



Универзитет у Крагујевцу

Факултет инжењерских наука

**РАЗВОЈ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА НАПРЕДНОГ МЕТОДА ЗА
УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИЈУ РАДНОГ
ОКРУЖЕЊА ПРИ МАНУЕЛНИМ ОПЕРАЦИЈАМА**

Докторска дисертација

Кандидат:

Evanthia Giagloglou, MSc

Ментор:

др Иван Мачужић, ванр. проф.

Кragujevac, 2017.

ИДЕНТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
I. Аутор
Име и презиме: Еванџија Гиаглоглу (Evanthia Giagloglou)
Датум и место рођења: 29.05.1975. Солун, Грчка
Садашње запослење: -
II. Докторска дисертација
Наслов: РАЗВОЈ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА НАПРЕДНОГ МЕТОДА ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ БЕЗБЕДНОСТИ И ОПТИМИЗАЦИЈУ РАДНОГ ОКРУЖЕЊА ПРИ МАНУЕЛНИМ ОПЕРАЦИЈАМА
Број страница: 132
Број слика: 23
Број библиографских података: 259
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука, Крагујевац
Научна област (УДК): 331.32.4, Безбедност на раду. Радна околина. Радна средина
Ментор: Др Иван Мачужић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
III. Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 30.06.2015.
Број одлуке и датум прихватања теме докторске дисертације: 01-1/3260-24 од 17.09.2015.
Комисија за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Др Петар Тодоровић, ванредни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустијски инжењеринг, 2. Др Бранислав Јеремић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустијски инжењеринг, 3. Др Бранко Тадић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство и Индустијски инжењеринг, 4. Др Иван Бекер, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, уже научне области: Квалитет, ефективност и логистика, 5. Др Иван Мачужић, доцент, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научна област: Производно машинство и Индустијски инжењеринг.
Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:
<ol style="list-style-type: none"> 1. PhD Micaela Demichela, assistant professor, First school of Engineering, Politecnico di Torino, Italy, areas of expertise: Decision analysis in risk assessment, Environmental Safety Technique, Hygiene and safety at work, 2. PhD Panagiotis Bamidis, associate professor, Medical School of the Aristotle University of Thessaloniki, Greece, scientific fields: Affective and Applied Neuroscience, Affective and Physiological Computing, multimodal interaction and HCI, Bio-medical Informatics with emphasis on neurophysiological sensing, signal analysis and imaging of human emotions, 3. Др Стеван Милисављевић, ванредни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, уже научне области: Квалитет, ефективност и логистика, 4. Др Петар Тодоровић, редовни професор, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, уже научне области: Производно машинство 5. Др Марко Ђапан, доцент, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, уже научна област: Индустијско инжењерство и инжењерски менаџмент
Датум одбране докторске дисертације:

And if you find her poor, Ithaca has not deceived you.

Wise as you have become, with so much experience, you must already

have understood what these Ithacas mean.

C. Kavafis

Предговор

Желела бих да се захвалим конзорцијуму пројекта *Innovation through Human Factors in Risk Analysis and Maintenance (InnHF)* који је омогућио да се остварим у истраживачкој области, што је одувек и била моја лична страст. Знајући да су људски фактори један од најважнијих и кључних проблема друштва, радовала сам се даљем образовању, разумевању тематике као и успешној сарадњи у оквиру конзорцијума, састављеног од невероватно позитивних професора и истраживача. Била сам позитивно изненађена када ми је, мој професор и ментор др Иван Мачужић предложио да се бавим истраживањима у области когнитивне и физичке ергономије. Ово је веома занимљива област и кроз рад сам стекла искуство радећи са великим бројем нових метода и идеја, како бисмо успели да унапредимо начин рада и помогнемо радницима. Професору Ивану Мачужићу сам захвална на подршци, стрпљењу и корисним саветима током мог трогодишњег боравка у Крагујевцу.

Моје истраживање не би било уврштено у научни пројекат без потпуне и безрезервне подршке професорке *Micaela-e Demichela-e*, којој ћу увек бити захвална. Такође, желела бих да се захвалим *Eleonora-u Pilone* за подршку, помоћ и разумевање током моје *Marie Curie* стипендије у Србији.

Моје путовања у Србији званично почиње састанком са два веома призната професора и то професором Иваном Гутманом и професором Борисом Фуртулом. Они су међу најбистријим умовима у Србији и увек ћу бити поносна што сам их упознала!

Желела бих да се захвалим професору *Panagiotis-y Bamidis-y* који ми је омогућио да проведем 4 месеца у лабораторији Физичке медицине на Универзитету *Aristotle*, где сам имала прилике да сарађујем са одличном групом истраживача. Професор и његова истраживачка група, нарочито др *Panagiotis Antoniou* и др *Christos Frantzidis* водили су ме кроз биомедицинска истраживања и помогли ми да материјализујем своје идеје.

Овом приликом бих се захвалила и мојим супервизорима у компанијама *FCA Srbija d.o.o.* и *Johnson Controls*, Саша Николићу и Срђану Новокмету, који су ми допустили да посматрам и разговарам са њима о проблемима у области безбедности и здравља на раду и могућим решењима.

Увек ћу се радо сећати свих професора које сам срела на факултетима Универзитета у Крагујевцу, а специјално проф. др Петра Тодоровића и проф. др Миладина Стефановића, који представљају веома предане и посвећене професоре и одлични су примери на који начин је потребно приступити предавањима и интеракцији са студентима.

Поред професора, неколико истраживача ми је помогло и сматрам да је један део ове докторске дисертације делом њихова заслуга, и то: др Саша Бранковић са познавањем електродермалне активности и Саша Гојковић са својом конструкцијом и развојем уређаја за мерење електродермалне активности.

Волела бих да напоменем да је рад са колегама Миланом Раденковићем, *Christos Tsiafis-ом* и др Марком Ђапаном, у потпуности трансформисао стрес у току рада у веома угодну радну активност. Недостајаће ми рад са вама! Такође, радо ћу се сећати колега др Павла Мијовића, Марка Милошевића, *Alberto Petruni-a* и Ђорђа Вучковића за помоћ око спровођења експеримената. Веома сам поносна што сам успела да остварим јако добра и снажна пријатељства захваљујући овом пројекту, моја пријатељица и колегиница др *Jie Geng* је једна од најбољих особа које сам упознала и надам се да ћемо сарађивати у будућности! На крају, захвална сам студентима из *FIN racing* тима, Наталији Алексић и Николи Бандуки за њихову подршку, помоћ и за учествовање у експериментима.

Моје истраживање не би било тако интересантно без мојих пријатеља, који су ме увек подржавали током добрих и нарочито лоших дана. *Eleni*, *Slavkoh* и Недо хвала вам што сте део мог живота и што смо наставили да будемо добри другови. Захвална сам и професорки Маријани Матић која ме је упознала са лепотама српског језика и професорки Мирјани Милинковић која ме је упознала са немачким језиком, који и даље учим. Мој веома добар пријатељ који ме је подржавао својим стрпљењем, својим математичким идејама и карактером је др *Rosario Crociani*. *Rosario*, у потпуности си ме подржавао задњих 15 година. Моје

искрено признање др *Enrico Mantini*-ју, који је током задњих 17 година увек био на мојој страни и који ме је подржавао током мојих докторских студија. Желела бих да се захвалим мом добром другу др *Shubhankar Bhattacharyya*-у који је веома вредна особа и право благо као пријатељ.

Не бих била овако страствена током истраживања најбољих могућих решења за људе, без безрезервне подршке и значајних животних лекција мојих родитеља. Ова докторска дисертација је посвећена њима, *Kiriaki* и *Dimitrios Giagloglou*, кога сам изненада изгубила током докторских студија. Мој брат и ја ћемо стално пратити његове животне лекције: никада не одустај, не буди тужан у недаћама и стално покушавај да будеш боља особа. Принципи моје породице увек ће бити део мог живота!

Acknowledgements

I express my thankfulness to the consortium of Innovation through Human Factors in Risk Analysis and Maintenance (InnHF), which gave me the possibility to endear in a research area, that has always been my personal passion. Knowing that Human Factors is among the most important and crucial issues of our society, I was looking forward to learning, deepening, understanding, and finally positively collaborating within this consortium, which consists into amazing professors and researchers. I was positively surprised when my professor and mentor Ivan Macuzic proposed me to investigate into cognitive and physical ergonomics, an amazing field of experiencing novel methods and ideas, that will improve the way we work and help people. I am thankful to him for his support, patience and guidance during my three years in Kragujevac.

My research would not have been driven into a scientific project without the total and full support of professor Micaela Demichela, to whom I am, and I will always be very grateful. I would like also to thank Eleonora Pilone for her support, help and understanding during my Marie Curie fellowship in Serbia.

My journey in Kragujevac started with the meeting of two exemplar professors; professor Ivan Gutman and professor Boris Furtula, who are among the brightest minds in Serbia. I will always be proud to have met them!

I would like also to thank Professor Panagiotis Bamidis who permitted me to spend 4 months at his laboratory of Medical Physics at Aristotle University, where I had the possibility to collaborate with his excellent group of research. He and his group, specially Dr Panagiotis Antoniou and Dr Christos Frantzidis guided me into biomedical research and helped me materialising my ideas.

I want also to thank my supervisors at Fiat Serbia and Johnson Controls, Sasa Nikolic and Srdjan Novokmet, who permitted me to observe and discuss with them problematic areas of EHS and they illuminated me with their solutions.

I will always remember all professors I met at University of Kragujevac, but specially prof. Todorovic and prof. Stefanovic, who are dedicated professors and splendid example of teaching and interacting with students.

Beyond my professors, several researchers have helped me and I reckon that part of my dissertation is based on their support; Dr Sasa Brankovic with his deep knowledge of Electrodermal activity and Sasa Gojkovic with his inventions, designing and implementing the Electrodermal activity device.

I would like also to underline that working with Milan Radenkovic, Christos Tsiafis, Dr Marko DJapan, transforms any working stress into a pleasant activity. I will miss working with you guys! Of course, I will always remember Dr Pavle Mijovic, Marko Milosevic, Alberto Petruni and Djordje Vuckovic for their beautiful company during our missions and experiments. I am very proud that I did a great friend thanks to this project, my friend and colleague Dr Jie Geng is among the best persons I met, and I hope we will collaborate a lot in the future! Finally, I am very thankful to all the guys from FIN racing, Natalia Aleksic and Nikola Banduka for their support, help, and participation to my experiments.

My research would not be an interesting part of my lifetime journey without my friends, who have been always supportive during the good and the bad days. Eleni, Slavkoh, and Neda thank you for being in my life and most of all thank you that you continue to be my good friends. My good teacher Dr Marjana Matic who introduced me into the beauty of Serbian language. My beautiful teacher Mirjana Milinkovic who inspired me with the German language, and I still study her lessons. My very good friend who supported me with his patience, his mathematical ideas, and inspired me with his character Dr Rosario Crociani. Rosario, you have supported me in bad days and you have joyed my good days the last 15 years! My sincere acknowledgement to Dr Enrico Mantini, who for the last 17 years is always by my side and who has been very supportive during my doctoral studies. I would like also to thank my good friend Dr Shubhankar Bhattacharyya who is a valuable person and a treasure as a friend.

I would not have been passionate for investigating better solutions for people without my parents' support and valuable life lessons. The present work is dedicated to them Kiriaki and Dimitrios Giagloglou, who I lost suddenly during my doctoral research. Me and my brother will always follow his life lessons: to never give up, to not feel sad during difficulties and always try for being a better person. My family principles will always accompany my life!

РЕЗИМЕ

Савремени индустријски системи се могу описати помоћу напредне технологије и опреме коју користе, и често се погрешно сматра да је људски утицај у таквим системима у потпуности елиминисан. Међутим, човек је и даље кључна компонента за функционисање система, обзиром да аутоматизоване линије нису елиминисале мануелне операције. Без обзира на висок ниво технолошког напретка, безбедност на раду се не може у потпуности загарантовати. Сходно томе, безбедност и здравље на раду остаје кључна област за унапређење у сваком радном окружењу. Ергономија је област науке који се бави оптимизацијом радних активности и има за циљ смањивање броја обољења у вези са радом. Већина техника и метода за идентификацију здравствених проблема у вези са радом и оптимизације радног окружења се заснива на праћењу спровођења радних активности и извештавању о инцидентима/акцидентима. Док, методе за избегавање људских грешака се заснивају на обукама и одговарајућем образовању из области безбедности и здравља на раду.

Праћење спровођења радних активности је субјективна метода, а извештавање о инцидентима/акцидентима може бити веома значајан параметар за разумевање проблема на радном месту. Ипак, чињенице и резултати овим методама се не добијају у реалном времену што може представљати значајно и важно питање за безбедност на радном месту. Са друге стране, методе за обуку из безбедности и здравља на раду, иако је скоро све време неопходна, не спречава у потпуности настанак инцидентата/акцидентата и обољења на радном месту, што указује на велики простор за унапређење у овој области.

Ова докторска дисертација истражује могућности примене електрофизиолошких мерења како би се забележило когнитивно стање радника паралелно примењивајући постојеће стандардизоване методе у области ергономије. Фокус ове докторске дисертације јесте на употребљивости електордермалне активности током спровођења три типа истраживања и то: два су везана за спровођење понављајућих радних активности и трећи се односи на обуку из области безбедности и здравља на раду.

Помоћу електродермалне активности могуће је одредити нелагодност и когнитивно стање радника путем одређених сигнала и с тим у вези може представљати веродостојан алат за потпуно разумевање стања радника током спровођења физичких и/или когнитивних радних задатака. Суштина употребљивости електродермалне активности лежи у томе што је то механизам нервног система и може се користити као параметар реакције на емотивно стање. На основу два спроведена истраживања дошло се до закључка да је након примене стандардизованих ергономских метода неопходно испитивати и когнитивно стање радника и да је потребно комбиновати физичку и когнитивну ергономију. Ови резултати се могу користити као почетна тачка за значајно дубље истраживање тренутно прихваћених ергономских метода.

Треће истраживање у вези обуке је показало да је веће емотивно узбуђење забележено током обуке на рачунарским играма него током стандардне обуке. Резултати овог истраживања показују да је употребљивост савремених технологија (нарочито рачунарских игара) у спровођењу обука велика, нарочито у области безбедности и здравља на раду.

Развој новог метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама, базиран је на дефинисању алгорита које је потребно реализовати при чему су све активности сврстане у 5 корака/фаза. Нови метод, под акронимом СМАРТ указује на приступ који доноси паметнија решења: **Стандарди/Standards**, **Мерења/Measurements**, **Анализа/Analysis**, **Реакција/Reaction** и **Тренинг/Training**.

ABSTRACT

Modern industrial environment can be described by advanced technology and machinery and many believe that human operational tasks are almost eliminated. However, people are still the key component of the processes whilst automation has not eliminated manual operations. Safety in the working place cannot be guaranteed, despite technological advances; accordingly, Occupational Health and Safety remains a crucial sector for improvement in every working environment. Ergonomics deal with the optimization of work design and aims to minimize occupational issues. Most of the techniques for the identification of occupational issues and optimization of working environment are based on task observation and recording incidents. While methods for avoidance of human error are based on training and appropriate safety education.

Task observation is a subjective method, and recording of incidents can be an important kind of metrics for understanding the workplace defects. Nevertheless, these methods do not capture the facts in real time and this can be an important issue for the workplace safety. On the other hand, methods of safety training, although are most of the times necessary, do not really prevent from accidents or occupational health problems and still remain an open sector of improvement.

This thesis investigates the possibility of electrophysiological recording for the purpose to capture operators' cognition in parallel with application of ergonomic standardized methods. The study focuses on the usefulness of Electrodermal activity during three case-studies; two of them represent common working tasks of low risk, and one is based on safety training methods.

Electrodermal activity has demonstrated to relate discomfort and cognitive status to specific biosignals, therefore, it can be a valid tool for deeply understanding the status of the operators, while they perform cognitive or physical tasks. The core of Electrodermal activity usefulness is that it is a mechanism of sympathetic nervous system and can be used as an index of autonomic reaction to emotions.

The two case-studies indicate that beyond common ergonomically standardized methods, cognitive status should be investigated, and physical ergonomics should be

applied in parallel with cognitive ergonomics. These results can be used as basis for deeper investigation of currently accepted ergonomic methods.

The case–study that is focused on training shows a clear higher arousal during the computer game training than the real person-to-person training. These results indicate the usefulness of modern PC based training methods specially in safety domain.

The development of a new method for improving safety at work and optimizing the working environment for manual operations is based on the definition of the algorithm to be implemented, where all activities are grouped into five steps/phases. The new method, under the acronym SMART, points to an approach that brings smarter solutions - Standards – Measurements - Analysis - Reaction - Training.

Ова докторска дисертација је заснована на следећим радовима објављеним у међународним часописима и конференцијама:

- I. I. Macuzic, **E. Giagloglou**, M. Djapan, P. Todorovic, B. Jeremic. **Occupational safety and health education under the Lifelong learning framework in Serbia**, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics Vol. (22) 4, 2016.
- II. **E. Giagloglou**, M. Djapan, P. Mijovic, C. Tsiafis, I. Macuzic. **Safety knowledge for professional engineers and students, a global scheme of education**, SEFI 2014: 42nd Annual Conference; Birmingham; United Kingdom; 15 September 2014 through 19 September 2014; Code 112543.
- III. **E. Giagloglou**, M. Radenkovic, M. Milosevic, C. Tsiafis, P. Mijovic, I. Macuzic, M. Djapan, S. Brankovic. **Measures of orienting response for improving safety training**, Safety and Reliability of Complex Engineered Systems – Proceedings of the 25th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2015, Pages 2889–2893.
- IV. **E. Giagloglou**, I. Macuzic, M. Radenkovic, M. Milosevic, B. Jeremic. **Improving Safety through gaming: A serious game’s application for risky professions**, Reliability Assessment and Life Cycle Analysis of Structures and Infrastructures EREDA, 49th ESREDA Seminar Brussels 29–30 Oct.
- V. **E. Giagloglou**, M. Radenkovic, S. Brankovic, P. Antoniou, I. Zivanovic-Macuzic. **Pushing, pulling, and manoeuvring an industrial cart: a psychophysiological study**, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics JOSE, 2017, Vol. 18, pp. 1-9.

- VI. **E. Giagloglou, P. Mijovic, S. Brankovic, P. Antoniou, I. Macuzic. Cognitive status and Repetitive working tasks of low risk**, Safety Science, 2017, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.004>
- VII. **E. Giagloglou, S. Brankovic, I. Macuzic. Improving Quality of Work Life Through Electrophysiology: An Idea Accepted by Industry**, International Journal for Quality Research Vol. 9(4), 2015, Pages 643–656.
- VIII. A. Petruni, **E. Giagloglou**, E. Douglas, J. Geng, M.C. Leva, M. Demichela. **Applying Analytic Hierarchy Process (AHP) to choose a Human Factors technique: choosing the suitable Human Reliability Analysis technique for the automotive industry**. Safety Science, 2017, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.05.007>

Садржај

Преглед коришћених скраћеница	18
Списак слика.....	19
Списак табела	20
1.0 Увод.....	21
1.1 Потреба за безбедношћу	21
1.2 Потреба за обуком из безбедности и здравља на раду	24
1.3 Ергономија	28
1.3.1 Физичка ергономија.....	30
1.3.2 Когнитивна ергономија	32
1.4 Предмет докторске дисертације и хипотезе	33
1.5 Методе истраживања.....	34
1.5.1 Фокус истраживања	37
1.6 Актуелност научног истраживања у области	40
1.7 Садржај дисертације.....	42
2.0 Образовање и обука у области безбедности.....	44
2.1 Методе за образовање и обуку у области безбедности.....	44
2.1.1 Програми за доживотно учење	45
2.1.2 Индустијски тренинзи	46
2.1.3 Методи, образовање и обука у области безбедности и здравља на раду засноване на видео играма	47
2.2 Предложени модел озбиљне игре	48
2.3 Обука из безбедности и здравља на раду у пракси	53
2.4 Прилагодљив тип обуке и когнитивна ергономија	54
2.5 Корисност електродермалне активности током рада и обуке.....	54
3.0 Компаративна анализа ефективности метода за обуку из безбедности и здравља на раду	57
3.1 Увод у озбиљне игре и модел дидактичког уређаја	57
3.2 Методологија истраживања.....	57
3.2.1 Модел дидактичког модела.....	57

3.2.2	Озбиљна игра.....	60
3.3	Резултати компаративне анализе спроведених експеримената	60
3.4	Дискусија компаративне анализе два експеримента	62
4.0	Безбедност и здравље на раду у пракси: студија случаја – ризични положаји тела током спровођења радних активности	63
4.1	Идентификовани проблем	63
4.2	Понављајуће радне активности.....	65
4.3	Оцена ризика методом понављајућих радних активности	66
4.4	Методе истраживања.....	67
4.4.1	Учесници.....	70
4.5	Резултати	70
4.5.1	Индекси методе понављајућих радних активности.....	70
4.5.2	ЕДА резултати.....	71
4.6	Дискусија.....	75
5.0	Гурање, повлачење и управљање индустријским колицима: психофизиолошко истраживање.....	79
5.1	Активност гурања-повлачења као критична радна активност.....	79
5.2	Методе истраживања.....	82
5.2.1	Процена ризика према стандарду ISO 12228:2	82
5.2.2	Учесници.....	83
5.2.3	Упитник.....	83
5.2.4	Колица.....	84
5.3	Резултати	87
5.4	Дискусија.....	91
6.0	Предлог новог метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама ..	94
6.1	Потреба за новим моделом и приступом за унапређење безбедности и здравља на раду	94
6.2	Ергономија као веза између безбедности и здравља на раду и квалитета живота током рада	95

6.3 Основна идеја и структура СМАРТ метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама.....	98
7.0 Закључци	103
Литература	106
Додатак А – Индустијска колица	131

Преглед коришћених скраћеница

ABET	енг. Accreditation Board for Engineering And Technology
ANOVA	енг. Analysis of Variance
ATA	енг. Number of Repetitive Actions in work shift
ECEC	енг. European Council of Engineers Chambers
EDA	енг. Electrodermal Activity
EEG	енг. Electroencephalogram
FPFL	енг. Fast positive feedback loop
GSR	енг. Galvanic Skin Response
IEA	енг. International European Alliance
ISO	енг. International Standard Organization
KS	енг. Kolmogorov Smirnov
LLL	енг. Lifelong Learning
LSL	енг. Linden Scripting Language
MUV	енг. Multi User Virtual
NFL	енг. Negative Feedback Loop
OCRA	енг. Occupational Repetitive Action
OHS	енг. Occupational Health and Safety
OR	енг. Orienting Response
OS	енг. OpenSim
OSHA	енг. Occupational Safety and Health Administration
QWL	енг. Quality of Work Life
nRTA	енг. Number of Reference Technical Actions
SCA	енг. Skin Conductance Area
SCL	енг. Skin Conductance Level
SCR	енг. Skin Conductance Response
SPFL	енг. Slow Positive Feedback Loop
SWAT	енг. Subjective Workload Assessment Technique
TLX	енг. Task Load Index
WP	енг. Workload Profile

Списак слика

Слика 1. Елементи електродермалне активности.....	38
Слика 2. Шематски приказ методе (преузето из <i>Brankovic, 2011</i>).....	39
Слика 3. Зграда фабрике	49
Слика 4. Одељак за производњу цеви.....	49
Слика 5. Просторија у којој се налази пећ	50
Слика 6. Изглед спољашњости фабрике	50
Слика 7. Тастатура за унос шифре за хитне случајеве.....	51
Слика 8. Модел дидактичког уређаја.....	53
Слика 9. ЕДА уређај	56
Слика 10. Експеримент на моделу дидактичког уређаја (1).....	59
Слика 11. Експеримент на моделу дидактичког уређаја (2).....	59
Слика 12. Резултати мерења реакције проводљивости коже током два експеримента (моделу дидактичког уређаја и озбиљна игра)	61
Слика 13. Компаративна анализа амплитуде у првих и задњих 15 минута експеримента.....	72
Слика 14. Компаративна анализа области у првих и задњих 15 минута експеримента.....	73
Слика 15. NFL_0 (1) првих 15 минута и NFL_0 (2) задњих 15 минута експеримента.....	73
Слика 16. SPFL_0 (1) првих 15 минута и SPFL_0 (2) задњих 15 минута експеримента.....	74
Слика 17. Приказ методе 1, према стандарду ISO 11228–2:2007	82
Слика 18. Дизајн колица	85
Слика 19. Конструкција колица	86
Слика 20. Средња вредност амплитуде за све учеснике током сва три модалитета радних активности.....	88
Слика 21. Резултати упитника	90
Слика 22. Основни алгоритам СМАРТ метода.....	98
Слика 23. Развијени алгоритам СМАРТ метода.....	101

Списак табела

Табела 1. Појединачне активности.....	68
Табела 2. Детаљи понављајућих радних активности	70
Табела 3. Константе захтеване према стандарду No. ISO 11228–3	71
Табела 4. Карактеристике колица	84
Табела 5. Опис методологије експеримента за гурање и повлачење.....	87
Табела 6. Мерења према методи 1	87
Табела 7. Амплитуда током спровођења сва три модалитета радних активности. 89	
Табела 8. Резултати упитника.....	90

1.0 Увод

1.1 Потреба за безбедношћу

Безбедност се може посматрати неизоставном унутрашњом потребом сваког живог бића, обзиром да је повезана са опстанком. Међу свим живим врстама, људска бића имају највећу потребу да преживе, са тим у вези, за последицу има и највећу жељу за безбедношћу и заштитом. Питање и потреба безбедности човека је старо колико и постојање човека на Земљи. Још од давнина људско биће има јасну потребу да се заштити од ризика појаве природних катастрофа и опасности које проистичу из њих. Током еволуције, питања у вези јавног здравља и цивилне заштите појављивала су се у свакодневном животу и постала су саставни део потребе за безбедношћу. Данас, безбедност је постала кључни проблем, јер технолошке револуције не само да су допринеле развоју нових технологија, уређаја, савремених објеката већ и настанку нових потенцијалних опасности/штетности и високе ризике. Индустриска револуција је унапредила стандард живота захваљујући аутоматизованим процесима омогућивши масовну производњу. Међутим, нове технологије су, поред очигледних позитивних аспеката, донела и нове типове акцидентата (непланирани и нежељени догађаји са последицама). Један од првих великих индустријских акцидентата забележен је 1866. године у Великој Британији, када је услед експлозије 74 бојлера изазвало страдање 77 људи. Последњих година, увођењем нових облика енергије, фабрике и остала индустријска постројења постала су ризичнија, уз појаву нових опасности/штетности различитог нивоа озбиљности последица. Откриће нуклеарне фисије омогућио је настанак јаког односно концентрисаног извора енергије чији су ризици познати од раније. Међутим, сазнање о свим могућим негативним последицама је оформљено без претходног искуства и података о акцидентима из ранијег периода.

Након ступања на снагу Закона о атомској енергији из 1946. године, формиран је убрзо и Одбор за заштиту реактора (1947). Закон о атомској енергији из 1954. године обезбедио је могућност коришћења нуклеарне енергије у индустријске сврхе што је за последицу имало да се прва функционална нуклеарна електрана

сагради 1957. године у Пенсилванији, САД (место енг. *Shippingport*). У то време, потенцијалне опасности и ниво ризика који се односе на нуклеарне електране нису били познати, тако да је Прајс-Андерсонов закон (енг. *Price-Anderson Act*) био ограничен само на финансијски ризик. Први извештај о акцидентима у нуклеарним електранама, назван WASH-740, написан је и издат 1957. године од стране Националне лабораторије Брукхејвен (енг. *Brookhaven National Laboratory*). Претпостављене могуће последице су биле неприхватљиве, док је вероватноћа настанка догађаја сматрала веома малом.

Као што је горе напоменуто, безбедност је била и још увек јесте примарна потреба. У том смислу, значење термина безбедност се континуално мења, развија се са културом и постаје саставни део ње. Многи познати индустријски (и они други) акциденти значајно су повећали потребу за примерима добре праксе односно безбеднијим радом. У истом временском периоду целокупно друштво је спознавало важност безбедности и покушавало да спозна шта би безбедност требало да представља. У данашњем поимању ствари, безбедност не утиче искључиво на радна места, готов производ, јавно здравље или природно окружење, већ и на професионална питања која се најчешће односе на прилагођавање радног места раднику. Индустријски (и они други) акциденти, који се још увек дешавају, указују на неопходност и потребу за значајно пажљивије одабраним приступима у области безбедности. Примери акцидентата у прошлом периоду и даље имају јако велики утицај и важан корак у инжењерингу безбедности и представљају основу за широко прихваћену дефиницију безбедности.

На основу и према већини познатих речника, безбедност јесте превенција стања које може да доведе до опасности, повреде или штете. Појам безбедности се значајно боље разуме на основу броја настанка великих акцидентата. *Feyzin* (1966), *Flixborough* (1974), *Seveso* (1976), *Mexico City* (1984), *Bhopal* (1984), *Tsernobil* (1986), *Pasadena* (1989), *Blaye* (1997), *Buncefield* (2005) и *Texas City* (2005) су најпознатији акциденти који су се догодили у прошлости, али постоје и још других. Сви поменити акциденти доказали су да досадашња унапређења у традиционалним приступима инжењерингу безбедности нису довела до значајног

и очекиваног унапређења наших способности за пројектовање система веће безбедности (Leveson, 2011). Примери великих акцидентата се односе на инжењеринг безбедности. Међутим, безбедност има шире значење када је реч о заштити од свих познатих опасности и штетности (Leveson, 2011).

Осим индустријских акцидентата, термин безбедности на радном месту се односи на проблеме искључиво везане за радне активности и искључиво се везује за задовољство и здравље радника. Из овог разлога, последњих година користи се термин безбедност и здравље на раду (енг. *Occupational Health and Safety - OHS*), према директиви 89/391/ЕЕС (енг. *Directive 89/391/EEC*). Након увођења ове директиве, многи стандарди, регулативе, закони и смернице су уведени у праксу. Безбедност и здравље радника на радном месту, према стандарду OHSAS 18001:2007, дефинисано је као стање или фактори који утичу или могу да утичу на безбедност и здравље радника али и свих осталих радника (укључујући раднике на одређено време и раднике ангажовани као извођачи радова). Безбедност и здравље радника на радном месту има посебно место у развијеним компанијама различитих индустрија. Представља значајан и сектор у константном развоју, јер задовољство и здравље радника представља глобални приступ и приоритет. Безбедност и здравље на раду може да се посматра и као неизоставни део квалитета живота током рада (енг. *Quality of Work Life - QWL*) и у перспективи представља област коју је неопходно континуално унапређивати.

Уколико компанија донесе одлуку о дефинисању и увођењу програма за унапређење безбедности и здравља на раду, неопходно је да буду у складу са стандардом OHSAS 18001. Према стандарду OHSAS 18001, потребно је да се обезбеди сваком раднику компаније, који својим радним активностима има било какав утицај на безбедност и здравље, адекватно и најбоље могуће образовање, обуку и искуство за радне активности које обавља на радном месту.

1.2 Потреба за обуком из безбедности и здравља на раду

Многи сматрају да данашња развијена и модерна индустрија обезбеђује боље радно место са значајно мањим бројем насталих грешака. Ипак, данашњи пословно-производни системи постају све сложенији и то углавном због великог броја фаза у производњи производа који захтевају велики број операција и различите процесе неопходних за производњу (*Michalos et al., 2010; Mirer, 2011*), високог нивоа аутоматизације и интеракције човек-машина (*Hassam & Mahamad, 2012*). *Ulin* и *Keyserling* (2004) су приметили и у свом раду објавили да у аутомобилској индустрији, иако је једна од технолошки најразвијенијих индустрија, има јако велику стопу појављивања коштано-мишићних поремећаја (енг. *musculoskeletal disorders*). Поред тога, *Kvarnström* (1997) је приметио да увођењем линија за мотажу високог технолошког нивоа развоја значајно компликује и усложњава операције ручне манипулације. Уосталом, когнитивни фактори као што су замор и стрес без обзира што имају велики и значајан утицај на учинак и спровођење радних активности, а самим тим и на профит, квалитет, повреде и акциденте, не мере се у временском домену.

Важност имплементације најновијих препорука у области безбедности је евидентна кроз многобројне законе и директиве које су донете у овој области. Иновирањем и увођењем нових препорука захтевају додатну обуку у одређеном, дефинисаном временском периоду и то искључиво у делу који се односи на нове методе, законе и директиве у области безбедности. Постоји неколико техника и методологија за смањивање ризика који се односе на небезбедне поступке. Многе од ових техника су стандардизоване и њихова важност се огледа у чињеници да се одређени број налазе у међународним и домаћим законима и директивама. За сваку од поменутих техника прописана је и препоручена неопходна обука за примену истих. Поред свега наведеног, постоји забринутост на нивоу Европе да компетентност у области безбедности у хемијској индустрији значајно опада, што је презентовано на Европском конгресу о хемијском инжењерству у Берлину (ЕССЕ–8, 2011). Многи експерти и истраживачи у области безбедности (*Leslie, 1973; McQuiston, 2000; Papadaki, 2008; Liu et al. 2012*) сматрају да компетенције

искључиво зависе и производ су адекватног образовања, које се препоручује да почне што је раније могуће. Нажалост, образовање у области безбедности почиње знатно касније и то након завршетка основног образовања. Дакле, једино решење би се односило на покушај прилагођавања и оптимизовања образовања (и то за одрасле) у области безбедности тако што ће се радник обучавати специјално и само за радне активности које су планиране да спроводи. Узимајући у виду чињеницу да се технике класичног образовног система односно класичан приступ држења наставе може применити и на све особе различите доби, многи аутори сматрају да је другачији и иновативнији приступ подучавања одраслих особа неопходан (*Knowles, 1973; Knowles, 1980; Dembe, 1996; Bryan, 1999; Palmer, 2007; Reinhold et al., 2014*), и то коришћењем различитих методологија за подучавање. Знање у области безбедности и здравља на раду се подразумева ширим знањем, које је неопходно да се унапређује и континуално усавршава, обзиром да се у одређеном дефинисаном временском периоду појављују нови стандарди и захтеви.

Могући недостатак знања и могуће потешкоће едукације у области безбедности и здравља на раду, у комбинацији са карактеристикама одраслих особа, посматра се као посебан случај образовања и који не може у потпуности бити покривена класичним образовањем. Образовне институције (Универзитети и факултети) имају главну и најодговорнију улогу у образовању будућих инжењера. Једно од решења за квалитетније образовање будућих инжењера може бити целоживотно учење (енг. *Lifelong Learning - LLL*).

Оно што је битно нагласити јесте да велики део курсева обухваћени целоживотним учењем може да одговори на стручне захтеве и потребе професије. У погледу безбедности и здравља на раду, потреба за учењем и стицањем нових знања из ове области јесте захтевана и неопходна, али не искључиво за лакше спровођење радних активности, већ због успешне и одрживе имплементације система безбедности и здравља на раду. Имајући у виду различиту структуру индивидуалних учесника у области безбедности и здравља на раду са различитим образовањем и вештинама, сматра се да су инжењери најподобнији за овакву врсту посла. Потреба и важност учествовања инжењера у области безбедности и

здравља на раду је потврђена различитим препорукама, као и у неким законским документима издатих од стране Европског савета инжењерских комора (енг. *European Council of Engineers Chambers - ECEC*) под називом Kodeks квалитета за Европске инжењере (енг. *Code Of Quality for European Chartered Engineers*). Овај кодекс је усвојен на састанку одржаном 20.11.2010. године у Љубљани, Словенија. Постоје и још агенција и удружења која подржавају важност учествовања инжењера у области безбедности и здравља на раду као што су Акредитациони одбор за инжењерство и технологију (енг. *Accreditation Board for Engineering and Technology - ABET, criterion 3c 2012–2013*) и Међународно удружење инжењера (енг. *International Engineering Alliance - IEA*). Стога су многи технички универзитети и факултети увели предмете и курсеве који се односе на безбедност и здравље на раду. *Arezes* и *Swuste* (2012) су показали да су предмети и курсеви из области безбедности и здравља на раду најчешће организовани и уврштени у наставни план и програм техничких универзитета и факултета у Европи. *Bryan* (1999) је у свом раду јасно назначио потребу за предметима и курсевима који покривају област безбедност и здравље на раду, док је *Dembe* (1996) указивао на потребу да се образовање у вези безбедности и здравља на раду спроводи кроз и након законски обавезног образовања (основни ниво образовања). Многе студије у различитим индустријским секторима и у различитим државама, указале су на неопходност обуке из области безбедности и здравља на раду. Такође, већина аутора ових студија је закључила не да је обука из ове области довољна, већ да је и додатна обука потребна и пожељна (*Brahm & Singer, 2013; Stuart, 2014*). Посматрајући захтеве индустрије, млади инжењери безбедности и здравља на раду који су завршили факултете требало би да буду добро образовани и са најновијим знањем коришћења методологија за унапређење безбедности на реалним индустријским проблемима, док се начин и концепт размишљања инжењера безбедности и здравља на раду формира комбинацијом темељног класичног образовања и интензивне обуке (*Jürgen, 2013*). Посматрајући проблематику читавог сектора безбедности и здравља на раду, неопходно је да се реше следећи проблеми:

- Потпуни недостатак знања из области безбедности и здравља на раду на основним академским студијама; већина студената никада није имала нити један предмет који се тиче безбедности и здравља на раду (чак ни на нижим нивоима образовања).
- Недостатак знања по питањима која се односе на савремене захтеве; ово представља типичан проблем за људе који раде у области безбедности и здравља на раду. Иако су стекли значајно и завидно искуство у овој области неопходно је да се информишу о новим законима, регулативама, директивама и сл., како би прилагодили стечено знање и вештине новим, измењеним захтевима.
- Обука искључиво везана за реалне индустријске проблеме. Реални проблеми се углавном разликују од поставке за испитивања у лабораторијским условима, због тога студенти, чији је циљ усавршавање и рад у специфичним областима безбедности и здравља на раду, неопходно је да остваре значајно ближу сарадњу са индустријом.

Да би се обезбедило одговарајуће знање из безбедности и здравља на раду и направио искорак ка решавању горе наведених проблема, факултети не би требало да се ограничавају само задацима унутар академског окружења, већ да прошире утицај и да сва решења буду апликативна и употребљива. Опште је познато и прихваћено различите активности у оквиру едукације укључујући образовање, учење и обуку на свим нивоима, услов за унапређење безбедности и здравља на радном месту. Још један јако важан корак, а тиче се углавном обуке, јесте препознавање ризика; многа радна места се представљају као радна места са процењеним ризиком као мали, док је реалност значајно другачија и садржи мноштво скривених опасности и штетности и других проблема у области безбедности и здравља на раду.

1.3 Ергономија

Концепт безбедности и здравља на раду је замишљен као динамички однос односно неизоставна веза радног места и радника. У складу са претходним, безбедност и здравље се може посматрати и гарантовати прилазом од две компоненте: одговарајуће образовање и обука радника, као и оптимално уређено радно место за радника. Научна дисциплина која проучава радно место у смислу уређености према потребама радника јесте ергономија. У суштини, ергономија је наука која се бави више системом прилагођавања радног места раднику него физичком прилагођавању радника задатим радним активностима (*OSHA 3125*).

Huwel Murrell је увео појам „ергономија“ и дефинисао га као „научно истраживање веза између човека и његове радне околине“ (*Murrell, 1965*). Сматра се да је ергономија кључни елемент квалитета посла и задовољства послом. *Bagtasos* (2011) је објавио да квалитет рада обухвата карактеристике посла, а да радно окружење утиче на рад радника. У суштини, ергономија је наука која се бави проучавањем људи на послу. Појам ергономије се спомиње и у конотацији као „људски фактор“, а како би се избегло погрешно разумевање често се може наићи у литератури и термин „људски фактори и ергономија“ (енг. *Human Factors and Ergonomics*). Постоји неколико области које покрива ергономија и то: физичку ергономију (енг. *physical ergonomics*) која разматра физичке карактеристике човека, когнитивну ергономију (енг. *cognitive ergonomics*) која се бави менталним процесима, ергономију околине (енг. *environmental ergonomics*) која је део физичке ергономије чији је фокус на интеракцији човека и окружења, и организациону ергономију (енг. *organisational ergonomics*) која обухвата оптимизацију друштвено-техничких система. У овој докторској дисертацији највећи фокус и простор је дат физичкој и когнитивној ергономији.

Ергономија је тесно повезана са безбедношћу и здрављем на раду. Велики број истраживача и практичара (*Eklund, 1995; Hamrol et al., 2011; Thun et al., 2011; Falck & Rosenqvist, 2012*) су показали да активности у оквиру физичке и организационе ергономије могу смањити грешке и имају свеобухватни општи позитиван утицај.

Neumann и Dul (2010) у свом раду су навели да менаџери сматрају и препознају ергономију као алат помоћу којег је могуће унапредити безбедност и здравље на раду. Генерално, имплементација прописаних активности из области ергономије у значајној мери доводи до смањења акцидентата и унапређује читаву област безбедности и здравља на раду (Imada, 1990). Заправо, као доказ овој тврдњи јесте постојање неколико студија којима је идентификован однос између физичких фактора ризика на послу и обољења у вези са радом (Bernard, 1997; Kao, 2003). Сматра се да је Dempsey et al. (2000) на најбољи могући начин дефинисао ергономију као дизајн и инжењеринг система човек-машина у циљу побољшања људских перформанси.

Веза између безбедности и здравља на раду и ергономије може да се посматра и у обрнутом смеру, у смислу да лоша ергономија доводи до акцидентата. Axelsson (2000) је у свом истраживању показао да је 17 задатака са значајно високим ергономским ризиком изазвало 80% грешака радника. Три истраживања Falck et al. (2010), Falck et al. (2014), Falck & Rosenqvist (2014) која су обухватила аутомобилску индустрију, показала су директну везу ергономије и безбедности и здравља на раду. Eklund (1995) и Fritzsche et al. (2014) су показали да се са лошим ергономским дизајном ризик од настанка отказа је три пута већи. Almgren и Schaurig (2012) открили су у својим истраживањима да ергономски лоше испланирани задаци изазивају дупло више грешака. Исто тако, неки истраживачи (Axelsson, 2000; Erdinc & Vayvay, 2008) доказали су директан утицај ергономије на смањење грешака у квалитету производа, док су Yeow и Sen (2006) практично доказали да је могуће смањење од 30% у грешкама при мануелним операцијама унапређењем ергономије. Такође, још једна ергономска студија случаја показала је значајну везу између сложености у монтажи и ергономског обима посла и стопе неуспеха (Falck et al., 2014).

1.3.1 Физичка ергономија

Физичка ергономија изучава оптерећење на човеково тело током спровођења активности, као што су рад, спорт, кућни послови и слично. *De Looze & Koningsveld* (https://oshwiki.eu/wiki/Physical_ergonomics) су представили методологију услед изложености оптерећењу и његово потенцијално негативан утицај на човеково тело.

Директива 89/391 дефинише комплетну листу опасности и ризика који могу да се пронађу односно идентификују на радном месту, укључујући тежак рад, понављајуће радње, статичност, обављање радних активности у седећем положају. *Hendrick* (2003) је у свом истраживању навео да одговарајућа опрема за рад са добро дизајнираним односно прилагодљивим алатима и подесивим радним местом има јасан и значајан позитиван утицај у смислу унапређења безбедности и здравља на раду.

Многи истраживачи су демонстрирали и презентовали своје резултате о утицају физичке ергономије, да чак и најјефтинија ергономска решења могу значајно да утичу на квалитет рада (*Yeow & Sen 2003, 2006; Erdinc & Vayvay, 2008*). *Fritzsche et al.* (2014) спровео је истраживање које је обухватило 623 радника монтаже у Немачкој аутоиндустрији. Резултати овог истраживања су следећи: 22821 направљених грешака је идентификовано по *Reason-овој* методи (*Reason, 1990*) и то 53% грешака је класификовано као клизање (током извршења радних активности), 36% пропуста (грешке везане искључиво за образовање, вештине и резонување радника) и 11% грешака (планирање радних активности). Резултати су показали да у основи, број грешака је увећан за 80% за најтежа физичка оптерећења. Физичка оптерећења увећавају ризик од клизања и пропуста, за 3,66 и 2,44 респективно, док резултати истраживања нису показали везу са грешкама. У овом истраживању, узети су у обзир и фактори старосне доби и полне разноликости и идентификоване су најчешће грешке које се јављају (*Fritzsche et al., 2014*). Резултати у овом истраживању су се поклопили са резултатима истраживања које су спровели *Falck et al.* (2010) и *Almgren & Schaurig* (2012), при

чему најчешће идентификоване грешке су оне које су настале током спровођења радних активности.

González et al. (2003) су показали да се квалитет производа увећао за 2%, док је дорада односно додатна обрада полупроизвода или готовог производа значајно смањена након унапређења физичке ергономије. Иако се губитак материја смањио на мање од 45%, број рекламација се статистички није променио након унапређења у области физичке ергономије. Највероватнији разлог оваквог резултата се може пронаћи у и даље високом оптерећењу радника односно тежим радним задацима. Ризици физичке ергономије су решени увођењем одговарајућих алата и опреме (опрема за подизање терета) и дефинисањем инструкција за рад (правилно држање тела током спровођења радних активности). Други облици унапређења у ергономији ко што су измене у производњи, измене у дизајну нису разматрани у овом истраживању. Ниво шкарта је и даље остао на јако високом нивоу, чиме се потврђује да унапређење у области ергономије у неким случајевима има мало утицаја на квалитет односно на грешке у квалитету производа. Овакав закључак је донесен без обзира на недостатак контролне групе што је отежало доношење закључака о ефикасности утицаја физичке ергономије на квалитет (*González et al.*, 2003).

1.3.2 Когнитивна ергономија

Познато је, од 70-их година прошлог века, да професионални (радни) задаци утичу на благостање радника изражено кроз физичке и друштвене факторе (*Lawer & Hall, 1970; Sheppard & Herrick, 1972; Susman, 1975; Cumming & Malloy, 1977*). *Karwowski et al.* (2003) сматрају да је за идентификацију свих (потенцијалних) проблема везаних за посао односно за проблеме током спровођења радних активности неопходно узети у разматрање физичке и когнитивне факторе. Главни доказ томе јесте чињеница да грешке нису само последица утицаја физичких фактора ризика, већ постоје и други фактори ризика током спровођења радних активности као што су организациони, когнитивни и психичко-друштвени фактори који значајно утичу на квалитет производа (*Layer et al., 2009*).

Постоје многа истраживања о узрочно-последичној вези когнитивних и психичко-социјалних фактора на проблеме током и у вези са радом. *Lin et al.* (2001), *Thun et al.* (2011) и *Hamrol et al.* (2011) су у својим истраживањима показали да велики утицај на висок ниво грешака има задато временско ограничење. *Falck & Rosenqvist* (2012) су показали да су когнитивни захтеви повезани и са бројем грешака и са радним оптерећењем (физичка ергономија). Чак и добро познати проблеми односно обољења у вези са радом као што су мишићно-коштани поремећаји нпр. болови у леђима су пре повезани са психичко-друштвеним факторима ризика него са физичким (*Gatchel et al., 1995; Ferguson & Marras 1997; Linton, 2000; Pincus et al., 2002; WHO, 2003*). Истраживачи *Hoogendorn et al.* (2000) су вршили испитивања која се тичу психичко-друштвених и физичких фактора и дошли су до закључака да оба типа фактора значајно утичу на појаву болова, а касније и на појаву обољења.

1.4 Предмет докторске дисертације и хипотезе

Многи истраживачи и практичари у области безбедности и здравља на раду углавном се усресређују на физичке модификације радних места, са циљем постизања лакшег физичког рада и на тај начин обезбеђују већу безбедност и здравље радника на раду. Заправо, неколико техника за оптимизацију радних активности се фокусира на физичку оптимизацију радних задатака и/или обезбеђују одговарајућу обуку за радне задатке који укључују физички напор, а класификовани су у области ниско-средњих ризика. Ипак, увек постоји и когнитивни фактор ризика који никако не би требало да се занемари. Ова докторска дисертација има за циљ да идентификује и квантификује когнитивне факторе током спровођења честих индустријских мануелних операција. Истраживање започиње анализом метода у области ергономије објашњених у два међународна стандарда ISO 11228-2:2007 и ISO 11228-3:2007. У овој докторској дисертацији спроведена су мерења електропсихолошких сигнала како би се доказала односно показала важност коришћења електропсихологије у области ергономије. Такође, ова мерења ће се спроводити како би се проверило да ли су когнитивни фактори који утичу на радне активности фактори ниског ризика према стандардима у области ергономије. Очекује се промена у измереним сигнаlima на основу којих би могло да се дође до закључака о карактеристикама радних задатака и њиховој вези са когнитивним стањем радника. Предмет докторске дисертације се може представити кроз следеће хипотезе:

- **Хипотеза 1:** Познавање когнитивног стања радника током спровођења радних активности, које укључују операције гурања/повлачења, је корисно за дефинисање објективне оцене психофизиолошких показатеља ергономских ризика.
- **Хипотеза 2:** Могуће је да радни задаци класификовани у области ниских ризика, утичу на когнитивно стање радника, нарочито током спровођења радних активности које подразумевају ручну манипулацију.

Други део истраживања се односи на оптимизацију односно посвећен је унапређењу обуке радника, који се подразумева значајним за сваки програм

безбедности и здравља на раду. У том смислу, спроведено је истраживање нових метода за обуку радника које обухватају когнитивни аспект и емоције. Експеримент се заснива на упоређивању нових и класичних метода које се најчешће користе за стандардну обуку нових радника у индустрији из области безбедности и здравља на раду. Предмет овог истраживања у вези приступа у обуци радника се базира на следећим хипотезама:

- **Хипотеза 3:** Могуће је дефинисати нови метод за обуку оператера за безбедан рад базиран на напредним андрагошким едукационим принципима.
- **Хипотеза 4:** Систематизацијом резултата обављених испитивања могуће је дефинисати предлог новог, оригиналног метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама.
- **Хипотеза 5:** Озбиљне видео игре могу у значајној мери да унапреде обуку у области безбедности и здравља на раду.

1.5 Методе истраживања

Ова докторска дисертација се бави унапређењем безбедности и здравља на раду кроз едукацију и обуку радника и поређењу радних активности (низак-средњи ризик) помоћу електропсихологије и одабраних ISO стандарда. Дисертација обухвата 3 научна експеримента, као и садржај који је објављен у 8 радова у међународним часописима са СЦИ листе и међународним конференцијама.

За потребе истраживања, спроведена су 3 типа експеримента. Лабораторијска опрема за ову врсту експерименталних испитивања састојала се од:

- **Модела дидактичког уређаја.** Систем са 20 различитих и независних уређаја, прекидача и сензора за безбедност на раду, као што су: ласерски скенери, светлосна завеса, електромеханички и безконтактни сигурносни прекидачи. У ову групу спадају сигурносни блокирајући уређаји, прекидачи позиције, безконтактни прекидачи и напредни контролери. Интегрисани систем са наведеним прекидачима и сензорима инсталирани

на једном техничком систему (мотор једносмерне струје) приказан је на слици 8. Суштина читавог система јесте да полазник обуке изабере један од више понуђених безбедносних сензора или прекидача и да га повеже у једну функционалну целину. То значи да нарушавањем простора техничког система (уласком руке у простор у коме ради мотор једносмерне струје или отварање једних од врата на систему) долази до престанка рада техничког система, оглашавања аларма и приказивања светлосног сигнала црвене боје. На тај начин полазник добија сигнал да је нарушио радни простор техничког система, као и да је добро повезао изабране компоненте. Овај дидактички модел је оцењен као веома користан, одлично осмишљен и лако доступан за рад сваком полазнику.

- **ЕДА (енг. *Electrodermal activity*) уређај.** Истраживачи са Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу развили су уређај за мерење електродермалне активности (ЕДА), користећи једносмерну струју. Развијени уређај приказан је на слици 7. Карактеристике ЕДА уређај су следеће:
 - фреквенција мерења је 40 узорака у секунди,
 - мерни опсег за проводљивост коже је од 0 до 120 μ S,
 - бежични рад се спроводи путем *Bluetooth*-а 2.4GHz, класа 2 (домет од максимално 10m) за праћење на рачунару у реалном времену. Димензије уређаја су 50x40x10mm.
 - електроде су *Viopac-EL507*. Карактеристике електрода – контакт Ag/AgCl пречника 11 mm, течни гел електролита 0.5% хлоридна со, величина: 27 mm (ширина) x 36 mm (дужина) x 1.5 mm (дебљина).
 - Прикупљање података је могуће у *Windows* окружење и/или на *Android* платформи. Сигнали и подаци прикупљени помоћу ЕДА уређаја биће процесирани и анализирани помоћу софтверског пакета *Matlab*.

- **Модел индустријских колица.** За израду прототипа индустријских колица коришћен је алуминијумски рам (*Green Frame* компаније *LeanProducts.eu*) како би се осигурала максимална флексибилност и прилагодљивост у смислу потребних додатних прилагођавања и измена модела колица. Овакав тип система односно модела колица је веома захвалан у смислу брже и лакше монтаже и демонтаже засновано на употреби само једног вијка. Пре самих експеримената, спроведена су како статичка тако и динамичка испитивања да би се потврдило представљено конструктивно решење. Оваква врста анализе спроведена је помоћу софтверског пакета *AutoDesk Inventor 2015*. На слици 19 приказан је састављен модел индустријских колица, док су у табели 4 дате карактеристике колица. Колица су модел правих индустријских колица која се користе у реалним индустријским системима. Овај модел колица је конструисан на тај начин да је могуће измерити величину употребљене силе приликом коришћења колица и то у хоризонталном и вертикалном правцу. Такође, постоји систем за правилно и прецизно позиционирање дршке специјално прилагођена за мерење користећи ЕДА уређај. При томе, електроде уређаја се постављају на прсте радника који управља колицима. Модел индустријских колица има сопствени систем за напајање и бежичним преносом података. Платформа за прикупљање и снимање је омогућена помоћу програма *Labview*, док је *Matlab* коришћен за процесирање сигнала.
- **Радна (место) станица** за понављајуће радње. Модел радног места је физички направљен по узору на реално радно место за спровођење понављајућих радњи односно задатака. Карактеристике радног задатка дате су и објашњене у поглављу 4.

Статистичке методе коришћене су за групно упоређивање са фокусом на могућности коришћења електродермалне активности. Обрада биосигнала омогућава и користи се за анализу ЕДА сигнала.

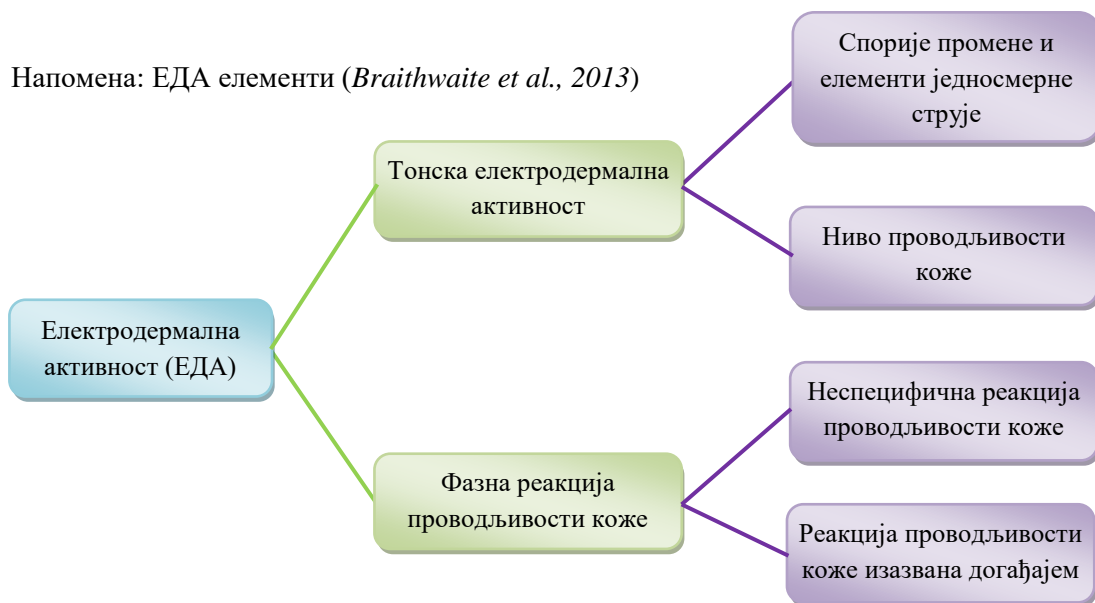
1.5.1 Фокус истраживања

Психофизиологија (*Andreassi, 1998*) се дефинише као проучавање односа психофизиолошких манипулација и последица физиолошких одговора, измерених у људском телу како би се промовисало разумевање менталних и процеса у телу. Генерално, психофизиолошке методе је могуће применити у области ергономије како би се унапредила како дизајн система тако и благостање човека (психофизиологија у ергономији). Електродермална активност је појам који се користи за описивање електричних промена на кожи. Овај појам је познат и под називом тренутна реакција коже (енг. *Galvanic Skin Response - GSR*). ЕДА је једна од добро познатих електро-психофизиолошких неинванзивних метода. ЕДА представља карактеристику коже која мења своју електричну проводљивост услед знојења. Овај феномен је повезан са нервним системом и може се применити за контролу функционалности когнитивног система. Психолози и други професионалци користе ЕДА већ дужи временски период помоћу које је могуће направити тачну разлику између умора и емотивног узбуђења (*Boussein, 2012*). Многи истраживачи су указивали на корисност и могућности електродермалне активности у сврху психофизиологије и истраживања одговора аутономног система. Ипак, механизам функционисања електродермалне активности није у потпуности јасно дефинисан. ЕДА се може посматрати кроз два електрична феномена, један је везан за електричну отпорност површине коже (*Vigorous, 1879*) и други се односи на тренутном смањењу одзива на различите спољашње утицаје односно стимулансе (*Féré, 1888*). ЕДА се може поделити на два типа мерења: прва компонента под називом реакција проводљивости коже (енг. *Skin Conductance Response - SCR*) и друга компонента под називом ниво проводљивости коже (енг. *Skin Conductance Level - SCL*). Варијације у резултатима реакције проводљивости коже догађа се у временском домену дефинисаном у минутима, док се ниво проводљивости коже бележи у секундама. Главне компоненте електродермалне активности представљене су на слици 1. И реакција и ниво проводљивости коже зависи од активности односно рада знојних жлезда на длановима и стопалима. Ове знојне жлезде учествују у процесу терморегулације тела, тек уколико

спољашња температура пређе 30°C (Venables & Christie, 1980; Andreassi, 1989). Са друге стране, рад знојних жлезда на длановима и стопалима изазивају психички и емоционални стимуланси. ЕДА се објашњава помоћу чињенице да су ћелије миоепитела под контролом аутономног нервног система (Dementienko et al., 2000, Brankovic, 2011). Реакција проводљивости коже је веома осетљива и може се побудити значајно слабијим психичким стимулансима него што би били потребни за неке друге системе као нпр. брзина откуцаја срца (пулс), промена крвног притиска, електромиографија (Lader, 1980). Други разлог због којег је реакција проводљивости коже изабрана као неуробиолошки механизам за идентификацију система јесте природа односно стабилност сигнала који се добија.

Са математичке тачке гледишта, куцање срца и дисање су процеси који не могу да се прате односно није могуће вршити мерења у интервалима краћим него што су периоди између два откуцаја и између два удисаја. Због тога, ови процеси су у већој мери дискретни, самим тим и мање погодни што подразумева знатно мање информација за анализу него континуирани биолошки сигнал каква је реакција проводљивости коже (Brankovic, 2011). Додатак томе јесте да ЕДА омогућава прикладно мерење психофизиологије помоћу малог и релативно угодног уређаја.

Напомена: ЕДА елементи (Braithwaite et al., 2013)

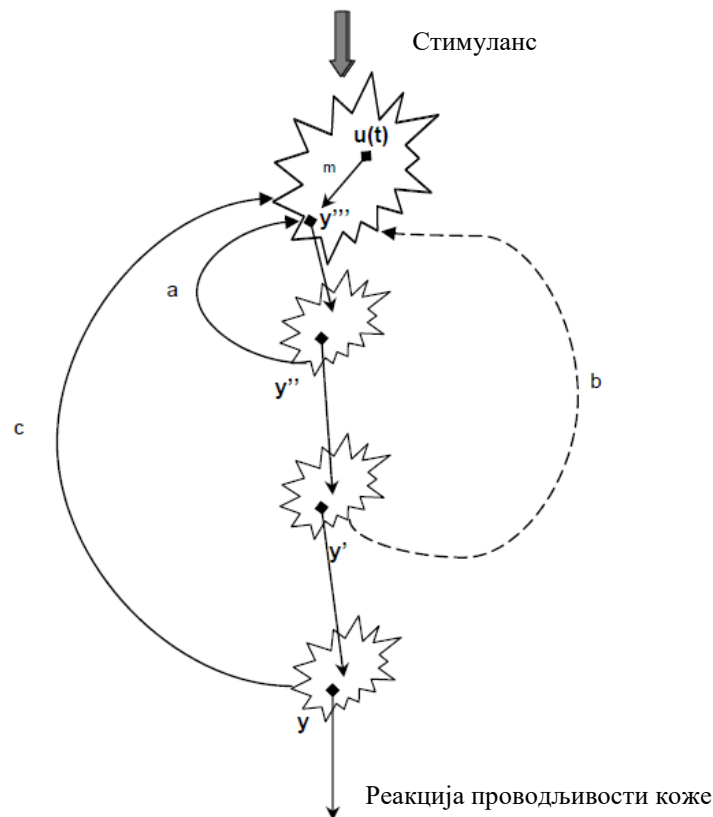


Слика 1. Елементи електродермалне активности

Такође, постоје и нове карактеристике електродермалне активности изведене из, две горе поменуте: реакције проводљивости коже и нивоа проводљивости коже. У овој докторској дисертацији представљена је анализа која укључује нову методу мерења ЕДА, засновану на истраживачком раду *Brankovic-a (2011)*. Састоји се од: улаза, брзе повратне петље, негативне повратне петље, споре повратне петље и периода тачности. Ова метода је шематски приказана на слици 2 (преузета из *Brankovic, 2011*).

Улаз. Овај параметар одговара константи “ m ” у диференцијалној једначини система. Оно представља почетни корак у процесу регулације емотивног узбуђења.

Брза позитивна повратна петља (енг. *Fast positive feedback loop - FPFL*). Од три повратне петље у систему, прва одговара другом изводу реакције проводљивости коже (y''). Ова повратна спрега је позитивна и једнака је константи “ a ” у диференцијалној једначини система.



Слика 2. Шематски приказ методе (преузето из *Brankovic, 2011*)

Напомена: Дијаграм математичког модела за реакцију отпорности коже:
 $y'''+a\cdot y''+b\cdot y'+c\cdot y=m\cdot u(t); y=SCR$

Негативна повратна петља (енг. *Negative feedback loop - NFL*). Друга повратна петља одговара стопи промене емотивног узбуђења (y') и она је негативна. Оно смањује процес емотивног узбуђења и једнака је константи “- b ” у диференцијалној једначини система.

Спора позитивна повратна петља (енг. *Slow positive feedback loop - SPFL*). Трећа повратна петља одговара стварном нивоу емотивног узбуђења. У суштини, оно представља стварну вредност реакције проводљивости коже (y) и та вредност је позитивна.

Параметар који омогућава побољшање ове повратне петље одговара константи “- c ” у диференцијалној једначини система.

1.6 Актуелност научног истраживања у области

Гурање (енг. *pushing*) и повлачење (енг. *pulling*) су најчешће радне активности и углавном подразумева ручну манипулацију теретом. Без обзира на чињеницу да постоји стандард међународне организације за стандардизацију (енг. *International Standard Organization - ISO*) који уређује ручну манипулацију теретом односно гурање и повлачење и дефинише методе за процену ризика за ову врсту активности, може се рећи да је исказана потреба за измену стандарда и то у различитим правцима. Једно од ограничења јесте недостатак објективног мерења сила гурања/повлачења и утицај на радника истих. У стандарду су дефинисане атропометријске табеле и табеле у којима су дефинисане величине сила које су неопходне приликом гурања и повлачења, не узимајући у разматрање индивидуална ограничења радника. Стандард ISO 11228-2:2007 класификује колица за гурање и повлачење, класификује раднике према висини, тежини и полу, узимајући у обзир и карактеристике радних активности као што је дистанца коју је радник потребно да пређе.

Међутим, овај стандард не узима у обзир индивидуалну снагу и индивидуалну способност за спровођење радних активности укључујући гурање и повлачење индустријских колица. Познато је да су људи различити у погледу психофизичких карактеристика и да су могуће значајне разлике. Чак и радници са сличним општим и антропометричким карактеристикама (висина, тежина, године и пол) могу да се разликују по физичкој снази, различитој реакцији на ситуације из околине и различитом прагу за умор приликом спровођења истих радних активности. Такође, стандард ISO 11228-2:2007 посматра процес гурања и повлачења на поједностављен начин и то као директну константну дворучну силу радника. У пракси, ово представља само један део веома сложених активности укључујући комбинацију различитих покрета, положај тела у односу на индустријска колица и правац дејства силе радника и то:

- започињање кретања колица,
- заокретање колица,
- позиционирање колица,
- нагла промена правца кретања,
- гурање и повлачење колица једном руком,
- специфичан положај тела током гурања и повлачења колица.

Сви наведени фактори представљају додатне, специфичне и значајне ризике који утичу пре свега на здравље радника и потребно је да се узму у обзир у процесу процене ризика за радне активности гурања и повлачења колица.

Поменути недостаци стандарда представља простор за научна истраживања која доприносе бољем разумевању радних активности које подразумевају ручну манипулацију и прилагођавању процеса процене ризика реалним индустријским условима. То значи да приликом мерења оптерећења радника током спровођења радних активности требало би да се узму у обзир сви фактори и то природу задатка, тежину задатка и како радник реагује на постављене задатке. Када се једном дефинише задатак и његова тежина, могуће је дефинисати велики број адекватних мера за унапређење радног места и радне околине.

Поред имплементације организационих и техничких мера као и стандардизације истих, постоји додатни начин за унапређење безбедности и здравља радника на радном месту које подразумева ручну манипулацију теретом. Овај додатни начин је модификован и то кроз напредни тренинг програм безбедности и здравља радника заснован на принципима андрагогије (енг. *andragogy*). Андрагогија представља научни прилаз образовању одраслих засновано на неколико дефинисаних стубова, док мотивација представља један од најважнијих.

1.7 Садржај дисертације

У првом поглављу дат је увод у безбедност и здравље на раду и представљено је неколико примера недостатака у овој области. Циљ овог поглавља јесте да упозна и укаже на важност безбедности и здравља на раду, приказујући веома убедљиве и реалне резултате уколико се запостави ова област. У овом уводном делу описана је и област безбедности и здравља на раду и како је ова област еволуирала кроз стандарде и законе. Дате су додатне дефиниције из области ергономије и њихова област примене. На овај начин се читалац упућује на најважније елементе како би са великом успешношћу успео да закључи у ком делу постоји повезаност безбедности и здравља на раду и људских фактора.

Друго поглавље представља преглед образовних метода у сврху обука и тренинга у области безбедности и здравља на раду. Поред тога, приказане су неке од разлика између тренинга и општег образовања и уведени су нови приступи начину образовања. Посебно је наглашена важност увођења нових метода, учење засновано на рачунарима и њихова употребљивост односно корисност у индустрији.

У трећем поглављу представљена је компаративна анализа две најчешће коришћене методе за обуку заснованој на разумевању и психофизиологији. Упоредивање се спроводи на основу ЕДА сигнала и то између испитаника који учествују у рачунарској игри направљеној искључиво за обуку и испитаника који процес учења употпуњују радом на уређају конструисаном за обуку. Резултати ових анализа помажу у разумевању ефикасности метода. Ова студија је у складу

са теоријом учења емоцијама и може показати истраживачима корисност рачунарских игара за обуку и стицања практичног искуства.

Радне активности које се спроводе ручном манипулацијом на радном месту је описана у четвртом и петом поглављу. Четврто поглавље се бави радним активностима са понављајућом карактеристиком, док је у петом поглављу акценат стављен на гурање и повлачење. Ове радне активности су до сада истраживане само у контексту физичке ергономије, док је урађено мало или готово нимало у когнитивном и емотивном смислу. Без обзира што радне активности које подразумевају ручну манипулацију нису повезане за високо ризичне професије, може довести до психофизичких проблема и да је повезана са мишићно-коштаним обољењима. За ову врсту посматраног проблема, потребно је спровести психофизичко истраживање из разлога што овакве активности утичу на радника односно на човеково тело без обзира да ли је ниво ризика мали или средњи. Ова два поглавља су посвећена психофизиолошким истраживањима поменутих радних активности. Резултати указују и у великој мери потврђују претпоставку да ручна манипулација утиче на когнитивно оптерећење и неопходно је спровести истраживања укључујући физичке и психофизиолошке факторе.

Шесто поглавље представља редефинисање приступа и развој новог метода (СМАРТ) за унапређење безбедности и здравља на раду и оптимизацију радног окружења има посебан значај при мануелним операцијама које подразумевају значајно ангажовање физичке снаге радника, односно монотоним, понављајућим мануелним радним активностима. Конципирање новог метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама, базирано је на дефинисању алгоритма које је потребно реализовати при чему су све активности сврстане у 5 корака/фаза. Погодним избором термина који дефинишу кораке добијен је акроним СМАРТ који је идентична у енглеском и српском језику а самим својим значењем указују на приступ који доноси паметнија решења – Стандарди/Standards, Мерења/Measurements, Анализа/Analysis, Реакција/Reaction и Тренинг/Training.

2.0 Образовање и обука у области безбедности

2.1 Методе за образовање и обуку у области безбедности

Многи истраживачи истичу да је област безбедности и здравља на раду повезана са одговарајућим образовањем (*Leslie, 1973; McQuiston, 2000; Papadaki, 2008; Liu et al., 2012*). Већина компанија спроводи обуке за своје нове раднике, као и периодичне обуке за све своје раднике на задату тему. Генерално, обука је циљани процес учења (обука се спроводи за тачно дефинисану тему или област) и обавезан је за како би се са сигурношћу гарантовала безбедност и здравље радника на радном месту. Опште образовање и обука, без обзира што што оба подразумевају процес учења, имају суштинске разлике. Обука је процес усмерен на стицање жељених вештина. Образовање се више односи на стицање општих знања, углавном је то шире, мање специјализовано и практично знање (*Stern & Kaur, 2010; Masadeh, 2012*). *Goldstein* (1993) је дефинисао обуку као „систематско стицање вештина, правила, концепта и ставова које резултира са унапређеним учинком у неком другом окружењу“ (p. 34). Неки истраживачи (*Demirkesen & Arditi, 2015*) сматрају да је обука из безбедности и здравља на раду ефективнија уколико се спроводи кроз тзв. ефективну обуку. *Culvenor and Else* (1997) сматрају да је обука значајно боља и ефикаснија уколико стимулише креативно размишљање и осмишљавање алтернативних решења за проблеме у области безбедности и здравља на раду. Главни проблем приликом организовања и планирања обука јесте на који начин одредити ефективност обуке у одређеним ситуацијама, као и реакцију појединца у процесу учења. Ефективна обука у области безбедности и здравља на раду представља незваничан израз за материјал за обуку о стандардима у овој области развијен од стране Министарства за рад САД-а, Администрација за безбедност и здравље на раду (енг. *Occupational Safety and Health Administration - OSHA*). Сматра се да је кључан фактор за успешно учење истраживање одговарајућих техника у области образовања одраслих. У овој докторској дисертацији приказан је приступ учењу за одрасле под називом андрагогија. Такође, на Универзитету у Крагујевцу је развијен програм за обуку за запослене поштујући принципе андрагогије прилагођене за област безбедности и

здравља на раду. У овој докторској дисертацији дата је анализа корисности класичних процеса учења кроз програме доживотног учења и обука/савремених процеса учења кроз приступ озбиљних рачунарских игара. Такође, дата је студија случаја у којој је спроведена компаративна анализа корисности обуке заснованој на рачунарским играма и обуке на моделу дидактичког уређаја.

2.1.1 Програми за доживотно учење

Програми за доживотно учење би требало да буду флексибилнији у поређењу са класичним, традиционалним начином организовања предавања како би се изашло у сусрет потребама тржишта рада. Потребно је нагласити, да програми за доживотно учење не могу да буду обавезни, јер циљана група оваквих програма су радници односно индивидуалци са одређеним професионалним искуством већ ангажовани на одређеним пословима. Многи аутори су приказали резултате могућих проблема приликом увођења и адекватне имплементације програма за доживотно учење. Аутори *Thijssen and Vernooij* (2004) су учење на захтев, у смислу програма за доживотно учење, дефинисали кроз могућност учесника да појединачно регулишу процес учења и на тај начин обезбеде да знање које стекну могу максимално да употребе за своје редовне радне активности. У конкретном случају за област безбедности и здравља на раду, *Lo* (2012) сматра да је обука неопходна како за раднике тако и за менаџере. Међутим, ова ситуација не представља стварно стање. Када се говори о обуци за безбедност и здравље на раду, већина компанија погрешно поставља стратегију за обуку, тако што одређује само раднике у производњи за овакву врсту обуке, неукључујући виши менаџмент.

Шире знање из области безбедности и здравља на раду постаје све захтевније, због различитих образовних профила односно способности одраслих. Без обзира на то, у циљу олакшавања процеса образовања одраслих, предавачи би требало да узму у обзир специфичне принципе. Овакав приступ је подржао *Knowles* који је дефинисао различите елементе неопходне за олакшавање процеса образовања

одраслих. Он их је назвао „принципи“ или „стубови“ андрагогије и подразумевају следеће:

- Одрасли су достигли одређени ниво животног искуства и знања;
- Одрасли су самостални (сами одређују циљеве);
- Одрасли су циљно и орјентисани ка значајности и пракси.

2.1.2 Индустрijски тренинзи

Током 60.-их и 70.-их година прошлог века многи психолози, социолози и предавачи сматрали и веровали су да је искуство стечено кроз учење непроцењиво и да је то процес који ни на који начин не утиче на смањење или као замена за теоријско знање. У суштини, оно функционише као додатни елемент у образовању (Stuart, 2014). Током редовних студија успостављен је систем пракси, заснован на размени знања неопходних за суочавање са реалним инжењерским проблемима односно проблемима у току спровођења радних активности. На овај начин, студенти су охрабрени да све своје идеје ставе на располагање индустрији ко потенцијална решења за одређене проблеме.

Без обзира на приступ и облик спроведених пракси, оне омогућавају инжењерима да своја теоријска знања примене за решавања индустријских проблема у области безбедности и здравља на раду. Такође, принцип пракси омогућава и повезивање професионалаца у одређеној области. Поред тога, студенти током праксе у индустрији су након завршетка исте адекватно припремљени за запослење, стичу искуство на радном месту, у позицији су да упознају и посматрају међусобне односе запослених и различитих група у систему, као и пословање и функционисање пословно-производног система. Сматра се да не постоји бољи учитељ/предавач од стеченог искуства, које омогућава студентима да побољшају своје укупно знање, док у многим случајевима, побољшање је значајно уколико се уведу индустријски тренинзи (Collins, 2002). Међутим, процес тренинга не може да обухвати целокупно знање односно читаву област безбедности и здравља на раду.

2.1.3 Методи, образовање и обука у области безбедности и здравља на раду засноване на видео играма

Један од најновијих приступа у области образовања јесте приступ заснован на новим технологијама, односно на рачунарским играма. Постоји јако велики број игара које се користе у сврху учења и образовања. *Connolly et al.* (2012) су представили систематски преглед литературе да је приликом одабира и употребе игара неопходно је одредити примарну функцију игре планирана за обуку. Игре за учење и обуку су назване озбиљне игре (енг. *serious games*). *Alvarez and Djaouti* (2011) су након ревизије старијих дефиниција озбиљних игара предložили следећу дефиницију у оригиналу: “*computer application, for which the original intention is to combine with consistency, both serious (Serious) aspects such as non-exhaustive and non-exclusive, teaching, learning, communication, or the information, with playful springs from the video game (Game).*” Рачунарске игре могу да реално симулирају индустријске тренинге у области безбедности и здравља на раду. Ово је веома важна карактеристика када је кроз обуку, која има за циљ смањивање небезбедних поступака, могуће имитирати акциденте који доводе до губитака. Такође, прегледом научне литературе могу се пронаћи докази да рачунарске игре могу бити веома корисне за обуку старијих особа. Студија која је обухватила пилоте (*Gopher et. al, 1994*) показала је да они пилоти који су током своје обуке имали и обуку на рачунарској игри значајно су се боље сналазили у реалним ситуацијама током летења него они који нису. Велики број озбиљних игара су развијене и употребљавају се за обуку из безбедности: *Querrec et al.* (2004), *Padgett et al.* (2006), *Mallett and Unger* (2007), *Smith and Trenholme* (2009), *Backlund et al.* (2009), *Barot et al.* (2011), *Haferkamp et al.* (2011), *Dickinson et al.* (2011), *Barot et al.* (2011), *Lin et al.* (2011), *Haferkamp et al.* (2011), *Aghina et al.* (2012), *Chitarro and Battussi* (2015) су показали ефективност озбиљних игара на процес учења и да су више него погодне за учење и обуку из области безбедности и здравља на раду.

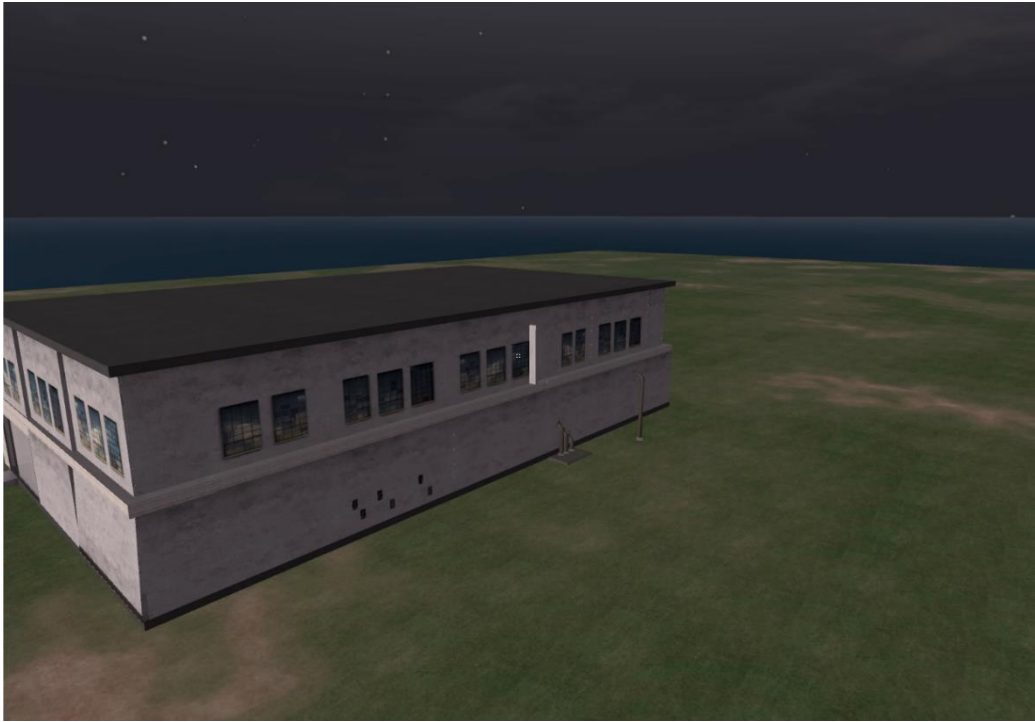
2.2 Предложени модел озбиљне игре

Симулација односно озбиљна игра је развијена на Универзитету Аристотел у Солуну (*Aristotle University of Thessaloniki*), у лабораторији за медицинску физику. Развијена је на *OpenSim* платформи и на следећој интернет адреси:

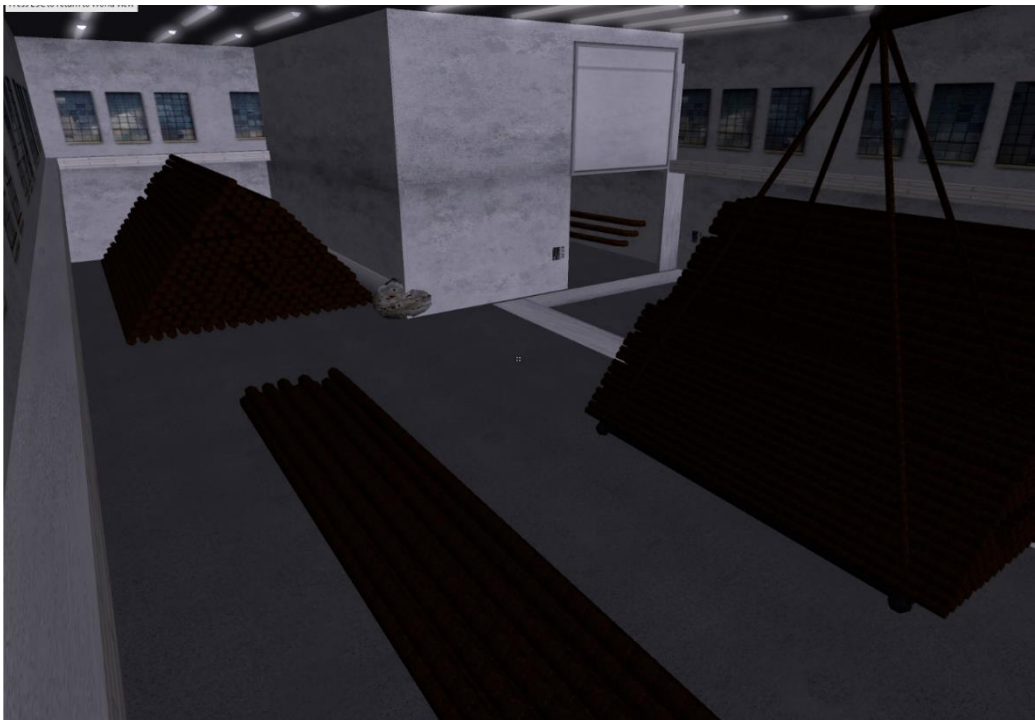
http://opensimulator.org/wiki/Main_Page.

OpenSim је виртуелно окружење за већи број корисника и широко примењена платформа за озбиљне игре у многим областима. За боље упознавање и краћи преглед примене ове платформе, као и неких других комерцијалних платформи као што је *Second Life*, може се пронаћи у раду *Antonioni et al.* (2014). За конструисање 3Д графичког окружења коришћена су модели јавне имовине. За потребе озбиљне игре конструисана је велика зграда фабрике (слика 3). У унутрашњости, индустријско окружење се састоји од металних цеви и друге техничке опреме (слика 4). Конструисан је посебан одељак у коме је смештена пећ, односно просторија где се спроводи производња металних цеви (слика 5).

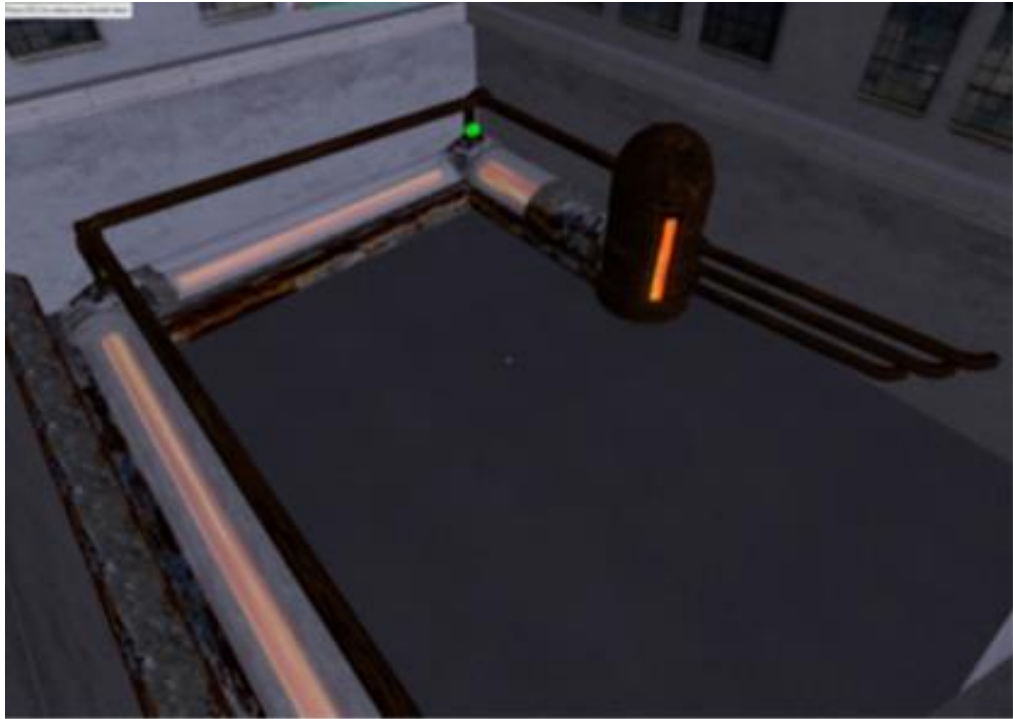
За потребе озбиљне игре, конструисана је једна производна компанија за производњу металних цеви. У овакво постављеној симулацији, процес производње подразумева топљење метала у пећи који се затим излива у калупе различитих димензија како би се добио финални производ, метална цев. Према поставци озбиљне игре, обзиром да се посматрана производња подразумева веома опасном и штетном по радника, читав процес је аутоматизован односно током производње радник није присутан у делу производње металних цеви. Из тог разлога, постављене су тзв. коморе за изолацију (безбедно место за раднике у случају да се затекну када процес почне са радом) постављене на улазу у фабрику и поред себе у којој се налази пећ (слика 6). Да би се приступило овим коморама неопходно је да се укуцају шифре за хитне случајеве помоћу тастатура постављених испред врата (слика 7). Осмишљен је један од могућих сценарија односно један од могућих акцидената за овакав производни процес и то: отказ пећи за топљење метала.



Слика 3. Зграда фабрике



Слика 4. Одељак за производњу цеви



Слика 5. Просторија у којој се налази пећ



Слика 6. Изглед спољашњости фабрике



Слика 7. Тастатура за унос шифре за хитне случајеве

Корисник, који представља одговорну особу приликом хитних случајева, би требало у одређеном односно дефинисаном временском периоду да приступи просторијама фабрике, испразни истопљени метал из вруће пећи, уђе у собу где се налази пећ и промени параметре (дужину и ширину) калупа. На тај начин, корисник ће успети да поново покрене процес производње као и да обезбеди да се тај процес несметано настави. У конкретном случају, према сценарију корисник улази у зграду фабрике укуцавајући шифру за хитне случајеве како би дошао до детектоване неисправне пећи. Затим, корисник мора да испразни пећ како би био у прилици да уђе у собу и да укуца исправне параметре за производњу цеви.

Почетак симулације означен је алармом у случају хитних ситуација. Након тога, корисник би требало, под притиском дефинисаног (кратког) временског периода, да укуца тачну шифру за хитне ситуације, приступи до просторије где се пећ налази, укуца тражену шифру како би се пећ испразнила и затим да укуца шифру како би успео да отвори врата просторије у којој се налази пећ. Када корисник приступи соби, потребно је да унесе нове параметре како би успешно завршио симулацију. Уколико се дође у ситуацију да корисник унесе погрешну шифру, поред очигледног кашњења у процедури, тај потез корисника се региструје као

директна грешка радника. Такође, уколико корисник унесе исправну шифру и уђе у просторију у којој се пећ налази, а притом заборави да испразни пећ, регистроваће се као веома критична грешка.

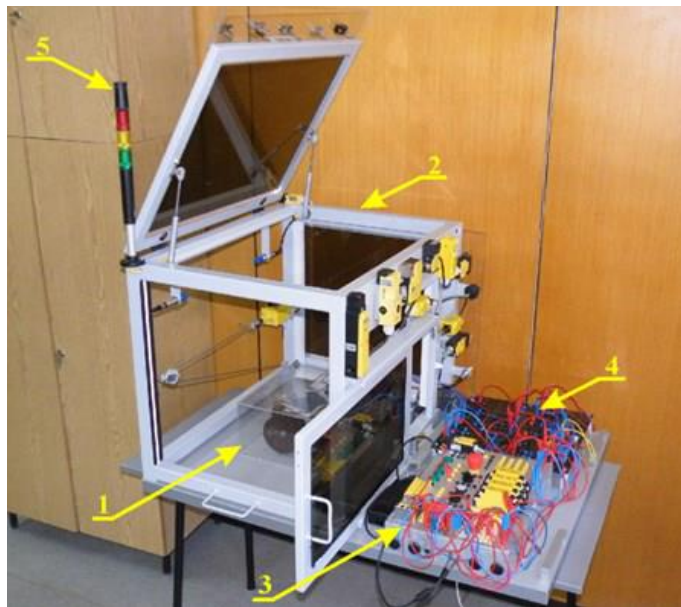
Главна идеја приликом осмишљавања игре није била да се направи игра која ће прикупљати податке односно грешке сваког корисника начињене приликом обуке. Осећај притиска корисник је могао да осети кроз ограничавајући временски период за који је корисник морао да заврши игру и кроз систем памћења неопходних шифара како би корисник био у могућности да уопште заврши игру, а самим тим и обуку. Додатни вид притиска на корисника током игре у индустријском окружењу осмишљен је кроз константно и гласно оглашавање аларма и црвеног ротационог светла које означава опасност.

Функционалност симулације је обезбеђена коришћењем Линденове скрипте за програмирање (енг. *Linden Scripting Language – LSL*). Ова скрипта дефинише окружење и дешавања у игри на основу догађаја/стања. Скрипта користи догађаје, као што су додиривање објеката или слушање порука и на тај начин се унапређује окружење у игри. Ови догађаји служе да се покрену одређени програмирани догађаји или за унапређење тренутног стања окружења и тиме би се омогућио одговор на различите скупове догађаја. У игри је могуће конструовати различито окружење. Активности у развијеној игри се активирају кроз интеракцију корисника са окружењем путем додира или путем порука које служе као једна врста водиле кроз читав процес симулације.

Сви подаци, текстуални, бројчани или екстерни (нпр. аудио фајлови) се чувају у интерној меморији игре или је могуће сачувати на екстерном серверу. Сви објекти у игри имају своје скрипте које током игре међусобно „комуницирају“ како би се обезбедила интеракција и праћење напретка током игре. Још једна важна карактеристика јесте могућност промене кодова и на тај начин значајно отежати кориснику завршетак симулације, уколико је тако нешто неопходно.

2.3 Обука из безбедности и здравља на раду у пракси

Током израде докторске дисертације развијен је специјално прилагођен модел дидактичног уређаја у сврху образовања и за обуку из безбедности. Овај дидактички уређај јесте систем са 20 различитих и независних сензора, као што су: ласерски скенери, светлосне завесе, електромеханички и безконтактни сигурносни прекидачи. У ову групу спадају сигурносни блокирајући уређаји, прекидачи позиције, безконтактни прекидачи и напредни контролери. Интегрисани систем са наведеним прекидачима и сензорима инсталирани на једном техничком систему (мотор једносмерне струје) приказан је на слици 8. Суштина читавог система јесте да полазник обуке изабере један од више понуђених безбедносних сензора или прекидача и да га повеже у једну функционалну целину. Изабрана комбинација сензора и прекидача може се тестирати у комбинацији са техничким системом и звучно-светлосним торањем.



Слика 8. Модел дидактичног уређаја

Напомена:

1. Технички систем (мотор једносмерне струје)
2. Метална конструкција (представља радну зону техничког система)
3. Демо табла са различитим типовима сигурносних сензора и прекидача
4. Табла за брзо повезивање
5. Звучно-светлосни торањ.

2.4 Прилагодљив тип обуке и когнитивна ергономија

Главни проблем концепта обуке из области безбедности и здравља на раду јесте начин мерења ефективности обуке у неизвесним ситуацијама и индивидуалне реакције током изненађујућих катастрофалних ситуација. Моменталне индивидуалне реакције током непознатих и изненађујућих ситуација називају се рефлексним реакцијама (енг. *Orienting Response - OR*), у даљем тексту рефлекс. Када дође до новог односно непознатог стимуланса из околине као што је јака светлост или неочекивано велика бука, радник ће обратити пажњу на то чак и пре него што се догоде. Ова реакција је позната још од раних дана човековог живота, пошто је познато да новорођенчад односно бебе окрећу своју главу када дође до одређених промена у њиховој околини, нпр. гласови (*Cowan, 1995*). Оваква реакција је у многоне корисна када је потребно да се брзо реагује на догађаје. Неки истраживачи указују да је рефлекс укључен током учења, углавном током прихватања нових информација (*Balaban et al., 1990*). Сматра се да се ефективност обуке може одредити кроз корелацију са рефлексом и помоћу психофизиолошких мерења. Један од примењивих алата за електрофизиолошка мерења заснива се на електродермалној активности.

2.5 Корисност електродермалне активности током рада и обуке

Електродермална активност јесте способност коже да варира електричну проводљивост као одговор на психолошке стимулансе и директно се односи на стање нервног система. Захваљујући вези између електродермалне активности и нервног система, оно може да се искористи за процену функционалности когнитивног система. Заиста, многи психолози и други стручњаци користили су током деценија електродермалну активност као процес којим је могуће у потпуности и са успехом издвојити емотивно узбуђење (*Boucsein, 2012*).

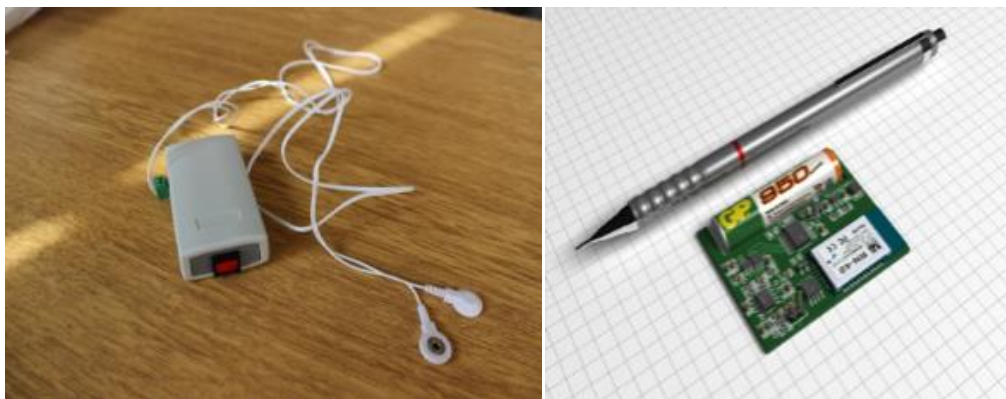
Постоји доказ да се реакција проводљивости коже може објаснити сужавањем канала знојних жлезда миоепителних ћелија приликом побуђивања нервног система (*Dementienko et al. 2000; Branković, 2011*). У новој методи мерења ЕДА,

заснованој на истраживачком раду *Brankovic-a (2011,2012)*, негативна повратна петља (NFL_0) која представља први извод реакције проводљивости коже и одговара стопи промене емотивног узбуђења (ова вредност је негативна). Спора позитивна повратна петља (SPFL_0) је пропорционална нивоу емотивног узбуђења, самим тим стварној вредности реакције проводљивости коже. Ова вредност је позитивна. Постоје докази да NFL_0 и SPFL_0 одговарају сигнаlima одређених неурона у мозгу, што само потврђује да реакција проводљивости коже потиче из мозга (*Branković, 2012*).

ЕДА метод се заснива на корелацији психофизиолошких и когнитивних одговора на одговарајуће биосигнале. Оно може да буде прихватљив алат за потпуно разумевање стања радника током спровођења тешких и когнитивних радних активности. Многи истраживачи своја истраживања су засновали на електродермалној активности. У својој студији о возачима, а у вези са перцепцијом времена, *Baldauf et al. (2009)* је дошао до закључка да се ЕДА у значајној мери увећава са већим захтевима и да остаје непромењена када су когнитивне активности на најнижем могућем нивоу. На основу овог истраживања, *Reimer and Mehler (2011)* су спровели експерименте у којима су мерили когнитивно оптерећење (помоћу ЕДА методе) и брзину откуцаја срца возача током организованих симулација и реалних ситуација. Дошли су до закључака да су психофизиолошки резултати слични у оба случаја. У тестовима удруживања/придруживања речи, користећи ЕДА у комбинацији са понуђеним одговорима, *Lukavsky (2010)* је закључио да је когнитивно оптерећење свеприсутно приликом емотивних реакција. У још једној студији која је обухватила возаче (*Collet et al., 2014*) вршена су мерења различитих нивоа оптерећења радних активности (различити услови вожње) помоћу ЕДА методе. Дошло се до закључака да ЕДА може да дискриминише различите ситуације током вожње и да су резултати приликом успоравања са 80 до 50 km/h слични са резултатима приликом успоравања са 50 km/h до заустављања. У сличном истраживању, *Kajiwara (2014)* је доказао да приликом убрзавања возила (током вожње у симулатору) прати и повећање нивоа електродермалне активности. Поред оптерећења радних активности, ЕДА метод (*Yoshino et al., 2007*) је

коришћен за аутоматско снимање опасних ситуација и дефинисао је алгоритам који садржи електродермалну активност и брзину откуцаја срца. У свом истраживању *Léger et al. (2014)* су доказали важност електродермалне активности и других неуропсихолошких метода за когнитивно оптерећење током обуке као и њихова веза са исходом обуке.

Истраживачки тим Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу је развио ЕДА уређај, мобилан и у потпуности прилагођен за снимање радних активности радника. Уређај је приказан на слици 9.



Слика 9. ЕДА уређај

ЕДА уређај је у могућности да детектује нелагодност, бол па чак и одређене биосигнале повезане са когнитивним стањем. Са тим у вези, овај уређај може да се користи за боље разумевање стања радника док обавља задате радне активности различите тежине (како физичке тако и когнитивне задатке).

Димензије уређаја су 50x40x10 mm. Контакт уређаја и коже радника се обезбеђује уз помоћ електрода EL507 Ag/AgCl, произвођача *Biorac* (пречника 11mm). Да би се остварио правилан контакт између електрода и коже, према правилу мерења електродермалне активности користи се гел на бази електролита (0.5% хлоридне соли). Гел се наноси на површину од 27x36 mm дебљине слоја од 1.5 mm.

Комуникација ЕДА уређаја са рачунаром, како би се мерења спроводила у реалном времену, успостављена је уз помоћ бежичне технологије (Bluetooth на 2.4GHz, Класа 2 и има домет од 10m). Фреквенција мерења је 40 узорака у секунди а опсег мерења је између 0 и 120 μ S (микросименс, енг. *microSimens- μ S*).

3.0 Компаративна анализа ефикасности метода за обуку из безбедности и здравља на раду

3.1 Увод у озбиљне игре и модел дидактичког уређаја

Да би се дошло до резултата нивоа ефикасности образовања, било је неопходно да се спроведе компаративна анализа емоција и рефлекса испитаника приликом спровођења две врсте експеримената, озбиљне игре и рада на моделу дидактичког уређаја. У првој фази испитивања, током оба експеримента, било је неопходно да се уоче прве реакције испитаника на одређене стресне ситуације приликом кршења правила или хитних ситуација. Док у каснијој фази испитивања, испитаницима је саветовано како да поступе у одређеним ситуацијама, као једна од могућих мера за решавање тренутног стања.

Опште карактеристике обе врсте експеримента јесу: улаз, деактивација аларма, провера могућих проблема, поновна активација аларма и поновно пуштање система у рад. Експерименти су трајали по 15 минута, што је било довољно времена да сваки испитаник по два пута заврши или један или други експеримент. Укупан број испитаника који су учествовали у експериментима је био 23. Међу испитаницима, углавном су били здрави млађи људи просечне старости 25 ± 6 . Највећи број испитаника били су студенти Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, међу којима су, два испитаника била из две различите компаније. Већина испитаника током студија нису имали предмет из шире области безбедност и здравље на раду.

3.2 Методологија истраживања

3.2.1 Модел дидактичког уређаја

Свих 23 испитаника су волонтерски учествовали у експериментима. Температура у просторији у којој су се спроводили експерименти овог типа била је $24 \pm 1^\circ\text{C}$ и релативне влажности 68–75%.

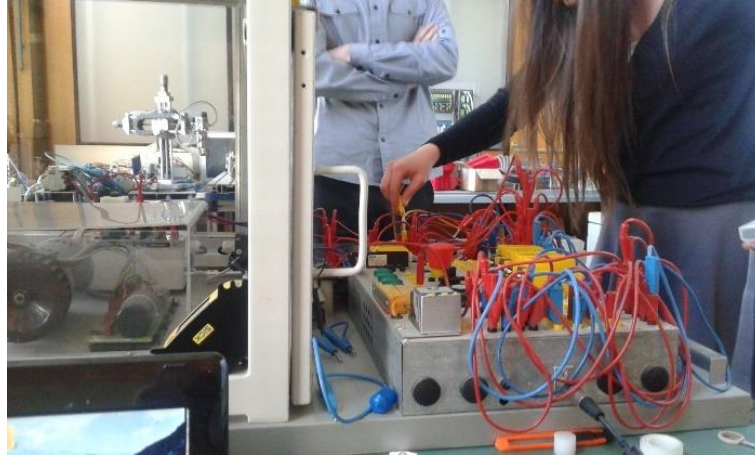
Сваки експеримент је трајао укупно 17 минута, међутим прва два минута су изузета из анализе добијених резултата. Електроде ЕДА уређаја су постављене на средњим фалангама кажипрста и средњег прста, на руци којом испитаник ређе користи (којом не пише). Уз испитаника се увек налазио један инструктор, који даје упутства односно инструкције које је неопходно да испитаник зна у вези функционисања дидактичког модела, пре и током експеримента. Инструктор даје упутства на матерњем језику (српском), или на енглеском језику у складу са потребама испитаника. На сликама 10 и 11 је приказан експеримент на моделу дидактичког уређаја.

Прва три задатка, у оквиру експеримента, подразумева понављање задатих покрета од стране инструктора. Инструктор је прво искључио две жице на дидактичком моделу (слика 10) на табли за брзо повезивање (позиција 4 на слици 8) и отворио врата металне конструкције (позиција 2 на слици 8) што је имало за последицу укључивање бучног звучно-светлосног торња (позиција 5 на слици 8). Затим, инструктор је затворио врата металне конструкције, поново повезао жице које је претходно искључио и поново пустио технички систем у рад. Звучно-светлосни торањ се више није оглашавао и све је враћено у нормалу. Након инструкција, инструктор је искључио исте жице и замолио је испитаника да понови активности оним редоследом којим је он то учинио, како би звучно-светлосни аларм престао са оглашавањем. Следећа два задатка су активности које су подразумевале сличан образац.

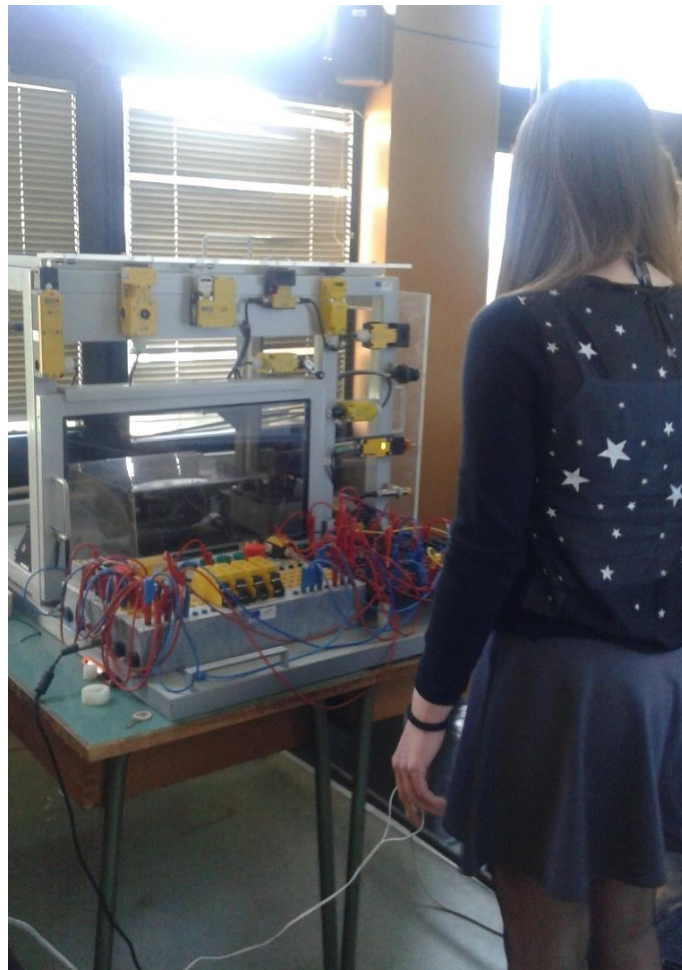
Задњи задатак се разликује од претходно приказаних, јер је активност била непредвидива. Инструктор је, без претходног показивања испитанику, искључио пар жица. Ово подразумева искључивање случајним одабиром више од две жице (што је у претходним задацима био случај), при чему долази до оглашавања звучно-светлосног торња. Испитаник је морао да, без помоћи инструктора, самостално закључи које жице је неопходно повезати како би се зауставило оглашавање звучно-светлосног торња.

Суштина овог типа експеримента јесте мерење реакција проводљивости коже током спровођења задатака, упоређивање и анализа разлика прва три задатка са четвртим. Експеримент се заснива на идеји да активирање аларма није могуће

предвидети и да су у већини случаја небезбедни поступци изазвани непредвиђеним узроцима.



Слика 10. Експеримент на моделу дидактичког уређаја (1)



Слика 11. Експеримент на моделу дидактичког уређаја (2)

3.2.2 Озбиљна игра

Експеримент модела обуке на рачунарској игри је трајао и требало би да се заврши у року од 15 минута, што све зависи од учесника до учесника. У теорији, 23 учесника би требало да заврши игру два пута. То подразумева да током игре унесу тражене тачне шифре како би успели да напредују по дефинисаним нивоима. Карактеристике игре су описане у поглављу 2.2. Температура околине у којој су се спроводили експерименти овог типа била је $24\pm 1^\circ\text{C}$ док је релативна влажност била 70–76%.

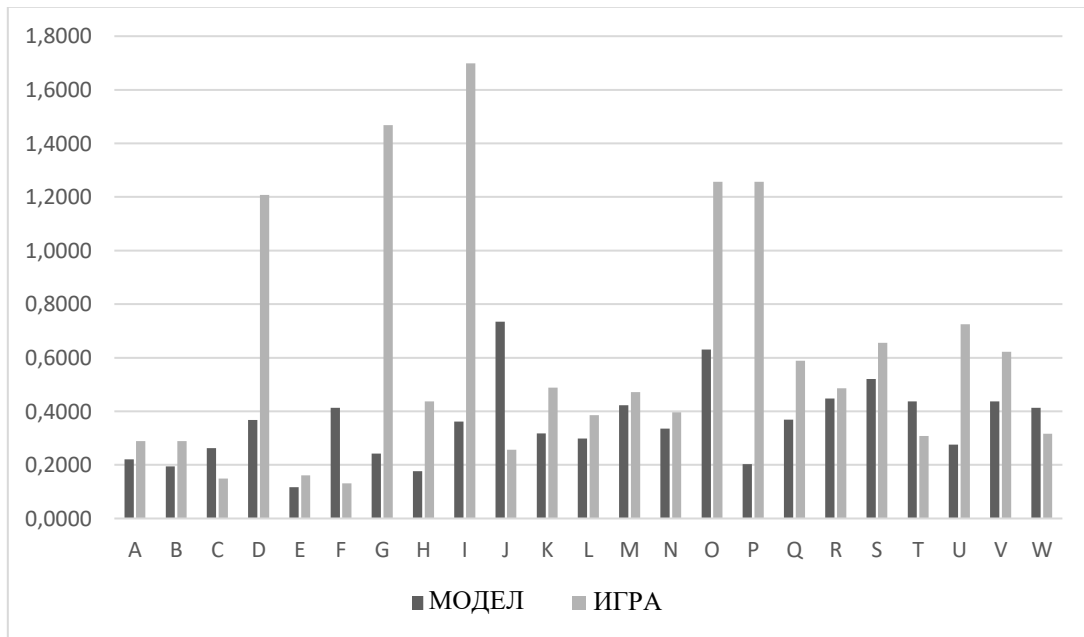
Пре почетка игре односно почетка мерења, учесници су добили одређене савете како и на који начин би требало да играју игру. Када је ЕДА уређај постављен (према *Boussein, 2012*), испитаници су добили детаљна упутства и одређени временски период да у потпуности разумеју принцип игре. Овај процес је трајао приближно 3 минута по учеснику, што подразумева да је првих три минута мерења изостављено из даље анализе. Електроде ЕДА уређаја су постављене према истом распореду као и за претходни експеримент и мерења су спроведена током игре. Сваки учесник је морао да унесе шифру 6 пута од по три цифре.

3.3 Резултати компаративне анализе спроведених експеримената

Већина испитаника, код њих 18, забележено је веће емотивно узбуђење током озбиљне игре, а само два испитаника током рада на моделу дидактичког уређаја. Резултати експеримената приказани су на слици 12. Јединица за мерење вредности нивоа узбуђења је микросименс (μS). Средња вредност нивоа узбуђења током озбиљне игре и рада на моделу дидактичког уређаја се разликује и износи $0.61\mu\text{S}$ и $0.36\mu\text{S}$ респективно.

Два скупа података, резултати добијених из два експеримента, проверени су помоћу теста Колмогоров-Смирнов (енг. *Kolmogorov-Smirnov test*) како би се утврдило да ли су карактеристике коришћених параметара исте. Тест је показао да су резултати прикупљени током експеримента са дидактичким моделом у складу са нормалном дистрибуцијом, док други скуп података прикупљени током озбиљне игре није у складу са нормалном дистрибуцијом. Због тога, резултати

овог експеримента су проверени тестом Мен-Витни (енг. *Mann Whitney test*). Тест на нивоу значајности од 0.05, показао је да је амплитуда значајно виша током рачунарске игре. Индекс теста Мен-Витни је $Z=-1.87$ и $p=0.031$, стога резултат је прихватљив јер је вредност $p<0.05$.



Слика 12. Резултати мерења реакције проводљивости коже током два експеримента (моделу дидактичког уређаја и озбиљна игра)

Напомена:

A, B, C, ..., W= учесници,

МОДЕЛ= вредности проводљивост коже током рада на моделу дидактичког уређаја,

ИГРА= вредности проводљивост коже током озбиљне игре.

3.4 Дискусија компаративне анализе два експеримента

Macuzic et al. (2016) су показали одређене недостатке током имплементације постојећих програма за обуку у области безбедности и здравља на раду, међу којима су константна промена закона и законских регулатива, као и недостатак неопходних информација од стране образовних институција. Слична истраживања су показала потешкоће у развоју области безбедности и здравља на раду чак и у земљама у којима је ова област развијена и законски уређена нпр. у Јапану (*Higashi & Inui, 2006*) и у Аустралији (*Johnstone et al., 2011*). Током година, безбедност и здравље на раду постаје све захтевнија област у погледу нових технологија, знања и потреба, као и да радници све више, директно и/или индиректно, утичу на ову област. Такође, постоје одређени недостаци који се односе на специфично знање и непостојање новијих законских директива. И поред оваквог стања, наставни планови и програми из области безбедности и здравља на раду на образовним институцијама, не могу да у значајној мери обезбеде довољно знања и вештина за безбедан и здрав рад. Ово се, нарочито, односи на радна места са процењеним ризиком у категорији средњи-висок, уз напомену да се безбедност мора посматрати са два аспекта и то као безбедност и здравље радника на раду и као индустријска безбедност. Постоје различите методе за обуку у области безбедности и здравља на раду почевши од пасивних и техника заснованих на информацијама, преко коришћења рачунара и техника окренутих ка учеснику до техника које се заснивају на перформансама (*Shankaraman & Lee 1994; Burke et al. 2006*). Без обзира што је безбедност и здравље на раду једна од основних човекових потреба, поступак стицања звања професионалаца у области безбедности и здравља на раду није у потпуности дефинисан. Постоји велики број академских диплома, као и сертификата додељених од стране акредитованих тела који доприносе овом звању. Неки од њих, као што су физиотерапеути, психолози, ергономисти, здравствени радници и многи други, могу развити своје програме за безбедан и здрав рад и да подучавају све заинтересоване (*Wood, 1987; Daltroy et al., 1997; Ryden et al., 1988; Gray et al., 1996*), али сматра се да инжењери ипак остају најважнији.

4.0 Безбедност и здравље на раду у пракси: студија случаја – ризични положаји тела током спровођења радних активности

4.1 Идентификовани проблем

Процена ризика у смислу индустријске безбедности као и безбедности и здравља на раду неопходно и потребно је у потпуности дефинисати задатке односно радне активности. Према *De Waard-у* (1996), радне активности имају два елемента која утичу на спровођење истих и то: захтевност/сложеност радне активности (енг. *task–demand*) подразумева карактеристике радне активности, док оптерећење радне активности (енг. *task–load*) јесте субјективан утицај на радника. У складу са тим, када желимо да истражујемо захтевност/сложеност радних активности потребно је узети у разматрање факторе које карактеришу радну активност и оне факторе који описују стање радника током спровођења тих радних активности. Један од главних данашњих проблема у безбедности и здрављу на раду јесте оптерећење радника и то у смислу когнитивних и/или физичких радних задатака. Оптерећење утиче на физичко и психолошко здравље (*Fournier et al., 2011*). Оптерећење је познато и као захтевност/сложеност радних активности (*Laschinger et al., 2001*) и оно представља главни негативни утицајни фактор на квалитет живота током рада (*Cordes and Dougherty, 1993; Houkes et al., 2003*). На тај начин уколико се спроведу мерења фактора оптерећења и контролу истих, могуће је да се унапреди и безбедност и здравље на раду и квалитет живота током рада.

За процену задовољства радника појединачно на радном месту, постоје различите методе: *Oerlemans and Bakker* (2013) су назначили две истраживачке методе, метод заснован на искуству (енг. *Experience Sampling Method*) и метод реконструисања радног дана (енг. *Day Reconstruction Method*) помоћу којих је могуће одредити тренутно задовољство радника током свакодневних радних активности. Технике као што су субјективна техника процене задовољства (енг. *Subjective Workload Assessment Technique - SWAT*), профил задовољства (енг.

Workload Profile - WP) и NASA-ин индекс оптерећења задатка (енг. *Task Load Index* - TLX) користе се за одређивање оптерећења (Hart et al., 1984; Hart et al., 1986; Hart & Staveland, 1988; Rubio et al., 2004; Hart, 2006). Ове технике спадају у групу субјективних техника.

Међутим, нека од задњих истраживања пружиле су доказе да је могуће објективно одредити оптерећење током радних активности помоћу психофизиолошких алата и сензора као што су електроенцеелографија (енг. *Electroencephalography* - EEG) и електродермална активност (Kohlisch & Schaefer, 1996; Miyake, 2001; Gevins & Smith, 2003; Just et al., 2003; Parasuraman, 2003, 2011; Parasuraman & Wilson, 2008; Baldauf et al., 2009; Lukavsky, 2010; Reimer & Mehler, 2011; Collet et al., 2014; Kajiwara, 2014; Buettner et al., 2015). Веома важна предност електрофизиолошких мерења, поред значајно веће објективности, јесте и могућност да се сигнали мере континуално, па чак је могуће анализирање и оцена резултата у реалном времену (Wilson & Russel, 2003). У данашње време, психофизиолошки алати и уређаји развијени су за активности које се обављају ван лабораторијских услова и за неке екстремне услове (Mundt et al., 2005) или у комбинацији са субјективним методама, као нпр. Miyake (2001) је извршио експерименте током којих је мерио оптерећење за дефинисане менталне задатке, користећи субјективне и објективне параметре и представио принцип њихове интеграције.

Parasuraman (2003) је увео нову дисциплину под називом Неуроергономија (енг. *Neuroergonomics*). Неуроергономија се користи за проучавање човековог мозга током спровођења радних активности и то уз помоћ неуропсихолошких алата. Постоји велики број истраживања који су потврдили примену и корисност неуропсихологије током спровођења радних активности (Gevins & Smith, 2003; Just et al., 2003; Parasuraman & Wilson, 2008; Parasuraman, 2011; Buettner et al., 2015). Неуроергономија се такође бави и неуронским основама физичких перформанси као што су хватање, померање или подизање терета (Parasuraman, 2003). Неуроергономија јесте само једна фаза ка процењивању ризика приликом спровођења активности гурања и повлачења, према предлогу De Waard-a (1996). Овакав приступ не може да промени друге факторе који значајније утичу на

квалитет живота током рада, као што су аутономија у раду и сигурност посла (Gallie, 2003; 2007). Истраживање у овој докторској дисертацији нема за циљ да у потпуности замени или елиминише самоизвештавање, већ да се у значајнијој мери помоћу психолошких мера, употпуни разумевање понашања радника током спровођења радних активности, према истраживањима *de Waard u Lewis–Evans* (2014).

4.2 Понављајуће радне активности

Савремено индустријско окружење се може описати помоћу напредних технологија и машина последње генерације што је у многоне смањио број радних активности за које је човек задужен. Очигледно је да се овим поступцима значајно смањио ризик изазван грешком радника. Међутим, аутоматизација процеса уводи велики број и различите типове критичних проблема у области безбедности које се односе на спознавање, знање и вештине. Без обзира на све, човек је и даље кључна карика у процесима, али исто тако, због природе ствари, човек је склон грешкама.

Технике за идентификацију и оцењивање човекових грешака заснивају се на посматрању задатака и бележењу непланираних и нежељених догађаја, што је у највећем броју случајева предмет личне процене. Поред тога, радна околина (физичке опасности, хемијске штетности и ергономија радног места) може да има јако велики утицај на увећање вероватноће грешке. У многим случајевима, стање радне околине се не пријављује или није у потпуности разумљиво, при чему може бити узрок проблема у области безбедности и здравља на раду и на крају узрок грешкама радника. На основу претходно наведеног, неопходан је метод помоћу којег је могуће забележити одговор односно реакцију човековог организма на стимуланс из окружења.

У овој докторској дисертацији, коришћена су мерења електродермалне активности коже како би се проценило стање радника током спровођења понављајућих радних активности. Поред овога, коришћена је метода понављајућих радних активности (енг. *Occupational Repetitive Action - OCRA*) за

одређивање нивоа ризика за понављајуће радне активности. Циљ је да се истражи да ли објективна психофизиолошка мерења прилагођена сваком раднику (нпр. ЕДА) може да обезбеди значајно боље податке за процену фактора ризика радног оптерећења као допуна резултатима добијеним методом понављајућих радних активности.

4.3 Оцена ризика методом понављајућих радних активности

За детаљну процену ризика, користи се метода понављајућих радних активности дефинисана стандардом ISO 11228. Ову методу је први увео *Occhipinti* (1998), а касније је у потпуности развијена и унапређена од стране исте истраживачке групе (*Colombini et al., 2013*). Генерално, ова метода се користи током конструисања или за детаљну анализу радних места и задатака. Метода понављајућих радних активности је коришћена од стране великог броја ергономиста и истраживача како би унапредили ергономске услове рада (*Colombini & Occhipinti, 2006*) или као основу за компаративну анализу са осталим методама за одређивање ризика понављајућих радних активности (*Najarkola, 2006; Naddeo et al., 2010; Boenzi et al., 2013*). Основа методе понављајућих радних активности јесте квантитативна вредност, односно индекс који представља однос броја понављајућих активности током једне смене и броја техничких мера за унапређење безбедности радног места током једне смене. Битна чињеница у вези ове методе јесте да она припада групи метода која се заснива на посматрању (*Takala et al., 2010*) и представља предност ове методе јер не захтева примену додатних алата за процену и анализу. У факторе ризика везаних за мишићно-коштане проблеме који настају током спровођења радних активности су понављајући покрети, вибрације, неприродни положај тела и примена прекомерне силе (*Silverstein et al., 1986, 1987; Stock, 1991; Putz-Anderson et al., 1997; Grieco et al., 1998; Magnusson & Pope, 1998; NRC/IM, 2001; Buckle & Devereaux, 2002; Punnett & Wegman, 2004*). Сходно томе, висок индекс добијен методом понављајућих радних активности се односи на проблеме везане за горње екстремитете (*Occhipinti & Colombini, 2004, 2007*). У овој докторској дисертацији,

ниво ризика за понављајуће радне активности и физичке факторе ризика (положај тела, сила, трајање и учесталост радних активности, вибрације) биће описани методом понављајућих радних активности.

4.4 Методе истраживања

Поставка експеримента је подразумевала да се у лабораторијским условима физички направи реплика изабраног радног места из једног малог и средњег предузећа, на којем ће бити спроведена испитивања везана за понављајуће радне активности. Читав радни процес односно симулација у лабораторијским условима је подразумевала коришћење модела пресе (направљена по узору на постојећу у предузећу) помоћу које радник врши спајање металног дела са гуменим цревом. Скуп ових активности подлеже оцењивању методом понављајућих радних активности и процедура је преузета из стандарда ISO 11228–3:2007. Метода се обухвата следеће кораке:

- Израчунавање учесталости појединачних активности у минути и укупан број стварних појединачних активности спроведених током једне смене (енг. *Actual Technical Actions* - ATA):

$$n_{ATA} = f \cdot t$$

- Избројати број активности (n_{TC}) у циклусу и израчунати учестаност (f) у минути, при чему је време циклуса (t_C) у секундама:

$$f = n_{TC} \cdot \frac{60}{t_C}$$

Одредити време трајања (t) понављајућих радних активности у току једне смене, у минутама.

- Израчунати укупан број референтних појединачних активности (енг. *Number of Reference Technical Actions* - nRTA).

$$n_{RTA} = k_f \cdot F_M \cdot P_M \cdot R_{eM} \cdot A_M \cdot t \cdot R_{cM} \cdot t_M$$

$k_f = 30/\text{min}$ – учестаност појединачних активности (константа),

F_M – коефицијент силе,

P_M – коефицијент положаја тела,

R_{eM} – коефицијент понављања,

A_M – додатни коефицијент,

t – време трајања понављајуће радне активности, у минутима,

t_M – коефицијент периода трајања,

R_{cM} – коефицијент опоравка.

- Израчунавање индекса на основу методе метода понављајућих радних активности:

$$OCRA_{Index} = ATA/nRTA$$

Појединачне активности неопходне за спровођење понављајућих радних активности приказани су у табели 1.

Табела 1. Појединачне активности

Број појединачних активности	6
Појединачне активности	➤ Ухватити метални део
	➤ Ухватити гумено црево
	➤ Позиционирати метални део на црево
	➤ Убацити припремљен део у пресу
	➤ Притиснути папучицу
	➤ Извући готов производ

Појединачне активности, наведене у табели 1, спроведене су корак по корак. Читав процес се одвијао у седећем положају и састојао се од 8 једноставних корака (активности) и то:

- Корак 1: Учесник у експерименту добија информацију у виду визуелног стимуланса (на екрану испред) на основу које учесник започиње активност,
- Корак 2: Учесник узима метални део,
- Корак 3: Учесник узима гумено црево,
- Корак 4: Учесник поставља метални део на црево,

- Корак 5: Овако формиран део се убацује у отвор импровизоване пресе и учесник притиска дугме које се налази у отвору пресе. Уколико су метални део и гумено црево исправно постављени, зелено светло засветли на радној површини дајући сигнал учеснику да је ова активност урађена у складу са прописаним правилима,
- Корак 6: Након појавивања зеленог светла, учесник у експерименту притиска папучицу. Притискање папучице активира оглашавање звука који представља процес пресовања односно састављања металног дела и гуменог црева, и траје колико и процес у посматраном реалном систему (3,5 секунди). Реална активност пресовања је, наравно, избегнута, док је амбијент и звукови који постоје на реалном радном месту су снимљени и у потпуности репродуковани,
- Корак 7: Након завршетка процеса пресовања, учесник извлачи готов производ и ставља је у кутију са готовим деловима,
- Корак 8: Учесник, након завршетка радне активности и даље мирно седи и очекује поновни визуелни стимуланс који би означио почетак следеће односно нове активности.

Сви учесници, током овог типа експеримента, носили су ЕДА уређај, као што је био случај и са претходним експериментом (приказан на слици 9).

Необрађени сигнали из ЕДА уређаја пролазе кроз припремну фазу и у даљој анализи користиће се само фазна компонента (слика 1) и то амплитуда и област проводљивости коже (енг. *Skin Conductance Area – SCA*). Првих 15 минута мерења представља основу мерења (стабилизација), пре него што наступи замор услед понављајућих радних активности, док последњих 15 минута је посвећено психофизиолошким мерењима у тренуцима када се током експеримента спроводе понављајуће радне активности. Поред тога, коришћена је теорија *Brankovic (2011)*, специфично негативна повратна спрега (NFL₀) и спора позитивна повратна спрега (SPFL₀).

4.4.1 Учесници

Укупно 20 здравих учесника мушког пола (студенти Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу) учествовало је у експерименту, просечне старости 24 ± 4 . Од укупног броја учесника, двојица су искључена из анализе јер током експеримента нису показали активности карактеристичне за проводљивост коже. Експеримент је трајао 90 минута у континуитету без паузе. Детаљи експеримента дати су у табели 2.

Табела 2. Детаљи понављајућих радних активности

Учесталост задатка	Време рада пресе	Број понављања	Време између два стимуланса	Укупно време експеримента
1/10.8 сек	3.5 сек	500/90 мин	11 сек	90 мин

4.5 Резултати

4.5.1 Индекси методе понављајућих радних активности

Израчунавање укупног броја појединачних активности је помоћу индекса заснован на методи понављајућих радних активности и то:

$$f = n_{TC} \cdot \frac{60}{tc}$$

$$f = 6 \cdot \frac{60}{10.8} = 33.3/\text{min}$$

$$ATA = 33.3 \cdot 90 = 2997$$

$$nRPA_{tot} = K_f \cdot F_M \cdot P_M \cdot R_{cM} \cdot A_M \cdot t = 30 \cdot 0.65 \cdot 0.6 \cdot 0.7 \cdot 0.8 \cdot 90 = 589.68$$

$$nRTA = nRPA_{tot} \cdot R_{cM} \cdot t_M = 589.68 \cdot 0.85 \cdot 2 = 1002.456$$

$$OCRA_{Index} = ATA/nRTA = 2997/1002.456 = 2.99$$

Табела 3. Константе захтеване према стандарду No. ISO 11228–3

Константа		Вредност
Учестаност (константа)	K_f	30
Коефицијент силе	F_M	0.65
Коефицијент положаја тела	P_M	0.6 (положај лакта $>60^0$, за 2/3 времена циклуса)
Коефицијент понављања	R_{cM}	0.70 (време циклуса је мање од 15секунди)
Додатни коефицијент	A_M	0.80 (због присутних вибрација)
Време трајања (у минутима)	t	90
Укупан број референтних појединачних активности	$nRPA_{tot}$	589.68
Коефицијент опоравка	R_{cM}	0.85 (за радне активности које трају дуже од 1.5ч без паузе)
Коефицијент за период трајања	t_M	2 (за радне активности које трају краће од два сата током смене)

На основу резултата категоризација ризика према методи понављајућих радних активности припада жутом нивоу ризика и сматра се да је веома низак ризик.

4.5.2 ЕДА резултати

Из сигнала добијених путем електродермалне активности, мерена је амплитуда реакције проводљивости коже, област проводљивости коже, негативна повратна спрега (NFL₀) и спора позитивна повратна спрега (SPFL₀). Експеримент је трајао укупно 90 минута. За потребе компаративне анализе, добијени су два скупа података: први скуп података одговара мерењу сигнала понављајућих радних активности првих 15 минута трајања експеримента, док други скуп резултата представљају подаци добијених у последњих 15 минута експеримента. Оба скупа података су проверени поменути тестовима Колмогоров-Смирнов и Мен-Витли.

На слици 13 може се видети средња амплитуда реакције проводљивости коже за сваког испитаника током првих 15 минута експеримента и просечна вредност

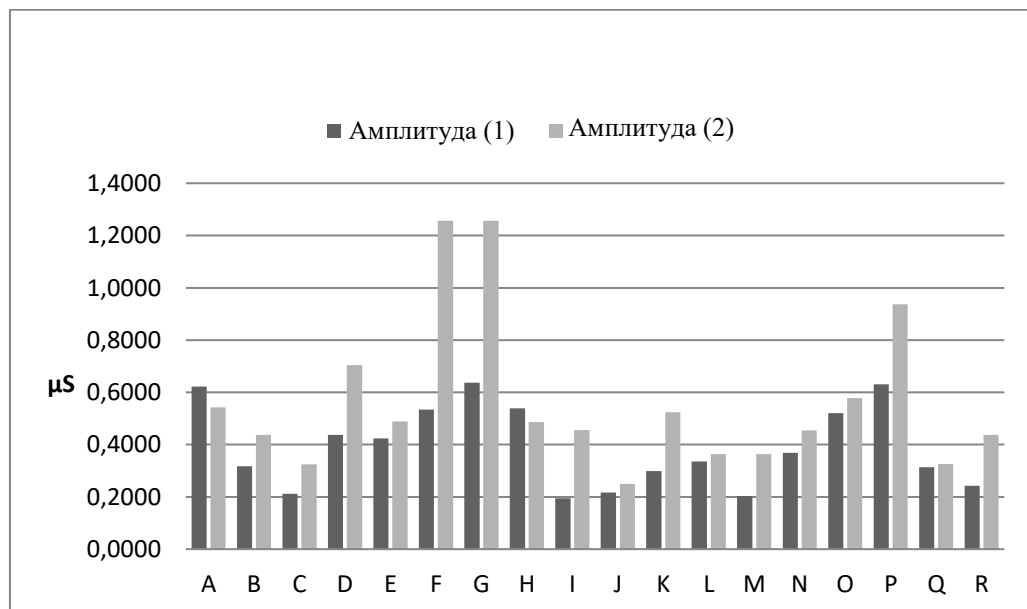
реакција проводљивости коже за сваког учесника током задњих 15 минута експеримента. Једно слово алфабета представља једног испитаника. На слици 13 се може видети да се просечна амплитуда реакције проводљивости коже опала једино код испитаника „А“ и „Н“, док код других учесника је та амплитуда порасла. На слици 14 приказано је да област из које долази ЕДА сигнал је значајно већа код 13 испитаника, током спровођења понављајућих радних активности у задњих 15 минута експеримента.

Напомена:

A,B,C,..., R=учесници,

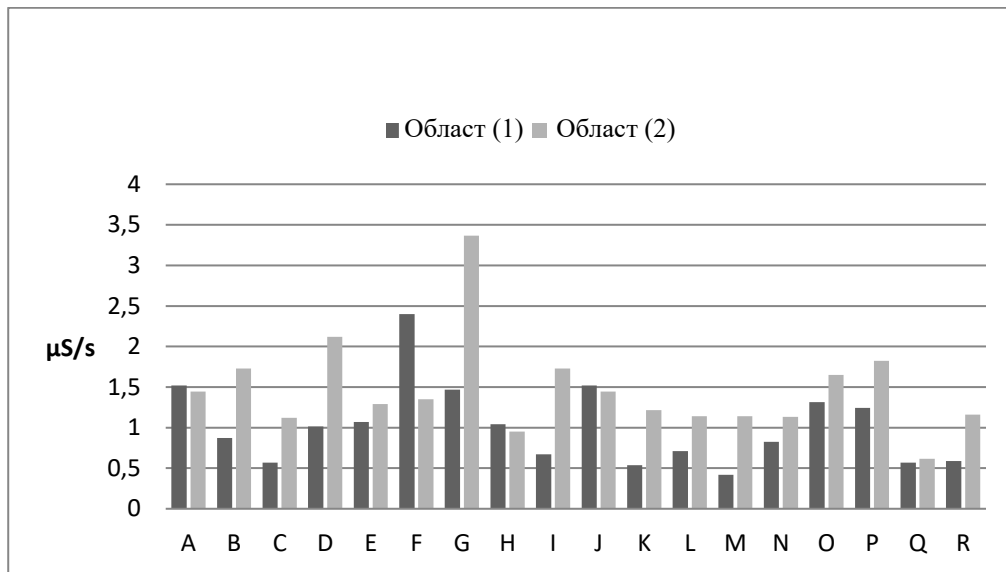
μS =микросименс, мера амплитуде електродермалне активности,

$\mu\text{S}/\text{s}$ = микросименс у секунди, мера области електродермалне активности.



Слика 13. Компаративна анализа амплитуде у првих и задњих 15 минута експеримента

Помоћу Мен-Витни теста (за утврђивање статистичке значајности) одређена су укупна одступања резултата две групе података, амплитуда (1) и амплитуда (2), при чему су добијени индекс $Z=-1.9774$ и индекс $U=99$, што је значајно за вредност $p \leq 0.05$. Компаративна анализа показује да постоји значајно повећање амплитуде реакције проводљивости коже.



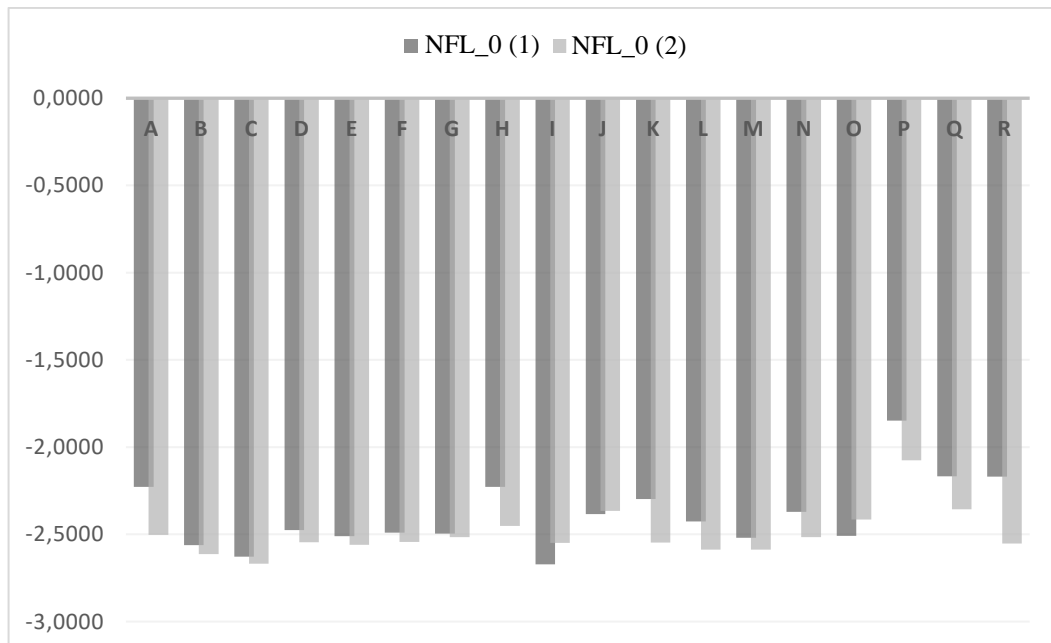
Слика 14. Компаративна анализа области у првих и задњих 15 минута експеримента

Напомена:

A,B,C,...,R=учесници,

NFL_0=негативна повратна петља,

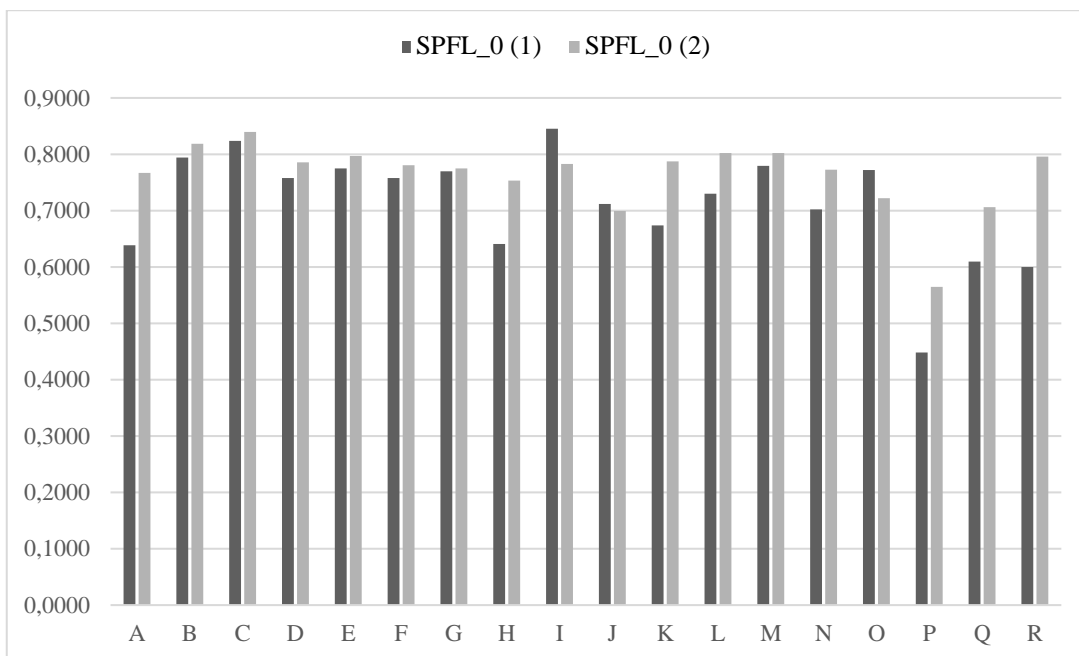
SPFL_0=спора позитивна повратна петља.



Слика 15. NFL_0 (1) првих 15 минута и NFL_0 (2) задњих 15 минута експеримента

Резултати теста Ман-Витни су индекс $Z=-1.9774$ и индекс $U=99$, што је значајно за вредност $p \leq 0.05$. Као што може да се види са слике 15, укупно 15 учесника у експерименту је имало виши ниво емотивног узбуђења (NFL_0) у последњих 15 минута експеримента. Ови резултати се односе на другу повратну петљу методе приказане на слици 2 и објашњава се као један вид смањивања процеса емотивног узбуђења.

Резултати теста Мен-Витни за SPFL_0 су индекс $Z=-2.0091$ и индекс $U=98$, док је вредност $p=0.02222$. Критична вредност за индекс U јесте 109, када је $p \leq 0.05$. Стога, резултати су значајни када је $p \leq 0.05$. Такође, на слици 16 се може приметити да су резултати у складу са претходним показатељима. Петнаест учесника је показало виши ниво за показатељ SPFL_0 у последњих 15 минута експеримента. SPFL је у ствари трећа повратна петља методе приказане на слици 2 и пропорционална је стварном нивоу емотивног узбуђења односно стварној вредности сигнала реакције проводљивости коже. Као закључак се може навести да су резултати очекивани и да су у складу са амплитудом реакције проводљивости коже.



Слика 16. SPFL_0 (1) првих 15 минута и SPFL_0 (2) задњих 15 минута експеримента

4.6 Дискусија

Добијени резултати у спроведеним експериментима пружају увид у промену оптерећења и факторе ризика који се јављају током понављајућих радних активности. Као што је приказано и амплитуда и област проводљивости коже су се увећали током значајније изложености радника понављајућим радним активностима. Ово повећање проводљивости коже се односи, као што је раније напоменуто, на рад знојних жлезда. Посебно, резултати за NFL_0 се могу појаснити аутономном реакцијом као функцијом амигдале. Један од главних излаза амигдале јесте пут од медиалне амигдале до паравентрикуларног нуклеуса хипоталамуса. Ова пројекција игра важну улогу у изражавању аутономне реакције на стимуланс (*LeDoux, 1992*).

Могућа даља истраживања добијених резултата електродермалне активности би била заснована на узроцима формираног ЕДА сигнала. Природа сигнала реакције проводљивости коже је била фокус неколико динамичких приступа самом процесу реакције проводљивости коже. Постоји неколико истраживања која у својим моделима за реакцију проводљивости коже разматрају активност периферних симпатетичких нерава као улазне импулсе (*Alexander et al., 2005, Bach et al., 2009, Bach et al., 2010a, Bach et al., 2010b, Bach et al., 2010c, Benedek & Kaernbach, 2010*). Затим, постоји и предлог да се почетни неуронски догађај и механизми повратних информација, који се могу обухватити предложеним (у овој докторској дисертацији) моделима, одвијају се у централним структурама мозга (*Branković, 2008, 2011, 2012*). У овом случају, реакцијом проводљивости коже могло би да се добије већа количина информација о централној нервној обради него иначе. Активности које могу да се детектују у проводљивости коже у позитивној су вези за узбуђењем (*Andreassi, 2007*). Приметно је да је узбуђење у директној, позитивној вези са будношћу, јер постоје истраживања која су приказала да долази до опадања будности уколико је узбуђење на значајно мањем нивоу (*Frankmann & Adams, 1962; Loeb & Alluisi, 1984*). Пад будности се сматра смањењем нивоа перформанси који захтевају пажњу у дужем временском периоду (*Oken et al., 2006*). Другим речима, будност се може окарактерисати на

следећи начин: колико напора уложимо у одржавање пажње, утолико ћемо бити пажљивији (*Grier et al., 2003*).

Поред тога, промене у активностима аутономног нервног система и централног нервног система у задацима будности указују на то да се физиолошко узбуђење смањује обзиром на смањење будности током дужег трајања експеримента (*Parasuraman & Davies, 1984*). Поменута веза обезбеђује значајан и интересантан поглед на постигнуте резултате у овој докторској дисертацији. Током понављајућих и монотоних задатака очекује се да будност опадне током времена и посматране радне активности у потпуности преобрази у радну рутину, док се смањивање перформанси радника, који се одликују у смислу смањивања пажње, веома повезано са периодом трајања експеримента (*Manly et al., 1999*). Свака врста реакције, било позитивна или негативна, склона је опадању током спровођења експеримента, нарочито везаних за будност учесника (*Dember & Warm, 1979*).

Истраживачи су дошли до сазнања да резултати електродермалне активности остају непромењени или чак су у опадању када су когнитивни захтеви на најнижем нивоу (*De Groot et al., 2011; Katzourakis, et al., 2011*). Ипак, скорашњи резултати су показали да радни задаци који се заснивају на будности захтевају ресурсе и да су повезани са субјективним осећајем оптерећења и стресом (*Warm, Parasuraman & Matthews, 2008; Tiwari & Singh, 2009*).

Садашњи резултати се подударају са новим резултатима који показују да постоји значајно веће емотивно узбуђење у току времена током спровођења радних активности, без обзира да ли је та радна активност категорисана као веома низак ризик. Да би се објаснио овај феномен, неопходно је консултовати старије истраживање (*Kahneman, 1973*) према којем је наведено да високо емотивно узбуђење може указати шта се дешава са учесницима, стресу којем су изложени или менталним напорима који задатак захтева. Осим тога, истраживачи (*Barry et al., 2005*) у свом истраживању (у којем су учествовала деца) закључили су да се вредност проводљивости коже увећава у времену током спровођења континуалних активности и да се не односи на перформансе већ на тзв. енергетске факторе.

До истих закључака односно до истих резултата су стигли и *Vaez Mousavi et al.* (2007), у истраживању који је обухватио одрасле особе. Резултати у овој докторској дисертацији у потпуности одговарају претходно наведеним истраживањима, којима се елиминише веза будности и перформанси са емотивним узбуђењем.

Важна карактеристика психофизиолошких метода у радном окружењу би била континуална примена како би се, на одговарајући начин, пратило стање радника. Важни кораци развоја у овом правцу направљени су последњих година (*Cuelho & Nunes, 2012*) пре свега у области физичко-техничке безбедности и надзора. Иако резултати приказани у овој докторској дисертацији не сугеришу експлицитно шта се тачно дешава са радником током спровођења понављајућих радних активности, може се закључити да њихова значајно виша електродермална активност током времена јесте параметар већег емотивног узбуђења.

Потребно је нагласити да метода понављајућих радних активности (OCRA) има нека системска ограничења. Пример томе јесте уколико радник приликом оцене једне радне активности, према Борговој скали, додели вредност 5 или вишу, са 10% дужином временом од укупног времена спровођења уз фактор силе од 0.01, OCRA индекс се значајно увећава (*Aubry, 2006*). Према томе, овај фактор веома негативно утиче на резултат, у смислу да је резултат погрешан. Такође, постоје и одређени утицаји на вредност електродермалне активности услед моторичких активности, али *Kohlisch and Chaefer (1996)* су приказали да ти утицаји могу да се занемаре, јер покрети који се спроводе не укључују брза кретања у седећем положају. Из тог разлога, сви учесници у експериментима су замољени да не померају руку која им није доминантна, односно руку на којој је постављен ЕДА уређај. Међутим, неопходно је нагласити, да ови експерименти имају и одређених недостатака и то у смислу година и пола учесника, јер су сви били мушког пола, студенти Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Очекује се да структура будућих истраживања буде употпуњена праћењем у реалним радним ситуацијама са већим бројем учесника, различите полне и старосне структуре. Поштујући и познавајући ова ограничења, могуће је помоћу ових резултата да се одреде одређена унапређења у области ергономије.

Резултати добијени помоћу методе понављајућих радних активности јесу специфични, константни и одређују објективан ниво ризика за посматрану активност. Као што је раније напоменуто, помоћу ове методе, за посматрану радну активност ниво ризика је означен као веома низак ризик. За стручњака за ергономију, такав ниво ризика аутоматски не спада у категорију за даљу анализу и унапређење радне активности. Међутим, статистички значајна промена у електродермалној активности током завршне фазе симулације понављајућих радних активности представља допунски приступ процени ризика за ову врсту активности. Конкретно, први резултати ових експеримената представљају потенцијалну могућност праћења односно мерења просечне електродермалне активности у реалном времену као директна процена оптерећења радника и њиховог стреса. Поред тога, ови резултати се могу користити и као параметри за прелиминарну когнитивну процену ризика, уколико се сматра да је таква процена неопходна. Према принципима когнитивне ергономије, може се закључити да је, према садашњим резултатима, метода понављајућих радних активности у складу са психофизиолошким налазима. То је потврђено тиме што веће вредности електродермалне активности током времена представљају индекс утрошене енергије на специфична понашања и емоције (*Sequeira et al., 2009*) и због тога још увек не представља ризик за радника.

5.0 Гурање, повлачење и управљање индустријским колицима: психофизиолошко истраживање

5.1 Активност гурања-повлачења као критична радна активност

Гурање и повлачење је једна од најчесталијих радних активности и користи се у великом броју задатака, од најпростијег отварања врата до јако сложених активности као што је гурање, повлачење и управљање колицима. Оваква врста задатка се дефинише као напор услед силе, са једном или обема рукама, углавном у хоризонталној равни (*Martin & Chaffin, 1972; Hoozemans et al., 1998; 2002*) и дефинисано је стандардом ISO 11228:2007:

- напор целог тела услед силе (нпр. током стајања/ходања),
- радне активности спроведене од стране једне особе,
- деловати силом двема рукама,
- силе за покретање и заустављање,
- силе примењене на несметан и контролисан начин,
- деловање силом без екстерне подршке,
- деловање силом на објекте који се налазе испред радника,
- деловање силом у усправном положају (не у положају седења).

У многим истраживањима су истакнути здравствени проблеми односно ризици у вези са гурањем и повлачењем терета (*Hoozemans et al., 1998; McBeth et al., 2003; Harkness et al., 2003*), укључујући болове у доњем делу леђа (*Garg & Moore, 1992*). Овај здравствени проблем је најчешће цитиран у литератури (*Snook et al., 1978; Hoozemans et al., 1998*) и има велики утицај на глобалном нивоу (*Maurits et al., 1995; Maniadakis & Gray, 2000; Deyo & Weinstein, 2001; Ehrlich, 2003; Deyo et al., 2006; Majid & Truumees, 2008; Hoy et al., 2010; Rossignol et al., 2009*) изазивајући високе трошкове на националном нивоу (*Dagenais et al., 2008*).

Гурање и повлачење нису једноставне понављајуће радне активности већ укључују и управљање колицима, при чему силе које се јављају јесу силе смицања и силе затезања. Неколико истраживања је показало да су силе смицања и затезања кључни фактори који изазивају болове у доњем делу леђа (*Lee et al.,*

1991; Jäger & Luttmann, 1997; Norman et al., 1998; Schibye et al., 2001; Laursen & Schibye, 2002; Hoozemans et al., 2004; Lett & McGill, 2006; Hoozemans et al., 2007; Jäger et al., 2007; Marras et al., 2009; Knapik & Marras, 2009).

Ипак, последице гурања и повлачења нису у потпуности јасне. У свом систематском прегледу литературе *Roffey et al.* (2010) су показали да болови у доњем делу леђа не настају искучиво због гурања и повлачења. До истог закључка дошао је и *Hoozemans* (2002) у свом истраживању, да је рамени појас значајније оптерећен радним активностима гурања и повлачења него доњи део леђа. Ови закључци указују да здравствени проблеми у вези са радом нису директно повезани са физичким факторима, што у значајној мери отежава проналажење решења за нелагодност и/или бол проистекао на радном месту.

Када се истраживања односе на радне активности које подразумевају управљање колицима потребно и неопходно је узети у разматрање област ергономије и имати на уму и да лоше ергономски пројектовани и конструисани системи имају велики проблем квалитета производа (*Eklund, 1995*).

Постоји много радова у којима су се истраживале могућности оптимизације радних активности гурања и повлачења у сврху смањивања ризика у вези са радом унапређујући дизајн колица и то кроз: промену висине дршке колица (*Resnick & Schaffin, 1995; Al-Eisawi, 1999*), тип точкова, могућности управљања колицима и силе смицања (*Sandfeld et al., 2014*), карактеристике и способности радника укључујући силе гурања и повлачења (*van der Beek et al., 1999; Bennet et al., 2008; Hashim et al., 2014; Chow & Dickerson, 2016*), неприродне позиције тела (*Hashim et al., 2014*), радно искуство (*Lee et al., 2014*), стање околине као нпр. стање подлоге (*Bennet et al., 2008*), уз додатне опасности приликом гурања и повлачења индустријских колица као што су саплитање и клизање (*Hoozemans, 1998*). Прегледни рад (*Argubi-Wollesen et al., 2016*) даје приказ главних истраживања у којима фигурирају кључне речи гурање и повлачење, при чему су идентификоване три групе фактора: искуство и технику спровођења радних активности, услови околине и тежина колица. Процена ризика за активности гурања и повлачења може се спровести помоћу субјективних метода као што су интервјуи, посматрање радника током рада, снимање радних активности (камерама), анализом попуњених

упитника радника о нелагодности на послу, или помоћу објективних метода засноване на физичкој антропометрији и постојећим психофизиолошким табелама. Веома важан корак у процени ризика за активности ручне манипулације приказали су *Snook and Ciriello* (1991), чија упутства се масовно примењују у индустрији. Ова упутства се сматрају златним стандардом у оцени ризика за гурање и повлачење, заснована на антропометријским мерењима.

Методе засноване на антропометрији, иако узимају у обзир индивидуалне физичке карактеристике, врши се класификација у оквиру статистичких табела како би се конструисало радно место за већину радника. Приликом дизајна и контруисања радног места, могу недостајати важне чињенице као што су карактеристике појединца. Исто тако важно је напоменути да је неопходно ажурирати постојеће антропометријске табеле пошто су се карактеристике становништва значајно променила током прошлих година (*Hanson et al.*, 2007). Постоји још једно питање на које није дат одговор, а тиче се тога да радници истих физичких карактеристика (године, висина, тежина и сл.) могу да прикажу различите перформансе током спровођења радних активности. Са друге стране, истраживања о нелагодности радника кроз попуњавање упитника су субјективне методе и често су резултати овакве врсте испитивања не тако поуздани. Такав пример је истраживање у коме су представљени резултати који показују да су радници неосетљиви или слабо осетљиви на мишићно-коштане проблеме (*Hanson et al.*, 2007).

Ређе, али са веома прихватљивим резултатима, спроведена су психолошка испитивања о напорима заснованим на брзини откуцаја срца и неопходној количини кисеоника током радних активности (*Garcin et al.*, 1996; *Todd*, 2012). У овој докторској дисертацији користиће се предложена метода за процену ризика за активности гурања и повлачења дефинисана у стандарду ISO 11228–2:2007, заједно са електрофизиолошким мерењима електродермалне активности.

5.2 Методе истраживања

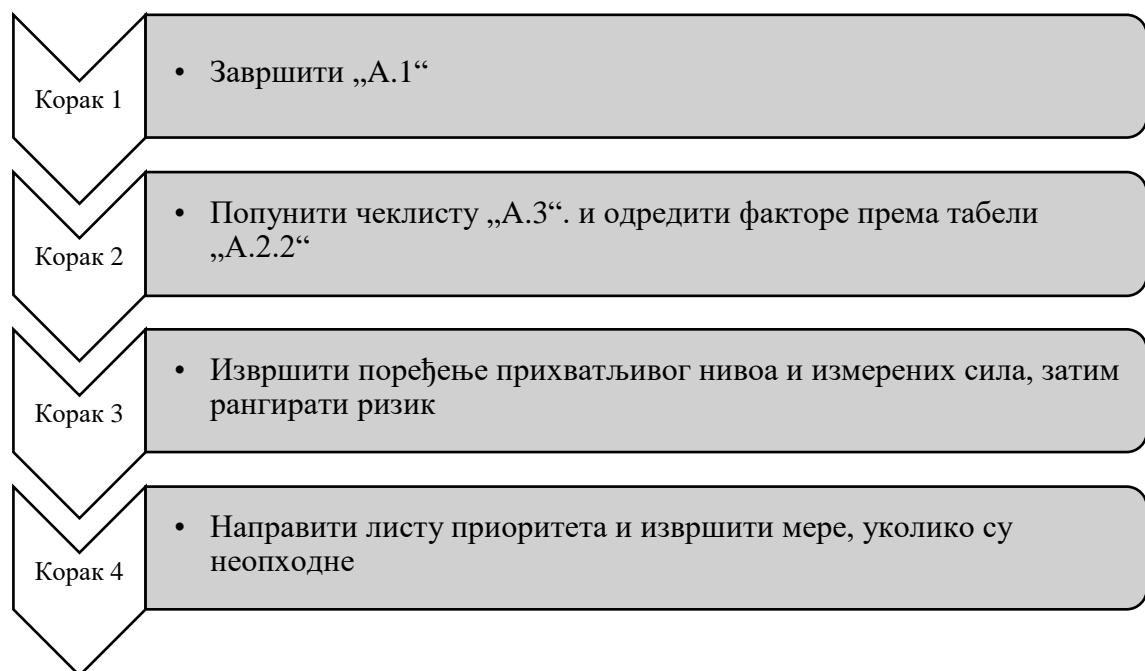
5.2.1 Процена ризика према стандарду ISO 12228:2

Процена ризика за активности гурања и повлачења, према стандарду ISO 11228–2:2007, састоји се из три корака:

1. идентификација опасности/штетности,
2. процена ризика и
3. оцена ризика.

Поменути стандард дефинише две методе за идентификацију потенцијалних опасности/штетности. У овој докторској дисертацији коришћене су чеклиста за процену ризика и психофизиолошке табеле.

Прва метода се састоји из четири корака. Први корак представља скуп табела и чеклиста под називом „А.1“ и „Табела А.3“, као што је приказано у стандарду. Овај метод је приказан на слици 17.



Слика 17. Приказ методе 1, према стандарду ISO 11228–2:2007

5.2.2 Учесници

Укупно 14 учесника мушког пола учествовали су у експерименту. Од укупног броја учесника, четворица раде у компанији, док су осталих 10 студенти Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Просечна старост учесника била је 28 ± 5 и просечне висине од 178 ± 10 cm. Сви учесници су били здрави и учествовали су добровољно у експериментима.

5.2.3 Упитник

Упитник је састављен и дат учесницима на попуњавање. Учесници су морали да рангирају, према свом мишљењу, која радна активност је лака, средње тешка или тешка. Модалитети радних активности гурања и повлачења означени су као *A*, *B*, *C* и појашњени су на следеће начине:

- Модалитет радне активности *A* – колица под пуним оптерећењем се гурају по путањи дужине 8 метара, затим се заокрећу и поново се гурају по истој путањи, али у супротном смеру (8 метара).
- Модалитет радне активности *B* – колица се прво гурају, а затим повлаче по путањи дужине 8 метара (без заокретања).
- Модалитет радне активности *C* – ова радна активност је иста као и радна активност *A*, уз услов да колица нису под оптерећењем.

Детаље модалитета радних активности и опис методологије експеримента дати су у табели 5. У наставку дат је пример упитника који су испитаници морали да попуне након завршених експеримената.

Према Вашем мишљењу, заокружите број (1, 2 или 3) испред одговарајућег одговора за сваки модалитет радних активности								
1: лака радна активност,								
2: средње тешка радна активност,								
3: тешка радна активност.								
A			B			C		
1	2	3	1	2	3	1	2	3

5.2.4 Колица

На слици 18 приказан је модел колица који се користио за експерименте. Структура колица је израђена од алуминијумских профила како би се обезбедила максимална флексибилност структуре уколико буде потребе за одређене неочекиване модификације и промене дизајна. Ова врста структуре је најбоља јер су једноставне и брзе модификације могуће помоћу само једног вијка. Изглед колица приказан је на слици 19, а карактеристике колица дате су у табели 4. Пре него што се приступило развоју, спроведена су статичка и динамичка испитивања и анализе структуре колица у софтверском пакету *AutoDesk Inventor 2015*.

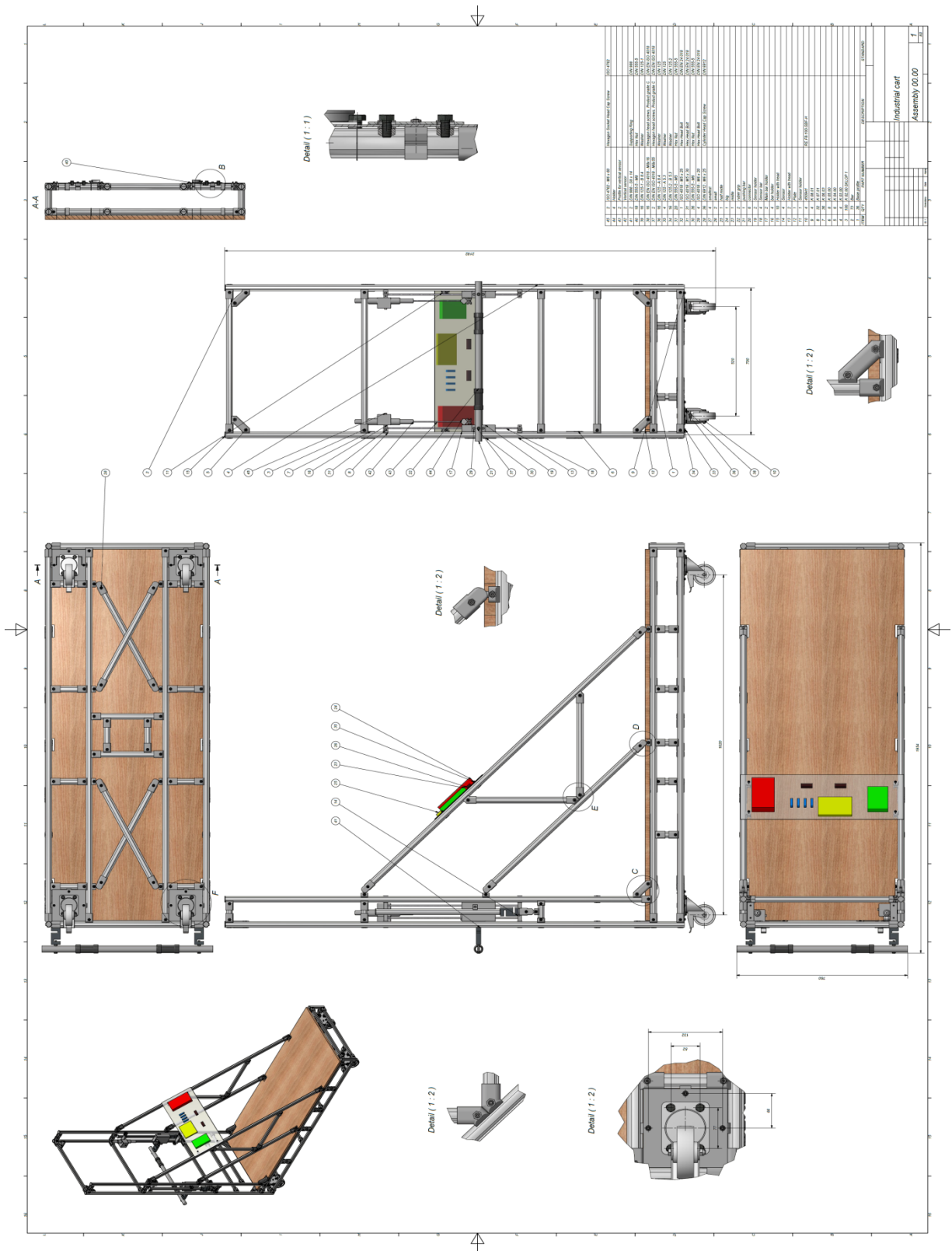
Табела 4. Карактеристике колица

Карактеристике	
Модел	CZL 301
Висина	2182 цм
Висина ручке	Променљива
Материјал	Алуминијумски профили
Дужина	1620 цм
Ширина	700 цм
Тежина	71 кг (са уређајем за напајање струјом и системом за мерење сила)
Максимално оптерећење	100 кг
Прецизност	0.02% F.S
Сигурносно оптерећење	120% F.S
Максимално оптерећење	150% F.S
Радна температура	-20°C~+55°C
Мерач (сензор) силе	мерна ћелија тип S^*

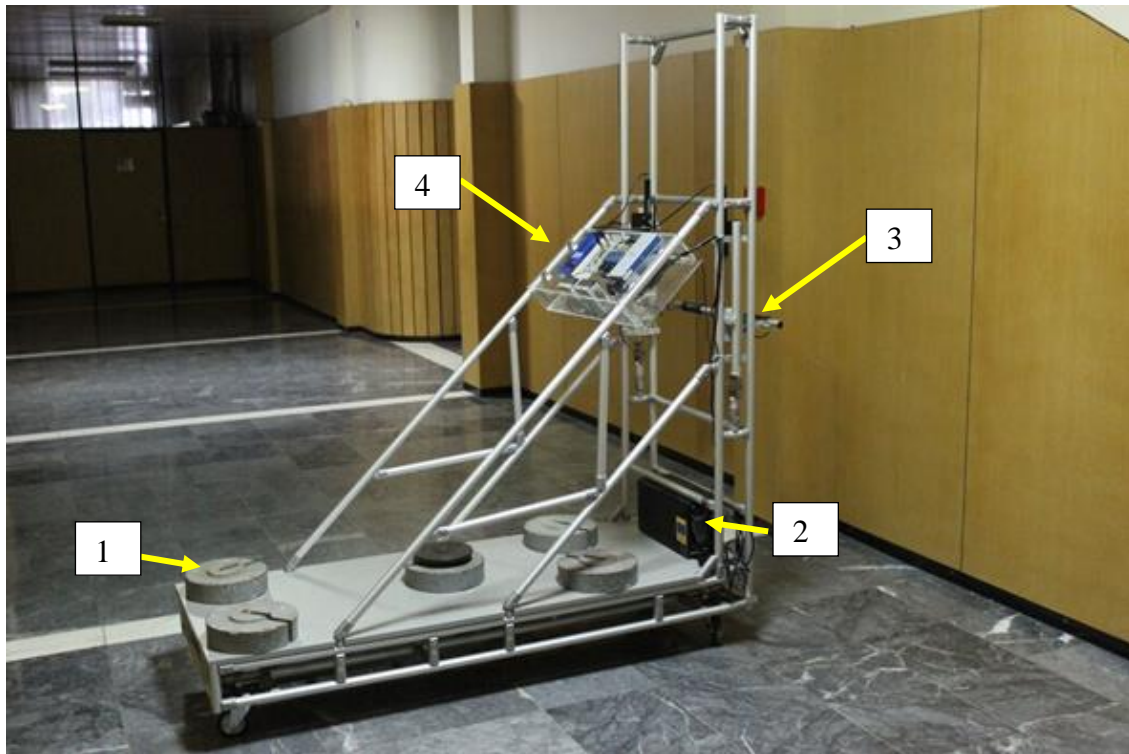
Напомена:

F.S = Пуно оптерећење,

*Мерна ћелија тип S : мерна ћелија је осетљив модул са мерним тракама. Овај модул је направљен за мерење одређених сила. Ову мерну ћелију типа S могуће је користити за мерење сила које настају затезањем или притискањем.



Слика 18. Дизајн колица



Слика 19. Конструкција колица

На слици 19 је приказана завршна верзија колица која су се користила за спровођење експеримената. На основи колица може се приметити положај додатног оптерећења (позиција 1 на слици 19) који се по потреби додаје односно склања у зависности од захтева експеримента. Укупно 75кг састоји се од 4 цилиндрична тега тежине по 15кг, један тег од 10кг и један тег од 5 кг. На колицима се налази и независан систем за напајање (позиција 2 на слици 19) да би се обезбедило несметано кретање колица без додатних каблова који би значајно ометали спровођење експеримента. Позиција 3 на слици 19 представља подесиву ручку, која има за циљ да се подешава на висину која одговара сваком учеснику експеримента. Сензори силе постављени су на места која одговарају позицији 4 на слици 19. Они омогућавају аквизицију података, мерење сила у хоризонталном и вертикалном смеру, и путем система за аквизицију шаље се бежичном везом на рачунар. Ови сензори су јако корисни за израчунавање ергономског положаја методом описаном у стандарду ISO 11228-2:2007.

Табела 5. Опис методологије експеримента за гурање и повлачење

Методологија експеримента	A	B	C
Радна активност	Гурање, повлачење и заокретање	Гурање и повлачење	Гурање, повлачење и заокретање без оптерећења
Опис	Радна активност која подразумева гурање, заокретање и повлачење, поново заокретање, затим понављање ових активности као што је случај у реалним пословно-производним системима.	Радна активност подразумева само гурање и повлачење на дефинисаној путањи, без заокретања.	Радна активност која подразумева гурање, заокретање и повлачење, поново заокретање, затим понављање ових активности, исто као у случају A, само без додатног оптерећења.
Додатно оптерећење	75кг	75 кг	0
Учесталост	4/мин	4/мин	4/мин
Дужина путање	8м	8м	8м

5.3 Резултати

Мерења према методи 1 из стандарда ISO 11228:2007 приказана су у табели 6.

Табела 6. Мерења према методи 1

Фактор	Мерење
Висина ручке (цм)	144
Дужина путање (м)	8
Учесталост радне активност гурања и повлачења у мин	4
Пол учесника	Мушки
Почетна сила (кг)	14

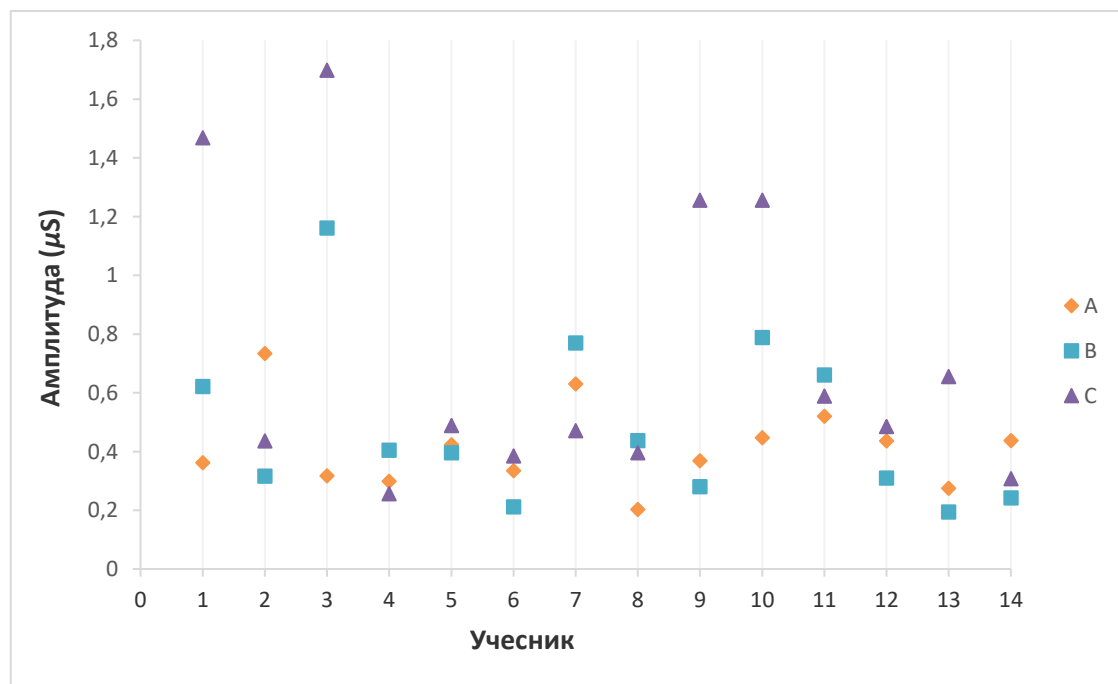
Напомена:

Дужина путање – дужина којом се пређе колицима, од почетка радне активности до заокретања колица,

Учесталост – представља један циклус који подразумева покретање колица, гурање колица у дужини од 8 метара, заокретање и повратак на почетак.

На основу ових мерења дошло се до закључка да је ризик категорисан у зеленом нивоу и ниво ризика је, као што је предвиђено стандардом, израчунат помоћу табела „А.3“ и чеклиста „А.1“.

На слици 20 приказани су резултати добијени из фазног ЕДА сигнала. Измерена је амплитуда у смислу реакције проводљивости коже и на слици су приказани резултати за сваког учесника током спровођења сва три модалитета радних активности. Ови резултати представљају средње вредности амплитуда реакције проводљивости коже за сваког учесника експеримента.



Слика 20. Средња вредност амплитуде за све учеснике током сва три модалитета радних активности

Напомена:

1, 2, 3,...,14 - учесници,

Амплитуда – амплитуда таласа електродермалне активности (измереним у микросименсима, μS),

A, B, C - модалитети радних активности, дефинисани експериментом.

Са слике 20 се може закључити да је 8 од 14 учесника имало веће емотивно узбуђење током модалитета радне активности C, два учесника је показало веће емотивно узбуђење током спровођења модалитета радне активности A и осталих 4 учесника током спровођења модалитета радне активности B. У табели 7 дати су употпуњени резултати овог експеримента.

Табела 7. Амплитуда током спровођења сва три модалитета радних активности

N=14	A	B	C	Укупно
$\sum X$	5.79	6.80	10.15	22.75
M	0.41	0.49	0.73	0.54
Стандардна девијација	0.14	0.28	0.48	0.35

Напомена:

N - број учесника,

X - амплитуда,

$\sum X$ - сума амплитуда за свих 14 испитаника,

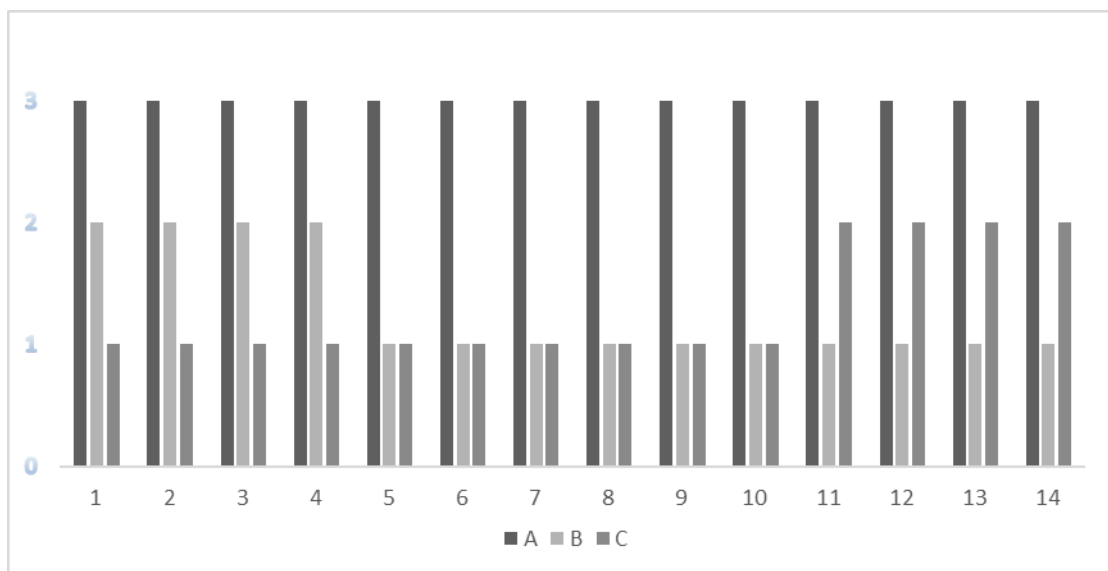
M - средња вредност амплитуда.

У табели 7 дати су резултати упитника субјективног осећаја испитаника током спровођења радних активности. Пре даље анализе, спроведена је Левенов тест (енг. *Levene's test*). Резултати овог теста, тзв. критеријум хомогености резултата за мерења реакције проводљивости коже, за сва три модалитета радних активности јесу изражени као индекс Левеновог теста $W=2.94$ (критична вредност је $W=3.22$) и одговарајућа вредност $p=0.064$. Пошто је вредност $p>0.05$, онда је критеријум хомогености резултата постигнут.

Затим, се приступа тесту Колмогоров Смирнов да би утврдило да ли су карактеристике параметара сваке групе података исте. Резултати овог теста су показали да карактеристике нису исте. За потребе поређења између група података коришћен је тест Крускал-Валис (енг. *Kruskal-Whalis test*). Тест је обухватио три групе података и исмерених амплитуда. Према резултатима, не постоји статистичка разлика између група (индекс $H=4.059$ и $p=0.131$). За даљу анализу између група, пошто p није довољно велика вредност, користиће се тест Мен-Витни. Овим тестом добиће се статистичка разлика између модалитета радних активности, која између модалитета A и C износи $p=0.025$, између B и C је $p=0.081$, док између A и B не постоји статистичке разлике.

Табела 8. Резултати упитника

Одговор	A	B	C
3	14		
2		4	10
1		10	4



Слика 21. Резултати упитника

Напомена:

1, 2, 3,...,14 - учесници,

A, B, C – модалитет радних активности.

Табела 8 и слика 21 представљају субјективно рангирање модалитета радних активности. Према резултатима упитника, учесници су модалитет радне активности „А“ сврстали у групу тешких радних активности. Шест учесника сматрало је да модалитети радних активности *B* и *C* спадају у групу лакших радних активности.

5.4 Дискусија

Први закључак из овог дела истраживања јесте доказ да иста радна активност (гурање и повлачење) уз различите начине спровођења тих активности, значајно мења психофизиолошки одговор човека на те активности. Међутим, компаративна анализа модалитета радних активности *A* и *B* и активности *C* и *B* није показала значајну разлику, што може бити резултат мањег броја учесника у експерименту. Значајна разлика је између модалитета радних активности *A* и *C*. Овакав резултат се може објаснити да укупно оптерећење колица има већи утицај од заокретања колица.

Добијени резултати подржавају претходна истраживања која се односе на емоције и проблеме у вези са радом. Кретање радника на радном месту укључује и когнитивне факторе и сходно томе приликом истраживања проблема на радном месту потребно је узети у разматрање когнитивне и физичке факторе (*Karwowski et al., 2003*). Такође, показано је да постоји веза између контроле над човековим телом и когнитивног функционисања (*Andersson et al. 2002*). Као последица тога учинак радника у било којем пословно-производном систему зависи од когнитивног стања тог радника (*Layer et al., 2009*). Ова истраживања потврђују да када је реч о кретању на радном месту односно истраживању о оптимизацији тих кретања неопходно је узети у разматрање когнитивно стање радника.

Иако постоје друге електрофизиолошке методе за одређивање когнитивног стања и да је генерално тешко утврдити психолошки значај електрофизиолошкох мерења, познато је да електродермална активност даје важан и значајан физиолошки одговор на стимуланс из спољашњег окружења (*Cacioppo & Tassinari, 1990*). Могуће објашњење је засновано на чињеници да систем који

производи електродермалну активност је под утицајем нервног система и то је разлог због чега је могуће помоћу електродермалне активности одредити емоције (емотивно стање) као активност аутономног нервног система. Емотивно узбуђење се огледа кроз психолошке промене код човека нпр. електродермална активност изазвана одређеном ситуацијом (*Dawson et al., 2000*). Позитивне и негативне емоције активирају мотивациони систем за (позитивно или негативно) реаговање и употребом одговарајућих сензора могуће је измерити активност овог система (*Lang & Brandley, 2008*).

Према литератури, бол у леђима који настаје услед активности гурања и повлачења има психосоцијални узрок (*Devereux et al., 1999*), тако да се електродермална активност сматра везом између психосоцијалних узрока и утицаја спроведених радних активности. Такође, у литератури се налазе истраживања која наводе да је ментално оптерећење у директној вези са симптомима болова у доњем делу леђа (*Theorell et al., 1991; Johansson & Rubenowitz, 1994*). Исти утицај има и стрес на радном месту (*Ferguson & Marras, 1997; Davis & Heaney, 2000; Mehrdad et al., 2010*).

Добијени резултати, у смислу емотивног узбуђења, су у потпуности у складу са истраживањима *Mandryk and Atkins (2007)* који су запазили да високе вредности електродермалне активности одговарају високом нивоу узбуђења током играња видео игре. Овај висок ниво емотивног узбуђења може да представља висок ниво постављеног изазова, разочарења и/или узбуђења помоћу шест нивоа дводимензионалне решетке (природа-ниво емоција) утицаја (енг. *2D Affect Grid*). Дводимензионална решетка утицаја даје одговор о природи емоција (да ли су позитивне или негативне) и који је ниво тих емоција (енг. *valence–arousal*). *Greco et al. (2016)* су дошли до сличног закључка у експериментима са акустичним стимулансима. У свом истраживању су извршили категоризацију природе и нивоа емоција на основу електродермалне активности.

Резултати експеримената су у складу са истраживањима *Todd-a (2012)*, у којем је показано да оптерећење колица има кључну улогу у одређивању физиолошких захтева током експеримената. Фокус истраживања, у овој докторској дисертацији, јесте на активностима гурања, повлачења и заокретања, што према неким

ауторима (*de Looze et al., 2000*) представља значајан утицај на оптерећење радника.

Упутства које су представили *Snook and Ciriello (1991)* сматрају се златним стандардом у области ергономије и веома су примењиви у индустрији. Међутим, аутори горе поменутих упутстава саветују да се упутства не примењују за све активности односно случајеве без претходног темељнијег истраживања, а све у сврху унапређења и побољшања тачности и примењивости у одређеним областима. Обзиром да је прошло више од 25 година након објављивања ових упутстава, сматра се да је истим неопходна побољшања и прилагођавања данашњим условима рада.

6.0 Предлог новог метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама

6.1 Потреба за новим моделом и приступом за унапређење безбедности и здравља на раду

Анализа обимне стручне литературе као и резултати истраживања спроведених у оквиру припреме и израде ове дисертације, указују да постоји потреба и простор да се у континуитету ради на развоју метода и модификацији приступа за унапређење безбедности и здравља на раду. Постојеће методе и приступи, који се користе у индустријској пракси, не одговарају у потпуности захтевима које намеће савремено друштво и потребама да се квалитет живота током рада унапређује до нивоа који ће обезбедити задовољног, мотивисаног, безбедног и здравог радника.

Рedefинисање приступа и развој новог метода за унапређење безбедности и здравља на раду и оптимизацију радног окружења има посебан значај при мануелним операцијама које подразумевају значајно ангажовање физичке снаге радника, односно монотоним, понављајућим мануелним радним активностима. Без обзира на трендове повећања нивоа аутоматизације и роботизације индустријских процеса, број радних места која подразумевају изражене ергономске ризике се не смањује значајније. Постоји читав низ радних места у савременој индустрији која у догледној будућности неће бити измењена у обиму који би искључивао директно учешће мануелног људског рада и која ће, као таква, и у наредном периоду представљати значајне изворе ергономских ризика. Имајући у виду број радника ангажованих на таквим радним местима, јасно је да је за подизање квалитета њиховог живота током рада, потребно у континуитету радити на развоју метода и приступа за унапређење безбедности и здравља и смањење ергономских ризика кроз правилно дефинисање радних задатака и опреме за рад, оптимизацију радног окружења, обуку радника, развој безбедних рутина и културе безбедности, унапређење ергономских стандарда, итд.

Аутор сматра да основни недостатак постојећих метода и приступа представља принцип да се радник посматра као стандардизовани објекат (мушког или женског пола), у ергономском смислу речи, а не као индивидуа. Применом таквих метода за анализу ергономских ризика и унапређење безбедности на радном месту занемарују се сви аспекти индивидуалног сензибилитета радника и његовог психофизиолошког одговора на радне активности. Сваки нови, побољшани метод морао би да укључи и индивидуалну реакцију радника и да се са стандардизованих приступа пређе на оне који су много више персонализовани и окренути сваком раднику као индивидуи.

Имајући у виду да управо ергономија радног места представља кључан и критичан фактор и везу између безбедности на раду и квалитета живота током рада, увођење персонализације и праћење реалних реакција радника у алгоритме метода унапређења безбедности представља приступ који би у будућности могао да донесе веома значајне резултате.

6.2 Ергономија као веза између безбедности и здравља на раду и квалитета живота током рада

Није лако дефинисати квалитет живота током рада, али је веома битна чињеница јер директно утиче како на благостање и задовољство радника на радном месту тако и на целокупно организационо окружење, уз индиректан утицај на читаво друштво. Квалитет живота током рада обухвата широки спектар потреба радника, у смислу благостања и задовољства на радном месту који утичу на напредовање у каријери (*Cascio, 2000; Sirgy et al., 2001*). Квалитет живота током рада се може описати кроз седам главних потреба сваког радника (*Sirgy et al., 2001*):

- a) безбедност и здравље на раду,
- b) економска стабилност и потребе своје породице,
- c) друштвене потребе,
- d) потреба за поштовањем,
- e) потреба за самоиспуњењем,

- f) потреба за знањем,
- g) потреба за (лепим) изгледом.

У свом раду, *Kalleberg* (1977) је за дефинисање квалитета живота током рада дефинисао три важна елемента: систем награђивања, вредновање рада и задовољство послом. *Howard* (1983) сматра да је квалитет живота током рада и циљ и сврха, односно циљ и континуални процес достизања тог циља. Заправо, Масловом хијерархијом потреба (енг. *Maslow hierarchy of needs*) наглашена је важност познавања потреба сваке индивидуе понаособ (*Maslow, 1943*). Хијерархија подразумева пет главних потреба и то: физиолошке потребе, потребе безбедности, потребе припадности, потребе за поштовањем и самоиспуњење. Како би се дошло до највишег нивоа (потребе самоиспуњења) неопходно је да се прво задовоље потребе у најнижем нивоу хијерархије (физиолошке потребе). У том смислу, квалитет живота током рада је тесно повезан са безбедношћу на радном месту. *Bagtasos* (2011) је навео да квалитет живота током рада обухвата карактеристике посла и да радно окружење утиче на радни век радника.

Директна веза између квалитета живота током рада и безбедности и здравља на раду је очигледна кроз истраживања током спровођења радних активности, у ширем смислу. Сматра се да физичко и друштвено радно окружење утиче на благостање радника на радном месту (*Lawler and Hall, 1970; Sheppard and Herrick, 1972; Susman, 1976; Cummings and Malloy, 1977; Simmons and Mares, 1985*). Генерално, услови на радном месту умногоме утичу (на различите начине) на перформансе радника (*Gnanayudam & Dharmasiri, 2007*). Међутим, веома је тешко обезбедити равнотежу између високог квалитета производа уз високу ефективност пословно-производних система и одличних услова за рад својих радника, уз ниске трошкове, како би били конкурентни на све захтевнијем тржишту (*Sen, 1984; Sen, 1998*). Разлике у односима у току рада утиче на ставове и понашање појединца, а самим тим и на квалитет урађеног посла (*Kalleberg, et al., 2000*). Имајући у виду данашњи технолошки ниво у пословно-производним системима у којима су велики број операција у потпуности аутоматизован, когнитивно стање радника је од великог значаја и суштински повезана са безбедношћу и здрављем на раду.

Осим тога, психолошки и друштвени фактори утичу на безбедност и здравље на раду и квалитет живота током рада, али тај утицај је двосмеран. *Eklund* (1995) је показао да неергономске радне активности значајно утичу на квалитет производа. Заједничка основа за унапређење безбедности и здравља на раду и квалитета живота током рада јесте оптимизација у области ергономије при чему је потребно обратити пажњу на људске факторе, физичку и когнитивну ергономију.

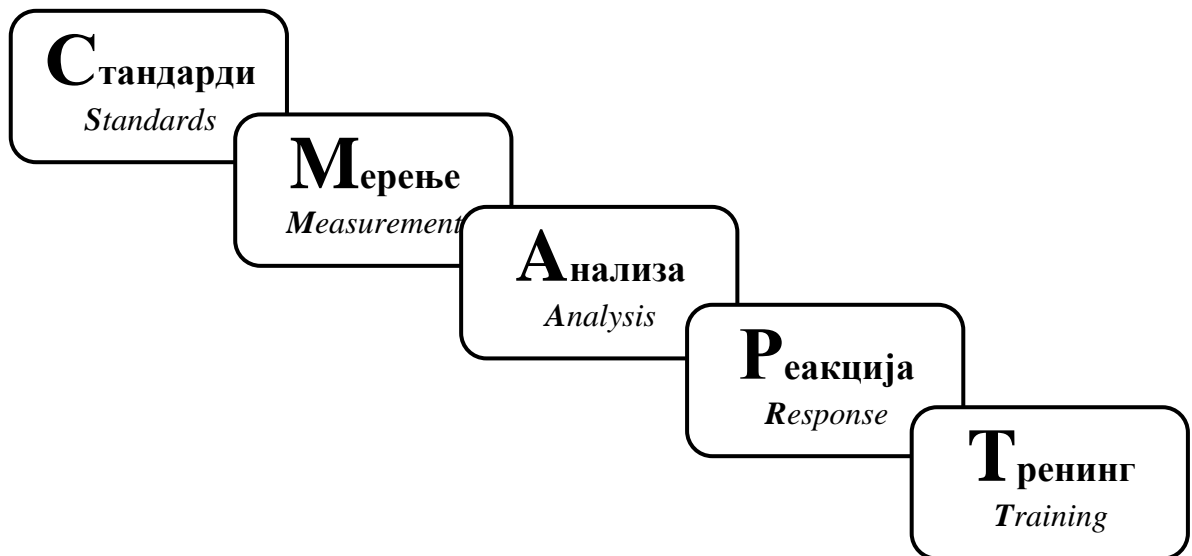
Layer et al. (2009) су показали да перформансе радника током спровођења радних активности (у производним пословно-производним системима) зависе од когнитивног стања радника и знања о квалитету живота на радном месту. Ова веза је у значајној мери повезана са карактеристикама радних активности и временом током којег радник извршава дефинисане радне активности. Међутим, често се напомиње да добри услови рада не утичу директно на висок квалитет производа и продуктивност генерално и то у ситуацијама када фактор оптерећења током рада није у потпуности и јасно дефинисан. Ипак, захтев за високо квалитетним производима заједно са лошим условима рада могло би да се сматра лошом инвестицијом.

Заправо, удруживање радних активности и могућности сваког појединачног радника може утицати на појаву замора, нелагодности и повреда (*Dempsey, 1998*). Овакав приступ може погоршати капацитет производње, у погледу квалитета и квантитета, што је кроз неколико истраживачких радова потврђено да је продуктивност директно повезана са обољењима на радном месту и у вези са радом (*De Greef & Van de Broek, 2004*).

6.3 Основна идеја и структура СМАРТ метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама

Конципирање новог метода за унапређење безбедности на раду и оптимизацију радног окружења при мануелним операцијама, базирано је на дефинисању алгоритама које је потребно реализовати при чему су све активности сврстане у 5 корака/фаза. Погодним избором термина који дефинишу кораке добијен је акроним СМАРТ који је идентичан у енглеском и српском језику, а самим својим значењем указују на приступ који доноси паметнија решења.

На слици 22. приказан је алгоритам СМАРТ метода и представља његову основну идејну шему са идентификованим корацима/фазама које је потребно спровести у циљу унапређења безбедности на раду и оптимизацију радног окружења на радним местима са мануелним операцијама.



Слика 22. Основни алгоритам СМАРТ метода

У практичној имплементацији СМАРТ метода, положај одређених корака и њихов међусобни утицај је делимично коригован у односу на основни алгоритам. Тиме се обезбеђује логичан и апликативан концепт са јасно уређеним и дефинисаним токовима кретања информација и резултата.

1) Стандарди из области ергономије свакако представљају полазну тачку у спровођењу SMART метода. Користе се општи ергономски стандарди као и специфични стандарди дефинисани за конкретне мануелне радне операције. Стандарди дефинишу начин нормирања и вредновања мануелних радних активности које се спроводе.

Стандарди представљају основу сваке постојеће методе за анализу ергономских ризика на радним местима и веома су важни за обезбеђивање униформног приступа, који се неће разликовати од компаније до компаније. И у предложеној SMART методи, дефинисање полазне основе и анализа ергономских ризика врши се у складу са препорукама одговарајућих стандарда.

2) На основу иницијалне анализе стандарда потребно је дефинисати програм мерења за конкретно радно место, што представља и други корак у спровођењу SMART метода. Веома је важно да се на посматраном радном месту прикупе, измере и процене реалне вредности кључних параметара мануелних радних активности и то како оних који су дефинисани у стандарду тако, по потреби, и додатних који проистичу из специфичних карактеристика радних места.

Кад год је могуће треба примењивати физичко мерење параметара, а процене вршити само у ситуацијама када је мерење тешко изводљиво или би подразумевало обимна и комплексна испитивања.

3) Трећи корак представља иновативни допринос SMART метода имајући у виду да није предвиђен стандардима нити је уобичајено да се спроводи у традиционалним приступима за ергономску анализу радних места. Ради се о мерењу субјективне реакције радника на мануелне радне активности. Овај корак треба спроводити паралелно са другим кораком, односно обезбедити симултано мерење параметара радних активности (маса, сила, пређени пут, број понављања, време, итд) и одабраних психо-физиолошких параметара који дају информације о субјективној реакцији радника (замор, напрезање мишића, итд.).

4) Централни корак представља анализа, за чије је спровођење потребно прикупити и систематизовати резултате мерења спроведених у претходним корацима и добијене резултате упоредити са препорукама дефинисаним у стандардима. Имајући у виду општи карактер стандарда и генерални приступ

формирању препорука које су у њима дате, реално је очекивати да ће резултати спроведене анализе често указивати да су потребне чак и значајније корекције ових препорука у циљу добијања оптималних решења за унапређење безбедности и здравља на раду на радним местима са мануелним операцијама.

Излази из корака у коме се спроводи анализа представљају истовремено и резултате спроведеног поступка у оквиру SMART метода. Осим корекције стандардизованих препорука за организацију радних активности и максимално препоручено оптерећење радника, резултате спроведене анализе треба користити и за друге активности. Пре свега, потребно је дефинисати циљане мере којима се може унапредити радно окружење односно редуковати ергономски утицаји за које је утврђено да имају повишен ризик по безбедност и здравље радника.

5) Један од посебно значајних излаза из корака у коме се спроводи анализа представљају информације, програми, опрема и методологија за спровођење циљаних обука и тренинга радника који раде на радним местима са мануелним операцијама. Због значаја ових активности и потребе да се нагласи важност адекватних, специјализованих и персонализованих тренинг програма оне су издвојене у посебан корак који истовремено представља и завршну фазу у спровођењу SMART методе.

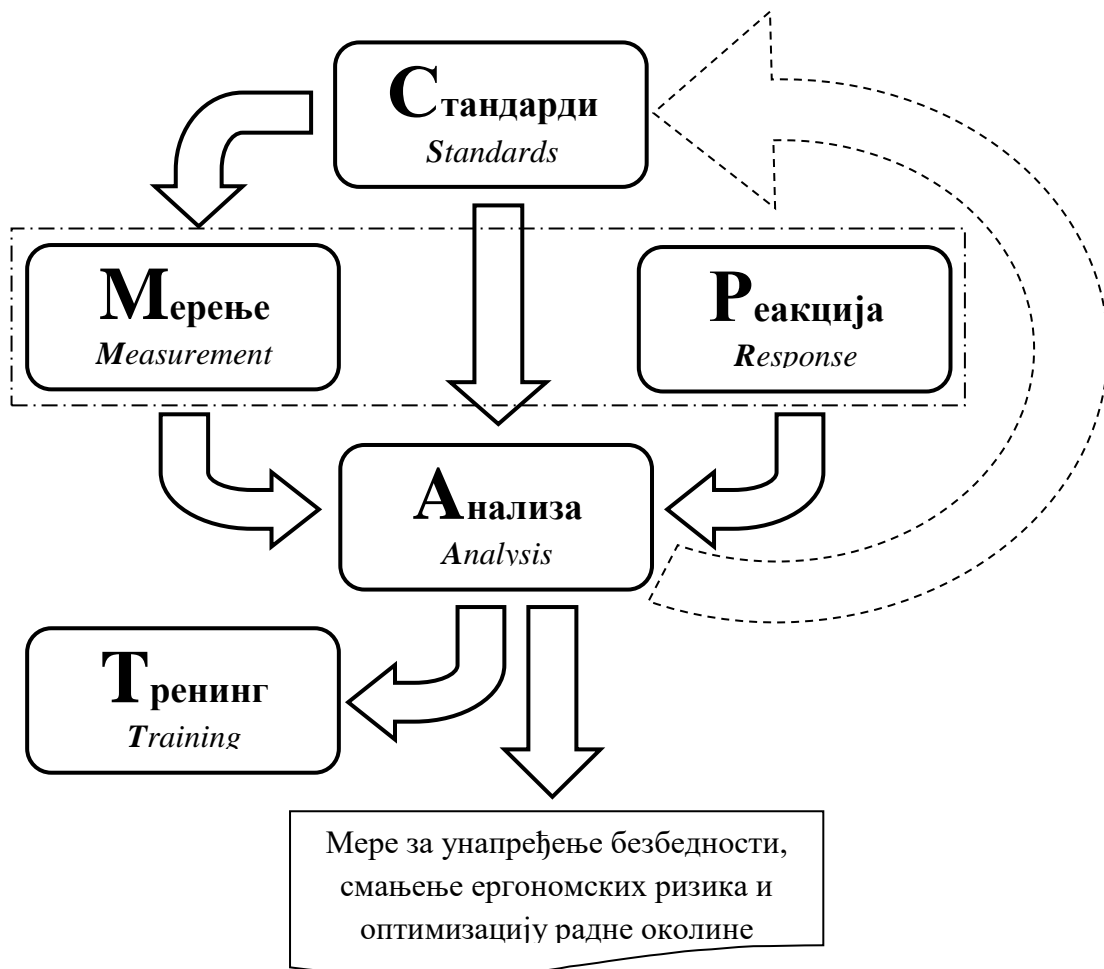
Раднике је, у овом кораку, потребно:

- информисати о специфичностима конкретних мануелних радних активности које треба да обављају на свом радном месту,
- предочити им опште и специфичне ризике по безбедност и здравље везане за мануелне операције,
- информисати о резултатима спроведених мерења параметара радних активности као и о резултатима мерења субјективних реакција њиховог организма и посебно им указати пажњу на специфичне елементе радних активности који изазивају изражену реакцију,
- тренирати раднике да препознају ране симптоме замора и негативне реакције организма (повећан напор, бол, нелагодност),

- спровести специфичан тренинг за безбедан рад и обучити их да препознају и избегавају све неергономске положаје и активности.

Овај корак подразумева ревизију, допуну и припрему одговарајуће писане документације, радних упутстава, акта о процени ризика, програма за обуке и тренинге, евиденције из области безбедности и здравља на раду, програма и обухвата циљане лекарске прегледе, итд.

Имајући све претходно наведено у виду, разрађен алгоритам СМАРТ метода приказан је на слици 23.



Слика 23. Развијени алгоритам СМАРТ метода

Врло важан елемент СМАРТ метода представља успостављање повратне спреге и коришћење резултата, добијених у појединачним спроведеним корацима, за корекције и унапређење читавог система. Посебно је битно нагласити значај и

коришћење информација из спроведене анализе за корекцију, допуну и унапређење стандарда. Ово се, пре свега, односи на корпоративне и интерне стандарде, које компанија може да мења и континуално унапређује али је, на глобалном нивоу, веома значајно да се дају и одговарајући улазни подаци за измене и допуне међународних и опште прихваћених стандарда.

Поступак анализе и испитивања ергономских ризика при мануелним операцијама гурања и повлачења описан у поглављу 5 спроведен је у складу са алгоритмом SMART метода.

Модел лабораторијских колица конструисан је према захтевима одговарајућих стандарда. Ручка за гурање и повлачење колица има подешљиву висину, у стандардом дефинисаним границама, како би се могао анализирати утицај њеног положаја и пронаћи оптималан положај у односу на антропометријске карактеристике сваког радника.

Колица имају напредне системе за прецизно мерење основних параметара процеса гурања и повлачења у реалном времену. Применом напредних система за бежичну аквизицију података омогућено је да се мерење изводи у условима који у потпуности одговарају индустријским.

Рукохвати колица су прилагођени за постављање мерних сензора за испитивање електродермалне активности коже које се може вршити у току радних активности, самостално или у комбинацији са другим системима за електрофизиолошка мерења.

Подаци добијени у лабораторијским испитивањима колица пружају низ могућности за озбиљну анализу ергономских ризика на радним местима са мануелним операцијама гурања и повлачења и дефинисање одговарајућих мера.

Коначно, модел колица се може користити за обуку радника за правилно извођење операција гурања и повлачења. Цео систем омогућава да се у реалном времену утврди индивидуални одговор радника на операције које врши као и да се изврши корекција његовог положаја, сила, напрезања, метода рада итд.

7.0 Закључци

Квалитет рада је представљао главни фокус истраживача и доносиоца одлука дужи временски период. Скорашња истраживања су у обзир узимала благостање радника на радном месту, специјално здравље на радном месту, које је од пресудног значаја за дефинисање квалитета рада (*Warhurst & Knox, 2013*). Многи сматрају да не постоји веза између безбедности и здравља на раду и продуктивности, односно да посматрају се као два потпуно различита и независна појма. Међутим, одређени број истраживања је доказао директну везу између безбедности и здравља на раду у продуктивности (*De Greef & Van de Broek, 2004*). Ова чињеница уз нов приступ квалитета живота доводи до закључка да је унапређење безбедности и здравља на раду широко прихваћено и веома значајно. Свакако да ергономија припада овој широкој области безбедности и здравља на раду. Неколико стручњака у области ергономије је доказало важност и корисност ергономије али и негативне ефекте кроз примере лоше примене принципа ергономије: притисак у смислу временског ограничења за спровођење радних активности, лош положај тела током спровођења радних активности, већи број грешака у квалитету у току недеље (*Lin et al., 2001*). *Baraldi and Paulo (2011)* у свом истраживању су анализирали и упоредили две монтажне траке у аутомобилској индустрији. Прва је била нова монтажна линија са високим нивоом примењених ергономских принципа, док је друга била више традиционална монтажна линија са лошом организацијом радних активности и ергономски неприхватљивим решењима. На првој, новијој монтажној линији је забележено 30% мање грешака у квалитету у поређењу са другом, традиционалном монтажном линијом. *Lin et al. (2001)* су представили резултате две монтажне линије (монтажа фотоапарата) у којима су експлицитно нагласили раст грешака у квалитету током недеље због лоших физичких и организационалних ергономских фактора.

Главни проблем у овој области јесте поновно дефинисање појма безбедности и здравља на раду и његово циљано побољшање. У овој докторској дисертацији, кроз преглед литературе и различитих примера обуке у области безбедности и

здравља на раду и ручне манипулације, доказано је да когнитивна компонента увек постоји и да не би требало да се занемари. Постојећи индустријски стандарди и извештаји засновани на принципу самовалуације тренутно представљају златни стандард за превенцију ризика на радном месту. Међутим, електрофизиологија омогућава унапређење односно допуњавање ових метода увођењем одговарајућих мерења емотивног и когнитивног стања радника. Потребно је нагласити, да без обзира на велики број аутоматизованих процеса у пословно-производним системима, постојање радника са својим физичким и когнитивним стањем није могуће у потпуности елиминисати. То нам само доказује да је неопходно пронаћи одговарајуће објективне методе да се са великом тачношћу одреди нелагодност радника на радном месту.

Суштина бављења ергономијом односно унапређењем радног места по принципима ергономије јесте узети у обзир све раднике који обављају исте радне активности, а не само просечне и непотпуне податке (*Molenbroek and De Bruin, 2005*). То би подразумевало прилагођавање радног места већем броју радника различитих способности, ограничења и личних тежњи. Ово подразумева да је процени ризика за радне активности и унапређењу у области ергономије потребно приступити са два гледишта, физичког и когнитивног, као и да се сваки проблем посматра као индивидуални случај. У овој докторској дисертацији коришћене су стандардне и широко прихваћене методе за унапређење ергономије, заједно са новим приступом. Преглед литературе је показао да когнитивно стање радника никако не би смео да се занемари, чак и кад је фокус на физичкој ергономији приликом планирања унапређења ергономије радног места везаних за мишићно-коштана обољења. Експерименти спроведени у овој докторској дисертацији односе се на физички, когнитивни и индивидуални приступ током обуке и спровођења понављајућих радних активности.

Резултати су показали да је неопходно значајно боље познавање когнитивног стања радника. На основу спроведених експеримената у четвртном и петом поглављу дошло се до закључка да је употреба електрофизиолошких мерења више него користан приступ. Генерални закључак, на основу поређења класичних

ергономских метода и новог електрофизиолошког приступа, јесте да је класична, физичка ергономија недовољна за постизање значајно бољих резултата.

Будући правци истраживања се односе на индивидуални приступ и манипулацију великог скупа електрофизиолошких података. Сматра се да би већи број спроведених електрофизиолошких мерења у значајној мери омогућило лакше дефинисање различите нивое нелагодности радника током спровођења радних активности.

Додатни предлог односно закључак истраживања у овој докторској дисертацији представља предлог СМАРТ метода, за унапређење безбедности на радним местима са израженим ергономским ризицима, који укључује и употребу електрофизиолошких мерења у циљу утврђивања индивидуалне реакције радника на ергономске карактеристике радног места. До сада коришћени ергономски стандарди и методи анализе ергономских ризика, садрже само квантитативну карактеристику човековог тела као што су висина, тежина, године, пол и сл., да би се одредио да ли је радник прикладан за спровођење одређених радних активности. Новопредложени метод СМАРТ подразумева увођење додатног корака у коме се мере реакције радника односно одабрани психофизиолошки и електрофизиолошки параметри, на основу којих би се извршила оптимизација положаја током спровођења радних активности и унапређење радног места и оптимизација радног окружења у ширем смислу.

Литература

1. ABET Accreditation Board for Engineering and Technology. (2011). Criteria for accrediting engineering programs. Effective for Reviews During the 2012–2013 Accreditation Cycle, ABET Baltimore.
2. Aghina, M.A.C., Mól, A.C.A, Jorge, C.A.F. Freitas, V.G.G., Pereira, C.M.N.A., Lapa, C.M.F., Nomiya, D.V., Santo, A.C.E., Landau, L., Cunha, G.G. (2012). Non-conventional interfaces for human-system interaction in nuclear plants' virtual simulations. *Progress in Nuclear Energy*, 59, 33–43.
3. Al-Eisawi, K.W., Kerk, C.J., Congleton, J.J., Amendola, A.A. Jenkins, O.J, Gaines, W.G. (1999). The effect of handle height and cart load on the initial hand forces in cart pushing and pulling. *Ergonomics*, 42(8), 1099–1113.
4. Alexander, D.M, Trengove, C., Johnston, P., Cooper, T., August, J. P, Gordon, E. (2005). Separating individual skin conductance response in a short interstimulus-interval paradigm. *J. Neurosci. Methods*, 146, 116–123.
5. Alvarez, J., Djaouti, D. (2011) Introduction to Serious Game. Proceedings of the Serious Games & Simulation for Risks Management Workshop, Paris, France, 11–15.
6. Almgren, J., & Schaurig, C. (2012). The influence of production ergonomics on product quality (Unpublished master's thesis). Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
7. Andersson, G., Hagman, J., Talianzadeh, R., Svedberg, A., Larsen, H.C. (2002). Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin*, 58(1), 135–139.
8. Andreassi, J.L. (1989). *Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Hillsdale, New Jersey, pp. 217-221.
9. Andreassi, J.L. (2007). *Psychophysiology. Human Behavior and Physiological Response*. (5th edition). Mahwah (NJ): Erlbaum (LEA), (Chapter 11).

10. Antoniou, P.E., Athanasopoulou, C. A., Dafli, E., Bamidis, P.D. (2014) Exploring design requirements for repurposing dental virtual patients from the web to second life: a focus group study. *Journal of medical Internet research*, 16(6).
11. Arezes, A.M., Swuste P. (2012). Occupational health and safety post-graduation courses in Europe: A general overview. *Safety Science*, 50, 433–442.
12. Argubi-Wollesen, A., Wollesen, B., Leitner, M., Mattes, K. (2016). Human body mechanics of pushing and pulling: analysing the factors of task-related strain on the musculoskeletal system. *Safety and Health at Work xxx (2016)* 1–8.
13. Aubry, K. (2006). Mise à l’essai en situation réelle de différentes méthodes d’évaluation de l’exposition aux facteurs de risque de troubles musculo-squelettiques. M.Sc.A. École Polytechnique de Montréal, Québec, Canada.
14. Axelsson, J. (2000). Quality and ergonomics-towards successful integration (Unpublished doctoral dissertation). Linkoping University, Linkoping, Sweden.
15. Bach, D.R, Flandin, G., Friston, K.J., Dolan, R.J. (2010b). Modelling event-related skin conductance responses. *International Journal of Psychophysiology*, 75, 349–356.
16. Bach, D.R., Daunizeau, J., Kuelzow, N., Friston, K.J., Dolan, R.J. (2010c). Dynamic causal modeling of spontaneous fluctuations in skin conductance. *Psychophysiology*, DOI 10.1111/j.1469–8986.2010.01052.x.
17. Bach, D.R., Flandin, G., Friston, K.J., Dolan, R.J. (2009). Time-series analysis for rapid event-related skin conductance responses. *Journal of Neuroscience Methods*, 184, 224–34.
18. Bach, D.R., Friston, K.J., Dolan, R.J. (2010a). Analytic measures for quantification of arousal from spontaneous skin conductance fluctuations. *International Journal of Psychophysiology*, 76, 52–55.
19. Backlund P, Engström H, Hammar C, Johannesson M, Lebram M., Sjörs E. (2009). SIDH: A Game Based Architecture for a Training Simulator. 2009; *International Journal of Computer games technology*.
20. Badley, E.M., Rasooly, I., Webster, G.K. (1994). Relative importance of musculoskeletal disorders as a cause of chronic health problems, disability, and

- health care utilization: findings from the 1990 Ontario Health Survey. *Journal of Rheumatology* 21(3), 505–514.
21. Bagtasos, R.M. (2011). Quality of Work Life: A Review of Literature. *Business and Economic Review*, 1–8.
 22. Balaban, M.T., Dell Rhodes, L., Neuringer, A. (1990). Orienting and defence responses to punishment: effects on learning. *Biological Psychology*, 30, 203–217.
 23. Baldauf, D., Burgard, E., Wittmann, M. (2009). Time perception as a workload measure in simulated car driving. *Applied Ergonomics*, 40, 929–935.
 24. Baraldi, E. C., Paulo, C. (2011). Ergonomic planned supply in an automotive assembly line. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 21(1), 104–119.
 25. Barot, C.J., Burkhardt, M., Lourdeaux, D., Lenne, D. (2011). V3S, a virtual environment for risk management training. Joint Virtual Reality Conference of EuroVR – EGVE (2011)
 26. Barry, R.J., Clarke, A.R., McCarthy, R., Selikowitz, M., Rushby, J.A. (2005). Arousal and activation in a continuous performance task. *Journal of psychophysiology*, 19(2), 91–99.
 27. Bennett, A.I., Desai, S.D., Todd, A.I., Freeland, H. (2008). The effects of load and gradient on hand force responses during dynamic pushing and pulling tasks. *Ergonomics SA*, 20(1), 3–15.
 28. Bernard, B.P. (1997). A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services.
 29. Boenzi, F., Digiesi, S., Mossa, G., Mummolo, G., Romano, V.A. (2013). Optimal Break and Job Rotation Schedules of High Repetitive – Low Load Manual Tasks in Assembly Lines: an OCRA – Based Approach, 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control International Federation of Automatic Control June 19–21, 2013. Saint Petersburg, Russia.
 30. Bouscein, W. (2012). Electrodermal activity. (2nd ed.). London: Springer New York.

31. Bouscein, W., Thum, M. (1997). Design or work/rest schedules for computer work based on psychophysiological recovery measures. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 51–57.
32. Brahm, F. & Singer, M. (2013). Is more engaging safety training always better in reducing accidents? Evidence of self–selection from Chilean panel data. *Journal of Safety Research*, 47, 85–92.
33. Braithwaite, J.J., Watson, D.G., Jones, R., Rowe, M. (2013). A Guide for Analysing Electrodermal Activity (EDA) & Skin Conductance Responses (SCRs) for Psychological Experiments. Technical Report: Selective Attention & Awareness Laboratory (SAAL) Behavioural Brain Sciences Centre, University of Birmingham, UK.
34. Brankovic, S. (2008). System Identification of Skin Conductance Response in Depression– an Attempt to Probe the Neurochemistry of Limbic System. *Psychiatria Danubina*, 20, 255–458.
35. Branković, S. (2011). Interlinked positive and negative feedback loops design emotional sweating. *Psychiatria Danubina*, 23(1), 10–20.
36. Branković, S. (2012). Assessment of Brain Monoaminergic Signaling Through Mathematical Modeling of Skin Conductance Response. In Contrerars, C. M. (Eds.), *Neuroscience – Dealing with Frontiers* (pp.83–108). Rijeka Croatia: Publisher InTech.
37. Bryan, L.A.Jr. (1999), Educating Engineers on Safety. *Journal of Management In Engineering*, 15, 30–33.
38. Buckle, P.W., Devereux, J.J. (2002). The nature of work–related neck and upper limb musculoskeletal disorders. *Applied Ergonomics* 33(3), 207–217.
39. Buettner, R., Sauer, S., Maier, C., Eckhardt, A. (2015). Towards ex ante Prediction of User Performance: A novel NeuroIS Methodology based on Real–Time Measurement of Mental Effort. Proceedings of the 48th Hawaii International Conference on System Sciences.
40. Buffalary, D.M., Grace A.A. (2007). Noradrenergic modulation of basolateral amygdala neuronal activity: opposing influences of α -2 and β receptor activation. (2007). *Journal of Neuroscience*, 27, No. 45, 12358-12366.

41. Bültmann, U., Vries, M., Beurskens, A.J.H.M., Bleijenberg, G., Vercoulen, J.H.M.M., Kant, I. (2000). Measurement of prolonged fatigues in the working population: determination of a cutoff point for the checklist individual strength. *Journal of Occupational Health Psychology*, 5(4), 411–416
42. Bundele, M.M, & Banerjee, R. (2009). Detection of fatigue of vehicular driver using skin conductance and oximetry pulse: A neural network approach. Proceeding of the iiWAS December 2009 Kuala Lumpur, Malaysia, 725–730.
43. Burke, J., Sarpy, S.A., Smith–Crowe, K., Chan–Serafin, S., Salvador, R., Islam, G. (2006) Relative effectiveness of worker safety and health training methods. *American Journal of Public Health*, 96 (2), 315–324.
44. Cacioppo, J.T., Tassinary, L.G. (1990). Inferring Psychological Significance From Physiological Signals. *American Psychologist*, 45(1), 16–28.
45. Cascio, W.F. (2000). Costing human resources: The financial impact of behavior in organizations (4th ed.). Cincinnati, OH: South–Western.
46. Chaffin, D.B., Andres, R.O, Garg, A. (1983) Volitional postures during maximal push/pull exertions in the sagittal plane. *Human Factors*, 25(5), 541-550.
47. Chittarro L, Battussi F. (2015). Assessing knowledge retention of an immersive serious game vs. a traditional education method in aviation safety. *Visualization and computer graphics IEEE transactions*, 21(4), 529–538.
48. Chow, A.Y., and Dickerson, C.R. (2016). Determinants and magnitudes of manual force strengths and joint moments during two–handed standing maximal horizontal pushing and pulling. *Ergonomics*, 59(4), 534–544.
49. Collet, C., Salvia, E., Petit–Boulangier, C. (2014). Measuring workload with electrodermal activity during common braking actions. *Ergonomics*, 57(6), 886–896.
50. Collins, A.B. (2002). Gateway to the real world, industrial training: dilemmas and problems. *Tourism Management*, 23, 93–96.
51. Colombini, D., Grieco, A., Occhipinti, E. (1998). Occupational musculo–skeletal disorders of the upper limbs due to mechanical overload. *Ergonomics*, 41(9) (Special Issue)

52. Colombini, D., Occhipinti, E. (2006). Preventing upper limb work related musculoskeletal disorders (UL–WMSDs): new approaches in job (re)design and current trends in standardization. *Applied Ergonomics*, 37(4), 441–450.
53. Colombini, D., Occhipinti, E., Álvarez–Casado, E. (2013). The revised OCRA Checklist method, updated version. Barcelona, Spain: Editorial Humans Factors, 1st ed.
54. Cordes, C.L., Dougherty, T.W. (1993). A review and an integration of research on job burnout. *The Academy of Management Review*, 18(4), 621–656.
55. Cowan, N. 1995. Attention and memory: An integrated framework. New York: Oxford University Press.
56. Cuelho, D.A., Nunes, I.L. (2012). Ergonomic design and evaluation of surveillance systems, in *Effective Surveillance for Homeland Security: Balancing Technology and Social Issues* Published: November 15, 2012 by Chapman and Hall/CRC, Editor(s): Francesco Flammini; Roberto Setola; Giorgio Franceschetti ISBN 9781439883242
57. Culvenor, J., Else, D. (1997). Finding occupational injury solutions: the impact of training in creative thinking. *Safety Science*, 25 (1–3), 187–205.
58. Cummings, T.G., Malloy E.S. (1977). *Improving Productivity and the Quality of Work Life*. New York: Praeger.
59. Dagenais, S, Caro, J., Haldeman, S. (2008) A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *The Spine journal*, 8(1), 8–20.
60. Daltroy, L.H., Iverson, M.D., Larson, M.G., Lew R, Wright, E., Ryan, J., Zwerling, C., Fossel, A.H., Liang, M.H. (1997). A controlled trial of an educational program to prevent low back injuries. *N Engl J Med.*, 337(5), 322–330.
61. Davis, K.G., Heaney, C.A. (2000). The relationship between psychosocial work characteristics and low back pain: underlying methodological issues. *Clin. Biomech.*, 15, 389–406.
62. Dawson, M.E., Seheil, A.M., Fillion, D.L. (2000). The electrodermal system. In J. T. Cacioppo & L. G. Tassinary (Eds.), *Handbook of psychophysiology*. 2nd ed. Cambridge University Press. pp. 200–23.

63. De Greef, M., den Broek, K.V. (2004). Quality of the working environment and productivity. Research findings and case studies. *European Agency for Safety and Health at Work*. Belgium. (pg. 26).
64. De Groot, S., De Winter, J.C.F., García, J.M.L., Mulder, M., Wieringa, P.A. (2011). The effect of concurrent bandwidth feedback on learning the lane-keeping task in a driving simulator. *Human Factors*, 53(1), 50–62.
65. De Looze, M.P., Van Greuningen, K., Rebel, J., Kingma, I., Kuijer, P. P. F. M. (2000). Force direction and physical load in dynamic pushing and pulling. *Ergonomics*, 43(3), 377–390.
66. De Looze, M. P., Vink, P., Koningsveld, E. A. P., Kuijt-Evers, L., & VanRhijn, G. (2010). Cost-effectiveness of ergonomic interventions in production. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 20(4), 316–323.
67. De Waard, D. (1996). The measurement of drivers' mental workload, Ph.D. thesis, University of Groningen.
68. De Waard, D., Lewis Evans, B. (2014). Self-report scales alone cannot capture mental workload: A reply to De Winter, Controversy in human factors constructs and the explosive use of the NASA TLX: A measurement perspective. *Cognition technology & work*, 16(3), 303–305.
69. Dember, W.N., Warm, J.S. (1979). *Psychology of Perception*. (2nd edition). New York: Holt, Rinehart and Winston. Library of Congress Cataloguing in Publication Data.
70. Dementienko, V.V., Dorokhov, V.B., Koreneva, L.G., Markov, A.G., Tarasov, A.V., Shakhnarovich, V.M. (2000). The hypothesis of the nature of electrodermal reactions. *Human Physiology*, 26, 232–241.
71. Demirkesen, S., Arditi, D. (2015). Construction safety personnel's perceptions of safety training practices, *International Journal of Project Management*, accepted 12 January 2015.
72. Dempsey P.A. (1998). Critical review of biomechanical, epidemiological, physiological and psychophysical criteria for designing manual materials handling tasks. *Ergonomics*, 41(1), 73–88.

73. Devereux, J.J., Buckle, P.W., Vlachonikolis, I.G. (1999). Interactions between physical and psychosocial risk factors at work increase the risk of back disorders: an epidemiological approach. *Occup Environ Med*, 56, 343–353.
74. Deyo, R.A., Mirza, S.K., Martin, B.I. (2006). Back pain prevalence and visit rates: estimates from U.S. national surveys, 2002. *Spine*, 31(23), 2724–2727.
75. Deyo, R.A., Weinstein, J.N. (2001) Low Back Pain, *The New England Journal of Medicine*, 344, 363–370.
76. Dickinson, J.K., Woodard, P., Canas, R., Ahamed, S., Lockston, D. (2011) Gamebased trench safety education: development and lessons learned. *Journal of Information Technology in Construction*, (16), 118–132.
77. ECEC European Council of Engineers Chambers, (2010), www.ecec.net/, Accessed 26 June 2013.
78. Eggemeier, T.F. (1988). Properties of workload assessment techniques. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload* (pp. 41–62). Amsterdam: Elsevier.
79. Ehrlich, G.E. (2003) Back Pain. *The Journal of Rheumatology*, 67, 26–31.
80. Eklund, J.A.E. (1995). Relationships between ergonomics and quality in assembly work. *Applied Ergonomics*, 26, 15–20.
81. Erdinc, O., & Vayvay, O. (2008). Ergonomics interventions improve quality in manufacturing: A case study. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 3(6), 727–745.
82. Falck, A.-C., Örtengren, R., Hogberg, D. (2010). The impact of poor assembly ergonomics on product quality: A cost-benefit analysis in car manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 20(1), 24–41.
83. Falck, A.C., Örtengren, R., & Rosenqvist, M. (2014). Assembly failures and action cost in relation to complexity level and assembly ergonomics in manual assembly (Part 2). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(3), 455–459.
84. Falck, A.-C., Rosenqvist, M. (2012). What are the obstacles and needs of proactive ergonomics measures at early product development stages? An interview study in

- five Swedish companies. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(5), 406–415.
85. Falck, A.-C., & Rosenqvist, M. (2014). A model for calculation of the costs of poor assembly ergonomics (Part 1). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44(1), 140–147.
86. Féré, C. (1888). Note sur des modifications de la résistance électrique sous l'influence des excitations sensorielles et des emotions. *Comptes Rendus des Seances de la Societe de Biologie (Ser. 9), Vol. 5*, pp. 217-219.
87. Ferguson S.A., Marras W.S. (1997). A literature review of low back disorder surveillance measures and risk factors. *Clin. Biomech.* 12, 211–226.
88. Fournier, P.S., Montreuil, S., Brun, J.P., Bilodeau, C., Villa, J. (2011). Exploratory Study to Identify Workload Factors that Have an Impact on Health and Safety. A Case Study in the Service Sector. *Studies and Research Projects, REPORT R-701*.
89. Frankmann, J.P., Adams, J.A. (1962). Theories of vigilance. *Psychological Bulletin*, 59, 257–272.
90. Fritzsche, L., Wegge, J., Schmauder, M., Kliegel, M., Schmidt, K.-H. (2014). Good ergonomics and team diversity reduce absenteeism and errors in car manufacturing. *Ergonomics*, 57(2), 148–61.
91. Furedy, J.J., Ginsberg, S. (1975). Test of an orienting–reaction–recovery account of short–interval autonomic conditioning. *Biological Psychology*, 3, 121–129.
92. Gallie, D. (2003). The quality of working life: is Scandinavia different? *European Sociological Review*, 19, 61–79.
93. Gallie, D. (2007). Production Regimes, Employment Regimes, and the Quality of Work. In D. Gallie *Employment Regimes and the Quality of Work*. Oxford, Oxford University.
94. Garcin, M., Cravic, J.Y., Vandewalle, H., Monod, H. (1996). Physiological strains while pushing or hauling. *Eur J Appl Physiol*, 72, 478–482.
95. Garg, A., & Moore, J. S. (1992). *Ergonomics*. Philadelphia, PA: Hanley & Belfus Incorporated.

96. Gatchel, R.J., Polatin, P.B., Mayer, T.G. (1995). The dominant role of psychosocial risk factors in the development of chronic low-back pain disability. *Spine*, 20, 2702–2709.
97. Gevins, A., & Smith, M.E. (2003). Neurophysiological measures of cognitive workload during human–machine interaction. *Theoretical issues in ergonomics science*, 4(1–2), 113–131.
98. Gnanayudam, J., & Dharmasiri, A. (2007). The Influence of Quality of Work–life on Organizational Commitment: A Study of the Apparel Industry. *Sri Lankan Journal of Management*, 12 (3 & 4).
99. Goldstein, I. (1993). Training in organizations: Needs assessment, development, and evaluation (3rd ed.). Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
100. González, B.A., Adenso-Díaz, B., González Torre, P. (2003). Ergonomic performance and quality relationship: An empirical evidence case. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31(1), 33–40.
101. Gopher D, Well M, Bareket T. (1994). Transfer of Skill from a Computer Game Trainer to Flight. *Human Factors*, 36(3), 3870–405
102. Gray, J., Cass, J., Harper, D.W., O’Hara, P.A. (1996). A controlled evaluation of a lifts and transfer educational program for nurses. *Geriatr Nurs.*, 17(2), 81–86.
103. Greco, A., Valenza, G., Citi, L., Scilingo, E. P. (2016). Arousal and Valence Recognition of Affective Sounds based on Electrodermal Activity. *IEEE Sensors Journal* (Volume: PP, Issue: 99) DOI: 10.1109/JSEN.2016.2623677
104. Grieco, A., Molteni, G., De Vito, G., Sias, N. (1998). Epidemiology of musculoskeletal disorders due to biomechanical overload. *Ergonomics*, 41(9), 1253–1260.
105. Grier, R.A., Warm, J.S., Dember, W.N., Matthews, G., Galinsky, T.L., Szalma, J.L. (2003). The vigilance decrement reflects limitations in effortful attention, not mindlessness. *Human Factors*, 45, 349–359.
106. Haferkamp N, Kraemer NC, Linehan C, Schembri M. (2011). Training disaster communication by means of serious games in virtual environments. *Entertainment Computing*, 2, 81–88.

- 107.Hamrol, A., Kowalik, D., & Kujawin' sk, A. (2011). Impact of selected work condition factors on quality of manual assembly process. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 21(2), 156–163.
- 108.Hendrick, H. W. (2003). Determining the cost–benefits of ergonomics projects and factors that lead to their success. *Applied Ergonomics*, 34(5), 419–427.
- 109.Hanson L., Sperling L., Gard G., Ipsen S., Vergara C.O. (2009). Swedish anthropometrics for product and workplace design. *Applied Ergonomics*, 40, 797–806.
- 110.Harkness, E.F., Silman, A.J., Macfarlane, G.J. and McBeth, J. (2003) Mechanical injury and psychosocial factors in the work–place predict the onset of widespread body pain: a 2–year prospective study amongst cohorts of newly employed workers. *Arthritis and rheumatism*, 50(5), 1655–64.
- 111.Hart, S.G. (2006). NASA–Task Load Index (NASA–TLX); 20 years later. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting* (pp. 904–908). Santa Monica, CA: Human Factors & Ergonomics Society.
- 112.Hart, S.G., Battiste, V., Chesney. M.A., Ward, M.M., McElroy, M. (1986). Comparison of workload, performance and cardiovascular measures. Type A personalities vs. Type B. Working Paper Moffett Field, CA NASA Ames Research Centre.
- 113.Hart, S.G., Sellers, J.J., Guthart, G. (1984). The impact of response selection and response execution difficulty on the subjective experience of workload. *Proceedings of the 28th Annual Meeting of the Human Factors Society*. (pp. 732–736) Santa Monica CA: Human Factors Society.
- 114.Hart, S.G., Staveland, L.E. (1988). Development of NASA–TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press.
- 115.Hashim, N., Kamat, S.R., Halim, I., Othman, M.S. (2014). A study on push–pull analysis associated with awkward posture among workers in aerospace industry. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(1), 233–239.
- 116.Hassam, S.F., Mahamad, K.A.K. (2012). A study of occupational safety hazards: Safety and health issues in automotive industry. Paper presented at the Statistics in

- Science, Business, and Engineering (ICSSBE), 2012 International Conference on, Langkawi.
- 117.Higashi, T., Inui S. (2006), Future challenges of occupational health services (OHS) in a changing working world. *International Congress Series*, 1294, 31–34.
- 118.Hoogendorn, W.E., van Poppel, M.N., Bongers, P.M., Koes, B.W., Bouter, L.M. (2000). Systematic review of psychosocial factors at work and private life as risk factors for back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 15, 25(16), 2114-2125.
- 119.Hoozemans, M.J.M., Van der Beek A.J., Frings–Dresen M.H.W., Van der Woude, L.H.V., Van Dijk, F.J.H. (2002). Low–back and shoulder complaints among workers with pushing and pulling tasks. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 28(5), 293–303.
- 120.Hoozemans, M.J.M., van der Beek, A.J., Frings–Dresen, M.H.W., van der Woude, L.H.V., van Dijk F.J.H. (2002). Low–back and shoulder complaints among workers with pushing and pulling tasks., *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 28(5), 293–303.
- 121.Hoozemans, M.J.M., Van Der Beek, A.J., Frings–Dresen, M.H.W., Van Dijk, F.J.H., Van Der Woude, L.H.V. (1998). Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders: a review of risk factors. *Ergonomics*, 41, 757–781.
- 122.Hoozemans, M.J.M., Van der Beek, A.J., Frings–Dresen, M.H.W., van Dijk, F.J.H., van der Woode, L.H.V. (1998). Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders: a review of risk factors. *Ergonomics*, 41, 757–81.
- 123.Houkes, I., Janssen, P.P.M., De Jonge, J., Bakker, A.B. (2003). Specific determinants of intrinsic work motivation, emotional exhaustion and turnover intention: A multisample longitudinal study. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 76, 427–450.
- 124.Howard, C.C. (1983). A Model of Quality of Work Life as a Developmental Process. *Education + Training*, 25(1), 27–32.
- 125.Hoy, D., Brooks, P., Blythc, F., Buchbinder, R., (2010) The Epidemiology of low back pain. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 24, 769-781.
- 126.Imada, A.S. (1990). Ergonomics influencing management behaviour. *Ergonomics*, 33, 621–629.

127. International Engineer Alliance, (2009),
www.ieagrements.org/Washington–Accord/, Accessed 13 May 2013.
128. IEA, International Ergonomics Association, <http://www.iea.cc/>, Accessed 15 June 2015.
129. International Organization for Standardization (ISO) Ergonomics -Manual handling- Part 2: Pushing and pulling. ISO; 2007. Standard No. 11228-2:2007
130. International Organization for Standardization (ISO) Ergonomics -Manual handling- Part 3: Handling of low loads at high frequency. ISO; 2007. Standard No. 11228-3:2007
131. Jensen, N. (2011). Universities teaching process and plant safety– the European map, ECCE 8th special session on process and plant safety, DECHEMA, Berlin, pp. 31–34.
132. Johansson, J.A., Rubenwitz, S. (1994). Risk indicators in the psychosocial and physical work environment for work–related neck, shoulder and low back symptoms: a study among blue– and white–collar workers in eight companies. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 26(3), 131–142.
133. Johnstone, R., Quinlan M., McNamara M. (2011), OHS inspectors and psychosocial risk factors: Evidence from Australia. *Safety Science*, 49, 547–557.
134. Jürgen, S. (2013). Process and Plant Safety – Research & Education Strategy to Keep Long Term Competences. *Chemical engineering transaction*, 31, 421–426.
135. Just, M., Carpenter, P.A., Miyake, A. (2003). Neuroindices of cognitive workload: Neuroimaging, pupillometric, and event–related potential studies of brain work. *Theoretical issues in ergonomics Science*, 4(1–2), 56–88.
136. Kahneman, D. (1973). Attention and Effort. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice–Hall, Inc.
137. Kajiwara, S. (2014). Evaluation of driver’s mental workload by facial temperature and electrodermal activity under simulated driving conditions. *International Journal of Automotive Technology*, 15(1), 65–70.
138. Kalleberg, A.L. (1977). Work values and job rewards – Theory of job satisfaction. *American Sociological Review*, 42(1), 124 – 143.

139. Kalleberg, A.L., Reskin, B.F., & Hudson, K. (2000). Bad jobs in America: Standard and nonstandard employment relations and job quality in the United States. *American Sociological Review*, 65(2), 256–278.
140. Kao, S.Y. (2003). Carpal tunnel syndrome as an occupational disease. *J Am Board Fam Pract.*, 16(6), 533–42.
141. Karwowski, W., Siemionow, W., Gielo-Perczak, K. (2003). Physical neuroergonomics: the human brain in control of physical work activities, *Theor. Issues in Ergon. Sci.*, 4(1–2), 175–199.
142. Katzourakis, D.I., Abbink, D.A., Happee, R., Holweg, E. (2011). Steering force feedback for human machine–interface automotive experiments. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(1), 32–43.
143. Kenemans, J.L., Verbaten, M.N., Sjouw, W., Slangen, J.L. (1988). Effects of task relevance on habituation of visual single–trial ERPs and skin conductance orienting response. *International journal of psychophysiology*, 6, 51–63.
144. Knapik GG, Marras WS. (2009). Spine loading at different lumbar levels during pushing and pulling. *Ergonomics*, 52, 60–70.
145. Knowles, M.S. (1973). The adult learner: A neglected species. Gulf publishing company, Huston Texas, ISBN 0–87201–005–8.
146. Knowles, M.S. (1980). The modern practice of adult education: from pedagogy to andragogy, (ed. Revised and updated), Cambridge New York.
147. Kohlisch, O., Schaefer, F. (1996). Physiological changes during computer tasks: Responses to mental load or to motor demands? *Ergonomics*, 39(2), 213–224.
148. Kvarnström, S. (1997). Stress prevention for blue–collar workers in assembly–line production. Geneva: International Labour Office.
149. Lang P. and Bradley M., “Appetitive and Defensive Motivation Is the Substrate of Emotion,” in Handbook of Approach and Avoidance Motivation, Elliot A. ed., New York: Taylor Francis, 2008, pp. 51–65.
150. Laschinger, H.K.S., Finegan, J., Shamian, J., Almost, J. (2001). Testing Karasek’s demands control model in restructured healthcare settings: Effects of job strain on staff nurses ‘quality of work life. *Journal of Nursing Administration*, 31(5), 233–243.

- 151.Lader, M.H. (1980). The psychophysiology of anxiety. In: Handbook of Biological Psychiatry Part II: Brain Mechanisms and Abnormal Behavior Psychophysiology, Van Praag, H.M., Lader, M.H., Rafaelsen, O.J. & Sachar, E.J. (Editors), pp. 225-247, Marcel Dekker, New York.
- 152.Laursen, B., Schibye, B. (2002). The effect of different surfaces on biomechanical loading of shoulder and lumbar spine during pushing and pulling of two-wheeled containers. *Applied Ergonomics*, 33(2), 167–174.
- 153.Lawler, E.E., Hall, D.T. (1970). Relationships of job characteristics to job involvement, satisfaction and intrinsic motivation. *Journal of Applied Psychology*, 54, 305–312.
- 154.Layer, K.J., Karwowski, W., & Furr, A. (2009). The effect of cognitive demands and perceived quality of work life on human performance in manufacturing environments. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, 413–421.
- 155.LeDoux, J.E. (1992). Emotion and amygdala. In: The Amygdala: Neurobiological Aspects of Emotion, Memory, and Mental Dysfunction, Aggleton J.P. (Editor), pp. 339-351, Wiley-Liss, New York.
- 156.Lee, J., Nussbaum, M.A., Kyung, G. (2014). Effects of work experience on work methods during dynamic pushing and pulling. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44, 647–653
- 157.Lee, K.S., Chaffin, D.B., Herrin, G.D., Waikar, A.M. (1991). Effect of handle height on lower-back loading in cart pushing and pulling. *Appl Ergon.* 22, 117–123.
- 158.Léger, P.M., Davis, F.D., Cronan, T.P., & Perret, J. (2014). Neu-rophysiological correlates of cognitive absorption in an enactive training contest. *Computers in Human Behavior*, 34, 273–283.
- 159.Lett, K.K., McGill, S.M. (2006). Pushing and pulling: personal mechanics influence spine loads. *Ergonomics*, 49(9), 895–908.
- 160.Leveson, N.G. (2011). Engineering a safer world, Systems thinking applied to safety. Systems thinking applied to safety. USA: Massachusetts Institute of technology Press, (Chapter 2).

161. Lin, L., Drury, C.G., Kim, S.W. (2001). Ergonomics and quality in paced assembly lines. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 11(4), 377–382.
162. Linton, S.J. (2000). A review of psychological risk factors in back and neck pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 25(9), 1148-1156.
163. Lo, D. (2012), OHS Stewardship – Integration of OHS in Corporate Governance. *Procedia Engineering*, 45, 174–179.
164. Loeb, M., Alluisi, E.A. (1984). Sustained attention in human performance. In J. S. Warm (Ed.), *Theories of vigilance*, pp. 179–205. New York: Wiley
165. Lukavsky, J. (2010). The effects of cognitive and emotional workload on physiological reactions in word association test in healthy adults. *Studia Psychologica*, 52(1), 15–22.
166. Macuzic, I., Giagloglou, E., Djapan, M., Todorovic, P., Jeremic, B. (2016). Occupational safety and health education under the lifelong learning framework in Serbia. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 1–9
167. Magnusson, M.L., Pope, M.H. (1998). A Review of the Biomechanics and Epidemiology of Working Postures: It isn't always vibration which is to blame! *Journal of Sound and Vibration*, 215(4), 965–976.
168. Majid, K., Truumees, E. (2008). Epidemiology and Natural History of Low Back Pain. *Seminars in Spine Surgery*, 20, 87–92.
169. Mandryk, R.L., Atkins, M.S. (2007). A fuzzy physiological approach for continuously modeling emotion. *International Journal of Human–Computer Studies*, 65, 329–347.
170. Maniadakis, N., Gray, A. (2000). The economic burden of back pain in the UK. *Pain*, 84, 95–103.
171. Manly, T., Robertson, I.H., Galloway, M., Hawkins, K. (1999). The absent mind: further investigations of sustained attention to response. *Neuropsychologia*, 37, 661–670.
172. Marras, W.S., Knapik, G.G., Ferguson, S. (2009). Loading along the lumbar spine as influence by speed, control, load magnitude, and handle height during pushing. *Clinical biomechanics*, 24, 155–163.

173. Martin, J.B., Chaffin, D.B. (1972) Biomechanical computerized simulation of human strength in sagittal plane activities. *AIIE Transactions*, 4(1), 19–28.
174. Masadeh, M. (2012). Training, education, development and learning: What is the difference? *European Scientific Journal*, 8(10), 1857–7881.
175. Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50, 370–396.
176. Maurits, W.V.T., Koes, B.W., Bouter, L.M. (1995). A cost-of-illness study of back pain in The Netherlands. *Pain*, 62, 233–240.
177. McBeth J., Harkness E.F., Silman A.J., Macfarlane G.J. (2003). The role of workplace low-level mechanical trauma, posture and environment in the onset of chronic widespread pain., *Rheumatology*, 42, 1486–1494.
178. McQuiston, T.H. (2000). Empowerment evaluation of work-er safety and health educational programs. *American journal of industrial medicine*, 38, 584–597.
179. Mehrdad, R., Dennerlein, J.T., Haghigat, M., Aminian, O. (2010). Association between psychosocial factors and musculoskeletal symptoms among Iranian nurses. *Am. J. Ind. Med.*, 53, 1032–1039.
180. Michalos, G., Makris, S., Papakostas, N., Mourtzis, D., Chryssolouris, G. (2010). Automotive assembly technologies review: Challenges and outlook for a flexible and adaptive approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(2), 81–91. doi: 10.1016/j.cirpj.2009.12.001
181. Mirer, F.E. (2011). Motor vehicles and heavy equipment. In J. M. Stellman (Ed.), *Encyclopedia of occupational health and safety*. Geneva: International Labour Organization.
182. Miyake, S. (2001). Multivariate workload evaluation combining physiological and subjective measures. *International journal of psychophysiology*, 40, 232–238.
183. Molenbroek, J., de Bruin, R. (2005). ‘Enhancing the use of anthropometric data’. In de Waard, D., Brookhuis, K. A., van Egmond, R. and Boersema, T. H. (eds), *Human Factors in Design, Safety, and Management*. Maastricht: Shaker Publishing, pp. 289–297.
184. Morse, T.F., Dillon, C., Warren, N., Levenstein, C., Warren, A. (1998). The economic and social consequences of work-related musculoskeletal disorders: the

- Connecticut Upper–Extremity Surveillance Project (CUSP). *International Journal of Occupational Environment and Health*, 4(4), 209–216.
185. Mundt, W.C., Montgomery, K.N., Udoh, U.E., Barker, V.N., Thonier, G.C., Tellier, A.M., Ricks, R. D., Darling, R.B., Cagle, Y.D., Cabrol, N.A., Ruoss, S.J., Swain, J.L., Hines, J.W., & Kovacs, G.T.A. (2005). A Multiparameter Wearable Physiologic Monitoring System for Space and Terrestrial Applications. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 9(3), 382–391.
186. Murrell, K.H. (1965). *Ergonomics: Man in his working environment*. London: Chapman and Hall, p.496.
187. Naddeo, A., D’Oria, C., Cappetti, N., Pappalardo, M. (2010). Postural analysis in HMI design: an extension of OCRA standard to evaluate discomfort level. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 39(1), 60–70.
188. Najarkola, S.A.M. (2006). Assessment of Risk Factors of Upper Extremity Musculoskeletal Disorders (UEMSDS) by OCRA Method in Repetitive Tasks. *Iranian Journal of Public Health*, 35(1), 68–74.
189. National Research Council and the Institute of Medicine (NRC/IM). (2001). *Musculoskeletal Disorders and the Workplace: Low Back and Upper Extremities*. National Academy Press, Washington, D.C.
190. Neumann, W. P., & Dul, J. (2010). Human factors: Spanning the gap between OM and HRM. *International Journal of Operations & Production Management*, 30(9–10), 923–950.
191. Norman, R., Wells, R., Neumann, P., Frank, J., Shannon, H., Kerr, M., and the Ontario Universities Back Pain Study (OUBPS) Group. (1998). A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. *Clin Biomech*, 13, 561–573.
192. O’Donnell, R.D., Eggemeier, F.T. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of human performance: Vol. II. Cognitive processes and performance* (pp. 42–1–42–49). New York: Wiley.
193. Occhipinti E. (1998). OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive moments of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1290–1311.

194. Occhipinti, E., Colombini, D. (2004). Metodo OCRA: aggiornamento dei valori di riferimento e dei modelli di previsione della frequenza di patologie muscolo-scheletriche correlate al lavoro degli arti superiori (UL-WMSDs) in popolazioni lavorative esposte a movimenti e sforzi ripetuti degli arti superiori [The OCRA method: updating of reference values and prediction models of occurrence of work-related musculo-skeletal diseases of the upper limbs (UL-WMSDs) in working populations exposed to repetitive movements and exertions of the upper limbs]. *Medicina del Lavoro*, 95(4), 305–319.
195. Occhipinti, E., Colombini, D. (2007). Updating reference values and predictive models of the OCRA method in the risk assessment of work-related musculoskeletal disorders of the upper limbs. *Ergonomics*, 50(11), 1727–1739.
196. Occhipinti, E., Colombini, D., Occhipinti, M. (2008). Metodo Ocra: messa a punto di una nuova procedura per l'analisi di compiti multipli con rotazioni infrequenti. *Medicina del Lavoro*, 3, 234–241.
197. Oerlemans, W.G.M., Bakker, A.B. (2013). Capturing the moment in the workplace: Two methods to study momentary subjective well-being. In A. B. Bakker (Ed.), *Advances in Positive Organizational Psychology* 1, 329–346. Bingley, UK: Emerald.
198. Oken, B.S., Salinsky, M.C., Elsas, S.M. (2006). Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement. *Clinical Neurophysiology*, 117(9), 1885–1901.
199. Parasuraman, R. (2003). Neuroergonomics: Research and practice. *Theoretical issues in ergonomics science*, 4(1–2), 5–20.
200. Parasuraman, R. (2011). Neuroergonomics: Brain, cognition, and performance at work. *Current directions in psychological science*, 20, 181–186.
201. Parasuraman, R., Davies, D.R. (1984). *Varieties of attention*. New York: Academic Press.
202. Parasuraman, R., Wilson, G.F. (2008). Putting the Brain to Work: Neuroergonomics Past, Present, and Future. *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 468–474.

203. Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D., Soetens, E. (2008). Psychophysiological investigation of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue? *Physiology & Behavior*, 93(1), 369–378.
204. Pincus, T., Burton, A.K., Vogel, S., Field, A.P. (2002). A systematic review of psychological factors as predictors of chronicity/disability in prospective cohorts of low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 27(5), 109-120.
205. Punnett, L., Wegman, D.H. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 13–23.
206. Putz-Anderson, V., et al. (1997). Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors – A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back. Bernard, B.P. (Ed.), U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Publication no.: 97-141.
207. Querrec, R., Buche, C., Maffre, E., Chevaillier, P. (2004). Multiagents systems for virtual environment for training application to fire-fighting. *International journal of computers and applications*, 1, 25–34.
208. Reason, J. (1990). Human error. Cambridge University Press.
209. Reimer, B., Mehler, B. (2011). The impact of cognitive workload on physiological arousal in young adult drivers: A field study and simulation validation. *Ergonomics*, 54(10), 932–942.
210. Resnick, M.L., Chaffin, D.B. (1995). An ergonomic evaluation of handle height and load in maximal and submaximal cart pushing. *Applied Ergonomics*, 26(3), 173–178.
211. Rethinam, G.S., & Ismail, M. (2008). Constructs of Quality of Work Life: A perspective of information and technology professionals. *European Journal of Social Science*, 7(1), 58–70.
212. Roffey, D.M., Wai, E.K., Bishop, P., Kwon, B.K., Dagenais, S. (2010). Causal assessment of occupational pushing or pulling and low back pain: results of a systematic review. *The Spine Journal*, 10, 544–553

213. Rossignol, M., Rozenberg, S., Leclerc, A. (2009). Epidemiology of low back pain: what's new? *Joint Bone Spine*, 76, 608-613.
214. Rubio, S., Díaz, E., Martín, J., Puente, J.M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied psychology: an international review*, 53(1), 61-86.
215. Ryden, L.A., Molgaard, C.A., Bobbitt, S.L. (1998). Benefits of a back care and light duty health promotion program in a hospital setting. *J Commun Health.*, 13(4), 222-30.
216. Sanders, M.S., McCormick, E.J., (1993). Human Factors in Engineering and Design. McGraw-Hill, Inc.
217. Sandfeld J., Rosgaard C., Jensen B.R. (2014). L4-L5 compression and anterior/posterior joint shear forces in cabin attendants during the initial push/pull actions of airplane meal carts. *Applied Ergonomics*, 45, 1067-1075.
218. Savicevic, D. (2012). Research problems in andragogy: Comparative considerations ISCAE conference, Las Vegas, pp. 203-211.
219. Schibye, B., Sogaard, K., Martinsen, D., Klausen, K. (2001). Mechanical load on the low back and shoulders during pushing and pulling of two-wheeled waste containers compared with lifting and carrying of bags and bins. *Clin Biomech*, 16, 549-559.
220. Sequeira, H., Hot, P., Silvert, L., Delplanque, S., (2009). Electrical autonomic correlates of emotion. *Int. J. Psychophysiol.* 71, 50-56.
221. Sen, R.N. (1984). Application of ergonomics to industrially developing countries—the Ergonomics Society lecture. *Ergonomics*, 27, 1021-1032.
222. Sen, R.N. (1998). Recent trends of ergonomics research in India and Malaysia. *HQL Quarterly (Japan)*, 12, 2-4.
223. Shankararaman V, Lee BS. (1994). Knowledge-Based safety training system (KBSTS)—A prototype implementation. *Computers in Industry*, 25, 145-157.
224. Sheppard, H.L., Herrick, N.Q. (1972). Where have all the robots gone?: Worker dissatisfaction in the '70s. New York: Free Press.

225. Siddle, D.A.T., Ottmar, V.L., Patricia, J.D. (1994). Effects of stimulus preexposure and intermodality change on electrodermal orienting. *Psychophysiology*, 31, 421–426.
226. Silverstein, B., Fine, L., Armstrong, T. (1987). Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *American Journal of Industrial Medicine*, 11, 343–358.
227. Silverstein, B.A., Fine, L.J., Armstrong, T.J. (1986). Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 43(11), 779–784.
228. Simmons, J., Mares, W. (1985). Working together: Employee Participation In Action. New York University Press, New York.
229. Snook S.H., Ciriello, V.M. (1991). The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34, 1197–1213.
230. Snook, S.H. (1978). The design of manual handling tasks. *Ergonomics*, 21, 963–985.
231. Spallek, M., Kuhn, W., Uibel, S., Van Mark, A., Quarcoo, D. (2010). Work-related musculoskeletal disorders in the automotive industry due to repetitive work – implications for rehabilitation. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 5(1), 1–6. doi: 10.1186/1745–6673–5–6
232. Standon, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., Hendrick, H. (2005) The handbook of human factors and ergonomics methods (*Psychophysical tables: lifting, lowering, carrying, pushing pulling*), chapter 13 pp. 20, CRC press USA.
233. Stern, C., Kaur, T. (2010). Developing theory-based, practical information literacy training for adults. *The International Information & Library Review*, 42, 69–74.
234. Stock, S.R. (1991). Workplace ergonomic factors and the development of musculoskeletal disorders of the neck and upper limbs: A meta-analysis. *American Journal of Industrial Medicine*, 19(1), 87–107.
235. Stuart, A. (2014). A blended learning approach to safety training: Student experiences of safe work practices and safety culture. *Safety Science*, 62, 409–417.
236. Stuebbe P., Genaidy A., Karwowski W., Guk Kwon Y., Alhemood A. (2002). The Relationships Between Biomechanical and Postural Stresses, Musculoskeletal Injury Rates, and Perceived Body Discomfort Experienced by Industrial Workers:

- A Field Study. *International journal of occupational safety and ergonomics (JOSE)*, 8(2), 259–280.
237. Susman, G.I. (1976). *Autonomy at Work: A Sociotechnical Analysis of Participative Management*. New York: Praeger.
238. Takala, E.P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G.A., Mathiassen, S.E., Neumann, W.P., Sjøgaard, G., Veiersted, K.B., Westgaard, R.H., Winkel, J. (2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 36(1), 3–24.
239. Theorell, T. (1991). On cardiovascular health in women: Results of epidemiological and psychosocial studies in Sweden (pp. 187–204). In M. Frankenhaeuser, V. Lundberg, M. Chesney ed. *Women, Work and Health: Stress and Opportunities*. London: Plenum.
240. Thiffault, P., Bergeron, J. (2002). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulatory study. *Accident Analysis & Prevention*, 35, 381–391.
241. Thijssen, T., Vernooij, F.T.J. (2004). Breaking the Boundaries between Academic Degrees and Lifelong Learning Designing demand-driven lifelong learning processes for employees, *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, 4(16), 1–21.
242. Thun, J.-H., Lehr, C. B., & Bierwirth, M. (2011). Feel free to feel comfortable—an empirical analysis of ergonomics in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 551–561.
243. Tiwari, T., Singh, A.L., Singh, I.L. (2009). Task Demand and Workload: Effects on Vigilance Performance and Stress. *Journal of the Indian Academy of Applied Psychology*, 35(2), 265–275.
244. Todd, A.I. (2012). Impact of hand forces and start/stop frequency on physiological responses to three forms of pushing and pulling: A South African perspective. *Work*, 41, 1588–1593.
245. Ulin, S.S., & Keyserling, W.M. (2004). Case Studies of Ergonomic Interventions in Automotive Parts Distribution. *Journal of Occupational Rehabilitation*, 14(4), 307–326.

246. Vaez Mousavi, S.M., Barry, R.J., Rushby, J.A., Clarke, A.R. (2007). Arousal and activation effects on physiological and behavioural responding during a continuous performance task. *Acta Neurobiol.*, 67, 461–470.
247. Van Der Beek, A.J., Frings–Dresen, M.H.W., Van Dijk, F.J.H., Kemper, H.C.G., Meijman, T.F. (1993). Loading and unloading by lorry drivers and musculoskeletal complaints. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12, 13–23.
248. Van der Beek, A.J., Hoozemans, M.J.M., Frings-Dresen, M.H.W., Burdorf, A. (1999). Assessment of exposure to pushing and pulling in epidemiological field studies: an overview of methods, exposure measures, and measurement strategies. *International Journal of Ergonomics*, 24, 417-429.
249. Venables, P.H. & Christie, M.J. (1980). Electrodermal activity. In: Techniques in Psychophysiology, Martin, I. & Venables, P.H. (editors), pp. 3-67, John Wiley & Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto.
250. Vigoroux, R. (1879). Sur le role de la resistance electrique des tissues dans l'electrodiagnostic. *Comptes Rendus Societe de Biologie*, Vol. 31, pp. 336-339.
251. Warhurst, C., & Knox, A. (2013). Why the renewed interest in job quality? In A. Knox & C. Warhurst (Eds.), *Job quality: Perspectives, problems and proposals*. Annandale, NSW: Federation Press.
252. Warm, J.S., Parasuraman, R., Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3), 433–441.
253. WHO Scientific Group. (2003). *The Burden of Musculoskeletal Conditions at the Start of the New Millennium*. Geneva: World Health Organization, Geneva.
254. Wickens, C.D., Dixon, S.R. (2007). The benefits of imperfect diagnostic automation: A synthesis of the literature. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8, 201–212.
255. Wilson, G.F., Russel, C.A. (2003). Real–Time Assessment of Mental Workload Using Psychophysiological Measures and Artificial Neural Networks. *Human Factors*, 45(4), 635–643.
256. Wood, D.J. (1987). Design and evaluation of a back injury prevention program within a geriatric hospital. *Spine*, 12(2), 77–82.

257. Yeow, P.H.P., Sen, R. N. (2003). Quality, productivity, occupational health and safety and cost effectiveness of ergonomic improvements in the test workstations of an electronic factory. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 32(3), 147–163.
258. Yeow, P.H.P., Sen, R. N. (2006). Productivity and quality improvements, revenue increment, and rejection cost reduction in the manual component insertion lines through the application of ergonomics. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(4), 367–377.
259. Yoshino, K., Edamatsu, M., Yoshida, M., Matsuoka, K. (2007). An algorithm for detecting startle state based on physiological signals. *Accident analysis and prevention*, 39, 308.

Додатак А – Индустриска колица

Обзиром да циљ ове докторске дисертације није укључивао проверу ергономског дизајна са становишта употребљивости, аутор сматра да је важно напоменути међусобну повезаност употребљивости и ергономије, за модел индустријских колица, коришћених у експериментима. Пошто је дизајн усмерен ка кориснику, употребљивост производа може се посматрати као индекс односно оцена квалитета производа.

Sanders and McCormick (1993) је дефинисао шест стубова на које треба обратити пажњу како би се испунили принципи ергономског дизајна:

1. Корисник: дизајн и примена алата, процедура и система мора бити окренута ка кориснику односно што лакшој употреби истих, а не само посматрати проблем кроз призму завршетка одређеног задатка.
2. Различитост: препознавање различитости људских карактеристика у смислу њихових могућности и ограничења.
3. Утицај на људе: алати, процедуре и системи утичу на понашање људи и њихово благостање на радном месту.
4. Реални подаци: емпиријска израчунавања и информацију су од кључног значаја у процесу дизајна и значајније боље у односу на принцип „здравог разума“.
5. Научни метод: тестирати постављене хипотезе са реалним подацима, пре него помоћу непоузданих доказа и/или слободним проценама.
6. Системи: објекти, процедуре, околина и људи егзистирају заједно и међусобно су повезани.

Постоји неколико приступа који омогућавају да се унапреди дизајн модела индустријских колица. Сила која је неопходна за активности гурања и повлачења може се смањити смањивањем оптерећења и/или тежине самих колица. За што бољу употребу колица, ручке се могу подешавати по висини (од струка до висине раменог појаса), могуће је заменити односно поставити одговарајуће точкиће (уз неопходно прописано подмазивање и одржавање према техничком упутству произвођача) и коришћење одговарајућих радних ципела (са добрим пријајањем).

Индустријска колица развијена за потребе ове докторске дисертације јесте модел колица која се користе у великој интернационалној компанији стационирана у Централној Србији. Предложене модификације на оваквој врсти колица су следеће:

- могућност подешавања ручке по висини,
- садржи независни систем за напајање за ЕДА уређај и
- постављени су сензори силе.

Овај модел индустријских колица би могао да се користи за неколико типова експеримената у области ергономије као нпр. израчунавање максималне прихватљиве силе и оптерећења, максимално дозвољена дужина путање и сл.

Модел индустријских колица у овој докторској дисертацију развијен у сврху ергономских истраживања добио је Признање Фондације професионалних стручњака из области ергономије током доделе награда студент-практичар (енг. *the Certificate of Appreciation by Foundation for Professional Ergonomists¹ during the ceremony of Dieter W. Jahns Student Practitioner Award 2015!*)

¹ <https://www.ergofoundation.org/ergonomics-projects/annual-dieter-w-jahns-student-practitioner-award>