориран у описе исхода учења под бројевима 2 и 6. Када је реч о исходу учења под бројем 6, иако се од студента не захтева комплетан дизајн експеримента, *ABET* подразумева да студенти треба да буду оспособљени да самостално реализују пројекат базиран на експерименту, тако што ће изабрати одговарајући уређај, развити процедуру за реализацију експеримента, прикупити податке и ослањати се на инжењерско расуђивање како би дошли до закључака.

3.4. *CDIO* ИНИЦИЈАТИВА – ОДГОВОР ЛИДЕРА НА ЗАХТЕВЕ ИНДУСТРИЈЕ

Тражећи одговор на захтеве индустрије, престижни Институт за технологију у Масачусетсу (енгл. *Massachusetts Institute of Technology – MIT*) је крајем 90-их година спровео опсежно истраживање, тражећи мишљење представника индустрије, државних органа, алумнија и професора о томе која знања, вештине и ставове треба да поседује инжењер. На основу резултата истраживања, формиран је оквир за силабус базиран на идеји/концепту, дизајну/пројектовању, примени и управљању/руковању, познат по скраћеном називу *CDIO* (енгл. *Conceive, Design, Implement, Operate*) [33]. Касније су из наставног плана произашли *CDIO* стандарди, а 2006. године је формирана међународна

⁶ Енгл. *Complex engineering problems* – укључују широк спектар конфликтних техничких проблема за које не постоји очигледно решење и који нису обухваћени постојећим стандардима и прописима; њихово решавање укључује различите стејкхолдере и залази у више различитих дисциплина; могу имати значајне последице у различитим контекстима (извор: www.abet.org)

⁷ Енгл. *Engineering design* – процес развоја система, компоненте или процеса са циљем да се задовоље одређене потребе и захтеви у оквиру задатих ограничења; упитању је итеративан процес у којем се фундаменталне науке, математика и инжењерске науке примењују у циљу конвертовања ресурса у решења. (извор: www.abet.org)

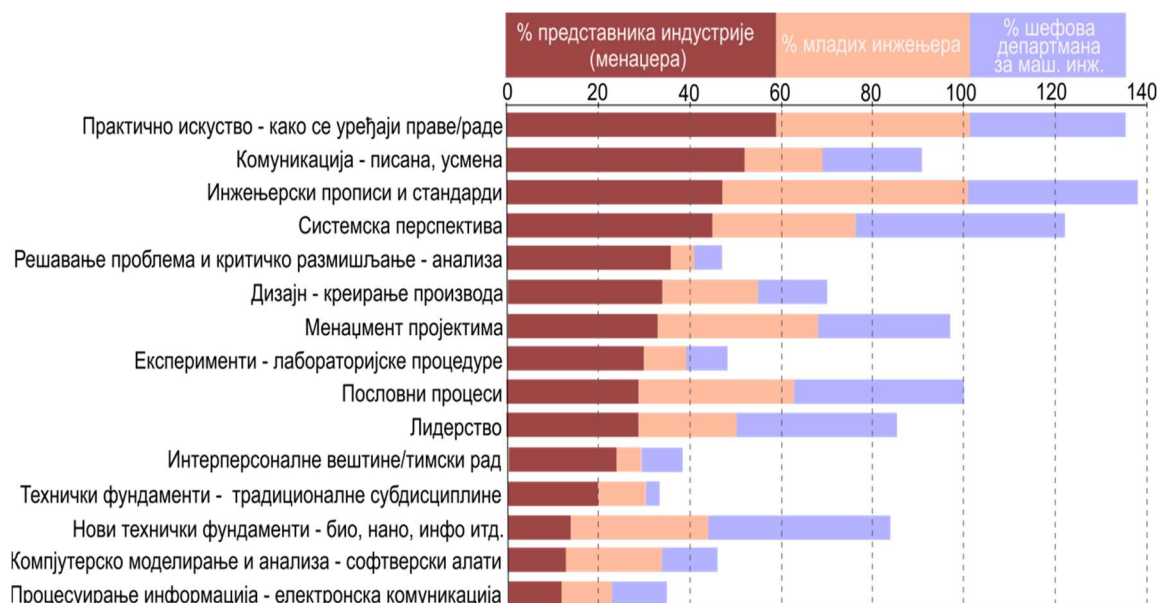
CDIO Иницијатива (енгл. *CDIO Initiative*), која данас окупља преко 120 инжењерских универзитета/факултета из целог света. Главне карактеристике образовања инжењера у складу са *CDIO* стандардима су:

- учење на бази пројеката, у оквиру којих студенти дизајнирају, праве и тестирају направљено,
- активно учење,
- учење на бази експеримента,
- интегрисање развоја интерперсоналних вештина у наставни план и програм.

3.5. ГЛАС МАШИНСКИХ ИНЖЕЊЕРА У „*ASME STRATEGY VISION 2030*“

Да Мекмастерсова констатација [29] да мисија *ABET*-а посвећена увођењу промена у образовање инжењера није била завршена 2005. године, потврђују и активности Америчког друштва машинских инжењера – *ASME*⁸, започете 2008. године. Те године је покренут пројекат „*Vision 2030*“ [34] у оквиру којег су анализирана мишљења преко 1400 инжењера на менаџерским позицијама и 1100 инжењера који су управо или недавно завршили студије, као и мишљења професора 80 универзитета – шефова департмана за машинско инжењерство. Они су дали процене и препоруке какво би требало да буде образовање инжењера да би задовољило актуелне и будуће захтеве професије, која у 21. веку, евидентно, пролази кроз процес трансформације. Извештај објављен четири године касније [35] је показао да у појединим областима и даље постоје значајна неслагања између представника индустрије и академске заједнице.

На слици 3.1 је приказано који проценат представника индустрије, младих инжењера и универзитетских професора сматра да се у одређеним областима морају унапредити компетенције дипломираних студената машинског инжењерства.



Слика 3.1 Резултати истраживања *ASME Vision 2030* – области у којима је потребно унапредити компетенције дипломираних студената – приређено на основу [36]

⁸ *ASME* – организација основана 1880. године; данас броји преко 90 000 чланова – машинских инжењера у 135 земаља (извор: asme.org)

Мада свега 20% представника индустрије сматра да се морају уложити додатни напори да би се унапредило знање дипломираних студената из области које покривају технички фундаменти, односно традиционалне субдисциплине, готово 60% њих сматра да је забрињавајуће низак ниво познавања начина на који машине и уређаји раде и начина њиховог пројектовања и израде. Инжењери на менаџерским позицијама, дакле, сматрају да није потребно проширивати захтеве за теоријским знањима, већ слабост у начину образовања инжењера виде у недовољном повезивању тих знања са реалним инжењерским конструкцијама, системима и проблемима. Због тога већина представника привреде види недостатак практичног искуства као недостатак, односно, у *SWOT* матрици, слабост (енгл. *Weakness*) младих инжењера.

У неким случајевима, мишљења која долазе из привреде се значајно разликују од ставова који потичу са универзитета. Примера ради, оно што на графику није видљиво, али је наведено у Извештају [35], само 14% представника индустрије сматра да је способност решавања проблема и критичког размишљања оно што чини „јачу страну“ младих инжењера, односно оно што би у *SWOT* матрици било дефинисано као снага (енгл. *Strength*). Истовремено, 57% дипломираних студената и 48% универзитетских професора управо у тој области виде снагу, односно веома развијену способност код дипломираних студената.

Судећи по закључцима изведеним на основу опсежног истраживања *Vision 203*. ни 15 година после објављивања „Боингове листе“ систем високог образовања у САД није у потпуности одговорио на захтеве привреде формулисане средином 90-их. Тако се у извештају *ASME* [35] поново као проблем наводи то што су студије инжењерства конципиране као да им је основна сврха припрема за докторске студије, иако велика већина свршених студената нема таквих аспирација, односно жели да се запосли по завршетку студија. Такође, у извештају из 2012. године понавља се и захтев [37] за ангажовањем одређеног броја наставника са значајним искуством стеченим у индустрији, као и захтев за омогућавањем развоја компетенција наставника у том домену, како би непрекидно били у контакту са индустријском праксом. Поновљени су и захтеви за унапређењем компетенција дипломираних студената у домену пројектовања производа и процеса, познавања ширег контекста у којем се одвијају инжењерске активности, критичког размишљања, системске перспективе и комуникације.

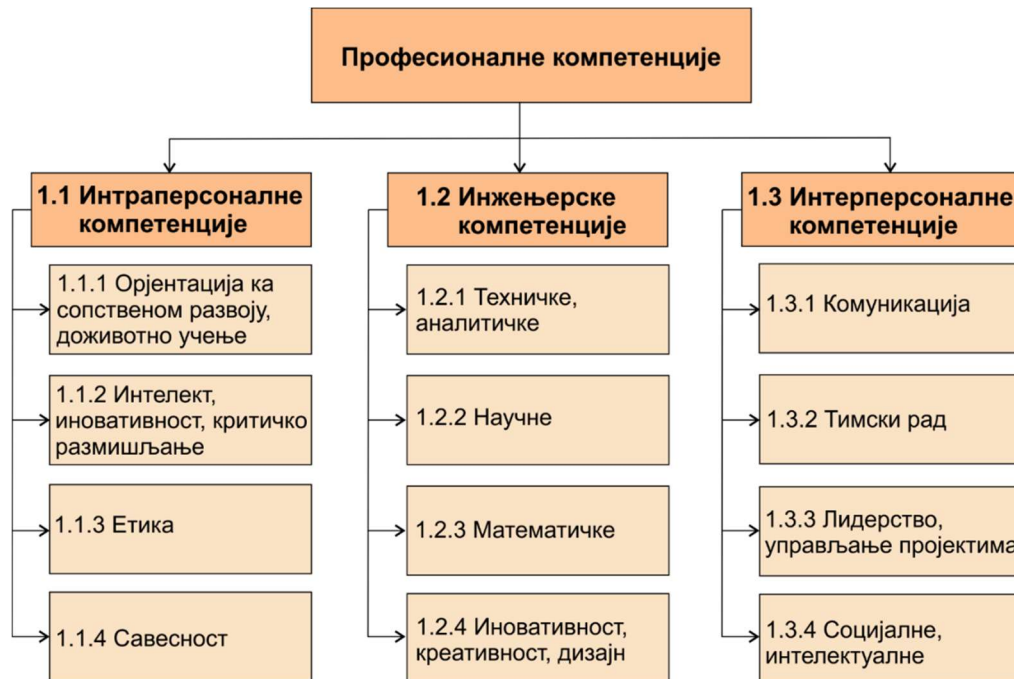
3.6. ГЛАС СТУДЕНАТА У *TUEE* ИЗВЕШТАЈУ

Тек што је *ASME* објавио резултате пројекта *Vision 203*. Америчко друштво за инжењерско образовање – *ASEE*⁹ (енгл. *American Society for Engineering Education*) је покренуло вишефазни пројекат по називом Трансформација основних студија инжењерства – *TUEE* (енгл. *Transforming Undergraduate Education in Engineering*). У првој фази су, поред универзитетских професора, консултовани представници индустрије, како би се креирала шира листа потребних компетенција, вештина и личних атрибута дипломираног инжењера.

У извештају објављеном 2017. године [38] наведено је да студенти сматрају да проблем није у обиму или ригорозним критеријумима који се односе на потребно знање из математике, природних наука и фундаменталних инжењерских дисциплина, већ у

⁹ *ASEE* – глобална организација, основана 1893, која окупља преко 12000 чланова (декана, шефова департмана, универзитетских наставника, студената, представника државних институција и индустрије), 400 инжењерских факултета, више од 50 корпорација, као и већи број владиних агенција и професионалних удружења (извор: asee.org)

начину на који је организован процес учења и у методама које се у том процесу примењују. Међу студентима је постојао консензус да је неопходно повезивати теоријска предавања из наведених области са примерима из реалне инжењерске праксе, односно примерима ситуација, задатака и послова у којима ће та знања бити примењивана и на који начин. Годину дана касније, објављен је извештај [39] у којем је приказана мапа компетенција (слика 3.2) креирана на основу резултата примене Делфи технике¹⁰ (енгл. *Delphi technique*) међу универзитетским наставницима.



Слика 3.2 ASEE мапа компетенција – приређено на основу [40]

Приметно је да је фокус значајно проширен на вештине у интраперсоналном и интерперсоналном домену, што је у време објављивања студије увелико постало тренд у анализама и научним истраживањима која покривају област образовања инжењера [41, 42]. Међутим, као што поједини аутори истичу [29], јасна и успешна комуникација захтева темељно познавање и разумевање фундаменталних инжењерских дисциплина, дакле елоквенцију подржану владањем стручном материјом и терминима, а не само асертивност и вештину ефектног презентовања уз помоћ одговарајућих рачунарских апликација. Такође, развој интерперсоналних и интраперсоналних вештина се мора одвијати тако да се у континуитету остварује веза са развојем стручних компетенција. *Passow & Passow* [43] су, на основу обрађених резултата истраживања спроведених анкетама 16603 испитаника и анализом 36100 објављених огласа за посао у инжењерској струци, закључили да би факултети требало да имају у виду три кључна принципа:

¹⁰ Делфи техника или Делфи метод је процес постизања консензуса на одређену тему међу групом експерата или стејкхолдера. Заснива се на попуњавању упитника у више итерација, све до постизања коначног решења. Познато је да је компанија *Renault* применила Делфи технику да би открила каквог дизајна и перформанси би требало да буде нови модел аутомобила који би заменио *Renault 5*. То је резултовало лансирањем модела *Renault Clio* 1990. године, који је 1991. проглашен европским аутомобилом године.

- Посао инжењера превазилази ниво обављања задатака заснованих на познавању научних принципа и обухвата низ активности, у техничком и социјалном смислу, које су од кључног значаја за успех пројеката.
- Вештине које не спадају у домен техничког знања не могу се стицати изоловано, ван техничког контекста у којем ће бити примењене.
- Образовање инжењера мора да почива на чвршћој повезаности са праксом, и то од самог почетка студија.

3.7. УЛОГА ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ У ОСТВАРИВАЊУ ИСХОДА УЧЕЊА

Компетенција се, у општем случају, може дефинисати као способност да се одређени задаци, односно послови, успешно и ефикасно обављају, захваљујући владању одговарајућим знањима и вештинама. Дефинисање специфичних компетенција зависи од аспекта са којег се оне посматрају, од окружења у којем су релевантне, па и од тренутка у којем се дефинишу, јер се компетенције могу, а врло често и морају, непрекидно развијати [44]. Компетентност за обављање одређеног посла подразумева владање скупом вештина, од којих су неке међусобно независне, а друге чине компетенцију само ако су подржане другим (комплексним, а често и скривеним) способностима. Одређене способности дипломираних студената доћи ће до изражаја или ће се развити тек по запошљавању, јер искуство, као и тацит знање које се делом стиче током студија, а делом на радном месту, такође представљају компоненте компетенција. То потврђује и дефиниција компетентности коју је дао *Shavelson* [44]: физичка или интелектуална способност и/или вештина, која омогућава да се нешто уради, а не само да се зна, и која се, као таква, не може проценити само на основу провере знања из одређене области, већ се мора посматрати у реалним ситуацијама, посматрањем извршења одређених реалних задатака или послова.

Мада су вештине и компетенције појмови који се понекад сматрају синонимима, основна разлика је у томе што се вештине најчешће односе на коришћење метода и инструмената у конкретној области и везују се за обављање конкретних задатака. Појам компетенције је шири и односи се на способност одређене особе да и у новим ситуацијама, када је суочена са неочекиваним изазовима, самостално примени знање и вештине којима влада и на тај начин решава (или учествује у решавању) проблема.

Исходи учења обухватају знања (теоријска и чињенична) и вештине (когнитивне и практичне) стечене током процеса учења. У најкраћем, исходи учења обухватају оно што ученик или студент зна, разуме и уме да ради по завршетку процеса учења.

У инжењерској професији, чија улога постаје све комплекснија и значајнија како одмиче 21. век, јер глобални изазови захтевају све шири круг компетенција, усклађивање захтева свих заинтересованих страна у процесу образовања инжењера подразумева да и установе високог образовања у техничко-технолошком пољу морају показати флексибилност при креирању наставних планова и програма и у начину извођења наставе. У прегледном раду из 2017. године [43], који обједињује резултате 52 студије, на основу обрађених литературних извора закључено је да би се природа посла инжењера могла дефинисати на следећи начин:

„Инжењери раде у техничком контексту како би креирали, имплементирали и одржали поуздана решења која задовољавају потребе клијената у оквиру ограничења попут техничке и производне изводљивости, времена, буџета, пословног окружења, прописа и

закона, етике, политике, утицаја на безбедност и здравље људи, као и на животну средину, локалну заједницу и друштво у целини. Посао инжењера захтева техничке компетенције и сарадњу, јер једна особа не може познавати сваки сегмент комплексних система. У динамичном радном окружењу, инжењери се фокусирају на „ширу слику“, доносе одлуке на бази података, управљају својим пројектима чак и без формалних овлашћења и преузимају иницијативу када је реч о томе шта треба да ураде, које информације треба да прикупе и са ким треба да сарађују, прелазећи границе појединачних дисциплина, па и организационих нивоа и ограничења, ако је то потребно. Инжењери преузимају одговорност за резултате и утицај својих пројеката као и за унапређење својих вештина.“

Иако свесни да се компетенције инжењера непосредно по завршетку студија и после више година радног искуства често значајно разликују, послодавци имају одређена очекивања од тек свршених студената. Такође, очекују и да инжењер буде оспособљен да усваја нова знања и вештине током времена. То имплицира да се веома одговорна улога високог образовања не завршава дефинисањем и мерењем остварених исхода учења и развојем компетенција које су, по завршетку студија, видљиве и мерљиве и на радном месту. Та улога је проширена на постизање дугорочних ефеката, односно оспособљавање дипломираног студента за даље напредовање усвајањем концепта доживотног учења.

3.7.1. Дефинисање исхода учења и компетенција у Европском образовном подручју

Подручје Европске економске заједнице – ЕЕЗ (енгл. *European Economic Community – EEC*) се у области образовања инжењера крајем 80-их година суочавало са захтевима и изазовима веома сличним онима који су претходили објављивању Боингове листе у САД. Додатни проблеми проистицали су из нехомогености образовних система у земљама чланицама, који нису могли бити превазиђени усвајањем докумената о процедурама међусобног упоређивања и евентуалног признавања инжењерских квалификација.

Дубока подела била је базирана на два различита приступа профилу инжењера, француском и англосаксонском [45]. Традиционални француски систем образовања инжењера тежио је профилу инжењера у ширем смислу, са ширим дијапазоном знања и вештина, темељним разумевањем фундамената физике и математике, применом дедуктивне логике (процеса закључивања у смеру од општег ка посебном) у анализирању разноврсних ситуација. Такав инжењер је морао проћи кроз интегрисани циклус петогодишњег или шестогодишњег школовања или кроз два циклуса који одговарају данашњим основним и мастер студијама. Његово образовање је имало изражену академску и научну димензију.

Са друге стране, англосаксонски систем образовања инжењера, типичан за Немачку, тежио је профилисању инжењера – специјалисте, фокусираног на примењена техничка знања и вештине. Инжењер – специјалиста одлично влада одређеним скупом вештина, али је тај скуп ограничен на подручје специјализације. Он примењује индуктивну логику (процес размишљања и закључивања који полази од појединачних случајева и креће се ка уопштавању), а његово школовање је трајало две до три године.

Инжењерима – специјалистима се замерало да не могу успешно пратити технолошки напредак и укључивати се у пројекте развоја и истраживања, а од инжењера у општем смислу индустрија је захтевала више техничког знања и са њим повезаних вештина. Захтеви индустрије били су често у сукобу не само са ставовима академске заједнице, који су такође били подељени, већ и са тежњом држава чланица и читаве ЕЕЗ, као нове економске силе, да се постигне конкурентност на светском тржишту, којим су у то време

увелико владала два гиганта технолошког напретка – САД и Јапан. Поменуте земље су у то време улагале 40% више свог БДП-а у истраживање и развој него ЕЕЗ. Илустрација резултата такве политике је податак да је половина свих патената регистрованих у свету у то време потицала из САД [45]. Уско специјализовани инжењери у таквом свету и даље су имали значајну улогу, али самостално нису могли бити носиоци промена.

Дебата с краја 80-их је указивала на неопходност блиске сарадње привреде и институција високог образовања и водила је ка неизбежној реформи система образовања у оквиру техничко-технолошког поља, базираној на усвајању заједничког компромисног решења између француског и англосаксонског приступа.

Формирање Европског образовног подручја и Болоњска декларација су од 1999. године отворили пут ка постизању тог компромиса. Европска мрежа за акредитацију инжењерског образовања – *ENAEЕ* (енгл. *European Network for Accreditation of Engineering Education*) [46] је основана 2006. године, када је окончана реализација првог пројекта *EUR-ACE* (енгл. *European Accredited Engineer*). Годину дана касније, агенције за акредитацију, ауторизоване од стране *ENAEЕ*, почеле су да одобравају означавање првог и другог циклуса инжењерских програма *EUR-ACE®* заштитним знаком, као потврдом квалитета и усклађености са европским стандардима.

Креирање заједничког образовног простора на тлу Европске уније праћено је и процесом интеграције тржишта рада. Како би се постигла униформност при формулисању назива и описа звања, квалификација, занимања и са њима повезаних компетенција, Европска комисија је развила онлајн платформу *ESCO* (енгл. *European Skills, Competences, Qualifications and Occupations*) која садржи класификацију вештина, компетенција, квалификација и занимања на 27 језика.

У оквиру Европске класификације вештина, компетенција, квалификација и занимања [47], компетенција се дефинише као доказана способност да се користе знања, вештине и персоналне, социјалне и/или методолошке способности у раду или учењу и у професионалном и личном развоју. Ова дефиниција је у складу са Европским оквиром квалификација (енгл. *EQF – European Qualifications Framework*) [48], на чијој имплементацији, поред земаља чланица ЕУ, ради још 11 земаља, међу којима је и Србија. *ESCO* база би, на нивоу Европе, требало да представља везу између исхода учења, дефинисаних у складу са *EUR-ACE* стандардима акредитације, и реалних компетенција, као захтева послодаваца.

Према дефиницији занимања у оквиру Европске класификације вештина, компетенција, квалификација и занимања – *ESCO* [49], инжењери машинства се баве истраживањем, планирају и осмишљавају механичке производе и системе, надзиру израду, рад, примену, инсталацију и поправке система и производа, истражују и анализирају податке. На нивоу менаџера, описи послова се значајно разликују, па тако, примера ради, менаџер производње у металској индустрији [50] организује и управља пројектима (на дневној бази и у дугорочном смислу), креира планове производње, регрутује ново особље, стара се о примени политике компаније и прописа и правилника у домену безбедности, тежи постизању задовољства купаца кроз гарантовање квалитета производа.

Када су у питању исходи учења, *EUR-ACE* стандарди [51] за акредитацију инжењерских студијских програма обухватају следеће области:

- знање и разумевање,
- инжењерска анализа,
- инжењерски дизајн (пројектовање),
- истраживање,

- инжењерска пракса,
- доношење судова и одлука,
- комуникација и тимски рад,
- доживотно учење.

Додатно, Европски оквир квалификација [48], у дефинисање исхода учења укључује и компоненте одговорности и самосталности (аутономије), у смислу способности да се знања и вештине примене самостално и одговорно.

Прва наведена област се односи на знање и разумевање фундаменталних инжењерских дисциплина од значаја за област специјализације, као и научних принципа и релација у областима које покривају математика и друге науке од фундаменталног значаја за инжењерску професију, али и свест о мултидисциплинарној природи инжењерства. Наведена знања морају бити на нивоу који је неопходан за постизање осталих исхода студијског програма.

Такође, у *EUR-ACE* стандардима и упутствима за акредитацију инжењерских програма се наводи да по завршетку основних студија инжењер треба да поседује и да демонстрира вештине за рад у лабораторији, као и способност да дизајнира и спроводи експерименте, интерпретира податке и изводи закључке, те да код свршених студената мастер студија те вештине треба да буду на напредном нивоу.

У Србији, Национални савет за високо образовање, у Правилнику о стандардима и поступку за акредитацију студијских програма [52], у оквиру Стандарда 3 наводи да циљеви студијског програма укључују постизање компетенција и академских вештина као и методе за њихово стицање, а могу укључивати и развој креативних способности и овладавање специфичним практичним вештинама потребним за обављање професије.

У оквиру Стандарда 4 компетенције дипломираних студената дефинишу се као опште и предметно-специфичне способности (које су у функцији квалитетног обављања одређене делатности). Опште способности се односе на анализу проблема, истраживање, критичко мишљење, комуникацију и сарадњу са ужим и ширим окружењем и професионалну етику. Предметно-специфичне способности се односе на темељно познавање и разумевање дисциплине одговарајуће струке, решавање конкретних проблема уз употребу научних метода и поступака, повезивање и примену знања из различитих области, развој вештина и примену новина у струци, употребу информационо-комуникационих технологија.

Када су у питању исходи учења, члан 4.3. овог стандарда за њихово дефинисање упућује на дескрипторе Националног оквира квалификација у Републици Србији (НОКС) [53]. НОКС дефинише компетенцију [53] као интегрисани скуп знања, вештина, способности и ставова, који омогућавају појединцу ефикасно обављање активности у послу у складу са очекиваним стандардом. Дескриптори НОКС-а за нивое образовања 6.1, 6.2 и 7.1 су наведени у табели 3.2. Руководећи се стандардима за акредитацију и дескрипторима НОКС-а, високообразовне институције у Србији формулишу циљеве и исходе учења, односно очекиване компетенције.

Табела 3.2 НОКС – дескриптори исхода учења за нивое 6.1, 6.2 и 7.1 [53]

6.1 ОАС, 180 ЕСПБ	ЗНАЊЕ	Поседује напредна академска и/или стручна знања која се односе на теорије, принципе и процесе укључујући вредновање, критичко разумевање и примену у области учења и/или рада.
	ВЕШТИНЕ	Решава сложене проблеме у области учења и/или рада у стандардним условима. Примењује вештине успешне комуникације у интеракцији и сарадњи са другима из различитих друштвених група. Користи опрему, инструменте и уређаје релевантне за област учења и/или рада.
	СПОСОБНОСТИ И СТАВОВИ	Предузимљив је у решавању проблема у стандардним условима. Води сложене пројекте самостално и са пуном одговорношћу. Примењује етичке стандарде своје професије. Организује, контролише и обучава друге за рад. Анализира и вреднује различите концепте, моделе и принципе теорије и праксе. Иspoљава позитиван однос према значају целоживотног учења у личном и професионалном развоју.
6.2 ОАС, 240 ЕСПБ	ЗНАЊЕ	Поседује напредна академска и/или стручна знања која се односе на теорије, принципе и процесе укључујући вредновање, критичко разумевање и примену у области учења и/или рада.
	ВЕШТИНЕ	Решава сложене проблеме у области учења и/или рада у нестандартним условима. Примењује вештине успешне комуникације у интеракцији и сарадњи са другима из различитих друштвених група. Користи опрему, инструменте и уређаје релевантне за област учења и/или рада.
	СПОСОБНОСТИ И СТАВОВИ	Предузимљив је у решавању проблема у нестандартним условима. Води сложене пројекте самостално и са пуном одговорношћу. Примењује етичке стандарде своје професије. Организује, контролише и обучава друге за рад. Анализира и вреднује различите концепте, моделе и принципе теорије и праксе унапређујући постојећу праксу. Иspoљава позитиван однос према значају целоживотног учења у личном и професионалном развоју.
7.1 МАС, 60 или 120 ЕСПБ	ЗНАЊЕ	Поседује високо специјализована академска и/или стручна знања која се односе на теорије и принципе; процесе, укључујући вредновање, критичко разумевање и примену у области учења и/или рада.
	ВЕШТИНЕ	Решава сложене проблеме на иновативан начин који доприноси развоју у области учења и/или рада. Управља и води сложену комуникацију, интеракцију и сарадњу са другима из различитих друштвених група; Примењује сложене методе, инструменте и уређаје релевантне за област учења и/или рада.
	СПОСОБНОСТИ И СТАВОВИ	Делује предузетнички и преузима руководеће послове; Самостално и са пуном одговорношћу води најсложеније пројекте. Планира и реализује научна и/или примењена истраживања. Контролише рад и вреднује резултате других ради унапређивања постојеће праксе.

На светском нивоу, документ Атрибути и професионалне компетенције дипломираних студената (енгл. *Graduate attributes & professional competencies*) [54], чију је актуелну верзију усвојила Међународна инжењерска алијанса (енгл. *International Engineering*

Alliance – IEA) у јуну 2021. године, такође даје смернице у домену исхода учења у области образовања инжењера. Међутим, конкретни описи исхода учења зависе од институције у којој се формулишу и, са аспекта послодаваца, често не указују јасно не само на то „шта је тачно научено“ већ и „на ком нивоу је научено“, односно колико је применљиво, па поједини аутори [55] и данас сматрају да комуникација између оних који говоре језиком академске заједнице и оних који говоре језиком бизниса и инжењерске професије још увек није могућа без неке врсте „преводачког“ напора.

3.7.2. Веза између исхода учења, компетенција и лабораторијских вежби

У Великој Британији, Инжењерско веће (енгл. *Engineering Council*) је регулаторно тело задужено за издавање лиценци професионалним инжењерима. Такође, то тело је ауторизовано од стране *ENAE* за акредитовање студијских програма у области инжењерства у складу са *EUR-ACE* стандардима. Имајући у виду усклађеност са *EUR-ACE*, сврсисходно је поредити начин на који су у документу *AHEP* (енгл. *Accreditation of Higher Education Programmes*) [56] дефинисани исходи учења са начином на који су у документу *UK-SPEC* (енгл. *United Kingdom Standard for Professional Engineering Competence*) [57] дефинисане неопходне компетенције инжењера у оквиру услова за добијање професионалне лиценце. Наведени документи Инжењерског већа су међусобно усклађени.

У табели 3.3 су издвојени примери исхода процеса учења (по завршетку основних студија) чијем остваривању доприносе активности у оквиру лабораторијских вежби, праћени описом одговарајућих компетенција.

Табела 3.3 Примери исхода учења чијем остваривању доприносе лабораторијске вежбе, праћени описом одговарајућих компетенција – приређено на основу [56, 57]

ИСХОДИ учења – захтев акредитације (<i>AHEP</i>)
<p><u>ПРИРОДНЕ НАУКЕ, МАТЕМАТИКА И ПРИНЦИПИ ИНЖЕЊЕРСТВА</u> Примењује знање из математике, статистике, природних наука и инжењерских принципа у решавању широко дефинисаних проблема¹¹.</p> <p><u>ИНЖЕЊЕРСКА АНАЛИЗА</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ анализа широко дефинисаних проблема, доношење закључака поткрепљених базичним принципима математике, статистике, природних наука и инж. начела, ▪ коришћење одговарајућих рачунских и аналитичких техника и метода за моделовање широко дефинисаних проблема, ▪ селекција и коришћење техничке литературе и других извора информација при решавању широко дефинисаних проблема. <p><u>ИНЖЕЊЕРСКА ПРАКСА</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ коришћење практичних лабораторијских и радионичких вештина при истраживању шире дефинисаних проблема, ▪ селекција и примена одговарајућих материјала, опреме, инж. технологија и процеса ▪ успешно самостално функционисање, али и у функцији члана или вође тима, ▪ успешно комуницирање са саговорницима из техничког и не-техничког миљеа.

¹¹ Енгл. *Broadly defined engineering problems* – проблеми који не могу бити решени без поседовања систематског теоријског познавања инжењерских фундамената, као и пројектовања и технологија у области специјализације; решавају се применом постојећих технологија, најчешће уз коришћење потврђених аналитичких метода и модела (извор: <https://www.ieaagreements.org/>)

Табела 3.3 – наставак

КОМПЕТЕНЦИЈЕ – захтеви за издавање професионалне лиценце (UK-SPEC):

ЗНАЊЕ И РАЗУМЕВАЊЕ

Користи комбинацију општег и специфичног инжењерског знања и разумевања применљивог у постојећим, али и долазећим технологијама. Инжењер ће демонстрирати да је стекао, задржао и унапредио здрав (логичан, егзактан, базиран на чињеницама) теоријски приступ технологијама које се примењују у инжењерској пракси, примену таквог приступа решавању проблема, давање доприноса.

ПРОЈЕКТОВАЊЕ, РАЗВОЈ И РЕШАВАЊЕ ИНЖЕЊЕРСКИХ ПРОБЛЕМА

- прикупљање и анализа резултата,
- спровођење неопходних тестирања,
- идентификовање ресурса неопходних за имплементацију,
- примена конструктивних решења, узимајући у обзир критична ограничења, укључујући питања безбедности и одрживости,
- идентификовање проблема током имплементације и предузимање корективних мера,
- допринос давању препорука за побољшања и активно учење на основу повратних информација и резултата.

КОМУНИКАЦИЈА И ИНТЕРПЕРСОНАЛНЕ ВЕШТИНЕ

Способност конструктивног рада са другима, јасно излагање и објашњавање идеја и предлога и објективно и конструктивно дискутовање.

Дати пример илуструје у којој мери се при опису компетенција неопходних за добијање професионалне лиценце, дакле у инжењерској пракси, потенцира веза између теоријског знања и могућности његове примене, као и веза између општег и специфичног инжењерског знања, али пре свега колико је значајно дубоко разумевање фундаменталних принципа математике, природних наука и базичних инжењерских дисциплина. Експлицитно наведени исходи који се односе на „практичне лабораторијске и радионичке вештине“ повезани су са компетенцијама које се развијају директним руковањем опремом у лабораторијама, анализом конструкције и резултата експеримента, радом у тимовима, презентовањем резултата и применом других одговарајућих метода подучавања/учења током лабораторијских вежби.

Бројни аутори указују на значај демонстрирања физичких закона као основе за анализу и решавање сложенијих проблема [58], као и на значај осталих типова лабораторијских вежби у образовању инжењера [59–62]. У UK-SPEC Водичу за испуњавање АНЕР исхода учења (енгл. *Guidance on how to meet the Learning Outcome*) [63] успостављена је веза између захтева акредитације и метода које се примењују, односно начина на које ће установа демонстрирати услове за остварење конкретних исхода учења. Рад у лабораторији је наведен као услов за испуњење више захтева. Табела 3.4 је приређена како би се приказало коју улогу лабораторијске вежбе имају у постизању одређених исхода учења.

Академска заједница у релевантним документима, у Европи и свету, појам „знање“ увек везује за појам „разумевање“, док се у опису исхода учења наглашава да ниво знања и разумевања мора да буде такав да омогући постизање осталих исхода учења. Знање и суштинско разумевање теоријских концепата и научних закона су, дакле, темељ за развој других компетенција, заједно са интерперсоналним и интраперсоналним вештинама, чији развој мора бити инкорпориран у наставни процес.

Табела 3.4. Улога лабораторијских вежби у остваривању исхода учења – приређено на основу захтева акредитације *AHEP* [63]

<p>ПРИРОДНЕ НАУКЕ, МАТЕМАТИКА И ПРИНЦИПИ ИНЖЕЊЕРСТВА</p> <p>Рад у лабораторији укључује демонстрацију релевантних научних принципа, коришћење савремених технологија и статистичку обраду и презентовање резултата.</p>
<p>ИНЖЕЊЕРСКА АНАЛИЗА</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Анализа проблема ▪ Аналитички алати и технике ▪ Техничка литература <p>Рад у лабораторији треба да омогући испуњење захтева у домену конкретне инжењерске дисциплине, што укључује експерименте и демонстрацију релевантних научних принципа.</p>
<p>ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ИНОВАЦИЈЕ</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Пројектовање ▪ Интегрисани/системски приступ <p>Рад у лабораторији који укључује и прављење избора између више начина на који се може доћи до решења.</p>
<p>ИНЖЕЊЕР И ДРУШТВО</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Одрживост ▪ Етика ▪ Ризик ▪ Безбедност ▪ Једнакост, различитост и инклузија <p>/ (није наведено)</p>
<p>ИНЖЕЊЕРСКА ПРАКСА</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Практичне и радионичке вештине ▪ Материјали, опрема, технологије и процеси ▪ Менаџмент квалитетом ▪ Инжењерски и пројектни менаџмент ▪ Тимски рад ▪ Комуникација ▪ Доживотно учење <p>Рад у лабораторији треба да омогући испуњење захтева у домену конкретне инжењерске дисциплине, што укључује експерименте и демонстрацију релевантне инжењерске праксе.</p>

Чак и подела на тзв. „меке“ и „тврде“ вештине (енгл. *soft / hard skills*), честа у дискурсу академске заједнице, не искључује значај дубоког познавања инжењерских фундамената (као и специфичних области инжењерства), ни у једном случају. *Winberg* и др. у прегледном раду из 2020. године [64], у којем се баве развојем вештина у процесу образовања инжењера које повећавају запошљивост, закључују да се у литератури која се бави том тематиком, без обзира на различите приступе и методе, постоји својеврстан консензус аутора да је у основи запошљивости владање знањима из фундаменталних наука и инжењерских дисциплина. Штавише, значајан број аутора заступа став да ће

студенти који нису сигурни у своје знање из области инжењерског фундамента тешко развити компетенције у домену комуникације, менаџмента или професионалне етике. „Меке вештине“ се најчешће перципирају као подршка „тврдим“ вештинама, које су неопходан услов да се уопште добије и обавља посао. „Меке“ вештине, са друге стране, одређују курс даљег кретања и развоја каријере, односно напредовања [65]. Међутим, успешна комуникација, као „мека“ вештина која је веома често апострофирана у захтевима послодаваца, не подразумева само вештину презентовања, већ у оквиру свакодневних захтева професије мора почивати на знању. *McMasters* (у потпоглављу 2.2 цитиран у контексту захтева индустрије, односно Боингове листе) је то формулисао на следећи начин [29]:

„Гласни захтеви за бољом комуникацијом су веома често интерпретирани слободно, уз повлађивање такозваном „PowerPoint инжењерству“ – трошењу далеко више времена и труда на изглед презентација и начин презентовања него на интелектуални садржај. Искусни стручњаци у индустрији нас данас строго упозоравају да јасна комуникација захтева дубоко разумевање фундамента, у много већој мери него само вештину презентовања.“

Рад у лабораторији је увек повезан са остваривањем одређених исхода учења, на шта и садржај табеле 3.4 упућује, а применом одговарајућих метода у лабораторијама превазилазе се оквири стицања стриктно техничког знања и унапређења вештина руковања опремом и инструментима, односно стварају се услови за развој ширег скупа вештина. У литератури се често потенцирају разлике између образовања базираног на компетенцијама и образовања базираног на исходима, јер фокус на компетенцијама подразумева сужавање исхода на одређена знања и вештине, односно на компетенције које су уско везане за одређену област. Ипак, постоје мишљења да у образовању инжењера та разлика није изражена, јер се у области образовања које припада техничким наукама исходи учења и компетенције често могу изједначити [66].

3.8. УЛОГА ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ У РАЗЛИЧИТИМ КОНЦЕПТИМА ТРАНСФЕРА ЗНАЊА

У литератури [67] су препозната три основна типа инжењерских лабораторија:

- развојне (у којима се траже решења чија примена је унапред позната),
- истраживачке (у којима се нова знања генерализују и систематизују, без унапред дефинисане примене) и
- едукацијске (у којима студенти треба да усвоје знања за која се претпоставља да их инжењери већ поседују и примењују у пословној пракси).

Едукацијске лабораторије се, у зависности од начина приступа опреми, деле на [68]:

- лабораторије у којима се директно рукује опремом (енгл. *hands-on laboratory*).
- виртуалне лабораторије, базиране на симулацији процеса и система (енгл. *simulated or virtual laboratory*) и
- лабораторије са удаљеним приступом (енгл. *remote or distributed laboratory*).

Симулације се користе када је у питању експеримент који би у реалним условима предуго трајао, када се због питања безбедности експеримент не може извести у реалним условима или када експеримент, једноставно, превише скуп. У литератури која се бави улогом експеримента у образовању и унапређењем лабораторијских вежби, међу ауторима постоји својеврсни консензус да виртуалне лабораторије, односно симулације, не могу заменити директно руковање или удаљени приступ опреми, али могу помоћи да

се знања лакше усвоје, нарочито уколико се примењују у фази припреме за рад са реалним лабораторијским сетовима и системима [69]. Резултати појединих истраживања указују на далеко мању мотивисаност студената приликом примене симулација у односу на директно руковање [70], чију неопходност потврђују и други аутори, не поричући да симулације значајно доприносе концептуалном разумевању код студената [71]. За разлику од симулација, које подразумевају одсуство опреме као реалног артефакта, лабораторије са удаљеним приступом омогућавају да се опреми приступа са више локација, чиме се постижу и значајне уштеде [72]. Међутим, *remote* лабораторије и даље немају широку примену. Примера ради, на америчком *MIT*-у је развијено неколико лабораторија са омогућеним удаљеним приступом опреми, али се у настави и даље доминантно користе класичне лабораторије [73]. Мерење исхода учења је у неким случајевима показало да сваки од три наведена приступа даје резултате, али се они односе на различите исходе учења, па се као оптимално решење предлаже њихово комбиновање [68, 69].

У зависности од контекста у који се смештају лабораторијске вежбе у оквиру процеса образовања, као и од расположивих ресурса (опреме, простора, времена, особља) и циљева које је потребно остварити, а који диктирају врсте активности које ће се изводити током вежби (групни или индивидуални рад, директно руковање опремом или демонстрирање њеног рада, већи или мањи степен слободе при дизајнирању експеримента), вежбе у лабораторијама за едукацију могу имати форму) [74]:

- демонстрација (без активног учешћа студената),
- контролисаних вежби (које имају познат исход и студенти их изводе пратећи унапред дефинисано упутство) или
- форму структурираног истраживања (које је у већој мери отворено за учешће студената, од којих се очекује и да планирају експеримент или неки његов део.

У литератури су усвојени и изрази [75, 76]:

- лабораторијске вежбе базирани на „рецепту“ (енгл. *recipe-based*), односно на утврђеном низу операција које се увек изводе на исти начин;
- лабораторијске вежбе базирани на истраживању (енгл. *enquiry based*).

Активности студената у лабораторијама се могу класификовати у четири типа [77]:

- потврђивање (знања, природних закона и др.),
- истраживање,
- откривање (информација или законитости које претходно нису биле презентоване) и
- решавање проблема.

У случају када је приступ експерименту заснован на потврђивању (енгл. *confirmatory experiments*), студенти изводе унапред испланиран експеримент са унапред познатим резултатима, што значи да је реч о дедуктивном процесу закључивања. Са друге стране, приступ заснован на истраживању подразумева да је експеримент отвореног типа, односно студенти га самостално планирају и не знају унапред које резултате треба да очекују, те је у питању индуктивни процес.

Поред нових технологија, крајем 20. века стигла су и нова сазнања о начину на који људски ум усваја знања. Истраживање спроведено 2020. године у Шведској, међу 416 студената инжењерства, бавило се избором стратегије самосталног учења [78]. Решавање примера који се односе на примену наученог оцењено је од стране студената као најбоља стратегија учења, јер им, како су навели, помаже да заиста разумеју теоријски део

наставних јединица и да потврде научено. Овакво расуђивање студената у потпуности се поклапа са резултатима научних истраживања на тему когнитивних процеса [79] која повезивање теоријског знања са примерима оцењују као начин учења који даје најбоље ефекте. У контексту креирања везе између теоријских и реалних система, процеса и проблема може се посматрати и улога лабораторијских вежби у процесу учења.

Професор емеритус на Државном универзитету Северне Каролине и добитник бројних награда за професионални и научни допринос у области образовања инжењера, др Ричард М. Фелдер (енгл. *Richard Mark Felder, North Carolina State University*) сматра да, иако је конструктивистички приступ широко прихваћен у високом образовању и формално заступљен у захтевима који се испостављају пред високообразовне установе при акредитацији, традиционални позитивистички приступ је и даље често присутан у пракси [80]. Позитивистички приступ подразумева да је задатак наставника да што јасније презентује материјал, док је задатак студената да презентовано усвоје и разумеју. Према Фелдеру, узроком неуспеха таквог процеса трансфера знања обично се сматрају недовољна марљивост или неспособност студента да разуме градиво, док се вештине предавача, као други могући узрок, у пракси далеко ређе доводе у питање. Са друге стране, конструктивизам у образовању поставља више захтева пред наставнике, јер се класична предавања примењују само када је потребно меморисање чињеница, док се за постизање дубоког разумевања примењују друге методе. Иако су и код овог приступа способности и марљивост студента, као и вештине предавача, од виталног значаја, у обзир се узимају и улазно знање, правилно или неправилно поимање презентованих концепата и садржаја предмета, ниво заинтересованости, перцепција значаја градива за даље учење или професију, различити стилови учења и обраде информација и др. Методе које се додатно примењују, у комбинацији са класичним теоријским предавањима, усмерене су управо на наведене и друге информације о самим студентима и начинима на који они усвајају нова знања. За разлику од позитивизма, где централну улогу има предавач, конструктивизам, који је нарочито заступљен у образовању инжењера, је оријентисан ка студенту (енгл. *learner-centered teaching*).

У складу са конструктивистичким приступом је и модел „обрнуте учионице“ (енгл. *Flipped Classroom*) [81]. Традиционални модели, засновани на позитивистичком приступу, подразумевају да час почиње усменим предавањем, наставља се давањем одговарајућег материјала за учење и разрадом презентованог кроз мањи број вежби, а завршава израдом домаћих задатака у различитим формама, којима студенти потврђују да су усвојили одговарајућа знања у мери у којој се то од њих очекивало. Модел обрнуте учионице подразумева да се студенти упознају са градивом и уче пре доласка на час, користећи текстуални материјал или видео презентације, да би пуно разумевање било постигнуто на самом часу, који може обухватати индивидуалне или групне активности. *Lo* и *Hew* [81] у прегледном раду износе закључак да постоји низ доказа за позитивне ефекте примене модела обрнуте учионице у образовању инжењера. У образовању инжењера, обрнута учионица се веома често везује за лабораторијске вежбе [82–84] и представља начин да се измештањем презентовања теоријске основе вежби и упознавања са опремом и дизајном експеримента из лабораторија у онлајн простор, ослободе додатни термини у лабораторијама за примену метода активног учења и директно руковање опремом.

Концепт активног учења (енгл. *Active Learning*) присутан је деценијама на свим нивоима образовања и ефикасношћу његове примене бавили су се бројни аутори [85–87]. То је и разлог постојања великог броја различитих дефиниција овог концепта; свима је, међутим, заједничко да активно учење стоји на супрот усмених предавања на којима су студенти пасивни слушаоци. Најједноставније дефинисано, активно учење подразумева

да „студенти нешто раде и размишљају о томе што раде“ и може се одвијати у учионици, лабораторији, током пројектовања, индивидуалног или тимског рада, док студент у руци држи неки алат, оловку или телефон, али ће се тешко остварити ако су руке студента празне, осим у случајевима када је активно укључен у неку дискусију [88]. Из наведених разлога, јасно је због чега се лабораторијске вежбе често повезују са концептом активног учења [89]. Активно учење позитивно утиче на резултате које студенти постижу и на њихову мотивисаност и заинтересованост за усвајање нових знања. У основи активног учења је конструктивизам, који подразумева да се знање не преноси са наставника на студенте, већ се „конструише у глави појединца“ кроз интеракције са другим људима [90]. Аутори у [91] наводе примере добре праксе који се односе на примену концепта активног учења у образовању инжењера на водећим америчким и европским универзитетима. У свим наведеним примерима активно учење обухвата извођење експеримената и директно руковање опремом, али подразумева и значајна улагања у опрему, опремање простора и ИКТ подршку.

За појам активног учења везују се и пројектно учење и учење засновано на решавању проблема. У техничко-технолошком пољу, пројектно учење или учење засновано на пројекту (енгл. *Project-based Learning*) [88] базира се на добијању задатка који се најчешће, али не и обавезно, обавља кроз тимски рад студената, а чији резултат треба да буде дизајнерско решење, модел, уређај или одговарајућа компјутерска симулација. По окончању пројекта, спроведене процедуре и резултати се презентују у писаној и/или усменој форми. Међутим, пројектно учење које укључује и израду модела и других физичких резултата пројекта могуће је примењивати само у институцијама које располажу одговарајућом опремом, просторним и финансијским ресурсима.

Учење засновано на решавању проблема (енгл. *Problem-based Learning*) усвојено је у медицинском образовању још 60-их година, да би почетком 21. века већ постојао низ доказа о његовој успешној примени и у образовању инжењера [92]. У питању је метода која се заснива на пажљиво конципираном проблему за који студенти, најчешће у групи, треба да понуде решење. На тај начин, студенти самостално развијају приступ проблему, истражују, сарађују и на крају презентују своје решење [93]. У инжењерству, учење засновано на решавању проблема се примењује због сличности са процесом пројектовања: велики број фаза, иницирање процеса идентификовањем проблема који захтева решење, групни рад, учење током процеса решавања проблема, мотивисаност и организационе способности као неопходни услови и др.[92] Међутим, док за позитивне ефекте рада у малим тимовима на резултате које студенти постижу постоје несумњиви докази, процес учења којим студенти самостално управљају (тзв. самоусмерено учење) може имати негативан утицај на успех студената. Стога се примени учења заснованог на решавању проблема, које обухвата и рад у малим тимовима и самоусмерено учење, мора приступити пажљиво, водећи рачуна да негативни ефекти не пониште позитивне [86].

На концепту активног учења базирани су и Бигзови принципа конструктивног усаглашавања [66] (енгл. *John Biggs, Constructive Alignment*), које је усмерено на исходе учења и њихово континуирано оцењивање (енгл. *Outcomes-Based Teaching and Learning*). Бигз своју теорију базира на претпоставци да већина студената учи оно што претпоставља да ће се од њега тражити на испиту, односно оно што ће бити оцењивано. Стога је, по Бигзу, једини пут ка томе да студенти науче оно што се од њих очекује укључивање у тестове и друге видове провере и оцењивања знања управо оних питања и задатака који обухватају оно што треба темељно да се научи. У контексту лабораторијских вежби, конструктивно усаглашавање подразумева обезбеђивање услова да студенти имају јасну представу о томе шта треба да науче током вежби, као и да сви буду укључени у низ активности, те да током свих фаза одвијања вежби добијају

повратне информације о својим резултатима. Циљ конструктивног усаглашавања је да се сви студенти подстакну да се активно укључе у активности током наставе, и то на начин на који то спонтано чине најбољи међу њима. Бигз то илуструје следећим примером:

„Сјузан је студент о каквом сањају сви наставници. Њој готово да и није потребно подучавање, она је мотивисана, поседује знање и активно учи чак и током самих предавања. Роберт није сигуран у своје циљеве, прати наставу из предмета који га заправо не занимају претерано, тако да он пасивно седи током наставе. Постоји огромна разлика између резултата које постижу Сјузан и Роберт. У настави која захтева од свих студената да се укључе у активности које су директно повезане са жељеним исходима учења – где је подучавање конструктивно усаглашено – Роберт ће се готово сигурно посветити учењу на начин на који то Сјузан ради сасвим спонтано.“

По мишљењу аутора недавно објављеног рада посвећеног анализи критика на рачун Бигзових принципа конструктивног усаглашавања [94], проблем није у ефектима њихове примене, који су, уз све недостатке, несумњиво позитивни, већ у томе што је суштина његове теорије временом почела да бледи и утапа се у море административних захтева који се у све већој мери постављају пред институције високог образовања. У настојању да те захтеве формално задовоље, факултети су квалитативни карактер Бигзових начела готово у потпуности заменили квантитативним приступом. Правилно примењени, Бигзови принципи дају позитивне ефекте, што потврђују бројни литературни извори новијег датума [95–97].

У образовању инжењера, код већине студената најбољи ефекти у процесу учења се постижу на основу конкретних искустава или посматрања, размишљања о узрочно-последичним везама, повезивања претходно ученог са апстрактним концептима и спровођења експеримента, како би се потврдило или даље разјаснило све претходно, а што све заједно представља улазно знање за даље учење [88]. Стога се и улога лабораторијских вежби у процесу образовања инжењера често повезује са Колбовим моделом искуственог учења [98] који обухвата четири фазе у форми спиралног циклуса, чије секвенце се понављају: конкретно искуство (перцепција и чулна спознаја; треба да доведе до одређених запажања и сазнања), рефлексивно посматрање (размишљање о ономе што се посматра, тј. о претходном искуству), апстрактну концептуализацију (креирање апстрактних концепата и генерализација) и активно експериментисање (тестирање концепата у новим ситуацијама).

У Јапану, на већини универзитета за образовање инжењера, примењује се модел Образовање засновано на раду у лабораторијама (енгл. *Laboratory-based education, LBE*) [99]. У лабораторијама, којима управљају професори, ангажовани су и постдокторанди, студенти докторских студија и студенти завршних година дипломских студија. У оквиру пирамидалне организације лабораторије, долази до вишеструких интеракција, хоризонтално – у оквиру сваког нивоа и вертикално – међу припадницима различитих нивоа, тако да студенти, осим што бивају подучавани од оних са вишим нивоом знања, такође уче радећи у тимовима са својим вршњацима, али и укључујући се као подршка истраживачким активностима. На тај начин развијају се и вештине које се односе на комуникацију, тимски рад, лидерство и менаџмент. Државна Агенција за међународну сарадњу Јапана (енгл. *Japan International Cooperation Agency, JICA*) је кроз низ пројеката промовисала и подржала увођење *LBE* модела у системе образовања инжењера у земљама у развоју [100].

Уколико се наведеним моделима и методама придруже и модели који воде ка томе да студенти заиста разумеју научено (енгл. *Teaching for understanding*) [101] и да развијају приступ учењу заснован на дубоком разумевању (енгл. *Deep Approach*), насупрот

површном стилу учења (енгл. *Surface Approach*), улога експеримента у процесу образовања постаје јаснија, а њен значај недвосмислен. При томе, рад у лабораторији се може одвијати као фаза у спровођењу неке од наведених или других савремених метода подучавања фокусираних на одређени скуп вештина или представљати кључни сет активности у оквиру подршке развоју суштинског разумевања теоријског фундамента.

3.9. ЦИЉЕВИ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ

Једна од основних улога експеримента у образовању инжењера је стварање услова да се студентима помогне да суштински схвате научне законе и принципе на којима почивају реални системи. Као циљеви лабораторијских вежби у општем смислу, у литератури се најчешће наводе повезивање теорије са реалним инжењерством и мотивисање студената како би се заинтересовали за инжењерство генерално или за неку његову област. Такође, један од општих циљева односи се на омогућавање студентима да виде и „осете“ физичке системе, имајући у виду да је све мањи број оних који студије инжењерства уписују са одређеним техничким предзнањем или праксом.

Имајући у виду да су лабораторијске вежбе део комплексног процеса, који обухвата и предавања, аудиторне вежбе и примену низа различитих метода, циљеви лабораторијских вежби се усклађују са захтевима курикулима, односно са циљевима дефинисаним за предмете у оквиру којих се изводе. При томе, потребно је дефинисати циљеве и за сваку вежбу понаособ. Одсуство јасних и конкретних циљева учења отежава и евалуацију исхода програма лабораторијских вежби, која се, како истичу *Hofstein* и *Lunetta* [27], и иначе не спроводи довољно често и пажљиво.

Акредитационо тело за област инжењерства и технологије (енгл. *ABET– Accreditation Board for Engineering and Technology*) је 2002. године окупило водеће стручњаке у САД и после тродневне дискусије формулисано је 13 циљева учења у оквиру лабораторијских вежби током основних студија у области инжењерства [102]:

Циљ 1: Инструментација

Студент треба да уме да примени одговарајуће сензоре, инструментацију, и/или софтверске алате за мерење физичких величина.

Циљ 2: Модели

Студент треба да уме да идентификује предности и ограничења теоријских модела као предиктора понашања у реалном свету. То може укључивати и процену да ли теорија адекватно описује физички догађај, као и утврђивање или потврђивање зависности између величина које се мере и физичких принципа.

Циљ 3: Експеримент

Студент треба да буде способан да развија експериментални приступ, направи спецификацију одговарајуће опреме и процедура, примени дате процедуре и интерпретира резултате, у циљу утврђивања карактеристика материјала, компоненти или система.

Циљ 4: Анализа података

Студент треба да демонстрира способност да прикупља, анализира и интерпретира податке. и да формулише одговарајуће закључке. Такође, треба да уме да процени ред величина и да познаје системе јединица и њихово конвертовање.

Циљ 5: Дизајн

Студент треба да буде у могућности да конструише, изради или склопи део, производ или систем, што укључује и примену специфичних методологија; да направи спецификацију захтева; да тестира и отклони грешке на прототипу, систему или процесу, применом одговарајућих алата, како би захтеви били задовољени.

Циљ 6: Учење на грешкама

Студент треба да уме да препозна неуспешне резултате проузроковане неисправношћу опреме, делова, кодова, конструкције, процеса или дизајна, и да реинжењерингом дође до ефикасних решења.

Циљ 7: Креативност

Студент треба да покаже одговарајући ниво самосталног размишљања, креативности и способности решавања реалних проблема.

Циљ 8: Психомоторика

Студент треба да покаже компетентност за одабир, модификацију и рад са одговарајућим инжењерским алатима и ресурсима.

Циљ 9: Безбедност

Студент треба да препозна повезаност питања здравља, безбедности и заштите околине са технолошким процесима и активностима и да се њима бави одговорно.

Циљ 10: Комуникација

Студент треба да буде у стању да успешно комуницира у вези са радом у лабораторији са специфичним саговорницима, како усмено тако и у писаној форми, на нивоима који се крећу од извршних резимеа до свеобухватних техничких извештаја.

Циљ 11: Тимски рад

Студент треба да буде способан да ефикасно ради у тимовима, што укључује и структурирање индивидуалне и заједничке одговорности; додељује улоге, одговорности и задатке; прати напредак; поштује рокове; интегрише појединачне доприносе у коначни резултат.

Циљ 12: Етика у лабораторији

Студент треба да уме да се понаша у складу са највишим етичким стандардима, укључујући и то да објективно приказује информације и да у интеракције улази са интегритетом.

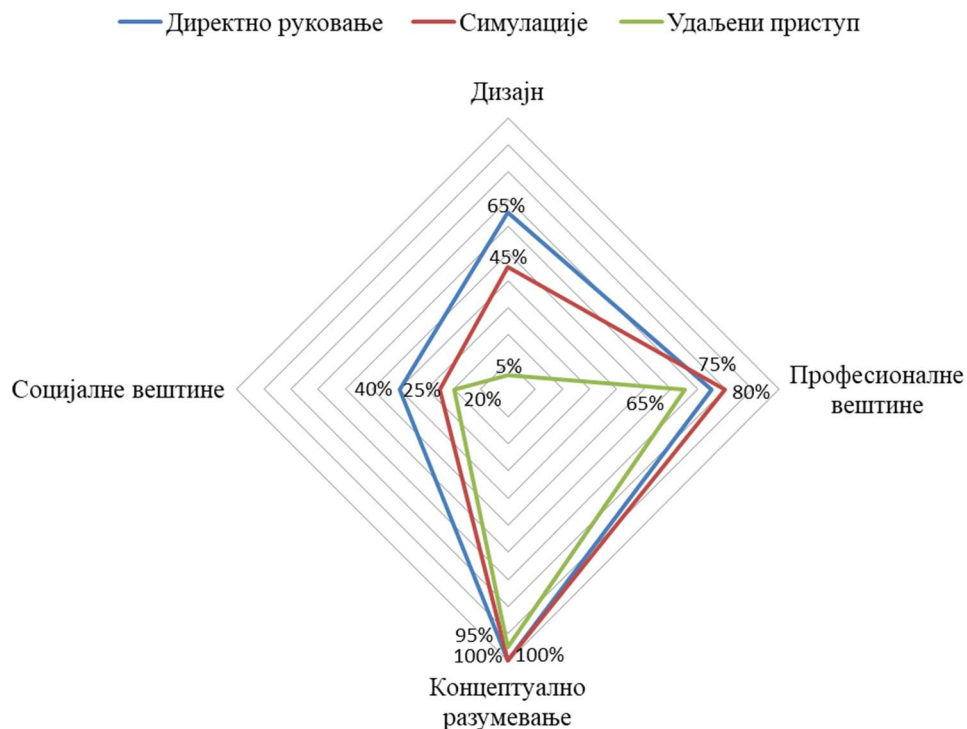
Циљ 13: Сензорна свест

Студент треба да буде у стању да користи чула при прикупљању информација и да доноси разумне инжењерске процене у формулисању закључака о реалним проблемима.

Наведени циљеви су уопштени и у великој мери подсећају на исходе инжењерских студијских програма, тако да представљају само оквир за дефинисање циљева вежби на нивоу предмета у оквиру којих се вежбе одвијају. У зависности од метода које се примењују и расположивих ресурса, јасно формулисани циљеви свих лабораторијских вежби би требало да буду у функцији остварења очекиваних исхода на нивоу студијског програма, што је и *ABET* имао у виду приликом формулисања наведених 13 циљева. Недовољно јасно дефинисање циљева учења у оквиру лабораторијских вежби доводи до

стицања искустава која нису међусобно повезана и која у недовољној мери доприносе развоју вештина које се односе на извођење експеримената [103].

Бавећи се предностима и ограничењима три основна типа лабораторијских вежби, у зависности од тога да ли су засноване на директном руковању, удаљеном приступу опреми или компјутерским симулацијама, *Ma* и *Nickerson* [104] су издвојили четири основна циља лабораторијских вежби, а затим утврдили учесталог њиховог навођења у тематским научним часописима, на основу опсежног компаративног прегледа објављених радова. На основу података наведених у [104] приређен је дијаграм на слици 3.3.



Слика 3.3 Учесталост навођења основних циљева различитих типова лабораторијских вежби у литератури – приређено на основу података у [104]

Дијаграм указује на то да је концептуално разумевање¹² наведено као циљ у свим анализираним радовима који се баве директним руковањем и удаљеним приступом, као и у 95% радова који се баве применом компјутерских симулација. Стицање знања и развој вештина која се односе на дизајн¹³ ретко се наводе као циљеви удаљеног приступа лабораторијској опреми, који се такође ретко доводи у везу и са развојем социјалних вештина. Развој професионалних вештина¹⁴ као циљ вежби је готово подједнако

¹² Концептуално разумевање подразумева суштинско и функционално разумевање чињеница и релација између појмова репрезентованих на различите начине (модела, структура итд.) и омогућава примену знања у различитим контекстима. У инжењерству, сматра се предусловом за успешно решавање инжењерских проблема. Процедурално знање, са друге стране, подразумева познавање корака које је потребно проћи при реализацији одређене процедуре.

¹³ У инжењерству, појам дизајнирања новог производа се односи на пројектовање и конструисање, које се не своди само на израду техничких цртежа, нити је лишено креативног аспекта, већ представља комплексан процес који се одвија у више фаза и укључује доношење бројних одлука.

¹⁴ Под професионалним вештинама подразумевају се вештине ван области стручности или уже области специјализације, попут познавања рада на рачунару, знања страних језика и сл.

заступљен у радовима који промовишу примену компјутерских симулацији и радовима који се баве директним руковањем опремом.

Поједини аутори упозоравају [105] да се набавци опреме, а затим и избору опреме која ће се користити за одређени тип вежби, не приступа увек са довољно пажње, односно не узимају се у обзир могућности и ограничења опреме са аспекта циљева које је потребно остварити. Стога, у лабораторијама акценат треба да буде на сврси спроведених активности [106], односно на питањима зашто студенти треба да учествују у одређеној активности и шта ће добити стицањем тог искуства, а не на самим активностима.

4. ПРЕГЛЕД СТАЊА У ОБЛАСТИ ИСТРАЖИВАЊА

Тема учења кроз експеримент је веома заступљена у литератури, чији је опсежан преглед резултовао груписањем проблема препознатих у универзитетским лабораторијама широм света, а затим и реализованих решења, подељених у два сегмента: решења заснована на примени нових метода над постојећом лабораторијском опремом, решења заснована на развоју сопствене опреме и иновативна нискобуџетна решења. Детаљно је анализиран један од лидера у образовању инжењера, амерички *MIT*, који примењује сва наведена решења, укључујући и развој економичних једноставних лабораторијских сетова, иако располаже буџетом који је далеко изнад просека у свету. На Факултету инжењерских наука се већ десетак година развијају уређаји и учила, који се примењују у настави и користе за научна истраживања, што је такође описано у овом поглављу.

4.1 ПРЕПОЗНАТИ ПРОБЛЕМИ У СВЕТУ

Инжењерски факултети широм света често се суочавају са проблемом финансирања програма лабораторијских вежби, које, између осталог, обухвата и набавку лабораторијске опреме. Стога изналажење алтернативних начина да се опрема занови, у односу на набавку скупе опреме, као и начина да се и у условима ограничених ресурса, применом адекватних метода, остваре планирани исходи учења, представљају изазове са којима се институције високог образовања често суочавају. Описујући стање ствари у вези са овом проблематиком у Уганди, аутор текста у оквиру *UNESCO* извештаја објављеног 2010. године [107] наводи да су разумљиве потешкоће у домену мотивисања студената да не уче само због добијања оцене, ако се има у виду да је број студената на инжењерским програмима све већи, те расположиви лабораторијски ресурси нису довољни. Уколико већи број студената изводи експерименте користећи само један уређај или лабораторијски сет, њихов губитак ентузијазма не треба да изненађује, нарочито на нижим годинама студија. У наведеном извештају се закључује да лабораторијске вежбе трпе због недостатка функционалне опреме, али и због њене застарелости. На сличне проблеме, али уочене десет година касније у Аустралији, указују и аутори у [108] који истичу да, услед континуираног смањивања буџета, институције високог образовања у области инжењерства имају проблем да прибаве средства за инвестирање у набавку нове опреме и одржавање постојећих лабораторијских ресурса, неопходних да би се студентима омогућило учење на основу сопственог искуства и стицање потребних техничких знања и вештина руковања опремом. Проблем недовољног броја уређаја и друге лабораторијске опреме, услед чега велике групе студената изводе вежбу на једном уређају, истичу и аутори из других крајева света [21, 109, 110].

У Правилнику о поступку за акредитацију студијских програма [111], који је Национални савет за високо образовање донео 2019. године, у оквиру норматива за квалитетно извођење студијских програма у пољу техничко-технолошких наука, наводи се да групе за лабораторијске вежбе треба да броје до двадесет студената на основним студијама, односно до осам студената на мастер студијама, са толеранцијом од 10 %. У питању је максималан број студената који ће у датом термину похађати вежбе, што не искључује даљу поделу на мање групе студената које вежбу изводе на једном лабораторијском уређају или сету, нити искључује индивидуално извођење вежби. У високом школству у техничко-технолошком пољу, према подацима у литератури и другим јавно доступним изворима, формирање малих група студената је неопходан услов за остваривање циљева лабораторијских вежби. На Техничком универзитету Луизијана, САД (енгл. *The College of Engineering and Science at Louisiana Tech University*) [110] дефинисан је и остварен циљ

да студенти раде у групама од два до четири члана. На престижном америчком колеџу *Rose-Hulman Institute of Technology* [112] студенти уобичајено раде у групама које не броје више од четири члана, док се тзв. „мини експерименти“ изводе у паровима. На сајту Универзитета Колумбија (*Columbia University*) је наведено да се у лабораторији за мехатронику вежбе изводе у пару [113]. На *MIT*-у је у наставним плановима за вежбе испитивања материјала затезањем наведено да студенти раде у групама од два до три [114] или три до пет чланова [115].

Наведени примери илуструју настојање да се студентима кроз програм лабораторијских вежби омогући приступ лабораторијској опреми, како би у што већој мери самостално изводили вежбе, индивидуално или у малим тимовима. Међутим, услови за остваривање тих циљева нису уједначени, чак ни у системима високог образовања у развијеним земљама, па се немогућност формирања малих група студената при извођењу лабораторијских вежби често наводи као проблем.

Поред опреме, простор којим се располаже такође може представљати ограничење при реализацији лабораторијских вежби базираних на директном руковању опремом, па је флексибилност при дизајнирању таквог простора често императив [88]. Предност је уколико је лабораторијска опрема флексибилне конфигурације. Међутим, уколико је реч о опреми већих габарита, мењање конфигурације изискује ангажовање додатног особља и утрошак времена, или је чак неизводљиво у случају када је опрема фиксирана или захтева испуњење специфичних захтева који се односе на пратећу инфраструктуру.

Чак и када не постоји проблем недостатка опреме, односно када су групе студената које заједнички изводе вежбу мале, потребна је додатна интервенција наставника како би се уједначио ниво стеченог знања међу студентима. На Државном универзитету у Индијани (енгл. *Indiana State University*, САД) [116] у малим групама је уочено да поједини студенти преузимају улоге лидера тако што одрађују највећи део посла, док се други, које најчешће одликују инертност и/или интровертност, задовољавају улогом посматрача. Последица тога је да искуства и вештине стечене током рада у лабораторији нису на истом нивоу код свих студената.

На Универзитету Волонгонг у Аустралији [117] је спроведено 108 анкета о задовољству студената, за сваку лабораторију и лабораторијску вежбу понаособ, у сваком семестру током четири школске године. Догађало се да студенти исту опрему различито оцењују, у зависности од тога како је осмишљен ток експеримента. Психолошки ефекат који неадекватно организоване лабораторијске вежбе могу имати на студенте и наставно особље уочен је и на Универзитету у Колораду [103]. Ти ефекти се односе на формирање негативног става студената према експерименту генерално, али и на перцепцију наставног особља да су курсеви тако осмишљени да им значајно отежавају процес подучавања. Такође, уколико је експеримент неадекватно дизајниран, одређени број студената, због неуспеха при извођењу експеримента, почиње да сумња у сопствене способности.

На квалитет процеса извођења лабораторијских вежби утиче и начин на који је организовано управљање опремом. Лоша организација, која, између осталог, подразумева да су неки уређаји ван функције или су потпуно застарели, наводи се као проблем који је морао бити решен на Универзитету у Колораду [103]. Реорганизовањем начина на који се управља опремом и терминима у лабораторијама бавили су се и на Универзитету Волонгонг (енгл. *University of Wollongong*, Аустралија) [117], где је као проблем наведено упутство за рад у лабораторији, које или не постоји или је нејасно и није довољно информативно.

Hofstein и *Lunetta* [27] истичу проблем који се односи на несклад између садржаја теоријских предавања и садржаја активности у оквиру лабораторијских вежби. Међусобним поређењем курикулума и искустава проистеклих из реализације програма лабораторијских вежби, иницијатори пројекта *CDIO*, амерички *MIT* и три шведска универзитета (енгл. *Chalmers University of Technology*, *Linkoping University* и *Royal Institute of Technology*) су дошли до закључака да је у све четири престижне установе уочен исти проблем [118]: вежбама се приступа уз подразумевање да студенти поседују знања у вези са одређеном облашћу, иако конкретна ужа област или никада није била обрађена или није обрађена на адекватан начин.

Управо погрешна процена улазног знања, односно подразумевање да је студентима неки проблем већ презентован и објашњен током теоријских предавања или аудиторних вежби, наводи се као један од разлога незадовољства и незаинтересованости студената за лабораторијске вежбе на Универзитету Волонгонг у Аустралији [117]. У истој установи, истраживање је показало да предуго трајање и монотоност експеримента без адекватне анализе резултата значајно умањује мотивацију студената који су често имали коментар да „се превише баве записивањем бројева, а мало тога новог науче“. На Краљичином Универзитету у Белфасту (енгл. *Queen's University Belfast*) [74] такође су забележене замерке студената које се односе на дужину трајања и монотоност вежби, одсуство праве анализе резултата и дискусије о њима. *Hofstein* и *Lunetta* [27] такође наглашавају да вежбе које се изводе „по шаблону“ често нису пропраћене дубљом анализом резултата. На америчком Институту за технологију Роуз-Халман (енгл. *Rose-Hulman Institute of Technology*) уочен је проблем „*collect the data and get out*“ [112], што би значило „прикупи податке и бежи“. У питању је проблем незаинтересованости студената за лабораторијске вежбе, која резултује тенденцијом да се за што краће време прикупе подаци и напусти лабораторија, без жеље за дубљим укључивањем, постављањем питања и дискусијом.

У оквиру студија Машинског инжењерства на Краљичином Универзитету у Белфасту [74], анализа лабораторијских вежби је указала на велики значај улоге наставног особља у начину на који ће студенти перципирати процес извођења вежби. Успостављена је веза између непотпуног разумевања обрађених тема, као и умањеног интересовања студената за процес вежбања, на једној страни, и неадекватних објашњења и повезивања са теоријском основом вежбе, као и мањка ентузијазма и пожуривања студената од стране наставника, на другој страни. Сличан проблем уочен је и на Државном универзитету у Индијани [116], где се појавила потреба за обуком студената ангажованих у држању лабораторијских вежби, како би се унапредило њихово познавање опреме, али и примена одговарајућих педагошких метода. Према мишљењу професора универзитета Станфорд и Сан Франциско, проблем би могао да буде у перцепцији наставе као посла „нижег ранга“ у односу на истраживачки рад, као и у чињеници да млади асистент „*увек бива подучаван како да се бави научним истраживањем, али га ретко подучавају како да подучава друге*“ [119].

Када је у питању аутономија при извођењу вежби, у Белфасту [74] су се јавили контрадикторни одговори студената: док су једни сматрали да су добили превише помоћи, други су при извођењу појединих вежби имали осећај да су препуштени сами себи на „непознатом терену“, што указује и на разлике у нивоима улазног знања студената.

Резултати које студенти постижу током одређених типова лабораторијских вежби могу имати значајан утицај на исходе процеса учења на нивоу предмета или чак на нивоу студијског програма. Поражавајући резултати које су студенти Универзитета Западне

Аутралије (енгл. *University of Western Australia*) постигли на тесту вештина дијагностике отказа на једноставном уређају [120], указују на то да добре оцене не гарантују да ће дипломци са факултета изаћи са компетенцијама које ће им бити неопходне при сусрету са реалним системима. Коначне оцене које су студенти претходно добили из предмета Увод у електронику, а у које су урачунати и резултати постигнути на лабораторијским вежбама, биле су значајно више од резултата које су затим постигли на тесту у области дијагностике отказа. Наведени пример указује на значај правилног одабира начина мерења исхода учења, како би се добила објективна слика о ефектима примењиваних метода.

Наведени примери из литературе указују на то да су на универзитетима широм света препознати проблеми који су слични онима са којима се често суочава и домаће високо образовање.

4.1.1 Примери примењених решења

Када су могућности за набавку нове лабораторијске опреме лимитиране, решења се најчешће траже у реорганизацији начина на који се управља опремом, редизајнирању самих експеримента, примени нових метода над постојећом опремом, иновативним нискобуџетним решењима и покретању нискобуџетних пројеката усмерених на развој сопствене опреме.

4.1.1.1 Примена нових метода над постојећом опремом

У настојању да се унапреди квалитет процеса лабораторијских вежби на студијама у области електротехнике и рачунарске технике и да се обезбеде континуална побољшања, на Универзитету Волонгонг [117] је именован менаџер лабораторија (који је касније вишеструко награђиван за иновирање лабораторијских вежби и допринос унапређењу инжењерског образовања¹⁵). Мерење задовољства студената је уведено током сваког семестра, а посебна пажња је посвећена коментарима анкетираних студената, у којима су они указивали на проблеме и давали предлоге за унапређења. Редизајнирани су експерименти који су наилазили на незадовољавајући одзив, односно ниску заинтересованост студената и који нису доводили до жељених исхода учења. Обезбеђена је адекватна софтверска подршка и израђена су нова или побољшана постојећа упутства за рад са опремом и извођење експеримената. Припремљена су додатни литературни извори и помоћ у припреми за вежбе, како би се премостио јаз између различитих нивоа познавања теоријског фундамента међу студентима. Са истим циљем, припрема за вежбе на Државном универзитету у Индијани (САД) је решена увођењем мини онлајн квизова [116] пре одржавања вежби, како би се студенти упознали са опремом и садржајем и циљевима експеримента и како би се спречило формирање група у којима ће тзв. лидери одрадити највећи део посла. Мини тестови су уведени и по завршетку вежби, да би се проверило да ли су сви студенти научили оно што се од њих очекивало, или је у групама било оних који су преузимали улоге пасивних посматрача. На том универзитету, лабораторијске вежбе из области механике и материјала су унапређене увођењем обуке за сараднике у настави ангажоване у држању лабораторијских вежби, како би могли успешно да држе вежбе без надзора наставног кадра, којег на том државном универзитету нема довољно, баш као ни средстава за куповину нове опреме. Циљ је био да се асистенти обуче тако да до детаља упознају опрему и експерименте, као и да посматрају понашање студената у оквиру група и да утичу на динамику групе.

¹⁵ Др Саша Николић, предавач на Универзитету Волонгонг (https://scholars.uow.edu.au/display/sasha_nikolic)

У припреми студената за вежбе примењују се и видео упутства доступна онлајн, која су студенти Универзитета *RMIT* у Мелбурну (енгл. *School of Engineering, RMIT University, Melbourne*) у обавези да погледају пре похађања вежби [108]. На тај начин студенти се упознају са опремом, теоријским основама вежбе и аспектима безбедности, а трајање вежби у самој лабораторији је редуковано са два на један сат, чиме је отворен простор за заказивање нових термина и, самим тим, формирање мањих група студената. Полагање онлајн теста је обавезан услов за извођење вежби у лабораторији, након којих студенти предају извештаје и добијају детаљну повратну информацију, како би, по потреби, прошли више итерација до постизања пуног разумевања теоријских основа и резултата експеримента. Поменути начин ослобађања времена и простора за примену метода активног учења и директно руковање опремом, који подразумева да се студенти са теоријским предавањима упознају самостално путем онлајн видео презентација, пре одржавања лабораторијских вежби, у литератури је познат као модел „обрнуте учионице“ (енгл. *Flipped classroom*) [81].

Поједини аутори као разлог за незадовољавајуће исходе лабораторијских вежби виде у томе што постизање жељених исхода није усклађено са Колбовим циклусом учења. На универзитету Лафборо у Лондону (енгл. *Loughborough University*) као најбољи начин да се то усклађивање постигне предлажу комбиновање компјутерских симулација, извођења експеримената путем удаљеног приступа и директног руковања опремом [69]. Мада су студенти позитивно реаговали на примену поменутог модела, на питање да ли би директно руковање опремом у потпуности заменили вежбама заснованим на компјутерским симулацијама, чак 91,2% анкетираних студената је дало негативан одговор. Редослед и усклађеност примене наведених метода са Колбовим циклусом приказан је у табели 4.1.

Табела 4.1 Пример усклађивања фаза лабораторијских вежби са Колбовим циклусом – прилагођено на основу [69]

Активност	Мапирање у односу на Колбов циклус
Увод у експеримент и демонстрација експеримента – удаљени приступ	Конкретно искуство, апстрактна концептуализација
Тест који претходи вежбама у лабораторији	Конкретно искуство, рефлексивно посматрање, апстрактна концептуализација
Вежбе у лабораторији – директно руковање	Активно експериментисање, апстрактна концептуализација, рефлексивно посматрање
Тест после вежби у лабораторији	Рефлексивно посматрање, апстрактна концептуализација
Виртуална лабораторија (компјутерске симулације)	Рефлексивно посматрање, апстрактна концептуализација, активно експериментисање
Поновљено извођење експеримената путем удаљеног приступа	Експериментисање, улазак у следећи циклус учења (вишег реда)

Друга решења усклађена са Колбовим циклусом учења у први план стављају одабир и комбиновање више одговарајућих метода за сваку од Колбових фаза искуственог учења, али и прилагођавање улоге наставника одабраним методама, узимајући у обзир и различите стилове учења које студенти преферирају, а који такође проистичу из Колбове теорије [121].

У наставку је дат пример примене Бигзових принципа конструктивног усаглашавања (описаних у потпоглављу 3.8) на Универзитету у Хонг Конгу (енгл. *Faculty of Science and Engineering at the City University of Hong Kong*) [122], у оквиру предмета Инжењерски

принципи и пројектовање. Формулисани су очекивани исходи предмета, односно шта се од студента очекује:

- 1) да примени принципе механике на вибрационе системе са једним степеном слободе;
- 2) у кратким цртама објасни основе теорије трећа и хабања и њену примену у инжењерству;
- 3) опише основе теорије механике флуида и преноса топлоте;
- 4) примени основне принципе инжењерске механике на дизајн и примену једноставног инжењерског система и да оцени његове перформансе;
- 5) ефективно ради као члан тима на реализацији малог инжењерског пројекта.

Теоријска предавања се у почетку изводе са великим групама, при чему се студентима често дају кратке паузе намењене међусобном коментарисању теме предавања (што је примена концепта активног учења), а затим са мањим групама, где је акценат на интеракцији наставника са студентима (активно учење) и давању задатака, које студенти треба да покушају самостално да реше (учење засновано на решавању проблема). Предавања су у већој мери усмерена на исходе 1 и 2, а у мањој мери на исход 3. Класичне лабораторијске вежбе се изводе са циљем да се потврди научена теорија и усмерене су на исходе 1 и 3 (примена директног руковања опремом). Затим, у лабораторији студенти тимски раде на реализацији малог инжењерског пројекта, при чему је фокус на исходима 4 и 5 (учење засновано на пројекту). Тимови имају обавезу да израде технички цртеж и прототип решења, припреме извештај у писаној форми и усмену презентацију. При томе, поред наставника, и студенти оцењују једни друге, што представља методологију којом се баве и бројни други аутори [123–125].

Аутори у [103] предлажу трансформацију лабораторијских вежби тако да читав процес буде фокусиран на циљеве и исходе учења. Нове методе су усвојене и примењене на Департману за физику Универзитета у Колораду, а трансформацији се приступило проласком кроз три фазе:

- дефинисање циљева учења (шта би студенти требало да знају?),
- развој курикулума у складу са дефинисаним циљевима (који приступи побољшавају учење?),
- оцена успешности (шта су студенти научили?).

На америчком Институту за технологију Роуз-Хулман, у оквиру Машинског инжењерства, унапређењу лабораторијских вежби из области мерних система такође се приступило са ставом да фокус треба да буде на циљевима учења [126]. Уочен је проблем недовољне заинтересованости студената за лабораторијске вежбе, те се приступило редефинисању циљева учења, а затим је део теоријских предавања замењен „мини вежбама“, односно директним руковањем основном опремом и мерним инструментима.

Наведени примери указују на могућности примене одређених метода и модела у циљу унапређења квалитета лабораторијских вежби или превазилажења проблема који се односе на ограничене ресурсе којима се располаже.

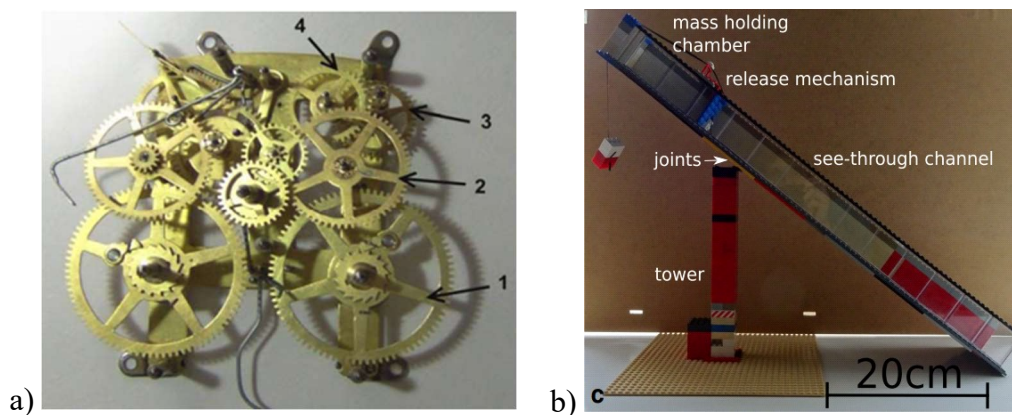
4.1.1.2 Иновативна нискобуџетна решења и развој сопствене опреме

На Универзитету Роуан (енгл. *College of Engineering, Rowan University, USA*) уведен је реверзни инжењеринг и бенчмаркинг производа у програм лабораторијских вежби у оквиру предмета Инжењерска клиника (енгл. *Engineering Clinic*) [127], који је обавезан на свим инжењерским смеровима и постоји у сваком семестру. Студенти имају задатак да проуче перформансе уређаја из свакодневног живота (попут апарата за кафу) и дају

предлоге за њихово унапређење. Циљ је да студенти схвате на који начин научни принципи, карактеристике материјала, технолошки процеси, захтеви који се односе на безбедност руковања и енергетску ефикасност и други фактори утичу на дизајн производа. Слично томе, у оквиру Машинског инжењерства на америчким универзитетима Вашингтон и Пенсилванија (енгл. *University of Washington; Pennsylvania State University, USA*), студенти врше бенчмаркинг производа који имају исту намену, али су им цене различите [128].

„Паметни телефони“ (енгл. *Smartphones*) се све чешће користе као економично и студентима пријемчиво средство за обављање одређених мерења у лабораторијама [129, 130]. Примера ради, *Monteiro* и др. [131] користе „паметни телефон“, причвршћен за точак бицикла који ротира у вертикалној равни, за мерење угаоне брзине и прорачуне у вези са ротационим кретањем.

На америчком Универзитету Клемсон (енгл. *Clemson University*) [132], у оквиру Машинског инжењерства, осмишљен је низ вежби заснованих на хорологији, односно проучавању техничких решења за мерење времена (слика 4.1a). Циљ је да студенти проуче на којим научним принципима почивају дата решења и од којих материјала се могу израђивати, као и да, по обављеним мерењима, обаве и одговарајуће прорачуне. Прва у низу лабораторијских вежби изводи се на механичким часовницима, на којима се врше прецизна мерења зупчаника, проучавају систем механичког преноса, опруге, осцилације итд.



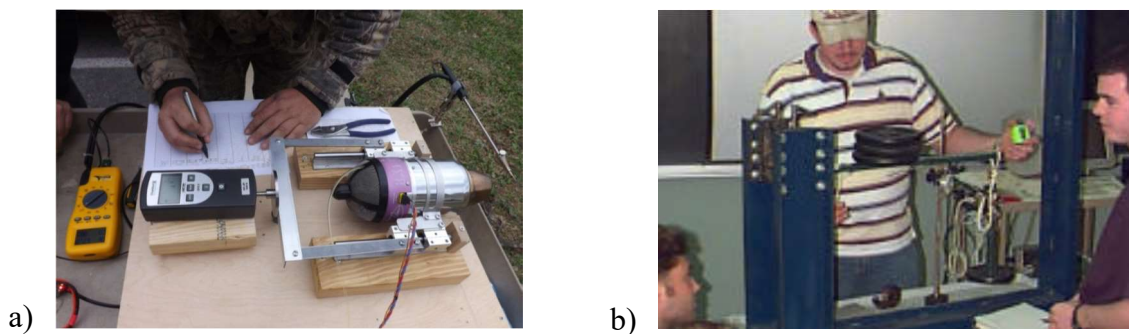
Слика 4.1 а) Механизам часовника коришћен за једну од вежби заснованих на хорологији (Универзитет Клемсон, САД) [132] и
 б) лабораторијски сет за проучавање динамике снежних лавина и клизишта (Институт за геологију и геофизику, Бохум, Немачка) [133]

Остале вежбе обухватају проучавање принципа на којем почива мерење времена уз помоћ каскадне посуде са водом, али и примену сензора за добијање података о кретању физичког клатна, као и примену микропроцесора, осцилаторних кола и различитих мехатроничких компоненти. Анкетирање студената се обавља после сваке вежбе, а питања се односе на рад демонстратора, комплексност вежби, као и самопроцену исхода учења. За потребе едукације и научних истраживања у области динамике снежних лавина и клизишта, на немачком Институту за геологију и геофизику у Бохуму (нем. *Institut für Geologie, Mineralogie & Geophysik, Ruhr Universität Bochum*), развијен је флексибилни лабораторијски сет чију основу чине лево коцке [133]. Функција сета је заснована на усмереном кретању гранулата, са могућношћу варирања параметара као што су нагиб, положај и облик препреке, густина, састав и друге карактеристике гранулата. У области механике, на Универзитету у Саутемптону (енгл. *University of Southampton, UK*),

развијени су експерименти који се такође заснивају на коришћењу коцки, али дрвених и металних, различитих димензија, у комбинацији са другим материјалима различите способности компресије (од меке гуме до полиуретанске пене) [134]. Циљ вежбе је да студенти на основу вредности модула еластичности и прорачуна стабилности модела конструкције, самостално одаберу комбинације материјала и димензија коцки тако да израде стабилан „торањ“ што веће висине. У вежбе је укључена и анализа примера реалних стабилних конструкција са еластичним ослањањем.

У лабораторији за термалне флуиде, која је основана у оквиру новог студијског програма на Универзитету Јужни Арканзас (енгл. *Southern Arkansas University, USA*) [109], у програм лабораторијских вежби је имплементирана опрема коју су развили професори и студенти. Захваљујући, између осталог, примени технологије 3D штампе, трошкови израде уређаја за испитивање проводљивости топлоте или уређаја за хидростатичка испитивања су сведени на свега 200 долара.

Сличан приступ унапређењу процеса лабораторијских вежби примењен је и на Техничком универзитету Луизијана, САД (енгл. *The College of Engineering and Science at Louisiana Tech University*), где су опрему пројектовали наставници, а у појединим случајевима и студенти на вишим годинама студија [110]. На тај начин обезбеђена је опрема за извођење вежби у оквиру предмета Увод у инжењерску механику и испуњен циљ да у оквиру лабораторијских вежби групе студената који раде на једном уређају не броје више од четири члана.



Слика 4.2 Примери развоја сопствене опреме: а) модел гасне турбине (Универзитет Јужни Арканзас) [109] и б) конзолна греда (Технички универзитет Луизијана) [110]

У Институту за аутоматiku, мерења и примењену информатiku Машинског факултета у Братислави развијен је уређај за лабораторијске вежбе у области контролних система, базиран на термичкој контроли грејних блокова 3D штампача. Циљ аутора [135] је био да дизајнирају уређај који ће имати изражену дидактичку функцију, засновану на транспарентности процеса и компоненти, као и да применом стандардних елемената омогуће надоградњу система уз подједнако флексибилну софтверску подршку. Сличан приступ примењен је и при пројектовању модела лифта за потребе упознавања студената са применом микроконтролера, сензора и актуатора, у оквиру лабораторијских вежби из области мехатронике на Машинском факултету Техничког универзитета у Кошицама [136]. У домену испитивања материјала, на јужнокорејском Националном универзитету науке и технологије (енгл. *Seoul National University of Science and Technology*) пример је развој минијатурног уређаја за испитивање материјала затезањем, који је погоњен DC мотором [137].

Имајући у виду да се студенти често суочавају са проблемима и застану на путу ка суштинском разумевању феномена трења [138], бројни објављени радови указују на то да инвентивни експерименти изведени на нискобуџетним училима, попут оних

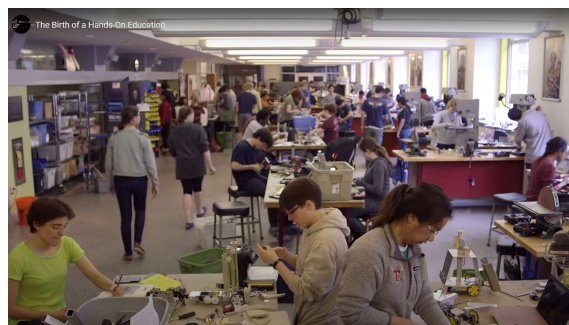
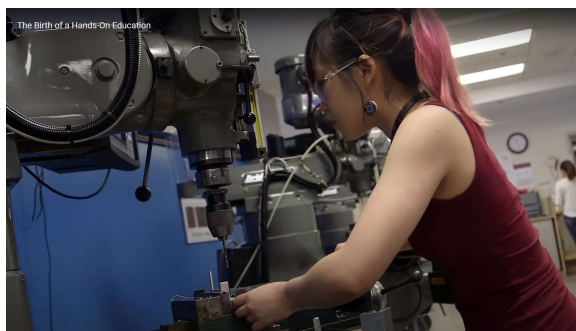
заснованих на хула-хоп обручу [139], стрмој равни [140, 141], стрмој равни са кружним деловима путање (енгл. *Loop-the-loop*) [142–146] или Максвеловом точку [147], и данас имају веома важну улогу у проучавању ефеката трења у едукационим лабораторијама на универзитетима широм света.

4.2 ЛИДЕРИ У ОБРАЗОВАЊУ ИНЖЕЊЕРА – ПРИМЕРИ ДОБРЕ ПРАКСЕ НА MIT-У

Као пример добре праксе у подручју истраживања изабран је амерички MIT (енгл. *Massachusetts Institute of Technology*), универзитет који спада у лидере у свету, а издваја се и по доступности извора података. MIT је на *QS Rankings* листи и 2022. године заузео водеће позиције у више категорија: у укупном скору, у области инжењерства и технологија и у категорији која се односи на запошљивост студената. Такође, на листи *U.S. News&WorldReport* је на првом месту међу америчким универзитетима у категорији основних студија у области инжењерства, и то у континуитету од 1983. године. На познатој Шангајској листи (енгл. *Shanghai Ranking*) рангиран је као четврти. Између осталог, MIT је посвећеност континуалном унапређивању наставног процеса демонстрирао и кроз покретање CDIO међународне иницијативе за креирање новог модела образовања инжењера. Већина наставних планова, материјала намењених студентима и упутстава за лабораторијске вежбе доступни су на сајту *ocw.mit.edu*. У питању је политика тог престижног универзитета, под називом *OpenCourseWare*, која подразумева да се информације „деле са светом“. Имајући у виду широк дијапазон научних области које покривају колеџи, департмани и студијски програми на MIT-у, за анализу процеса лабораторијских вежби изабрана је Школа за инжењерство (енгл. *School of Engineering*) и поједини њени департмани.

На инжењерским програмима MIT-а, у плановима наставе и упутствима за студенте [148] у већини случајева је јасно дефинисан број студената који ће чинити групу за извођење експеримента у оквиру лабораторијских вежби и тај број је обично 2÷3 или 3÷5, док поједине активности подразумевају самосталан рад. Поред извођења експеримента, често се примењује и реализација студентских пројеката [149]. Студентима је на располагању опрема и техничка подршка за израду или обраду делова конструкција, уколико пројекат подразумева и развој прототипа. Пример су активности у оквиру предмета Пројектовање и производња I (енгл. *Design and Manufacturing I*) [150] на основним студијама Машинског инжењерства. Слика 4.3 представља илустрацију дела расположивих лабораторијских ресурса у оквиру наведених активности. Аспекти безбедности су у потпуности покривени одговарајућим документима, упутствима и процедурама у складу са регулативом и стандардима у области заштите животне средине и здравља и безбедности на раду [151].

Пројекат Технологијом подржано активно учење (енгл. *Technology Enabled Active Learning (TEAL) project*) [152] је на MIT-у покренут 1990. године, са циљем да се кроз разне видове интеракција код студената развијају вештине потребне за успешно решавање проблема [153, 154]. Како би се омогућило искуствено и колаборативно учење, обезбеђене су специјалне учионице (слика 4.4) опремљене, између осталог, бежичним микрофонима, и рачунарима, са могућношћу успостављања везе централне радне станице (коју користи професор) са појединачним станицама применом система прозивања (енгл. *polling system*). Активности обухватају експерименте, предавања, дискусије, вежбе, демонстрације и напредне визуализације.



Слика 4.3 Део лабораторијских ресурса Департмана за машинско инжењерство намењених примени директног руковања опремом у оквиру студентских пројеката – кадрови из видео презентације *The Birth of a Hands-On Education* [155]



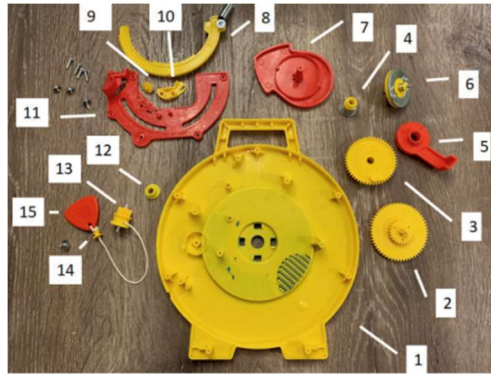
Слика 4.4 Фотографија [154] и 3D модел [152] простора *TEAL* пројекта

У оквиру пројекта “*ilab*”, који је реализован у сарадњи са Мајкрософтом, развијено је неколико лабораторија са удаљеним приступом опреми [73], које су одиграле значајну улогу у одвијању наставног процеса током пандемије *COVID-19*. Изузимајући поменуте ванредне околности, у настави се и даље далеко чешће користе класичне лабораторије.

У оквиру *School of Engineering*, у школској 2020/2021. години однос броја студената према броју наставника је био 14:1 [156], не рачунајући студенте-демонстраторе и докторанде ангажоване у наставном процесу. Такође, лабораторијске вежбе се одвијају уз подршку додатног особља. Физика 1, 2 и 3 и Хемија су обавезни предмети, чије полагање је предуслов за похађање наставе из области механике чврстих тела, механике флуида и науке о материјалима. Лабораторијске вежбе се на свим студијским програмима одвијају уз подршку Групе за техничке услуге Департмана за физику (енгл. *Technical Services Group, MIT's Department of Physics*) у којој је запослено неколико техничких инструктора [157] и где је студентима на располагању велики број једноставних уређаја за демонстрацију физичких закона и проучавање физичких феномена. У оквиру Департмана за машинско инжењерство, техничко особље које пружа подршку реализацији лабораторијских вежби и студентских пројеката броји 15 чланова [158]. Примера ради, студенти у првом семестру не рукују опремом као што су универзалне машине за испитивање материјала. Они обављају мерења узорака пре и после испитивања, док испитивање узорака обавља техничко особље. Обавеза студената је да преузму резултате за своје узорке, обаве прорачуне, презентују и анализирају резултате, али и покажу познавање компоненти уређаја и начина испитивања, као и да објасне деформације узорка након затезања.

Иако су просторни, финансијски и људски ресурси на *MIT*-у далеко изнад просека у свету, бројни су примери развоја и примене нискобуџетних решења. У оквиру предмета Производни процеси, примењен је модел „обрнуте учионице“ (енгл. *Flipped classroom*),

који подразумева да се студенти са теоријским основама вежби упознају путем онлајн видео презентација, а да затим проуче одређене производе и повежу их са примењеним фундаменталним научним принципима, како би се постигло схватање комплексности производних процеса, у контексту односа цене, флексибилности и квалитета производа. У лабораторији, студенти у паровима добијају задатак да расклопе предмете из свакодневног живота, а затим да их повежу са одговарајућим производним процесима [90], што је илустровано примером на слици 4.5.



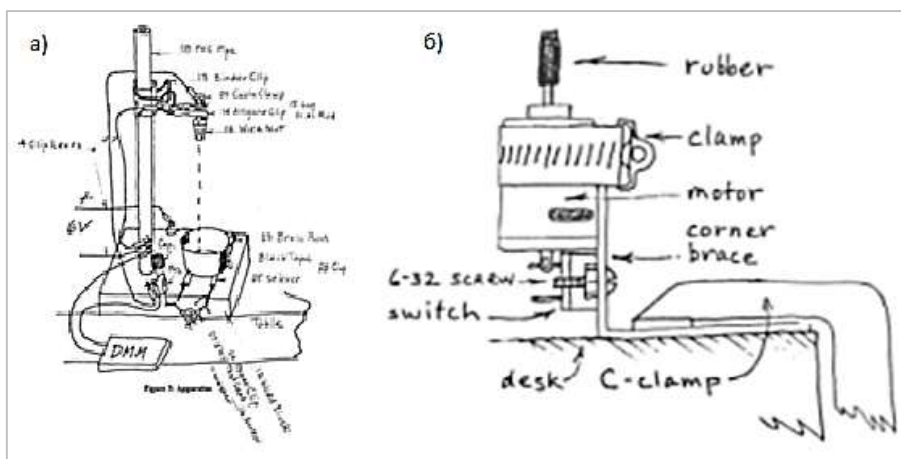
Слика 4.5 Делови играчке „See 'n say“ за које студенти процењују и раде прорачун параметара процеса бризгања пластике, као што су време хлађења, притисак и др. [90]

Поред присуства демонстрацијама и директног руковања опремом у лабораторијама Департмана за физику, студентима је доступно и неколико десетина видео презентација вежби изведених на једноставним лабораторијским сетовима [159]. Пример је сет за демонстрацију утицаја температуре на отпор проводника (слика 4.6). Сет чине извор једносмерне струје, посуда са течним азотом, шипка око које је обмотана дугачка жица и сијалица као потрошач.



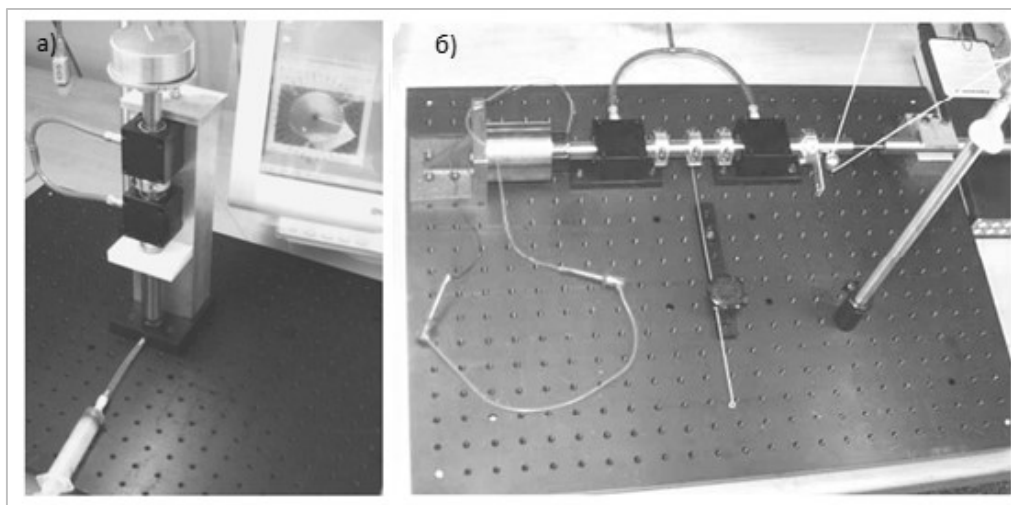
Слика 4.6 Пример лабораторијског сета за демонстрирање и анализу утицаја температуре на отпор проводника у лабораторији Департмана за физику америчког MIT-а [159]

У оквиру лабораторијских вежби из Физике студенти такође добијају више различитих задатака који се заснивају на томе да од датих компоненти, на основу скице и упутства, сами комплетирају сет, а затим и изведу експеримент, забележе резултате и анализирају их. На слици 4.7 су дати примери таквих једноставних лабораторијских сетова.



Слика 4.7 Скице лабораторијских сетова за вежбе на Машинском инжењерству из предмета Физика 1 – Класична механика са фокусом на експерименту (енгл. *Physics I: Classical Mechanics with an Experimental Focus*) а) за проучавање слободног пада и израчунавање убрзања Земљине теже и б) за одређивање момента импулса [160]

За потребе лабораторијских вежби у оквиру више предмета који се баве мехатроником, у Департману за машинско инжењерство развијено је неколико динамичких система [161], међу којима су ротациони систем првог реда и транслациони систем другог реда, који су приказани на слици 4.8.



Слика 4.8 Фотографије лабораторијских система развијених на MIT-у: а) ротациони систем првог реда, б) транслациони систем другог реда [161]

Како наводе аутори у [161], при развоју лабораторијских система водило се рачуна о томе да системи намењени студентима прве године буду у што већој мери транспарентни, без примене енкодера и других компоненти које су, са аспекта едукације, „црне кутије“. Такође, примењен је принцип модуларности, како би системи могли да се надграђују и прилагођавају настави на различитим нивоима студија.

Примена једноставних лабораторијских сетова је уобичајена пракса на MIT-у, а такви сетови се најчешће развијају коришћењем сопствених ресурса. Њихова примена понекад има форму демонстрације, најчешће подразумева директно руковање, у неким случајевима је заснована на својеврсном реверзном инжењерингу, а комбинује се са методама активног учења и искуственог учења, односно учења базираног на пројектима

или на решавању проблема. Генерално, директно руковање опремом и мале групе студената (максимално пет чланова) представљају базу за реализацију лабораторијских вежби у *MIT* Школи за инжењерство.

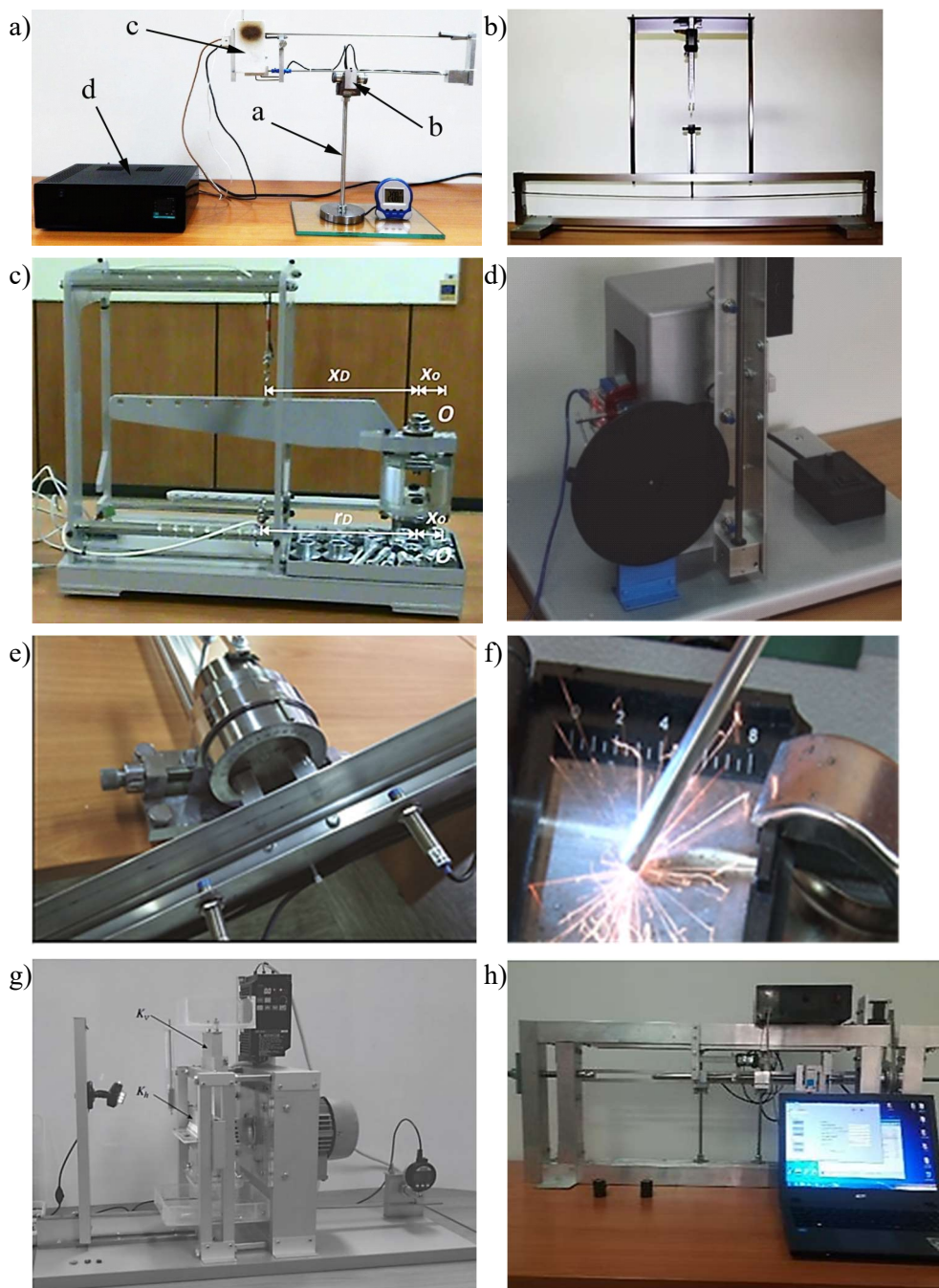
4.3 РАЗВОЈ ЛАБОРАТОРИЈСКЕ ОПРЕМЕ НА ФАКУЛТЕТУ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА

Идеја о самосталном развоју истраживачке и едукацијске опреме на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу је иницирана пре десетак година. Реализован је велики број учила и истраживачких уређаја и успостављена је сарадња са великим бројем факултета у земљи и иностранству. Ефекат покренуте иницијативе се огледа и у томе што је развој сопствене едукацијске опреме покренут и на другим институцијама високог образовања, попут Факултета техничких наука у Новом Саду, Војне академије у Београду, Факултета техничких наука у Чачку, Машинског факултета у Сарајеву, Стројарског факултета у Славонском Броду, Факултета техничких наука у Косовској Митровици, Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву, Машинског факултета у Нишу, Машинског факултета у Београду, Одељења Академије високих струковних студија Шумадија у Трстенику и других. Део наведене опреме, са придруженим референцама, приказан је на слици 4.9.

На основу истраживања спроведених на развијеним уређајима и лабораторијским сетовима, тимови, које су чинили професори, млади истраживачи и студенти наведених факултета, су у последњих десетак година публиковали више од 20 радова у часописима који су на *SCI* листи (од тога осам радова категорије *M21*) [162–182], и бар још толико радова у домаћим часописима [146, 183–188], зборницима међународних [192–195] и домаћих [196, 197] научних конференција.

Развијена лабораторијска опрема, је, поред бројним публикацијама доказаног потенцијала за научноистраживачки рад, нашла примену у настави и значајно допринела подизању нивоа знања више генерација студената. Опрема је омогућила реализацију лабораторијских вежби из појединих предмета, током којих студенти, окупљени у мање тимове, добијају прилику да уче кроз извођење ескперимената. Такав начин рада је наишао на позитивне реакције студената, па је и број семинарских и дипломских радова посвећених истраживањима заснованим на наведеној опреми бивао све већи, а студенти постајали и све више мотивисани за укључивање у научна истраживања. Временом су усавршавани и системи за аквизицију података и развијана је адекватна софтверска подршка.

Рад са опремом малих димензија и високе безбедности руковања, са евидентним потенцијалом за примену различитих метода учења и подучавања, генерисао је и низ додатних захтева студената, али и других заинтересованих страна, за развојем додатне опреме, постизањем израде серија уређаја и учила, и, генерално, стварањем окружења за реализацију програма лабораторијских вежби који би омогућио да што већи број студената добије прилику да развија своје когнитивне и психомоторне вештине, уз постизање позитивних ефеката и у афективном домену познате Блумове таксономије.



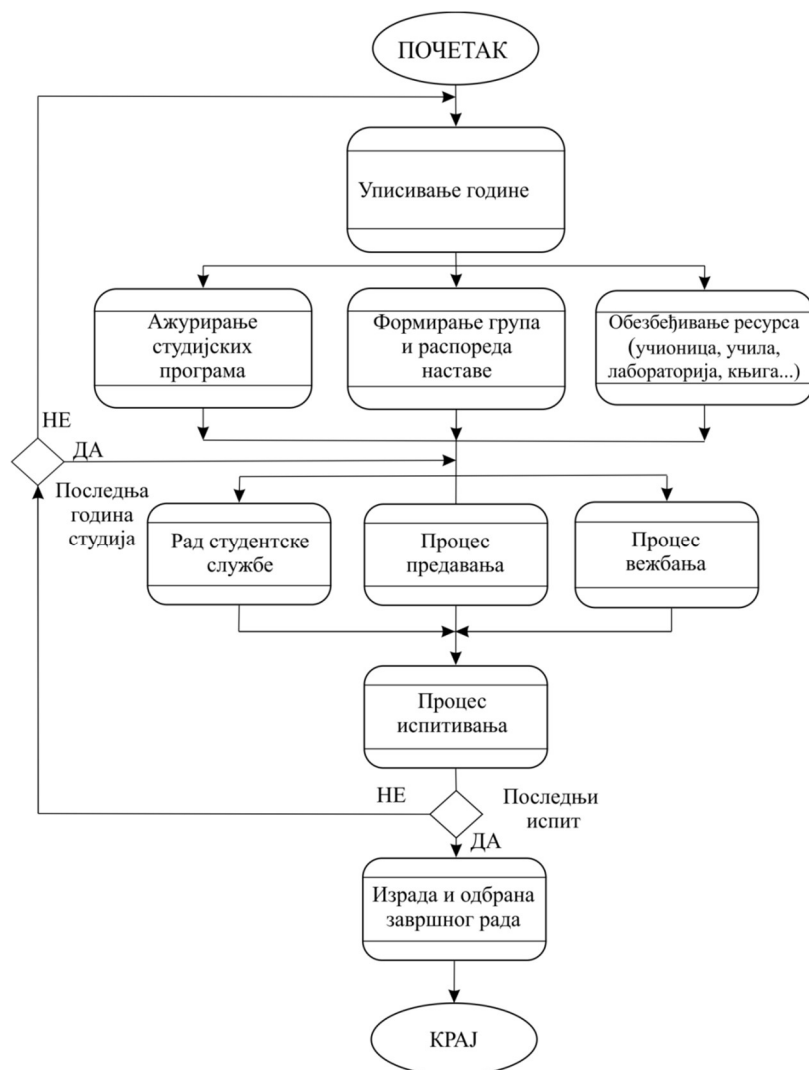
Слика 4.9 Примери уређаја на којима су вршена публикована истраживања:
 а) одређивање статичког коефицијента трења при повишеним температурама [176],
 б) одређивање модула еластичности [175], с) испитивање трења у навоју [197],
 д) одређивање кинематског коефицијента трења у динамичким условима оптерећења
 контакта [180, 181], е) трибометар са модулом за истраживања у области кинематског
 трења [182], ф) испитивање ефеката кратког споја [189], г) вибрациона платформа [174],
 х) лабораторијска кидалица [169, 188]

Принцип модуларности је био примењиван у великој мери приликом пројектовања наведене опреме. Стечена искуства су генерисала идеју о развоју новог модела, заснованог на принципу модуларности у ужем и ширем смислу, који би омогућио развој реконфигурабилних сетова учила за самостално извођење експеримената.

5. АНАЛИЗА УТИЦАЈНИХ ПАРАМЕТАРА И ЗАХТЕВА У ВЕЗИ СА ПРОЦЕСОМ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ

Процес инжењерске едукације је сложен процес који се састоји од више међусобно повезаних подпроцеса и активности. На основу дефинисане сврхе и структуре студијског програма потребно је дефинисати садржаје који ће довести до развоја одређених компетенција код студената на инжењерским факултетима, односно потребно је обезбедити да студенти стекну одређена знања и вештине које ће им омогућити да се специјализују за одређене унапред дефинисане професије и звања.

Да би студенти овладали одређеним знањима и вештинама у оквиру наставног плана и програма, предвиђени су различити облици наставе, као што су директна настава, аудиторне вежбе и лабораторијске вежбе. Лабораторијске вежбе имају нарочит значај за студенте инжењерских наука, јер омогућавају стицање практичних знања и вештина неодвојивих од инжењерске професије. Због тога је неопходно идентификовати утицајне величине и утицајне стране, од чијих захтева у великој мери зависи креирање квалитетних и ефикасних лабораторијских вежби. У оквиру високог образовања, процеси који се одвијају током студија се поједностављено могу приказати дијаграмом тока (слика 5.1), у оквиру којег је и процес лабораторијских вежби.



Слика 5.1 Мапирање процеса образовања студената помоћу дијаграма тока [199]

Посматране као процес у оквиру образовања инжењера, лабораторијске вежбе су приказане на слици 5.2 применом модела “црне кутије”. Излази из процеса лабораторијских вежби (стечена знања и вештине студената), који се кроз више фаза одвија у лабораторијама, зависиће од улазних параметара (курикулума, компетенција наставника, теоријских знања студената, метода које ће се примењивати и додатних захтева за опремом), али и од ширег оквира у оквиру којег се одвија програм лабораторијских вежби (студијски програм), као и од ресурса којима се располаже (простор, опрема, ИКТ подршка) и компетенција и обучености лабораната.



Слика 5.2 Модел процеса лабораторијских вежби

Пре „расветљавања“ садржаја „црне кутије“, у овом поглављу су разматрани утицајни параметри и захтеви у вези са процесом лабораторијских вежби. Разматрана је веза између квантитативних показатеља улазног знања и оцена током студија, као и хетерогеност популације студената. Затим су анализирани захтеви наставника, курикулума и студената који се односе на процес лабораторијских вежби.

Сходно свему наведеном, потребно је дефинисати полазне претпоставке, које се у овом случају односе на улазно знање студената и захтеве свих заинтересованих страна. У процесу инжењерске едукације могућа је примена различитих приступа, а циљ је свакако максимизирање постигнутих циљева едукације. Један од веома учинковитих приступа је креирање индивидуалних путања учења. На основу почетног знања студената могуће је проценити „слабе тачке“ у усвојеном знању, као и „јаке тачке“, и дефинисати индивидуализован пут за учење или лабораторијске вежбе које ће омогућити студенту да на најефикаснији могући начин стекне потребна знања и вештине. На основу почетног знања и студентских референци, могуће је формирати и фаворизовати и другачије приступе, као што је учење на бази пројекта, поновљених покушаја или учење кроз својеврсну игру. Лабораторијске вежбе представљају идеалан полигон на коме се могу тестирати, верификовати и валидирати одговарајући приступи учењу. Са друге стране, процена почетног знања је неопходна, да би се на исправан начин приступило дефинисању лабораторијске вежбе и да би се, у пару са излазним резултатима, установило у којој је мери студент или група студената овладала наставним садржајем. Са треће стране, могуће је пратити и процењивати успех студената према претходно стеченом средњошколском образовању, односно могуће је установити са којим знањима и вештинама студенти долазе из појединих средњих или стручних школа.

У другом делу овог поглавља анализирано је који су то захтеви које утицајне стране (стејкхолдери) исказују према лабораторијским вежбама, односно који су захтеви студента, наставника али и менаџмента (исказани кроз захтеве курикулума) који се односе на креирање успешних лабораторијских вежби.

5.1. АНАЛИЗА УТИЦАЈА УЛАЗНОГ ЗНАЊА

Сваке године више од три стотине матураната се опредељује за студије на Факултету инжењерских наука. Одлуку доносе на основу личних афинитета, претходно стеченог знања, информација о могућностима запошљавања, финансијских могућности породице и других критеријума. У питању су млади људи руковођени различитим мотивима, жељама и склоностима, који се разликују по социјалном статусу, стеченим навикама, мотивацији за учење, нивоу претходно стеченог знања.

Резултати истраживања које је спроведено у Немачкој указују на то да је предзнање из специфичних области, битних за савладавање инжењерских дисциплина, значајан фактор који утиче на одустајање од студија или на лоше перформансе из одређених предмета. Закључено је да је за студенте који нису имали довољан фонд часова математике и физике током средњошколског образовања потребно организовати додатне, припремне часове, како би успешније пратили наставу из предмета у којима су таква предзнања неопходна [199].

Слика коју чине карактеристике популације матураната који полажу пријемни испит, као и популације свршених студената, представља комплексан мозаик. У циљу стицања бар делимичног увида у утицај различитих параметара на успех постигнут током студија и утврђивања нивоа корелације међу различитим показатељима нивоа стеченог знања, спроведена је статистичка анализа података о кандидатима који су полагали пријемне испите за упис на Факултет инжењерских наука и, засебно, података о студентима који су и завршили основне академске студије.

За упис на студијске програме основних академских студија на Факултету инжењерских наука кандидати полажу пријемни испит из математике. Анализирани су подаци за 3129 кандидата, који су полагали јединствен пријемни испит за упис на студијске програме Машинско инжењерство (МИ) – 2469, Урбано инжењерство (УИ) – 172, Аутомобилско инжењерство (АИ) – 95 и Војноиндустријско инжењерство (ВИИ) – 393.

Анализирано је да ли је број освојених бодова на пријемном испиту у корелацији са успехом оствареним у средњој школи. Подаци о просечној оцени током средњошколског образовања, као и подаци о бодовима освојеним на пријемном испиту немају нормалну расподелу, на шта указују хистограми, одступање од очекиваног облика Гаусове криве и резултати тестирања хипотезе о нормалној расподели (Колмогоров–Смирнов тест, $d=0,0052$ $p<0,01$). Стога је израчунат Спирманов (енгл. *Spearman*) коефицијент корелације rs (или ρ), који је заснован на корелацији рангова и указује на јачину монотоне везе, која не мора бити линеарна. Вредност Спирмановог коефицијента корелације износи 0,132, што указује на то да не постоји значајна међузависност освојених бодова на пријемном испиту и успеха оствареног у средњој школи.

У наставку су приказани резултати анализе података, спроведене с циљем да се утврди да ли постоје разлике у броју освојених бодова на пријемном испиту, у зависности од типа средње школе у којој је кандидат стекао претходно образовање. У зависности од типа, школе су подељене у четири групе (типови школа 1, 2, 3 и 4).

Узимајући у обзир да су величине подузорака различите и да је нарушена претпоставка о нормалној расподели, у сврху провере да ли број бодова на пријемном испиту зависи од типа завршене средње школе, примењена је метода Краскал–Волис [200], као својеврсна непараметарска алтернатива једнофакторској дисперзионој анализи (познатој и као *ANOVA*). У питању је тест који се заснива на поређењу просечних рангова више од два узорка, при чему се са одређеним нивоом ризика одлучује да ли се прихвата или одбацује нулта хипотеза. За ниво ризика α полази се од хипотеза:

H_0 : Расподела обележја је иста у свим групама података.

H_1 : Расподела обележја није иста у свим групама (Краскал и Волис су алтернативну хипотезу формулисали на следећи начин [201]: „Постоји бар једна група података код које, при случајном одабиру опсервације, вероватноћа да је та опсервација већа од случајно изабране опсервације из остатка узорка није једнака 0,5“).

Када је број опсервација у свакој групи већи од пет (што је овде случај) [202], узорачка расподела се може апроксимирати χ^2 расподелом. По формирању табеле у којој су подаци ранжирани, на основу једначине (1) [203], израчунава се вредност статистике одлучивања H :

$$H = \left(\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} \right) - 3(N+1), \quad (1)$$

где је:

k – број група података које се пореде,

N – укупна величина узорка,

n_j – број опсервација у групи j ,

R_j – суме рангова по групама.

Вредност статистике одлучивања H се пореди са критичном вредношћу из табеле χ^2 за дати број степени слободе df и ниво ризика α . Нулта хипотеза се одбацује уколико је $H > \chi^2$.

Будући да Краскал–Волис метода указује само на то да ли постоје разлике између група података, али не и између којих група, извршена је вишеструка компарација по паровима применом методе Дан–Бонферони, као препорученог *post-hoc* теста [204, 205]. У питању је тест који се може примењивати када величине узорака који се пореде нису једнаке. Заснован је на поређењима рангова парова, уз узимање у обзир и осталих учесника у вишеструкој компарацији. За сваки пар група података које се пореде, за ниво ризика $\alpha = .05$, полази се од следећих хипотеза [204]:

H_0 : Расподела обележја је иста у обе групе података (Дан је нулту хипотезу формулисао на следећи начин [204]: „Вероватноћа појављивања случајно одабране вредности у првој групи података која је већа од случајно изабране вредности из друге групе је једнака 0,5.“)

H_1 : Расподеле обележја у оквиру две групе података се разликују.

Статистика одлучивања се израчунава применом једначине (2) [204]:

$$CD_{KW} = z_{adj} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_a} + \frac{1}{n_b} \right)} \quad (2)$$

где је:

CD_{KW} – статистика одлучивања (минимална разлика између аритметичких средина рангова потребна да би се групе сматрале различитим при задатом нивоу значајности),

z_{adj} – коригована [205] вредност из табеле z расподеле,

N – укупан број опсервација,

n_a – број опсервација у групи a ,

n_b – број опсервација у групи b .

Имајући у виду могућност да резултати теста Краскал–Волис доведу до грешке прве врсте (одбацавања нулте хипотезе када је она истинита), применом Дан–Бонферони

методе врши се корекција резултата дељењем вредности α бројем извршених поређења по паровима (m). Ради једноставнијег тумачења резултата, корекција се најчешће врши множењем вредности p , као вероватноће да је нулта хипотеза тачна, са m , при чему α остаје непромењено. Корекцијом се избегава „инфлација“ вредности α при вишеструким поређењима, а истовремено се добија информација о конкретним паровима узорака код којих постоје разлике.

Вредност из табеле χ^2 за Краскал–Волис тест је 11,070 за $df=3$, $\alpha=0,05$. Нулта хипотеза се одбацује, јер је за дате групе података $H=97,683$, односно $H>\chi^2$. У табели 5.1 су приказани резултати (вредности p) Дан–Бонферони теста. Затамњене су вредности p које су мање од α ($\alpha=0,05$), чиме су означени парови код којих се одбацује нулта хипотеза.

Табела 5.1 Резултати вишеструке компарације

4-1	4-3	4-2	1-3	1-2	3-2
1,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00

Узрок нехомогености узорка су разлике између података о броју бодова на пријемном испиту освојених од стране кандидата који су претходно школовање завршили у школама типа 2 у односу на податке који се односе на кандидате који су завршили средње школе типа 1, 3 и 4.

Како би се утврдила јачина и структура везе између оцена током студија, на једној страни, и типа завршене средње школе, успеха у средњој школи и броја освојених бодова на пријемном испиту на другој страни, анализирани су подаци који се односе на 691 студента Машинског инжењерства са завршеним основним академским студијама (180 ЕСПБ). Имајући у виду да наведени студијски програм има осам различитих модула, за које се студенти опредељују у петом семестру, као и постојање изборних предмета, анализирани су само подаци у вези са 22 обавезна предмета, који су заједнички за све модуле. Табела 5.2 садржи дескриптивне статистичке податке, груписане по типовима средњих школа, који се односе на просечну оцену за 22 заједничка предмета. Подаци о просечној оцени немају нормалну расподелу, на шта указују коефицијенти асиметрије и спљоштености у табели 5.2, као и увид у хистограм и резултати тестирања хипотезе о нормалној расподели (Колмогоров-Смирнов тест, $d=0,146$, $p<0,01$).

Табела 5.2 Дескриптивна статистика за цео узорак (Y) и по типовима средњих школа (1, 2, 3) – подаци о просечној оцени на студијама (22 заједничка предмета)

	Y	1	2	3
Бр. опсервација	691	429	202	60
Аритм. средина	7,228	7,049	7,621	7,185
Медијана	6,909	6,818	7,225	7,023
Ст. девијација	0,927	0,734	1,153	0,920
Коеф. асиметрије	1,238	1,398	0,628	1,277
Коеф. спљоштености	0,673	1,631	-0,974	0,944
Минимум	6,05	6,05	6,14	6,18
Максимум	10,00	9,82	10,00	10,00

Узимајући у обзир да су величине подузорака (података о просечној оцени, груписаних по типовима школа) различите и да је нарушена претпоставка о нормалној расподели, у сврху провере припадности података о просечној оцени на студијама истом основном

скупу, примењена је непараметарска метода Краскал–Волис, као и вишеструка компарација по паровима (Дан–Бонферони *post-hoc* тест). Вредност из табеле χ^2 за Краскал–Волис тест је 5,991 за $df=2$, $\alpha=0,05$. Нулта хипотеза се одбацује, јер је за дате групе података $H=29,015$, односно $H > \chi^2$. У табели 5.3 је затамњена вредност p Дан–Бонферони теста која је мања од α ($\alpha=0,05$), чиме је означен пар 1-2, код којег се одбацује нулта хипотеза на нивоу поверења 95%.

Табела 5.3 Резултати вишеструке компарације – подаци за МИ

1-3	1-2	3-2
1,000	0,000	0,075

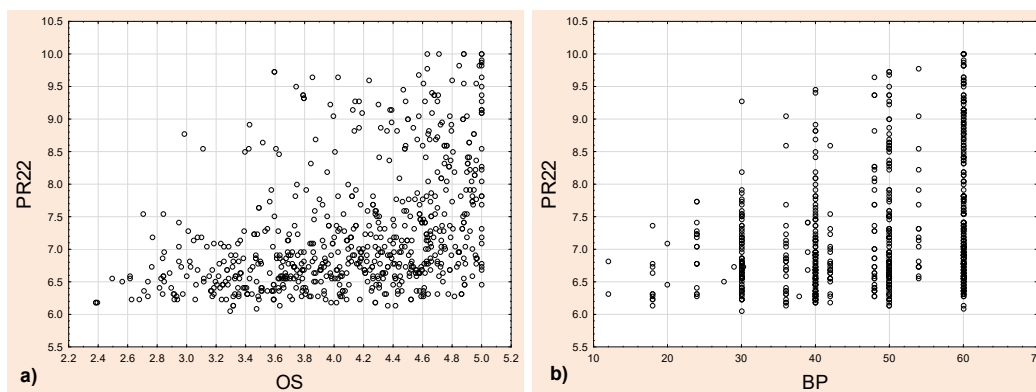
Узрок нехомогености узорка је разлика између података о просечној оцени на студијама оствареној од стране кандидата који су претходно школовање завршили у школама типа 2 (29,23%) у односу на просечне оцене кандидата који су завршили ђколу типа 1 (62,08%). На нивоу поверења 90%, разликују се и скупови 3 и 2.

Будући да су резултати статистичке анализе указали на то да просечна оцена током студија у извесној мери зависи од типа претходно завршене средње школе, на основу табеле контингенције су израчунате маргиналне вероватноће остваривања просечне оцене у одређеном интервалу на основу типа завршене средње школе (табела 5.4).

Табела 5.4 Вероватноћа остваривања просечне оцене у одређеном интервалу на основу типа завршене средње школе – подаци за свршене студенте МИ

ТИП ШКОЛЕ	ПРОСЕЧНА ОЦЕНА НА СТУДИЈАМА							
	6-6,49	6,5-6,99	7-7,49	7,5-7,99	8-8,49	8,5-8,99	9-9,49	9,5-10
2	13,37%	28,71%	14,36%	9,90%	6,44%	7,92%	9,41%	9,90%
3	26,67%	21,67%	25,00%	8,33%	5,00%	5,00%	6,67%	1,67%
1	20,75%	39,39%	18,88%	9,32%	3,96%	4,90%	2,10%	0,70%

На нивоу целог скупа, Спирманов коефицијент корелације између просечне оцене за 22 обавезна предмета ($PR22$) и просечне оцене остварене током средње школе (OS) износи 0,465. Корелација између просечне оцене на студијама и броја бодова остварених на пријемном испиту (BP) је нижа ($r_s=0,295$). Оба коефицијента су статистички значајна на нивоу поверења 99%. Тачкасти дијаграми илуструју наведену међузависност (слика 5.3).



Слика 5.3 Зависност просечне оцене на студијама ($PR22$) од а) просечне оцене у средњој школи (OS) и б) бодова освојених на пријемном испиту (BP) – МИ

На основу методологије за анализу међузависности квантитативних показатеља нивоа знања дате у [206], за анализу јачине и структуре везе између променљивих OS и BP , као и типа завршене средње школе (TS), и просечне оцене на студијама као зависне променљиве $PR22$, изабрана метода је линеарна регресија, заснована на методи најмањих квадрата, према моделу:

$$PR22 = \beta_0 + \beta_1 \cdot OS + \beta_2 \cdot BP + \beta_3 \cdot TS + \varepsilon \quad (3)$$

У наведени модел укључена је тзв. „лажна“ бинарна варијабла (енгл. *dummy variable*) TS (тип средње школе), која у случају да је студент завршио средњу школу типа 2 има вредност 1, док у случају да је претходно школовање завршено у школи типа 1 има вредност 0. У обзир су узета само ова два типа школе, јер је претходна анализа показала груписање већине података о просечној оцени током студија у односу на припадност једном од та два скупа, док је величина трећег скупа значајно мања.

Тачкасти дијаграми у оба случаја (слика 5.3 а и 5.3 б) указују на повећање распршености вредности $PR22$ са повећањем вредности OS , односно BP . То, даље, указује да би дати регресиони модел могао дати непоуздане резултате, услед нарушавања претпоставке о хомоскедастичности грешке [207]. Хетероскедастичност и асиметрична расподела резидуала утичу на прецизност предвиђања и доводе у питање резултате тестова који би требало да покажу да ли су резултати регресије статистички значајни [207]. Стога је примењена је *Box-Cox* метода за трансформацију зависне варијабле $PR22$ [208, 209]. Асиметрична расподела фреквенција зависне променљиве мења облик и постаје блиска нормалној расподели применом формуле (4) или формуле (5), у зависности од вредности коефицијента λ [210]. Обе формуле се примењују када су подаци позитивни бројеви.

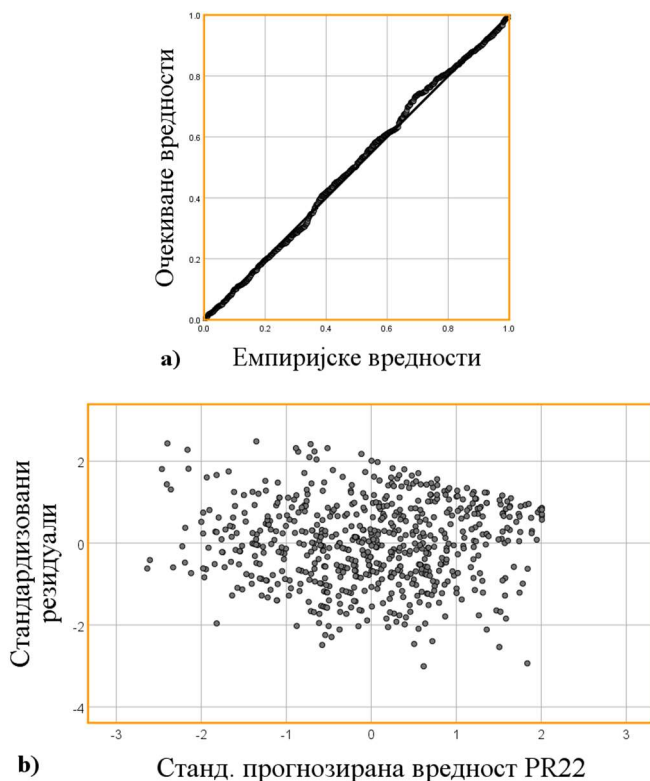
$$y(\lambda) = \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}, \text{ ако је } \lambda \neq 0 \quad (4)$$

$$y(\lambda) = \log y, \text{ ако је } \lambda = 0 \quad (5)$$

Претходни изрази су применљиви када су вредности променљиве позитивне, што је случај са подацима који се анализирају. Коефицијент λ , који најчешће има вредности од -5 до 5, одређује се на основу највеће веродостојности, односно вредности λ за које ће се расподела фреквенција променити тако да буде најближе могуће нормалној расподели. Вредност коефицијента λ за трансформацију $PR22$ је -1. Трансформисане вредности, чија је расподела фреквенција блиска нормалној, су затим и стандардизоване (аритметичка средина је сведена на вредност 0, док је стандардна девијација једнака 1), применом формуле (6).

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{SD} \quad (6)$$

Одузимањем аритметичке средине \bar{x}_i од вредности променљиве x_i , а затим и дељењем са вредношћу стандардне девијације SD , добијене су трансформисане (стандардизоване) вредности z_i , које су придружене зависној променљивој $PR22$ уместо првобитних вредности. Ради једноставније интерпретације коефицијената у регресионој једначини, за BP је 10 бодова узето као јединична вредност, тако да промена за 1 одговара промени за 10 бодова. Такође, за OS је вредност 0,5 узета као јединична вредност, тако да промена за 1 одговара промени просечне оцене за 0.5.



Слика 5.4 Дијаграми а) кумулативне вероватноће резидуала у односу на кумулативну нормалну расподелу и б) стандардизованих резидуала у односу на стандардизоване прогнозиране вредности зависне променљиве *PR22*

Табела 5.5 Резултати тестирања хипотезе о хетероскедастичности после трансформације података

<i>White Test</i>			
χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>	
9.290	8	0.318	
<i>Modified Breusch-Pagan Test</i>			
χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>	
0.343	1	0.558	
<i>Breusch-Pagan Test</i>			
χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>	
0.290	1	0.590	
<i>F Test</i>			
<i>F</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p</i>
0.342	1	629	0.559

Увођењем трансформисаних вредности *PR22* у модел вишеструке линеарне регресије, дефинисаног једначином (3), постигнуто је да резидуали имају приближно нормалну расподелу и не показују повећање расипања вредности са порастом вредности *PR22*. Слика 5.4 садржи а) дијаграм кумулативне расподеле фреквенција резидуала у односу на теоријску нормалну кумулативну расподелу и б) тачкасти дијаграм стандардизованих резидуала у односу на предвиђене (фитоване) вредности зависне променљиве. Одсуство хетероскедастичности потврђују и тестирања хипотезе о постојању хетероскедастичности (табела 5.5), код којих је вредност $p > 0,05$.

Коефицијент вишеструке корелације (*R*) износи 0,551, док коефицијент детерминације (R^2) износи 0,304, што значи да дати модел објашњава 30% варијабилитета зависне променљиве *PR22* (табела 5.6).

Табела 5.6 Сажетак модела

R	R²	Коригована вредност R²	Стандардна грешка процене
0,551 ^a	0,304	0,300	0,83652

Анализа варијансе (*ANOVA*) (табела 5.7) се може применити када резидуали имају приближно нормалну расподелу. Резултат $F(3,627) = 91,101$, $p < 0,05$ указује на ваљаност модела, односно на то да предвиђања вредности зависне променљиве, применом датог

модела и укључивањем датих независних променљивих који објашњавају 30% њеног варијабилитета, могу сматрати поузданим.

Табела 5.7 ANOVA – резултати

	Сума квадрата одступања	df	Средњи квадрат одступања	F	p
Регресија	191,248	3	63,749	91,101	0,000
Резидуали	438,752	627	0,700		
Укупно	630,000	630			

У моделу не постоји проблем мултиколинеарности, што потврђују вредности у табели 5.8. Толеранција (T) је једнака $1-R^2$ и представља меру утицаја једне независне променљиве на све остале независне променљиве. Вредности мање од 0,1 указују на присуство мултиколинеарности. Вредности T и фактора инфлације варијансе (VIF), који је једнак $1/T$ и требало би да има вредност мању од 5, указују на одсуство мултиколинеарности [211].

Табела 5.8 Показатељи одсуства мултиколинеарности

Зависне променљиве	Корелације			Колинеарност	
	Нултог реда	Парцијалне	Семи-парцијалне	T	VIF
BP	0,307	0,251	0,216	0,941	1,063
OS	0,459	0,457	0,428	0,988	1,013
TS	0,223	0,192	0,163	0,952	1,050

Корелације нултог реда означавају линеарну зависност између $PR22$ и независних променљивих, парцијалне корелације се израчунавају искључивањем утицаја осталих независних променљивих, док семи-парцијалне корелације указују на везу између две променљиве када се отклони утицај осталих променљивих на једну од њих две.

Вредности коефицијената које је предвидела регресија су дати у табели 5.9. Сви коефицијенти су статистички значајни, па самим тим и улога независних променљивих у моделу, што показују вредности p за t тест, чија је нулта хипотеза да су коефицијенти једнаки нули.

Табела 5.9 Резултати линеарне регресије

	Нестандардизовани коефицијенти		Стандардизовани коефицијенти	Статистичка значајност		Границе интервала поверења за B (95%)	
	B	Стандардна грешка		t	p	Доња	Горња
Конст.	-3,867	0,249		-15,527	0,000	-4,356	-3,378
BP	0,187	0,029	0,223	6,482	0,000	0,131	0,244
OS	0,349	0,027	0,431	12,855	0,000	0,296	0,402
TS	0,358	0,073	0,167	4,891	0,000	0,214	0,501

Једначина за предвиђање вредности просечне оцене на студијама ($PR22$), на основу података о просечној оцени у средњој школи (OS), освојеним бодовима на пријемном испиту (BP) и типу завршене средње школе (TS), има облик:

$$PR22 = -3,867 + 0,349 \cdot OS + 0,187 \cdot BP + 0,358 \cdot TS \quad (7)$$

За случај када је $TS=1$, односно када је тип школе 2, регресиона једначина има облик:

$$PR22 = 0,349 \cdot OS + 0,187 \cdot BP - 3,509 \quad (8)$$

Када је $TS=0$, односно када је у питању школа типа 1, регресиона једначина има облик:

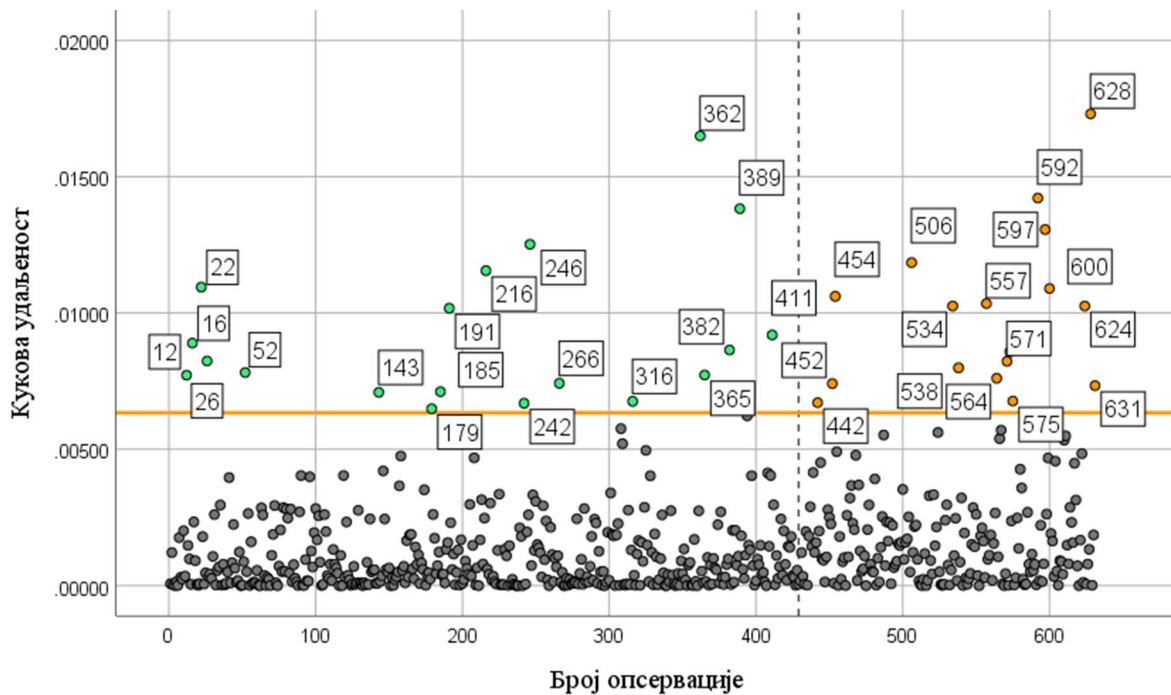
$$PR22 = 0,349 \cdot OS + 0,187 \cdot BP - 3,867 \quad (9)$$

Интерпретација коефицијената B_i у регресионој једначини би била једноставнија да подаци нису трансформисани применом Бокс-Кокс методе. Ипак, будући да Бокс-Кокс трансформација не мења редослед (рангирање) података, могућа је донекле интуитивна интерпретација. Из једначина (8) и (9) следи да ће студенти који имају једнаке просечне оцене на крају средње школе и остварили су једнак број поена на пријемном испиту имати веће просечне оцене на студијама уколико су завршили средњу школу типа 2. Коефицијент B_1 , који стоји уз OS , означава за колико стандардних девијација ће се променити трансформисана вредност $PR22$ уколико се просечна оцена повећа за 0,5, под условом да вредности BP и TS остану непромењене. Коефицијент B_2 , који стоји уз BP , означава за колико стандардних девијација ће се променити вредност $PR22$ уколико се број бодова на пријемном испиту повећа за 10, под условом да вредности OS и TS остану непромењене.

Стандардизовани коефицијенти β_i конфигурирају у регресионој једначини која нема константу, јер су све вредности, укључујући и резидуале, стандардизоване, односно сведене на вредности са аритметичком средином једнаком нули и стандардном девијацијом једнаком јединици. Стандардизовани коефицијенти се могу користити за рангирање зависних променљивих на основу утицаја који имају на независну променљиву [212]. У овом случају, вредности β_i у табели 5.9 указују на то да на просек оцена на студијама највише утиче просек оцена у средњој школи, а најмање тип средње школе. Имајући у виду асиметричност расподела BP и OS , аритметичка средина и стандардна девијација, које се примењују у стандардизацији, у овом случају нису одговарајуће мере централне тенденције, па се вредности β_i морају са опрезом тумачити и то само за својеврсно рангирање утицаја променљивих.

У датом моделу, стандардизоване вредности резидуала су у оквиру граница $-3 \div 3$, што одговара вредности $\pm 3 SD$, односно предвиђања нису екстремно непрецизна [212], осим у случају опсервације број 216, код које је вредност стандардизованог резидуала 3,007. Међутим, вредности резидуала у 27 случајева излазе из оквира $\pm 2SD$, што би могло указивати на постојање утицајних вредности, односно вредности које су неочекиване или значајно веће или мање од већине података и које су могле утицати и на резултате регресије. Применом Кукове методе детектовања утицајних података [213], могуће је утврдити које вредности зависне променљиве би могле утицати на резултате регресије. Утицајни подаци су они код којих је вредност параметра D_i , такозване Кукове удаљености (енгл. *Cook's Distance*), оквирно већа од $4/n$ (где је n број опсервација). Вредност параметра D_i се израчунава тако што се сваки податак појединачно искључује из модела и представља меру његовог утицаја на ефикасност модела. Вредности D_i су приказане на слици 5.5. Оквирна гранична вредност параметра D у овом случају износи

0,0063, што је означено референтном линијом. Испрекидана вертикална линија представља границу између података који се односе на студенте који су завршили средњу школу типа 1 (лево) и података који се односе на студенте који су завршили средњу школу типа 2.



Слика 5.5 Вредности параметра D_i

Према Куковом критеријуму, од укупно 631 вредности, број потенцијално утицајних вредности износи 36 и њима припада и поменута вредност за коју је стандардизовани резидуал већи од 3 (опсервација 216).

У табели 5.10 су приказани илустративни подаци који се односе на студенте код којих просек студија ($PR22$) има изненађујуће високе или ниске вредности, када се узму у обзир независне променљиве TS , BP и OS . Подаци у табели су сортирани тако да просечна оцена у средњој школи (OS) формира растући низ, јер поређење тог низа са подацима о просеку студија ($PR22$) наводи на постављање низа питања. Шта је мотивисало матуранте који су средњу школу завршили са просечном оценом мањом од 3,00 (подаци у горњем делу табеле) да остваре више просечне оцене на студијама него матуранти који су у средњој школи били одлични ученици, а на студијама су остварили просечне оцене мање од 6,50 (подаци у доњем делу табеле)? Или – шта је демотивисало одличне ученике који су на студијама остварили неочекивано ниске просечне оцене? Позитивни резидуали у првом случају, односно негативни у другом случају, указују на то да модел предвиђа значајно ниже, односно, у другом случају, више просечне оцене на студијама. Да ли је мотивација имала највећи утицај на неочекивано високе или ниске резултате на студијама? У којој мери се мотивација студената може довести у везу са методама које се примењују у настави? Који други фактори утичу не само на појављивање неочекиваних случајева, већ и уопштено, на успех студената?

Табела 5.10 Парцијални приказ утицајних вредности

Број опсервације	<i>PR22</i>	<i>OS</i>	<i>BP</i>	<i>TS</i>	<i>D_i</i>	Стандардизовани резидуали
389	7.55	2.71	42	1	0.01382	2.27676
26	7.18	2.77	40	1	0.00824	1.81422
362	7.55	2.84	30	1	0.01649	2.43267
242	7.41	2.95	60	1	0.00669	1.51926
191	7.05	2.95	24	1	0.01017	1.80667
592	8.77	2.99	50	2	0.01421	2.31665
...
411	6.23	4.52	18	1	0.00919	-1.6857
573	6.36	4.56	36	2	0.00858	-1.9625
52	6.27	4.59	18	1	0.00782	-1.5325
600	6.36	4.61	60	2	0.0109	-2.5372
316	6.27	4.61	24	1	0.00676	-1.6793
179	6.27	4.82	48	1	0.00649	-2.3939
628	6.32	4.87	60	2	0.0173	-2.9354
442	6.59	4.94	50	2	0.00671	-1.8431
382	6.45	5.00	60	1	0.00864	-2.112

Дати модел је примењен са циљем да пружи увид у нивое утицаја одређених квантитативних показатеља нивоа знања на успех током студија. Ограничења датог модела се односе пре свега на тачност предвиђања, будући да модел објашњава 30% варијабилитета независне променљиве. Може се очекивати да би се укључивањем додатних променљивих (попут пола, нивоа образовања родитеља, социјалног статуса, изабраних предмета, модула, резултата психометријских анализа и сл.) [206] побољшала ефикасност модела или би се модел могао проширити применом хијерархијског приступа [214].

5.1.1. Закључци анализе

Анализирани су подаци за 3129 кандидата, који су полагали јединствен пријемни испит за упис на студијске програме Машинско инжењерство, Урбано инжењерство, Аутомобилско инжењерство и Војноиндустријско инжењерство.

- Утврђено је да не постоји значајна међузависност освојених бодова на пријемном испиту и успеха оствареног у средњој школи. Просечна оцена не пружа информацију о оцени из математике, нити о нивоу суштинског разумевања свих области из којих се тестира знање приликом полагања пријемног испита. Са друге стране, бодови на пријемном испиту су одраз претходног нивоа знања из области математике, уложеног труда у припремање за полагање пријемног испита, а у одређеном броју случајева свакако указују и на позитивне ефекте припремне наставе, која се сваке године организује на Факултету инжењерских наука.
- Број бодова које ће кандидат остварити на пријемном испиту зависи, у извесној мери, од типа претходно завршене средње школе.
- На основу анализе може се закључити да, поред типа завршене средње школе и успеха у средњој школи, постоје други фактори који утичу на то колико ће кандидат бити успешан на пријемном испиту.

Како би се утврдила јачина и структура везе између појединих фактора и оцена добијених током студија, анализирани су подаци који се односе на 691 студента Машинског инжењерства са завршеним основним академским студијама (180 ЕСПБ). Имајући у виду да наведени студијски програм има осам различитих модула, за које се студенти опредељују у петом семестру, као и постојање изборних предмета, анализирани су само подаци у вези са 22 обавезна предмета, који су заједнички за све модуле. Вишеструка линеарна регресија је спроведена да би се утврдила јачина и структура везе између типа средње школе, успеха у средњој школи и броја бодова на пријемном испиту, на једној страни, и оцена добијених током студија, на другој страни.

- Закључено је да на просек оцена на студијама у највећој мери утиче просек оцена у средњој школи, затим број бодова на пријемном испиту, а најмање утиче тип средње школе.
- Будућа истраживања усмерена на популацију студената би требало да укључе у анализу додатне променљиве (попут пола, нивоа образовања родитеља, социјалног статуса, изабраних предмета, модула, резултата психометријских анализа и сл.), примену хијерархијског приступа, као и анализу скупа којег чине студенти који су уписали, а нису завршили студије.

Посматран са аспекта квантитативних показатеља нивоа знања и претходног школовања, скуп који чине студенти је, очекивано, нехомоген. Узимајући у обзир и несумњив утицај других, овде неистражених фактора на мотивацију за учење, намећу се питања која се односе на организацију наставе и на методе које је потребно применити, како би се остварили планирани исходи. Наставу је потребно учинити ефикасном и интересантном и најуспешнијим и мање успешним студентима, имајући у виду и факторе који утичу на њихову мотивисаност и расположиве ресурсе, као и прописе у вези са расположивим бројем часова наставе, бројем студената у групи за лабораторијске вежбе и оптерећењем наставника, сарадника и самих студената. У процесу трансфера знања лабораторијске вежбе имају значајну улогу, а могуће решење за њихово унапређење је развој флексибилних сетова лабораторијске опреме, као и софтверске подршке у виду система који би омогућио процену нивоа улазног знања, мониторинг активности студената у лабораторији и анализу постигнутих резултата.

5.2. ЗАХТЕВИ НАСТАВНИКА

Потреба за унапређењем процеса лабораторијских вежби произилази и из захтева који долазе од стране наставника, имајући у виду да они улазе у интеракције са популацијом студената која је хетерогена, како са аспекта нивоа претходно стеченог знања, тако и са аспекта мотивисаности за учење, разноврсних стилова учења, различитих очекивања, али и по другим основама.

Разлике у нивоу предзнања студената из фундаменталних и специфичних научних области везаних за инжењерске дисциплине утичу на перформансе током студија. Улога наставника је да процес подучавања и учења учини подједнако занимљивим свим студентима и да оствари циљеве лабораторијских вежби, како би се заокружио процес, од упознавања са теоријским основама наставних јединица до суштинског разумевања разлога и начина примене стеченог знања у решавању реалних инжењерских проблема. Остваривање тих циљева захтева обезбеђивање услова за индивидуални рад студената на унапређењу вештина које су, као излаз, повезане са процесом лабораторијских вежби.

Приликом спроведене анализе на Факултету инжењерских наука установљено је да постоји одређена група захтева које наставници исказују према припреми и извођењу лабораторијских вежби:

- **Мотивација студената.**

Постоји велики број разлога зашто може бити присутна недовољна, или умањена мотивација студената за извођење лабораторијских вежби. Са друге стране, очигледна је потреба наставника да мотивишу студенте да на адекватан начин приступе припреми и обављању лабораторијских вежби, као и самој анализи прикупљених података и њиховом тумачењу. У ери свеопште дигитализације, чињеница је да у савременом образовном окружењу студенти до потребних информација долазе у великој мери у реалном времену, користећи различите начине, од класичног веба до система вештачке интелигенције присутних у форми веб агената. Сходно свему овоме, потребно је омогућити да сав потребан материјал, од припреме лабораторијске вежбе, преко аквизиције података до чувања и анализе података, студенти имају у развијеном веб оокружењу.

Потешкоће у домену мотивисања студената свакако делом произилазе из чињенице да је број студената на инжењерским програмима све већи и да расположиви лабораторијски ресурси не могу испунити захтеве наставника који се односе на рад са мањим групама студената. У том смислу, захтев наставника се односи на обезбеђивање услова да се сваком студенту омогући да има довољно времена за самостално извођење ескперимената, али и за поновљене покушаје, када за тим постоји потреба, како би се тежило уједначавању излазног знања и стечених вештина.

- **Постојање централизованог система за управљање подацима.**

Захтеви наставника се односе и на потребу за постојањем јединственог, централизованог система, који би омогућио управљање подацима и праћење активности и резултата сваког студента у лабораторији. Мониторинг рада студената у реалном времену би омогућио интервенисање наставника када се уочи да код одређеног студента постоји проблем или застој при реализацији планираних активности у оквиру лабораторијских вежби. Са друге стране, вођење евиденције о комплетној групи студената захтева пуно времена и повезано је са бројним проблемима. Стога је јасна потреба за постојањем централне архиве за управљање подацима о свим студентима и свим одржаним вежбама, а са друге стране и потреба за постојањем регистра свих лабораторијских вежби које су на располагању за дати предмет или дати студијски програм.

- **Алати који омогућавају аналитички приступ и подршку комуникацији.**

Значајан део лабораторијских мерења и спровођења лабораторијских вежби представља не само извођење, већ и дискусија и анализа резултата. На основу захтева наставника, потребно је креирати интегрисано окружење у коме је могуће обликовати амбијент за дискусију и поређење резултата. На овај начин, кроз рад, поновљене покушаје и учење на грешкама, студенти ће на бољи начин овладати едукацијским захтевима и стећи потребне вештине и знања.

Постоји и захтев за генерисањем заједничког приказа резултата које су током извођења вежбе добили студенти, како би се омогућила анализа и дискусија, а самим тим отворио простор за дискусију о изворима грешака мерења и примени наведених научних принципа и метода у реалном инжењерству.

- **Могућност креирања индивидуализованог приступа.**

Поред захтева за управљањем подацима на нивоу сваког појединачног студента, постоји и захтев наставника за софтверском подршком која би омогућила ефикасну анализу података у вези са лабораторијским вежбама на крају семестра или школске године, као и лонгитудиналну анализу која би, на основу поређења перформанси претходних генерација, представљала основу за унапређење процеса лабораторијских вежби пре доласка нове генерације студената. Иако свесни да вештине стечене током рада у лабораторији неће бити на истом нивоу код свих студената, наставници своје захтеве заснивају на потреби да утичу на смањење тих разлика и обавези да остваре постављене циљеве, али и на искуству у раду са студентима, које указује на то да је студентима потребно омогућити приступ лабораторијској опреми, како би у што већој мери самостално изводили вежбе, индивидуално или у малим групама, а наставнику омогућити да прати рад сваког студента, управља подацима и да, на основу тога, прилагођава програм и садржај вежби на нивоу појединачног студента, групе или целе генерације. Односно, потребно је оно што ће нас одвести корак ближе концепту стварања индивидуалних путања учења за различите студенте. У току наставног процеса, применом напредних алата, могуће је уочити уколико студент (или група студената) не остварује дефинисане циљеве, односно не стиче потребна знања и компетенције. У том случају, наставник, користећи каталог лабораторијских вежби или теоријског материјала, може интервенисати и омогућити да студенти надокнаде потребно, односно да у супротној мери остваре индивидуалну екселентност.

- **Креирање модуларног хардвера.**

При инжењерској едукацији је потребно са једне стране имати довољно лабораторијских система који омогућавају спровођење лабораторијских вежби у унапред дефинисаним групама. Са друге стране, поседовање великог броја лабораторијских система понекад није економски оправдано, а захтева и широку обуку наставника или лабораната за коришћење. Према свему наведеном, један од захтева је био да се креирају модуларни флексибилни системи, који би могли да се користе на широком спектру предмета у инжењерској едукацији.

- **Једноставност одржавања.**

Један од битних захтева такође представља и робустност система, што је повезано са захтевом за лако одржавање. Приликом извођења лабораторијских вежби установљено је да студенти захтевају значајну подршку у припреми лабораторијског система и да, уколико су ти системи фрагилни или тешки за одржавање, лаборант или наставник троше пуно времена за припрему лабораторијског система.

На основу наведених захтева, уочљиво је да наставници групишу захтеве у неколико специфичних праваца. Један је, условно речено, сет захтева који је повезан са хардверским делом система (модуларност, робустност, одржавање), други део је у вези са креирањем флексибилног и свеобухватног софтверског система за подршку (прикупљање података, анализа и сл.), док се трећа група захтева односи на остваривање одређених методолошких приступа (индивидуалан или групни рад, подршка, заједничко решавање проблема).

5.3. ЗАХТЕВИ КУРИКУЛУМА

Очекивани исходи процеса образовања за студијске програме основних и мастер академских студија Машинског инжењерства су приказани у табели 5.11. Пут ка

остварењу планираних исхода представља комплексан процес, који подразумева примену читавог низа метода и активности, како би се остварили планирани циљеви, односно како би исходи били на очекиваном нивоу. Лабораторијске вежбе су један од процеса који се одвијају током студија и захтеви који се на њих односе су уткани у читав низ очекиваних исхода, иако нису увек експлицитно наведени.

Табела 5.11 Исходи ОАС и МАС студијског програма Машинско инжењерство

ОСНОВНЕ АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ
Познавање фундаменталних дисциплина у области машинског инжењерства (математика, термодинамика, механика, итд.) на нивоу који се иначе очекује од инжењера машинства и у земљама ЕУ.
Владање рачунарским и САД алатима, вештином програмирања и употребом информационих технологија.
Владање стеченим знањима у контексту („знање као способност доласка до информације и њене креативне употребе“).
Владање ширим контекстом сагледавања инжењерских проблема, што подразумева узимање у обзир економских, еколошких, организационих и друштвено социјалних релација.
Разумевање различитих прилаза и методологија анализе и синтезе система, објеката и процеса, као и читање и писање релевантне техничке документације.
МАСТЕР АКАДЕМСКЕ СТУДИЈЕ
Владање знањима и вештинама у области машинског инжењерства на нивоу мастер академских студија које прописују документи земаља ЕУ.
Владање методама и алатима за анализу, синтезу, пројектовање и производњу: САД, САМ, САЕ, ФЕА, ФМЕА и другим специјализованим рачунарским алатима и програмима.
Владање специфичним знањима и вештинама која стиче кроз лабораторијски рад, студијски истраживачки рад, рад на пројектним задацима и стручну праксу, а што обухвата: познавање инструментације, информационих технологија, техничких средстава и елемената, битних концепата системског инжењерства и мехатронике (у смислу интеграције система), производње и одржавања, организације и других предметно специфичних области.
Стицање вештине решавања сложених проблема на иновативан начин који доприноси развоју у области машинског инжењерства.

Табела 5.11 – наставак

Стицање вештине примењивања сложених метода, инструмената и уређаја релевантних за област машинског инжењерства.
Стицање вештине управљања и вођења сложене комуникације, интеракције и сарадње са другима из различитих друштвених група узимајући у обзир индустрију и тржиште.
Стицање способности предузетничког деловања и самосталног рада са пуном одговорношћу на најсложенијим пројектима.
Стицање способности планирања и реализације научних и/или примењених истраживања што подразумева узимање у обзир економских, еколошких, организационих и друштвено социјалних релација.
Стицање способности контроле рада и вредновања резултата других ради унапређивања постојеће праксе у индустрији.

Захтеви у вези са лабораторијским вежбама на инжењерским студијама могу се разликовати у зависности од специфичног програма и институције, међутим, постоје заједничке тачке које спајају концепт лабораторијских вежби на инжењерским студијама. Неки од ових захтева су имплицитно или експлицитно дефинисани акредитационим правилима, националним или страним (као што је, на пример, ASIIN [215]). У наставку су наведени неки од општих захтева.

- **Омогућавање приступа**

Будући да су лабораторијске вежбе углавном обавезни део студијских програма, сви модели који унапређују похађање и приступ су високо вредновани, укључујући концепте удаљених лабораторија, виртуалних система или онлајн подршке реалним системима.

- **Припрема за вежбу**

Лабораторијска вежба је обично усмерена на проверу или доказивање појединих теоријских концепата, односно стицање вештина и знања у одговарајућим областима. Зато је неопходно омогућити што ширу, темељнију и детаљнију припрему за лабораторијску вежбу, како би се извео одговарајући експеримент. То омогућава постизање теоријског разумевања онога што ће се радити и постављање смислених питања наставнику током вежби.

- **Безбедност**

Лабораторијске вежбе често укључују рад са опасним материјалима, инструментима или машинама. Зато је потребно дефинисати безбедносне процедуре и обезбедити безбедност свих учесника у процесу.

- **Дизајн експеримента**

Вежбе често укључују постављање експеримената, мерење података и анализу резултата. Са друге стране, лабораторијске вежбе се често користе у инжењерској едукацији због остваривања различитих циљева. Сви системи који су флексибилни, модуларни, омогућавају вишеструку употребу или понављање вежби под различитим условима имају низ очигледних предности. Додатно, препоручују се сви системи који имају повољан однос улагања и одржавања у односу на дужину експлоатације.

- **Анализа резултата**

Након завршетка експеримента, очекује се прикупљање и анализа података. Системи који омогућавају робустније прикупљање, чување и анализу података су системи који имају вишу употребну вредност.

- **Извештаји о лабораторијским вежбама**

Након лабораторијских вежби неопходно је спремити извештаје. Системи који омогућавају лако креирање и дељење извештаја су системи који омогућавају примену различитих напредних метода у едукацији и примену тих система је једноставно ефикаснија.

- **Тимски рад**

У неким случајевима, лабораторијске вежбе се изводе у групама, па је често потребна подршка за тимски рад и размену података. Понекад се лабораторијске вежбе одигравају индивидуално и у том случају је потребна добра комуникација са наставником.

Ови захтеви могу варирати у зависности од програма студија, предмета и нивоа студија. У сваком случају, поред наведених захтева неопходно је да свака лабораторијска вежба

буде у функцији остваривања циља одређеног предмета, односно стицања знања, вештина и компетенција потребних за обављање послова у оквиру инжењерске струке.

Једна од најзначајнијих улога лабораторијских вежби је омогућавање бољег разумевања наставе из базичних теоријских предмета и стручних усмеравајућих предмета у широкој области машинског инжењерства. Базични теоријски предмети, односно предмети који дају неопходну теоријску базу младим инжењерима за рад и усавршавање у области машинског инжењерства, су, поред математике као основне научне дисциплине, највећим делом предмети из области теоријске физике (статика, кинематика, динамика, теорија осцилација, механика флуида, термодинамика, оптика, електротехника, електроника), али и хемије, као базичне науке у области машинских материјала и електрохемијских обрада и процеса.

Посматрано на нивоу предмета и наставних јединица, а са аспекта улоге лабораторијских вежби, захтеви курикулума, чије је испуњавање у директној вези са развијеним компетенцијама (које спадају у домен захтева будућих послодаваца) обухватају читав спектар области, као што су:

- Математика
- Механика (статика, кинематика, динамика)
- Отпорност материјала
- Техничко цртање и нацртна геометрија
- Термодинамика и термотехника
- Хидраулика и пнеуматика
- Електротехника
- Машински материјали
- Машински елементи
- Машинске конструкције
- Обрада резањем, обрада деформисањем и одговарајући алати, прибори и машине
- Техничка контрола – метрологија
- Трибологија
- Технолошки поступци израде машинских елемената
- CAD/CAM технологије
- Проблеми организације производње, токова материјала и информација, технолошких процеса, нивоа поузданости са аспекта стабилности процеса, продуктивности и квалитета, као и техно-економски показатељи

Једна од улога лабораторијских вежби је да се, уз теоријску наставу, аудиторне вежбе, примену различитих метода активног и пројектног учења и обезбеђивање студентске праксе у одговарајућим предузећима, студентима обезбеде услови за упознавање са савременим технологијама, уређајима и машинама, начином рада и програмирања, технолошким поступцима, као и проблемима организације производње, токова материјала и информација, технолошких процеса, нивоа поузданости са аспекта стабилности процеса, продуктивности и квалитета, као и овладавање методама и алатима за сагледавање и анализу техно-економских показатеља.

Са друге стране, у основи очекиваних компетенција стоји суштинско разумевање и способност примене теоријског знања, које би у области математике минимално обухватало алгебарске једначине, експоненцијалне, тригонометријске и логаритамске једначине, тригонометријске функције, геометрију у равни и простору, функције једне и више променљивих и њихово графичко приказивање, појмове прираштаја и извода функције, одређивање запремине обртних тела и развијеног стања површине сложених

тела и друге области. Опште знање из физике на нивоу који је потребан за савладавање захтева курикулума обухвата низ области, као што су:

- силе у равни и простору;
- енергија (потенцијална и кинетичка, трансформација енергије и „губици“ у механичким, хидрауличким и електро системима, као и схватање аналогije између ових величина у раличитим системима;
- полуга – редукција и мултипликација силе;
- еластична сила опруге и крутост опруге, сила и померање у редно, паралелно и комбиновано спрегнутим опругама;
- силе на стрмој равни и појмови статичког и кинематског трења;
- равномерно праволинијско и обртно кретање;
- I, II и III Њутнов закон;
- топлота, температура, специфична топлота, калорична моћ материјала и топлотни капацитет; термичке дилатације материјала и термички напон;
- Паскалов и Бојл-Мариотов закон;
- Омов закон и Кирхофова правила;
- магнетно поље проводника и Ерстедов оглед;
- једносмерна и наизменична струја, напонски трансформатори и електромотори, редна и паралелна веза отпорника, напон, јачина струје, отпор, кратак спој, значај осигурача у електричном колу итд.

Имајући у виду хетерогеност популације студената, чије улазно знање из математике и физике није уједначено, а делом зависи и од типа претходно завршене средње школе (фонда часова математике и физике, као и обрађиваних области), и чије познавање алата, прибора и мерне опреме, као и вештина руковања, такође нису уједначени, постоји читав низ захтева за демонстрирањем физичких закона, постизањем суштинског разумевања теорије, применом знања математике и унапређењем психомоторних вештина, што, даље, захтева визуелизацију физичких проблема, креирање и анализу графичких приказа и самостално руковање лабораторијском опремом.

5.4. ЗАХТЕВИ СТУДЕНАТА

Захтеви и мишљења студената су анализирани у два наврата. У првом делу, анализирани су захтеви студената који се генерално односе на креирање адекватне лабораторијске вежбе и одговарајућу софтверску подршку. Додатно, на основу експлоатације постојеће лабораторијске опреме (чији је део презентован у потпоглављу 4.3), прикупљани су захтеви који се односе на исказану потребу за додатном лабораторијском подршком настави из одређених предмета. Ово последње је служило као својеврсни елемент повратне спреге у унапређењу концепта лабораторијских вежби и развоју модула чије функције би биле повезане са наставним јединицама у оквиру наведених предмета.

5.4.2. Захтеви студената за креирање лабораторијске вежбе и система

Студенти Факултета инжењерских наука су навели следеће захтеве за креирање модулних лабораторијских вежби подржаних онлајн системом:

- **Самостално руковање опремом.**

Претходно развијени уређаји и учила су омогућили рад у мањим групама. Студенти су испоставили захтев да у већој мери самостално рукују лабораторијском опремом, што указује на потребу за развојем модулних сетова и серија учила, како би се то и омогућило.

- **Вежбе морају бити лаке за разумевање, а систем треба да буде једноставан за коришћење.**

Будући да се лабораторијске вежбе одвијају или индивидаулно или у малим групама, потребно је да цео приступ буде у што већој мери „*user friendly*“.

- **Мултимедијално окружење.**

Студентима је неопходно да имају квалитетну припрему и материјал који користи све предности мултимедијалног окружења, почев од статичких докумената, динамичких садржаја до мултимедијалних садржаја, односно потпуну подршку у смислу расположивости едукацијских материјала, секције за питања и одговоре, коментаре, форуме, могућности међусобног комуницирања и комуницирања са наставником.

- **Могућност да имају сталну супервизију наставника и комуникацију са наставником.**

При извођењу лабораторијских вежби неопходно је да студенти могу у реалном простору имати подршку наставника, али и да у онлајн окружењу имају могућност интеракције са наставником, како би добили потребна разјашњења и тумачења.

- **Флексибилност у избору.**

Студенти захтевају да имају могућност флексибилног избора, односно да могу сами да бирају одређене полазне претпоставке, али и да сами дефинишу редослед одвијања лабораторијских вежби у складу са њиховим афинитетима и претходним знањем. И студенти су, попут наставника, исказали потребу за креирањем путања које ће бити у већој мери прилагођене индивидуалним потребама сваког студента.

- **Једноставан софтвер прилагођен свим платформама.**

Када је реч о софтверском решењу, студенти захтевају софтвер који није претерано захтеван, који је интуитиван за коришћење и који се може користити на свим платформама и свим оперативним системима. То значи да је потребна платформа којој је могуће приступити са било ког места у било које време, користећи најједноставније уређаје и где се неће јавити проблем са управљањем верзијама или инсталирањем нове верзије.

- **Постојање базе решених примера и експеримената.**

Исказан је захтев за постојањем опште базе урађених лабораторијских вежби на коју студенти могу да реферишу приликом решавања индивидуалних проблема. Са друге стране исказан је захтев за постојањем индивидуалне базе која ће бележити претходне покушаје и где ће студенти учити или из својих грешака или из својих поновљених покушаја.

Студентски захтеви су, попут захтева наставника, формулисани око неколико генералних праваца. Први обухвата једноставност, флексибилност и интуитивност опреме и софтвера, док се други односи на могућности чувања и анализе резултата. Такође је високо вреднован захтев за развојем комплетног интегрисаног окружења које ће садржати спој праксе и теоријских основа.

5.4.3. Захтеви студената за додатном лабораторијском опремом

На основу експлоатације постојеће лабораторијске опреме (чији је део презентован у потпоглављу 4.3), спроведене су анализе и закључено је да је њено увођење у програм лабораторијских вежби из одређених предмета имао позитивне ефекте, чије

квантификовање је описано у потпоглављу 9.1. Уочени су и одређени недостаци у примени развијене опреме, који су се односили на потребу за израдом серије одређених уређаја и учила, што би умањило цену, а истовремено омогућило формирање реконфигурабилних радних станица у оквиру лабораторија.

Указала се и потреба за развојем модуларних сетова који би покривали области Механике 1 и Отпорности материјала. У циљу прикупљања захтева студената, током школске 2021/22. године спроведено је анкетирање међу студентима који су положили оба наведена предмета (садржај упитника је дат у Прилогу 1). Циљ је био да се утврди са којим наставним јединицама и проблемима у савладавању теоријског дела наставе треба да буду повезане функције модуларних сетова, постављено им је идентично питање за оба предмета: „*Напишите укратко шта Вам је при учењу Механике 1/Отпорности материјала представљало највећи проблем, тј. шта Вам је било најтеже да научите/разумете или у чему сте најчешће грешили?*“. Од 50 подељених анкета, 47 одговора се односило на Механику 1, а 38 одговора се односило на предмет Отпорност материјала.

■ **Механика 1:**

- шест студената се изјаснило да није имало проблема при савладавању градива;
- један студент је проблеме приписао „*недовољном предзнању из области физике*“ због чега му је било „*потребно одређено време да се упозна са материјом*“;
- пет студената је означило теорију као најтежи део за учење (на пример, „*Теже ми је било да научим теорију него да разумем и савладам задатке.*“);
- пет студената је имало проблем са задацима и обрасцима („*превише различитих образаца*“ или „*најчешће грешке су биле у изради задатака*“);
- 13 студената је као проблем означило недостатак лабораторијских вежби, односно то што нису имали прилику да виде „*практичне примере*“, „*конкретно како нешто функционише*“, како би решили проблем „*сусретања са новим појмовима*“ и „*неразумевања одређених појмова и термина*“. Неколико коментара се односило на то да се „*задаци морају применити у пракси*“, јер „*сматрам да је боље видети практично (експериментално) на онда прећи на задатке*“, како би се постигло „*визуелно разумевање теоријских проблема*“, јер „*најтеже ми је било да замислим шта се дешава тачно на пример на греди када је оптерећујемо*“ и сл.
- 18 коментара се односило на конкретне области које је било најтеже савладати или у оквиру којих су најчешће правили грешке при решавању задатака. Тако се пет коментара односило на графостатику, односно „*постављање равнотежних дијаграма*“, док је за осам студената проблем представљао прорачун оптерећења греде, одређивање смера момента, отпора ослонаца, континуално и троугаоно оптерећење, Герберов носач. Пет студената је навело решавање проблема у простору као најтежу област.

■ **Отпорност материјала:**

- осам студената се изјаснило да није имало проблема при савладавању градива;
- пет студената је означило теорију као најтежи део за учење („*учење теоријског дела*“);

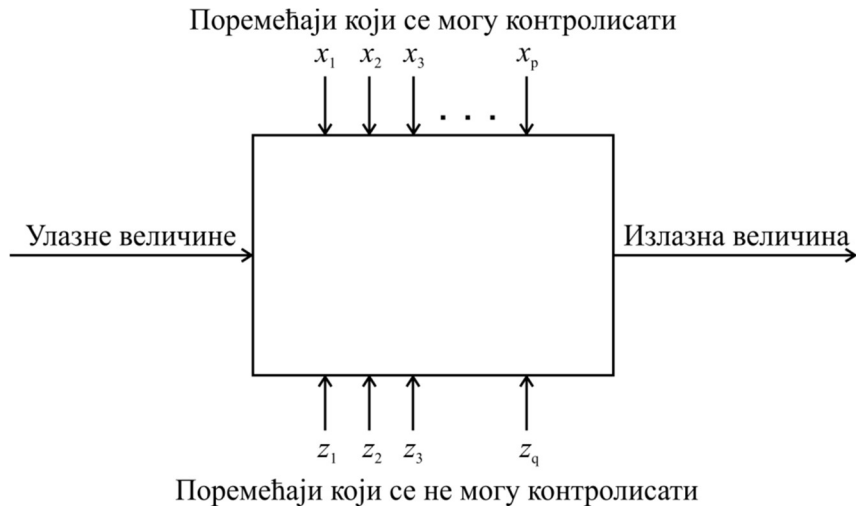
- седам студената је имало проблем са задацима и обрасцима („Највећи проблем ми је представљало да разумем обрасце и зависност између физичких величина“ или „одабир одговарајућих образаца“);
- девет студената је као проблем означило недостатак лабораторијских вежби, односно „повезивање теоријског знања са реалним механичким проблемима“, јер би „на конкретном примеру и учење и разумевање било лакше“.
- шест студената је као проблем навело угиб, нагиб и торзију (решавање једначина, одређивање смера момента); у два случаја као проблем су наведени профили, јер нису имали прилику „да виде како изгледају“;
- један студент је као проблем навео „недостатак симулација“ уз помоћ којих бисе могло приказати „шта се дешава при оптерећивању неког материјала или предмета“.

Свега 12% студената се изјаснило да није имало проблем са савладавањем градива из Механике 1, док је у случају Отпорности материјала тај проценат нешто већи – 21%. Одговори студената у оба случаја указују на то да постоји захтев за изградом лабораторијских сетова који би омогућили разумевање теоријског дела наставе и зависности између физичких величина, као и креирање одговарајућих дијаграма, а напомене у вези са конкретним наставним јединицама представљају смернице за дефинисање функције модула који треба да се интегришу у лабораторијске системе.

На основу анализе мишљења и примедби студената дефинисане су повратне информације за унапређење лабораторијског система.

6. ТЕОРИЈА И ДИЗАЈН ЕКСПЕРИМЕНТА

Експеримент, као тест или серија тестова током којих се врши промена улазних величина и утврђује њен утицај на излазне величине, може се приказати општим моделом процеса или система (слика 6.1).



Слика 6.1 Уопштени модел процеса, применљив и на експеримент

Поред улазних и излазних величина, на експеримент утичу и различити поремећаји, од којих је неке могуће контролисати (x_i), док друге није могуће контролисати (z_i), али је њихов утицај на систем неопходно узети у обзир¹⁶.

Important Notice

When using copier after 5 p.m.
Please make sure that you shut-
off the copier and close the copier
room door before you leave the
building.

The copier has been over heating
due to the fact that the copier is
being left on.

OF POOR DESIGN!
No copier not meant for
such a small room. give
the engineers more
credit!

Слика 6.2 Илустрација полемике о квалитету дизајна и утицају спољашњих услова на рад уређаја.

Како би илустровао утицај спољашњих фактора, професор америчког универзитета Рочестер је у својој књизи о дизајну експеримента [216] навео пример поруке коју је затекао у просторији у којој је био смештен апарат за фотокопирање, на којој су други корисници апарата дописали своје коментаре (слика 6.2). Порука се односила на то да се апарат прегрева јер га корисници остављају укљученог после коришћења. Први дописани коментар се односи на то да је у питању лош дизајн, а други коментар указује на то да је проблем у томе што је просторија превише мала и захтева да корисници имају више поверења у инжењере који су пројектовали уређај.

Мада у експерименталним истраживањима није могуће усвојити јединствен приступ, јер се околности увек, у већој или мањој мери, разликују, литературни извори [8, 217] и искуства истраживача дају одређене смернице за спровођење корака у фази планирања експеримента.

Пре него што се одабере (или развије) одговарајућа опрема и инструментација, свакако, први корак је дефинисање проблема, односно циљева експеримента. Основа добро

¹⁶ У поглављу су коришћени материјали за предавања из предмета Експеримент у машинству.

организованог експеримента је теоријска анализа разматраног проблема, која подразумева преглед литературе и нумеричке прорачуне, а у случају сложенијих проблема и рачунарске симулације. Приликом планирања експеримента потребно је пре свега донети одлуке које се односе на број улазних величина које утичу на излазну величину и број потребних резултата мерења, док се истовремено у обзир узимају поремећајни фактори, које је потребно елиминисати или држати на одређеном константном нивоу. Број улазних величина ће зависити од проблема који се разматра. Приликом провере познатих физичких закона познат је и број улазних величина. Када теоријска зависност између улазних и излазних величина није позната, ако је број података довољно велики, могуће је применити регресиону анализу и на тај начин добити математички модел посматраног процеса.

На примеру одређивања угиба конзолног носача, полази се од познате једначине (10) из теорије еластичности:

$$f = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (10)$$

где је F – сила на крају препуста носача, L – дужина препуста, E – модул еластичности материјала носача, I – момент инерције попречног пресека носача и f – угиб, као излазна величина.

При томе, величине које се морају контролисати, односно држати у одређеним границама, су температура и напон (који мора остати у границама еластичних деформација). Уколико би се парцијално посматрао утицај сваке од величина у једначини 10 на излазну величину, тај однос би се могао приказати низом једначина, у којима се само једна од величина посматра као независна променљива, а све остале третирају као константе:

$$f = C_F \cdot F, \quad f = C_L \cdot L^3, \quad f = \frac{C_E}{E}, \quad f = \frac{C_I}{I}. \quad (11)$$

Једначине (11) се даље могу користити за одређивање броја потребних мерења. Минимални број мерења при којима би се мењала вредност силе (у што ширем интервалу) био би два, јер је у питању линеарна зависност. Будући да код осталих величина зависност није линеарна, број потребних мерења је већи, а минимално је потребно извести мерења са по три вредности – минималном, средњом и максималном.

Имајући у виду да је свакој улазној величини придружена и одређена грешка мерења или грешка услед одступања димензија носача од идеалног геометријског облика или грешка због одступања карактеристика материјала од теоријских вредности, постоје одређена одступања у односу на задате вредности.

Када је реч о идејном решењу, у смислу физичке и техничке основе експеримента, оно треба да буде анализирано са више аспеката, попут могућих системских и случајних грешака, али и цене. Тражење оптималног решења мора узети у обзир више критеријума, јер, уколико би се, примера ради, из оптимизације искључила цена, може се добити решење које је по више основа добро, али превише скупо, јер цена израде техничког решења или трошкови самог извођења експеримента превазилазе оквиру планираног буџета. Такође, подразумева се да је у свим фазама планирања експеримента неопходан тимски рад, имајући у виду да је у питању сложен процес, који захтева ангажовање више компетентних учесника и да је потребно обезбедити објективност при одабиру оптималног идејног решења.

Поред безбедности, на коју се при планирању експеримента мора обратити посебна пажња, важан аспект успешно организованог експеримента је и адекватан приказ резултата, који подразумева примену одговарајућих статистичких метода и креирање пратећих дијаграмских приказа, што омогућава детаљну анализу и дискусију.

Имајући у виду да се у сваком реалном мерном систему може појавити грешка мерења, анализа системских и случајних грешака и њихових извора представља још један значајан допринос учења на бази експеримента унапређењу корпуса знања и вештина којима треба да влада будући инжењер. Анализа системских грешака упућује студента на уочавање поремећаја система током мерења и на спознавање несавршености мерне инструментације. Анализа случајних грешака, са друге стране, студента усмерава на разматрање утицаја аналогног излаза мерног инструмента, као и људске грешке.

Извођење експеримената подразумева поређење добијених резултата са очекиваним вредностима, што упућује на коришћење одговарајућих стандарда (нарочито оних који се односе на карактеристике материјала узорка), али и на примену познатих теоријских зависности за одређивање очекиваних граница у којима би требало да се крећу вредности излазне величине. Анализа резултата експеримента такође води и до схватања примене појмова из области статистике и вероватноће, попут нивоа поверења, расподеле фреквенција или прорачуна величина које представљају меру централне тенденције и варијације података, разматрања корелације између величина, као и значај графичког приказивања резултата статистичке анализе.

Од тога како је експеримент дизајниран зависиће не само резултати, који у случају лоше организованог експеримента могу довести до погрешних закључака, већ и мотивисаност студената за учење на бази експеримента. Истраживања спроведена на Универзитету Волонгонг у Аустралији [117] су показала да студенти различито оцењују исту опрему, у зависности од тога како је на тој опреми осмишљен ток експеримента. Психолошки ефекат који неадекватно организоване лабораторијске вежбе могу имати на студенте и наставно особље уочен је и на Универзитету у Колораду [103]. Ти ефекти се односе на формирање негативног става студената према експерименту генерално, а одређени број студената, због неуспеха при извођењу експеримента, почиње да сумња у сопствене способности. Професори *Tuve* и *Domholdt* су у својој књизи наведени проблем формулисали на следећи начин [217]:

„Рад у лабораторији мора обезбедити припрему за каснији самосталан рад и не треба да буде заснован само на стереотипним вежбама. Ипак, ако се почетнику да комплексан експериментални проблем и он прави грешке у избору инструмената, планирању или прикупљању података – само зато што претходно није прошао основну обуку за дате технике – он ће само трошити драгоцено време и биће све више обесхрабрен, што може довести до отпора према експерименту и истраживању генерално.“

7. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА КОНЦЕПТА И ОПТИМИЗАЦИЈА МОДУЛАРНИХ СИСТЕМА УЧИЛА

Искуства стечена током развоја едукацијских и истраживачких уређаја на Факултету инжењерских наука у протеклих десет година (потпоглавље 4.3) генерисала су идеју развоја лабораторијских сетова чији дизајн би био заснован на принципу модуларности.

Узимајући у обзир и ограничења у смислу просторних ресурса, концепт модуларности је усвојен у ширем и у ужем смислу. У ширем смислу, модуларност би омогућила једноставну промену конфигурације радних станица за студенте, а самим тим и промену конфигурације лабораторијског простора. То је могуће остварити применом учила малих габарита и масе, која нису стационарна, лако су преносива, једноставна за подешавање основних поставки пре извођења експеримента, без специфичних захтева који се односе на напајања електричном енергијом, заштиту од вибрација, материјала и носивости подлоге, мере безбедности и сл. Такође, таква учила би и сама требало да буду флексибилна, променљиве конфигурације, са кратким временом припреме за извођење експеримента и са вишеструком наменом, што доводи до усвајања концепта модуларности у ужем смислу, који се односи на саму лабораторијску опрему. Аспект модуларности се, дакле, провлачи кроз целу вертикалу предложеног модела.

У литератури постоје примери универзитетских лабораторија у којима су конфигурације хардвера и софтвера омогућиле примену принципа модуларности у настави из области електротехнике и електронике [218–222], мехатронике [223, 224], управљачких инжењерских система и аутоматике [72, 225–228] или реконфигурабилних технолошких система [229–231], при чему се модуларни системи комбинују и са удаљеним приступом опреми [72, 232]. Међутим, прегледом и анализом литературних извора утврђено је да концепт модуларног пројектовања није нашао већу примену у сфери развоја едукацијске опреме, јер се у највећем броју случајева преузимају и комбинују готова решења. Познати произвођачи дидактичких система у понуди имају широк дијапазон модуларних сетова [233–237], који су нашли примену на универзитетима широм света [238–242]. У питању је опрема високог професионалног нивоа, чија је конфигурација, међутим, најчешће затвореног типа, односно мерни системи и други модули са чијом конструкцијом и функцијом би студенти такође требало да се упознају, често нису видљиви. Таква опрема је најчешће заступљена у сфери специјализације инжењера из појединих области или намењена само обуци за руковање одређеним системима. Њена цена, међутим, превазилази могућности већине техничких факултета који имају амбицију да обезбеде довољан број радних станица за самостално руковање опремом.

Модуларни сет чине механички елементи, хидрауличке, пнеуматске и електро компоненте, различити мерни уређаји и остали елементи. При томе, реч је о елементима који се у највећем броју случајева израђују у складу са стандардима и представљају робу широке потрошње, па је и њихова цена вишеструко нижа од цене специјално дизајнираних елемената. Компоновањем наведених стандардних производа и развојем релативно малог броја специјалних елемената могуће је формирати велики број учила и уређаја едукацијског и истраживачког карактера. Посебна предност концепта модуларности је могућност коришћења истих елемената при формирању различитих конструкција.

Принцип модуларности, који се заснива на компоновању стандардних елемената, подсклопова и склопова у функционалне целине, већ дужи низ година је присутан у разноврсним техничким системима [243], јер омогућава једноставнију надоградњу производа и стандардизацију компонената [244] и његовом применом се могу постићи

значајни техно-економски ефекти [245–247]. При томе, док су елементи једног модула међусобно тесно повезани, њихова веза са елементима других модула би требало да буде што слабија [244]. Бенефити које доноси модуларност се огледају у смањењу комплексности производа, краће време и нижи трошкови развоја, коришћење истих елемената, компоненти или модула у различитим производима, већи степен стандардизације, мањи укупан број компоненти [248], већа флексибилност, као и могућност надоградње и адаптације захтевима који се односе на саму функцију, односно захтеве корисника. Поред дизајнирања новог производа од постојећих модула, при креирању модуларног производа могућа су још два приступа [249]: *ex ante* (дизајнирање засебних функционалних целина и њихово компоновање у јединствен производ) и *ex post* (груписање постојећих функционалних целина у засебне модуле, као пре свега аналитичка активност, корисна приликом редизајнирања производа).

На основу постигнутих резултата у развоју едукацијске и истраживачке опреме, публикованих радова, детаљне анализе литературних извора, трендова, проблема и тежњи престижних светских универзитета у сфери развоја едукацијске опреме, усвојене су смернице развоја модуларних система:

- Примена принципа модуларности треба да омогући креирање учила применљивих у широкој области машинског инжењерства и тангентних научних и техничких дисциплина.
- Програми извођења лабораторијских вежби на модуларним сетовима треба да прате теоријску наставу и кроз лабораторијску верификацију теоријски познатих закона и релација, анализу добијених резултата, анализу грешака и дискусију, омогуће суштинско схватање значаја теоријског знања и његовог повезивања са реалним инжењерским системима.
- Модуларни сетови треба да буду отвореног типа, са видљивим мерним системима, мале тежине, једноставни за употребу и безбедни за извођење експеримента од стране студената.
- Усвојени концепт, заснован на модуларности, треба да омогући надоградњу лабораторијске опреме, у смислу дизајнирања нових учила или модула, како од стране наставника, тако и од стране студената.
- Модуларни лабораторијски сетови треба да буду засновани на максимално могућој примени стандардних механичких, погонских, мерних, пнеуматских, електронских и осталих компоненти, чиме се постижу позитивни техноекономски ефекти.
- Искуства и сазнања престижних светских техничких факултета указују на то да се најбољи ефекти постижу при самосталном извођењу лабораторијских вежби од стране сваког студента у групи, не већој од пет студената. При томе, сваки студент, под надзором професора, изводи комплетан програм лабораторијске вежбе, што би било тешко изводљиво при раду са професионалном и софистицираном лабораторијском опремом.

На развоју концепта, оптимизацији и реализацији модуларног сета, према изнетим смерницама, радила је група професора са Факултета инжењерских наука, Војне академије, Факултета техничких наука у Новом Саду, Академије струковних студија Шумадија и других високошколских установа, као и група реномираних индустријских инжењера. Оптимизација модуларног сета извршена је након избора теоријског концепта решења чије основе се дају у наредном излагању.

7.1. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА КОНЦЕПТА МОДУЛАРНИХ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ СИСТЕМА

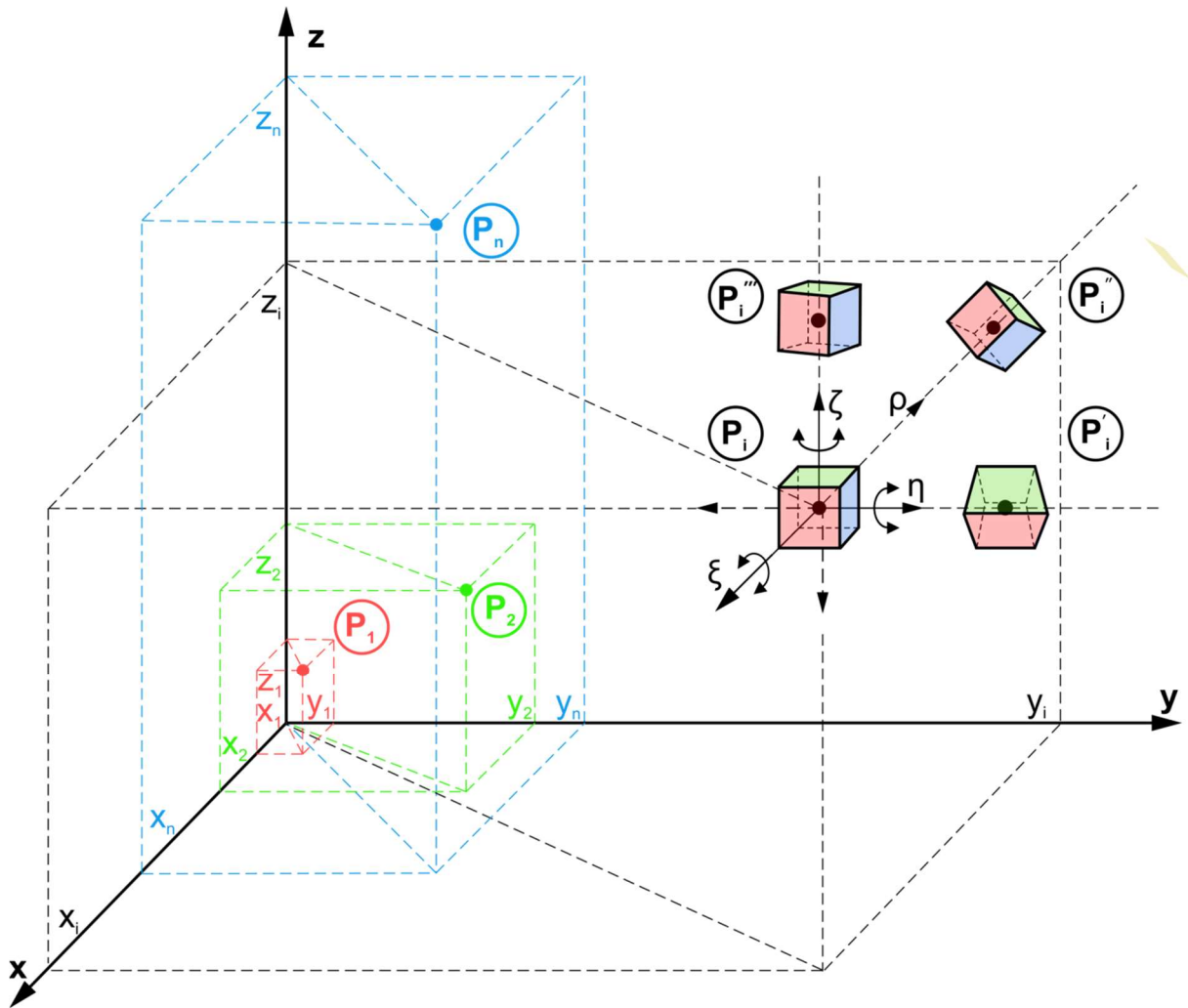
Сет модулларних учила који се предлага треба да омогући боље разумевање наставе из базичних теоријских предмета и стручних усмеравајућих предмета у широкој области машинског инжењерства. Базични теоријски предмети у области машинства, односно предмети који дају неопходну теоријску базу младим инжењерима за рад и усавршавање у области машинског инжењерства, су, поред математике као основне научне дисциплине, највећим делом предмети из области теоријске физике (статика, кинематика, динамика, теорија осцилација, механика флуида, термодинамика, оптика, електротехника, електроника) и хемије као базичне науке у области машинских материјала и електрохемијских обрада и процеса.

Сви наведени базични теоријски предмети, почев од математике као базичне техничке дисциплине, при теоријском разматрању наставне материје полазе од координатног система (Декартов, поларни или систем генерисаних координата). Поља расподеле механичких напона и деформација, поља промене притиска флуида, електромагнетног поља, температурног поља и осталих поља расподеле физичких величина су функције координата. Теоријски и експериментално је доказано да је вредност неке физичке величине (нпр. силе, температуре, напона) функција координата и везана је за положај „тачке“ (тј. области дејства силе, топлотног извора и сл.) у простору у односу на посматрану „тачку“. На пример, отпори ослонаца „А“ прости греде ($AB=L$) при дејству концентрисаног „линијски“ распоређеног оптерећења F биће функција координате x , т.ј. растојања од ослонаца „А“ до тачке дејства силе, и износиће: $F_A=F(L-x)/L$.

Уколико студент види модел греде са динамометрима који мере отпоре у ослонцима „А“ и „В“ и ако сам помера диск ширине греде и тежине $G=mg$ по греди, на којој се преко имплементираниог лењира може очитати растојање x , онда ће моћи сам да експериментално верификује познате теоријске законитости и увиди смисао теоријског знања. И кроз овај једноставан пример студент би могао да расветли многе појмове и упозна се са типовима ослонаца (непокретни и покретни), зглобном везом, расветли појмове круте и еластичне греде, сагледа утицај трења у ослонцима, утицај термичких дилатација и инжењерски смисао покретног ослонца, анализира грешке мерења и утврди ниво грешака мерења и разлоге (изворе) њиховог настанка.

У циљу приближавања теоријских законитости реалним техничким системима, концепт идејног решења модулларног сета, приказан на слици 7.1, базиран је на физичком моделу који омогућава посматрање различитих положаја P_i , које потребан број „тачака“ (n елемената или функционалних целина), намењених одређеној лабораторијској вежби, може заузети у простору.

То значи да n функционалних елемената или целина (подсклопова или склопова) може бити позиционирано у тачкама $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$. При томе, произвољни функционални елемент може бити непомичан или се релативно померати или обртати по једној или више оса (ξ, η, ζ) у потребним смеровима. Комбиновањем различитих положаја (позиција) више елемената и функционалних целина и њиховим релативним кретањем и обртањем једног у односу на други могу се симулирати и најсложенији процеси у широкој области машинског инжењерства. При томе, омогућава се експериментална верификација познатих теоријских законитости из базичних предмета у области машинства (математика, статика, кинематика, динамика, теорија осцилација, механика флуида, термодинамика, оптика, хемија, електротехника и електроника).



Слика 7.1 Приказ могућег положаја "тачака" (елемената као функционалних целина) у односу на непомицни координатни систем xyz и могућа релативна кретања и обртања произвољне тачке (положај P_i) по осама ξ , η и ζ у односу на остале тачке

Модуларни сет треба и да омогући боље разумевање наставе из великог броја усмеравајућих предмета из широке области машинског инжењерства. То значи да студент на модуларном сету може да стиче знања из машинских елемената, основа конструисања, трибологије, метрологије, машинских обрада, испитивања металних и неметалних материјала, термотехнике, хидраулике и пнеуматике и других инжењерских дисциплина.

На основу изложеног теоријског концепта модуларног сета, техничко решење склопа базирано је на стандардним алуминијумским профилима са великим бројем технолошких база, које преко елемената растављивих веза омогућавају имплементацију великог броја стандардних машинских елемената и формирање функционалних целина.

Приказано решење омогућава студенту да одреди (измери) корак завојнице завртња и да види (измери) да ручним завијањем завртња може остварити велике вредности сила. Такође решење омогућава студенту да мери параметре везане за рад зупчастог преносника, трансформацију обртног у линеарно кретање, преносник типа зупчаник-зупчаста летва, пренос момента преко зупчастог каиша, различите типове котрљајних и линеарних лежајева и вођица, спојница, навртки и различите типове других елемената.

На модуларном сету студенти ће применом дигиталног и аналогног помичног мерила, либеле, микрометарског мерила, компаратера са магнетним сталком и других стандардних мерних инструмената моћи да изврше мерења димензионе тачности, равности и паралелности површина и многа друга механичка мерења нивоа тачности до неколико стотих делова милиметра. Студенти ће на модуларном сету моћи да симулирају процес испитивања материјала на затезање, покидају полимерну струну и дефинишу Хуков дијаграм; да преко термо сонди и механичких мерила одреде утицај температура на димензиону тачност; да симулирају рад хидрауличне пресе, мере ниво притиска и сила које се остварују преко хидрауличних и пнеуматских цилиндара итд.

Са теоријског и техничког аспекта, може се рећи да су могућности модуларног сета неисцрпне, како у смислу експерименталне верификације познатих теоријских законитости, тако и у смислу учења, од нивоа упознавања са стандардним машинским елементима до нивоа креирања, анализе и испитивања реалних моделских машинских конструкција.

7.2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА МОДУЛАРНОГ СЕТА

Приступ пројектовању и оптимизацији модуларних сетова је заснован на методологији која комбинује пројектовање базирано на модуларном принципу и модуларизацију [249, 250], која се примењује како при редизајнирању постојећих производа тако и при креирању новог производа. Током пројектовања потребно је одговорити на пет питања:

1. Зашто је примењен принцип модуларности?
2. Које елементе треба да садржи уређај/учило?
3. Шта се очекује од уређаја/учила?
4. На који начин су модули генерисани?
5. На који начин ће дизајн бити оцењиван?

У контексту модуларизације, процес се реализује кроз пет корака:

1. Постављање стратешког циља
2. Примена хијерархијске структуре
3. Избор покретача модуларизације
4. Избор и примена принципа модуларизације
5. Дефинисање метрике и доношење одговарајућих одлука.

По избору лабораторијских вежби које одређени сет треба да покрије, пројектовање се задржава у оквирима усвојених захтева који се односе пре свега на цену (ограничења буџета), габарите и масу опреме (опрема треба да буде лако преносива, без посебних захтева који се односе на носивост подлоге и заштиту од вибрација), безбедност руковања и прихватљивост грешке мерења, стратешки циљ модуларизације постаје постизање вишеструке функције уређаја/учила.

Хијерархијска структура модула се формира у зависности од функције и намене опреме (додатни модули могу бити и мерна опрема, модул за аквизицију података, модул за софтверску подршку и сл.), док се разлози због којих је модуларизација оптимално решење у датим околностима (покретачи модуларизације) односе на:

- економичност (смањење укупних трошкова увођењем елемената који се добијају као производ 3D штампе и применом стандардних елемената, мерних, погонских и осталих стандардних компоненти),
- технологичност (што више стандардних, доступних елемената; једноставна израда специјалних елемената),

- једноставност процеса монтаже/демонтаже, поправке и одржавања,
- лакоћу руковања,
- вишеструку намену,
- вишеструку примену одређених конструкционих решења,
- транспарентност („црне кутије“ примењивати само у случајевима када је то у функцији безбедности руковања или када су у питању готове компоненте затвореног типа),
- могућност тестирања и верификације примене сваке функције појединачно (могућност остваривања засебних функција без измена конфигурације или замена модула уз задржавање основне конфигурације),
- могућност надоградње, адаптације, модификације,
- дизајн (у смислу визуелне атрактивности).

Принципи модуларизације одговарају на питање на који начин су модули генерисани, што је у овом случају процес заснован на функцији, монтажи и техничким захтевима, подржан израдом *CAD* решења и, евентуално, прототипова. Метрика се односи на задовољење унапред постављених циљева и захтева, а обухвата квантитативне показатеље, као што су укупна цена, број вежби које је могуће извести или прецизност мерења.

Оптимизација је изведена са аспеката:

- могућности остваривања већег броја решења за извођење вежби у широкој области техничких наука;
- избора стандардних профила за носећу структуру са великим бројем технолошких база који, са аспекта геометријских вероватноћа, елиминишу велики број ограничења и стварају конструктивне и технолошке основе за велику флексибилност и потенцијал сета;
- прорачуна носеће структуре конструкције, неопходних за постизање одговарајуће чврстоће, стабилности и безбедности конструкције;
- прорачуна и избора узорака за испитивање (модела греда, конзола, носача, опруга, тегова и сл.);
- максималне примене стандардних елемената, мерних, погонских и осталих стандардних компоненти, уз минимизацију удела специјалних елемената и машинског рада;
- технолошке оптимизације елемената за спајање профила, што је изведено у циљу елиминисања великог броја релативно скувих специјалних елемената и њихове замене елементима који се добијају као производ *3D* штампе, у које се имплементирају елементи типа вијчане робе.

Поређење и рангирање различитих прототипова, у циљу утврђивања оптималног решења са аспекта пројектаната, наставног особља и студената се може третирати као проблем вишекритеријумске оптимизације. Примена АНР методе (енгл. *Analytic Hierarchical Process*) [251] за одређивање вектора тежине критеријума и модификоване TOPSIS методе (енгл. *The Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) [252] за рангирање алтернатива описана је у докторској дисертацији [253] која се бави оптимизацијом лабораторијске кидалације развијене на Факултету инжењерских наука¹⁷. После утврђивања критеријума на основу којих ће се вршити оцењивање, на нивоу сваког доносиоца одлуке се поставља матрица поређења важности критеријума по паровима, проверава конзистентност процене и одређују тежине критеријума.

¹⁷ У истраживања у вези са лабораторијском кидалицом била је укључена и ауторка ове дисертације – референце [169, 188].

Агрегирање резултата се врши применом *OWA* оператора, након чега се поставља, а затим векторски нормализује матрица одлучивања, да би се формирала отежана матрица. По одређивању позитивног идеалног решења и негативног идеалног решења, одређују се вредности коефицијента приближења за сваку алтернативу, при чему се најбољом може сматрати она алтернатива која има највећу вредност коефицијента. Наведени кораци су, уз одговарајуће модификације скупа доносиоца одлука и критеријума, применљиви и на прототипове других уређаја и учила.

У будућој фази експлоатације, потребно је размотрити квалитативне критеријуме на основу којих би се вршило поређење модуларних сетова у зависности од процењене мере у којој су одговорили на захтеве студената, у смислу постизања суштинског разумевања наставних јединица са којима су повезане функције уређаја/учила и модуларна конфигурација сета. Критеријуми на основу којих би студенти поредили учила би били засновани на њиховим захтевима у вези са разумевањем одређених наставних јединица или са конкретним проблемима које имају при решавању задатака, креирању дијаграма и сл. Применом одговарајућих метода, то би дало смернице за потребна унапређења или модификације, што је могуће извести управо захваљујући модуларној структури лабораторијске опреме.

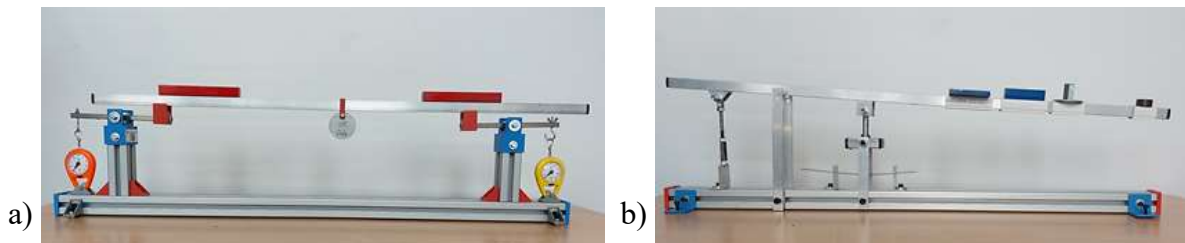
8. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА МОДУЛАРНОГ СЕТА У ПРОГРАМ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ ВЕЖБИ

На Факултету инжењерских наука је развијен читав низ сетова заснованих на принципу модуларности у погледу саме конструкције, али и реконфигурабилности радног простора. Када је реч о одговору на захтеве студената који су се односили на области механике и отпорности материјала, развијена лабораторијска опрема покрива широк дијапазон области у оквиру статике, динамике и отпорности материјала. Списак развијених модуларних сетова, са пратећим фотографијама и областима примене, дат је у Прилогу 2, а овде ће бити приказани поједини примери.



Слика 8.1 Упознавање студената са развијеном опремом

У области статике, покривен је низ области, од разјашњења мултипликације и редукције силе на полузи, преко одређивања статичког коефицијента трења, расподеле оптерећења просте греде, греде са препустима и конзоле, одређивања отпора ослонаца, полигона сила у равни, до решавања проблема у простору.



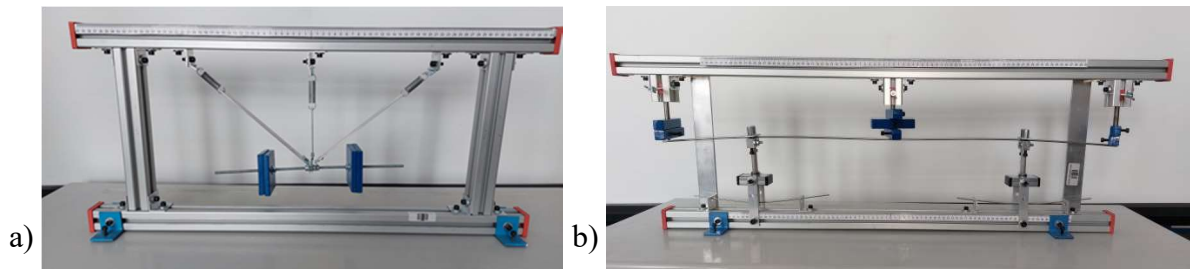
Слика 8.2 Примери учила за а) демонстрацију расподеле оптерећења просте греде и греде са препустима (омогућава одређивање отпора ослонаца; може се симулирати радијално концентрисано и континуално оптерећење у произвољно изабраним положајима) и б) одређивање момента и радијалне силе у укљештењу на моделу конзоле при симулацији концентрисаног и континуалног оптерећења

У области динамике, развијени су сетови учила за одређивање периода осциловања физичког клатна, одређивање крутости редно и паралелно везаних опруга, трансформацију потенцијалне у кинетичку енергију и одређивање „губитака“ енергије, демонстрацију обртања тела око произвољно изабране осе (слика 8.3).



Слика 8.3 Учило за демонстрацију обртања тела око произвољно изабране осе (омогућава сагледавање кинематике улежиштења произвољног избора оптерећења тела и демонстрацију инерцијалне силе и еластично везане масе током обртања)

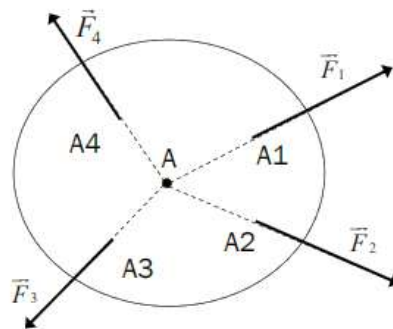
У области отпорности материјала, развијени су сетови учила за верификацију зависности силе и издужења при аксијалном оптерећењу, решавање статички неодређеног раванског проблема расподеле силе у три штапа, одређивање модула еластичности мерењем угиба греде, одређивање модула клизања при увијању витког вратила, мерење угиба и демонстрацију еластичних линија греде и греде са препустом, експерименталну верификацију еластичне линије конзоле, верификацију утицаја начина ослањања на крутост греде, визуелни приказ еластичних линија рама, одређивање критичне силе и облика еластичне линије штапова оптерећених на извијање.



Слика 8.4 Примери учила за а) демонстрацију статички неодређеног раванског проблема расподеле силе у три зглобно везана штапа и б) демонстрацију еластичних линија греде и греде са препустом (омогућава да се за различите вредности концентрисаног или континуалног оптерећења изврши мерење угиба на различитим деоницама греде)

У наставку је, као пример, разматрано експериментално решавање система сучељних сила у равни и у простору, спроведено на једном од развијених модуларних учила.¹⁸

За систем сила каже се да је сучељан уколико силе имају заједничку нападну тачку или им се нападне линије секу у једној тачки. Пример оваквих сила приказан је на слици 8.5.



Слика 8.5 Систем сучељних сила

Резултанта се одређује применом слагања сила, формирањем паралелограма или троугла сила. Систем сучељних сила је у равнотежи ако је резултанта једнака нули, односно векторски услов равнотеже произвољног система од n сучељних сила је:

$$\vec{F}_R = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad (12)$$

Систем сучељних сила је у равнотежи ако је полигон сила затворен. Аналитички услов равнотеже произвољног система сучељних сила је:

¹⁸ У наставку су коришћен материјал из семинарског рада Сузана Трифуновић на предмету Експериментална механика код проф. др Владимира П. Миловановића.

$$F_{Rx} = \sum_{i=1}^n F_{xi} = 0 \quad (13)$$

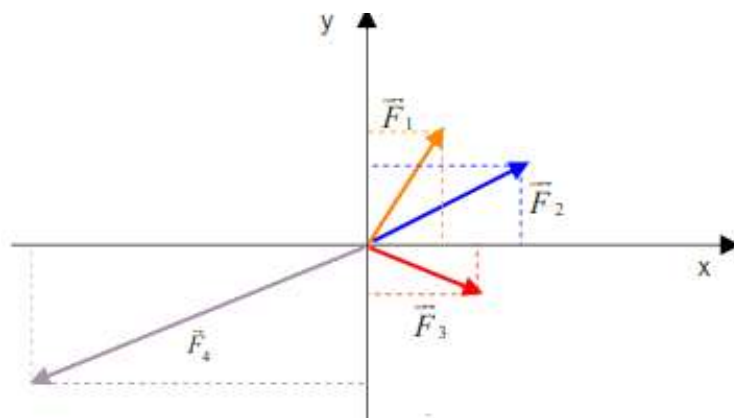
$$F_{Ry} = \sum_{i=1}^n F_{yi} = 0 \quad (14)$$

$$F_{Rz} = \sum_{i=1}^n F_{zi} = 0 \quad (15)$$

Алгебарски збир пројекција сила на сваку координатну осу (слика 8.6) мора бити једнак нули да би систем сила био у равнотежи:

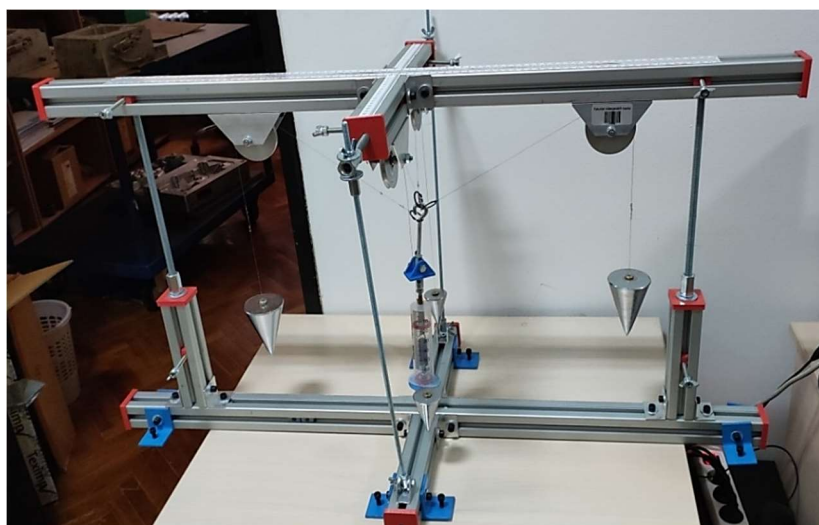
$$F_{Rx} = F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + F_{x4} = 0 \quad (16)$$

$$F_{Ry} = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} + F_{y4} = 0 \quad (17)$$



Слика 8.6 Пројекције сила на осе

Сваки сложени систем сила који се јавља у практичним проблемима могуће је представити у једноставнијем облику, слагањем сила. На слици 8.7 приказано је учило развијено за одређивање резултанте система сучељних сила у равни и простору.



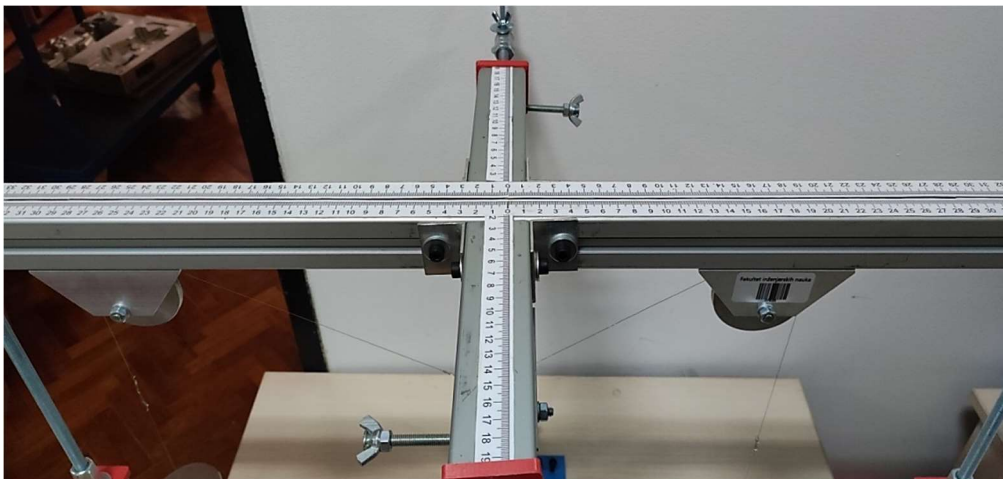
Слика 8.7 Учило за решавање система сучељних сила у равни и простору

Учило се састоји од:

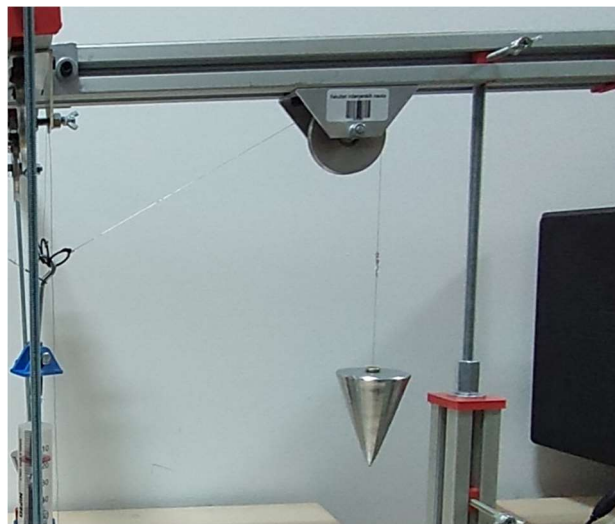
- постоља,
- тегова,
- опруге на којој се може прочитати вредност силе,
- котурача преко којих су пребачене жице са теговима.

На училу се налазе два велика и два мала тегоа (слика 8.7) који су пребачени преко котурова и жицом повезани са опругом која служи за читавање вредности силе. Већи тегови су масе по 650 g, а мањи – 180 g. Њихов положај се може лако променити у зависности од положаја који је потребан при вршењу експеримената.

На горњем делу учила се може прочитати растојање тегова (слика 8.8), које се може мењати померањем котура (слика 8.9).



Слика 8.8 Горњи део учила на којем се могу прочитати растојања тегова



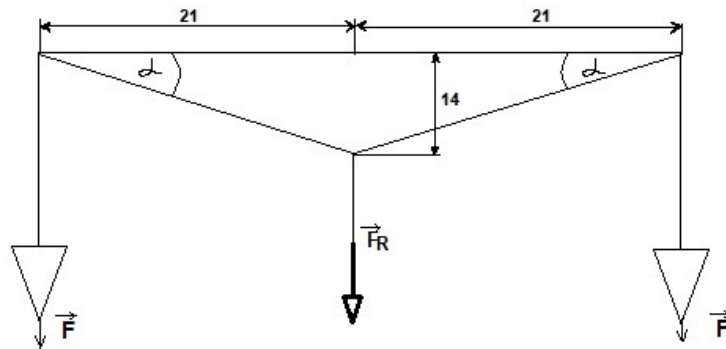
Слика 8.9 Променом положаја котура може се мењати растојање тегоа

Вредност резултанте се може прочитати (слика 8.10) у зависности од положаја опруге. Пре извођења експеримента, потребно је извршити калибрацију и прочитати вредност силе када је систем у равнотежи.



Слика 8.10 Очитавање вредности силе

На основу скице разматраног система, вредност подеока на скали се може израчунати применом образаца, са унетом масом тега од 0,65 kg, као што је приказано у наставку.



Слика 8.11 Скица разматраног система

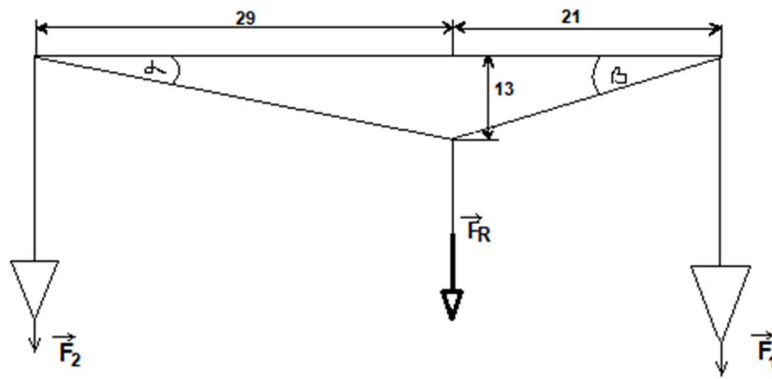
$$\alpha = \arctan\left(\frac{14}{21}\right) = 33,7^\circ \quad (16)$$

$$F = 0,65 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6,37 \text{ N} \quad (17)$$

$$F_R = 2 \cdot 6,37 \text{ N} \cdot \sin(33,7) = 7,007 \text{ N} \quad (18)$$

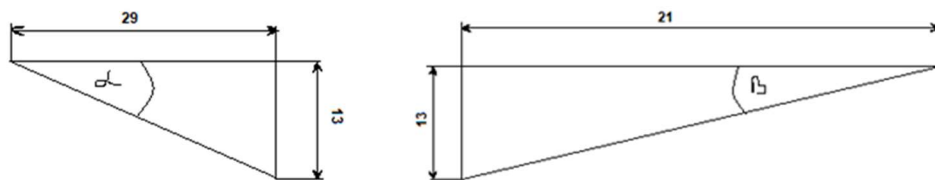
$$1 \text{ подеок} = 1,17 \text{ N} \quad (19)$$

У наставку је приказано аналитичко решавање примера када је систем изведен из равнотеже. Тегови су постављени на различитим положајима и очитана су и измерена растојања која су потребна за прорачун. На слици 8.12 је приказана скица система у равни xu када систем није у равнотежи. Потребно је израчунати резултанту.



Слика 8.12 Скица примера система у равни xu када систем није у равнотежи

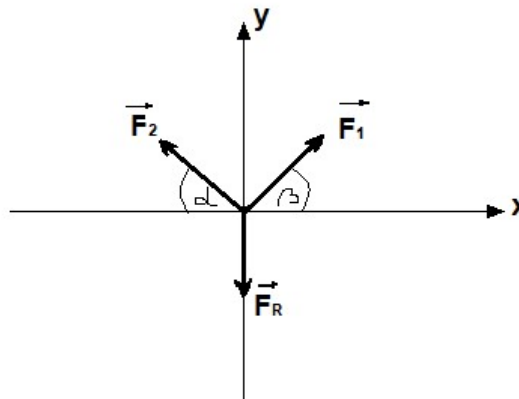
На основу измерених растојања могуће је израчунати углове α и β (слика 8.13).



Слика 8.13 Непознати углови α и β

Угао α је једнак $\alpha = \arctan\left(\frac{13}{29}\right) = 24,22^\circ$. Угао β је једнак $\beta = \arctan\left(\frac{13}{21}\right) = 31,79^\circ$.

Пројектовањем сила на осе могуће је одредити резултанту (слика 8.14).



Слика 8.14 Пројекција сила на осе

На исти начин се посматра и проблем у равни yz – израчунавају се вредности углова, а затим се добија и вредност резултанте $F_{R2}=10,345 \text{ N}$. Сабирањем вредности F_{R1} и F_{R2} добија се вредност резултанте $F_R=16,515 \text{ N}$. На училу је очитана вредност 16, што показује да су аналитичким и експерименталним путем добијене веома блиске вредности силе. Тиме је потврђен и ниво тачности учила, на чијем примеру је демонстрирана примена модуларних сетова у наставном процесу, од разматрања теоријске основе, преко самосталног извођења експеримента, до добијања резултата, који се даље могу анализирати кроз дискусију.

8.1. ПРИМЕНА ПРИНЦИПА МОДУЛАРНОСТИ У РАЗВОЈУ МОДУЛАРНОГ ТРИБОМЕТРА

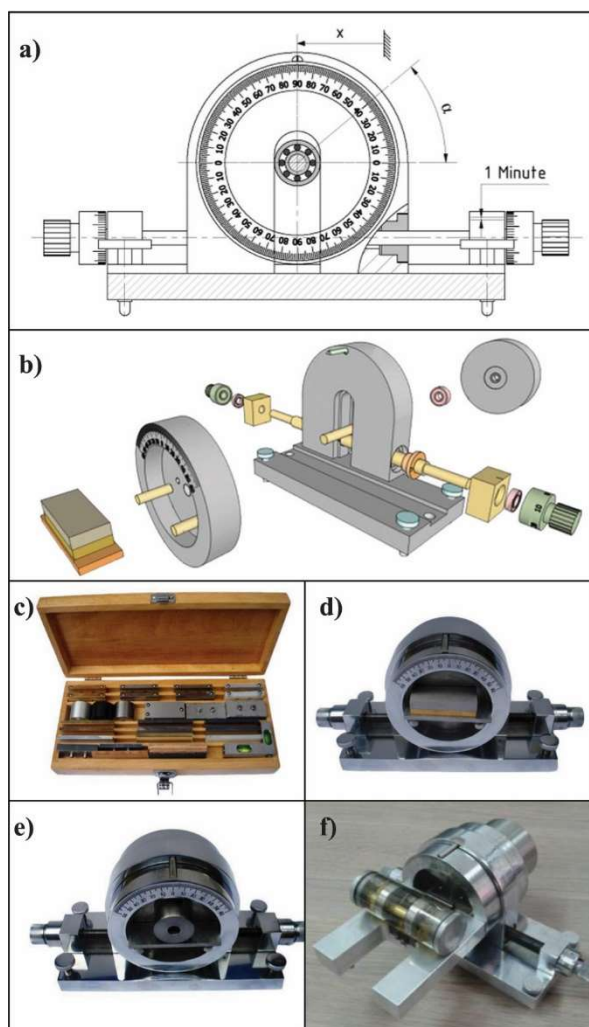
Искуства у настави показују да студенти често имају проблем да сагледају и заиста разумеју процесе који су повезани са феноменом трења [138, 254–256]. Радови објављени током последњих пар година указују на то да једноставни експерименти, инспирисани, примера ради, хулахоп обручима [139], тзв. „зидом смрти“ [257] или Максвеловим точком [147] и даље имају важну улогу у едукацији усмереној на проучавање феномена трења. Принцип стрме равни је такође дуго у употреби када је у питању демонстрација трења клизања и котрљања. Последњих година такви експерименти су често праћени и видео анализом [141, 256, 258], а примена рачунара омогућава обављање комплекснијих прорачуна [259].

Имајући у виду да трење спада у фундаменталне физичке проблема, као и да има примену у веома широком пољу инжењерства, на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу развијен је реконфигурабилни сет са низом модула за испитивање статичког трења клизања (Прилог 2 – ставка 3) и котрљања. Сет је заснован на принципу стрме равни, а примењује се у лабораторијским вежбама за демонстрирање везе између теоријског знања и експериментално добијених резултата. У сарадњи са истраживачима са других универзитета у земљи и иностранству, на основу истраживања заснованих на примени различитих модула, објављено је више научних радова, који се, примера ради, баве проучавањем трења клизања и котрљања при повишеним температурама у зони контакта [171, 173], трењем клизања на собној температури [190, 191] и при повишеним температурама [176] или утицајем подмазивања на трење клизања [187].

Основу конфигурације модуларног сета чине јединствен мерни систем и модули чијом надоградњом се проширују могућности изучавања феномена трења у широкој области трибологије и трибometriје. На слици 8.15 су дати шематски и 3D приказ основне конфигурације, као и конфигурације са различитим модулима. Мерни систем се састоји из прецизног завојног вретена повезаног са скалама нонијуса. Овај концепт преноса кретања омогућава поуздано мерење угла закретања стрме равни са грешком мерења мањом од шездесетог дела степена, тј. грешком мањом од једног минута. Мерни систем, уз стандардни сет узорака за испитивање омогућава реализацију програма вежби из области:

- одређивања коефицијента статичког трења клизања
 - различитих врста материјала (рад са различитим контактним паровима),
 - при нивоима нормалног оптерећења у износу 1 N, 2 N, 3 N,
 - у условима контакта по површини, "линијског" контакта и "контакта у тачки", - са или без присуства различитих врста мазива и уља;
- одређивање статичког коефицијента трења котрљања
 - стандардних котрљајних елемената (куглица, ваљака, дискова)
 - или специјално израђених котрљајних елемената,
 - од различитих материјала,
 - са или без присуства различитих врста мазива у уља.

При томе, испитивања се у оба случаја врше при тачно одређеној вредности храпавости контактне површине узорака.



Слика 8.15 а) Шематски приказ [187] и б) 3D приказ [192] основне конфигурације модуларног сета за испитивање статичког трења клизања и котрљања; с) стандардни сет узорака за испитивање [192] ; модули за испитивање d) трења клизања [192], е) трења котрљања [192] и f) трења у условима подмазивања [187]

Приказани модуларни сет омогућава реализацију великог броја експеримената у области статичког трење клизања и котрљања и квантификовање утицаја великог броја фактора на вредност коефицијента трења (утицај врсте материјала, нивоа нормалног оптерећења, врсте контакта, врсте мазива, храпавости површина контактних парова). Применом основних принципа комбинаторике, на основу задатих услова и параметара, могуће је утврдити број различитих вежби које је могуће извести. Тако се, применом принципа множења у комбинаторици, одређује број различитих комбинација, односно вежби (N) из области трења клизања (или трења котрљања) које је могуће извести:

$$N = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4, \quad (20)$$

где је

n_1 – број комбинација материјала (контактних парова),

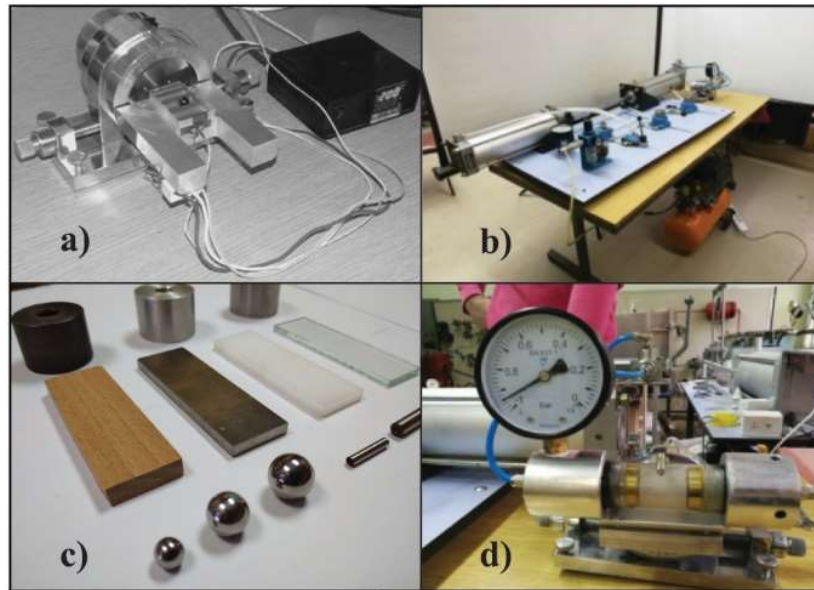
n_2 – број различитих нивоа оптерећења,

n_3 – број различитих врста контакта и

n_4 – две могуће комбинације које се односе на присуство или одсуство мазива или уља.

8.1.1. Могућности надоградње у области испитивања статичког трења

Слика 8.16 илуструје могућности додатног унапређења основне конфигурације сета, додавањем модула за испитивање трења при повишеним температурама (8.16 а) или вакуум пумпе (слика 8.16 б), коју чине стандардне пнеуматске компоненте. Уз велики избор узорака за испитивање (слика 8.16 с), надоградња отвара могућност експерименталног истраживања широке области феномена статичког трења у условима контролисане температуре контакта (слика 8.16 а) и контролисаног нивоа дубине вакуума (слика 8.16 д).

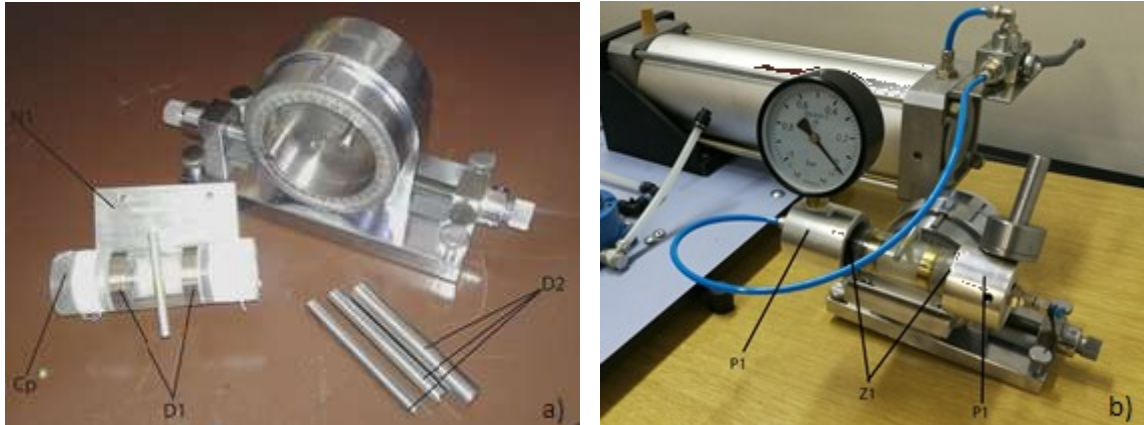


Слика 8.16 а) Испитивање трења при повишеним температурама [171],
б) вакуум пумпа, с) примери узорака за испитивање,
д) модул за испитивање трења при контролисаној дубини вакуума

Верификација модула за испитивање трења при повишеним температурама и резултати експерименталних истраживања публиковани су у часопису *Journal of friction and wear* [171].

За испитивање трења у атмосфери сниженог притиска основна конфигурација трибометра је унапређена¹⁹, односно пројектован је и реализован модул за испитивање трења при контролисаној дубини вакуума (слика 8.16 д). Додатни модул чини подсклоп носача контактних парова (позиција *N1*, слика 8.17 а). За постизање сниженог притиска коришћена је вакуум пумпа (слика 8.17 б). Носач узорака је пластична провидна цев (позиција *Ср*, слика 8.17 а) у којој су на одређеном одстојању причвршћена два шупља ваљка (лежаја) облика чауре који чине први контактни елемент (позиција *D1*, слика 8.17 а). Из пластичне провидне цеви се извлачи ваздух после убацивања другог контактнег елемента, облика пуног ваљка (позиција *D2*, слика 8.17 а), преко заптивки (позиција *Z1*, слика 8.17 б) и поклопаца (позиција *P1*, слика 8.17 б) херметички затвара.

¹⁹ У наставку је коришћен материјал из семинарског рада Ивана Бјелића, под менторством проф. др Бранка Тадића.



Слика 8.17 Модул за испитивање трења при контролисаној дубини вакуума
 а) основна конфигурација и модул са носачем узорака,
 б) комплетна конфигурација са системом за постизање различитих нивоа вакуума

Контактни пар, шупљи ваљци и пуни ваљак су израђени од нерђајућег челика. На основу датих геометријских вредности пречника и ширине и дужине контактних елемената, вредности теоријског Херцовог притиска могу се одредити на основу израза (21). На основу познатих вредности нормалног оптерећења, као и познатог типа контакта, вредност контактнoг притиска може се израчунати применом израза познатих из теорије еластичности.

$$p = 0,798 \sqrt{\frac{q}{\nu(k_1 + k_2)}}; \quad (21)$$

$$\text{где је } \nu = \frac{D_1 D_2}{D_1 - D_2}, \quad k_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1}, \quad k_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{E_2},$$

p – контактни притисак,
 q – оптерећење по јединици дужине цилиндра,
 D_1 – пречник цилиндра лежаја,
 D_2 – пречник шипке (пина),
 μ_1 – Поасонов коефицијент материјала пина,
 μ_2 – Поасонов коефицијент материјала лежаја,
 E_1 – модул еластичности материјала пина и
 E_2 – модул еластичности материјала лежаја.

Како су пин и лежај израђени од истог материјала следи: $\mu_1 = \mu_2$ и $E_1 = E_2$. Измерене вредности угла закретања стрме равни и вредности коефицијента трења рачунају се по обрасцу $\mu = \tan \alpha$.

Извођење експеримента применом трибометра заснованог на принципу стрме равни, чија је конфигурација унапређена додавањем модула и пратеће мерне инструментације за испитивање трења у атмосфери сниженог притиска, омогућава испитивање утицаја нивоа нормалног оптерећења и контактнoг притиска у условима вакуума на вредност коефицијента трења.

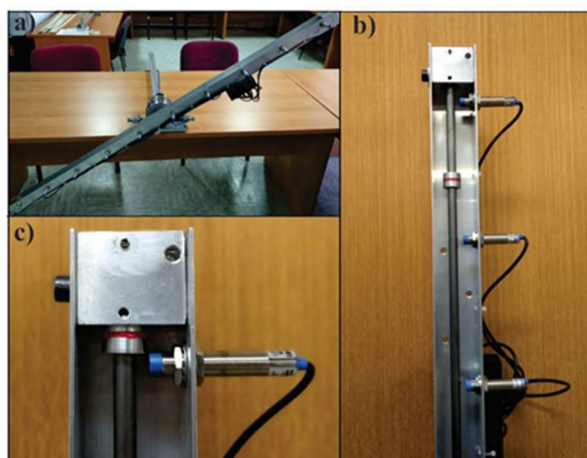
8.1.2. Могућности надоградње у области испитивања кинематског трења и верификација резултата примене новог модула

Област примене модуларног сета је додатно проширена додавањем модула намењеног за истраживања у области кинематског трења (слика 8.18), који може заузимати различите положаје, односно може бити постављен под различитим угловима у односу на хоризонталну раван [259]. Експериментално одређивање кинематског коефицијента трења базирано је на диференцијалној једначини кретања тела низ стрму раван у присуству сила отпора трења и отпора ваздуха. Теоријске основе ове методе поставио је Леонард Ојлер 1748. године [260, 261].

Метода се заснива на експерименталном одређивању закона пута, односно дискретном мерењу времена на одређеним деоницама пута који тело прелази приликом слободног пада са висине од 1408 mm. Анализиране су грешке мерења за најкритичнији, односно вертикални положај модула, када је угао нагиба стрме равни $\alpha = 90^\circ$. Теоријски посматрано, сила трења је у том случају једнака нули, а сила отпора ваздуха има максималну вредност. Имајући у виду да се утицај отпора ваздуха најчешће занемарује приликом мерења убрзања Земљине теже у настави у области физике и током уводних часова у области механике [259], циљ развоја и примене описаног модула и одговарајуће методологије је да се омогући испитивање утицаја отпора ваздуха. Претходно спроведена истраживања [178] кретања тела низ стрму раван резултовала су утврђивањем односа силе отпора ваздуха и силе трења за случај кретања тела од нерђајућег челика:

$$\xi \approx 1,3 \cdot 10^{-4} \frac{v^2}{\mu \cos \alpha} \quad (22)$$

На основу једначине (22) може се закључити да се утицај силе отпора ваздуха може занемарити при мањим вредностима брзина клизања и релативно већим вредностима коефицијента трења клизања. Међутим, при већим вредностима брзина, посебно у области испитивања кинематског трења котрљања, отпор ваздуха се мора узети у обзир, јер занемаривање силе отпора ваздуха доводи до значајније грешке мерења. На пример, при брзини од 3 m/s, са коефицијентом трења котрљања реда величине 10^{-2} и углом стрме равни $\alpha = 30^\circ$, произилази да величина ξ износи 0,136.

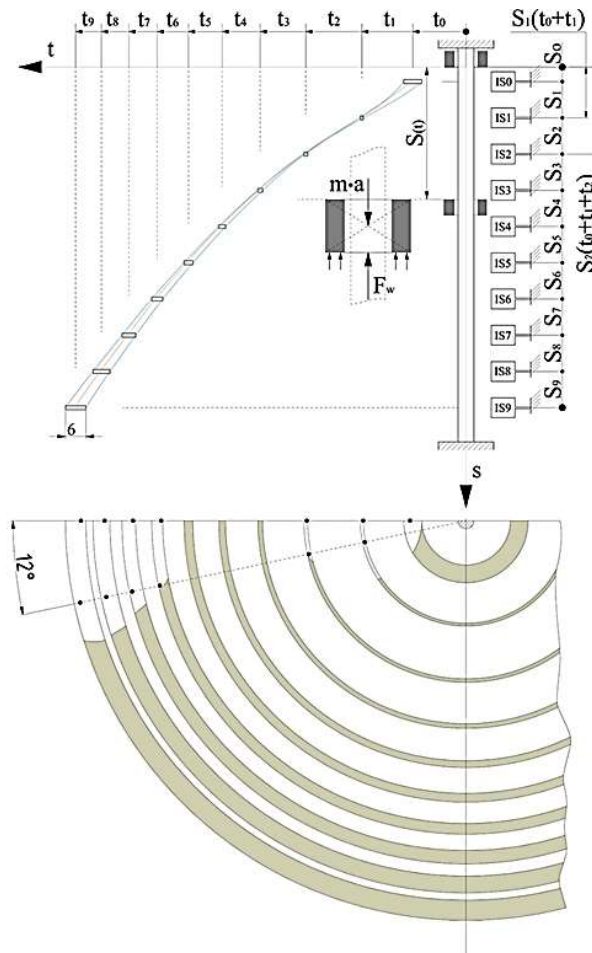


Слика 8.18 Испитивање кинематског коефицијента трења: а) модул за истраживања у области кинематског трења, б) кретање пина низ цилиндричну вођицу у вертикалној позицији, с) пин у почетној позицији и први индуктивни сензор [182]

Додатно, примена развијеног модула омогућава и испитивање односа силе отпора ваздуха и отпорне силе, настале првенствено услед несавршености експеримента (геометријских грешака вођице и пина, могућих микро удара, одступања осе вођице пина у односу на идеалну вертикалну позицију...).

Тело облика чауре (пин) почиње пад (слика 8.18 b, c) са нултом почетном брзином, $v_0 = 0$. Први индуктивни сензор (IS0), након пређеног пута $s_0 = 0,018$ m, бележи време пролаза као нулто време, тј. додељује му вредност 0 s. Други индуктивни сензор (IS1), који је удаљен од првог сензора 0,154 m, бележи време t_1 , са прецизношћу 0,001 s. Сви наредни сензори (IS2÷IS9) квантификују времена на преосталим једнаким деоницама пута $s_1 = s_2 = \dots = s_9 = 0,154$ m.

На слици 8.19 су приказани шема мерења, положаји сензора и графичка илустрација добијених вредности времена пролаза пина кроз зону реакције сензора, као и границе расипања резултата мерења времена у области $\pm 3\sigma$, где је σ стандардна девијација. Ширина кружних прстенова приказаних на слици кореспондира резултатима времена $t_0 \div t_9$ који се расипају у границама $\pm 3\sigma$.



Слика 8.19 Шема мерења и графичка илустрација резултата мерења [182]

Након спровођења 30 независних експеримената, за сваки експеримент је извршена статистичка обрада резултата мерења, применом методологије детаљно описане у [182].

Обрада резултата мерења изведена је нелинеарном регресионом анализом, где је као базна регресиона функција усвојена теоријска функција закона пута, облика

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t + t_0)^2 \quad (23)$$

Иако је мерење времена започето од тренутка проласка пина кроз зону реакције првог сензора ($IS0$), који је времену проласка пина доделио вредност нула, пин је пре тога морао да пређе растојање од 0,018 m. Време t_0 које је утрошено за прелазак тог кратког пута је непознато и мора се проценити, како би се његова вредност додала свим забележеним вредностима времена проласка поред сензора $IS0$ - $IS9$. Стога, вредности убрзања a и времена t_0 у изразу (13) представљају константе, које се одређују применом регресионе анализе, односно чије се вредности процењују. Свих 30 регресионих једначина, добијених обрадом података добијених на основу 30 изведених експеримената, карактеришу веома високе вредности коефицијената корелације ($R > 0,996$) и веома мале вредности резидуала.

На основу резултата 30 изведених експеримената, за сваки сензор израчунате су средње вредности времена t_{sr} , којима су додате средње вредности процењеног времена t_{0sr} , а затим су израчунате и одговарајуће вредности стандардних девијација σ_t . Коначна обрада резултата мерења изведена је са вредностима t_{sr} и σ_t , при чему су базне регресионе функције за одређивање пута (једначина 24), брзине (једначина 25) и убрзања (једначина 26) облика:

$$s_{exp}(t) = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot C \cdot t^2 \quad (24)$$

$$v_{exp}(t) = \frac{ds_{exp}(t)}{dt} = 9,81 \cdot C \cdot t \quad (25)$$

$$a_{exp}(t) = g - k \cdot v_{exp}^2(t) \quad (26)$$

$$\text{При томе је } k = \frac{1}{2m} C \rho A, \quad (27)$$

где је:

m – маса пина ($m=0.010179$),

ρ – густина ваздуха ($\rho=1 \text{ kg/m}^3$),

C – аеродинамички коефицијент који зависи од облика тела ($C=0,5$),

A – површина пројекције тела у равни нормалној на правац кретања тела ($A=0,0002353$).

Применом познатих теоријских закона слободног пада тела при дејству отпора ваздуха [262] и израза (28), (29) и (30), могу се одредити теоријске вредности пута, брзине и убрзања и анализирати грешке између теоријских и експериментално добијених величина.

$$S_{t(t_{sr})} = \frac{k_1^2}{g} \ln \left[\cosh \left(\frac{g t_{sr}}{k_1} \right) \right] \quad (28)$$

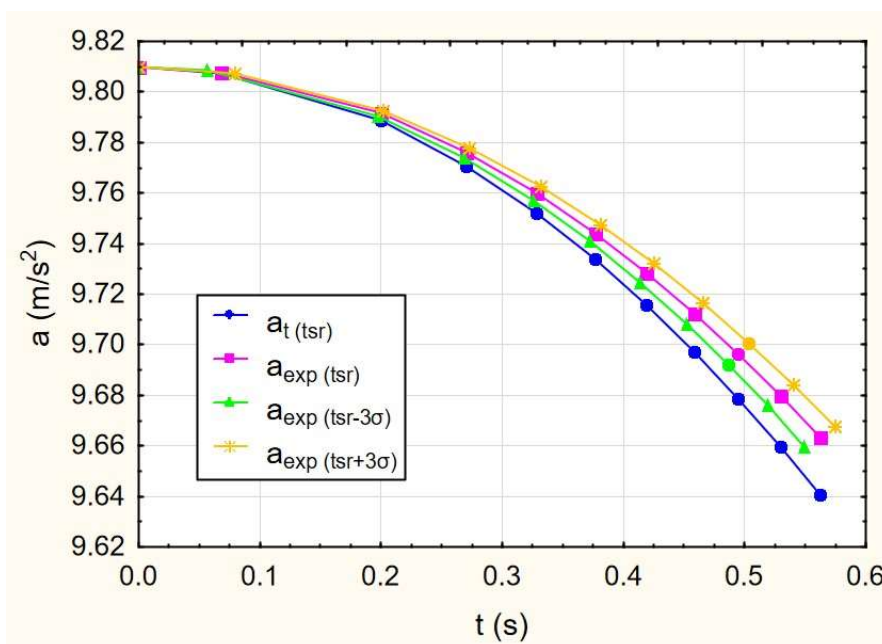
$$V_{t(t_{sr})} = k_1 \tanh\left(\frac{g}{k_1}\right)t_{sr} \quad (29)$$

$$a_t(t_{sr}) = g - kV_{t(t_{sr}+3\sigma)}^2 \quad (30)$$

При томе је $k_1 = \sqrt{\frac{2mg}{c\rho A}}$ (31)

Коефицијент k у изразу (30) је претходно већ дефинисан изразом (27).

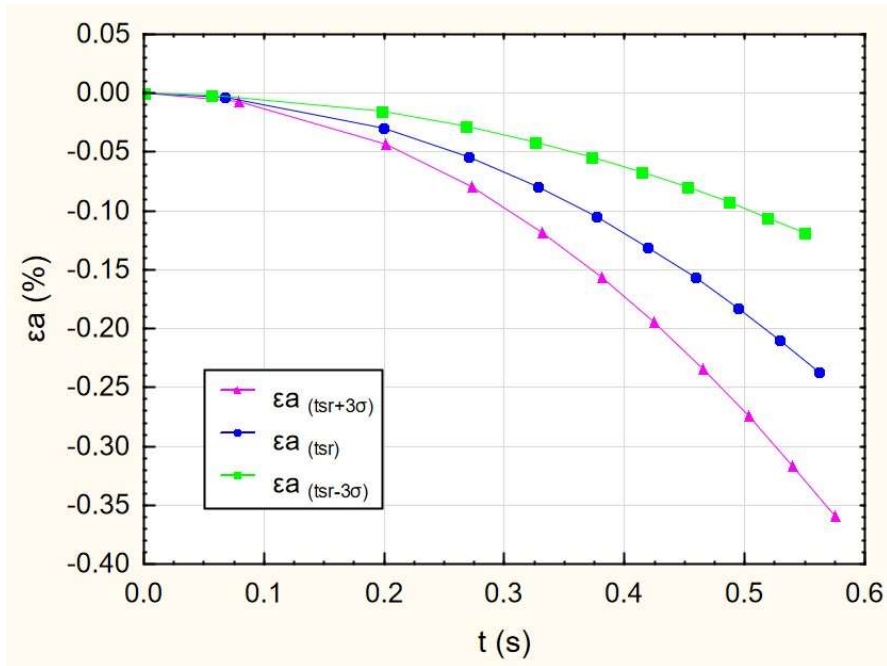
На слици 8.20 је дат графички приказ вредности теоријског убрзања $a_t(t_{sr})$ и експериментално добијених вредности убрзања након регресионе анализе $a_{exp}(t_{sr})$, $a_{exp}(t_{sr}+3\sigma)$ и $a_{exp}(t_{sr}-3\sigma)$, за сваки сензор.



Слика 8.20 Теоријске вредности и експериментално добијене вредности убрзања

На слици 8.21 су приказане релативне грешке мерења убрзања $\varepsilon a_{(tsr)}$, $\varepsilon a_{(tsr+3\sigma)}$ и $\varepsilon a_{(tsr-3\sigma)}$ у односу на теоријско убрзање, добијене применом израза (32):

$$\varepsilon a_{(t)} = \frac{[a_{t(t)} - a_{exp(t)}]}{a_{t(t)}} \quad (32)$$



Слика 8.21 Релативне грешке мерења убрзања у односу на теоријско убрзање

Енергетски "губици" представљају разлику између укупне механичке енергије на почетку кретања пина дуж вођице (потенцијалне енергије) и у крајњем положају (кинетичке енергије):

$$E_g = mgs - \frac{1}{2}mv^2 = 0,01177 J \quad (33)$$

Истовремено, енергетски "губици" из израза (33) су једнаки збиру радова силе отпора ваздуха и поремећајних сила везаних за одступања стварне путање пина дуж реалне цилиндричне вођице у односу на идеалну вертикалну путању, могуће закретање пина при иницирању кретања, могуће микро ударе, мало трење, несавршеност геометрије и остале могуће утицаје. Имајући у виду наведене утицаје, укупни енергетски "губитак" се може изразити на следећи начин:

$$E_g = \int_0^s (F_T^* + F_w) ds = 0,01177 J, \quad (34)$$

где су F_w и F_T^* сила отпора ваздуха и непозната сила која настаје услед несавршености експеримента и наведених поремећаја.

Енергетски "губитак" услед дејства отпора ваздуха износи:

$$E_w = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot \int_0^s v^2 \cdot ds = \int_0^s F_w \cdot ds = 0,00098 J \quad (35)$$

Вредност енергетских губитака насталих услед несавршености експеримента и наведених поремећаја износи:

$$E_e^* = \int_0^s F_T^* \cdot ds = E_g - E_w = 0,01079 J \quad (36)$$

Удео отпора ваздуха у укупним енергетским губицима износи 8,33%, док преостали део губитака од 91,67% припада непознатој сили стохастичког карактера (F_T^*), која настаје услед несавршености експеримента и поменутих поремећаја. Вредност поремећајне силе је веома мала, што илуструје чињеница да исти енергетски „губитак“ (0,01079 J) одговара енергији коју би при слободном паду на истом путу ($s=1,408$ m), при земљином убрзању $g=9,81$ m/s², остварило тело масе свега 0,78 g.

Развој, верификација и примена у настави модуларног сета за испитивање статичког и кинематског трења клизања и котрљања у оквиру лабораторијских вежби, као и резултати научних истраживања, довели су до закључка да је компоновањем стандардних елемената и развојем релативно малог броја специјалних елемената могуће формирати велики број учила и уређаја едукацијског и истраживачког карактера. Посебна предност концепта модуларности је могућност коришћења истих елемената при формирању различитих конструкција уређаја, чиме се постижу веома значајни технички, технолошки и економски ефекти.

8.2. ЗАХТЕВИ, АРХИТЕКТУРА И СТРУКТУРА ПЛАТФОРМЕ ЗА ПОДРШКУ ЛАБОРАТОРИЈСКИМ ВЕЖБАМА

Битан аспект у креирању потпуне подршке лабораторијским вежбама представља систем за аквизицију и чување резултата лабораторијских мерења. У оквиру овог рада су приказани различити механички и сложени мехатронички системи који се могу применити у остваривању теоријских и практичних циљева наставе. Логична компонента која следи је развој софтверског система, који ће имати више различитих функционалних захтева, дефинисаних са аспекта различитих циљних група (студенти, професори, ИКТ инжењери, менаџмент факултета).

Захтеви се могу формулисати према следећем:

- Студенти имају исказану потребу да систем буде интуитиван и лак за коришћење, да буде скалабилан и флексибилан и да није потребна додатна обука за његово коришћење. Систем мора да буде стабилан и увек доступан (24/7). Поред тога, потребно је омогућити да сваки студент има свој профил преко кога би могао да оствари приступ свим појединачним измереним подацима, како би му се омогућило да пореди различите сетове мерења и да учи на бази покушаја.
- Наставник мора имати флексибилан систем који му омогућава лако постављање нових задатака и интеграцију различитих лабораторијских мерних система. Поред сличног сета функционалности који су на располагању студенту, наставнику је потребно омогућити и креирање сложенијих извештаја по студентима, лабораторијским вежбама, групама и годинама студија и сл., као и могућност експортовања и оцењивања радова.
- Са аспекта ИКТ службе, систем мора бити стабилан, лак за одржавање, са минималним опцијама за инсталирање и унапређење тренутних верзија софтвера. Поред тога, један од значајнијих захтева је и коришћење система са отвореним приступом (енгл. *open access*), односно оних система који се већ користе у институцији. Такође, потребно је омогућити што једноставнију аутоматску аквизицију података са реалног техничког система.
- Руководство факултета има захтев да предложено решење буде што јефтиније, како за креирање тако и за одржавање, али и да га је могуће интегрисати са постојећим системима који служе за подршку онлајн учењу, као што је *LMS Moodle*.

На основу наведених захтева изабрано је да се софтвер за подршку реализује као вишеслојна веб апликација, имајући у виду предности и карактеристике ових решења:

- **Могућност приступа коришћењем различитог хардвера**

Веб апликације су доступне преко веб прегледача, што значи да корисници могу да им приступе са било ког уређаја који има приступ интернету, као што су рачунари, паметни телефони или таблети. Не мора се инсталирати посебан софтвер или вршити ажурирања апликације, јер се све извршава на серверу.

- **Платформска независност**

Веб апликације су независне од платформе, што значи да могу радити на различитим оперативним системима као што су *Windows*, *macOS*, *Linux* или мобилним платформама као што су *Android* или *iOS*. Корисници могу приступити веб апликацијама са било ког уређаја и оперативног система који подржава веб прегледач.

- **Једноставно ажурирање и одржавање**

Будући да се веб апликације извршавају на серверу, а не на клијентском уређају, ажурирања и одржавање се врше на серверу. То значи да корисници увек имају приступ најновијим верзијама апликације, без потребе за преузимањем или инсталирањем надоградњи.

- **Лака дистрибуција**

Дистрибуција веб апликација је једноставна, јер корисницима је само потребно дати *URL* адресу преко које могу приступити апликацији. Нема потребе за паковањем или инсталирањем софтвера на корисничке уређаје.

- **Скалабилност**

Веб апликације су скалабилне и могу се прилагодити повећању броја корисника или промета. Додавање додатних ресурса на серверу омогућава већу пропусност и боље перформансе.

- **Једноставан приступ подацима**

Веб апликације могу приступити подацима са различитих извора преко веб сервиса (енгл. *Application Programming Interface – API*). Ово омогућава размену података између различитих апликација и интеграцију са другим системима.

- **Богатство корисничког интерфејса**

Напредак у технологији веба омогућава развој богатијих корисничких интерфејса и интерактивних елемената, што резултује бољим корисничким искуством.

- **Безбедност**

Безбедност веб апликација постаје све важнија, па је потребно применити неке од постојећих механизма и пракси заштите података на вебу. Веб апликације могу користити енкрипцију, аутентикацију, ауторизацију и друге безбедносне механизме, како би осигурале приватност и интегритет података.

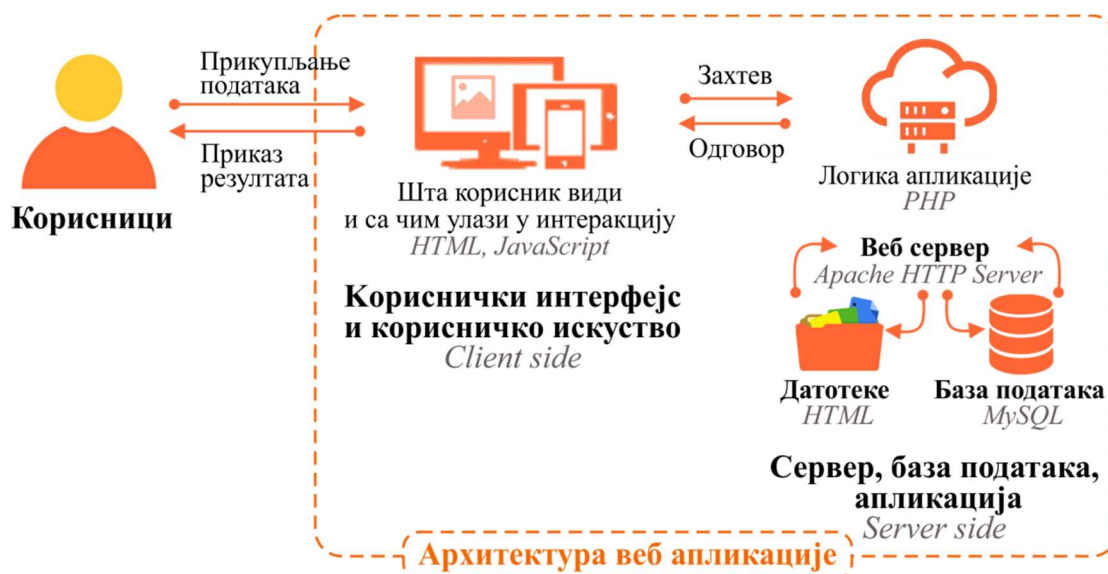
Наведене предности и карактеристике чине веб апликације популарним избором за развој софтвера, јер пружају практичност, универзални приступ и могућност једноставног скалирања и одржавања.

Пошто је дефинисано да се потребни систем реализује као веб апликација, потребно је дефинисати његову архитектуру и изабрати погодну технологију за развој.

Апликација ће бити развијена као вишеслојна, да би се максимизирале предности које пружа веб окружење [263]. Архитектура апликације је приказана на слици 8.22. Кориснички интерфејс, односно корисникова страна (енгл. *client side*) апликације, креиран је применом *HTML*, *JavaScript* и *PHP* (енгл. *Hypertext Preprocessor*). На страни сервера (енгл. *server side*), логика апликације је дефинисана развојем потребног решења коришћењем *PHP* скрипт језика који приступа слоју података, у овом случају *MySQL* бази података. Комплетан систем се налази на *Apache HTTP* серверу.

Постоји више разлога за примену наведене архитектуре:

- *HTML* (енгл. *HyperText Markup Language*) је стандардни језик за обележавање садржаја и структуре веб страница. Коришћењем *HTML* и одговарајућих стилова креиран је визуелни идентитет корисничког интерфејса апликације. *HTML* се користи за креирање различитих извештаја, јер се на клијент страни у оквиру прегледача може приказати само *HTML* и *Java Script*.
- *Java Script* је програмски језик који се користи за развој динамичних и интерактивних веб апликација. *Java Script* је коришћен за решавање одређених динамичких задатака који се одвијају на клијент страни, као што је провера да ли је унет валидан податак и сл.
- *PHP* је сервер скрипт језик који се користи за развој динамичних веб апликација. *PHP* нам омогућава да развијемо логику апликације (да се обезбеди обрада података и да се са друге стране оствари веза ка бази података).
- *MySQL* је систем за управљање базама података, који се често користи у комбинацији са веб апликацијама. Подаци прикупљени са обављених мерења се чувају у овој бази података.
- *Apache HTTP Server* је бесплатан веб сервер софтвер отвореног кода, који је један од најпопуларнијих сервера на свету.



Слика 8.22 Архитектура веб апликације

Предложени сет технологија је робустан, отвореног је кода и најшире је применљив код развоја свих типова веб апликација. Са друге стране, он представља добру основу у случају да се одлучимо за транзицију у правцу *Angular*, *React*, *Node.js*, *MongoDB*.

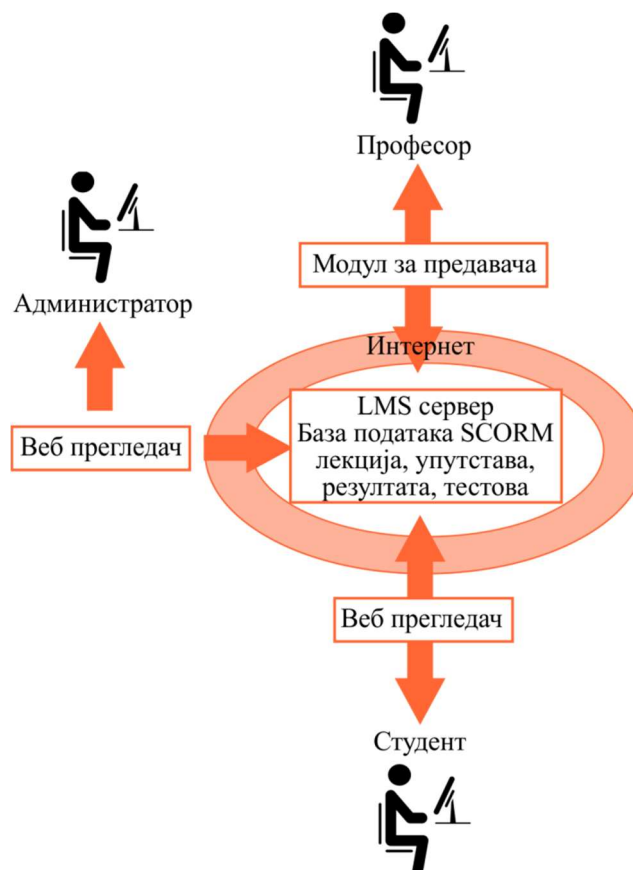
После дефинисања захтева, избора архитектуре и развојног окружења, дефинисана су три профила са припадајућим функционалностима: студент, професор, администратор

(слика 8.23). На основу дефинисаних овлашћења, сваки од одређених типова корисника се логује на систем.

Профил „студент“ може да уноси податке за конкретну лабораторијску вежбу и да добија сва потребна израчунавања, као и статистике везане за његов профил. Свака инстанца профила „студент“ може бити додељена инстанци „професор“, тако да студенти могу да раде вежбе на више предмета и код више професора.

Профилу „професор“ су придружене могућности да уноси нове задатке, односно да има све напредне статистике по профилима студената. Сваком професору може бити додељено више студената у оквиру креираних група. Поред тога, налог „професор“ има могућност да приступа напредној аналитици и анализи података.

Профил „администратор“ управља налозима студената и професора, односно дозвољава регистрацију на систем, формира групе, придружује професоре и може додати нове хардверске системе за анализу или системе за аквизицију података. Свакако, овај профил има и задатак да одржава и унапређује апликацију.



Слика 8.23 Постојање више различитих профила корисника

Поред наведених налога, постоје и активни модули који су придружени лабораторијским вежбама, као и делови за теоријску подршку која даје упутства у виду најчешће постављаних питања (енгл. *Frequently Asked Questions – FAQ*), pdf упутстава, туторијала или видео материјала.

Предложени модел за унапређење наставног процеса заснован је на раду у малим групама (не већим од пет студената) и омогућавању самосталног извођења лабораторијских вежби од стране сваког студента у групи.

8.3. ПРИМЕНА ОНЛАЈН ПЛАТФОРМЕ ЗА УНОС, ПОХРАЊИВАЊЕ, ОБРАДУ И ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

На бази претходно описаних технологија израђена је веб платформа или алат који омогућава корисницима да врше експерименте, тестирања и анализе путем веб прегледача, без потребе за инсталацијом додатног софтвера на својим рачунарима.

Предложена платформа има више едукацијских и предагошких циљева и сходно томе у оквиру ње је организован материјал, како би на најбољи начин одговорила постављеним захтевима. Свака лабораторијска вежба има уводни материјал у наставну лекцију и јединицу, која даје наставни циљ и објашњава које ће компетенције и вештине студенти стећи. Након тога, на располагању су подмодули који садрже објашњења, теорију, моделе, принципе и чињенице.

Пре извођења експеримента, студентима се сажето презентује садржај вежбе, даје упутство за припрему и извођење експеримента, као и за приступ онлајн платформи и унос података. Затим студенти врше одговарајуће припреме лабораторијске опреме и узорака и обављају мерења, а читав процес се одвија под надзором професора. При томе, студентима је на располагању материјал у различитим формама, почев од статичних текстова до интерактивних и видео материјала.

У овој фази студенти могу да остваре интеракцију са наставником и међусобно, да би разменили информације или пак испоставили нове захтеве. У следећој фази студенти имају прилику да направе покушај и да реализују предвиђену вежбу, након чега следи провера да ли је циљ лекције или вежбе остварен, односно обезбеђује се кратак преглед или целе лекције или јединице или вежбе.

Цео систем је веома флексибилан и омогућава реализацију наставног процеса и процеса лабораторијског вежбања у различитим облицима, почев од индивидуализованих путања учења намењених појединачном раду, преко рада у малим групама (не већим од пет студената) и омогућавања самосталног извођења лабораторијских вежби од стране сваког студента у групи, па до рада у заиста великим групама (на пример на нижим годинама студија).

Припрема за лабораторијске вежбе се заснива на моделу „обрнуте учионице“ (детаљније описаном у потпоглављу 4.4.1.1). Модел обрнуте учионице подразумева да студенти имају приступ текстуалним материјалима, слајдовима и видео презентацијама пре самих вежби, како би се упознали са теоријским основама вежбе, упутством за руковање опремом, током планираног експеримента и циљевима вежби. У образовању инжењера, обрнута учионица представља начин да се, измештањем презентовања теоријске основе вежби и упознавања са опремом и дизајном експеримента из лабораторија у онлајн простор, ослободе додатни термини у лабораторијама за примену метода активног учења и самостално руковање опремом. Складиштење и приступ наведеним датотекама, као и унос, складиштење, статистичка обрада и приказ добијених резултата, омогућени су развојем онлајн платформе.

Концепт и примена онлајн платформе, као и приказ корисничког интерфејса и резултата мерења, демонстрирани су у наставку на примеру лабораторијске вежбе Одређивање статичког коефицијента трења клизања, као једне од вежби које се могу извести на модуларном трибометру. Задатак и упутство за вежбу су дати у Прилогу 3.

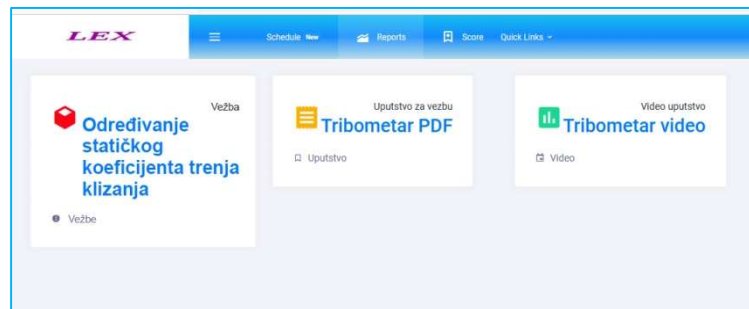
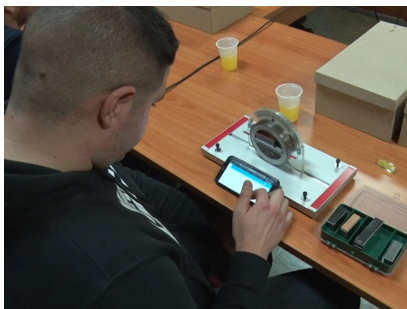
Платформи се приступа преко интернета, тако што студенти уносе у свој прегледач (енгл. *browser*) адресу веб сервера на којој се налази инсталирана платформа. У конкретном случају, дефинисана је статичка *IP* адреса, што омогућава студентима да

користе систем не само на факултету, већ и када уче у својим радним просторима. Овакав приступ, „24/7“, са било које локације, омогућава да студенти имају константан приступ својим подацима и анализама урађене лабораторијске вежбе. Са друге стране, студентима је омогућен приступ коришћењем мобилног телефона, таблета, лаптоп-а или персоналног рачунара. Платформа је оптимизирана за приказ на сваком од наведених типова уређаја. Све ово нас приближава остварењу различитих концепата е-учења, као што је мобилно учење или хибридно учење [264].

Као што је већ наведено, сама платформа има дефинисана три нивоа налога: студентски, професорски и администраторски.

8.3.3. Студентски налог

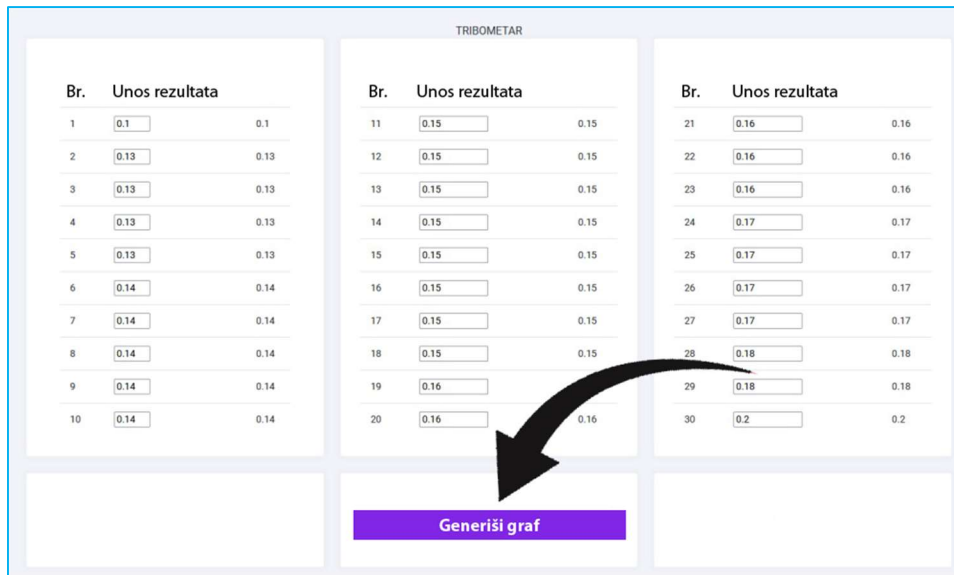
Након претходно извршене регистрације, студент приступа свом налогу (енгл. „login“) и на екрану се приказује прозор са фасциклама које садрже материјале за различите лабораторијске вежбе. Одабиром дате вежбе, студент добија приступ одговарајућим материјалима у форми текста, слајдова или видео презентација. У питању су теоријске основе на којима почива експеримент, опис лабораторијске опреме која ће бити коришћена, упутства за припрему уређаја и узорака за извођење вежбе, као и упутства која се односе на руковање уређајем и ток експеримента.



Слика 8.24 Приступање корисничком налогу и кориснички интерфејс при одабиру вежбе Одређивање статичког коефицијента трења клизања

Основна идеја система је да студенти имају комплетно окружење које ће им омогућити боље савладавање градива. Такође је могуће креирање улазног теста који ће проценити ниво знања сваког студента и на основу тога селектовати потребне теоријске компоненте и ставити студенту на располагање. Лабораторијске вежбе ће овим приступом добити и индивидуализован карактер, односно омогућиће подршку сваком индивидуалном кориснику у остваривању његових циљева учења.

На конкретном примеру приказана је лабораторијска вежба Одређивање статичког коефицијента трења клизања, која се изводи на модуларном трибометру (задатак и упутство за вежбу су дати у Прилогу 3). Одабиром опције „Одређивање статичког коефицијента трења клизања“ (слика 8.24) студент добија приступ корисничком интерфејсу за унос резултата мерења, који има форму табеле, предвиђене за унос 30 података (слика 8.25).



Слика 8.25 Кориснички интерфејс за унос резултата и дугме за покретање статистичке обраде и генерисање табеларног и графичког приказа резултата



Слика 8.26 Самостално извођење експеримента и унос резултата

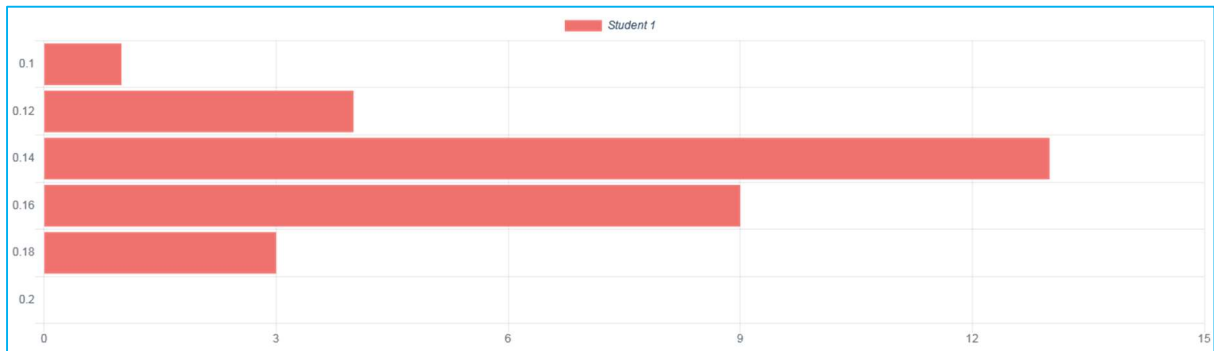
По завршетку 30 мерења и уноса резултата, следећи корак је одабир опције за генерисање графичког приказа (дугме на које указује стрелица на слици 8.25), чиме се иницира процес статистичке обраде и генерисање табеларног и графичког приказа резултата.

Intervali	f_i	\bar{x}	σ
0.1-0.12	1	0.1204	0.10722014736046577
0.12-0.14	4		
0.14-0.16	13		
0.16-0.18	9		
0.18-0.2	3		

Слика 8.27 Табеларни приказа резултата

Након клика на дугме, софтвер похрањује податке на локални сервер, а затим врши статистичку обраду резултата – формирање варијационог низа, одређивање броја класа и ширине интервала, формирање табеле дистрибуције фреквенција, израчунавање

вредности аритметичке средине и стандардне девијације. Резултати се приказују у форми табеле (слика 8.27) и хистограма (слика 8.28).



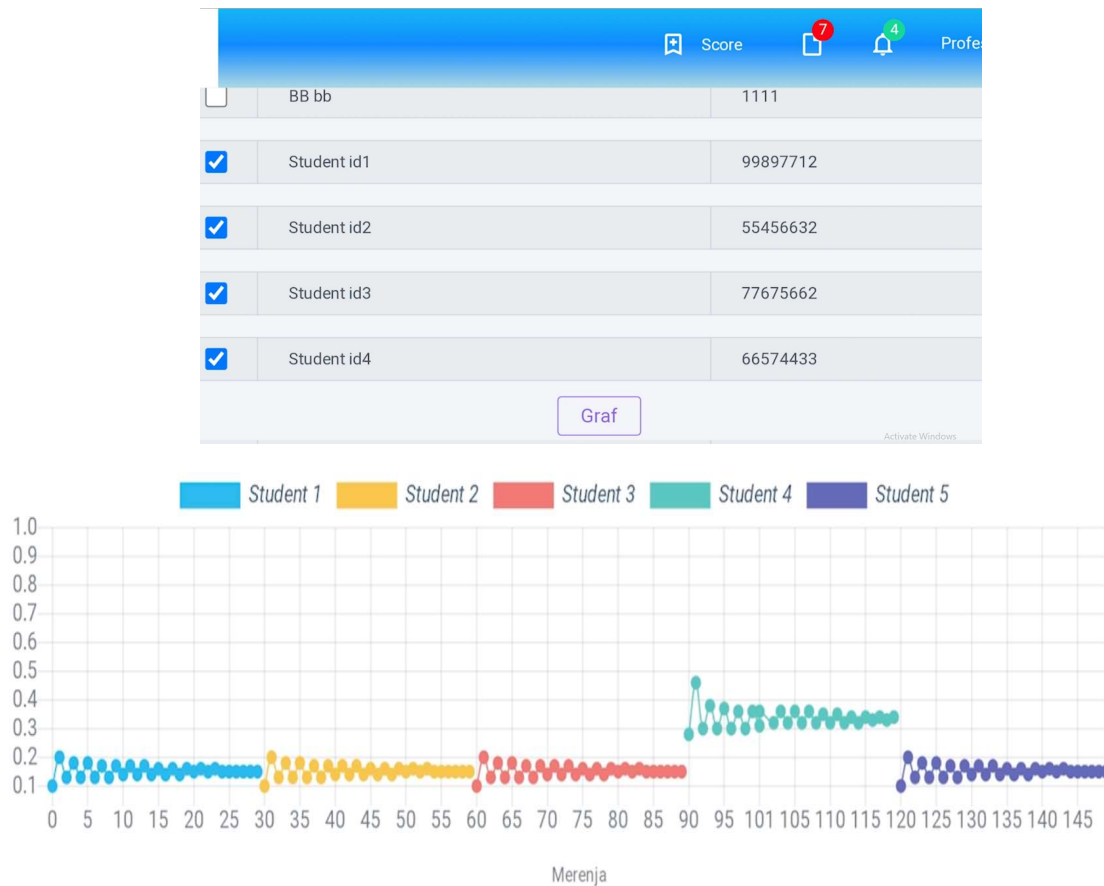
Слика 8.28 Графички приказ дистрибуције фреквенција – приказ видљив у студентском корисничком интерфејсу

Оно што систем такође омогућава је понављање лабораторијске вежбе, односно креирање базе мерења за сваког појединачног корисника. Ово је нарочито значајно јер омогућава корисницима да варирају улазна подешавања система или да коригују одређена подешавања и да на тај начин врше упоређивање резултата и овладавају напреднијим знањима. То такође омогућава студентима и да креирају сопствени експеримент. У оквиру овог модула, студент може да се обрати наставнику, директно или онлајн, и да му пошаље резултате мерења или да тражи одређена тумачења.

8.3.4. Професорски налог

Професор се пријављује на систем користећи своје параметре, али, за разлику од студентског налога, има комплетно други сет функционалности. Функционалности овог модула су усмерене на:

- дефинисање амбијента за одвијање вежбе, односно професор има могућност да поставља тестове, материјале које дају теоријску потпору (у различитим облицима, статичке, динамичке, видео и сл.);
- дефинисање задатка лабораторијске вежбе, односно, циља вежбе и примене одговарајућих математичких алата за обраду резултата;
- комуникацију и подршку студентима током одвијања вежби;
- коришћење алата за увид у појединачне резултате;
- када сви студенти заврше мерење, унос и обраду података, професор са свог корисничког налога иницира генерисање заједничког приказа резултата свих мерења (слика 8.29), који се приказује на великом екрану, што представља прилику за упоредну анализу и дискусију.



Слика 8.29 Генерисање заједничког графичког приказа резултата мерења

Начин на који се приказују резултати на екрану је битна компонента не само онлајн платформе, као подршке процесу лабораторијских вежби, већ и у ширем контексту предложеног модела, који промовише учење засновано на самосталном извођењу експеримента и чији циљеви су и унапређење способности које се односе на креирање и анализу дијаграмских приказа, доношење закључака и анализу резултата.



Слика 8.30 Извођење експеримента и дискусија са проф. др Бранком Тадићем о добијеним резултатима

По завршетку мерења, студенти пореде добијене резултате са очекиваним вредностима за дати контактни пар (подацима доступним у литератури), анализирају грешке мерења и њихове изворе и са професором дискутују о упоредно приказаним резултатима и примени коришћених контактних парова у реалном инжењерству, што представља

прилику за проверу сопственог знања, али и за добијање нових корисних информација од професора.

Важно је напоменути да се по комплетирању вежбе сви материјали стављају свима на располагање, тако да студенти имају комплетан увид у сва мерења и могу да анализирају различите резултате. Додатно, сви резултати и извештаји се чувају у бази података, тако да студенти могу да приступе резултатима из претходних година или да врше различита друга упоређивања.

8.3.5. Администраторски налог

Администратор је само још једна врста корисника, овог пута са највишим степеном овлашћења. Администратор одобрава регистрацију корисника типа „студент“ или пак укидање налога. Са друге стране, администратор врши додавање вежби или друго унапређење софтвера, корисничког интерфејса, логике апликације или саме базе података.

8.3.6. Предности развијене платформе

Развијена веб платформа има више квалитативно значајних карактеристика. Предности развијене платформе је што је доступна путем веб прегледача, без потребе за инсталацијом додатног софтвера. Платформа омогућава реализацију и спровођење лабораторијских вежби у више различитих режима, почев од хибридног, где се вежбе одржавају у реалној лабораторији а резултати обрађују преко платформе, до комплетног управљања лабораторијским вежбама на даљину. У овом другом случају систем би морао да буде проширен видео повратном спрегом (енгл. *feed back*) и одговарајућом сензориком. У оба случаја предложена платформа има више значајних предности, као што је омогућавање приступа материјалима и подацима од стране студената из било којег места, без обзира на географску локацију. Студенти не морају бити присутни у физичком лабораторијском простору и могу приступити вежбама преко интернета, што је веома корисно за ученике који уче на даљину или који су у неком мешовитом режиму учења. Такође, студенти могу приступити платформи у било ком времену које је у складу са њиховим распоредом. Ово им омогућава да самостално управљају временом и приступе материјалима доступним у оквиру платформе када им то највише одговара и када ће рад бити најпродуктивнији. Платформа омогућава лакше управљање ресурсима, аквизицију, ефектан приказ и дељење података. Подаци и резултати могу бити лако заједнички коришћени и анализирани, што омогућава боље разумевање и решавање проблема на којима су вежбе засноване.

9. АНАЛИЗА ЕФЕКТА ПРИМЕНЕ ПРЕДЛОЖЕНОГ МОДЕЛА

У овом поглављу су приказане две фазе истраживања. У првој фази анализирана је процена исхода учења при раду у мањим групама, што је начин рада који је примењиван захваљујући развоју сопствене опреме, а претходио је имплементацији модуларних сетова. Применом експлоративне факторске анализе разматрано је груписање одговора анкетираних студената на афирмативни тврдње у упитнику у складу са Блумовом таксономијом. У другој фази анализирана је процена исхода учења при самосталном извођењу експеримената применом модуларних сетова и веб платформе. Извршена је и анализа и синтеза коментара студената у оквиру упитника.

9.1. ПРОЦЕНА ИСХОДА УЧЕЊА ЗАСНОВАНОГ НА РАДУ У МАЛИМ ГРУПАМА

9.1.1. Методологија

Редизајнирање процеса лабораторијских вежби у оквиру обавезног предмета Експеримент у машинству на мастер студијским програмима Машинско инжењерство, Војноиндустријско инжењерство и Аутомобилско инжењерство изведено је увођењем уређаја малих габарита, који су развијени на Факултету инжењерских наука. Уређаји развијени у Центру за ревитализацију индустријских система су омогућили да се групе од 20 до 30 студената поделе на више мањих група и да се на тај начин оформе тимови од неколико чланова, који добијају прилику да се детаљније упознају са самим уређајима и њиховим компонентама и да самостално изводе експерименте.

Студенти наведених мастер студијских програма су у току основних академских студија већ били укључени у одговарајуће програме лабораторијских вежби, током чије реализације је уочено да рад у великим групама негативно утиче на квалитет трансфера знања. Како би се квантификовали резултати примене нових учила и уређаја, по завршетку циклуса извођења експеримената током школске 2018/2019. године, спроведено је истраживање путем анкете. Циљ истраживања није био развој универзалног инструмента, већ мерење задовољства студената путем самопроцене исхода учења након обављених лабораторијских вежби.

Ставке у упитнику (питања у форми афирмативних тврдњи) су груписане у складу са сазнајним доменама дефинисаним Блумовом таксономијом, а одговори су усклађени са петостепеном Ликертовом скалом.

9.1.1.1. Теоријски оквир

Блумова таксономија је један од најчешће коришћених теоријских оквира за планирање, припрему и вредновање свих нивоа образовања. Амерички психолог Бенџамин Блум (енгл. *Benjamin Bloom*) је 50-их година 20. века уочио да се у процесу образовања од ученика и студената најчешће тражи само репродуковање научених информација, што је тек први, односно најнижи ниво знања. У намери да допринесе разумевању и унапређењу процеса подучавања и учења, он је дефинисао таксономију циљева едукације у оквиру три сазнајна домена [265]:

- когнитивни (размишљање, решавање проблема),
- афективни (ставови, вредности, интересовања),
- психомоторни (вештине, моторичке способности)

Блумова таксономија је ревидирана и допуњавана од стране више аутора [266–268] и прилагођавана специфичностима области у којима је примењивана. Имајући у виду да су Блум и његови сарадници били фокусирани пре свега на основно и средње образовање, на нивоу високог образовања та прилагођавања су била екстензивнија.

У области образовања инжењера, са посебним освртом на улогу лабораторијских вежби у том процесу, поједини аутори су се бавили унапређењем Блумове таксономије само у оквиру психомоторног домена [269], док су се други ослањали на ревидирану таксономију когнитивног домена при евалуацији курикулума и лабораторијских вежби [89] или при развоју програма лабораторијских вежби [270]. Когнитивним и метакогнитивним процесима баве се и аутори методе провере усвојених знања и вештина под називом *SODAS* (енгл. *STEM-Optimal Digitized Assessment Strategy*) засноване на дигитализацији система тестирања [271].

Аутори методе за мерење исхода лабораторијских вежби (енгл. *Measuring the Learning Outcomes of Laboratory Work – MeLOLW*) [272] користе 13 циљева учења у процесу извођења лабораторијских вежби у образовању инжењера које је дефинисао *ABET* [102] (који су описани у потпоглављу 3.9), као полазну основу за креирање упитника усклађеног са Блумовом таксономијом. Други аутори су модификовали методу *MeLOLW* и применили је у оквиру самопроцене исхода учења [273] од стране студената, да би касније био развијен и универзални инструмент (енгл. *Laboratory Learning Objectives Measurement – LLOM*) за мерење задовољства студената по завршеном циклусу лабораторијских вежби и доказивање постојања корелације између задовољства студената исходима вежбања и оцена које су добили из одговарајућих предмета [274].

9.1.1.2. Инструмент истраживања

У оквиру истраживања спроведеног на Факултету инжењерских наука и још три високошколске институције у Србији коришћен је упитник (Прилог 4) који је конструисан по узору на претходно спроведена истраживања [272–274]. Ставке су усклађене са *ABET*-овим циљевима лабораторијских вежби и груписане у складу са Блумовом таксономијом, односно по претпостављеној припадности једном од три сазнајна домена, док је степен слагања са понуђеним афирмативним тврдњама мерен применом петостепене Ликертове скале [275] (од 1 – уопште се не слажем, до 5 – потпуно се слажем). Студенти су упитник попуњавали анонимно, у штампаној форми. Ставке нису биле груписане у оквиру самог упитника, али су у наставку тако приказане – по претпостављеној припадности одређеним сазнајним доменима.

У оквиру когнитивног домена формулисано је осам питања у облику афирмативних тврдњи:

T1 – Рад са новом опремом унапредио је моје познавање теорије о којој сам слушао/ла на предавањима.

T2 – Рад са новом опремом ми је помогао да боље разумем обрасце и зависности између физичких величина, о којима сам слушао/ла на предавањима.

T3 – Рад са новом опремом ми је помогао да стекнем практична знања („осећај“) о реду величина сила и осталих физичких величина, о којима сам слушао/ла теоријска предавања.

T4 – Рад са новом опремом је унапредио моја знања о карактеристикама различитих материјала.

T5 – Рад са новом опремом ми је помогао да лакше креирам и разумем дијаграме зависности између физичких величина.

T6 – Рад са новом опремом је унапредио моја знања о значају и аспектима безбедности руковања лабораторијском опремом.

T7 – Рад са новом опремом је унапредио моје способности да анализирам резултате експеримената и дискутујем о њима.

T8 – Рад са новом опремом је унапредио моје способности да изводим закључке на основу изведеног експеримента.

У оквиру психомоторног домена формулисана су четири питања у облику афирмативних тврдњи:

T9 – Рад са новом опремом је унапредио моју вештину руковања лабораторијском опремом.

T10 – Рад са новом опремом је унапредио моју вештину одабира правих алата и прибора.

T11 – Рад са новом опремом је унапредио моју способност планирања експеримента.

T12 – Рад са новом опремом је унапредио моје вештине физичког повезивања машинских елемената и склопова, као и електронских елемената опреме.

У оквиру афективног домена формулисано је шест питања у облику афирмативних тврдњи:

T13 – Рад са новом опремом је унапредио моју способност за тимски рад.

T14 – Рад са новом опремом је унапредио моје вештине комуникације.

T15 – Рад са новом опремом је унапредио моју способност самосталног учења.

T16 – Рад са новом опремом ми је донео задовољство због добијања сопствених резултата експеримента.

T17 – Рад са новом опремом је повећао моју мотивисаност за решавање инжењерских проблема.

T18 – Рад са новом опремом је унапредио моју вештину да учим на грешкама и решавам проблеме када опрема не функционише како треба.

9.1.1.3. Узорак испитаника

Узорак на којем је вршено пилот истраживање припада популацији студената који су похађали часове лабораторијских вежби на уређајима развијеним на Факултету инжењерских наука, уз примену одговарајуће методологије. Поред студената Факултета инжењерских наука, анкетирани су и студенти Војне академије у Београду, Факултета техничких наука у Новом Саду и тадашње Високе техничке школе у Трстенику (данашњег Одсека Академије струковних студија Шумадија), јер су у питању установе којима је уступљен одређен број уређаја и на којима су методе у оквиру процеса лабораторијских вежби усклађене са методама примењеним на Факултету инжењерских наука.

Укупан број анкетираних је 97, од тога:

10 – Војна академија у Београду (ВА),

11 – Факултет техничких наука у Новом Саду (ФТН),

24 – Одсек Академије струковних студија Шумадија у Трстенику (ТС),

52 – Факултет инжењерских наука у Крагујевцу (ФИН).

Испитаници женског пола чине 24% узорка, што одговара полној структури популације студената у наведеним институцијама у време спровођења анкете.

9.1.2. Статистичка анализа добијених података

У литератури још од 40-их година 20. века траје својеврсна дебата [276–278] о примени параметарских статистичких метода при анализи података добијених применом Ликертове скале. Ликертова скала је развијена за потребе психометријске анализе ставова испитаника и као таква нуди испитанику најчешће пет или седам бројева, односно оцена, чије вредности одговарају нивоу слагања/неслагања са понуђеном тврдњом. Без обзира на често критиковану ригидност Стивенсонове класификације мерних скала [279], сматра се да добијене оцене чине ординалну (редну) скалу, код које једнака удаљеност између бројева може бити дискутабилна, јер може зависити од перцепције испитаника. Стога се у литератури често наводи да се анализи резултата по појединачним ставкама (питањима у упитнику) мора приступати имајући у виду њихову ординалну природу, док се резултати добијени на основу Ликертове скале, као целине састављене од низа повезаних ставки (тврдњи о којима се испитаници изјашњавају), могу третирати као интервални [280–282].

У датом контексту неопходно је указати на дистинкцију између Ликертове скале и података типа Ликерт. Примена Ликертове скале за утврђивање нивоа слагања испитаника са одређеном тврдњом подразумева пажљиво формулисање питања, односно тврдњи, тако да све ставке, као целина, и саме чине скалу, а не скуп међусобно неповезаних ставки типа Ликерт [277, 280]. У том случају, подаци добијени применом Ликертове скале, као сумационе скале, могу се третирати као интервални, па је и примена одређених параметарских статистичких метода оправдана [275, 276, 278, 280]. У литератури је широко заступљено мишљење да су током последњих 80 и више година бројни аутори доказали робустност појединих параметарских метода при анализи података који припадају ординалним скалама [275, 278], односно оправданост њихове примене и када није испуњена претпоставка о нормалној расподели података (што је у психометријским истраживањима веома чест случај).

Аритметичка средина оцена по појединачним ставкама није адекватан статистички показатељ, због ординалне природе података типа Ликерт, док су медијана и квантили релевантни показатељи расподеле података по ставкама.

Узимајући у обзир резултате презентоване у релевантним литературним изворима, у анализи добијених података појединачне ставке су анализирани применом одговарајуће дескриптивне статистике и непараметарских метода, да би, тек по утврђивању оправданости третирања одређених група података као хомогених, па самим тим и третирање одговарајућих сумационих скала као низова интервалних података, биле примењене и одређене параметарске методе:

- дескриптивна статистика;
- тестирање хипотезе о хомогености варијансе применом методе Левин–Браун–Форсајт (енгл. *Levene–Brown–Forsythe*);
- тестирање хипотезе о припадности истој популацији применом методе Краскал–Волис (енгл. *Kruskal–Wallis*);
- *post-hoc* тест – вишеструка компарација рангова применом методе Дан–Бонферони (енгл. *Dunn–Bonferonni*);
- корелациона анализа података;
- експлоративна факторска анализа (енгл. *exploratory factor analysis – EFA*) у циљу утврђивања димензионалности података;
- утврђивање једнодимензионалности и унутрашње сагласности појединачних скала;
- анализа резултата пилот истраживања – формирање и анализа скорова по скалама.

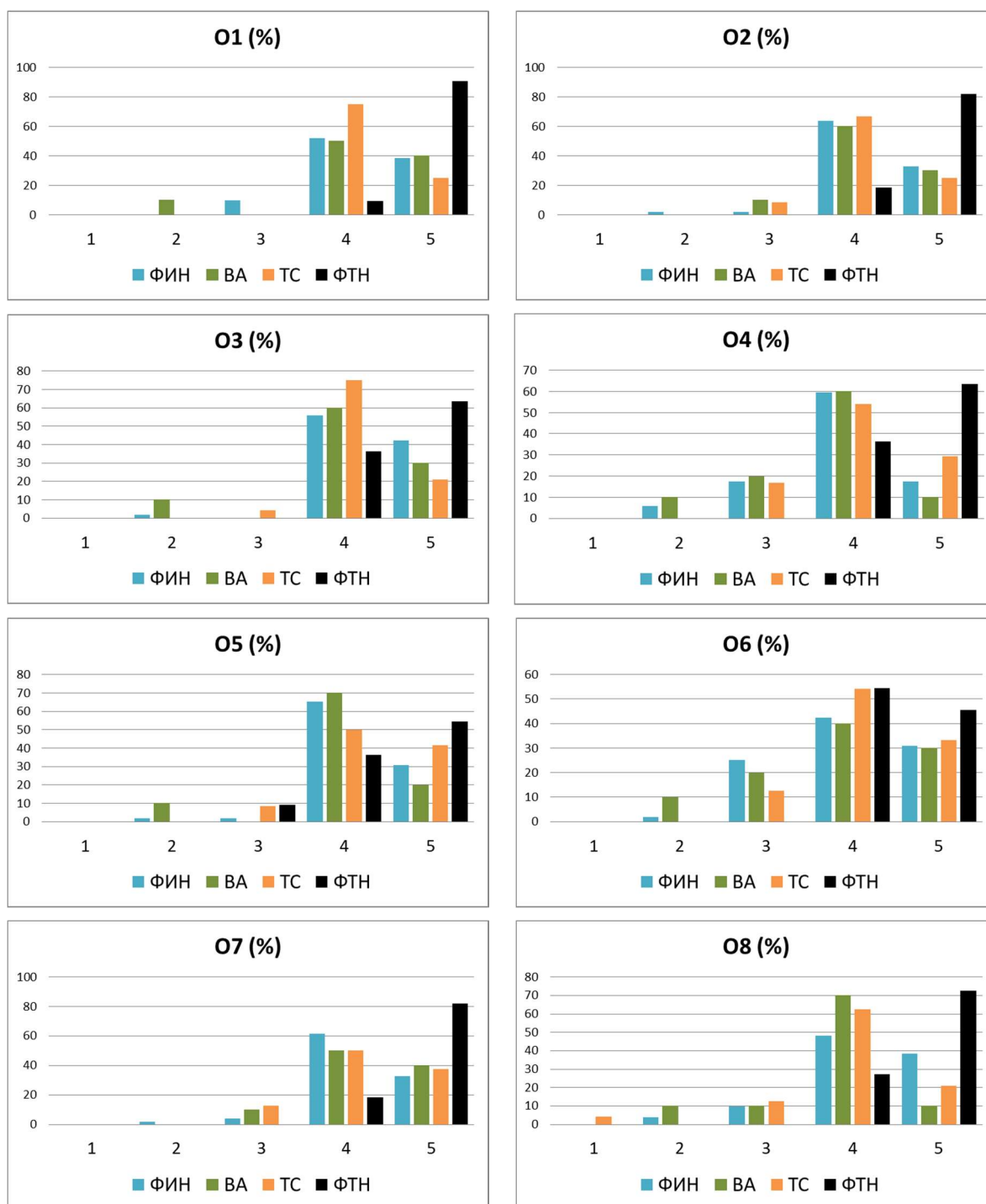
9.1.2.1. Дескриптивна статистика

Оцене које су студенти изабрали на скали од 1 до 5, а које представљају њихове ставове у односу на понуђених 18 афирмативних тврђи, чине податке типа Ликерт, означене са O_i , где је i редни број ставке (афирмативне тврдње). У табели 9.1 су дати основни статистички подаци по ставкама и по институцијама на којима је вршено анкетирање.

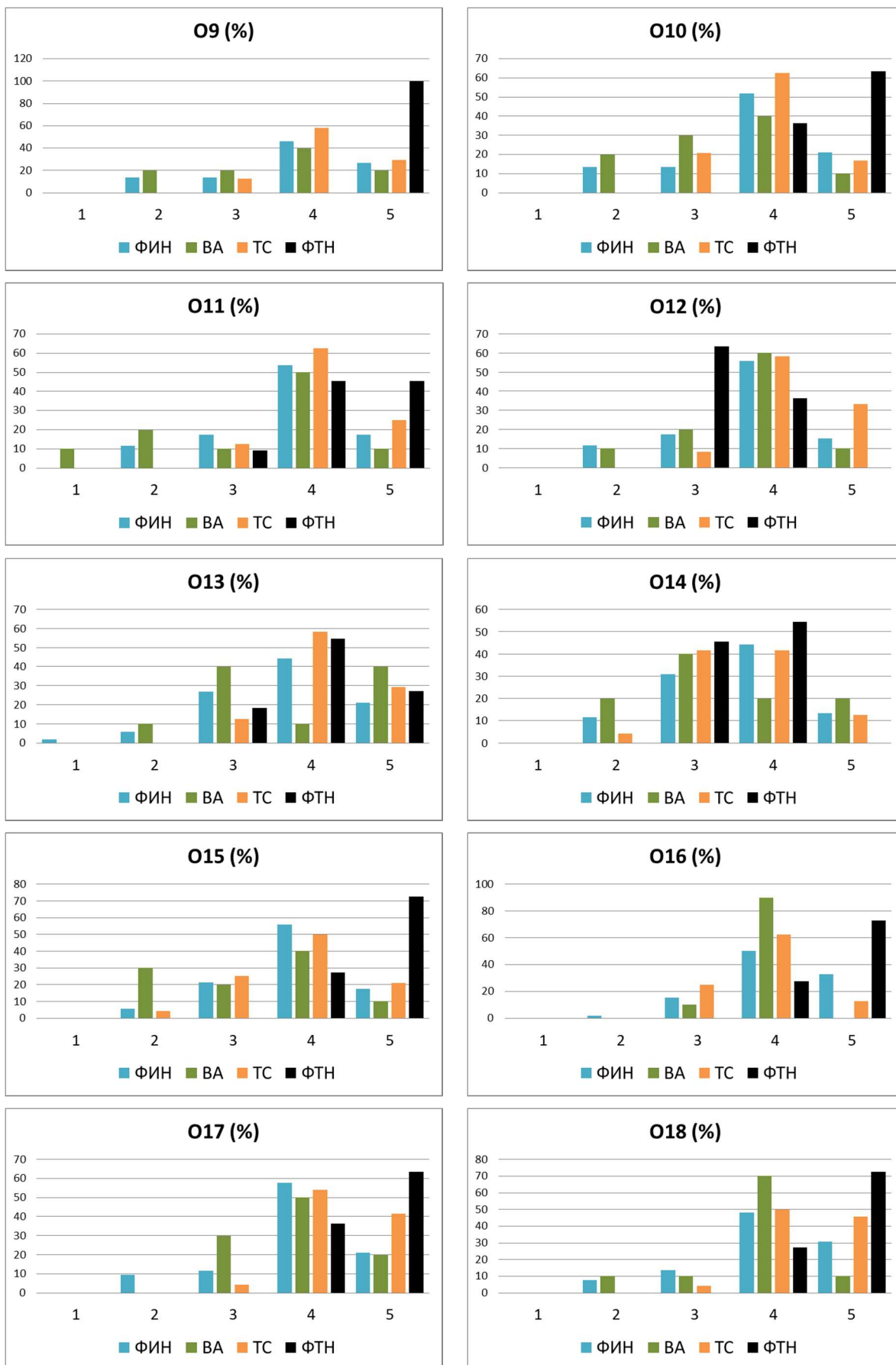
Табела 9.1 Квартили по ставкама ($O_1 \div O_{18}$) и групама (ФИН, ФТН, ВА, ТС)

Ставка	Група	Квартили $O_1 \div O_9$			Ставка	Група	Квартили $O_{10} \div O_{18}$		
		Q1	Мед.	Q2			Q1	Мед.	Q2
O ₁	ФИН	4	4	5	O ₁₀	ФИН	3	4	4
	ФТН	5	5	5		ФТН	4	5	5
	ВА	4	4	5		ВА	2,75	3,5	4
	ТС	4	4	4,75		ТС	4	4	4
O ₂	ФИН	4	4	5	O ₁₁	ФИН	3	4	4
	ФТН	5	5	5		ФТН	4	4	5
	ВА	4	4	5		ВА	2	4	4
	ТС	4	4	4,75		ТС	4	4	4,75
O ₃	ФИН	4	4	5	O ₁₂	ФИН	3	4	4
	ФТН	4	5	5		ФТН	3	3	4
	ВА	4	4	5		ВА	3	4	4
	ТС	4	4	4		ТС	4	4	5
O ₄	ФИН	4	4	4	O ₁₃	ФИН	3	4	4
	ФТН	4	5	5		ФТН	4	4	5
	ВА	3	4	4		ВА	3	3,5	5
	ТС	4	4	5		ТС	4	4	5
O ₅	ФИН	4	4	5	O ₁₄	ФИН	3	4	4
	ФТН	4	5	5		ФТН	3	4	4
	ВА	4	4	4,25		ВА	2,75	3	4,25
	ТС	4	4	5		ТС	3	4	4
O ₆	ФИН	3	4	5	O ₁₅	ФИН	3	4	4
	ФТН	4	4	5		ФТН	4	5	5
	ВА	3	4	5		ВА	2	3,5	4
	ТС	4	4	5		ТС	3	4	4
O ₇	ФИН	4	4	5	O ₁₆	ФИН	4	4	5
	ФТН	5	5	5		ФТН	4	5	5
	ВА	4	4	5		ВА	4	4	4
	ТС	4	4	5		ТС	3,25	4	4
O ₈	ФИН	4	4	5	O ₁₇	ФИН	4	4	4
	ФТН	4	5	5		ФТН	4	5	5
	ВА	3,75	4	4		ВА	3	4	4,25
	ТС	4	4	4		ТС	4	4	5
O ₉	ФИН	3	4	5	O ₁₈	ФИН	4	4	5
	ФТН	*	*	*		ФТН	4	5	5
	ВА	2,75	4	4,25		ВА	3,75	4	4
	ТС	4	4	5		ТС	4	4	5

Будући да групе ВА, ФТН, ТС и ФИН нису једнаких величина, у оквиру слике 9.1 дате су релативне фреквенције по ставкама, као погодније за упоредни графички приказ. Слика 9.1 визуелно потврђује закључак који произилази из увида у податке у табели 9.1 – да у свега око 30 % случајева 25 % података има вредност мању или једнаку 3, као и да је такав случај присутан свега три пута у групи ФТН, где је први квартил најчешће 4, а у појединим случајевима и 5. Такође, вредност медијане за групу ФТН је далеко чешће једнака 5, у односу на преостале три групе података.



Слика 9.1 Релативне фреквенције оцена по ставкама – упоредни приказ (I део)



Слика 9.1 Релативне фреквенције оцена по ставкама – упоредни приказ (II део)

Анализа графичких приказа релативних фреквенција по ставкама указује на постојање разлике код већине ставки у начину оцењивања, у зависности од групе, као и да ФТН у већини случајева показује одступање од преостале три групе. Провера хомогености укупног узорка, односно припадности подзорака истој популацији, извршена је применом одговарајућих непараметарских метода.

Мада непараметарски тестови не захтевају испуњеност претпоставке о нормалној расподели података, планирани Краскал–Волис тест (базиран на поређењу рангова), као својеврсна непараметарска алтернатива једнофакторској дисперзионој анализи (познатој и као *ANOVA*), може бити осетљив на нехомогеност варијансе група података које се пореде, што се у литератури често пренебрегава [201]. Левин–Браун–Форсајт-ов тест је метода за тестирање хипотезе о хомогености варијансе, која је у литератури препоручена јер је погодна за поређење група података које нису велике и које су различитих величина, показује релативно високу отпорност на могућност јављања грешке прве врсте и задржава снагу и код изражене асиметричности расподеле фреквенција [283–285]. Браун и Форсајт су заправо модификовали Левинов тест [203], који је у прорачуну користио аритметичке средине, и методу засновали на медијанама група података које се упоређују. По одређивању медијане сваке групе података, њена вредност се одузима од вредности зависне променљиве (у овом случају то су оцене за дату ставку). Затим се са тако трансформисаним подацима спроводи једнофакторска *ANOVA*, а статистика одлучивања (једначина 37) [286], се пореди са критичном вредношћу у табели *F* расподеле вероватноће, за дати број степени слободе *df* и ниво ризика α .

$$W = \frac{(n - k) \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_i - \bar{Z})^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (Z_{ij} - \bar{Z}_i)^2}, \quad (37)$$

где је:

W – статистика одлучивања,

n – укупан број опсервација,

k – број група (подзорака),

n_i – број опсервација (оцена) у свакој групи,

\bar{Z}_i – аритметичка средина апсолутних одступања оцена (*Z_{ij}*) од медијане групе *i*,

\bar{Z} – аритметичка средина свих апсолутних одступања од медијане (средња вредност свих *Z_{ij}*),

Z_{ij} – апсолутна одступања оцена од медијане групе *i*.

Тест полази од следећих хипотеза:

*H*₀: Све групе података имају једнаке варијансе.

*H*₁: Варијансе нису једнаке код свих група података.

Резултати теста, односно вредности *p* (вероватноће да је нулта хипотеза тачна), при задатом нивоу ризика $\alpha=0,05$, добијени применом софтверског пакета *SPSS*, су приказани у табели 9.2. Нулта хипотеза се одбацује само у случају *O*₁.

Табела 9.2 Резултати теста Левин–Браун–Форсајт – вредности *p* по ставкама

<i>O</i> ₁	<i>O</i> ₂	<i>O</i> ₃	<i>O</i> ₄	<i>O</i> ₅	<i>O</i> ₆	<i>O</i> ₇	<i>O</i> ₈	<i>O</i> ₉	<i>O</i> ₁₀	<i>O</i> ₁₁	<i>O</i> ₁₂	<i>O</i> ₁₃	<i>O</i> ₁₄	<i>O</i> ₁₅	<i>O</i> ₁₆	<i>O</i> ₁₇	<i>O</i> ₁₈
0,03	0,66	0,40	0,95	0,67	0,54	0,37	0,52	0,20	0,18	0,25	0,72	0,07	0,66	0,10	0,07	0,88	0,37

Узимајући у обзир ординалну природу података у оквиру појединачних ставки (питања у оквиру упитника), као и то да су величине подзорака различите, у сврху провере припадности података добијених у четири институције истом основном скупу примењена је непараметарска метода Краскал–Волис [200]. Краскал–Волис је препоручена метода када узорци нису велики, а нарочито када се анализирају подаци који припадају психометријским скалама примењеним у оквиру истраживања ставова, особина личности и сл. [201], као што је Ликертова скала. У питању је тест који се заснива на поређењу просечних рангова више од два узорка, при чему се са одређеним нивоом ризика одлучује да ли се прихвата или одбацује нулта хипотеза. За ниво ризика α полази се од хипотеза:

H_0 : Расподела обележја је иста у све четири групе података.

H_1 : Расподела обележја није иста у свим групама (Краскал и Волис су алтернативну хипотезу формулисали на следећи начин [201]: „Постоји бар једна група података код које, при случајном одабиру опсервације, вероватноћа да је та опсервација већа од случајно изабране опсервације из остатка узорка није једнака 0,5“).

Када је број група већи од три, а број опсервација у свакој групи већи од пет (што је овде случај) [202], узорачка расподела се може апроксимирати χ^2 расподелом. По формирању табеле у којој су подаци рангирани, на основу израза (38) [203], израчунава се вредност статистике одлучивања H :

$$H = \left(\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} \right) - 3(N+1), \quad (38)$$

где је:

k – број група података које се пореде,

N – укупна величина узорка,

n_j – број опсервација у групи j ,

R_j – суме рангова по групама.

Вредност статистике одлучивања H се пореди са критичном вредношћу из табеле χ^2 за дати број степени слободе df и ниво ризика α . Нулта хипотеза се одбацује уколико је $H > \chi^2$.

Будући да Краскал–Волис метода указује само на то да ли постоје разлике између група података, али не и између којих група, извршена је вишеструка компарација по паровима за ставке код којих постоји разлика, применом методе Дан–Бонферони, као препорученог *post-hoc* теста [204, 205]. У питању је тест који се може примењивати када узорци нису велики и када величине узорака који се пореде нису једнаке (што је овде случај), а који је поуздан и када постоји велики број једнаких података. Заснован је на поређењима рангова парова, уз узимање у обзир и осталих учесника у вишеструкој компарацији. За сваки пар група података које се пореде, за ниво ризика $\alpha=0,05$, полази се од следећих хипотеза [204]:

H_0 : Расподела обележја је иста у обе групе података (Дан је нулту хипотезу формулисао на следећи начин [204]: „Вероватноћа појављивања случајно одабране вредности у првој групи података која је већа од случајно изабране вредности из друге групе је једнака 0,5.“)

H_1 : Расподеле обележја у оквиру две групе података се разликују.

Статистика одлучивања се израчунава применом израза (39) [203]:

$$CD_{KW} = z_{adj} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{n_a} + \frac{1}{n_b} \right)} \quad (39)$$

где је:

CD_{KW} – статистика одлучивања (минимална разлика између аритметичких средина рангова потребна да би се групе сматрале различитим при задатом нивоу значајности),

z_{adj} – коригована [203] вредност из табеле z расподеле,

N – укупан број опсервација,

n_a – број опсервација у групи a ,

n_b – број опсервација у групи b .

Прорачун за оба наведена теста је извршен применом софтверског пакета *SPSS*, а резултати су упоредно приказани у табели 9.3. У случају резултата теста Краскал–Волис, затамњене су вредности статистике одлучивања H код којих се одбацује нулта хипотеза, односно код којих је $H > \chi^2$. Код резултата Дан–Бонферони теста затамњене су вредности p које су мање од α ($\alpha=0,05$), чиме су означени парови код којих се за дату ставку одбацује нулта хипотеза.

Табела 9.3 Резултати теста Краскал–Волис и *post-hoc* теста Дан–Бонферони

Краскал–Волис Критична вредност: $\chi^2=7,815$ (df=3, $\alpha=0,05$)		<i>Post-hoc</i> тест Дан–Бонферони Вредности p за парове по ставкама ($\alpha=0,05$)					
Варијабле (оцене по ставкама)	H	ТС-ФИН	ТС-ВА	ТС-ФТН	ФИН-ВА	ФИН-ФТН	ВА-ФТН
O ₁	12,189	1,000	1,000	0,006	1,000	0,008	0,95
O ₂	11,386	1,000	1,000	0,007	1,000	0,070	0,019
O ₃	7,084	/	/	/	/	/	/
O ₄	11,922	1,000	1,000	0,021	1,000	0,009	0,224
O ₅	2,698	/	/	/	/	/	/
O ₆	3,401	/	/	/	/	/	/
O ₇	8,660	1,000	1,000	0,025	1,000	0,059	0,284
O ₈	11,316	1,000	0,631	0,019	1,000	0,021	0,167
O ₉	19,687	1,000	1,000	0,001	1,000	0,000	0,009
O ₁₀	12,746	1,000	0,850	0,004	1,000	0,016	0,067
O ₁₁	8,403	1,000	0,325	0,088	0,768	0,185	1,000
O ₁₂	12,901	1,000	0,306	0,004	1,000	0,418	0,090
O ₁₃	3,492	/	/	/	/	/	/
O ₁₄	0,629	/	/	/	/	/	/
O ₁₅	16,080	0,806	0,890	0,001	1,000	0,004	0,015
O ₁₆	14,270	1,000	0,532	0,002	1,000	0,018	0,049
O ₁₇	12,590	1,000	0,464	0,086	0,130	0,020	1,000
O ₁₈	12,179	1,000	0,232	0,024	0,412	0,031	1,000

Имајући у виду могућност да резултати теста Краскал–Волис доведу до грешке прве врсте (одбацивања нулте хипотезе када је она истинита), применом Дан–Бонферони методе врши се корекција резултата дељењем вредности α бројем извршених поређења

по паровима (m). Ради једноставнијег тумачења резултата, корекција се најчешће врши множењем вредности p , као вероватноће да је нулта хипотеза тачна, са m , при чему α остаје непромењено. Корекцијом се избегава „инфлација“ вредности α при вишеструким поређењима, а истовремено се добија информација о конкретним паровима узорака код којих постоје разлике.

Анализом упоредно приказаних резултата два теста, уочава се да је Дан–Бонферони *post hoc* тест потврдио резултате Краскал–Волис теста за 12 ставки у упитнику о постојању разлике између података груписаних у односу на институцију, укључујући и O_1 , где је нехомогеност варијансе могла утицати на резултате Краскал–Волис теста. Само у случају ставке број 11 Дан–Бонферони тест указује на то да се нулта хипотеза ипак не може одбацивати, односно да оцене за то питање не зависе од припадности једној од институција укључених у истраживање. У свим случајевима одбацивања нулте хипотезе о припадности истој популацији један од елемената упоређених парова је био ФТН, док између група ФИН, ВА и ТС нема разлике. Разлика у односу на две преостале групе (ФИН и ТС) је уочена код девет ставки, а код три ставке и у односу на све три преостале групе (ФИН, ТС и ВА). Закључено је да су на формирање ставова анкетираних студената Факултета техничких наука у Новом Саду који се, са аспекта расподеле фреквенција оцена по ставкама, у значајној мери разликују у односу на ФИН, ТС и ВА, утицали одређени фактори, који би се, примера ради, могли довести у везу са методама примењиваним током реализације лабораторијских вежби на датим уређајима и училима. Имајући у виду и да је величина ФТН узорка (11) у односу на укупан узорак (97) сразмерно мала, одлучено је да се резултати ФТН искључе из даље анализе, у којој се подаци за ФИН, ВА и ТС могу третирати као јединствен хомоген узорак.

9.1.2.2. Експлоративна факторска анализа

Факторска анализа је метод мултиваријационе анализе који се примењује за описивање међусобне зависности већег броја променљивих коришћењем мањег броја латентних случајних променљивих, односно фактора [287, 288]. Циљ факторске анализе је редукција података и њихово груписање у зависности од успостављених релација са одговарајућим факторима. За разлику од кофирматорне факторске анализе, којом се потврђује развијени модел намењен за даљу примену (тестирају се хипотезе о броју заједничких фактора), експлоративна факторска анализа (ЕФА) је итеративни процес који испитује структуру добијених података и има пре свега дескриптивну сврху [289].

При анализи података ординалног типа и када је нарушена претпоставка о нормалној расподели, одређивање броја (екстракција) фактора у оквиру ЕФА засновано на методи главних оса или главних фактора (енгл. *Principal Axis Factoring*) препоручено је у литератури [289, 290] и, уз испуњење одређених услова, даје поуздане резултате чак и када се ради са малим узорцима [291]. Међутим, због ординалне природе података добијених применом Ликертове скале, при анализи таквих података предност се често даје другим методама ЕФА [292, 293], које се такође заснивају на анализи матрице Пирсонових корелација, као и методама заснованим на полихоричној корелацији [294–298]. Полихоричне корелације је дефинисао управо Пирсон, као меру повезаности ординалних варијабли засновану на претпоставци да оне заправо припадају подацима са заједничком континуалном расподелом [299]. Када је у питању екстракција фактора, паралелна анализа се у новијој литератури наводи као најпоузданија метода [295, 298, 300–302].

Величина узорка, као и однос броја опсервација и броја ставки у упитнику, често су били тема у литератури која се бави применом ЕФА, при чему су изнета различита мишљења

о утицају наведених фактора на валидност резултата и дате различите препоруке за минималну величину узорка, однос између број опсервација и броја ставки [303], као и за граничне вредности комуналитета и факторских оптерећења [304, 305]. У новијој литератури, постигнут је својеврсни консензус да постоје недвосмислени докази да се ограничења односе на то да мањи узорци захтевају веће вредности комуналитета и већа факторска оптерећења, при чему се мора узети у обзир и број фактора, као и број варијабли по фактору, да би се резултати сматрали поузданим [306–308]. Тако је једна од препорука, која се односи на величину узорка анализираних у овом делу рада (величина узорка износи 86), да се фактор може сматрати релевантним само ако све њему припадајуће ставке имају факторско оптерећење веће од 0,6 [309]. И према [291], за три фактора, иницијалних 18 ставки и 86 опсервација препоручена су факторска оптерећења већа од 0,6. Према [307], за дате параметре, резултати се могу сматрати поузданим уколико је већина комуналитета већа од 0,6, односно просечна вредност комуналитета већа од 0,6. Имајући у виду величину узорка који се у овом делу рада анализира, као и ординалну природу и асиметричност расподеле података, при анализи комуналитета и факторских оптерећења узета су у обзир ригорозна ограничења која се односе на мање узорке.

За примену паралелне анализе и екстракцију фактора коришћен је специјализовани софтвер отвореног приступа *FACTOR*, верзија 12.02.01 [300, 310]. Први корак у ЕФА је анализа матрице корелације, репрезентативности узорка и његове подесности за спровођење ЕФА. Матрица полихоричних корелација је дата у табели 9.4.

Табела 9.4 Матрица полихоричних корелација

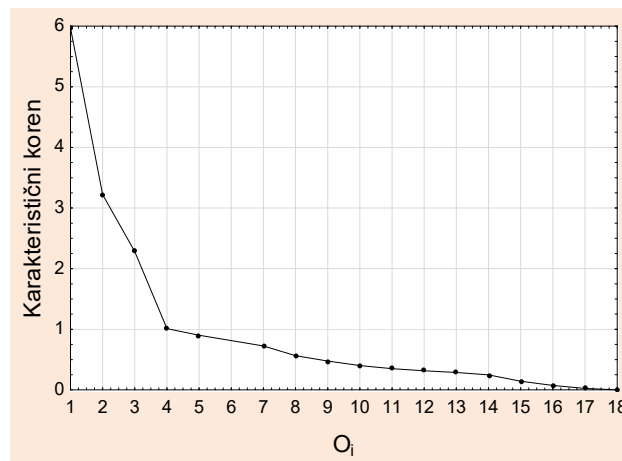
	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁	O ₁₂	O ₁₃	O ₁₄	O ₁₅	O ₁₆	O ₁₇	O ₁₈
O ₁	1	0,774	0,617	0,245	0,579	0,201	0,737	0,476	0,233	0,281	0,048	0,175	0,124	0,157	0,246	0,181	0,163	0,314
O ₂	0,774	1	0,668	0,261	0,666	0,223	0,585	0,388	0,069	0,143	-0,071	0,048	0,065	0,241	0,146	0,132	0,011	0,083
O ₃	0,617	0,668	1	0,466	0,493	0,159	0,539	0,434	0,102	0,230	0,033	0,147	0,065	0,109	0,230	0,066	-0,028	0,056
O ₄	0,245	0,261	0,466	1	0,145	0,395	0,228	0,293	0,220	0,375	0,292	0,337	0,200	0,172	0,255	0,145	0,214	0,255
O ₅	0,579	0,666	0,493	0,145	1	0,159	0,569	0,423	0,244	0,225	0,129	0,166	0,144	0,163	0,216	0,021	0,038	0,045
O ₆	0,201	0,223	0,159	0,395	0,159	1	0,253	0,391	0,263	0,149	0,087	0,107	0,296	0,191	0,179	0,169	0,094	0,128
O ₇	0,737	0,585	0,539	0,228	0,569	0,253	1	0,502	0,269	0,228	0,216	0,303	0,225	0,072	0,306	0,380	0,307	0,250
O ₈	0,476	0,388	0,434	0,293	0,423	0,391	0,502	1	0,245	0,204	0,206	0,199	0,030	0,024	0,220	0,215	0,230	0,139
O ₉	0,233	0,069	0,102	0,22	0,244	0,263	0,269	0,245	1	0,672	0,792	0,689	0,237	0,153	0,214	0,269	0,516	0,690
O ₁₀	0,281	0,143	0,230	0,375	0,225	0,149	0,228	0,204	0,672	1	0,799	0,689	0,267	0,120	0,311	0,362	0,569	0,730
O ₁₁	0,048	-0,071	0,033	0,292	0,129	0,087	0,216	0,206	0,792	0,799	1	0,561	0,303	0,180	0,328	0,318	0,590	0,639
O ₁₂	0,175	0,048	0,147	0,337	0,166	0,107	0,303	0,199	0,689	0,689	0,561	1	0,285	-0,056	0,136	0,325	0,661	0,701
O ₁₃	0,124	0,065	0,065	0,200	0,144	0,296	0,225	0,030	0,237	0,267	0,303	0,285	1	0,739	0,536	0,546	0,087	0,163
O ₁₄	0,157	0,241	0,109	0,172	0,163	0,191	0,072	0,024	0,153	0,120	0,180	-0,056	0,739	1	0,516	0,490	-0,034	0,067
O ₁₅	0,246	0,146	0,230	0,255	0,216	0,179	0,306	0,220	0,214	0,311	0,328	0,136	0,536	0,516	1	0,751	0,144	0,226
O ₁₆	0,181	0,132	0,066	0,145	0,021	0,169	0,380	0,215	0,269	0,362	0,318	0,325	0,546	0,490	0,751	1	0,311	0,322
O ₁₇	0,163	0,011	-0,028	0,214	0,038	0,094	0,307	0,230	0,516	0,569	0,590	0,661	0,087	-0,034	0,144	0,311	1	0,715
O ₁₈	0,314	0,083	0,056	0,255	0,045	0,128	0,250	0,139	0,690	0,730	0,639	0,701	0,163	-0,067	0,226	0,322	0,715	1

У табели 9.4, где су затамњене вредности веће од 0,3, уочљиво је груписање већих коефицијената корелације између одређених варијабли. То груписање, међутим, у појединим случајевима указује да би модел на коме се заснива подела ставки по Блумовим сазнајним доменама могао захтевати одређене корекције. Примера ради, варијабле из афективног домена O₁₇ и O₁₈ имају неочекивано високу корелацију са варијаблама које припадају психомоторном домену. У сврху бољег сагледавања

структуре добијених вишедимензионалних података спроведена је експлоративна факторска анализа.

На основу вредности мере репрезентативности узорка [311] (енгл. *Measure of Sampling Adequacy – MSA*) из даље анализе је искључена променљива O_6 чија је вредност *MSA* мања од 0,5 (0,48446). Вредности *MSA* мање од 0,5 указују на то да дата променљива не мери исти домен као преостале променљиве у оквиру узорка. У питању је ставка „*Rad са новом опремом је унапредио моја знања о значају и аспектима безбедности руковања лабораторијском опремом*“. Одлука је подржана и веома ниском вредношћу комуналитета од 0,143. Комуналитет представља пропорцију варијансе дате променљиве која је објашњена факторима који су задржани након паралелне анализе [287]. И пре анализе репрезентативности узорка и спровођења паралелне анализе на исти закључак указивао је и садржај табеле 9.4. Променљива O_6 има ниске корелације са осталим варијаблима, што показује да минимално доприноси мерењу, те се препоручује њено искључивање из даље анализе [312]. По искључивању O_6 , подесност узорка за спровођење ЕФА потврдио је Бартлетов текст сферичности, који је био статистички значајан са $\chi^2(df = 136, p = 0.00001) = 903,8$. Такође, Кајзер–Мејер–Олкин-ов тест адекватности узорка (енгл. *Kaiser–Meyer–Olkin Test of Sampling Adequacy*), који представља меру заједничке варијансе свих променљивих, има прихватљиву вредност *KMO* = 0,76117, јер је већа од 0,6, на скали од 0 до 1 [303].

Одлука о броју фактора који ће бити задржани заснива се на примени статистичких метода, које треба да буду подржане теоријским претпоставкама. Иницијално, анализа дијаграма превоја (енгл. *scree plot*) на слици 9.2 указује на оправданост задржавања три фактора, јер је превој уочљив после треће тачке на дијаграму. Познати, али не и поуздани, Кајзеров критеријум препоручује задржавање четири фактора, на основу вредности карактеристичних корена (енгл. *eigenvalue*) које су веће од 1. Међутим, познато је да Кајзерово правило у највећем броју случајева врши „префакторисање“, односно упућује на задржавање већег броја фактора него што је потребно [313].



Слика 9.2 Дијаграм превоја

Како наведене методе нису довољно поуздане [313], спроведена је паралелна анализа [314], која се заснива на задржавању само оних фактора код којих је карактеристични корен већи од карактеристичног корена добијеног из случајних података, који одговарају подацима који се анализирају (и по броју променљивих и по броју опсервација) [315]. За одређивање броја фактора на основу полихоричних корелација, у паралелној анализи је примењена факторска анализа минималног ранга *MRFA* (енгл. *Minimum Rank Factor Analysis*), за коју су и литератури изнети докази да је прецизнија од изворне паралелне

анализе [295]. Паралелна анализа *PA-MRFA* је издвојила три фактора (парцијални приказ релевантних ставки је дат у табели 9.5). Број варијабли код којих проценат објашњене варијансе стварних података задовољава критеријум аритметичке средине и/или, преферабилно, критеријум 95. перцентила представља број фактора који се задржавају [295]. Критеријум је задовољен уколико је проценат варијансе стварних података већи од очекиваних у случајном узорку.

Табела 9.5 Парцијални приказ резултата паралелне анализе

% објашњене варијансе стварних података	Критеријум аритм. средине	Критеријум 95. перцентила
35,2286*	13,2639	14,924
19,0000*	11,7361	13,0292
13,4957*	10,5829	11,5496
5,9331	9,628	10,4526
5,3256	8,7419	9,4764
4,2758	7,9103	8,6103
...
*% објашњене варијансе задовољава критеријуме		

Поред паралелне анализе, за утврђивање броја фактора који се задржавају примењен је и метод *MAP* (енгл. *Minimum Average Partial test*) [316], који се заснива на матрици парцијалних корелација резидуала (варијансе која није објашњена датим моделом, тј. бројем фактора). Поменути метод је предложио задржавање два фактора. Међутим, даља анализа је показала да модел са два фактора није задовољавајући. Поузданим показатељем адекватности предложеног факторског модела са аспекта броја издвојених фактора сматра се корен средње квадратне вредности резидуала *RMSR* (енгл. *Root Mean Square of Residuals*) [317]. *RMSR* у датом случају има вредност 0,1203, што је веће од граничне вредности за дати скуп података (0,1085), коју софтвер рачуна на основу Келијевог критеријума [318]. То показује да два фактора нису довољна, односно да је потребно издвојити додатне факторе да би се добио адекватан модел. Са друге стране, модел са три издвојена фактора дао је задовољавајућу вредност *RMSR* од 0,0599.

Екстракција фактора на основу матрице полихоричних корелација спроведена је применом методе непондерисаних најмањих квадрата – *ULS* (енгл. *Unweighted Least Squares*), што је у литератури препоручено [297, 301, 319]. Имајући у виду да је за дати тип истраживања очекивано постојање одређене корелације између фактора, у факторској анализи је примењена неортогонална (енгл. *oblique*) ротација фактора [287]. У питању је поступак ротације координатних оса у циљу добијања прегледније матрице факторских оптерећења (матрице склопа), која се једноставније интерпретира. Неортогонална ротација „не приморава“ факторе да буду у међусобној корелацији, већ добијене матрице интерфакторских корелација само пружају увид у постојање или одсуство такве корелације. Примењена су два типа ротације (*Promin* [320] и *Weighted Oblimin* [321]). После више итерација, на основу увида у матрице склопа и у вредности индекса симплицитности факторског оптерећења *LS* [322] (*Weighted Oblimin LS* = 0,71493, *Promin LS* = 0,73335), прихваћен је модел добијен *Promin* ротацијом фактора.

У првој итерацији ЕФА, матрица склопа (табела 9.6) указује на јасну структуру фактора. Кумулативна пропорција варијансе, коју на основу матрице полихоричних корелација објашњавају три фактора пре извршене ротације износи 67,512 %.

Табела 9.6 Резултати ЕФА – 1. итерација

МАТРИЦА СКЛОПА				КОМУ- НАЛИТЕТ	МАТРИЦА СТРУКТУРЕ			
Ставке	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3		Ставке	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
O ₁	0,034	0,033	0,871	0,758	O ₁	0,213	0,239	0,870
O ₂	0,006	0,180	0,903	0,765	O ₂	0,181	0,044	0,857
O ₃	0,030	0,068	0,781	0,577	O ₃	0,160	0,117	0,756
O ₄	0,096	0,236	0,276	0,203	O ₄	0,247	0,336	0,361
O ₅	0,002	0,022	0,710	0,496	O ₅	0,183	0,154	0,704
O ₇	0,051	0,132	0,723	0,614	O ₇	0,289	0,329	0,769
O ₈	0,037	0,135	0,540	0,334	O ₈	0,153	0,258	0,564
O ₉	0,027	0,788	0,039	0,652	O ₉	0,290	0,806	0,243
O ₁₀	0,065	0,807	0,078	0,729	O ₁₀	0,345	0,847	0,297
O ₁₁	0,148	0,800	0,119	0,696	O ₁₁	0,373	0,818	0,121
O ₁₂	0,068	0,893	0,044	0,783	O ₁₂	0,230	0,882	0,249
O ₁₃	0,815	0,028	0,071	0,652	O ₁₃	0,805	0,272	0,156
O ₁₄	0,867	0,232	0,007	0,679	O ₁₄	0,794	0,048	0,184
O ₁₅	0,723	0,037	0,099	0,592	O ₁₅	0,762	0,294	0,304
O ₁₆	0,686	0,182	0,007	0,580	O ₁₆	0,742	0,400	0,224
O ₁₇	0,096	0,778	0,019	0,561	O ₁₇	0,149	0,743	0,150
O ₁₈	0,096	0,887	0,010	0,746	O ₁₈	0,192	0,859	0,206
К. к.	2,461	4,327	3,629					
<p><i>Затамњене су вредности факторских оптерећења > 0,3.</i> <i>“К. к.” је карактеристични корен фактора.</i></p>								

Како се ЕФА заснива на анализи редуковане матрице, која дијагонално садржи вредности комуналитета, релевантан податак је удео сваког фактора у заједничкој (не укупној) варијанси, на који указују вредности карактеристичних корена [323], дати у табели 9.6. Међутим, у матрици је уочљиво да варијабла O₄ ни за један фактор нема факторско оптерећење веће од 0,3. Факторско оптерећење од 0,3 се сматра најмање ригорозном доњом границом прихватљивости [309], имајући у виду да се у литератури чешће наводи да би из факторске анализе требало искључити све променљиве чије је максимално факторско оптерећење мање од 0,4 [303]. Такође, ставка O₄ има низак комуналитет (0,203), што значи да три издвојена фактора објашњавају свега 20% њене варијансе. И матрица структуре, која се добија множењем матрице склопа са матрицом корелације фактора (табела 9.6), потврђује оправданост искључивања O₄ („*Рад са новом опремом је унапредио моја знања о карактеристикама различитих материјала*“) из даље анализе. Међуфакторске корелације у 1. итерацији су дате у табели 9.7.

Табела 9.7 Матрица факторских интеркорелација – 1. итерација

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Фактор 1	1		
Фактор 2	0,321	1	
Фактор 3	0,271	0,250	1

У другој итерацији (табела 9.8), где је из анализе искључена ставка O₄, кумулативна пропорција варијансе коју на основу матрице полихоричних корелација објашњавају три фактора пре ротације износила је 68,269 %. Међутим, ставка O₈ („*Рад са новом опремом*“)

је унапредио моје способности да изводим закључке на основу изведеног експеримента“), имала је низак комуналитет (0,323) и факторско оптерећење мање од 0,6.

Табела 9.8 Резултати ЕФА – 2. итерација

МАТРИЦА СКЛОПА				КОМУ- НАЛИТЕТ	МАТРИЦА СТРУКТУРЕ			
Ставке	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3		Ставке	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
O ₁	-0,029	0,049	0,882	0,786	O ₁	0,216	0,234	0,885
O ₂	-0,003	-0,160	0,892	0,758	O ₂	0,177	0,036	0,856
O ₃	-0,020	-0,056	0,694	0,461	O ₃	0,142	0,090	0,676
O ₅	-0,001	-0,004	0,662	0,437	O ₅	0,170	0,142	0,661
O ₇	0,067	0,149	0,728	0,637	O ₇	0,305	0,331	0,779
O ₈	-0,021	0,143	0,526	0,323	O ₈	0,162	0,252	0,552
O ₉	0,021	0,740	0,042	0,575	O ₉	0,271	0,757	0,211
O ₁₀	0,064	0,747	0,067	0,622	O ₁₀	0,323	0,783	0,248
O ₁₁	0,162	0,857	-0,126	0,808	O ₁₁	0,406	0,882	0,105
O ₁₂	-0,067	0,881	0,048	0,762	O ₁₂	0,230	0,870	0,224
O ₁₃	0,736	0,023	-0,065	0,532	O ₁₃	0,726	0,247	0,132
O ₁₄	0,780	-0,214	0,004	0,547	O ₁₄	0,712	0,038	0,159
O ₁₅	0,750	0,027	0,088	0,620	O ₁₅	0,782	0,288	0,289
O ₁₆	0,711	0,171	0,000	0,614	O ₁₆	0,767	0,401	0,222
O ₁₇	-0,092	0,786	-0,007	0,578	O ₁₇	0,160	0,755	0,143
O ₁₈	-0,090	0,882	0,024	0,744	O ₁₈	0,201	0,858	0,195
К. к.	2,273	4,179	3,353					
<i>Затамњене су вредности факторских оптерећења > 0,3. „К. к.“ је карактеристични корен фактора.</i>								

Међуфакторске корелације у 2. итерацији су дате у табели 9.10.

Табела 9.10 Матрица факторских интеркорелација – 2. итерација

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Фактор 1	1		
Фактор 2	0,323	1	
Фактор 3	0,260	0,220	1

У трећој итерацији (табела 9.11), где је из анализе искључена и ставка O₈, кумулативна пропорција варијансе коју објашњавају три фактора пре ротације износи 72,162 %. Као и у претходним итерацијама, корелација међу факторима постоји (табела 9.12), али је ниска, што искључује редундантност фактора. Факторска оптерећења свих варијабли су већа од 0,6 (само једно факторско оптерећење је мање од 0,7), већина комуналитета (11 од укупно 15) је већа 0,6, док је просечан комуналитет 0,653. Тиме су задовољена ригорозна ограничења која се односе на величину узорка. Вредност Бентлеровог индекса симплицитности S је 0,99802, док је вредност индекса симплицитности факторског оптерећења LS једнака 0,73335. Корен средње квадратне вредности резидуала $RMSR$ износи 0,0562 (гранична вредности за дати скуп података је 0,1085). На основу резултата ЕФА датих у табели 9.11, модел са три фактора, који укључује 15 варијабли (ставки у упитнику) се може прихватити као одговарајући.

Табела 9.11 Резултати ЕФА – 3. итерација

МАТРИЦА СКЛОПА				КОМУ- НАЛИТЕТ	МАТРИЦА СТРУКТУРЕ			
Ставке	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3		Ставке	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
O ₁	0,099	-0,030	0,867	0,778	O ₁	0,243	0,217	0,877
O ₂	-0,114	-0,016	0,919	0,815	O ₂	0,044	0,175	0,895
O ₃	-0,023	-0,021	0,735	0,527	O ₃	0,100	0,154	0,725
O ₅	0,03	0,002	0,702	0,501	O ₅	0,156	0,186	0,708
O ₇	0,168	0,067	0,640	0,510	O ₇	0,304	0,280	0,687
O ₉	0,790	0,029	0,045	0,655	O ₉	0,807	0,296	0,192
O ₁₀	0,805	0,068	0,088	0,723	O ₁₀	0,842	0,351	0,247
O ₁₁	0,783	0,154	-0,125	0,686	O ₁₁	0,810	0,377	0,053
O ₁₂	0,892	-0,059	0,042	0,779	O ₁₂	0,880	0,240	0,186
O ₁₃	0,018	0,793	-0,055	0,619	O ₁₃	0,265	0,785	0,144
O ₁₄	-0,218	0,780	0,021	0,552	O ₁₄	0,038	0,714	0,175
O ₁₅	0,027	0,747	0,081	0,609	O ₁₅	0,283	0,776	0,271
O ₁₆	0,171	0,714	-0,025	0,609	O ₁₆	0,398	0,764	0,183
O ₁₇	0,844	-0,091	-0,033	0,664	O ₁₇	0,809	0,175	0,095
O ₁₈	0,895	-0,093	0,027	0,763	O ₁₈	0,869	0,204	0,163
К. к.	4,340	2,352	3,099					
<i>Затамњене су вредности факторских оптерећења > 0,3. „К. к.“ је карактеристични корен фактора</i>								

Међуфакторске корелације у 3. итерацији су дате у табели 9.12.

Табела 9.12 Матрица факторских интеркорелација – 3. итерација

	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Фактор 1	1		
Фактор 2	0,324	1	
Фактор 3	0,178	0,248	1

Примена ЕФА је резултирала издвајањем три фактора (табела 9.13). ЕФА је, међутим, указала на то да се утицај фактора на креирање ставова разликује од претпостављене повезаности ставки са факторима. Наиме, одговори на питања 17 („*Рад са новом опремом је повећао моју мотивисаност за решавање инжењерских проблема.*“) и 18 („*Рад са новом опремом је унапредио моју вештину да учим на грешкама и решавам проблеме када опрема не функционише како треба.*“) имају високу корелацију са фактором 1 у табели 9.11 (Психомоторни домен), иако је иницијално претпостављено да се односе на афективни домен, односно фактор 2 у табели 9.11. Могло би се закључити да се синтагма „*инжењерски проблеми*“ од стране студената перцепира као отказ опреме, односно као ситуација у којој је неопходна интервенција која захтева одређене психомоторне вештине, као и да при попуњавају ове ставке у упитнику тај аспект доминира у односу на аспект „*мотивисаности*“, који би требало да се односи на афективни домен. Слично би се могло применити и при анализи одговора на 18. питање, где је у перцепцији испитаника синтагма „*опрема не функционише како треба*“ доминантна и самим тим су и одговори под утицајем фактора који се односи на психомоторни домен.

Табела 9.13 Структура груписаних података

Фактор 1: ПСИХОМОТОРНИ ДОМЕН	
O ₉	<i>Рад са новом опремом је унапредио моју вештину руковања лабораторијском опремом.</i>
O ₁₀	<i>Рад са новом опремом је унапредио моју вештину одабира правих алата и прибора.</i>
O ₁₁	<i>Рад са новом опремом је унапредио моју способност планирања експеримента.</i>
O ₁₂	<i>Рад са новом опремом је унапредио моје вештине физичког повезивања машинских елемената и склопова, као и електронских елемената опреме.</i>
O ₁₇	<i>Рад са новом опремом је повећао моју мотивисаност за решавање инжењерских проблема.</i>
O ₁₈	<i>Рад са новом опремом је унапредио моју вештину да учим на грешкама и решавам проблеме када опрема не функционише како треба.</i>
Фактор 2: АФЕКТИВНИ ДОМЕН	
O ₁₃	<i>Рад са новом опремом је унапредио моју способност за тимски рад.</i>
O ₁₄	<i>Рад са новом опремом је унапредио моје вештине комуникације.</i>
O ₁₅	<i>Рад са новом опремом је унапредио моју способност самосталног учења.</i>
O ₁₆	<i>Рад са новом опремом ми је донео задовољство због добијања сопствених резултата експеримента.</i>
Фактор 3: КОГНИТИВНИ ДОМЕН	
O ₁	<i>Рад са новом опремом унапредио је моје познавање теорије о којој сам слушао/ла на предавањима.</i>
O ₂	<i>Рад са новом опремом ми је помогао да боље разумем обрасце и зависности између физичких величина, о којима сам слушао/ла на предавањима.</i>
O ₃	<i>Рад са новом опремом ми је помогао да стекнем практична знања („осећај“) о реду величина сила и осталих физичких величина.</i>
O ₅	<i>Рад са новом опремом ми је помогао да лакше креирам и разумем дијаграме зависности између физичких величина.</i>
O ₇	<i>Рад са новом опремом је унапредио моје способности да анализирам резултате експеримента и дискутујем о њима.</i>

Приказана ЕФА је прилагођена ригорозним ограничењима која се односе на рад са мањим узорцима, те су у итеративном процесу елиминисане променљиве које угрожавају репрезентативност узорка и позданост резултата. Иако засновано на статистичким показатељима, доношење одлука у току спровођења ЕФА је усклађено и са претпоставкама које се односе на латентне утицаје на формирање ставова и груписање варијабли. Ставка O₆ („*Рад са новом опремом је унапредио моја знања о значају и аспектима безбедности руковања лабораторијском опремом.*“), која није укључена у анализу, имала је незадовољавајуће вредности мере репрезентативности узорка и других раније наведених критеријума и показала је недовољну повезаност са осталим варијаблама. То би се могло повезати са високим значајем који је дат безбедности руковања у фази успостављања и анализе захтева и оптимизације конструкције уређаја и учила, што је умањило потребу да се тај аспект детаљно обрађује при раду са оваквим типом лабораторијске опреме. Искључивање ставке O₄ („*Рад са новом опремом је унапредио моја знања о карактеристикама различитих материјала.*“) је повезано и са тим да у оквиру појединих вежби разматрање примењених материјала није било од већег значаја за наставну јединицу која се обрађује. Имајући у виду да је модел са три фактора подржао учешће кључних варијабли у оквиру когнитивног домена (фактор 3), може се сматрати да искључивање ставке O₈ („*Рад са новом опремом је унапредио моје*

способности да изводим закључке на основу изведеног експеримента.“) не угрожава информативност скале која се односи на когнитивни домен.

9.1.3. Анализа резултата истраживања

ЕФА је потврдила постојање три фактора. Како би се утврдило да ли се груписани подаци у даљој анализи могу третирали као засебне сумационе скале, израчунати су показатељи који се односе на једнодимензионалност и унутрашњу сагласност група података.

У складу са методологијом описаном у [324, 325], применом *MRFA* у софтверском пакету *FACTOR*, спроведена је анализа података по групама, како би се установило да ли у свакој од три издвојене групе постоји само један доминантни фактор, што би указивало на то да се подаци могу сматрати једнодимензионалним, односно третирали као сумационе скале. Анализа се заснива на претпостављеном бифакторском моделу, како би се утврдило у којој мери је један фактор доминантан, при чему се утицај свих осталих фактора групише [326].

Мада проценат објашњене заједничке варијансе *ECV* (енгл. *explained common variance*) представља меру доминантности једног фактора која би требало да има вредност већу од 0,7 [327], он сам по себи не искључује могућност постојања мултидимензионалности. Стога је у анализу потребно укључити и друге показатеље. Како би се установило у којој мери појединачне ставке доприносе одступању од једнодимензионалности, посматра се апсолутно факторско оптерећење резидуала, односно оптерећења које ставка има у односу на други фактор. Аритметичка средина ових вредности *MIREAL* (енгл. *mean item residual absolute loadings*) представља меру одступања од једнодимензионалности на нивоу целе групе. Препоручено је да би ова вредност код једнодимензионалних података требало да буде мања од 0,3. Такође, један од показатеља је и коефицијент конгруенције између матрице факторских оптерећења претпостављеног модела и матрице идеалног једнодимензионалног модела *UniCo* [328], чија вредност би требало да буде већа од 0,95. У табели 9.14 су дате вредности наведених показатеља за све три групе података.

Табела 9.14 Показатељи једнодимензионалности груписаних података

	Критеријум	Психомоторни домен	Афективни домен	Когнитивни домен
UniCo	>0,95	0,989	0,969	0,984
ECV	≥0,70	0,891	0,799	0,890
MIREAL	<0,30	0,292	0,418	0,254

Показатељи у табели 9.14 указују на једнодимензионалност сваке од три групе података, имајући у виду да је једино вредност *MIREAL* за афективни домен већа од препоручене.

Имајући у виду да се дате групе података могу сматрати једнодимензионалним, испуњен је услов да се провера унутрашње сагласности појединачних скала изврши израчунавањем Кронбаховог коефицијента α [329]. Вредност коефицијента α се сматра добром уколико је већа од 0,8 и одличном уколико је већа од 0,9, а није задовољавајућа уколико је мања од 0,7 [330, 331]. При томе, коефицијент α показује тенденцију увећања када се број ставки увећава, па очекиване вредности за скале са неколико ставки су мање од вредности које би требало да буду достигнуте у скалама са већим бројем ставки [329]. Резултати у табели 9.15, добијени коришћењем софтверског пакета *SPSS*, садрже и корелацију између ставки и укупног скорa, која је коригована тако што је из укупног скорa искључена ставка за коју се коефицијент корелација израчунава. Ова вредност указује на дикриминативност, односно осетљивост ставки, која не би требало да буде мања

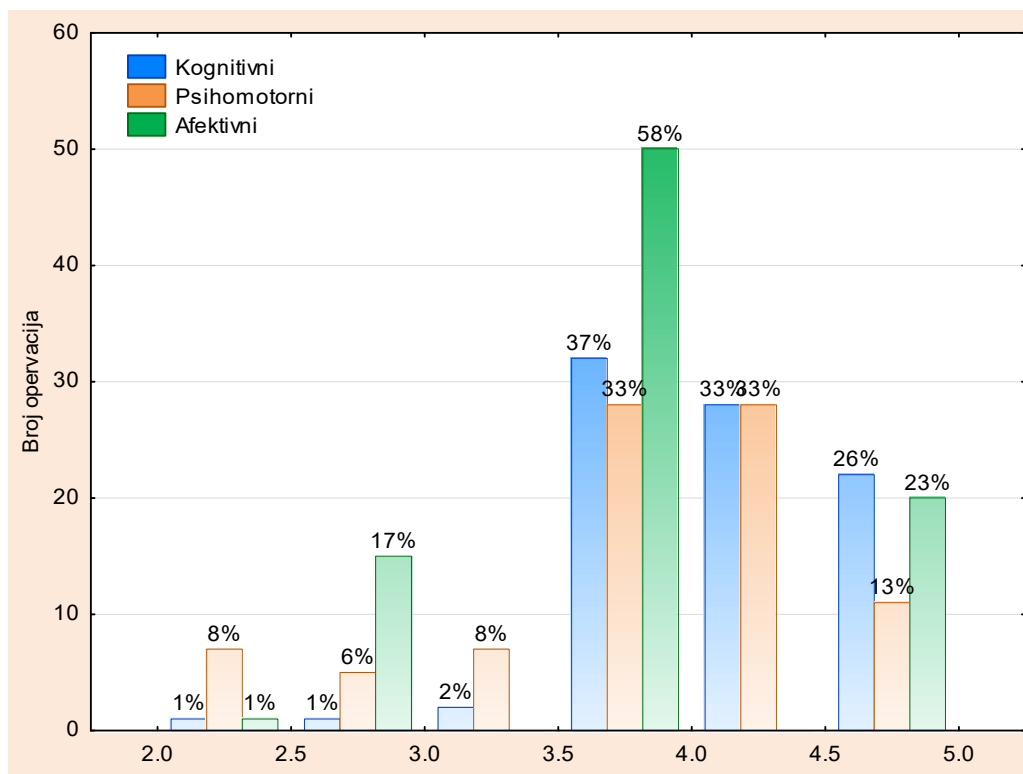
од 0,3, али ни већа од 0,8, јер у том случају може указивати на редувантност ставке, уколико је њена дискриминативност упадљиво виша од осталих [332]. Промена коефицијента α уколико се ставка уклони не би требало да буде позитивна, јер би увећање вредности α значило да се унутрашња сагласност скале побољшава по избацивању дате ставке.

Табела 9.15 Унутрашња сагласност скала

	Ставка	Коригована корелација између ставке и укупног скорa	Вредност α у случају уклањања ставке
Психомоторни домен $\alpha=0,919$	O ₉	0,739	0,909
	O ₁₀	0,794	0,901
	O ₁₁	0,807	0,899
	O ₁₂	0,804	0,900
	O ₁₇	0,707	0,913
	O ₁₈	0,773	0,904
Афективни домен $\alpha=0,802$	O ₁₃	0,649	0,737
	O ₁₄	0,623	0,750
	O ₁₅	0,612	0,755
	O ₁₆	0,599	0,766
Когнитивни домен $\alpha=0,829$	O ₁	0,688	0,777
	O ₂	0,666	0,785
	O ₃	0,575	0,809
	O ₅	0,604	0,802
	O ₇	0,602	0,802

Вредности α су високе за сва три домена, што потврђује унутрашњу сагласност све три скале. Високе кориговане корелације између ставки и укупног скорa психомоторног домена, иако уједначене, могле би указивати на редувантност ставки, односно упућивати на разматрање могућности редуковања њиховог броја.

Претходне анализе су показале да се све три групе података могу сматрати једнодимензионалним, са високим степеном унутрашње сагласности, тако да се могу третирати као засебне сумационе скале, што дозвољава рачунање просечних оцена по студенту, за сваку од три групе података. На тај начин факторски скорови се директно одређују, као статистички показатељи самопроцене исхода учења после реализације циклуса лабораторијских вежби заснованих на раду са новим уређајима и училима. На слици 9.3 су упоредно приказани хистограми, којима су придружени и подаци о релативним фреквенцијама просечних оцена за све три скале.



Слика 9.3 Хистограми скорова (просечних оцена) по доменима (скалама)

Вредност већу од 3,50 има 96% просечних оцена у оквиру когнитивног домена, 79% просечних оцена у оквиру психомоторног домена и 81% просечних оцена у оквиру афективног домена. У афективном домену, највећи број просечних оцена се креће у интервалу од 3,50 до 4,00, док у когнитивном и психомоторном просечне оцене у највећем броју припадају ширем интервалу од 3,50 до 4,50. Моде су за сва три домена једнаке (4), док је медијана за когнитивни домен (4,20) нешто већа од медијана за психомоторни и афективни домен, које су једнаке (4,00). Резултати, генерално, указују на позитивне ефекте увођења нове лабораторијске опреме, односно на то да је велика већина студената, у просеку, задовољна радом у мањим групама на новим уређајима и училима.

9.2. ПРОЦЕНА ИСХОДА УЧЕЊА ЗАСНОВАНОГ НА САМОСТАЛНОМ ИЗВОЂЕЊУ ЕКСПЕРИМЕНТА

9.2.4. Методологија

Увођење уређаја малих габарита, који су развијени на Факултету инжењерских наука, омогућило је да се групе од 20 до 30 студената поделе на више мањих група. Истраживање, чији резултати су анализирани у потпоглављу 9.1, је указало на позитивне ефекте редизајнирања процеса лабораторијских вежби, али и на могућности кориговања упитника, односно редуковања броја ставки у циљу ефикаснијег спровођења анкетирања студената и фокусирања на најзначајније циљеве вежби. Нови упитник је конципиран са циљем да се квантификују ефекти следећег корака у унапређењу процеса лабораторијских вежби, заснованог на самосталном извођењу експеримената на лабораторијским сетовима модуларног типа.

У првој фази примене модуларних сетова дефинисани су циљеви, чије остварење би представљало базу за даље унапређење процеса лабораторијских вежби, увођење нових

метода и постављање додатних циљева. Основни циљеви примене принципа модуларности при пројектовању уређаја и учила обухватили су:

- омогућавање студентима да самостално рукују лабораторијском опремом,
- унапређење психомоторних вештина и стицање самопоуздања при руковању лабораторијском опремом,
- демонстрирање физичких закона,
- повезивање фундаменталних теоријских принципа са реалним инжењерским системима,
- суштинско разумевање наставних јединица обрађених током теоријских предавања и аудиторних вежби,
- омогућавање адекватног приказа и анализе резултата,
- повећање мотивисаности за учење,
- омогућавање учења на грешкама.

Како би се квантификовало задовољство студената увођењем модуларних сетова који су омогућили самостално извођење експеримената применом модуларних учила и уређаја, током школске 2021/2022. године на Факултету инжењерских наука је спроведено истраживање путем анкете.

9.2.4.1. Инструмент истраживања

Ставке у упитнику (питања у форми афирмативних тврдњи) су прилагођене претходно наведеним циљевима. Одговори су усклађени са петостепеном скалом (понуђене су оцене на скали од 1 до 5). Студенти су упитник (Прилог 5) попуњавали анонимно, у штампаној форми. После сваког питања дата је опција уписивања коментара.

Формулисано је девет питања у облику афирмативних тврдњи: Извођење лабораторијских вежби ми је помогло...

T1 – ... да боље разумем теоријски део наставе (предавања и аудиторне вежбе) из одговарајућих области.

T2 – ... да повежем шематске приказе са функционисањем реалних механичких система.

T3 – ... да боље разумем обрасце (зависности између физичких величина).

T4 – ... да стекнем/унапредим практична знања о физичким величинама и њиховим јединицама (нпр. распон у ком се крећу вредности коефицијента трења, ред величине појединих сила и др.)

T5 – ... да боље разумем дијаграме зависности између физичких величина.

T6 – ... у анализирању резултата експеримената.

T7 – ... да унапредим вештину руковања лабораторијском опремом.

T8 – ... да будем мотивисанији/а за учење.

T9 – ... да учим на грешкама.

9.2.4.2. Узорак испитаника

Узорак на којем је вршено истраживање припада популацији студената који су похађали часове лабораторијских вежби на Факултету инжењерских наука на уређајима модуларног типа, намењеним самосталном извођењу експеримената. Укупан број испитаника је био 62, од чега 41% чине испитаници женског пола, што одговара полној структури студената дате популације у време спровођења анкете.

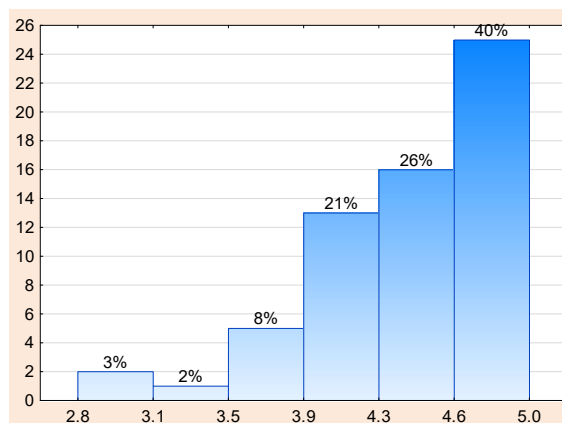
9.2.5. Статистичка анализа добијених података

Дескриптивна статистика оцена по ставкама (табела 9.16). указују на то да код свих девет ставки свега 25 % оцена (Q_1) има вредност мању или једнаку 4. Мода је код свих ставки осим O_5 једнака 5. Оцене по ставкама су означене са O_i , где је i редни број ставке (афирмативне тврдње). Будући да се скала може сматрати сумационом, јер је упитник заснован на постојању једне заједничке димензије („у којој мери су вежбе помогле да...“), израчунате су просечне оцене по студенту (O_{sr}). Провера унутрашње сагласности скале извршена је израчунавањем Кронбаховог коефицијента α [329], чија је добијена вредност 0,84. Вредност коефицијента α се сматра добром уколико је већа од 0,8 и одличном уколико је већа од 0,9, а није задовољавајућа уколико је мања од 0,7 [330, 331]. Резултати добијени коришћењем софтверског пакета *SPSS* су показали да нема редундантних ставки. Промена коефицијента α уколико се ставка уклони је позитивна само су услучају ставке O_7 , али је реда величине свега 0,001.

Табела 9.16 Квартили и моде оцена по ставкама и просечних оцена по студенту

	Квартили			
	Q_1	Медијана	Q_2	Мода
O_1	5.0	5.0	5.0	5.0
O_2	4.0	5.0	5.0	5.0
O_3	4.0	4.5	5.0	5.0
O_4	4.0	4.0	5.0	5.0
O_5	4.0	4.0	5.0	4.0
O_6	4.0	5.0	5.0	5.0
O_7	4.0	5.0	5.0	5.0
O_8	4.0	5.0	5.0	5.0
O_9	4.0	5.0	5.0	5.0
O_{sr}	4.1	4.5	5.0	5.0

Подаци у табели 9.16 показују да је свега 25% (Q_1) средњих оцена по студенту мање или једнако 4,1 а хистограм (слика 9.4) илуструје да је 95% просечних оцена веће од 3,5, односно да је 87% просечних оцена веће од 3,9.



Слика 9.4 Расподела фреквенција средње оцене по студенту

Како би се на нивоу целог узорка упоредио утицај појединачних ставки на просечну оцену, спроведена је регресиона анализа заснована на мултипликативном моделу облика:

$$O_{sr} = O_1^{C_1} \cdot O_2^{C_2} \cdot O_3^{C_3} \cdot O_4^{C_4} \cdot O_5^{C_5} \cdot O_6^{C_6} \cdot O_7^{C_7} \cdot O_8^{C_8} \cdot O_9^{C_9} \quad (40)$$

Применом датог модела, дефинисаног изразом (40), просечна оцена се посматра у вишедимензионалном простору, где промене вредности девет независних променљивих утичу, свака у различитој мери, на промене вредности зависне променљиве. При томе су све променљиве засноване на критеријуму „више је боље“, а експоненти имају улогу тежинских коефицијената [333]. Тумачење вредности коефицијената у мултипликативном моделу је једноставно: 1% промене вредности независне променљиве O_i резултује променом од $C_i\%$ вредности зависне променљиве. Збир свих коефицијената C_i би требало да буде једнак 1 (100%). Регресиона једначина на тај начин постаје својеврсна “*post hoc*” процена тежинских коефицијената сваке ставке у упитнику.

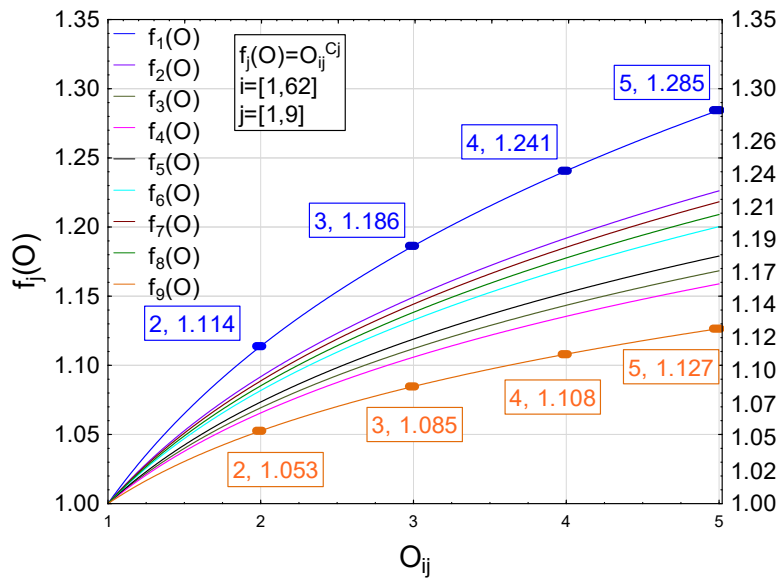
Анализа је извршена у софтверском пакету *Statistica*. Коефицијент вишеструке корелације (R) износи 0,998, док коефицијент детерминације (R^2) износи 0,995, што значи да дати модел објашњава 99,5% варијабилитета зависне променљиве O_{sr} .

Вредности коефицијената које је предвидела регресија су дати у табели 9.17. Увидом у тачкасти дијаграм резидуала у односу на прогнозиране вредности закључено је да је задовољена претпоставка о хомоскедатичности. У питању је нелинеарна естимација, која је робустна у односу на одступање расподеле резидуала у односу на нормалну расподелу [207]. Статистички тестови се, дакле, могу сматрати поузданим. Сви коефицијенти су статистички значајни, што показују вредности p за t тест, чија је нулта хипотеза да су коефицијенти једнаки нули.

Табела 9.17 Резултати регресије засноване на мултипликативном моделу

	Коефицијенти		Статистичка значајност		Границе интервала поверења за B (95%)	
	B	Стандардна грешка	t	p	Доња	Горња
O_1	0,185154	0,010315	17,94991	0,000000	0,164464	0,205843
O_2	0,112753	0,010954	10,29363	0,000000	0,090783	0,134723
O_3	0,101161	0,006515	15,52643	0,000000	0,088093	0,114229
O_4	0,100464	0,008884	11,30805	0,000000	0,082645	0,118284
O_5	0,106389	0,008508	12,50534	0,000000	0,089325	0,123453
O_6	0,112689	0,009278	12,14549	0,000000	0,094079	0,131299
O_7	0,130257	0,007819	16,65810	0,000000	0,114573	0,145941
O_8	0,083179	0,004418	18,82743	0,000000	0,074317	0,092040
O_9	0,068419	0,005761	11,87645	0,000000	0,056864	0,079974

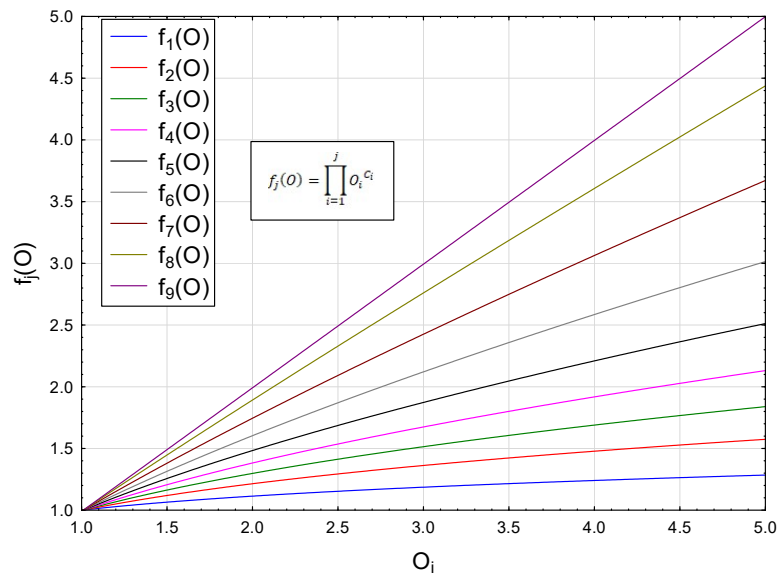
Вредности коефицијената указују на то да се утицај оцена по ставкама разликује. Највећу промену (18,5%) у вредности зависне променљиве (просечне оцене) изазваће промена од 1% вредности независне променљиве (оцене) O_1 , док ће најмању промену (6,8%) у вредности зависне променљиве (просечне оцене) изазвати промена од 1% вредности независне променљиве (оцене) O_1 . То се може илустровати графицима функција у којима су експоненти једнаки коефицијентима C које је предвидела регресија (слика 9.5).



Слика 9.5 Графици експоненцијалних функција облика $f_j(O) = O_{ij}^{C_j}$

На слици 9.5 су издвојене вредности које на скали од 1 до 5 могу узети оцене O_1 и O_9 , јер су у питању ставке са највећим и најмањим коефицијентом, респективно. Тако ће, примера ради, у случају да обе оцене имају вредност 5, вредност одговарајуће функције за O_1 бити 1,285, док ће вредност одговарајуће функције за O_9 бити 1,127.

Уколико би се дати мултипликативни модел „градио“ постепено, додавањем једне по једне парцијалне функције у производ, графички приказ (слика 9.6) би показао степен у ком се мења облик и нагиб графика, који је у коначном облику веома близак правој линији. То је очекивано, имајући у виду високу вредност коефицијента вишеструке корелације $R(0,998)$, која указује на то да регресиони модел веома блиско апроксимира линеарну зависност која постоји између девет зависних променљивих и независне променљиве, као просечне вредности.

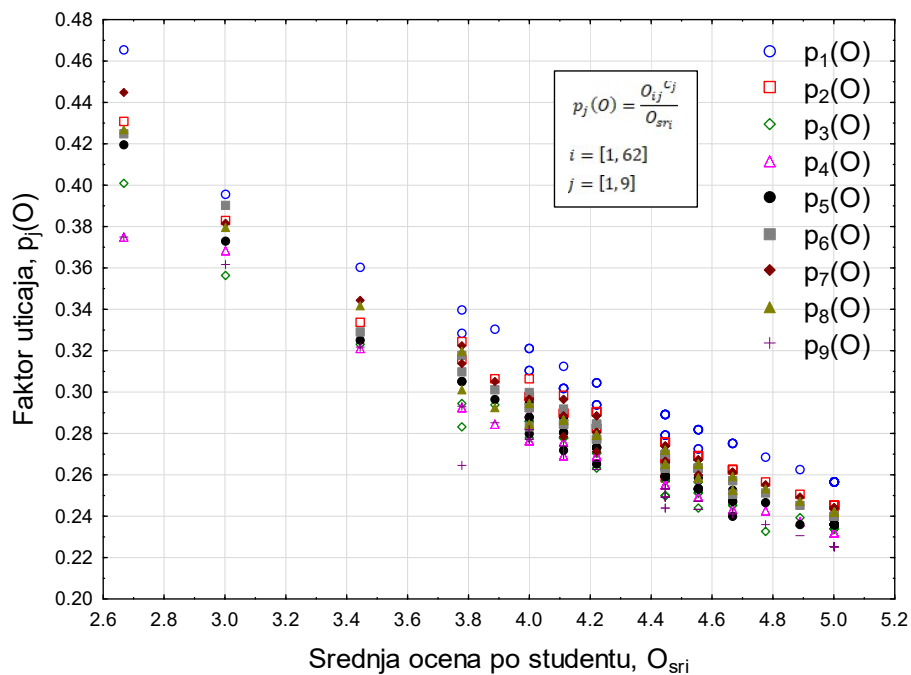


Слика 9.6 Функције облика $f_j(O) = \prod_{i=1}^j O_i^{C_i}$

На основу функција $f_j(O) = O_{ij}^{C_j}$ могуће је одредити фактор утицаја (p) сваке независне променљиве на зависну променљиву у мултипликативном моделу, као удео у њеној вредности, применом формуле (41):

$$p_j(O) = \frac{O_{ij}^{C_j}}{O_{sr_i}}, \quad (41)$$

где i узима вредности од 1 до 62 (редни број студента), а j означава број ставке. На слици 9.7 је приказано како се фактори утицаја сваке од девет ставки мењају у зависности од вредности средње оцене по студенту.



Слика 9.7 Фактори утицаја оцена по ставкама на просечну оцену по студенту.

Мултипликативни модел је омогућио анализу података са аспекта нивоа утицаја промена у вредностима оцена по ставкама на вредност средње оцене по студенту. Нивои утицаја појединачних ставки кореспондирају вредностима коефицијената које је предвидела нелинеарна регресија. Највећи утицај имају оцене које се односе на степен у којем су вежбе помогле бољем разумевању теорије (O_1 , $C_1=0,185$), а затим и оцене које се односе на унапређење вештине руковања (O_7 , $C_7=0,130$). Коефицијенти оцена $O_3 \div O_6$, које се односе на повезивање шематских приказа са функционисањем реалних механичких система, разумевањем образаца, развијањем „осећаја“ за ред величине физичких величина, разумевање дијаграма и анализирање резултата експеримента, крећу се у интервалу $0,100 \div 0,113$. Мањи утицај на просечну оцену по студенту имају промене оцена за ставку O_8 ($C_8=0,083$), која се односи на повећање мотивације за учење, а најмањи је утицај оцена за ставку O_9 ($C_9=0,083$), која се односи на учење на грешкама.

9.2.6. Анализа и синтеза коментара студената у упитнику

Упитник је био конципиран тако да је после сваког питања студентима дата опција уписивања коментара. Коментаре је уписало 20 студената (32%), а у највећем броју (20 коментара) су се односили на прво питање у упитнику. У наставку су наведени поједини

коментари (сажети на основу сличности садржаја), који су придружени одговарајућој афирмативној тврдњи.

T1 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да боље разумем теоријски део наставе (предавања) и аудиторне вежбе из одговарајућих области.

Студенти сматрају да им је извођење експеримената „помогло да повежу теоријско знање са реалним проблемима“, „допринело у великој мери разумевању наставе“, до мишљења да су лабораторијске вежбе „круцијалне за разумевање теоријског дела наставе“.

Када су у питању конкретни типови лабораторијских сетова, коментари су указивали на то да прва афирмативна тврдња „највише важи за Механику“ и да је „интересантно видети греду и како се оптерећује различитим теговима.“, јер „студенти прво треба да се упознају са теоријом, онда експериментом, па тек онда са задацима.“

Неколико коментара се односило на то да овакав тип вежби „умногоме помаже да студент у глави успе да замисли цео процес, што полагање колоквијума олакшава за бар 50%.“, јер „не морамо сами да визуелизујемо, већ имамо визуелну репрезентацију“ и „лакше је када се оно што учимо на предавањима види уживо.“

Поједини коментари су се односили на лакше усвајање стручне терминологије: „У првој години сам имао проблем зато што често нисам разумео основне термине који се користе у машинству, тако да су ми лабораторијске вежбе помагале да схватим о чему су професори предали.“

Неколико коментара указало је на то да студенти лабораторијске вежбе повезују са појмовима „пракса“ и „практично“: „Слажем се са овим, јер теорија не значи много без праксе“, „Боље ми иде учење практичних него теоријских ствари“, „Сматрам да је веома битно да током школовања студенти имају више могућности да се сусрећу са практичним стварима.“

На значај увођења модуларних лабораторијских сетова за самостално извођење експеримената указује коментар „Мислим да у току досадашњих студија нисмо имали довољан број лабораторијских вежби, на којима смо сами изводили одговарајуће експерименте.“

T2 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да повежем теоријско знање и шематске приказе са изгледом и функционисањем реалних механичких система.

Коментари студената се могу сажети у став да „то доста значи“ јер се „лакше може схватити како нешто функционише“, а „шеме се заборављају уколико нисмо заправо видели на шта се односе“.

Када су у питању конкретни типови лабораторијских сетова, један од коментара се односио на предмет Механика 1: „Експеримент је добар пример за студенте прве године који долазе из разних школа и нису се сусрели са гредама, покретним и непокретним носачима.“

T3 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да боље разумем обрасце и зависности између физичких величина.

Коментари студената се могу сажети у став да експерименти „олакшавају учење образаца“. Док је у појединим коментарима записано „не памтим баи обрасце“ и да предзнање у смислу познавања физичких величина „недостаје великом броју студената“, било је и мишљења да тај аспект лабораторијских вежби није посебно

значајан јер „разумем већ постојеће обрасце, те не бих дала оцену 5“ или да вежбе у постојећој форми нису свима помогле у довољној мери: „Када бих више пута урадио неки експеримент сматрам да бих боље разумео“.

T4 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да стекнем/унапредим практична знања о физичким величинама и њиховим јединицама (нпр. распон у ком се крећу вредности коефицијента трења, ред величине појединих сила и др.)

Студенти који су оставили коментар сматрају да је „ово веома битна ставка“ јер се „неретко дешавају велике грешке“ и познавање распона у којем се крећу вредности појединих величина помаже студенту да уочи и „реши проблем“.

T5 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да лакше креирам и разумем дијаграме зависности између физичких величина.

Поред позитивног мишљења да извођење експеримената омогућава „да замислим и прикажем дијаграм“, изнет је и интересантан коментар да је „питање дискутабилно“ јер лабораторијске вежбе могу да помогну, али у којој мери ће помоћи „то зависи од студента“.

T6 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло у анализирању резултата експеримената.

Позитивним ставовима који се заснивају на томе да „су резултати одмах видљиви“, „све је опипљиво“ и „извођењем експеримента студент доста више размишља и долази до новијих идеја“, као и примеру који је наведен да када „на скали видимо како се казаљка помера, можемо лакше да разумемо и пратимо“ ток експеримента, придружен је и коментар који указује на то су студенти још увек „у периоду адаптирања“ на рад са модуларним сетовима па је „анализа новији појам“.

T7 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да унапредим вештину руковања лабораторијском опремом.

Изнета су позитивна мишљења, од тога да је у питању „енормни напредак“ до тога да је извођење лабораторијских вежби „значајно унапредило“ вештину руковања опремом, јер су се са појединим уређајима „први пут и срели на факултету“. Студенти су у коментарима акценат ставили на „уознавање са мерним инструментима и лабораторијским прибором“ јер је „током школовања било мало ситуација у којима смо имали прилику да користимо мерну опрему“ а сматрају да „сваки инжењер треба да зна да је употреби“. Један од коментара је гласио „Учествовање у лабораторијским вежбама је било најкорисније у читавом учењу“.

T8 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да будем мотивисанији/а за учење.

Генерално, реакције студената на ову афирмативну тврдњу најбоље репрезентује један од коментара: „Увек ми је било лакше и боље када видим практично оно што се учи из теорије, што ми самим тим повећава мотивацију за даље.“

У коментарима су наведени разлози због којих вежбе позитивно утичу на мотивисаност за учење, попут „визуелног приказа проблема“, „бољег разумевања теорије и задатака“, личног руковања, чињенице да је учење „занимљивије“ или „забавније“, као и да експерименти пружају могућност „истраживања и усавршавања и примене знања“.

Коментари студената су указивали и на то да мотивисаност за учење ипак додатно „зависи од предмета“, али и од тога да ли су вежбе „интересантне“.

T9 – Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да унапредим вештину учења на грешкама.

Према мишљењу студената „неке ствари се не могу уочити у теорији као у реалном окружењу“ и „увек се доста, чак и више научи на грешкама“, јер је „на папиру све идеално, а када се уживо види и изведе неки експеримент, тек тада се види колико ствари утиче на експеримент.“

Један од коментара односио се и на рад професора: „Прилично ми је значајно када професори указују на свој принцип размишљања и грешке током израде машина, али и на потенцијална места за грешке током извођења експеримента.“

Превалентна заступљеност високих оцена (4 и 5) које су студенти давали у упитнику указује на њихов позитиван став о ефектима увођења модуларних сетова који омогућавају самостално извођење експеримената. Стога се може рећи да коментар који је један од студената записао у упитнику репрезентује мишљење већине испитаника:

„Овакав начин рада је недостајао у нашем досадашњем начину учења и често смо о томе у оквиру групе причали. Надам се да ће овај начин учења заиста заживети на нашем факултету и помоћи будућим студентима и још више нас све мотивисати.“

10. ДИСКУСИЈА

Преглед литературних извора, од историјског аспекта улоге експеримента у развоју научног метода, а касније и у образовању инжењера, преко активирања „црвеног аларма“ у америчкој индустрији крајем 20. века и објављивања чувене „Боингове листе“ која је упозоравала да све мањи број младих инжењера влада вештинама неопходним за рад и сналажење у реалном инжењерству, до савремених научних публикација и докумената издатих од стране акредитационих тела, државних и међународних институција, указао је на трајну актуелност постојања нераскидиве везе између суштинског разумевања теоријских основа дисциплина у оквиру широког поља инжењерства и извођења експеримената.

Преглед тренутног стања у подручју истраживања је показао да су на универзитетима широм света препознати слични проблеми као они са којима се често суочава и домаће високо образовање у области инжењерства. Инжењерски факултети често имају проблем финансирања програма лабораторијских вежби, што, између осталог, обухвата и набавку лабораторијске опреме. Када набавка скупе опреме није могућа, неопходно је изналажење алтернативних начина да се опрема занови, односно да се и у условима ограничених ресурса, применом адекватних решења и метода, остваре планирани исходи учења.

У високом школству у техничко-технолошком пољу, према подацима у литератури и другим јавно доступним изворима, формирање малих група студената је неопходан услов за остваривање циљева лабораторијских вежби. Од те претпоставке се пошло када је пре десетак година на Факултету инжењерских наука започето развијање сопствене лабораторијске опреме, која се великим делом примењује у настави на свим нивоима студија и са различитим циљевима – од повезивања фундаменталних физичких принципа са реалним инжењерским системима до истраживачког рада. Резултат примене наведене опреме су и бројни публиковани научни радови. У настави, захваљујући примени наведене опреме, постигнуто је формирање мањих група студената у тимовима окупљеним око лабораторијских уређаја и учила малих димензија, са функцијама које јасно кореспондирају захтевима курикулума. Ефекти оваквог начина рада у лабораторијама су анализирани на основу анкете спроведене по завршетку циклуса извођења експеримената током школске 2018/2019. године. Поред студената Факултета инжењерских наука, анкетирани су и студенти Војне академије у Београду, Факултета техничких наука у Новом Саду и тадашње Високе техничке школе у Трстенику (данашњег Одсека Академије струковних студија Шумадија), јер су у питању установе којима је уступљен одређен број уређаја и на којима су методе у оквиру процеса лабораторијских вежби усклађене са методама примењеним на Факултету инжењерских наука. Укупан број анкетираних студената је 97. Циљ истраживања није био развој универзалног инструмента, већ експлоративна факторска анализа заснована на полихоричним корелацијама, са циљем да се утврди да ли постоји груписање 18 ставки у упитнику (18 питања у форми афирмативних тврдњи) у складу са когнитивним, психомоторним и афективним сазнајним доменом, који су дефинисани Блумовом таксономијом. Резултати су указали на то да се утицај фактора на креирање ставова разликује од претпостављене повезаности ставки са факторима. Реално стање, тј. груписање података, је статистички анализирано и, по доказивању једнодимензионалности, формиран су скорови три сумационе скале. Вредност већу од 3,50 има 96% просечних оцена у оквиру когнитивног домена, 79% просечних оцена у оквиру психомоторног домена и 81% просечних оцена у оквиру афективног домена. У афективном домену, највећи број просечних оцена се креће у интервалу од 3,50 до 4,00,

док у когнитивном и психомоторном просечне оцене у највећем броју припадају ширем интервалу од 3,50 до 4,50. Моде су за сва три домена једнаке (4), док је медијана за когнитивни домен (4,20) нешто већа од медијана за психомоторни и афективни домен, које су једнаке (4,00). Резултати указују на позитивне ефекте увођења нове лабораторијске опреме, односно на то да је велика већина студената, у просеку, задовољна радом у мањим групама на новим уређајима и училима.

Искуства стечена током развоја едукацијских и истраживачких уређаја на Факултету инжењерских наука у протеклих десет година генерисала су идеју развоја лабораторијских сетова чији дизајн би био заснован на принципу модуларности. У литератури постоје примери универзитетских лабораторија у којима су конфигурације хардвера и софтвера омогућиле примену принципа модуларности у настави из различитих области. Међутим, концепт модуларног пројектовања није нашао већу примену у сфери развоја едукацијске опреме, јер се у највећем броју случајева преузимају и комбинују готова решења. Познати произвођачи дидактичких система у понуди имају широк дијапазон модуларних сетова, али је у питању опрема високог професионалног нивоа, чија је конфигурација најчешће затвореног типа, односно мерни системи и други модули са чијом конструкцијом и функцијом би студенти такође требало да се упознају, често нису видљиви. Таква опрема је најчешће заступљена у сфери специјализације инжењера из појединих области или намењена само обуци за руковање одређеним системима. Њена цена, међутим, превазилази могућности већине техничких факултета који имају амбицију да обезбеде довољан број радних станица за самостално руковање опремом.

Анализи захтева курикулума, наставника и студената у вези са процесом лабораторијских вежби претходила је анализа утицаја улазног знања, коришћењем квантитативних показатеља и типа завршене средње школе. Анализирани су подаци за 3129 кандидата, који су полагали јединствен пријемни испит за упис на студијске програме Машинско инжењерство, Урбано инжењерство, Аутомобилско инжењерство и Војноиндустријско инжењерство. Утврђено је да не постоји значајна међузависност освојених бодова на пријемном испиту и успеха оствареног у средњој школи. Просечна оцена не пружа информацију о оцени из математике, нити о нивоу суштинског разумевања свих области из којих се тестира знање приликом полагања пријемног испита. Са друге стране, бодови на пријемном испиту су одраз претходног нивоа знања из области математике, уложеног труда у припремање за полагање пријемног испита, а у одређеном броју случајева свакако указују и на позитивне ефекте припремне наставе, која се сваке године организује на Факултету инжењерских наука. Анализа је такође показала да број бодова које ће кандидат остварити на пријемном испиту зависи, у извесној мери, од типа претходно завршене средње школе.

Како би се утврдила јачина и структура везе између појединих фактора и оцена добијених током студија, анализирани су подаци који се односе на 691 студента Машинског инжењерства са завршеним основним академским студијама (180 ЕСПБ). Имајући у виду да наведени студијски програм има осам различитих модула, за које се студенти опредељују у петом семестру, као и постојање изборних предмета, анализирани су само подаци у вези са 22 обавезна предмета, који су заједнички за све модуле. Вишеструка линеарна регресија је спроведена да би се утврдила јачина и структура везе између типа средње школе, успеха у средњој школи и броја бодова на пријемном испиту, на једној страни, и оцена добијених током студија, на другој страни. Дати модел објашњава 30% варијансе независне променљиве (просечне оцене на студијама), те није погодан за предвиђања, али се из њега могу извести статистички валидни закључци да

на просек оцена на студијама у највећој мери утиче просек оцена у средњој школи, затим број бодова на пријемном испиту, а најмање утиче тип средње школе.

Посматран са аспекта квантитативних показатеља нивоа знања и претходног школовања, скуп који чине студенти је, очекивано, нехомоген. Узимајући у обзир и несумњив утицај других, овде неистражених фактора на мотивацију за учење, намећу се питања која се односе на организацију наставе и на методе које је потребно применити, како би се остварили планирани исходи.

Потреба за унапређењем процеса лабораторијских вежби произилази и из захтева који долазе од стране наставника, имајући у виду да они улазе у интеракције са популацијом студената која је хетерогена, како са аспекта нивоа претходно стеченог знања, тако и са аспекта мотивисаности за учење, разноврсних стилова учења, различитих очекивања, али и по другим основама. Приликом спроведене анализе на Факултету инжењерских наука установљено је да постоји одређена група захтева које наставници исказују према припреми и извођењу лабораторијских вежби, који се односе на мотивацију студената у ери свеопште дигитализације, када је потребно омогућити да сав потребан материјал, од припреме лабораторијске вежбе, преко аквизиције података до чувања и анализе података, студенти имају у развијеном веб окружењу. Уочено је да наставници групишу захтеве у неколико специфичних праваца. Један је, условно речено, сет захтева који је повезан са хардверским делом система (модуларност, робустност, одржавање), други део је у вези са креирањем флексибилног и свеобухватног софтверског система за подршку (прикупљање података, анализа и сл.), док се трећа група захтева односи на остваривање одређених методолошких приступа (индивидуалан или групни рад, подршка, заједничко решавање проблема). Студентски захтеви су, попут захтева наставника, формулисани око неколико генералних праваца. Први обухвата једноставност, флексибилност и интуитивност опреме и софтвера, док се други односи на могућности чувања и анализе резултата. Такође је високо вреднован захтев за развојем комплетног интегрисаног окружења које ће садржати спој праксе и теоријских основа.

Додатно, на основу експлоатације постојеће лабораторијске опреме, прикупљани су захтеви који се односе на исказану потребу за додатном лабораторијском подршком настави из области Механике и Отпорности материјала. Током школске 2021/22. године спроведено је анкета међу студентима који су положили оба наведена предмета, са циљем да се утврди са којим наставним јединицама и проблемима у савладавању теоријског дела наставе треба да буду повезане функције учила. Од 50 подељених анкета, 47 одговора се односило на Механику 1, а 38 одговора се односило на предмет Отпорност материјала. Резултати су послужили као својеврсни елемент повратне спреге у унапређењу концепта лабораторијских вежби и развоју опреме чије функције би биле повезане са наставним јединицама у оквиру наведених предмета.

Наведени резултати анализа утицајних параметара и захтева стејкхолдера представљали су основу за развој модела заснованог на принципу модуларности, као и за развој веб платформе, као софтверске подршке моделу учења кроз самостално извођење експеримената и отварању могућности за креирање индивидуалних путања учења.

Узимајући у обзир и ограничења у смислу просторних ресурса, концепт модуларности је усвојен у ширем и у ужем смислу. У ширем смислу, модуларност омогућава једноставну промену конфигурације радних станица за студенте, а самим тим и промену конфигурације лабораторијског простора. То је остварено применом учила малих габарита и масе, која нису стационарна, лако су преносива, једноставна за подешавање основних поставки пре извођења експеримента, без специфичних захтева који се односе на напајања електричном енергијом, заштиту од вибрација, материјала и носивости

подлоге, мере безбедности и сл. Такође, таква учила су и сама флексибилна, променљиве конфигурације, са кратким временом припреме за извођење експеримента и са вишеструком наменом, што доводи до усвајања концепта модуларности у ужем смислу, који се односи на саму лабораторијску опрему. Аспект модуларности се, дакле, провлачи кроз целу вертикалу предложеног модела.

При развоју торијског концепта модуларних сетова узети су у обзир базични теоријски предмети у области машинства, односно предмети који дају неопходну теоријску базу младим инжењерима за рад и усавршавање у области машинског инжењерства, где, поред математике као основне научне дисциплине, спадају највећим делом предмети из области теоријске физике (статика, кинематика, динамика, теорија осцилација, механика флуида, термодинамика, оптика, електротехника, електроника) и хемије као базичне науке у области машинских материјала и електрохемијских обрада и процеса. Сви наведени базични теоријски предмети, при теоријском разматрању наставне материје полазе од координатног система (Декартов, поларни или систем генерисаних координата). Поља расподеле механичких напона и деформација, поља промене притиска флуида, електромагнетног поља, температурног поља и осталих поља расподеле физичких величина су функције координата. Теоријски и експериментално је доказано да је вредност неке физичке величине (нпр. силе, температуре, напона) функција координата и везана је за положај „тачке“ (тј. области дејства силе, топлотног извора и сл.) у простору у односу на посматрану „тачку“. У циљу приближавања теоријских законитости реалним техничким системима, концепт идејног решења модуларног сета, приказан на слици 7.1, базиран је на физичком моделу који омогућава посматрање различитих положаја које потребан број „тачака“ (елемената или функционалних целина), намењених одређеној лабораторијској вежби, може заузети у простору. При томе, произвољни функционални елемент може бити непомичан или се релативно померати или обртати по једној или више оса. Комбиновањем различитих положаја (позиција) више елемената и функционалних целина и њиховим релативним кретањем и обртањем једног у односу на други могу се симулирати и најсложенији процеси у широкој области машинског инжењерства. При томе, омогућава се експериментална верификација познатих теоријских законитости из базичних предмета у области машинства (математика, статика, кинематика, динамика, теорија осцилација, механика флуида, термодинамика, оптика, хемија, електротехника и електроника).

На основу изложеног теоријског концепта модуларног сета, техничко решење склопа базирано је на стандардним алуминијумским профилима са великим бројем технолошких база, које преко елемената растављивих веза омогућавају имплементацију великог броја стандардних машинских елемената и формирање функционалних целина. Приказано решење омогућава студенту да одреди (измери) корак завојнице завртња и да види (измери) да ручним завијањем завртња може остварити велике вредности сила. Такође, решење омогућава студенту да мери параметре везане за рад зупчастог преносника, трансформацију обртног у линеарно кретање, преносник типа зупчаник-зупчаста летва, пренос момента преко зупчастог каиша, различите типове котрљајних и линеарних лежајева и вођица, спојница, навртки и различите типове других елемената. На модуларном сету студенти ће применом дигиталног и аналогног помичног мерила, либеле, микрометарског мерила, компаратера са магнетним сталком и других стандардних мерних инструмената моћи да изврше мерења димензионе тачности, равности и паралелности површина и многа друга механичка мерења нивоа тачности до неколико стотих делова милиметра. Студенти ће на модуларном сету моћи да симулирају процес испитивања материјала на затезање, покидају полимерну струну и дефинишу Хуков дијаграм; да преко термо сонди и механичких мерила одреде утицај температура

на димензиону тачност; да симулирају рад хидрауличне пресе, мере ниво притиска и сила које се остварују преко хидрауличних и пнеуматских цилиндара итд.

Примена принципа модуларности при пројектовању учила била је заснована на:

- економичности (смањење укупних трошкова увођењем елемената који се добијају као производ *3D* штампе и применом стандардних елемената, мерних, погонских и осталих стандардних компоненти),
- технологичности (што више стандардних, доступних елемената; једноставна израда специјалних елемената),
- једноставности процеса монтаже/демонтаже, поправке и одржавања,
- лакоћи руковања,
- вишеструкој намени,
- вишеструкој примени одређених конструкционих решења,
- транспарентности („црне кутије“ се примењују само у случајевима када је то у функцији безбедности руковања или када су у питању готове компоненте затвореног типа),
- могућности тестирања и верификације примене сваке функције појединачно (могућност остваривања засебних функција без измена конфигурације или замена модула уз задржавање основне конфигурације),
- могућности надоградње, адаптације, модификације,
- дизајну (у смислу визуелне атрактивности).

Оптимизација је изведена са аспеката:

- могућности остваривања већег броја решења за извођење вежби у широкој области техничких наука;
- избора стандардних профила за носећу структуру са великим бројем технолошких база који, са аспекта геометријских вероватноћа, елиминишу велики број ограничења и стварају конструктивне и технолошке основе за велику флексибилност и потенцијал сета;
- прорачуна носеће структуре конструкције, неопходних за постизање одговарајуће чврстоће, стабилности и безбедности конструкције;
- прорачуна и избора узорака за испитивање (модела греда, конзола, носача, опруга, тегова и сл.);
- максималне примене стандардних елемената, мерних, погонских и осталих стандардних компоненти, уз минимизацију удела специјалних елемената и машинског рада;
- технолошке оптимизације елемената за спајање профила, што је изведено у циљу елиминисања великог броја релативно скувих специјалних елемената и њихове замене елементима који се добијају као производ *3D* штампе, у које се имплементирају елементи типа вијчане робе.

У случају да избор решења није заснован на *CAD* моделима, већ на изради прототипова, поређење и рангирање различитих прототипова, у циљу утврђивања оптималног решења са аспекта пројектаната, наставног особља и студената се може третирати као проблем вишекритеријумске оптимизације. Предложена је примена *AHP* методе за одређивање вектора тежине критеријума и модификоване *TOPSIS* методе за рангирање алтернатива, што је већ примењивано при развоју појединих уређаја на Факултету.

Имајући у виду да значајан аспект у креирању потпуне подршке лабораторијским вежбама представља систем за аквизицију, приказ и чување резултата лабораторијских мерења, а што проистиче и из анализе захтева, развијена је веб платформа као вишеслојна апликација, чијом применом се максимизирају предности које пружа веб окружење.

Дефинисана је архитектура система и изабран сет технологија који је робустан, отвореног је кода и најшире је применљив код развоја свих типова веб апликација. Затим су дефинисана три профила са припадајућим функционалностима: студент, професор, администратор. На основу дефинисаних овлашћења, сваки од одређених типова корисника се логује на систем.

Предложена платформа има више едукацијских и предагошких циљева и сходно томе у оквиру ње је организован материјал, како би на најбољи начин одговорила постављеним захтевима. Припрема за лабораторијске вежбе се заснива на моделу „обрнуте учионице који подразумева да студенти имају приступ текстуалним материјалима, слајдовима и видео презентацијама пре самих вежби, како би се упознали са теоријским основама вежбе, упутством за руковање опремом, током планираног експеримента и циљевима вежби. У образовању инжењера, обрнута учионица представља начин да се, измештањем презентовања теоријске основе вежби и упознавања са опремом и дизајном експеримента из лабораторија у онлајн простор, ослободе додатни термини у лабораторијама за примену метода активног учења и самостално руковање опремом. Пре извођења експеримента, студентима се сажето презентује садржај вежбе, даје упутство за припрему и извођење експеримента, као и за приступ онлајн платформи и унос података. Затим студенти врше одговарајуће припреме лабораторијске опреме и узорака и обављају мерења, а читав процес се одвија под надзором професора. Студентски налог омогућава унос резултата мерења и генерисање појединачних табеларних и графичких приказа, као резултата статистичке обраде коју обавља софтвер. Професор са свог корисничког налога иницира генерисање заједничког приказа резултата свих мерења, који се приказује на великом екрану, што представља прилику за упоредну анализу и дискусију. Начин на који се приказују резултати на екрану је битна компонента не само онлајн платформе, као подршке процесу лабораторијских вежби, већ и у ширем контексту предложеног модела, који промовише учење засновано на самосталном извођењу експеримента и чији циљеви су и унапређење способности које се односе на креирање и анализу дијаграмских приказа, доношење закључака и анализу резултата.

Имплементација предложеног модела у програм лабораторијских вежби је демонстрирана на примеру модуларног трибометра, који има бројне могућности надоградње и промена конфигурације, а у овом случају је примењен за одређивање статичког коефицијента трења клизања. Наведено учило представља један од примера примене принципа модуларности у пројектовању опреме.

Анализа ефеката примене предложеног модела била је заснована на самопроцени исхода учења при самосталном извођењу експеримента применом модуларних сетова и веб платформе. Анкетирани су 62 студента Факултета инжењерских наука, применом упитника заснованом на сумационој скали сачињеној од девет ставки (питања у форми афирмативних тврдњи). Анализа је показала да је свега 25% средњих оцена по студенту мање или једнако 4,1, односно да је 95% просечних оцена веће од 3,5. Како би се на нивоу целог узорка упоредио утицај појединачних ставки на просечну оцену, спроведена је регресиона анализа заснована на мултипликативном моделу. Применом датог модела просечна оцена се посматра у вишедимензионалном простору, где промене вредности девет независних променљивих утичу, свака у различитој мери, на промене вредности зависне променљиве. При томе су све променљиве засноване на критеријуму „више је боље“, а експоненти имају улогу тежинских коефицијената. Коефицијент вишеструке корелације (R) износи 0,998, док коефицијент детерминације (R^2) износи 0,995, што значи да дати модел објашњава 99,5% варијабилитета зависне променљиве. Мултипликативни модел је омогућио анализу података са аспекта нивоа утицаја промена у вредностима

оцена по ставкама на вредност средње оцене по студенту. Нивои утицаја појединачних ставки кореспондирају вредностима коефицијената које је предвидела нелинеарна регресија. Највећи утицај имају оцене које се односе на степен у којем су вежбе помогле бољем разумевању теорије, а затим и оцене које се односе на унапређење вештине руковања. Најмањи утицај на просечну оцену по студенту имају промене оцена за ставку која се односи на учење на грешкама.

Извршена је и анализа и синтеза коментара студената у оквиру упитника. Превалентна заступљеност високих оцена (4 и 5) које су студенти давали у упитнику указује на њихов позитиван став о ефектима увођења модуларних сетова који омогућавају самостално извођење експеримената. Стога се може рећи да коментар који је један од студената записао у упитнику репрезентује мишљење већине испитаника:

„Овакав начин рада је недостајао у нашем досадашњем начину учења и често смо о томе у оквиру групе причали. Надам се да ће овај начин учења заиста заживети на нашем факултету и помоћи будућим студентима и још више нас све мотивисати.“

О ефектима примене предложеног модела говоре и коментари инжењера – некадашњих студената Факултета инжењерских наука, као и професора активних у настави, са којима је обављен низ разговора (полуструктурираних интервјуа), како би се прикупила мишљења о развоју и примени модуларних лабораторијских сетова и предлози за даље унапређење. Из коментара алумнија, које је дало њих 11, после организоване презентације уређаја и учила, могу се издвојити:

„Невероватна јефтина и ефикасна приказана опрема, чији циљ није профит, већ подршка реалном образовању студената, што треба спустити и на ниво средњег образовања.“

„Сваки од модуларних сетова код студената развија скуп процедура и вештина које се активирају при решавању задатака и даје већи број могућих решења и проверу очекиваних резултата. Модуларни сетови омогућавају правилно разумевање решавања проблема.“

Обављени су полуструктурирани интервјуи са 35 наставника на Факултету инжењерских наука, укључујући и руководство, и анкетирање у писаној форми. Као једна од предности често је навођена могућност даљег развоја и надоградње, а сугестије припадника наставног особља су се у неколико случајева односиле на примену дигиталних уместо аналогних мерних система, што би повећало тачност, али и цену сетова, а било је и предлога да применом неког од стандардних софтвера студенти сами развијају програме за успостављање везе између мерења и његове оцене. Из низа позитивних коментара могу се издвојити:

„Предност коришћења модуларног сета учила огледа се у подизању нивоа заинтересованости ученика и студента за наставни процес, омогућава њихово активније учење, пружа већу разноврсност садржаја и метода у настави, омогућава лакше разумевање појединих феномена захваљујући јасним, динамичким и ефикаснијим презентацијама. Такође, помаже развијању вештина, даје већу креативност и већу мотивацију за учење.“

„Једноставност и модуларност учила омогућава студентима да изврше једноставне експерименте који потврђују теоријске поставке из неких фундаменталних дисциплина (механика, отпорност материјала, теорија експеримента), али и техничких дисциплина везаних за теорију експеримента. Очекивани исход употребе учила је стицање практичног искуства које није доступно на други начин, оспособљавање за дискусију

примене и реализације једноставних мерних система у учионици, као и припрема за пројектовање, израду и анализу техничких система који решавају проблеме на највишем нивоу.“

Тиме је заокружена анализа ставова стејкхолдера, чије су квантитативно и квалитативно изнете оцене о ефектима примене предложеног модела, заснованог на примени модуларних сетова учила уз примену веб платформе за аквизицију, похрањивање, обраду и приказ резултата, доминантно позитивне.

11. ЗАКЉУЧЦИ

У дисертацији је презентован модел за унапређење процеса лабораторијских вежби заснован на развоју и имплементацији модуларних лабораторијских сетова, са циљем да се студентима омогући самостално извођење експеримената, уз постизање максималних едукацијских и техно-економских ефеката. Циљ примене метода учења кроз самостално извођење експеримената на модуларним сетовима учила, као и одговарајуће софтверске подршке у веб окружењу, је стварање услова да студенти суштински схвате нераскидиву везу између фундаменталног теоријског знања, теорије експеримента и добре инжењерске конструкције.

Развоју модуларних сетова и пратеће веб платформе за унос, похрањивање, обраду и приказ резултата експеримената, претходили су опсежан преглед стања у подручју истраживања, анализа захтева заинтересованих страна и анализа јачине и структуре везе између утицајних параметара и квантитативних показатеља нивоа знања. Значај и улога експеримента у едукацији инжењера посматрани су најпре у ширем временском и просторном контексту и извршена је анализа и синтеза литературних података. У контексту садашњег тренутка, слика о могућим путањама унапређења наставног процеса у области инжењерства је формирана на основу искуства бројних универзитета у свету и искустава стечених на Факултету инжењерских наука, где се сопствена лабораторијска опрема развија већ дужи низ година.

Циљ аутора је био да пружи теоријски допринос изучавању могућности унапређења образовања, нарочито у техничко-технолошком пољу, кроз систематизацију података из великог броја литературних извора који се баве историјом науке, као засебном научном дисциплином, као и образовањем у области инжењерства и улогом експеримента у образовању инжењера. Додатно, намера аутора је да да теоријски допринос и кроз анализу и синтезу прикупљених информација на основу опсежног прегледа литературе која се бави методама, проблемима и могућностима унапређења процеса лабораторијских вежби.

Теоријски допринос докторске дисертације се огледа у развоју универзалног теоријског модела, заснованог на координатном систему, као полазној основи за теоријско разматрање наставне материје у оквиру базичних теоријских предмета и стручних усмеравајућих предмета у широкој области машинског инжењерства. Теоријски модел узима у обзир да поља расподеле механичких напона и деформација, поља промене притиска флуида, електромагнетног поља, температурног поља и осталих поља расподеле физичких величина су функције координата. Презентовани модел представља универзалну основу за развој модуларних система, односно конструкција које су компоноване претежно од стандардних елемената, па су самим тим флексибилне, реконфигурабилне и погодне за модификације и надоградњу.

На основу теоријског концепта модуларног сета, техничко решење учила базирано је на стандардним алуминијумским профилима са великим бројем технолошких база, које преко елемената растављивих веза омогућавају имплементацију великог броја стандардних машинских елемената и формирање функционалних целина. Постизањем реконфигурабилности радног простора остварена је и модуларност у ширем смислу.

На основу теоријског концепта модуларног сета, техничко решење учиња базирано је на стандардним алуминијумским профилима са великим бројем технолошких база, које преко елемената растављивих веза омогућавају имплементацију великог броја стандардних машинских елемената и формирање функционалних целина. Постизањем реконфигурабилности радног простора остварена је и модуларност у ширем смислу.

Принцип модуларности је, дакле, примењен на више нивоа: од модуларности саме конструкције учила, преко креирања и додавања нових модула као одговора на појединачне захтеве курикулума и студената, постизања реконфигурабилности лабораторијског радног простора, који на тај начин и сам постаје модуларан, до вишеслојне модуларне архитектуре веб апликације за аквизицију, обраду, приказ и управљање подацима, чијом применом су максимизирани предности које пружа веб окружење. Поред тога, развијена веб платформа наставнику омогућава да прати рад сваког студента, управља подацима и да, на основу тога, прилагођава програм и садржај вежби на нивоу појединачног студента, групе или целе генерације. У том смислу, предложени модел представља корак ближе концепту стварања индивидуалних путања учења за различите студенте.

У наставку се анализиране полазне хипотезе, дефинисане у уводном делу рада.

- I. Применом принципа модуларности могуће је створити услове (организационо, финансијски, технички и физички) да лабораторијске вежбе у процесу образовања инжењера, путем самосталног извођења експеримената од стране студената, допринесу унапређењу: теоријског знања, суштинског разумевања фундаменталних научних принципа, вештина руковања опремом, способности приказивања и анализе резултата експеримената.

Реализацијом и имплементацијом модуларних сетова у програм лабораторијских вежби доказано је да предложени модел представља технички изводљиво и економично решење, чијом применом је омогућено самостално руковање опремом од стране студената. У циљу унапређења приказа и анализе резултата експеримената развијена је веб апликација, која омогућава ефектно приказивање резултата и дискусију. Анализа ефеката имплементације модуларних лабораторијских сетова и пратеће веб платформе у програм лабораторијских вежби је показала да је постигнуто унапређење наставног процеса, о чему сведоче позитивне реакције свих стејкхолдера и анализа резултата самопроцене исхода учења, која је обухватила дефинисане циљеве лабораторијских вежби.

- II. Увођењем модуларних система (сетова), који се иначе примењују у многим областима технике, а нису у довољној мери присутни у области образовања, постићи ће се пуни техно-економски ефекти.

Развијени лабораторијски сетови су засновани на максималној примени стандардних механичких, погонских, мерних, пнеуматских, електронских и осталих компоненти, чиме су постигнути пуни техно-економски ефекти. Са теоријског и техничког аспекта, може се рећи да су могућности модуларног сета неисцрпне, како у смислу експерименталне верификације познатих теоријских законитости, тако и у смислу учења, од нивоа упознавања са стандардним машинским елементима до нивоа креирања,

анализе и испитивања реалних моделских машинских конструкција. Те могућности су само донекле испуњене досадашњим развојем лабораторијске опреме базиране на модуларном принципу, чије су појединачне функције (модули) развијане као одговор на испостављене захтеве заинтересованих страна.

III. Мотивисаност студената за самосталан истраживачки рад ће имати континуалан раст током извођења вежби на училима пројектованим по модуларном систему.

Поред високих оцена које су студенти дали при спровођењу анкете, у прилог потврђивању треће хипотезе говоре и бројни публиковани научни радови, али и семинарски и дипломски радови засновани на истраживањима спроведеним применом модуларних училиа.

Осим што студентима омогућава приступ лабораторијској опреми, како би у што већој мери самостално изводили вежбе, индивидуално или у малим групама, предложени модел омогућава наставнику да прати рад сваког студента и да управља подацима, што даље омогућава прилагођавање вежби на нивоу појединачног студента, групе или целе генерације. Тиме је направљен први корак ка креирању индивидуалних путања учења, као једног од циљева унапређења наставног процеса применом принципа модуларности.

Ограничења истраживања се односе на чињеницу да је презентовани модел примењен само на једном факултету, у оквиру једног студијског програма. Такође, истраживање је обављено по завршетку једног циклуса лабораторијских вежби, те би се у будућности требало усмерити и на лонгитудинална истраживања.

Будућа истраживања усмерена на популацију студената, а у вези са анализом перформанси током студија, требало би да укључе у анализу додатне променљиве (попут пола, нивоа образовања родитеља, социјалног статуса, изабраних предмета, модула, резултата психометријских анализа и сл.), примену хијерархијског приступа, као и анализу скупа којег чине студенти који су уписали, а нису завршили студије.

У будућој фази експлоатације, потребно је размотрити квалитативне критеријуме на основу којих би се вршило поређење модуларних сетова у зависности од процењене мере у којој су одговорили на захтеве студената, у смислу постизања суштинског разумевања наставних јединица са којима су повезане функције уређаја/учила и модуларна конфигурација сета. Критеријуми на основу којих би студенти поредили училиа би били засновани на њиховим захтевима у вези са разумевањем одређених наставних јединица или са конкретним проблемима које имају при решавању задатака, креирању дијаграма и сл. Применом одговарајућих метода, то би дало смернице за потребна унапређења или модификације, што је могуће извести управо захваљујући модуларној структури лабораторијске опреме.

Хардверске компоненте модела су свакако подложне даљим анализама и оцењивању, а оптимизација ни могла бити заснована на евентуалном редефинисању ограничења буџета, како би се, тамо где је то упутно, размотрило унапређење мерних система. Будућа истраживања треба усмерити и на развој модела за примену квантитативних показатеља исхода учења, што би, у комбинацији са психометријским истраживањима, представљало основу за даља унапређења модела. Са аспекта софтвера, даља истраживања треба да буду усмерена на превазилажење постојећих ограничења која се односе на аквизицију података, као и на унапређење корисничког искуства и могућности повезивања са другим системима за управљање подацима у оквиру процеса едукације.

LITERATURA

- [1] Lindberg DC. Science and its origins. In: *The beginnings of Western science : the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to AD. 1450*. Chicago: The University of Chicago; 1992. p.1–2.
- [2] Lindberg DC, Shank MH. Introduction. In: Lindberg DC, Shank MH. (eds.) *The Cambridge History of Science: Medieval Science*. New York: Cambridge University Press; 2013. p.7–8.
- [3] Kheirandish E. Footprints of "experiment" in early Arabic optics. *Early Science and Medicine*. 2009; 14(1-3):79–104. doi:10.1163/157338209x425515
- [4] Turner GL'E. Eighteenth-century scientific instruments and their makers In: Porter, R. (ed.) *The Cambridge history of science: eighteenth-century science*. New York: Cambridge University Press; 2008. p.511–535.
- [5] Kalman CS. Theoretical Science. In: *Successful Science and Engineering Teaching: Theoretical and Learning Perspectives*. Cham: Springer International Publishing; 2018. p.122–124.
- [6] Hall AR. Was Galileo a metaphysicist? In: Levere TH, Shea WR (eds.) *Nature, experiment, and the sciences: Essays on Galileo and the history of science in honour of Stillman Drake*. Dordrecht: Springer; 1990. p.105–121.
- [7] Home RW. Mechanics and Experimental Physics. In: Porter, R. (ed.) *The Cambridge history of science: Eighteenth-century science*. New York: Cambridge University Press; 2008. p.354–374.
- [8] Pantelić I. Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta. Novi Sad: Radnički univerzitet „Radivoj Čipranov“; 1976. str. 9–12.
- [9] Mcallister JW. Thought experiments and the belief in phenomena. *Philosophy of Science*. 2004;71(5):1164–75. doi:/10.1086/421421
- [10] Eastwood BS. A second look – On the continuity of western science from the Middle Ages: AC Crombie’s Augustine to Galileo. *Isis*. 1992;83(1):84–99. doi:10.1086/356027
- [11] Lindberg DC. The Legacy of Ancient and Medieval Science. In: *The beginnings of Western science : the European scientific tradition in philosophical, religious, and institutional context, 600 B.C. to AD. 1450*. Chicago: The University of Chicago; 1992. p. 358–359
- [12] Bunch B, Helleman A. Scientific method: measurement and communication 1660 through 1734. In: *The history of science and technology: a browser's guide to the great discoveries, inventions, and the people who made them, from the dawn of time to today*. Boston: Houghton Mifflin; 2004. p. 194–229
- [13] Reill PH. The legacy of the “Scientific revolution”: Science and the enlightenment. In: Porter, R. (ed.) *The Cambridge history of science: eighteenth-century science*. New York: Cambridge University Press; 2008. p.23–43.
- [14] Buchanan RA. The rise of scientific engineering in Britain. *The British Journal for the History of Science*. 1985;18(2):218–33. doi:10.1017/s0007087400022135
- [15] Bunch B, Helleman A. Science and technology in the 19th century: 1820 through 1894. In: *The history of science and technology: a browser's guide to the great discoveries, inventions, and the people who made them, from the dawn of time to today*. Boston: Houghton Mifflin; 2004. p. 308–437.
- [16] Shinn T. The Industry, Research, and Education Nexus. In: Nye MJ (ed.) *The Cambridge history of science: The modern physical and mathematical sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. p. 133–153.
- [17] Roser M, Ortiz-Ospina E. Literacy. <https://ourworldindata.org/literacy> [pristupljeno 15.06.2022].

- [18] Cameron, R. E. Education and Literacy. In: A concise economic history of the world: from Paleolithic times to the present. New York: Oxford University Press; 1993. p.219–220.
- [19] Jones C. Pioneers of racial development or proponents of subjugation? A biographical analysis of the Journal of Race Development [thesis on the Internet]. Rotterdam: Erasmus School of History, Culture and Communication; 2017. <https://thesis.eur.nl/pub/39309> [pristupljeno 20.06.2022].
- [20] Ringer FK. English an American comparisons. In: Education and Society in Modern Europe. Bloomington: Indiana University Press; 1979. pp. 206–259.
- [21] Roser M. Economic Growth. <https://ourworldindata.org/economic-growth> [pristupljeno 16.06.2022]
- [22] Cameron, R. E. Patterns of development: The early industrializers. In: A concise economic history of the world: from Paleolithic times to the present. New York: Oxford University Press; 1993. p.223–248.
- [23] Etzkowitz H. Enterprises from science: The origins of science-based regional economic development. *Minerva*. 1993;326–60. doi:10.1007/bf01098626
- [24] Froyd JE, Wankat PC, Smith KA. Five major shifts in 100 years of engineering education. *Proceedings of the IEEE*. 2012;100:1344–60. doi:10.1109/jproc.2012.2190167
- [25] Harris JG, DeLoatch EM, Grogan WR, Peden IC, Whinnery JR. Journal of engineering education round table: Reflections on the Grinter report. *Journal of Engineering Education*. 1994; 83(1):69–94. doi:10.1002/j.2168-9830.1994.tb00120.x
- [26] Gustavsson I, Nilsson K, Zackrisson J, Garcia-Zubia J, Hernandez-Jayo U, Nafalski A, et al. On objectives of instructional laboratories, individual assessment, and use of collaborative remote laboratories. *IEEE Transactions on learning technologies*. 2009; 2(4):263–274. doi: 10.1109/TLT.2009.42
- [27] Hofstein A, Lunetta V. The laboratory in science education: Foundations for the twenty first century. *Science education*. 2004;88(1):28–54. doi:10.1002/sce.10106
- [28] Wankat PC, Oreovicz FS. Teaching engineering – second edition. West Lafayette: Purdue University Press; 2015. https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1060&context=purduepress_ebooks
- [29] McMasters J, Komerath N. Boeing university relations – review and prospects for the future. In: Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, ASEE 2005, June 2005, Portland, Oregon, USA. Washington: ASEE; 2005. p. 10–265. doi:10.18260/1-2--14328
- [30] Accreditation Board for Engineering and Technology. <https://www.abet.org/> [pristupljeno 15.02.2022].
- [31] Accreditation Board for Engineering and Technology. ABET criteria for accrediting engineering programs, 2021–2022. <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2021-2022/> [pristupljeno 15.01.2022]
- [32] Accreditation Board for Engineering and Technology. ABET criteria for accrediting engineering programs, 2017–2018. <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2017-2018/> [pristupljeno 15.01.2022]
- [33] CDIO Initiative. <http://www.cdio.org/> [pristupljeno 16.01.2022].
- [34] American Society of Mechanical Engineers. Strategy Vision 2030. <https://www.asme.org/asme-programs/students-and-faculty/engineering-education/strategy-vision-2030> [pristupljeno 16.01.2022]

- [35] Kirkpatrick AT, Danielson S, Warrington RO, Smith RN, Thole KA, Kulacki A, et al. Vision 2030: Creating the future of mechanical engineering education, In: Proceedings of the 2011 American Society for Engineering Education, ASEE 2011, June 2011, Vancouver, Canada. Washington: ASEE; 2011; p.22–1667. doi:10.18260/1-2--18870
- [36] American Society of Mechanical Engineers, V2030 Research – Drivers, Data, Action and Advocacy. New York: ASME; 2013
https://community.asme.org/board_education/w/wiki/7883.asme-vision-2030-project.aspx [pristupljeno 16.01.2022].
- [37] The American Society of Mechanical Engineers. Vision 2030: Creating the Future of Mechanical Engineering Education – Executive Summary.
https://community.asme.org/board_education/w/wiki/7883.asme-vision-2030-project.aspx [pristupljeno 18.01.2022]
- [38] American Society for Engineering Education. TUEE – Transforming Undergraduate Education in Engineering, Phase II: Insights from Tomorrow’s Engineers, Workshop Report. Washington: ASEE. 2017.
https://monolith.asee.org/TUEE_PhaseI_WorkshopReport.pdf [pristupljeno 20.01.2022]
- [39] American Society for Engineering Education. TUEE – Transforming Undergraduate Education in Engineering, Phase IV: View of Faculty and Professional Societies, Workshop Report. Washington: ASEE. 2018.
https://aseecmsprod.azureedge.net/aseecmsprod/asee/media/content/member%20resources/pdfs/2018tueephase4_1.pdf [pristupljeno 21.01.2022].
- [40] American Society for Engineering Education. TUEE – Transforming Undergraduate Education in Engineering, Phase IV: View of Faculty and Professional Societies, Workshop Report. Washington: ASEE. 2018.
https://aseecmsprod.azureedge.net/aseecmsprod/asee/media/content/member%20resources/pdfs/2018tueephase4_1.pdf [pristupljeno 21.01.2022].
- [41] Jang H. Identifying 21st century STEM competencies using workplace data. *Journal of science education and technology*. 2016;25(2):284–301. doi:10.1007/s10956-015-9593-1
- [42] Hawse S, Wood LN. Fostering wise judgement: professional decisions in development programmes for early career engineers. *Journal of Vocational Education & Training*. 2018;70(2):297–312. doi:10.1080/13636820.2017.1410723
- [43] Passow HJ, Passow CH. What Competencies Should Undergraduate Engineering Programs Emphasize? A Systematic Review *Journal of Engineering Education* [Internet]. 2017;106(3):475–526. doi:10.1002/jee.20171
- [44] Shavelson RJ. On the measurement of competency. *Empirical research in vocational education and training*. 2010;2:41–63. doi:10.1007/bf03546488
- [45] Gonzalo AL, Perez J. 1992 and changes in the content and structure of engineering studies. *Eur J Educ*. 1989;24(4):389. doi:10.2307/1503307
- [46] European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAE). <https://www.enaee.eu/about-enaee/> [pristupljeno 11.03.2022].
- [47] ESCOpedia: Competence. <https://ec.europa.eu/esco/portal/escopedia/Competence> [pristupljeno 11.03.2022].
- [48] Europass: Opis osam nivoa EOK-a. <https://europa.eu/europass/sr/description-eight-efl-levels> [pristupljeno 12.03.2022].
- [49] The ESCO Classification. Occupations: Mechanical engineers. <http://data.europa.eu/esco/isco/C2144> [pristupljeno 12.03.2022].

- [50] The ESCO Classification. Occupations: Mechanical engineers – Manufacturing manager
<http://data.europa.eu/esco/occupation/6426ada1-4d8c-4612-99e3-91bc569805ee>
 [pristupljeno 12.03.2022].
- [51] EUR-ACE Standards and Guidelines for Accreditation of Engineering Programmes.
<https://www.enaee.eu/eur-ace-system/standards-and-guidelines/#standards-and-guidelines-for-accreditation-of-engineering-programmes> [pristupljeno 14.03.2022].
- [52] Nacionalni savet za visoko obrazovanje. Pravilnik o standardima i postupku za akreditaciju studijskih programa. 2019.
- [53] Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije – Sektor za razvoj i visoko obrazovanje, Nacionalni okvir kvalifikacija u Republici Srbiji. 2017.
- [54] International Engineering Alliance. (2021). Graduate attributes and professional competencies. Version 2021.1. <https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/IEA-Graduate-Attributes-and-Professional-Competencies-2021.1-Sept-2021.pdf>
 [pristupljeno 10.02.2022].
- [55] Ward R, Phillips O, Bowers D, Crick T, Davenport JH, Hanna P, et al. Towards a 21st century personalised learning skills taxonomy. In: Proceedings of the IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2021), April 2021, Vienna, Austria. Piscataway: IEEE; 2021. p.344–54. doi:10.1109/educon46332.2021.9453883
- [56] Engineering Council, Accreditation of Higher Education Programmes – AHEP, Fourth edition. 2020. <https://www.engc.org.uk/media/3464/ahep-fourth-edition.pdf>
 [pristupljeno 20.02.2022].
- [57] Engineering Council, The UK Standard for Professional Engineering Competence and Commitment – UK-SPEC, Fourth edition. 2020. <https://www.engc.org.uk/media/4338/uk-spec-v14-updated-hierarchy-and-rfr-june-2023.pdf> [pristupljeno 20.02.2022].
- [58] Bransford JD, Brown AL, Cocking RR. How people learn: Brain, mind, experience, and school. Washington: National Academy Press; 2000. <https://doi.org/10.17226/9853>
- [59] Heradio R, De La Torre L, Galan D, Cabrerizo F, Herrera-Viedma E, Dormido S. Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis. *Computers & Education*. 2016;98:14–38. doi:10.1016/j.compedu.2016.03.010
- [60] Edward NS. The role of laboratory work in engineering education: student and staff perceptions. *International Journal of Electrical Engineering Education*. 2002;39(1):11–9. doi:10.7227/ijeee.39.1.2
- [61] Krivickas RV, Krivickas J. Laboratory instruction in engineering education. *Global Journal of Engineering Education*. 2007;11(2):191–6.
- [62] Montes AJ, Castro HA, Riveros JA. How to motivate students to work in the laboratory: A new approach for an electrical machines laboratory. *IEEE Transactions on Education*. 2010;53(3):490–6. doi:10.1109/te.2009.2030790
- [63] The Institution of Engineering and Technology. Guidance on how to meet the Learning Outcome requirements for Accreditation. 2015. <https://www.theiet.org/media/6274/guidance-on-meeting-ahep-learning-outcomes.pdf>
 [pristupljeno 25.02.2022].
- [64] Winberg C, Bramhall M, Greenfield D, Rowlett L, Lewis P, Waldock O, et al. Developing employability in engineering education: a systematic review of the literature. *European Journal of Engineering Education*. 2020;45(2):165–80. doi:10.1080/03043797.2018.1534086
- [65] Colman B, Willmot P. How soft are ‘Soft Skills’ in the engineering profession?. Presented at 44th SEFI Conference, 12–15 September 2016, Tampere, Finland. 2016. <https://hdl.handle.net/2134/32656>

- [66] Biggs, J, Tang C. The changing scene in university teaching. In: Teaching for quality learning at university – third edition. Maidenhead: Open University Press, New York: McGraw-Hill Education; 2007. p.1–14.
- [67] Surgenor B, Firth K. The role of the laboratory in design engineering education. Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA). 2011; <http://dx.doi.org/10.24908/pceea.v0i0.3848>
- [68] Lindsay ED, Good MC. Effects of laboratory access modes upon learning outcomes. IEEE Transactions on Education. 2005;48(4):619–31. doi:10.1109/te.2005.852591
- [69] Abdulwahed M, Nagy ZK. Applying Kolb’s experiential learning cycle for laboratory education. Journal of Engineering Education. 2009;98(3):283–94. <http://dx.doi.org/10.1002/j.2168-9830.2009.tb01025.x>
- [70] Heise D. Asserting the inherent benefits of hands-on laboratory projects vs. computer simulations. Journal of Computing Sciences in Colleges. 2006;21(4):104–110.
- [71] Mcateer E, Neil D, Barr N, Brown M, Draper S, Henderson F. Simulation software in a life sciences practical laboratory. Computers & Education. 1996;26(1–3):101–12. doi:10.1016/0360-1315(96)00011-5
- [72] Stefanovic M, Cvijetkovic V, Matijevic M, Simic V. A LabVIEW-based remote laboratory experiments for control engineering education. Computer Applications in Engineering Education. 2011;19(3):538–549. doi:10.1002/cae.20334
- [73] MIT iLabs – Remote lab access. <http://web.mit.edu/edtech/casestudies/ilabs.html> [pristupljeno 23.03.2022].
- [74] McAfee M, Armstrong P, Cunningham G. Achieving Effective Learning in Engineering Laboratory Classes. In: Proceedings of the 5th International CDIO Conference, June 2009, Singapore. Polytechnic, Singapore; 2009. <http://cdio.org/knowledge-library/documents/achieving-effective-learning-engineering-laboratory-classes>
- [75] Recktenwald G, Edwards R. Guided inquiry laboratory exercises designed to develop qualitative reasoning skills in undergraduate engineering students. In: IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Oct. 2010, Arlington, USA; 2010. p. F3C-1-F3C-6. doi:10.1109/FIE.2010.5673577
- [76] Sundararajan S, Faidley LE, Meyer TR. Developing inquiry-based laboratory exercises for a mechanical engineering curriculum. In: 119th ASEE Annual Conference and Exposition, June 2012, San Antonio, USA; 2012. p.25.432.1–25.432.10. doi:10.18260/1-2--21190
- [77] Hofstein A. Laboratory work, forms of. In: Gunstone R. (ed.) Encyclopedia of science education. Dordrecht: Springer Netherlands; 2015. p. 563–566. doi:10.1007/978-94-007-2150-0_197
- [78] Cervin-Ellqvist M, Larsson D, Adawi T, Stöhr C, Negretti R. Metacognitive illusion or self-regulated learning? Assessing engineering students’ learning strategies against the backdrop of recent advances in cognitive science. Higher Education. 2021;82(3):477–98. doi:10.1007/s10734-020-00635-x
- [79] Dunlosky J, Rawson KA, Marsh EJ, Nathan MJ, Willingham DT. Improving Students’ Learning With Effective Learning Techniques. Psychological Science in the Public Interest. 2013;14(1):4–58. doi:10.1177/1529100612453266
- [80] Felder RM. Engineering education: A tale of two paradigms. In: McCabe B, Pantazidou M, Phillips D. (eds.) Shaking the Foundations of Geo-Engineering Education. Leiden: CRC Press; 2012. p. 9–14.
- [81] Lo CK, Hew KF. The impact of flipped classrooms on student achievement in engineering education: A meta-analysis of 10 years of research. Journal of Engineering Education. 2019; doi:10.1002/jee.20293

- [82] Gómez-Tejedor JA, Vidaurre A, Tort-Ausina I, Molina-Mateo J, Serrano MA, Meseguer-Dueñas JM, et al. Effectiveness of flip teaching on engineering students' performance in the physics lab. *Computers & Education*. 2020;144: p.103708. doi:10.1016/j.compedu.2019.103708
- [83] Saterbak A, Volz T, Wettergreen M. Advances in engineering education implementing and assessing a flipped classroom model for first-year engineering design. *Advances in Engineering Education*. 2016;5(3). <https://advances.asee.org/wp-content/uploads/vol05/issue03/Papers/AEE-19-Flipping-Saterbak.pdf>
- [84] Maalouf SR, Putzeys O. Blended statics: Finding an effective mix of traditional and flipped classrooms in an engineering mechanics course. In: *ASEE Virtual Annual Conference Content Access*, June 2020. doi:10.18260/1-2—34220
- [85] Johnson RT, Johnson DW. Active learning: Cooperation in the classroom. *The annual report of educational psychology in Japan*. 2008;47:29–30. doi:10.5926/arepj1962.47.0_29
- [86] Prince M. Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*. 2004;93(3):223–31. doi:10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x
- [87] Felder RM, Brent R. Active learning. (2016). In: *Teaching and Learning STEM: A Practical Guide*. San Francisco: Jossey-Bass; 2016. p.111–130.
- [88] Goodhew JP. *Teaching Engineering. All you need to know about engineering education but were too afraid to ask*. Liverpool: School of Engineering, University of Liverpool; 2010. https://www.surrey.ac.uk/sites/default/files/teaching_engineering_goodhew.pdf
- [89] Romanovs A, Soshko O, Merkuryev Y, Novickis L. Evaluation of Engineering Course Content by Bloom's Taxonomy: A Case Study. In: Niedrite, L., Strazdina, R., Wangler, B. (eds.) *Workshops on Business Informatics Research*. 2012. Berlin: Springer; 2012. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29231-6_13
- [90] Hart AJ, Wendell D, Liu J, Lewandowski J, Funes-Lora M, Shih AJ. Teaching manufacturing processes using a flipped classroom model. *Procedia Manufacturing*. 2021;53:773–81. doi:10.1016/j.promfg.2021.06.074
- [91] Hernández-De-Menéndez M, Vallejo Guevara A, Tudón Martínez JC, Hernández Alcántara D, Morales-Menendez R. Active learning in engineering education. A review of fundamentals, best practices and experiences. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 2019;13(3):909–22. doi:10.1007/s12008-019-00557-8
- [92] Mills JE, Treagust DF. Engineering education – Is problem-based or project-based learning the answer. *Australasian Journal of Engineering Education*. 2003;3(2):2–16. doi:10.1080/22054952.2017.1351131
- [93] Jonassen DH. Assessing Problem Solving. In: Spector JM, Merrill MD, Elen J, Bishop MJ (eds.) *Handbook of research on educational communications and technology*. New York: Springer; 2014. p.269-288.
- [94] Staller MS, Koerner S, Heil V, Klemmer I, Abraham A, Poolton J. The Structure and delivery of police use of force training: a German case study. *European Journal for Security Research*. 2021;1–26. doi:10.1007/s41125-021-00073-5
- [95] Ruge G, Tokede O, Tivendale L. Implementing constructive alignment in higher education-cross-institutional perspectives from Australia. *Higher Education Research & Development*. 2019;38:833–48. doi:10.1080/07294360.2019.1586842
- [96] Lasrado F, Kaul N. Designing a curriculum in light of constructive alignment: A case study analysis. *Journal of Education for Business*. 2021;96(1):60–8. doi:10.1080/08832323.2020.1732275

- [97] Buckley J, Seery N, Gumaelius L, Canty D, Doyle A, Pears A. Framing the constructive alignment of design within technology subjects in general education. *International journal of technology and design education*. 2021;31(5):867–83. doi:10.1007/s10798-020-09585-y
- [98] Kolb A, Kolb D. The Kolb learning style inventory-version 3.1 2005 technical specifications. Vol. 200. Boston: Hay Resource Direct; 2005.
- [99] Japan International Cooperation Agency. Development of human recuse in engineering field with practical skills through research activities in a team: Laboratory Based Education (LBE)
https://www.jica.go.jp/english/publications/brochures/c8h0vm0000avs7w2-att/japan_brand_06.pdf [pristupljen 04.03.2022]
- [100] Khabiri MM, Bahabad MJA. Teaching and learning of practical skills: Learning from the pavement laboratory course. *Journal of Technical Education and Training*. 2019;11(2):015–022. doi:10.30880/jtet.2019.11.02.002
- [101] Entwistle N. *Teaching for Understanding at University*. London: Bloomsbury Publishing; 2009.
- [102] Peterson GD, Feisel LD. e-Learning: The challenge for engineering education. In: *Proceedings of the 2002 eTEE Conference, 11-16 August 2002, Davos, Switzerland; 2002*. p.164-169.
- [103] Zwickl BM, Finkelstein N, Lewandowski HJ. The process of transforming an advanced lab course: Goals, curriculum, and assessments. *American Journal of Physics*. 2013;81(1):63–7. doi:10.1119/1.4768890
- [104] Ma J, Nickerson JV. Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*. 2006;38(3), 7-es. doi:10.1145/1132960.1132961
- [105] Bernhard J. What matters for students' learning in the laboratory? Do not neglect the role of experimental equipment! *Instructional Science*. 2018;46(6):819–46. doi:10.1007/s11251-018-9469-x
- [106] Isozaki T. Laboratory work as a teaching method: A historical case study of the institutionalization of laboratory science in Japan. *Espacio, Tiempo y Educación*. 2017;4(2):101–20. doi:10.14516/ete.177
- [107] Lugujjo E. Challenges and prospects of engineering education and training in Uganda. In: *UNESCO report: Engineering: issues, challenges and opportunities for development*. Paris: UNESCO Publishing; 2010. p.214–216. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000212244>
- [108] Chowdhury H, Alam F, Mustary I. Development of an innovative technique for teaching and learning of laboratory experiments for engineering courses. *Energy Procedia*. 2019;16:806–811. doi:10.1016/j.egypro.2019.02.154
- [109] Ahmed M, Hewavitharana L, Mckay S, Ahmed K, Rashid M. Development of low-cost laboratory experiments for Southern Arkansas University's engineering program. In: *Proceedings of the ASEE Zone III Conference, 23–25 September 2015, Springfield, Missouri, USA; 2015*.
- [110] Hall D, Hadala P, Roberts F. Laboratory exercises for statics and mechanics of materials on a shoestring In: *ASEE Annual Conference Proceedings, June 2020, St. Louis, Missouri, USA; 2020*. pp. 3919–3942. doi:10.18260/1-2--8526
- [111] Nacionalni savet za visoko obrazovanje. *Pravilnik o standardima i postupku za akreditaciju studijskih programa; 2019*.
- [112] Layton R, Mayhew J. Mechanical measurements: Rewriting the script. In: *ASEE Annual conference and exposition – Conference Proceedings, 18–21 June 2006, Chicago, Illinois, USA; 2006*. p.133. pp. 133. doi:10.18260/1-2--88

- [113] Columbia University – Teaching Laboratories. <https://www.me.columbia.edu/academics/undergraduate/teaching-laboratories> [pristupljeno 12.03.2023].
- [114] MIT – Solid mechanics laboratory. <https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-105-solid-mechanics-laboratory-fall-2003/syllabus/> [pristupljeno 12.03.2023].
- [115] MIT – Civil engineering materials laboratory. <https://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-103-civil-engineering-materials-laboratory-spring-2004/syllabus/> [pristupljeno 12.03.2023].
- [116] Cochran P, Eversole B, Graham C. Improving laboratory performance. In: Proceedings of the 2010 Conference for Industry and Education Collaboration, 3–5 February 2010, Palm Springs, California; 2010.
- [117] Nikolic S, Ritz C, Vial PJ, Ros M, Stirling D. Decoding student satisfaction: How to manage and improve the laboratory experience. *IEEE Transactions on Education*. 2015;58(3):151–8. doi:10.1109/te.2014.2346474
- [118] Bankel J. Benchmarking engineering curricula with the CDIO syllabus. *International Journal of Engineering Education*. 2005;21(1):121–133.
- [119] Brownell SE, Tanner KD. Barriers to faculty pedagogical change: Lack of training, time, incentives, and tensions with professional identity? *CBE-Life Sciences Education*. 2012;11(4):339–346. doi:10.1187/cbe.12-09-0163
- [120] Trevelyan J, Razali ZB. What do students gain from laboratory experiences? In: Azad AKM, Auer ME, Harward VJ. (eds.) *Internet accessible remote laboratory: Scalable e-learning tools for engineering and sciences disciplines*. Hershey, Pennsylvania: IGI Global; 2012. p. 416–431.
- [121] Harb JN, Durrant SO, Terry RE. Use of the Kolb learning cycle and the 4MAT system in engineering education. *Journal of Engineering Education*. 1993;82(2):70–7. doi:10.1002/j.2168-9830.1993.tb00079.x
- [122] Biggs J, Tang C. Constructive alignment as implemented: Some examples. In: *Teaching for quality learning at university – third edition*, McGraw-Hill; 2007. p.284–317.
- [123] Double KS, McGrane JA, Hopfenbeck TN. The impact of peer assessment on academic performance: A meta-analysis of control group studies. *Educational Psychology Review*. 2020;32(2):481–509. doi:10.1007/s10648-019-09510-3
- [124] Li H, Xiong Y, Hunter CV, Guo X, Tywoniw R. Does peer assessment promote student learning? A meta-analysis. *Assessment & Evaluation in Higher Education*. 2020;45(2):193–211. doi:10.1080/02602938.2019.1620679
- [125] Sridharan B, Tai J, Boud D. Does the use of summative peer assessment in collaborative group work inhibit good judgement? *Higher Education*. 2019;77(5):853–70. doi:10.1007/s10734-018-0305-7
- [126] Wieman C. Comparative cognitive task analyses of experimental science and instructional laboratory courses. *The Physics Teacher*. 2015;53(6):349–51. doi:10.1119/1.4928349
- [127] Marchese AJ, Ramachandran RP, Hesketh RP, Schmalzel JL, Newell HL. The competitive assessment laboratory: introducing engineering design via consumer product benchmarking. *IEEE Transactions on Education*. 2003;46(1):197–205. doi:10.1109/te.2002.808216
- [128] Fridley JL, Jorgensen JE, Lamancusa JS. Benchmarking: a process basis for teaching design In: *Proceedings Frontiers in Education – 27th Annual Conference Teaching and Learning in an Era of Change – Volume: 2, 5–8 November 1997, Pittsburgh, PA, USA*. Piscataway: IEEE; 1997. p. 960-967. doi:10.1109/FIE.1997

- [129] Kaps A, Splith T, Stallmach F. Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities. *Physics Education*. 2021;56(3):035004. doi:10.1088/1361-6552/abdee2
- [130] Shakur A, Kraft J. Measurement of Coriolis acceleration with a smartphone. *The Physics Teacher*. 2016;54(5):288–90. doi:10.1119/1.4947157
- [131] Monteiro M, Cabeza C, Marti AC. Rotational energy in a physical pendulum. *The Physics Teacher*. 2014;52(3):180–1. doi:10.1119/1.4865529
- [132] Wagner J, Knaub K. Time keeping experiments for a mechanical engineering education laboratory sequence, Annual Conference & Exposition, June 2009, Austin, Texas. Washington: ASEE; 2009. doi:10.18260/1-2--4758
- [133] Heinze T. A highly flexible laboratory setup to demonstrate granular flow characteristics: With special emphasize on education and science communication. *Natural Hazards*. 2020;104(2):1581–1596. doi:10.1007/s11069-020-04234-y
- [134] Butterfield R. Benefit without cost in a mechanics laboratory. *Journal of Engineering Education*. 1997;86(4):315–20. doi:10.1002/j.2168-9830.1997.tb00304.x
- [135] Takács G, Gulán M, Bavlina J, Köplinger R, Kováč M, Mikuláš E, et al. A low-cost didactic device for control education simulating 3D printer heater blocks. In: *Proceedings of the IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON 2019)*, 8–11 April 2019, Dubai, United Arab Emirates. Piscataway: IEEE; 2019. p. 374-383. doi:10.1109/educon.2019.8725201
- [136] Kelemen M, Fabian M, Kelemenová T. Design and development of lift didactic model within subjects of mechatronics. *Procedia Engineering*. 2012;48:280–286. doi:10.1016/j.proeng.2012.09.515
- [137] Lim W, Kim HK. Design and development of a miniaturised tensile testing machine. *Global journal of engineering education*. 2013;15(1):48–53.
- [138] Logman P, Kaper W, Ellermeijer T. Evaluation of the learning process of students reinventing the general law of energy conservation. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*. 2015;11(3):479–504. doi:10.12973/eurasia.2015.1323a
- [139] Cross R. Effect of friction on a hula hoop. *Physics Education*. 2021;56(3):033001. doi:10.1088/1361-6552/abe173
- [140] A, Waxman M. Sliding on an arbitrarily shaped incline with friction. *The Physics Teacher*. 2021;59(2):117–119. doi:10.1119/10.0003466
- [141] Lindén J, Källman K-M, Lindberg M. The rolling elliptical cylinder. *American Journal of Physics*. 2021;89(4):358–64. doi:10.1119/10.0002362
- [142] Pendrill A-M. Student investigations of the forces in a roller coaster loop. *European Journal of Physics*. 2013;34(6):1379–89. doi:10.1088/0143-0807/34/6/1379
- [143] Briggs SJ. Hot wheels physics. *The Physics Teacher*. 1970;8(5):257–9. doi:10.1119/1.2351481
- [144] Suwonjandee N, Asavapibhop B. Loop-the-loop: bringing theory into practice. *Physics Education*. 2012;47(6):751–4. doi:10.1088/0031-9120/47/6/751
- [145] Tea PL Jr. Trouble on the loop-the-loop. *American Journal of Physics*. 1987;55(9):826–9. doi:10.1119/1.14997
- [146] Miljojković J, Kočović V, Košarac A, Šimunović K. Loop-the-loop as a real tribomechanical system applicable in engineering education. *Tribology in Industry*. 2021;43(4): 667-672. doi:10.24874/ti.1210.09.21.11
- [147] Chakrabarti S, Khaparde RB, Kachwala AH. Experimental study of the coefficient of rolling friction of the axle of a Maxwell’s wheel on a soft horizontal surface. *European Journal of Physics*. 2020;41(3):035803. doi:10.1088/1361-6404/ab78a5

- [148] MIT OpenCourseWare. <https://ocw.mit.edu/course-lists/open-learning-library/> [pristupljeno 15.01.2023].
- [149] Rush M, Newman D, Wallace D. Project-based learning in first year engineering curricula: Course development and student experiences in two new classes at MIT. In: International Conference on Engineering Education – ICEE Annual Conference Proceedings, September 2007, Coimbra, Portugal; 2007. p.1–18.
- [150] Design and Manufacturing I, MIT Department of Mechanical Engineering Robotics Design Class. <https://me-2007.mit.edu/> [pristupljeno 16.01.2023].
- [151] MIT’s Environment, Health, and Safety Office (EHS). <https://ehs.mit.edu/> [pristupljeno 16.01.2023].
- [152] Massachusetts Institute of Technology. TEAL-Technology Enhanced Active Learning. <http://web.mit.edu/edtech/casestudies/teal.html> [pristupljeno 16.01.2023].
- [153] Dori, Y.J. and Belcher, J., 2005. How does technology-enabled active learning affect undergraduate students' understanding of electromagnetism concepts?. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), pp.243-279. doi:10.1207/s15327809jls1402_3
- [154] Dori YJ, Belcher J, Bessette M, Danziger M, McKinney A, Hult E. Technology for active learning. *Materials Today*. 2003;6(12):44–9. doi:10.1016/s1369-7021(03)01225-2
- [155] MECHE video library: The birth of a hands-on education. <https://meche.mit.edu/news-media/video/0/1325> [pristupljeno 17.01.2023].
- [156] MIT School of Engineering – Facts and figures. <https://engineering.mit.edu/about/facts-and-figures/> [pristupljeno 18.01.2023].
- [157] MIT Physics Directory. <https://physics.mit.edu/physics-directory/> [pristupljeno 18.01.2023].
- [158] MIT MechE Staff. <https://meche.mit.edu/people/staff-listing> [pristupljeno 18.01.2023].
- [159] MIT Department of Physics Technical Services Group – ODL Video Services. <https://techtv.mit.edu/collections/f05bfc257ab1447b83470c3d9eeb5083/> [pristupljeno 18.01.2023]
- [160] MIT – Physics I: Classical Mechanics With An Experimental Focus https://ocw.mit.edu/courses/8-01x-physics-i-classical-mechanics-with-an-experimental-focus-fall-2002/resources/expeiment_fo/ [Accessed 19th January 2023].
- [161] Trumper DL, Nayfeh SA, Lilienkamp KA. Projects for teaching mechatronics at MIT. In: Proceedings of the 8th International Conference on Mechatronics, 24–26 June 2002, Enschede, Netherlands; Stevenage: IET; 2002.
- [162] Tadic B, Todorovic PM, Luzanin O, Miljanic D, Jeremic BM, Bogdanovic B, et al. Using specially designed high-stiffness burnishing tool to achieve high-quality surface finish. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013;67(1–4):601–11. doi:10.1007/s00170-012-4508-2
- [163] Tadic B, Vukelic D, Miljanic D, Bogdanovic B, Macuzic I, Budak I, et al. Model testing of fixture–workpiece interface compliance in dynamic conditions. *Journal of Manufacturing Systems*. 2014;33(1):76–83. doi:10.1016/j.jmsy.2013.05.004
- [164] Todorovic P, Vukelic D, Tadic B, Veljkovic D. Modelling of dynamic compliance of fixture/workpiece interface. *International Journal of Simulation Modelling*. 2014;13(1):54–65. Doi:10.2507/ijssimm13(1)5.254
- [165] Randjelovic S, Tadic B, Todorovic PM, Vukelic D, Miloradovic D, Radenkovic M, et al. Modelling of the ball burnishing process with a high-stiffness tool. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015;81(9–12):1509–1518. doi:10.1007/s00170-015-7319-4

- [166] Tadic B, Todorovic P, Novkinic B. Fixture layout design based on a single-surface clamping with local deformation. *International Journal Of Simulation Modelling*. 2015;14(3):379–391. doi:10.2507/ijstimm14(3)1.280
- [167] Todorovic P, Tadic B, Vukelic D, Jeremic M, Randjelovic S, Nikolic R. Analysis of the influence of loading and the plasticity index on variations in surface roughness between two flat surfaces. *Tribology International*. 2015;81:276–282. doi:10.1016/j.triboint.2014.09.012
- [168] Tadic B, Randjelovic S, Todorovic P, Zivkovic J, Kocovic V, Budak I, et al. Using a high-stiffness burnishing tool for increased dimensional and geometrical accuracies of openings. *Precision Engineering*. 2016;43:335–344. doi:10.1016/j.precisioneng.2015.08.014
- [169] Kostic S, Miljojkovic J, Simunovic G, Vukelic D, Tadic B. Uncertainty in the determination of elastic modulus by tensile testing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2022;25:100998. doi:10.1016/j.jestch.2021.05.002
- [170] Vukelić Đ, Tadić B, Miljanić D, Budak I, Todorovic P, Randelović S, et al. Novel workpiece clamping method for increased machining performance. *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*. 2012;19(4):837–846. <https://hrcak.srce.hr/93557>
- [171] Todorović PM, Blagojević M, Vukelić D, Mačužić I, Jeremić M., Simić A, Jeremić, B. Static coefficient of rolling friction under heating. *Journal of Friction and Wear*. 2013;34(6):450-453. doi:10.3103/s1068366613060123
- [172] Tadic B, Bogdanovic B, M. Jeremic B, M. Todorovic P, Luzanin O, Budak I, et al. Locating and clamping of complex geometry workpieces with skewed holes in multiple-constraint conditions. *Assembly Automation*. 2013;33(4):386–400. doi:10.1108/aa-09-2012-074
- [173] Jeremic B, Vukelic D, Todorovic PM, Macuzic I., Pantic M, Dzunic D, Tadic B. Static friction at high contact temperatures and low contact pressure. *Journal of Friction and Wear*. 2013;34(2):114-119. doi:10.3103/s1068366613020037
- [174] Mihajlović G, Gašić M, Savković M, Mitrović S, Tadić B. Vibroplatform modeling with allowance for tribological aspects. *Journal of Friction and Wear*. 2017;38(3):184-189. doi:10.3103/s1068366617030102
- [175] Miljojković J, Bijelić I, Vranić N, Radovanović N, Živković M. Determining elastic modulus of the material by measuring the deflection of the beam loaded in bending. *Tehnicki Vjesnik/Technical Gazette*. 2017;24(4). doi:10.17559/tv-20170609133537
- [176] Lukovic M. The influence of surface temperature on the coefficient of static friction. *The Physics Teacher*. 2019;57(9):636–8. doi:10.1119/1.5135798
- [177] Tadic B, Zivkovic M, Simunovic G, Kocovic V, Saric T, Vukelic D. The influence of vacuum level on the friction force acting on the pneumatic cylinder sealing ring. *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*. 2019;26(4), 970-976. doi:10.17559/tv-20180227172122
- [178] Vukelic D, Todorovic P, Simunovic K, Miljojkovic J, Simunovic G, Budak I. Tadic B. A novel method for determination of kinetic friction coefficient using inclined plane. *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*. 2021; 28(2), 447-455. doi:10.17559/tv-20201101051835
- [179] Lukovic M, Miljojkovic J, Tadic B. An inclined plane based instrument for determining the static coefficient of friction at high temperatures. *Romanian Journal of Physics*. 2021;66(9-10), 909.
- [180] Brzakovic L, Kocovic V, Mitrovic S, Busarac N, Tadic B. A method for determination of kinetic friction coefficient under dynamic loading conditions. *Romanian Journal of Physics*. 2022;67(9-10)905. doi:10.21203/rs.3.rs-1407295/v1

- [181] Brzakovic L, Milovanovic V, Kocovic V, Simunovic G, Vukelic D, Tadic B. Relation between kinetic friction coefficient and angular acceleration during motion initiated by dynamic impact force. *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*. 2022;29(5),1622-1628. doi:10.17559/tv-20220408155435
- [182] Miljojković J, Kočović V, Luković M, Živković A, Šimunović K. Development of a modular didactic laboratory set for the experimental study of friction. *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*. 2022;29(1), 269-277. doi:10.17559/tv-20210925171045
- [183] Todorović P, Blagojević M, Jeremić M, Stanković A. The impact of one heat treated contact element on the coefficient of static friction. *Tribology in Industry*. 2013;35(4), 345-350.
- [184] Jeremić M, Matejić M, Bogdanović B, Tadić B, Miloradović D, Miljanić D. Analyzing the influence of the construction element position on torque transmission by friction. *Tribology in Industry*. 2014;36(3), 300-307.
- [185] Živković M, Matejić M, Miljanić D, Brzaković L, Kočović V. Influence of the previous preheating temperature on the static coefficient of friction with lubrication. *Tribology in Industry*. 2016;38(4), 585-589.
- [186] Tadić B, Kočović V, Matejić M, Brzaković Lj, Mijatović M, Vukelić Đ. Coefficient of rolling friction at high contact temperatures and various contact pressure. *Tribology in Industry*. 2016;38(1), 83—89.
- [187] Bijelić I, Mor N, Živković M, Tubin V, Stožinić T. The influence of the contact pressure on the value of the coefficient of friction. *Tribology in Industry*. 2017;39(2):255-259. doi:10.24874/ti.2017.39.02.13
- [188] Kostić S, Košarac A, Luković V, Miljojković J. Theory reviews – hardware and software support for testing material on specimens of the small cross section. *Tribology in Industry*. 2019;41(1): 109-114. doi:10.24874/ti.2019.41.01.12
- [189] Miljojkovic J, Simunovic G, Vukelic D, Tadic B. Analysis of application possibilities of short-circuit effects in metal coating technologies. *Journal of Production Engineering*. 2019;22(2):15-18. doi:10.24867/jpe-2019-02-015
- [190] Ristić L, Vukelić Đ. Tribodijagnostika statičkog koeficijenta trenja po principu kose ravni. *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu*. 2019;34(09):1491-1494.
- [191] Đokić N, Vukelić Đ. Tribodijagnostika statičkog koeficijenta trenja kontaktnih parova od drveta. *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu*. 2019;34(11):1945-1948.
- [192] Tadić B, Jeremić B, Mitrović S, Erić M. Development of tribometer and measurement results of static coefficient of friction sliding and coefficient of rolling friction by principle steep plane. In: *Proceedings of 12th International Conference on Tribology, SERBIATRIB '11, May 11-13 2011, Kragujevac, Serbia; 2011. p.397-402.*
- [193] Todorović P, Mačužić I, Jeremić B, Đapan M, Tadić B. Measurement instrumentation for determination of coefficient of rolling friction. In: *Proceedings of 13th International Conference on Tribology, SERBIATRIB '13, May 15-17 2013, Kragujevac, Serbia; 2013. p.396-400.*
- [194] Jeremić B, Radenković M, Todorović P, Mačužić I, Jeremić M, Kočović V. (2015, May 13-15). Static coefficient of rolling friction at high temperature. In: *Proceedings of 14th International Conference on Tribology, SERBIATRIB '15, May 13-15 2015, Belgrade, Serbia; 2015. p.262-265.*
- [195] Kočović V, Jeremić M, Todorović P, Tadić B, Vukelić Đ. The compliance and load capacity of contacts based on friction. In: *Proceedings of 14th International Conference on Tribology SERBIATRIB '15, May 13-15 2015, Belgrade, Serbia; 2015. p.388-396.*

- [196] Miljojković J, Kostić S, Kočović V, Tadić B. Quantification of energy losses in real mechanical systems. In: XXVI Skup Trendovi razvoja – Inovacije u modernom obrazovanju, Februar 16-19. Kopaonik, Srbija; 2020. p.230-233. http://www.trend.uns.ac.rs/stskup/trend_2020/TREND2020-ZBORNIK-RADOVA.PDF
- [197] Miljojković J, Erić M, Košarac A, Kočović V. Softverska podrška uređaju za ispitivanje gubitaka usled trenja u navojnim spojevima. In: SPMS 2018 – 37th International Conference on Production Engineering, October 25–26 2018. Kragujevac, Serbia. 2018. p.235-240. <http://spms.fink.rs/doc/2018/SPMS%202018.pdf>
- [198] Arsovski S. Menadžment procesima. Kragujevac: Mašinski fakultet, Centar za kvalitet; 2006.
- [199] Zlatkin-Troitschanskaia O, Pant HA, Lautenbach C, Molerov D, Toepper M, Brückner S. Modeling and measuring competencies in higher education: approaches to challenges in higher education policy and practice; Springer. 2016.
- [200] LaMorte WW. Nonparametric Tests. Boston: Boston University of Public Health. 2017.
- [201] Vargha A, Delaney HD. The Kruskal-Wallis Test and Stochastic Homogeneity. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*. 1998;23(2), 170–192. doi:10.3102/10769986023002170
- [202] McDonald JH. *Handbook of Biological Statistics* (3rd ed.). Baltimore, Maryland:Sparky House Publishing; 2014. p. 157-164.
- [203] Sheskin D. *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*, 11th edition. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC; 2011. p.1004-1007
- [204] Dunn OJ. Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*. 1964;6(3):241-252.
- [205] Dinno A. Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. *The Stata Journal*. 2015;15(1):292-300.
- [206] Koretz D, Yu C, Mbekeani PP, Langi M, Dhaliwal T, Braslow D. Predicting freshman grade point average from college admissions test scores and state high school test scores. *AERA Open*. 2016;2(4). doi:10.1177/2332858416670601
- [207] Williams MN, Grajales CAG, Kurkiewicz D. Assumptions of multiple regression: Correcting two misconceptions. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*. 2013;18(1):11. doi:10.7275/55hn-wk47
- [208] Osborne, J. Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*. 2010;15(1):12. doi:10.7275/qbpc-gk17
- [209] Ngo THD, La Puente CA. The steps to follow in a multiple regression analysis. In: *Proceedings of the SAS Global forum, April, 2012, Orlando, Florida*. 2012. p. 22-25. <http://support.sas.com/resources/papers/proceedings12/333-2012.pdf>
- [210] Box GE, Cox DR. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*. 1964;26(2):211-243. doi:10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x
- [211] Sureiman O, Mangera CM. F-test of overall significance in regression analysis simplified. *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*. 2020;6(2):116-122. doi:0.4103/jpcs.jpcs_18_20
- [212] Warner RM. *Applied statistics: From bivariate through multivariate techniques*. Sage Publications; 2012. p. 548.
- [213] Cook RD. Detection of influential observations in linear regression. *Technometrics*. 1977;19(1):15-18. doi:10.2307/1268249
- [214] Ferrão M, Almeida L. Differential effect of university entrance score on first-year students' academic performance in Portugal. *Assessment & Evaluation in Higher Education*. 2019;44(4):610-622. doi:10.1080/02602938.2018.1525602

- [215] Accreditation Agency for Study Programmes in Engineering, Informatics, Natural Sciences and Mathematics – ASIIN. <https://www.asiin.de/en/about-asiin.html> [pristupljeno 16th March 2023]]
- [216] Funkenbusch PD. Practical guide to designed experiments – A unified modular approach. New York: Marcel Dekker; 2005.
- [217] Tuve GL, Domholdt LC. Engineering experimentation. New York: McGraw-Hill Book Company; 1966.
- [218] Cavagnino A, Pellegrino G, Estebansari A, Armando E, Bojoi R. A new laboratory for hands-on teaching of electrical engineering. In: 2018 IEEE 27th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), June 2018, Cairns, Australia; 2018. p.883-889. doi:10.1109/ISIE39916.2018
- [219] Barnes M, Foster DA, Hutchins J, Bailey M. A modular, open-architecture dc-dc power conversion laboratory. International Journal of Electrical Engineering Education. 2008;45(3):200-209. doi:10.7227/ijeee.45.3.2
- [220] Balog R, Krein PT. A modular power electronics instructional laboratory. In: IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist, PESC'03, June 2003, Acapulco, Mexico. IEEE; 2003. p.932-937. doi:10.1109/PESC.2003.1216561
- [221] Navarro FJZ. Work in progress: Novel didactic training platform for transistor devices and applications. In: 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), April 2019, Dubai, UAE. IEEE; 2019. p.8-11. doi:10.1109/EDUCON45543.2019
- [222] Tang J, Xiong B, Yang C, Tang C, Li Y, Su G, Bian X. Development of an integrated power distribution system laboratory platform using modular miniature physical elements: A case study of fault location. Energies. 2019;12(19):3780. doi:10.3390/en12193780
- [223] Grimheden M, Hanson M. A modular approach to experimental learning and fast prototype design of mechatronic systems – Introducing the mechatronic learning concept. In: DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm, Sweden; 2003. p.573-574.
- [224] Çeven S, Albayrak A. Design and implementation of modular test equipment for process measurements in mechatronics education. Computer Applications in Engineering Education. 2020;28(2):324-337. doi:10.1002/cae.22196
- [225] Reck RM, Sreenivas RS. Developing an affordable and portable control systems laboratory kit with a Raspberry Pi. Electronics. 2016;5(3):36. doi:10.3390/electronics5030036
- [226] Olsson R, Årzén KE. A Modular Batch Laboratory Process. IFAC Proceedings Volumes. 2004;37(1):957-962.
- [227] Solano J, Jimenez DA, Diaz H, Perez J, Sepulveda A, Mantilla MA. A modular power electronics/control systems laboratory as educational tool for electrical engineering courses. In: 2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), May 2017, Bogota, Colombia. IEEE; 2017. p.1-5.
- [228] Lee PL, Allen RM, Cole GR, Shastri SS. A modular laboratory for process control and process engineering. Journal of Process Control. 2003;13(4):283-289. doi:10.1016/s0959-1524(02)00088-4
- [229] Ramírez-Cadena M, Miranda J, Tello-Albarrán G, Dávila-Ramírez O, Molina A. Reconfigurable didactic microfactory with universal numerical control. IFAC Proceedings Volumes. 2012;45(6):463-468. doi:10.3182/20120523-3-ro-2023.00243

- [230] Skliarova I, Sklyarov V, Sudnitson A, Kruus M. Reconfigurable systems in engineering education: Best practices and future trends. In: 2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), April 2017, Athens, Greece. IEEE; 2017. p.1084-1088. doi: 10.1109/EDUCON39996.2017
- [231] Andersen, AL, Brunoe TD, Nielsen K. Engineering education in changeable and reconfigurable manufacturing: Using problem-based learning in a learning factory environment. *Procedia CIRP*. 2019;81:7-12. doi:10.1016/j.procir.2019.03.002
- [232] Bagnasco A, Parodi G, Ponta D, Scapolla AM. A modular and extensible remote electronic laboratory. *International Journal on Online Engineering (iJOE)*. 2005;1(1). doi:10.3991/ijoe.v1i1.296
- [233] Festo Didactic: MPS 400 Stations. <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/> [pristupljeno 16.02.2023]
- [234] ASTI Automation. <https://astiautomation.com/products/technical-learning-configurations?page=1> [pristupljeno 16.02.2023]
- [235] Bytronic Educational Technology. <http://www.bytronic.net/> [pristupljeno 16.02.2023]
- [236] Jinan Should Shine Didactic Equipment. <https://didactic-equipment.com/> [pristupljeno 16.02.2023]
- [237] Edibon. <https://www.edibon.com/en/> [pristupljeno 16.02.2023]
- [238] Świder J, Michalski P, Wszolek G. Laboratory support for the didactic process of engineering processes automation at the Faculty of Mechanical Engineering. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2006;15(1-2):199-206. http://jamme.acmsse.h2.pl/papers_cams05/1135.pdf
- [239] Ružarovský R, Holubek R, Janiček M, Velišek K, Tirian GO. Analysis of the Industry 4.0 key elements and technologies implementation in the Festo Didactic educational systems MPS 203 I4. 0. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1781(1):012030. doi:10.1088/1742-6596/1781/1/012030
- [240] Pastrascioiu C, Popescu M, Stamatescu S. Teaching system for pneumatic actuations. In: 2018 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), June 2018, Iași, Romania. IEEE; 2018. p. 1-4. doi:10.1109/ECAI43897.2018
- [241] Jakubiec B. The utilisation of industrial process models in acquiring the practical skills of plc programming. In: *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference, Volume 3, May 2017, Rezekne, Latvia; 2017*. p.483-491. doi:10.17770/sie2017vol3.2396
- [242] Madritsch C, Langmann R. Education and training for Automation 4.0 in Thailand-ETAT. In: 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), March 2022, Tunis, Tunisia. IEEE; 2022. p.328-332). doi:10.1109/EDUCON52537.2022.9766803
- [243] Stjepandić J, Wognum N, Verhagen W J (Eds.). *Concurrent engineering in the 21st century: Foundations, developments and challenges*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13776-6>
- [244] Hölttä-Otto K. *Modular product platform design [Doctoral thesis]*. Helsinki University of Technology; 2005. <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/2596/isbn9512277670.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [245] Mitrović R, Mišković T, Stamenić Z, Marković B, Tica M. *Osnove tehničkih propisa*. Beograd: Mašinski fakultet; 2015.
- [246] Tadić, B., Vukelić, Đ., Jurković, Z. *Alati i pribori*. Kragujevac: Fakultet Inženjerskih nauka; 2013.

- [247] Tseng M M., Wang Y, Jiao RJ. Modular Design. In: MD, Chatti S., Laperrière L., Reinhart G., Tolio T. (eds.) CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer; 2018.
- [248] de Avila, RM, Borsato M. Modularity adoption in product development: a case study in the Brazilian agricultural machinery industry. In: Stjepandic J, Rock G, Bil . (eds.) Concurrent engineering approaches for sustainable product development in a multi-disciplinary environment: Proceedings of the 19th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (ISPE CE 2012), September 2012, Trier, Germany. London: Springer; 2013. p.609-620. doi:10.1007/978-1-4471-4426-7
- [249] Bonvoisin J, Halstenberg F, Buchert T, Stark R. A Systematic literature review on modular product design. *Journal of Engineering Design*. 2016;27(7):488–514. doi:10.1080/09544828.2016.1166482
- [250] Klushin G, Fortin C, Tekic Z. Modular design guideline for projects from scratch. In: Katalinic B. (ed.) Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, October 2018, Zadar, Croatia Vienna: DAAAM International; 2018. p.0829-0837. doi:10.2507/29th.daaam.proceedings.120
- [251] Saaty TL. The modern science of multicriteria decision making and its practical applications: The AHP/ANP approach. *Operations Research*. 2013;61(5):1101-1118. doi:10.1287/opre.2013.1197
- [252] Hwang CL, Yoon K. Multiple attribute decision making: methods and applications. Berlin: Springer; 1981.
- [253] Kostić S. Razvoj i optimizacija laboratorijske kidalice namenjene ispitivanjima materijala sa aspekta minimizacije grešaka merenja i cene koštanja [doktorska disertacija]. Kragujevac: Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu; 2021.
- [254] Besson U, Borghi L, De Ambrosis A, Mascheretti P. How to teach friction: experiments and models. *American Journal of Physics*. 2007;75(12):1106-1113. doi:10.1119/1.2779881
- [255] Solbes J, Guisasola J, Tarín F. Teaching energy conservation as a unifying principle in physics. *Journal of Science Education and Technology*. 2009;18(3):265-274. doi:10.1007/s10956-009-9149-3
- [256] De Ambrosis A, Malgieri M, Mascheretti P, Onorato P. Investigating the role of sliding friction in rolling motion: a teaching sequence based on experiments and simulations. *European Journal of Physics*. 2015;36(3):035020. doi:10.1088/0143-0807/36/3/035020
- [257] Cross, R. (2021). A wall of death experiment. *Physics Education*, 56(2), 023006. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abdd90>
- [258] Maslova K, De Jesus VLB, Sasaki DGG. Understanding the effect of rolling friction in the inclined track experiment. *Physics Education*. 2020;55(5):055010. doi:/10.1088/1361-6552/ab9217
- [259] Chou N, Hsu CC, Shen JL. Determining Earth's gravitational acceleration by free fall method with the presence of air resistance. *Physics Education*. 2020;56(1):015014. doi:10.1088/1361-6552/abc797
- [260] Zhuravlev VP. On the history of the dry friction law. *Mechanics of solids*. 2013;48(4):364-369. doi:10.3103/s002565441304002x
- [261] Euler L. Sur le frottement des corps solides. *Memoires de l'academie des sciences de Berlin*. 1750;4:122-132. <https://scholarlycommons.pacific.edu/euler-works/143/>
- [262] Batchelor CK, Batchelor GK. An introduction to fluid dynamics. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 2000.
- [263] Wagner G, Diaconescu M. Web Applications with Javascript or Java. Oldenbourg: De Gruyter; 2017.

- [264] Sharma SK, Kitchens FL. Web services architecture for m-learning. *Electronic Journal of e-Learning*. 2004;2(1):203-216.
- [265] Felder RM, Brent R. The ABC's of engineering education: ABET, Bloom's taxonomy, cooperative learning, and so on. In: *Proceedings of the 2004 ASEE annual conference & exposition (Vol. 1)*, June 2004, Salt Lake City, Utah, USA. ASEE; 2004. doi:10.18260/1-2--13027
- [266] D. R. Krathwohl, A revision of Bloom's taxonomy: An overview, *Theory into practice*, vol. 41, no. 4, pp. 212-8, 2002. Krathwohl DR. A revision of bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*. 2002;41(4):212–8. doi:10.1207/s15430421tip4104_2
- [267] Anderson LW, Krathwohl DR. *A Taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Addison Wesley Longman, Inc; 2001.
- [268] Dawson WR. *Extensions to Bloom's taxonomy of educational objectives*. Sydney, Australia: Putney Publishing; 1998.
- [269] Ferris TL, Aziz S. *A psychomotor skills extension to Bloom's taxonomy of education objectives for engineering education [Doctoral dissertation]*. Tainan: National Cheng Kung University; 2005.
- [270] Madhuri GV, Kantamreddi VSSN, Prakash Goteti LNS. Promoting higher order thinking skills using inquiry-based learning. *European Journal of Engineering Education*. 2012;37(2):117–23. doi:10.1080/03043797.2012.661701
- [271] DeMara RF, Tian T, Howard W. Engineering assessment strata: A layered approach to evaluation spanning Bloom's taxonomy of learning. *Education and Information Technologies*. 2019;24(2):1147–71. doi:10.1007/s10639-018-9812-5
- [272] Salim KR, Ali R, Hussain N, Haron H. An instrument for measuring the learning outcomes of laboratory work. In: *Proceedings of the International Engineering and Technology Education Conference (IETEC'13)*, November 2013, Ho Chi Minh City, Vietnam; 2013.
- [273] Nikolic S, Suesse T, Goldfinch T, Mccarthy T. Relationship between learning in the engineering laboratory and student evaluations. In: *Proceedings of the Australasian Association for Engineering Education Annual Conference*, December 2015, Geelong, Australia. AAEE; 2015. p.1–9.
- [274] Nikolic S, Suesse T, Jovanovic K, Stanisavljevic Z. Laboratory learning objectives measurement: Relationships between student evaluation scores and perceived learning. *IEEE Transactions on Education*. 2021;64(2):163–71. doi: 10.1109/TE.2020.3022666
- [275] Sullivan GM, Artino AR Jr. Analyzing and interpreting data from likert-type scales. *Journal of Graduate Medical Education*. 2013;5(4):541–2. doi:10.4300/JGME-5-4-18
- [276] Rinker T. *On the treatment of Likert data CEP 510: Psychometric Theory in Education*. New York; 2014.
- [277] Subedi BP. Using Likert type data in social science research: Confusion, issues and challenges. *International Journal of Contemporary Applied Sciences*. 2016;3(2):36–49.
- [278] Norman G. Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. *Advances in Health Sciences Education*. 2010;15(5):625–32. doi:10.1007/s10459-010-9222-y
- [279] Stevens SS. On the theory of scales of measurement. *Science*. 1946;103(2684):677-680. doi:10.1126/science.103.2684.677
- [280] Boone HN, Boone DA. Analyzing likert data. *Journal of Extension*. 2012;50(2):1–5.
- [281] Clason D, Dormody T. Analyzing data measured by individual likert-type items. *Journal of Agricultural Education*. 1994;35(4):31–5. doi:10.5032/jae.1994.04031
- [282] Carifio L, Perla R. Resolving the 50 year debate around using and misusing Likert scales. *Medical Education*. 2008;42:1150–2. doi:10.1111/j.1365-2923.2008.03172.x

- [283] Wang Y, Rodríguez de Gil P, Chen Y-H, Kromrey JD, Kim ES, Pham T, et al. Comparing the performance of approaches for testing the homogeneity of variance assumption in one-factor ANOVA models. *Educational and psychological measurement*. 2017;77(2):305–29. doi:10.1177/0013164416645162
- [284] Yi Z, Chen Y-H, Yin Y, Cheng K, Wang Y, Nguyen D, et al. Brief Research Report: A Comparison of Robust Tests for Homogeneity of Variance in Factorial ANOVA. *The Journal of Experimental Education*. 2020;1–16. doi:10.1080/00220973.2020.178983
- [285] Conover WJ, Johnson ME, Johnson MM. A comparative study of tests for homogeneity of variances, with applications to the outer continental shelf bidding data. *Technometrics*. 1981;23(4):351. doi:10.2307/1268225
- [286] O'Brien RG. Robust techniques for testing heterogeneity of variance effects in factorial designs. *Psychometrika*. 1978;43(3):327–342. doi:10.1007/bf02293643
- [287] Kovačević Z. *Multivarijaciona analiza*. Beograd: Ekonomski fakultet; 1998. p.215.
- [288] Watkins MW. Exploratory factor analysis: A guide to best practice. *Journal of Black Psychology*. 2018;44(3):219–246. doi:10.1177/0095798418771807
- [289] Costello AB, Osborne J. Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis. *Practical assessment, research, and evaluation*. 2005;10:7. doi:10.7275/jyj1-4868
- [290] Matsunaga M. How to factor-analyze your data right: do's, don'ts, and how-to's. *International Journal of Psychological Research*. 2010;3(1):97–110. doi:10.21500/20112084.854
- [291] de Winter JCF, Dodou D, Wieringa PA. Exploratory factor analysis with small sample sizes. *Multivariate Behavioral Research*. 2009;44(2):147–81. doi:10.1080/00273170902794206
- [292] Lorenzo-Seva U, Ferrando PJ. Not positive definite correlation matrices in exploratory item factor analysis: Causes, consequences and a proposed solution. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*. 2021;28(1):138–47. doi:10.1080/10705511.2020.1735393
- [293] Robitzsch A. Why ordinal variables can (almost) always be treated as continuous variables: Clarifying assumptions of robust continuous and ordinal factor analysis estimation methods. *Frontiers in education*. 2020;5. doi:10.3389/feduc.2020.589965
- [294] García-Santillán A, Mexicano-Fernández E, Molchanova VS. Internet Addiction Scale: A parametric study through the EFA and polychoric correlation matrices. *European Journal of Contemporary Education*. 2021;10(2):338–57. doi:10.13187/ejced.2021.2.338
- [295] Timmerman ME, Lorenzo-Seva U. Dimensionality assessment of ordered polytomous items with parallel analysis. *Psychological Methods*. 2011;16(2):209–20. doi:10.1037/a0023353
- [296] Ogasawara H. Asymptotic expansions of the distributions of the polyserial correlation coefficients. *Behaviormetrika*. 2011;38(2):153–68. doi:10.2333/bhmk.38.153
- [297] Forero CG, Maydeu-Olivares A, Gallardo-Pujol D. Factor analysis with ordinal indicators: A Monte Carlo study comparing DWLS and ULS estimation. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*. 2009;16(4):625–41. doi:10.1080/10705510903203573
- [298] Holgado-Tello FP, Chacón-Moscoso S, Barbero-García I, Vila-Abad E. Polychoric versus Pearson correlations in exploratory and confirmatory factor analysis of ordinal variables. *Quality & Quantity*. 2010;44(1):153–66. doi:10.1007/s11135-008-9190-y
- [299] Ekström J. A generalized definition of the polychoric correlation coefficient. Department of Statistics, UCLA, Los Angeles, CA. <https://escholarship.org/uc/item/583610fv>

- [300] Baglin J. Improving your exploratory factor analysis for ordinal data: A demonstration using FACTOR. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*. 2014;19(1):5. doi:10.7275/dsep-4220
- [301] Garrido LE, Abad FJ, Ponsoda V. A new look at Horn's parallel analysis with ordinal variables. *Psychological Methods*. 2013;18(4):454–74. doi:/10.1037/a0030005
- [302] Goretzko D, Pham TTH, Bühner M. Exploratory factor analysis: Current use, methodological developments and recommendations for good practice. *Current Psychology*. 2021;40(7):3510–21. doi:10.1007/s12144-019-00300-2
- [303] Howard MC. A review of exploratory factor analysis decisions and overview of current practices: What we are doing and how can we improve? *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2016;32(1):51–62. doi:10.1080/10447318.2015.1087664
- [304] Osborne JW. *Best practices in quantitative methods*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications; 2008. p.86.
- [305] Child, D. (2006). *The essentials of factor analysis*. A&C Black. Child D. *The essentials of factor analysis*. London, United Kingdom: A&C Black; 2006.
- [306] Arrindell WA, Van der Ende J. An empirical test of the utility of the observations-to-variables ratio in factor and components analysis. *Applied Psychological Measurement*. 1985 Jun;9(2):165-78. doi:10.1177/014662168500900205
- [307] MacCallum RC, Widaman KF, Zhang S, Hong S. Sample size in factor analysis. *Psychological methods*. 1999;4(1):84. doi:10.1037/1082-989x.4.1.84
- [308] Jackson DL. Sample size and number of parameter estimates in maximum likelihood confirmatory factor analysis: A Monte Carlo investigation. *Structural Equation Modeling*. 2001 Apr 1;8(2):205-23. doi:10.1207/s15328007sem0802_3
- [309] Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE. *Multivariate Data Analysis 7th Edition* Pearson. Prentice Hall; 2009.
- [310] Lorenzo-Seva U, Ferrando PJ. FACTOR: A computer program to fit the exploratory factor analysis model. *Behavior research methods*. 2006 Feb;38(1):88-91. doi:10.3758/bf03192753
- [311] Lorenzo-Seva U, Ferrando PJ. MSA: The forgotten index for identifying inappropriate items before computing exploratory item factor analysis. *Methodology*. 2021;17(4):296–306. doi:10.5964/meth.7185
- [312] Ferketich S. Focus on psychometrics. Aspects of item analysis. *Research in Nursing & Health*. 1991;14(2):165–8. doi:10.1002/nur.4770140211
- [313] Zwick WR, Velicer WF. Comparison of five rules for determining the number of components to retain. *Psychological bulletin*. 1986;99(3):432. doi:10.1037/0033-2909.99.3.432
- [314] Horn JL. A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*. 1965;30:179-185. doi:10.1007/bf02289447
- [315] Subotić S. Pregled metoda za utvrđivanje broja faktora i komponenti (u EFA i PCA). *Primenjena psihologija*. 2013;6(3):203-229. doi:10.19090/pp.2013.3.203-229
- [316] Velicer WF. Determining the number of components from the matrix of partial correlations. *Psychometrika*. 1976;41:321-7. doi:10.1007/bf02293557
- [317] Becker G. The meta-analysis of factor analyses: An illustration based on the cumulation of correlation matrices. *Psychological Methods*. 1996;1(4):341. doi:10.1037/1082-989x.1.4.341
- [318] Kelley TL. *Essential traits of mental life: The purposes and principles underlying the selection and measurement of independent mental factors, together with computational tables*. Harvard University Press; 1935.

- [319] Gaskin CJ, Happell B. On exploratory factor analysis: A review of recent evidence, an assessment of current practice, and recommendations for future use. *International journal of nursing studies*. 2014;51(3):511-21. doi:10.1016/j.ijnurstu.2013.10.005
- [320] Lorenzo-Seva U. Promin: A method for oblique factor rotation. *Multivariate behavioral research*. 1999 Jul 1;34(3):347-65. doi:10.1207/s15327906mbr3403_3
- [321] Lorenzo-Seva U. The weighted oblimin rotation. *Psychometrika*. 2000;65:301-18. doi:10.1207/s15327906mbr3403_3
- [322] Lorenzo-Seva U. A factor simplicity index. *Psychometrika*. 2003;68(1):49-60. doi:10.1007/bf02296652
- [323] Ferrando PJ, Lorenzo-Seva U. Unrestricted item factor analysis and some relations with item response theory. Technical report; 2013. <https://psico.fcep.urv.cat/utilitats/factor>
- [324] Ferrando PJ, Lorenzo-Seva U. Assessing the quality and appropriateness of factor solutions and factor score estimates in exploratory item factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*. 2018;78(5):762-80. doi:10.1177/0013164417719308
- [325] Zhang, J. (2004). Comparison of unidimensional and multidimensional approaches to IRT parameter estimation. ETS Research Report Series, 2004(2), i-40. 37. Zhang J. Comparison of unidimensional and multidimensional approaches to irt parameter estimation. ETS Research Report Series. 2004;2004(2):i-40. doi:10.1002/j.2333-8504.2004.tb01971.x
- [326] Lorenzo-Seva U, Ferrando PJ. A general approach for fitting pure exploratory bifactor models. *Multivariate Behavioral Research*. 2019;54(1):15-30. doi:10.1080/00273171.2018.1484339
- [327] Rodriguez A, Reise SP, Haviland MG. Applying bifactor statistical indices in the evaluation of psychological measures. *Journal of personality assessment*. 2016;98(3):223-37. doi:10.1080/00223891.2015.1089249
- [328] Lorenzo-Seva U, Ten Berge JM. Tucker's congruence coefficient as a meaningful index of factor similarity. *Methodology*. 2006 Jan;2(2):57-64. doi:10.1027/1614-2241.2.2.57.
- [329] Taber KS. The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in science education*. 2018;48:1273-96. doi:10.1007/s11165-016-9602-2
- [330] DeVellis RF. *Scale development: Theory and applications*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc; 2003.
- [331] George D, Mallery P. *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference*. 11.0 update (4th ed.). Boston; Allyn & Bacon; 2003.
- [332] Dinić B. *Principi psihološkog testiranja*. Novi Sad: Filozofski fakultet; 2019. <http://digitalna.ff.uns.ac.rs/sadržaj/2019/978-86-6065-540-2>.
- [333] Tofallis C. Add or Multiply? A tutorial on ranking and choosing with multiple criteria. *INFORMS Transactions on Education*. 2014;14(3):109-119. doi:10.1287/ited.2013.0124

ПРИЛОГ 1 – Упитник за прикупљање захтева у вези са предметима Механика 1 и Отпорност материјала

УПИТНИК

Пред Вама је упитник који садржи питања у вези са предметима Механика 1 и Отпорност материјала.

Анкета је анонимна. Молимо Вас да на питања одговарате искрено.

Попуњавањем упитника дајете пристанак да се Ваши одговори користе за потребе истраживања на тему унапређења наставног процеса.

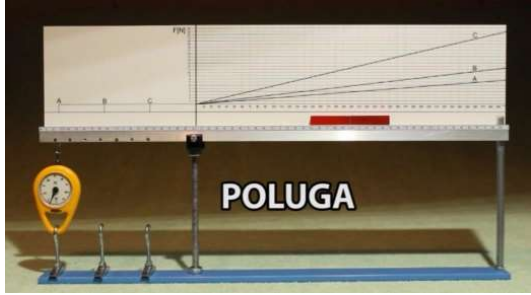
ПРИЛОГ 1 – Упитник за прикупљање захтева у вези са предметима Механика 1 и Отпорност материјала

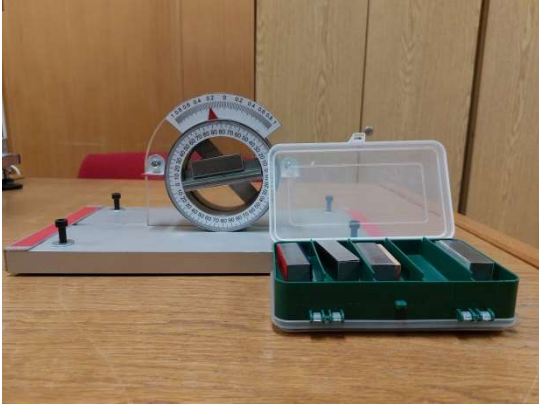

Напишите укратко шта Вам је при учењу МЕХАНИКЕ 1 представљало највећи проблем тј. шта Вам је било најтеже да научите/разумете или у чему сте најчешће грешили?

Напишите укратко шта Вам је при учењу ОТПОРНОСТИ МАТЕРИЈАЛА представљало највећи проблем, тј. шта Вам је било најтеже да научите/разумете или у чему сте најчешће грешили?

ХВАЛА НА САРАДЊИ!

ПРИЛОГ 2 – *Списак учила развијених на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу*




Р. бр.учила	Назив учила/уређаја (област примене)	Опис	Фотографија
1.	Учило за демонстрацију ефеката полуге (статика)	Учило омогућава мултипликацију и редукуцију силе на полуци и разјашњење ефеката полуге преко дијаграма (панона имплементираном на училу), теоријских зависности, покретног тега и аналогног динамометра. На тај начин се могу пратити разлике између измерених вредности сила и теоријски познатих вредности.	
2.	Учило за демонстрацију равнотеже сила на полуци (статика)	Учило омогућава успостављање равнотеже: а) при минималном трењу котрљања (обртна тачка је постављена на котрљајни лежај); б) при трењу клизања (рукавац је контактни пар челик-челик); в) при трењу клизања (рукавац је контактни пар челик-пластика). Преко покретне масе могу се проценити и вредности момената трења у обртној тачки (зони трења).	

<p>3.</p>	<p>Трибометар за одређивање статичког коефицијента трења клизања (статика)</p>	<p>Трибометар омогућава одређивање трења клизања контактних парова израђених од различитих материјала (челик, алуминијум, бакар, месинг, пластика, стакло, гума, кожа, чоја). Очитавање вредности статичког коефицијента трења врши се преко скале промене тангенса угла имплементираних на училу. Нормално оптерећење свих контактних парова износи 1 N. Због стохастичке природе трења, у циљу повећања поузданости резултата нивоа мерења, експеримент треба поновити више пута.</p>	
<p>4.</p>	<p>Трибометар за одређивање статичког коефицијента трења котрљања (статика)</p>	<p>Учило омогућава мерење коефицијента трења котрљања произвољно изабраног диска или кугле по равној површини. Мерењем угла нагиба ($tg\alpha$) врши се преко помичног мерила тачности 0.01 mm.</p>	
<p>5. а)</p>	<p>Учило за демонстрацију расподеле оптерећења просте греде и греде са препустима (статика) – Модел 1</p>	<p>Учило омогућава одређивање отпора ослонаца преко два аналогна динамометра. Може се симулирати радијално концентрисано и континуално оптерећење у произвољно изабраним положајима.</p>	

ПРИЛОГ 2 – Списак учила развијених на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

5. б)	Учило за демонстрацију расподеле оптерећења просте греде и греде са препустима (статика) – Модел 2	Учило омогућава одређивање отпора ослонаца преко два аналогна динамометра. Може се симулирати радијално концентрисано и континуално оптерећење у произвољно изабраним положајима.	
6.	Учило за одређивање отпора ослонаца просте греде и греде са препустима (статика) – Модел 1	Учило омогућава симулацију радијалног оптерећења, косе силе и оптерећења моментом. На училу је имплементиран аналогни мерни систем.	
7.	Учило за одређивање отпора ослонаца просте греде и греде са препустима 2 (статика) – Модел 2	Учило омогућава симулацију радијалног концентрисаног (падајућег) оптерећења и континуалног оптерећења дуж греде. Учило је такође опремљено аналогним мерним системом.	
8. а)	Учило за демонстрацију расподеле оптерећења конзоле (статика) – Модел 1	Учило омогућава одређивање момента и радијалне силе у укљештењу на моделу конзоле при симулацији концентрисаног и континуалног оптерећења. Учило је опремљено аналогним мерним системом.	


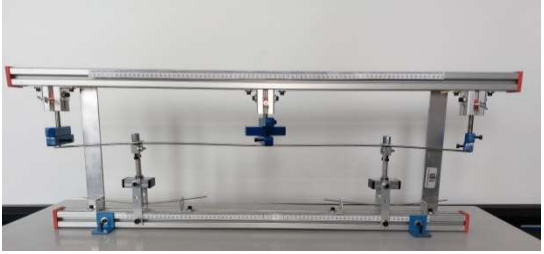
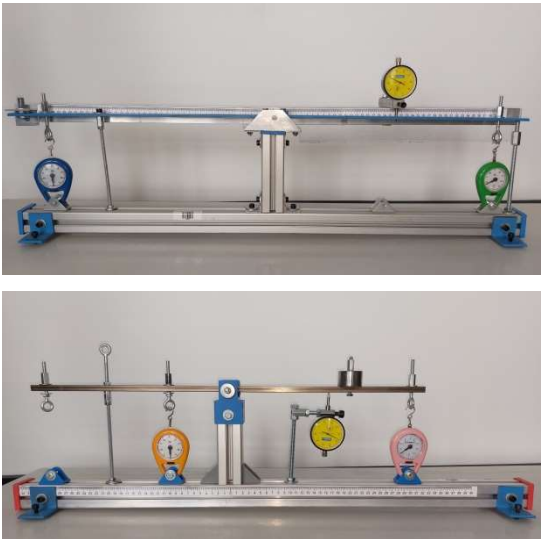
ПРИЛОГ 2 – Списак учила развијених на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

<p>8. б)</p>	<p>Учило за демонстрацију расподеле оптерећења конзоле (статика) – Модел 2</p>	<p>Учило омогућава одређивање момента и радијалне силе у укљештењу на моделу конзоле при симулацији концентрисаног и континуалног оптерећења. Учило је опремљено аналогним мерним системом.</p>	
<p>9.</p>	<p>Учило за демонстрацију полигона сила у равни (статика)</p>	<p>Учило омогућава одређивање сила у два зглобно везана штапа, који међусобно могу заклапати произвољан угао. Штапови су оптерећени тежином G. Учило је опремљено аналогним мерним системом.</p>	
<p>10.</p>	<p>Учило за одређивање отпора ослонаца тела у простору (статика)</p>	<p>Учило омогућава одређивање отпора ослонаца произвољно оптерећеног тела у простору ослоњеног у три тачке. Учило је опремљено аналогним мерним системом.</p>	

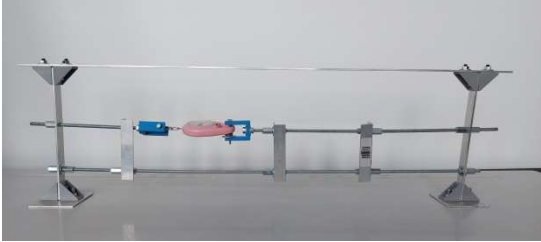
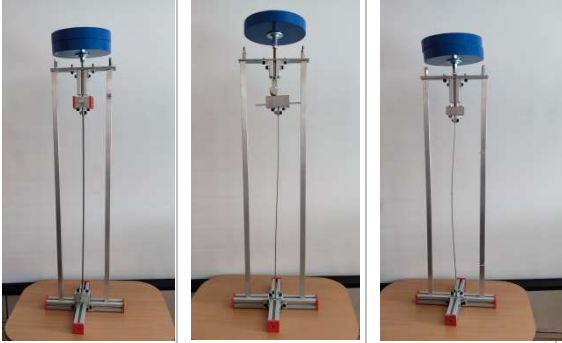
11.	Учило за демонстрацију полигона сучељних сила у равни и у простору (статика)	Учило омогућава одређивање резултате произвољног система сучељних сила у ужадима у равни и у простору. Оптерећење ужади врши се преко 2, 3 или 4 виска пребачених преко котурача. Учило је опремљено аналогним мерним системом.	
12.	Учило за демонстрацију зависности силе и издужења при аксијалном оптерећењу (отпорност материјала)	Учило омогућава верификацију зависности издужења у аксијалном правцу од вредности силе истезања, величине попречног пресека струне, дужине струне и модула еластичности материјала струне. Мерење симулиране вредности силе врши се преко аналогног динамометра, а мерење издужења се врши преко дигиталног помичног мерила прецизност 0.01 mm. Комплетан мерни систем је имплементиран у самом училу.	

ПРИЛОГ 2 – Списак учила развијених на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



13.	Учило за демонстрацију статички неодређеног раванског проблема расподеле сила у три штапа (отпорност материјала)	Учило је конципирано тако да се на крајевима три зглобно везана штапа умеђу три торзионе опруге које омогућавају визуелно сагледавање и мерење издужења, што управо указује на зависност напона и деформације и трећу додатну једначину за решавање статички неподређеног проблема.	
14.	Учило за одређивање модула еластичности материјала (отпорност материјала)	Учило омогућава да се изврши експериментална верификација еластичне линије греде оптерећене на средини распона преко мерења угиба и одређивање модула еластичности.	
15.	Учило за одређивање модула клизања материјала (отпорност материјала)	Учило омогућава експерименталну верификације једначине увијања, где се преко мерења угла увијања витког вратила одређује модул клизања материјала.	

<p>16. а)</p>	<p>Учило за демонстрацију еластичних линија греде и греде са препустом (отпорност материјала) – Модел 1</p>	<p>Учило омогућава да се за различите вредности концентрисаног или континуалног оптерећења изврши мерење угиба на различитим деоницама греде. Мерење угиба се врши преко помичног дигиталног мерила прецизности 0.01 mm.</p>	
<p>16. б)</p>	<p>Учило за демонстрацију еластичних линија греде и греде са препустом (отпорност материјала) – Модел 2</p>	<p>Учило омогућава да се за различите вредности концентрисаног или континуалног оптерећења изврши мерење угиба на различитим деоницама греде. Мерење угиба се врши преко помичног дигиталног мерила прецизности 0.01 mm.</p>	
<p>17.</p>	<p>Учило за експерименталну верификацију еластичне линије конзоле (отпорност материјала) – Модел 1 и Модел 2</p>	<p>Учило омогућава да се симулацијом континуалних и концентрисаних оптерећења у произвољним тачкама конзоле изврши мерење вредности остварених угиба. Поређењем измерених вредности са теоријски познатим вредностима може се утврдити валидност мерења и установити вредности грешака мерења. Код 2. конзоле примењен је аналогни мерни систем (компаратер прецизности 0.01 mm), имплементиран на конзоли, док се код осталих конзола мерење угиба врши помичним дигиталним мерилом прецизности 0.01 mm.</p>	

18.	Учило за демонстрацију и верификацију утицаја начина ослањања греде на крутост греде (отпорност материјала)	Учило омогућава да се при симулацији истог оптерећења на две геометријски идентичне греде различито ослоњене (слободно ослоњене и/или укљештене на једном или оба краја) одреди и квантификује вредност угиба у одређеним положајима. На тај начин могуће је квантификовати утицај начина ослањања на крутост греде (константа у једначинама еластичне линије).	
19. а)	Учило за демонстрацију визуелног приказа еластичних линија рама - оквирног носача (отпорност материјала) – Модел 1	Учило омогућава да се при хоризонталном оптерећењу витког рама и вертикалном оптерећењу релативног крутог рама уоче правци деформација и квантификују вредности угиба дуж еластичних линија.	

<p>19. б)</p>	<p>Учило за демонстрацију визуелног приказа еластичних линија рама - оквирног носача (отпорност материјала) – Модел 2</p>	<p>Учило омогућава да се при хоризонталном оптерећењу витког рама и вертикалном оптерећењу релативног крутог рама уоче правци деформација и квантификују вредности угиба дуж еластичних линија.</p>	
<p>20.</p>	<p>Учило за одређивање критичне силе и облика еластичне линије штапова оптерећених на извијање (отпорност материјала)</p>	<p>Учило омогућава разматрање три карактеристична случаја: а) обострано зглобно везан штап изложен извијању; б) штап укљештен на једном и слободан на другом крају изложен извијању; в) штап обострано укљештен изложен извијању. У сва три наведена случаја одређена је критична сила и експеримент потврђује теоријски познате облике еластичних линија при чему се облици еластичних линија прате преко мерног лењира. Оптерећење се врши са два тега појединачне масе 10 kg.</p>	 <p style="text-align: center;">а) б) в)</p>

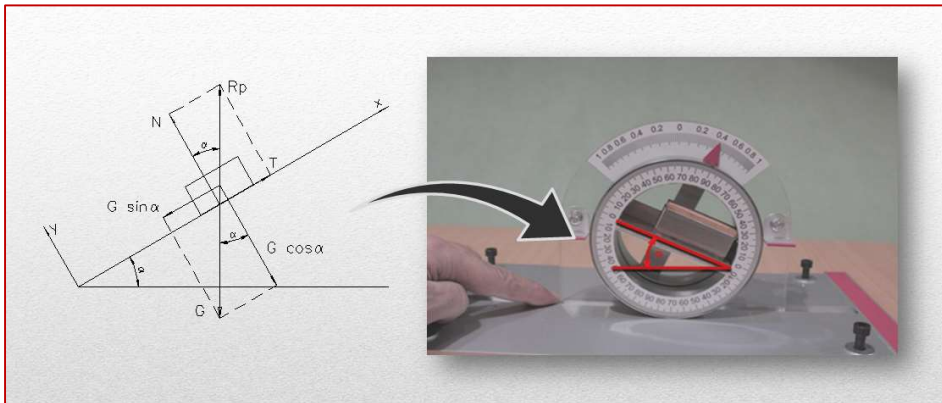
<p>21.</p>	<p>Учило за одређивање периода осциловања физичког клатна (динамика)</p>	<p>Учило омогућава одређивање периода осциловања физичког клатна за четири различите дужине клатна. Промена угла осциловања клатна врши се преко ротационог клатна и одговарајуће Arduino електронике. Посредством наменски развијеног софтвера на рачунару се добија дијаграмски приказ осциловања клатна у временском домену и вредност теоријски познатог и експериментално одређеног – измереног периода осциловања клатна. Могу се уочити минималне разлике између теоријских и експерименталних вредности.</p>	
<p>22.</p>	<p>Учило за експериментално одређивање крутости редно и паралелно везаних опруга (динамика)</p>	<p>Учило омогућава да се одреди крутост система редно, паралелно или комбиновано везаних опруга. Мерење пласиране силе се врши преко аналогног динамометра, док се мерење издужења врши преко мерног лењира.</p>	

<p>23.</p>	<p>Учило које демонстрира трансформацију потенцијалне енергије у кинетичку и квантификује енергетске губитке (динамика)</p>	<p>Челична куглица релативно мале масе (пречника 6 mm) спушта се низ профилисану стазу са висине h, при чему стаза од нагиба одређеног угла прелази у три профилисана обруча и излеће под одређеним углом и наставља кретање по законима косог хица. На основу праћења домета косог хица одређује се излазна брзина куглице, па је могуће одредити и енергетске губитке у овом систему. Обављена и публикована истраживања квантификовала су енергетске губитке реда величине 10^{-3} J.</p>	
<p>24.</p>	<p>Учило за демонстрацију обртања тела око произвољно изабране осе (динамика)</p>	<p>Учило омогућава сагледавање кинематике улежиштења произвољног избора оптерећења тела и демонстрацију инерцијалне силе и еластично везане масе током обртања.</p>	

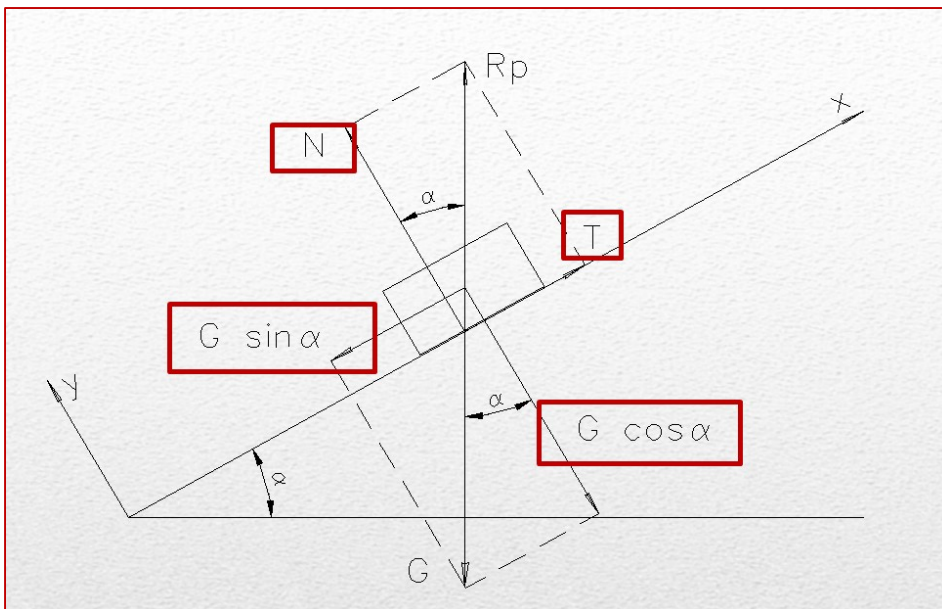
ОДРЕЂИВАЊЕ СТАТИЧКОГ КОЕФИЦИЈЕНТА ТРЕЊА КЛИЗАЊА Лабораторијска вежба

1. ТЕОРИЈСКА ОСНОВА

Вежба се изводи на трибметру заснованом на принципу стрме равни.



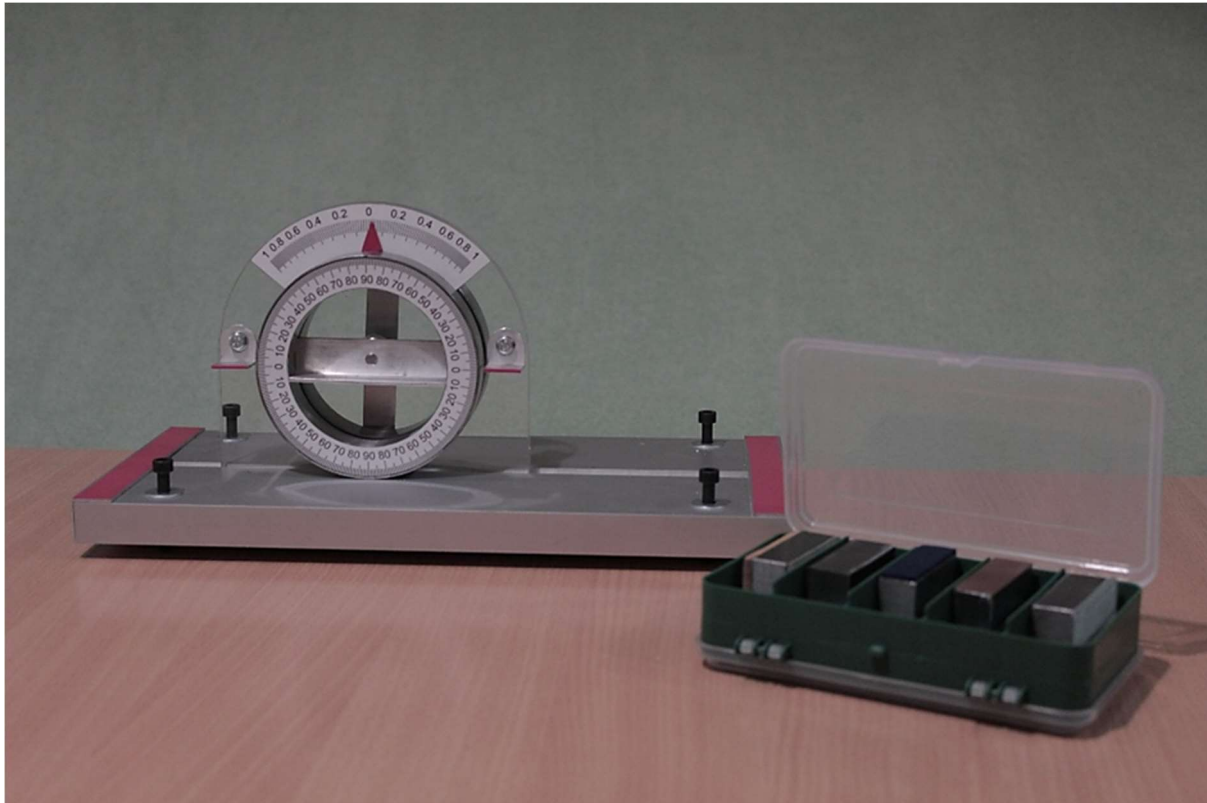
Принцип мерења коефицијента трења преко стрме равни у основи се заснива на сили земљине гравитације. Коефицијент трења клизања представља однос силе трења (T) и силе нормалне на површину контакта (N).



У граничном случају трења клизања важи једнакост:

$$\mu = \frac{T}{N} = \frac{G \cdot \sin \alpha}{G \cdot \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$$

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПОСТАВКА



Основне карактеристике уређаја

- Вредност нормалног оптерећења: 1N.
- Очитавање вредности коефицијента трења: аналогно (вредност tga се очитава на скали).
- Грешка мерења коефицијента трења: мања од 5%.
- Материјали контактних парова - узорака: челик, бакар, алуминијум, стакло, кожа, пластика, плексиглас, дрво, гума, чоја.
- Прецизност мерења коефицијента трења: 0,02.
- Контактна површина: 18 x 50 mm.

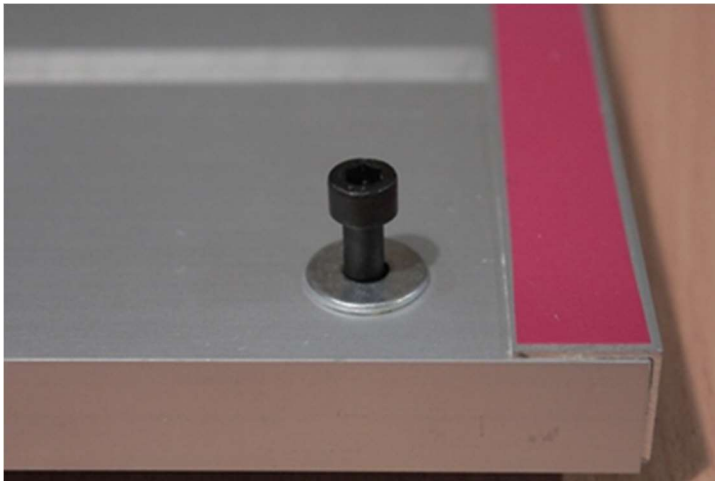
3. ПРИПРЕМА ЗА МЕРЕЊЕ

Нивелација уређаја

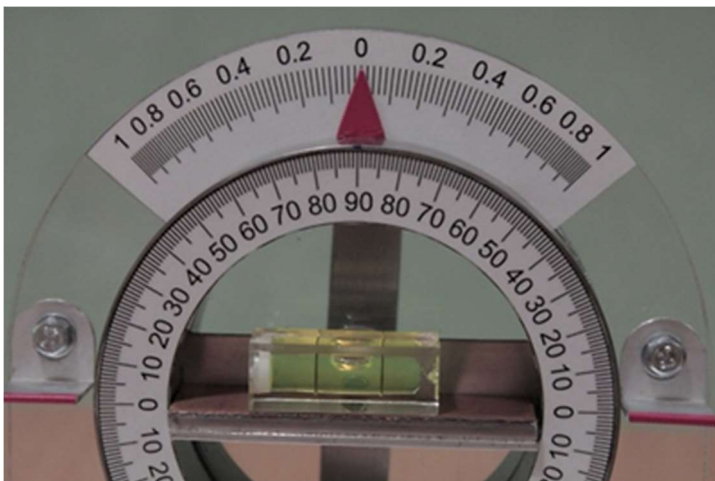
Пре извођења експеримента потребно је извршити нивелацију уређаја. Пре извођења поступка нивелације скалу је потребно довести у нулти положај, једноставним закретањем котрљајног диска око његове осе. Нивелација уређаја се изводи у две равни. Најпогодније је нивелацију извести прво у једној, а затим и у другој равни.

ПРИЛОГ 3 – Задатак и упутство за вежбу „Одређивање статичког коефицијента трења клизања“

У првој равни, нивелација се изводи преко завртњева на постољу.



У другој равни, нивелације се изводи преко либеле.



Нивелацију је могуће извести у било ком положају котрљајног диска у односу на његов гранични леви и гранични десни положај, али се из практичних разлога препоручује да се нивелација уређаја изврши при приближно средњем положају диска.

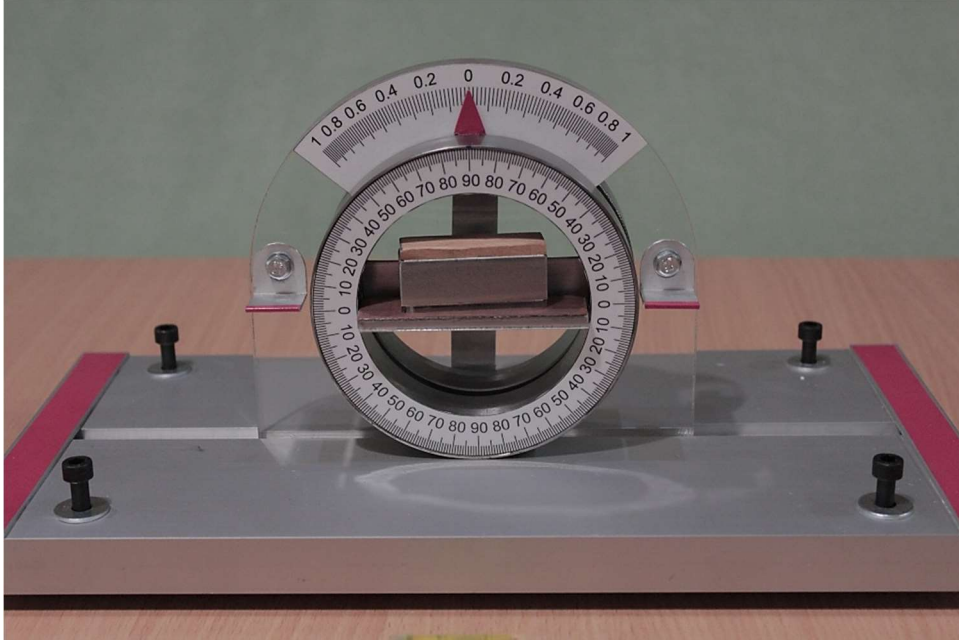
Довођење котрљајног диска у нулти положај скале могуће је извести једноставним закретањем котрљајног диска око његове осе, тј. клизањем изводница диска по подлози.

Припрема узорака

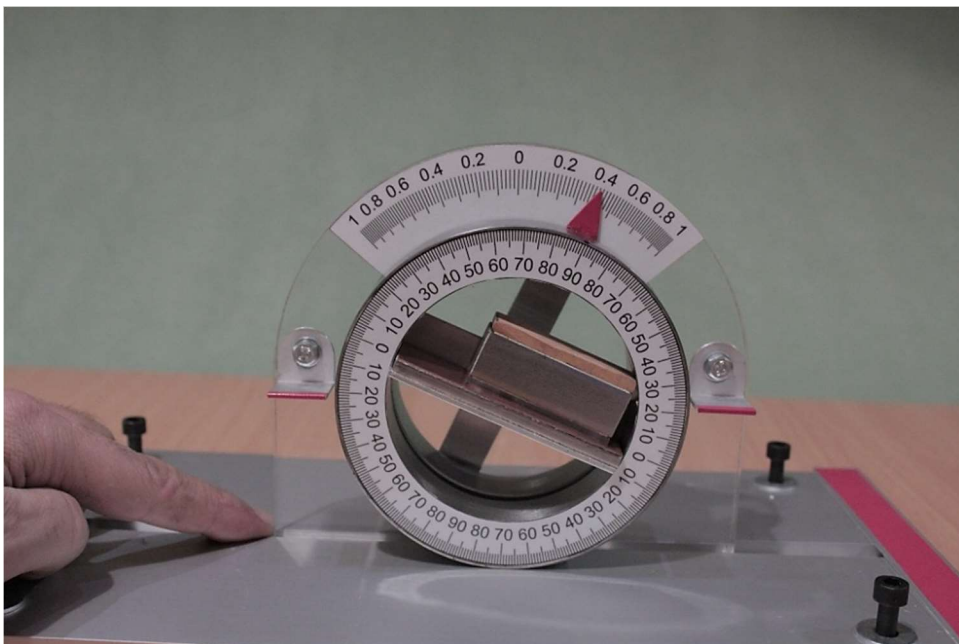
Пре извођења поступка мерења коефицијента трења, потребно је брижљиво припремити узорке. Металне узорке је пре мерења потребно пребрисати прво науљеном, а затим сувом крпом, како би се са њих отклониле нечистоће. Ако се мерење коефицијента трења врши у условима са подмазивањем, на узорке је после чишћења потребно нанети танак филм жељеног уља или мазива.

4. ПОСТУПАК МЕРЕЊА

Након извршене припреме узорака (чишћења и/или подмазивања узорака), најпре се поставља подлога (узорак) од жељеног материјала. На подлогу се затим поставља и други члан контактни пара (узорак). Контактни пар се поставља тако да буде у равни са чеоним зидом обртног диска, а почетни положај је на левој или на десној унутрашњој страни удубљења котрљајног диска.



Након извршене припреме врши се закретање косе равни лаганим померањем носача котрљајног диска по подлози (слика 5). Померање се врши лагано са паузама након достизања закретања котрљајног диска у вредности од приближно једног степена.



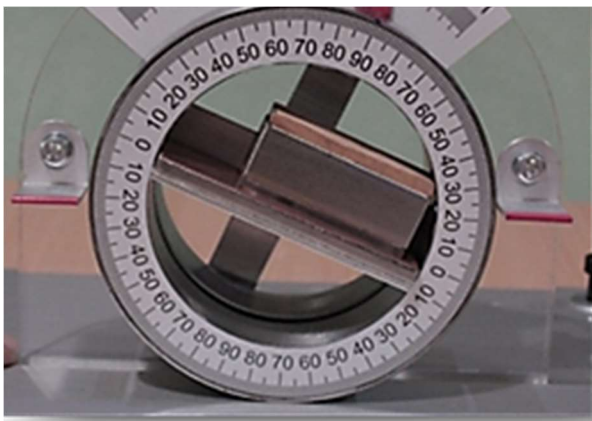
ПРИЛОГ 3 – Задатак и упутство за вежбу „Одређивање статичког коефицијента трења клизања“

Очитавање вредности коефицијента трења врши се на горњој скали преко стрелице као показивача положаја. Скала залепљена на обртном диску има угловну поделу, док је горња скала изгравирана тако да представља тангенс угла, односно вредност коефицијента трења.



После сваког закретања од приближно једног степена прави се пауза од приближно једне секунде и посматра се да ли узорак мирује на подлози или је већ почело његово кретање. У тренутку када се уочи почетак кретања, врши се очитавање коефицијента трења.

При вредностима коефицијента трења већим од 1, користи се угаона (доња) скала.



Вредност коефицијента трења ће у том случају бити:

$$\arctg \alpha$$

Вежба предвиђа обављање 30 мерења.

Имајући у виду природу феномена трења, тј. његову "стохастичку димензију", препоручује се већи број мерења. На тај начин се статистичком обрадом резултата мерења омогућава прецизније одређивање средње вредности коефицијента трења за конкретни клизни пар и дефинисање одступања средње вредности преко стандардне девијације.

Напомена: По завршетку мерења узорке је потребно пребрисати прво науљеном, а затим чистом сувом крпом и одложити на предвиђена места у кутијама за паковање.

5. КОРИШЋЕЊЕ ВЕБ ПЛАТФОРМЕ ЗА УНОС ПОДАТАКА

У корисничком интерфејсу за дату вежбу, потребно је одабрати опцију „Одређивање статичког коефицијента трења клизања“. Вредности 30 мерења се уносе, једна по једна, у табелу, а затим се путем дугмета „Генериши граф“ покреће статистичка обрада унетих података.

TRIBOMETAR

Br.	Unos rezultata	Unos rezultata
1	0.1	0.1
2	0.13	0.13
3	0.13	0.13
4	0.13	0.13
5	0.13	0.13
6	0.14	0.14
7	0.14	0.14
8	0.14	0.14
9	0.14	0.14
10	0.14	0.14
11	0.15	0.15
12	0.15	0.15
13	0.15	0.15
14	0.15	0.15
15	0.15	0.15
16	0.15	0.15
17	0.15	0.15
18	0.15	0.15
19	0.16	0.16
20	0.16	0.16
21	0.16	0.16
22	0.16	0.16
23	0.16	0.16
24	0.17	0.17
25	0.17	0.17
26	0.17	0.17
27	0.17	0.17
28	0.18	0.18
29	0.18	0.18
30	0.2	0.2

Generiši graf

Након клика на дугме, софтвер врши статистичку обраду резултата – формирање варијационог низа, одређивање броја класа и ширине интервала, формирање табеле дистрибуције фреквенција, израчунавање вредности аритметичке средине и стандардне девијације. Резултати се приказују у форми табеле и хистограма.

Intervali	f_i	\bar{x}	σ
0.1-0.12	1	0.1204	0.10722014736046577
0.12-0.14	4		
0.14-0.16	13		
0.16-0.18	9		
0.18-0.2	3		



ПРИЛОГ 3 – Задатак и упутство за вежбу „Одређивање статичког коефицијента трења клизања“

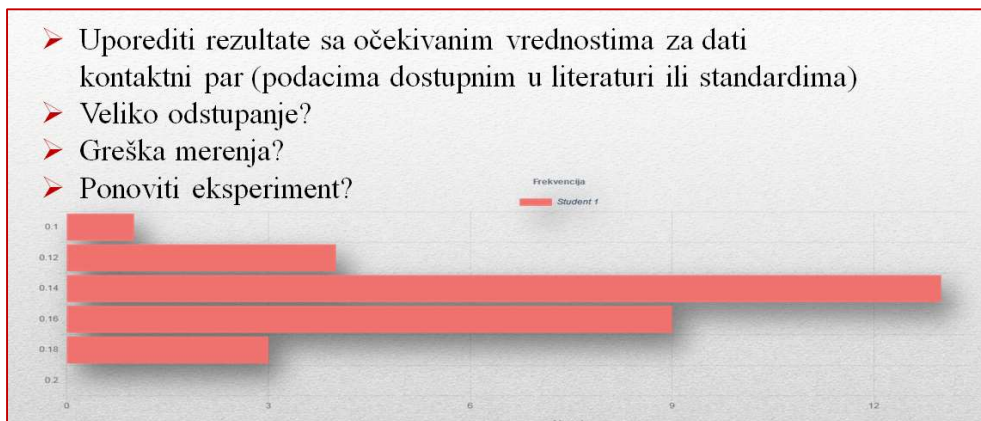
Подсетник: најважније карактеристике података су аритметичка средина:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

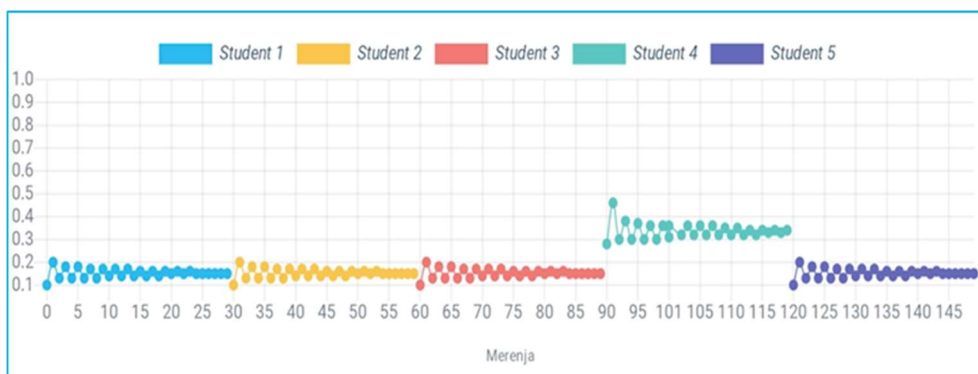
и стандардна девијација:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

1. ТЕМЕ ЗА РАЗМИШЉАЊЕ И ДИСКУСИЈУ



Наставник са свог налога може генерисати заједнички графички приказ резултата мерења више студената. На тај начин се резултати могу поредити и коментарисати.



УПИТНИК

Пред Вама је упитник који садржи питања у вези са Вашим искуствима током извођења лабораторијских вежби.

Анкета је анонимна и њени резултати ће се користити за истраживање о могућностима унапређења извођења лабораторијских вежби. Молимо Вас да на питања одговарате искрено.

I ДЕО

Први део упитника се односи на опште податке о Вама (означите поље испред Вашег одговора).

1. Пол:

- мушки
- женски

2. Тип и ниво студија

- основне академске студије (на факултету)
- емастер академске студије (на факултету)
- докторске академске студије (на факултету)
- струковне студије

II ДЕО

II део упитника се односи на Ваша искуства у раду са новим, „portable“ уређајима (училима). Изаберите опцију која најтачније представља Ваш став (означите поље испред Вашег одговора).

T1 – Рад са новом опремом унапредио је моје познавање теорије о којој сам слушао/ла на предавањима.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T2 – Рад са новом опремом ми је помогао да боље разумем обрасце и зависности између физичких величина, о којима сам слушао/ла на предавањима.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T3 – Рад са новом опремом ми је помогао да стекнем практична знања („осећај“) о реду величина сила и осталих физичких величина, о којима сам слушао/ла теоријска предавања.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T4 – Рад са новом опремом је унапредио моја знања о карактеристикама различитих материјала.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T5 – Рад са новом опремом ми је помогао да лакше креирам и разумем дијаграме зависности између физичких величина.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T6 – Рад са новом опремом је унапредио моја знања о значају и аспектима безбедности руковања лабораторијском опремом.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

ПРИЛОГ 4 – Упитник 2018/19.

T7 – Рад са новом опремом је унапредио моје способности да анализирам резултате експеримената и дискутујем о њима.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T8 – Рад са новом опремом је унапредио моје способности да изводим закључке на основу изведеног експеримента.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T9 – Рад са новом опремом је унапредио моју вештину руковања лабораторијском опремом.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T10 – Рад са новом опремом је унапредио моју вештину одабира правих алата и прибора.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T11 – Рад са новом опремом је унапредио моју способност планирања експеримента.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T12 – Рад са новом опремом је унапредио моје вештине физичког повезивања машинских елемената и склопова, као и електронских елемената опреме.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T13 – Рад са новом опремом је унапредио моју способност за тимски рад.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

ПРИЛОГ 4 – Упитник 2018/19.

T14 – Рад са новом опремом је унапредио моје вештине комуникације.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T15 – Рад са новом опремом је унапредио моју способност самосталног учења.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T16 – Рад са новом опремом ми је донео задовољство због добијања сопствених резултата експеримента.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T17 – Рад са новом опремом је повећао моју мотивисаност за решавање инжењерских проблема.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

T18 – Рад са новом опремом је унапредио моју вештину да учим на грешкама и решавам проблеме када опрема не функционише како треба.

- Уопште се не слажем
- Не слажем се
- Немам став
- Слажем се
- Потпуно се слажем

ХВАЛА НА САРАДЊИ!

УПИТНИК

Пред Вама је упитник који садржи питања у вези са Вашим искуствима током извођења лабораторијских вежби.

Анкета је анонимна. Молимо Вас да на питања одговарате искрено.

Попуњавањем упитника дајете пристанак да се Ваши одговори статистички обрађују за потребе истраживања на тему унапређења наставног процеса у области инжењерства заснованог на примени модуларних лабораторијских сетова.

I ДЕО

Први део упитника се односи на опште податке о Вама (заокружите број испред Вашег одговора):

1. Пол:

- 1 – мушки
- 2 – женски

2. Ниво студија:

- 1 – основне академске студије
- 2 – мастер академске студије

3. Студијски програм (и модул, ако је применљиво)

II ДЕО

Други део упитника се односи на Ваше утиске о раду на модуларним училима.

Потребно је да заокружите број који одговара Вашем ставу, у складу са скалом од 1 до 5 (од 1 – уопште се не слажем, до 5 – у потпуности се слажем)

Испод сваког питања можете, ако желите, уписати и свој коментар.

1.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да боље разумем теоријски део наставе (предавања) и аудиторне вежбе из одговарајућих области.	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						
2.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да повежем теоријско знање и шематске приказе са изгледом и функционисањем реалних механичких система.	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						
3.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да боље разумем обрасце и зависности између физичких величина.	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						
4.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да стекнем/унапредим практична знања о физичким величинама и њиховим јединицама (нпр. распон у ком се крећу вредности коефицијента трења, ред величине појединих сила и др.)	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						
5.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да лакше креирам и разумем дијаграме зависности између физичких величина.	1	2	3	4	5

ПРИЛОГ 5 – Упитник 2021/22.

<i>Ваш коментар:</i>						
6.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло у анализирању резултата експеримената.	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						
7.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да унапредим вештину руковања лабораторијском опремом.	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						
8.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да будем мотивисанији/а за учење.	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						
9.	Извођење лабораторијских вежби ми је помогло да унапредим вештину учења на грешкама.	1	2	3	4	5
<i>Ваш коментар:</i>						

ХВАЛА НА САРАДЊИ!

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Јасмина Миљојковић је рођена у Крагујевцу, 19. 08. 1971. године. Завршила је основну школу „Вук Караџић“ у Крагујевцу, као носилац дипломе „Вук Караџић“ и ђак генерације. Средњошколско образовање стекла је у Првој крагујевачкој гимназији, са одличним успехом. Основне академске студије на Факултету за менаџмент Зајечар завршила је 2010. године са просечном оценом 8,10 (8 и 10/100). Мастер академске студије на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, студијски програм Инжењерски менаџмент, уписала је 2011. и завршила са просечном оценом 9,25 (девет и 25/100). Докторске академске студије на Факултету инжењерских наука, студијски програм Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент, уписала је 2017. и испите положила са просечном оценом 9,67 (девет и 67/100).

Од 1993. до 2004. била је запослена на ТВ Канал 9 у Крагујевцу, на позицијама: новинар и водитељ, заменик главног и одговорног уредника, главни и одговорни уредник. Од 2004. до 2010. била је директорка агенције за маркетинг „Public“. Од 2006 до 2010. била је ангажована на ТВ ИН у Крагујевцу, као новинар, водитељ и уредник програма културе. Од 2010. је запослена на Факултету инжењерских наука, где је до 2017. обављала послове шефа кабинета декана и односа са јавношћу, а од 2017. је библиотекар – шеф службе, уз ангажовање и на пословима односа са јавношћу и чланство у комисијама за промоцију, самовредновање и обезбеђење квалитета. Уредник је 12 јубиларних споменица генерација алумнија и монографије издате поводом 55 година рада Факултета и један од коаутора монографије издате поводом 60 година рада Факултета инжењерских наука.

Од 2016. године је активно укључена у развој уређаја и учила на Факултету инжењерских наука. Аутор је и коаутор 16 научних радова, од чега једног рада категорије М21, четири М23, два М24, четири М33, два М52, три М63, као и једног техничког решења и једног поглавља у међународној монографији.

Поседује напредно знање енглеског језика и средњи ниво знања руског језика.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

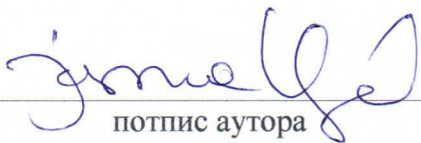
МОДЕЛ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ НАСТАВНОГ ПРОЦЕСА У ОБЛАСТИ ИНЖЕЊЕРСТВА
ЗАСНОВАН НА ПРИМЕНИ МОДУЛАРНИХ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ СЕТОВА

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 23.06.2023. године,


потпис аутора

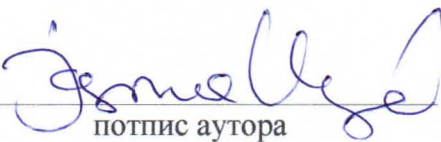
**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

МОДЕЛ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ НАСТАВНОГ ПРОЦЕСА У ОБЛАСТИ ИНЖЕЊЕРСТВА
ЗАСНОВАН НА ПРИМЕНИ МОДУЛАРНИХ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ СЕТОВА

ИСТОВЕТНОС.

У Крагујевцу, 23.06.2023. године,


ПОТПИС АУТОРА

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Јасмина Миљојковић,

дозвољавам

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

МОДЕЛ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ НАСТАВНОГ ПРОЦЕСА У ОБЛАСТИ ИНЖЕЊЕРСТВА
ЗАСНОВАН НА ПРИМЕНИ МОДУЛАРНИХ ЛАБОРАТОРИЈСКИХ СЕТОВА

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

дозвољавам

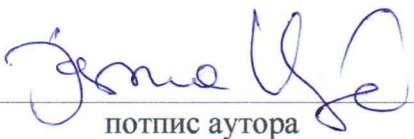
не дозвољавам¹

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- 5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерадаⁱⁱ

У Крагујевцу, 23.06.2023. године,



потпис аутора

ⁱⁱ Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>