

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука

Никола Р. Бандука

**Приказ напредног мерног система за испитивање и
анализу ергономских фактора који утичу на
ментално оптерећење радника на радном месту у
индустрији**

Мастер рад

Крагујевац, 2014.

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Индустријски инжењеринг
Предмет: Инжењеринг безбедности и управљање ризиком
Број индекса: 376/2012

Никола Р. Бандука

**Приказ напредног мерног система за испитивање и
анализу ергономских фактора који утичу на
ментално оптерећење радника на радном месту у
индустрији**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Иван Мачужић
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада потребно је проучити одговарајућу литературу из области ергономије. На основу прикупљених података треба објаснити карактеристике и факторе који утичу на ментално оптерећење радника на радном месту у индустрији. Такође је потребно дефинисати све методе и технике помоћу којих се може одредити ментално оптерећење радника. Сваку методу треба посебно сагледати и објаснити разлог због кога је коришћена. Примену и поставку мерног система за праћење менталног оптерећења је потребно представити примером из индустрије.

Препоручена литература:

- Salvendy, G. (2012). *Handbook of human factors and ergonomics*. John Wiley & Sons.
- Parasuraman, R., & Rizzo, M. (2008). *Neuroergonomics: The brain at work*. Oxford University Press, Inc..
- MacLeod, D. (2006). *The ergonomics kit for general industry*. CRC Press.
- Aleksandra J., Branislav J., (2009). *Training for occupational safety and health improvement*. TEMPUS Joint European Project 41045_2006
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity*. Springer

Крагујевац, 2014.

Ментор:

Проф. Др Иван Мачужић

Резиме рада: Напретком технологије почетком 19. века, масовно се повећао број повреда и несрећа задобијених на раду. Такође је забележен знатан број несрећа и повреда на раду услед немарности или смањене будности радника. Да би се избегле повреде радника и потенцијалне незгоде на раду, компаније су масовно почеле улагати новац у безбедност и здравље на раду. Највећи број повреда и несрећа на послу настаје услед лошег дизајна радног места и из тог разлога ће у средишту истраживања у овом раду бити ергономија. Неповољни ергономски фактори могу изазвати физичка и психичка оптерећења радника. С'обзиром на то да је све више аутоматизованих система и да су радници у све већој интеракцији са рачунаром, индустријска проблематика 21. века ће управо бити ментално оптерећење радника. У овом раду ће бити приказана поставка напредног мерног система састављеног од уређаја за праћење психо-физиолошких и психичких промена код човека коришћењем уређаја за праћење промена физиолошких сигнала (ЕЕГ, ЕДА, ЕКГ) и опреме за праћење покрета радника при обављању одређеног задатка (*Kinect* и *Leap motion*).

Кључне речи: Ергономија, Физичка ергономија, Когнитивна ергономија, Неуроергономија, Праћење покрета, Ментално оптерећење ЕЕГ, ЕДА, ЕКГ, *Leap motion*, *Kinect*.

Summary of work: The number of a injuries and accident's increased with tehnology improvement at 19th century. Also is recorded significant number of accident's and injuries at work due negligence and decrease in alertness at work. In order to avoid injuries of worker's and accident's at workplace, companies started to massively invest money in health and safety. The most of injuries and accident's occurs due bad design of workplace, and because of that in the middle of this study will be ergonomic's. The unfavorable ergonomic factors can cause physical and mental load of worker. Considering there's more and more automated system's, and that worker's are increasingly interacting with the computer, industrial problematic's of 21th will be mental load. In this paper will be displayed setting of progressive measuring system made of device's for following of psycho-physiological and mental changes of worker with device's for following physiological signal's (EEG, EDA, ECK) and equipment for following motion's due some of operation's (*Kinect* and *Leap motion*).

Keywords: Ergonomics, Physical ergonomics, Cognitive ergonomics, Neuroergonomics, Motion capture, Mental load, EEG, EDA, ECG, *Leap motion*, *Kinect*.

Садржај:

1. Увод.....	6
1.1. Ергономија.....	7
1.1.1. Историјски развој ергономије.....	8
1.1.2. Подобласти ергономије	9
1.1.2.1 Физичка ергономија.....	9
1.1.2.1.1. Принципи физичке ергономије.....	9
1.1.2.1.2. Мишићно-коштани поремећаји (МКП).....	17
1.1.2.2. Когнитивна ергономија	18
1.1.2.2.1. Неуроергономија.....	19
2. Методе.....	20
2.1. Методе за праћење менталног оптерећења	20
2.1.1. Електроенцефалографија (ЕЕГ)	20
2.1.1.1. Примена и развој ЕЕГ-а кроз историју	21
2.1.1.2. Мождани таласи	23
2.1.1.3. Потенцијали везани за догађаје (<i>Event-related potentials - ERP</i>)	24
2.1.2. Електродермална активност (ЕДА).....	25
2.1.2.1. Методе ЕДА мерења	26
2.1.2.2. ЕДА електроде.....	27
2.1.2.2.1. Препоруке за ЕДА електроде.....	29
2.1.3. Електрокардиограм (ЕКГ).....	29
2.2. Методе за праћење покрета.....	32
2.2.1. <i>Kinect</i>	35
2.2.2. <i>Leap Motion</i>	38
2.3. Метода синхронизације.....	39
2.3.1. <i>Lab streaming layer</i>	40
3. Поставка експеримента	40
3.1. Реплицирано радно место	40
3.1.1. Реплицирање микроклиматских услова.....	42
3.1.2. Конструкција реплициране машине.....	45
3.2. Протокол експеримента	47
4. Допринос.....	51
5. Литература.....	52

1. Увод

Техничким напретком, почетком 19. века, познатијим под називом “индустријска револуција“, дошло је до усавршавања средстава за рад, али и до масовног повећања броја повреда и болести задобијених на послу [1]. У пракси је познат велики број случајева штете милионских сразмера, насталих немарношћу или повредама радника на радном месту. Један од тих примера је чувена Чернобилска нуклеарна катастрофа у нуклеарној електрани „Лењин“ у близини града Пријепат у Украјини (тадашњи СССР), која је према извештајима из 1986-е настала услед немарности и нестручности оператера, а уједно се сматра и највећом еколошком катастрофом у историји човечанства [2]. О томе нам такође сведочи податак да су 1995-е године Америчке компаније одвојиле преко 50 милијарди долара за одсуство и обештећења повређених радника и за одштете насељима [23]. Из тог разлога се све више новца улаже у безбедност и здравље на раду.

Ергономија је једна од кључних дисциплина за побољшање безбедности и здравља на раду [4]. Већина повреда и болести радника задобијених на послу, настаје из механичких повреда или мишићно-коштаних поремећаја, услед лошег дизајна радног места, а то је управо проблематика којом се бави ергономија [5]. У почетку је сва пажња била усмерена на физичку ергономију која проучава карактеристике које се односе на физичке активности радника. Тек је нешто касније Амерички национални институт за безбедност и здравље (*national institute for occupational safety and health – NIOSH*) препознао проблем поремећаја психолошке природе као водећи. Ова констатација *NIOSH*-а је повећала интересовање истраживача за когнитивном ергономијом [3]. Тачније *D. E. Broadbent*-ова проучавања буке, будности, стреса и индустријског здравља и продуктивности, су покренула “когнитивну револуцију“ седамдесетих година 20. века [19].

До 1980. године практичари когнитивне ергономије нису обраћали пажњу на људски мозак и ум. Међу првима се за људски ум и мозак заинтересовао *R. Parasuraman* који је и увео термин “Неуроергономија“, а термин се односио на укључивање неуро науке у ергономију. За неуроергономију се може рећи да представља поддисциплину когнитивне ергономије која би требало да доживи експанзију у 21. веку, јер предвиђања научника говоре да ће рачунарске технике наставити да доминирају и у будућности, што значи да ће човек бити у све већој интеракцији са рачунаром [19].

Један од највећих проблема са којима се радник сусреће на радном месту је замор. Порекло настанка замора може бити физичке или менталне природе. Физички замор се везује за смањење учинка мишићног система, док се ментални замор везује за појаву умора, смањење будности и смањење менталних преформанси. Важна област истраживања корисна за индустријске инжењере је управо испитивање менталног замора и његовог утицаја на раднике, поготову на радним местима са репетативним функцијама у дужем временском периоду [14]. Ова појава је најчешћи узрочник несрећа и разних типова повреда, губитака

у производњи, опадања квалитета производа и многих других проблема које си могу јавити у индустрији [6].

Из горе наведених разлога овај рад ће бити усмерен на постављање опреме за откривање настанка менталног оптерећења код радника приликом обављања одређеног задатка, како би се спречиле потенцијалне катастрофе и повећала ефикасност у индустрији. Проблематику везану за настанак менталног оптерећења треба решавати на самом извору њеног настанка, јер би свако одуговлачење проузроковало потенцијалну штету. Да би се вршила истраживања која ће решити ову проблематику неопходно је поседовати одговарајућу опрему, јер нажалост још увек не постоји уређај који би могао то одредити самостално, већ је потребно направити адекватну селекцију опреме за мерење психофизичких и психичких промена код човека и направити корелацију између добијених података. Такође је неопходно пратити сваки покрет радника, како би се установило који покрети изазивају ментално оптерећење и како се мења положај тела радника током времена. И најважнија ствар је прецизна синхронизација свих уређаја, како би се добили тачни подаци. Погодно радно место за вршење ових истраживања може бити: радно место где се понављају покрети, јер понављање покрета може изазвати ментално оптерећење због једноличности посла, а и праћење покрета је олакшано, јер је већина оваквих послова статичног типа. Истраживања ће се вршити помоћу бежичних уређаја јер су практичнији и не ометају радника при извођењу неопходних операција за извршење постављеног задатка.

1.1. Ергономија

Ергономија је интердисциплинарна научна дисциплина са јако великом ширином области истраживања. У средишту ових истраживања се налазе људи и људски фактор, у интеракцији са производима, опремом, уређајима, поступцима, и окружењем у коме се налазе приликом рада, али и свакодневног живота. Најважнији циљеви ергономије су са једне стране повећање људских вредности као што су сигурност и удобност на раду, задовољство на послу и квалитет живота, а са друге стране су повећање нивоа ефикасности и ефикасности којима се рад и остале активности изводе [7].

Термин „ергономија“ састављен је од Грчке речи “ергон” што значи рад и “номос” што значи обичај, ред, закон [7]. При проучавању ергономије често се можемо сусрести са изразом “људски фактор” који у суштини представља синоним за појам “ергономија”. Људски фактор је Северно Амерички термин и представља физичку или когнитивну својину једне индивидуе или специфично социјално понашање групе људи који могу утицати на функционисање одређеног технолошког система [5].

Ергономија налази примену код свакодневних активности које људи изводе на послу и ван њега. Неки од примера су: производња, сервисна индустрија, канцеларијски посао, кућни послови и рекреативне активности, потрошачки пројекти, дизајн унутрашњости аутомобила [6].

Ергономисти се при проучавању људи и њиховог окружења ослањају на разне дисциплине: анатомију, антропometriју, биомеханику, машинство, индустријски инжењеринг, индустријски дизајн, генетику, информациони дизајн, психологију, когнитивну психологију, индустријску и организациону психологију, физиологију, и многе друге дисциплине [5,6,7]. Основни захтеви сваког ергономски обликованог производа су удобност, сигурност и употребљивост, једном речју функционалност. Такође је јако битно да опрема и услови рада буду ергономски обликовани, а при том треба да задовољавају одређене стандарде и норме. Ови стандарди и норме имају за циљ повећање продуктивности рада, очување здравља, подизање степена мотивисаности и креативности радника, постизање задовољства на раду, смањење броја грешака у току рада, редуковање шкарта, односно повећање квалитета, итд. Да би се ови услови испунили, неопходно је прилагодити их раднику и у физичком, и у психичком смислу [7].

Да би се постигли ергономски услови на неком радном месту, потребно је довести у одређене границе све елементе радног места, а то су: намештај, опрема, осветљење и радни простор, микроклиматски услови¹ радне средине, ниво буке и вибрација, као и остале карактеристике радног процеса [7].

1.1.1. Историјски развој ергономије

Може се рећи да су темељи ергономије као науке постављени још у доба античке Грчке у V веку. Доказ за ову тврдњу је коришћење ергономских принципа при дизајнирању алата, послова и радних места. Један овакав пример може бити нађен у Хипократовом објашњењу како би требало бити дизајнирано радно место једног хирурга и како треба бити организован алат који користи. Такође нам нека археолошка истраживања показују појаву ергономских принципа при изради алата и опреме за домаћинство код раних Египатских династија [8].

Први пример примене ергономије у индустрији јавио када је *F. W. Taylor* развио метод “научног управљања“, који се заснива на проналажењу оптималног начина решавања одређених задатака. *Taylor* је открио да је могао утростручити количину и тежину угља у лопатама, док се не би постигла најбржа стопа лопатања. *Frenk u Lilijan Gilbert* проширују *Taylor*-ов метод почетком 18. века развојем “студије времена и кретања“, која је имала за циљ повећање ефикасности елиминисањем беспотребних корака и активности. Применом поменутог поступка *Gilbert*-и су смањили број покрета у зидарству са 18 на 4.5, уједно повећавши продуктивност са 120 на 350 цигли по часу [9,10]. Овај приступ је одбијен 1921. године од стране Руских истраживача *V. Behterev-a* и *V. N. Mijasishchev-a* на I конференцији о научној организацији рада. *Behterev* је тврдио да није решење у *Taylor*-овом предлогу, већ је поента постићи максимално ефективан рад уз минимум опасности по здравље, уз одсуство замора, уз целокупан лични развој радника. *Mijasishchev* је одбио *Taylor*-ов

¹ Климатски услови на радном месту (Температура, влажност ваздуха, брзина струјања ваздуха, квалитет ваздуха, итд.)

предлог јер је тежио да претвори човека у радну машину. Он је такође предложио стварање нове дисциплине “ергологије“, која би проучавала рад као интегрисани део реорганизације рада. *Mijasishchev-ов* ментор *Behterev* је прихватио ову идеју у свом завршном извештају са конференције, само променивши име у “ергонологија“ [10].

1.1.2. Подобласти ергономије

Ергономија обухвата три главне области истраживања: физичку, когнитивну и организациону ергономију. У оквиру ове три основне категорије постоје уже специјализоване области [12]. На пример: у оквиру физичке ергономије постоји визуелна ергономија, у оквиру когнитивне ергономије неуроергономија, итд.. Неке специјализоване области чак могу бити изван домена основне три области, као на пример: ергономија окружења која проучава интеракцију човека са окружењем, а карактеришу је одређени фактори окружења (клима, температура, влажност ваздуха, бука, осветљеност, вибрације, притисак, квалитет ваздуха, квалитет боја) [11]. С’ обзиром да се у овом раду бавимо физичком и когнитивном ергономијом, овим темама ћемо посветити више пажње, док ћемо организациону ергономију занемарити.

1.1.2.1 Физичка ергономија

Физичка ергономија се бави анатомијом човека као и проучавањем антропометријских, психолошких и биомеханичких карактеристика које се односе на физичку активност. Најрелевантније теме којима се Физичка ергономија бави су: положаји радника при обављању посла, руковање материјалом, понављање покрета, мишићно-коштани поремећаји на послу, безбедност и здравље на раду [7,12]. Администрација безбедности и здравља на раду (Occupational safety and health administration - OSHA) је пронашла значајан доказ, да ергономски програми могу смањити трошкове компензације радника, повећати продуктивност и смањити флукуације радника [13]. Дакле, да би се реализовали ови програми, потребно је прикупити податке са послова или радних услова који су најпроблематичнији. Један од најзаступљенијих проблема, односно видова повреда на раду су мишићно-коштани поремећаји (МКП), који настају као последица вршења радње у непријатним и неприродним положајима кроз дужи временски период. Ова врста поремећаја се такође може јавити као последица великог броја понављања истих покрета у дужем временском периоду [7].

1.1.2.1.1. Принципи физичке ергономије

D. Macleod је у својој књизи “*The Ergonomics kit for general industry*” предложио десет основних принципа физичке ергономије, која нам могу помоћи да пронађемо паметнији начин за обављање послова. Сви принципи су преузети из литературе [6].

Принципи физичке ергономије су:

1. Радити у неутралном положају
2. Смањити прекомерну силу
3. Држати све у домету
4. Радити на одговарајућим висинама
5. Смањити прекомерне покрете
6. Минимализовати замор и статичка оптерећења
7. Минимализовати притисне тачке
8. Обезбедити зазор
9. Покретати се, вежбати и истезати
10. Одржавати удобност окружења

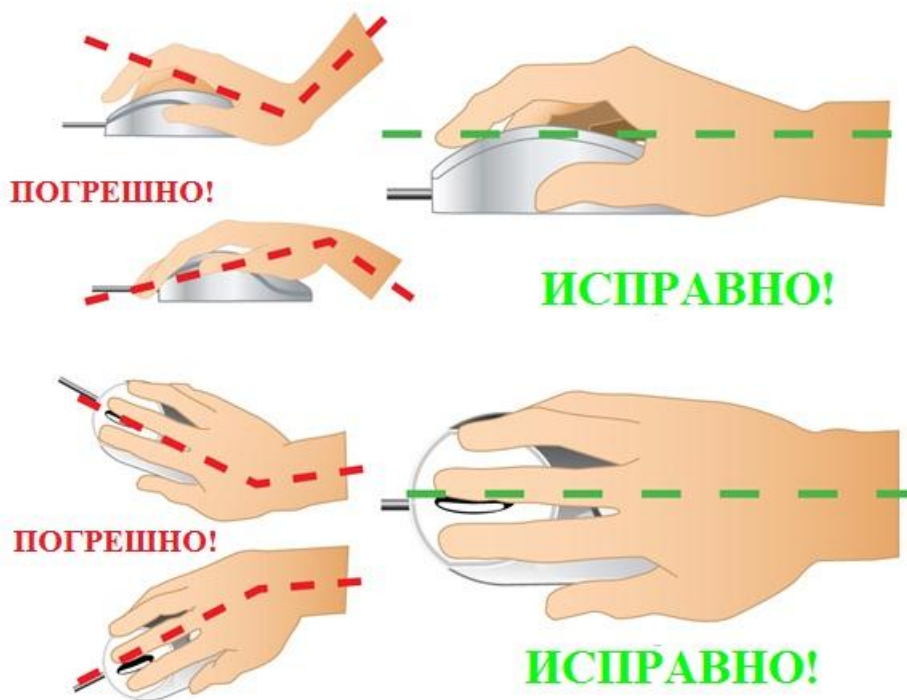
1. Радити у неутралном положају

Рад у непријатном, погрбљеном или искривљеном положају повећава замор и притисак, и уједно смањује снагу, што раднику ствара додатне потешкоће при обављању задатка. Препоруке [6]:

- Одржавати неутралну криву при окретању
- Држати врат у равни
- Држати лактове увучене и опустити рамена
- Држати ручни зглоб у неутралном положају

Пример: Држати ручни зглоб у неутралном положају

Руке би требало држати у истој равни као и подлактице, а при том би требало водити рачуна да ручни зглоб не буде савијен или изврнут. Исправан положај руке је приказан на слици 1.1



Слика 1.1: На слици су приказани исправни положаји руке испрекиданом зеленом стрелицом и неисправни положаји руке црвеном испрекиданом стрелицом [39].

2. Смањити прекомерну силу

Услед прекомерне силе може доћи до преоптерећења мишића, стварања замора, а у неким случајевима и до повреда. Уколико би било неопходно применити прекомерну силу да би се задатак испунио, требало би узети у обзир да то додатно може успорити процес, као и способност радника да задатак одради како треба. Из тог разлога треба учинити све да се напор потребан за извршење задатка смањи, односно сведе на минимум, а то би уједно у великој мери олакшало задатак и повећало ефективност рада.

Постоји много начина да се редукује утицај силе. Људи су кроз историју смишљали справе, методе и технике, алате, стратегије, које умањују силу и олакшавају рад раднику. Неки од примера су:

- Полуга
- Транспортери
- Клизачи са кочионим системом
- Принцип противтеже
- Унапређење дизајна алата (држача алата)
- Коришћење положаја тела као предност
- Коришћење заштитних мрежа

- Практичан распоред
- Коришћење разних помоћних машина и алата

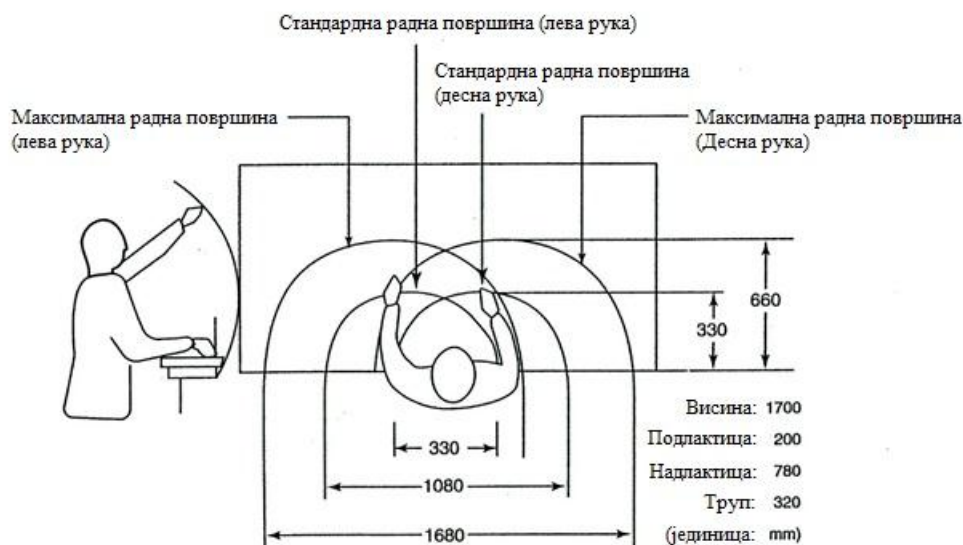
Суштински је најбитније за олакшавање процеса при прекомерним силама, навести радника да непрестано размишља о могућностима проналажења лакшег начина да се обави посао.

3. Држати све у додирном опсегу шаке

Најбољи начин да се свој посао учини практичнијим је да се алат, делове, производе и сл. увек држи близу себе односно у додирном опсегу шаке. Уколико се не би придржавали овог принципа, било би неопходно применити додатне активности попут: савијања, извијања, напрезања тела, што би само додатно отежало посао и повећало време потребно да се изврши неки задатак.

Пример: Додирни опсег

Пример додирног опсега је приказан на слици 1.2 Примећујемо да се ради о полукружном принципу, а не о правоугаоном, који се обично користи код радних површина. Ствари које непрестано користимо би требало да буду у додирном опсегу подлактица.



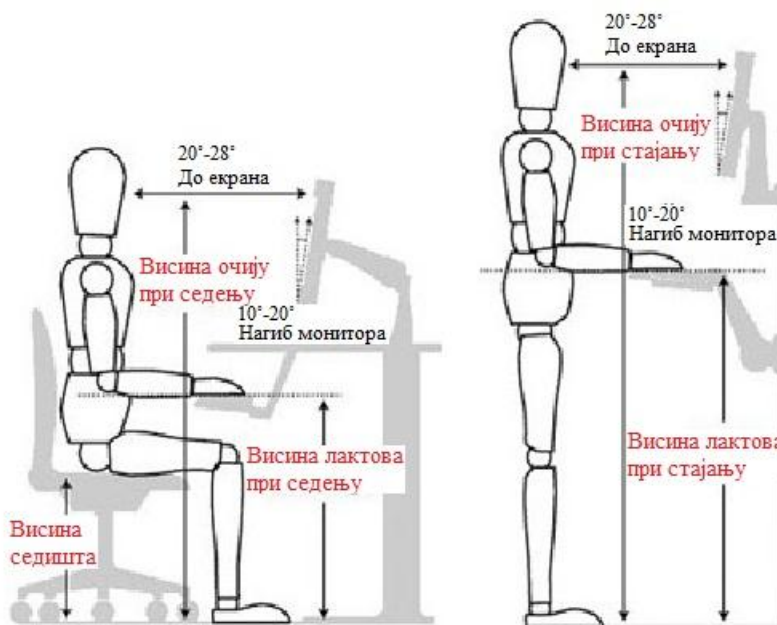
Слика 1.2: Приказани су максимални и стандардни радни опсези [40].

4. Рад на одговарајућим висинама

Један од проблема који се могу јавити на радном месту је неусклађеност у висини између запослених и посла који обављају. Овај проблем доводи до лошег позиционирања тела радника као и до учестаног замора, неудобности, до оштећења меких ткива, итд.

Пример: Лактови на одговарајућој висини

Прави пример за одговарајућу висину лактова, би могао бити позиционирање лактова у односу на тастатуру рачунара. Поред овог најучестанијег канцеларијског примера, постоји још много примера везаних за производњу и монтажу. На слици 1.3 је дат пример позиционирања радника у седећем и стојећем положају.



Слика 1.3: Дати су примери одговарајућих висина (очију, лактова, а при седењу и висина седења) при седењу и стајању за позиционирање радника на радном месту [41].

5. Смањити прекомерне покрете

Број покрета који је неопходан да би се испунио неки задатак, може имати значајан утицај у погледу издржљивости и хабања људског тела. Прекомерни покрети могу проузроковати оштећења осетљивих ткива, зглобова. Због тога увек треба избегавати прекомерне покрете, уколико није неопходно.

6. Смањење замора и статичког оптерећења

Преоптерећење менталних и физичких способности може довести до губитака у производњи, лошег квалитета производа, несрећа и разних повреда, замора, итд. Замор доводи до успорености и до губитка пажње, што може проузроковати велику штету, како за радника, тако и за цео процес производње. Замор не представља опасност по човека само на радном месту, већ и у свакодневним активностима, као на пример: у саобраћају, при преласку улице, па чак и при неким кућним активностима. Замор се може јавити и као последица менталног оптерећења (као последица учестаних једноличних и досадних

активности) и као последица физичког оптерећења (услед прекомерног напрезања или учестаног напорног физичког рада). Узрочник замора не мора бити стриктно физичка активност на послу, већ може бити последица конзумирања алкохола или дроге, неиспаваности, некавалитетне исхране, стреса, болести, итд.

Пример: Статичко оптерећење

Држање исте позиције неких делова тела, дужи временски период, може изазвати појаву која се назива статичко оптерећење. Ова појава може изазвати повећан бол и замор код радника. Добар пример статичког оптерећења са којим се већина људи у животу сусретне је „пишчев грч“. Ова појава је приказана на слици 1.4, а до ње долази услед држања оловке дужи временски период. Мишићи се умарају и почиње да се јавља бол. Тај бол који изазива „пишчев грч“ је у датом моменту мање-више безопасан по човека, али уколико би се одужио на месеце или године, могао би да изазове трајна оштећења ткива шака и ручних зглобова.



Слика 1.4: Пишчев грч [6].

7. Минимализовати притисне тачке

Директан притисак или како се назива “додирни напон” је општа појава на радним местима. Ова појава може довести до инхибиције функција нервног система и протока крви, што радника лако може довести у непријатно стање. Пример: Столица са јастучићима

Неопходно је да радне столице имају квалитетне, ергономске јастучиће, као што је приказано на слици 1.5, јер би у противном могле да се јаве притисне тачке, услед дужег седења на тврдој металној подлози. Одговарајућа висина је такође јако битан фактор који утиче на притисне тачке. Ако је седиште столице превише високо, ноге ће висити, а ако је превише ниско, тежина тела ће притискати задњицу.

Пример: Столица са јастучићима



Слика 1.5: Дат је пример одговарајуће ергономске столице [41].

8. Обезбедити зазор

Када се тражи обезбеђивање зазора, мисли се на то да треба обезбедити адекватан и приступачан приступ свему што је потребно, без препрека на путу. Недостатак зазора може довести до сударања радника са стварима (опремом, алатима, продуктима). Посебно је битно обезбедити простор за колена и стопала.

Пример: Дизајнирање радног места за високе људе.

Омогућити зазор високим људима уједно значи омогућити и свим осталим људима. На слици 1.6 је приказан радник на радном месту које није ергономски постављено. Није обезбеђена довољна висина, радник нема довољно простора да измакне столицу, а испод стола се налазе кутије од којих не може ставити ноге у одговарајући положај. Једном речју није обезбеђен зазор на радном месту.



Слика 1.6: Радно место на коме није обезбеђен адекватан зазор [6].

9. Покретање, вежбање и растезање

Опште је познато да физичка активност делује корисно на човека и ментално и физички. Покретање човека на радном месту је јако битна ствар. Уколико се ради о неком статичном радном месту (канцеларијски посао, рад на рачунару, рад на шалтеру), радник би требало да нађе времена да уради вежбе истезања. Физичка активност је такође неопходна и за одржавање здравља човека. Потребно је повремено растезање зглобова у току дана. Откуцаји срца треба да расту током времена свакодневно, а мишиће треба загревати када се год укаже прилика за то. Нажалост већина послова је тако организована да радник уопште нема времена или простора за овакве активности или га има врло мало. Примери основних ергономских вежби су дати сликом 1.7.



Слика 1.7: Дат је пример 7 основних ергономских вежби: Бочно протезање руку, ротационо разгибавање рамена, протезање руку на горе, Гибање главе у страну, протезање руку право, лучно разгибавање кукова, протезање врата [42].

10. Одржавати удобност окружења

Угодност радника на радном месту налази се у директној зависности од фактора окружења (буке, осветљености, температуре, влажности ваздуха, квалитета ваздуха). Поред параметара микроклиме, постоје додатни фактори окружења који могу утицати на удобност, као на пример вибрације, које могу оштетити осетљива ткива, или отровне материје које могу нарушити здравље радника. Овај принцип је мање-више свеобухватане категорије у ергономији. Развојем савремене технологије стекли смо могућност контролисања и

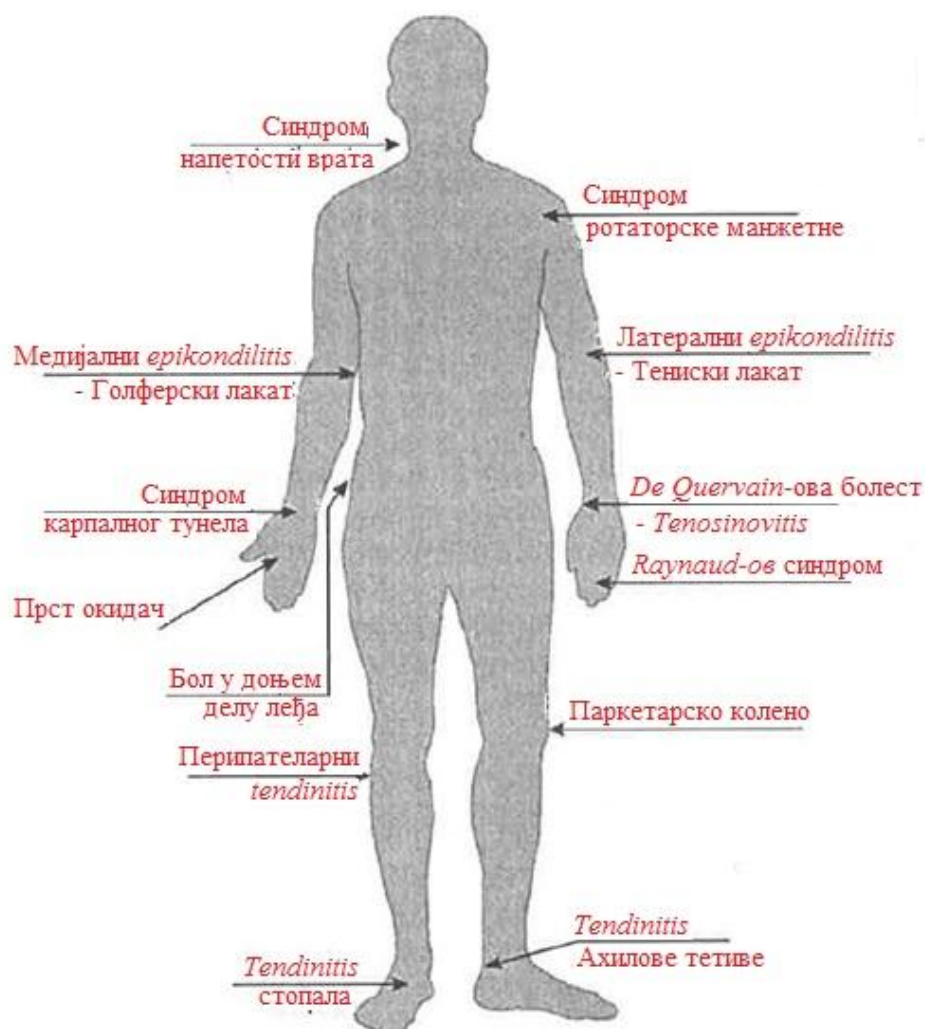
регулисања параметара микроклиме, као и могућност изолације од буке и вибрација, што нам у великој мери помаже при одржавању удобности окружења на радном месту или уопште.

1.1.2.1.2. Мишићно-коштани поремећаји (МКП)

Мишићно-коштани поремећаји (МКП) су група обољења и поремећаја везаних за кости, мишиће, тетиве и нерве. Овај тип поремећаја изазивају учестале понављајуће активности или радње које радник обавља у неугодним и неприродним положајима тела. Овај тип поремећаја није последица неке повреде или несреће на радном месту, већ се јављају постепено услед учесталих траума, појачаних напрезања или рада у непријатним положајима у дужем временском периоду. МКП можемо поделити на три врсте повреда: повреде мишића, повреде тетива и повреде нерава [7].

Симптоми МКП се могу осетити у рукама, врату, шакама, лактовима, раменима, ногама, стопалима, куковима, леђима и то у виду: укочености, трњења, бола или повећане осетљивости на одређеним деловима тела, отока, слабости, хладноће, итд. Ови симптоми се не смеју схватити олако и потребно је да се посвети пажња откривању узрока, као и спровођењу одговарајућих терапија за опоравак. Ови поремећаји директно утичу на способност радника да обавља задатке и подстичу физичко оптерећење радника. Из тог разлога је јако битно да се што пре открију, јер свако одуговлачење за собом повлачи последице у виду отежаног рада или чак немогућности рада. Најчешћи МКП (дати сликом 1.8) су [7]:

- Синдром карпалног тунела
- Паркетарско колено
- *De Quervain*-ова болест – теносиновитис
- Епикондилитис – голферски и тениски лакат
- *Raynaud*-ов синдром – вибрациони синдром шаке и руке
- Бол у доњем делу леђа
- Синдром ротаторске манжетне
- Тендинитис
- Синдром напетости врата
- Прст обарача



Слика 1.8: Приказане су најчешће локације и називи мишићно-коштаних поремећаја [7].

1.1.2.2. Когнитивна ергономија

Појам когнитивна ергономија дефинисан је од стране интернационалног удружења ергономије (*international ergonomics association - IEA*). Когнитивна ергономија се за разлику од физичке ергономије бави проучавањем менталних процеса као што су: закључивање, сећање, перцепција, препознавање, моторика, итд., јер утичу на интеракције између људи и система. Неке од тема којима се бави ова грана ергономије су: ментално оптерећење, доношење одлука, вештине извођења рада, интеракција између рачунара и човека, људска поузданост, стрес на послу, обука која се односи на ергономски дизајн, итд. [12].

1.1.2.2.1. Неуроергономија

Неуроергономија је спој неуронауке и ергономије у циљу што бољег разумевања функционисања људског мозга у индустријском (пословном) окружењу. Неуронаука се бави проучавањем функција и структуре мозга, док се ергономија односно људски фактор бави интеракцијом радника и технологије на послу [18].

Неуроергономија се фокусира на проучавање нервних основа, перцептуалних и когнитивних функција, као што су: вид, слух, сећање, одлучивање, планирање у интеракцији са технологијама и поставкама у реалним условима. С' обзиром да знамо, да људски мозак комуницира преко физичког тела, можемо рећи да се неуроергономија такође бави физичким радним карактеристикама заснованих на нервној бази, као што су: померање или дизање предмета и једног од удова [18].

Главни принцип неуроергономије је да се разуме како мозак обавља свакодневне сложене функције у реалном окружењу. Разумевање функција мозга може довести и до развијања нових ергономских теорија, а самим тим и до покретања нових типова истраживања из ове области [18].

Неки од примера којима се неуроергономија бави у реалном окружењу су: рад на рачунару или другим машинама на послу или код куће, бављење неким активностима у слободно време, понашање мозга при управљању возилом, итд. На практичном ниву неуроергономија може да обезбеди повећање степена безбедности и ефикасности дизајнирања, што би било економски јако значајно за неко предузеће или генерално за индустрију [18].

Циљ неуроергономије је пројектовање безбедних и ефикасних система заснованих на интеракцији између човека и машине. Постоје примери на којима је тешко испунити овај циљ. Један од таквих примера неусклађености су аутоматизовани системи. Најчешћи пример аутоматизације система је обезбеђивање рачунарске подршке људском оператеру. Аутоматизација система пружа одређене предности у виду повећања капацитета, ефикасности и безбедности на раду, али се у исто време јављају проблеми са интеракцијом између човека и аутоматизације система. Пример Једног од ових проблема је покушај да се смањи ментално оптерећење радника аутоматизацијом система, што је тешко изводљиво, шта више, може имати и контра ефекат и само повећати оптерећење током времена [18].

Неки од примера области примене неуроергономских истраживања [17]:

- У ваздухопловству
- При вожњи аутомобила
- У Неуроинжењерингу
- У виртуалној реалности
- У неуропсихологији

2. Методе

Све методе које је потребно извести у току експеримента можемо сврстати у три различите групе:

1. Методе за праћење менталног оптерећења
2. Методе за праћење покрета
3. Методе за синхронизовање уређаја

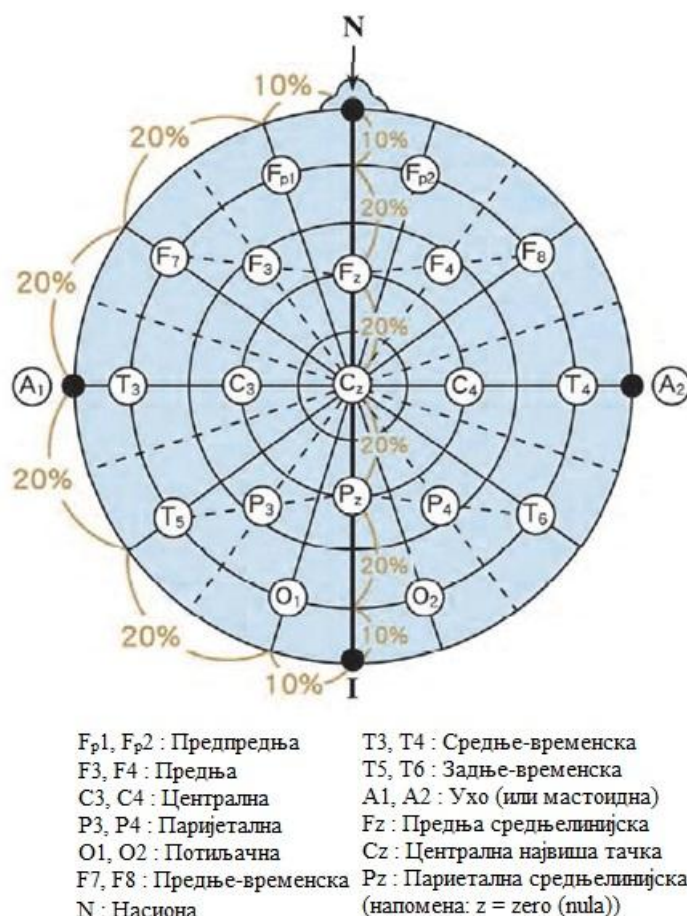
2.1. Методе за праћење менталног оптерећења

Процена менталног оптерећења се може извршити на више начина. Ментално оптерећење је показатељ способности ума да обавља сложене или једноставне функције током времена, а у складу са тим може бити повезано са радом мозга [18]. *D. Cameron* је издвојио две врсте менталног замора: акутни и хронични. Акутни ментални замор је дефинисан као замор од кога се можемо опоравити уз нормалан процес мировања, док се хронични замор не може тотално излечити кроз један нормалан одмор [14]. Неки од спољашњих фактора који могу утицати на појаву менталног замора су: пулс, исхрана, физичко здравље, животна средина, физичка активност током обављања задатака и периоди рекреације, као и њихово трајање. *Sherrington C. S.* је показао да постоји уска повезаност између електричних активности неуронских ћелија, енергије која се добија удруженим ћелијским процесима, и регионалног протока крви у мозгу. На основу тога је закључио да је могуће мерити ментално оптерећење процењивањем регионално-церебралног метаболизма и протока крви. Данас постоје савремене методе као што су: Позитронска емисиона томографија (ПЕТ) и Функционална магнетна резонанција (ФМР) које јасно одређују степен менталног оптерећења, али се ређе користе из разлога што су скупе, непрактичне и онемогућавају кретање субјекта. Најширу и највећу примену за одређивање менталног оптерећења у пракси имају ЕЕГ уређаји који постају све јефтинији и практичнији, а појавом бежичног ЕЕГ-а је субјектима чак омогућено слободно кретање током извођења експеримента [18]. Из горе наведених разлога ћемо за студију одређивања менталног оптерећења користити управо бежични ЕЕГ уређај у комбинацији са бежичним ЕДА уређајем за одређивање психофизиолошких промена и ЕКГ уређајем за одређивање варијација срчаних фреквенција.

2.1.1. Електроенцефалографија (ЕЕГ)

ЕЕГ је уређај за мерење нурофизиолошких електричних активности мозга који налази широку примену код клиничких и експерименталних неуро-снимања [33]. Електричне активности су класификоване према ритмовима који су одређени фреквенцијским опсезима [14]. Мерења електричних сигнала се могу вршити помоћу електрода инвазивном методом која се ретко користи (код које се електроде стављају директно на мозак) и неинвазивном методом која се најчешће користи (код које се електроде постављају на кожу главе). За

распоред и ознаке електрода се најчешће користи систем “10-20” (приказан на слици 2.1). Поред “10-20” стандардног система постоје и други системи, али се овај најчешће користи, јер је међународно признат [16].



Слика 2.1: На слици је приказан распоред електрода по систему “10-20”, где су позиције електрода одређене мерењем растојања између значајних тачака на глави [16].

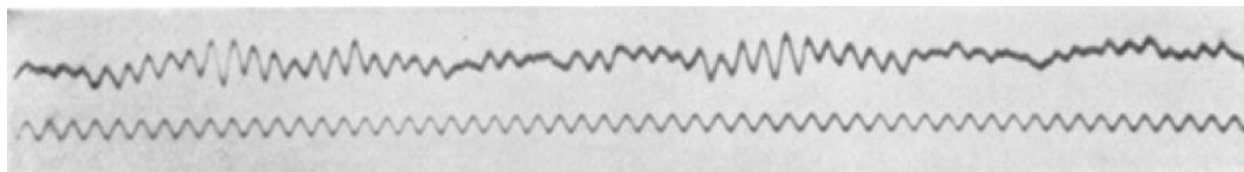
Рађена је студија која показује да при појављивању замора код људи, прогресивно долази до повећања нискофреквентних α и θ таласа. Из тога можемо закључити да је количина α и θ сигнала добар показатељ нивоа замора код људи [16].

2.1.1.1. Примена и развој ЕЕГ-а кроз историју

Први електрични сигнали емитовани из нерава мишића, регистровани су помоћу галванометра, од стране два Италијанска научника *C. Mateuchi*-ја и *E. D. B. Raymond*-а, који су и поставили концепт неуропсихологије. Неколико година касније *H. V. Helmholtz* уводи концепт “активне струје” разјашњавањем постојања негативних варијација, које се јављају као последица грчења мишића. Међутим, прва мождана активност у електричном облику,

снимљена је 1875-е године, од стране Енглеског научника *R. Caton*-а. *Caton* је такође користио галванометар, али и две електроде које је поставио на лобању људског субјекта. Од тада се назив ЕЕГ користи да означи електрично неутралну активност мозга. ЕЕГ је скраћеница за електро (односи се на регистрацију електричне моздане активности) енцефало (односи се на емитоване сигнале из главе) грам/графија (мерење/наука) [15].

Прва озбиљнија истраживања помоћу ЕЕГ-а рађена су на животињама у другој половини 19. века. *N. Cybolski* је први дао ЕЕГ доказ епилептичног напада код пса, проузрокованог електричном симулацијом. До открића о постојању људских ЕЕГ сигнала се дошло тек двадесетих година 20. века. Немачки неуролог *H. Berger* још познат и као изумитељ ЕЕГ-а је 1929-е године поднео реферат који је садржао ЕЕГ снимак на фотографском папиру, у трајању од 1-3 мин. За овај снимак је користио само једноканални биполарни метод. Поред ЕЕГ снимка, *Berger* је представио алфа талас као главну компоненту ЕЕГ сигнала. Због тога можемо чути да се алфа сигнал назива још и “Бергеров сигнал” (7.812-13.28Hz), приказан на слици 2.2. [15].



Слика 2.2: Бергеров сигнал или алфа сигнал [46].

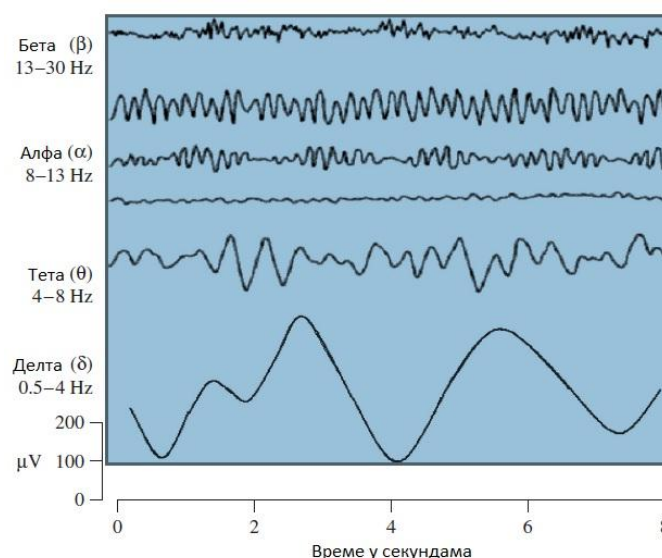
Озбиљнија истраживања са људским ЕЕГ-ом, започета су на *Harvard*-у и на Универзитету у Ајови тридесетих година 20. века. Главна истраживања су се односила на епилептичне нападе, јер су истраживања из ове области била најнеефективнија. Од тада епилептологију можемо поделити на два историјска периода: на период пре и период након појаве ЕЕГ-а. Било је још Северно-Америчких научника који су међу првима проучавали ЕЕГ у различитим областима, на пример: *D. Hallowell* је први проучавао човека док спава помоћу ЕЕГ-а, затим *A. L. Loomies*, *E. N. Harvey* и *G. A. Hodart* су први поставили математичке ЕЕГ обрасце и одредили фазе спавања. Итд. На *McGill* универзитету, Амерички научник *H. H. Jasper* је проучавао понашање поремећаја, пре него што је пронашао себе у основној и клиничкој епилептологији. 1947-е године је чак основано Америчко друштво ЕЕГ на првом међународном ЕЕГ конгресу одржаном у Лондону. У то време се осим на Америчким универзитетима, ЕЕГ проучавао и у Немачкој, с’ тим што су студије ивођене само у Берлину. У Азији су прва истраживања почела у Јапану, са *S. Motoki*-јем на челу. Током 50-их година 20. века ЕЕГ се проширује на много различитих места. Обе године су обележене: хируршким уклањањем жаришта епилепсије и првом књигом о ЕЕГ-у под називом “Епилепсија и функционална анатомија људског мозга” од *W. Penfield*-а и *H. H. Jasper*-а. У међувремену су откривене и унутарћелијске микроелектроде које су представљале технолошку револуцију за ЕЕГ. Првенствено су се користиле за проучавање кичмене мождине [15].

Анализе ЕЕГ сигнала су почеле у раним данима ЕЕГ мерења. *Berger* је још тридесетих година примењивао Фуријеову анализу на ЕЕГ секвенцама, која је тек 50-их година додатно развијена. Поред ове анализе је рађена и анализа поремећаја сна на универзитету у Чикагу. Шездесетих година су почеле ЕЕГ анализе са превремено и на време рођеним бебама [15].

Сажето гледано, историја ЕЕГ-а је почела почетком 14. века и у континуитету траје и развија се чак и данас. Откриће и развој ЕЕГ-а су довели до развоја клиничких, експерименталних и рачунарских студија за лечење, откривање и препознавање великог броја неуролошких и физиолошких аномалија мозга и остатка централног нервног система. Данас су ЕЕГ уређаји садрже: много алата за обраду сигнала, електроде за деликатна и прецизна мерења и довољно меморије да се направе дуготрајни снимци. Све у свему ЕЕГ се првенствено користио у медицинске сврхе [15].

2.1.1.2. Мождани таласи

Многи мождани поремећаји могу бити откривени прегледом ЕЕГ сигнала. Код здравих одраслих особа, амплитуде и фреквенције сигнала се мењају на основу промене стања код човека, на пример: сан и јава. Карактеристике можданих таласа се такође мењају током година. Постоји пет карактеристичних типова можданих таласа (приказани су на слици 2.3), који се разликују према опсегу фреквенције, то су: алфа (α), тета (θ), бета (β), делта (δ), гама (γ) [15].



Слика 2.: На слици су приказани облици четири најдоминантнија таласа (α), бета (β), делта (δ), тета (θ) [15].

α талас је представио *Berger* 1929-е године. Јављају се у задњем делу главе и обично се могу детектовати преко целе оксипиталне регије мозга. α таласи се крећу у опсегу од 8-13Hz и обично се јављају у округлом или синусоидалном облику сигнала, а некада могу бити и

оштрог облика. Овај талас је најдоминантнији од свих можданих таласа и може се десити да се креће и у већем опсегу од претходно наведеног (8-13Hz). При свом врхунцу могу достићи вредност и до 20Hz, а да се при том јасно види да је карактеристика више у стању α , него бета. Порекло алфа таласа је и даље непознато науци, али се зна да потичу из коре хелија [15].

θ таласе су открили *W.G. Walter* и *V. J. Dovey* 1944-е године. Крећу се у опсегу од 4-7.5Hz. Јављају се кад човек улази у стање поспаности и често су праћени другим фреквенцијама, па изгледа као да су у вези са нивоом узбуђења. θ таласи играју важну улогу у најранијем детињству код деце. За одрасле особе није нормално да имају веће контингенте ових таласа, уколико постоје, вероватно су изазвани разним патолошким проблемима [15].

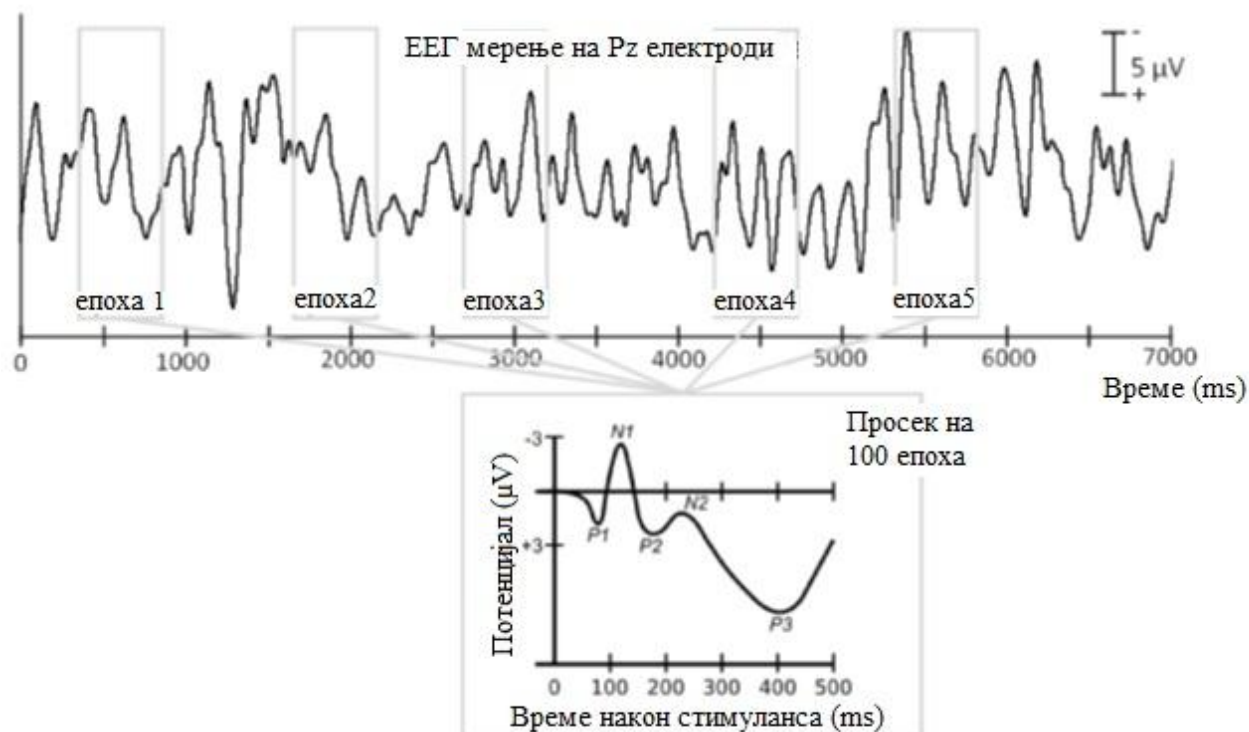
β талас је као и α представио *Berger* 1929-е. Овај талас се углавном јавља у будном стању мозга и везује се за свакодневне активности човека попут: активног размишљања, активног одржавања пажње, фокусирања на спољашњи свет, на решавање конкретних проблема, итд. Овај талас се јавља у опсегу од 14-26Hz. Висок ниво β таласа можемо видети када се човек успаничи [15].

δ талас је представио *W. G. Walter* 1936-е године да би означио све фреквенције испод опсега α таласа. Опсег δ таласа је од 0.5-4Hz. Ови таласи су првенствено везани за стање дубоког сна, али се могу јавити и у будном стању [15].

Термин “ γ талас” су први пут употребили *H. H. Jaspers* и *H. Andrew* 1938-е године да би описали талас фреквенције изнад 30Hz. Углавном се крећу до 45Hz, а још их називају и “брзи γ таласи”. Амплитуде ових таласа су веома ниске, а појаве ретке. Појава ових таласа би могла означити постојање неке мождане болести [15].

2.1.1.3. Потенцијали везани за догађаје (*Event-related potentials - ERP*)

ЕРП су први пут објашњени 1964-е године, а показали су се као одличан дијагностички алат у психологији и неурологији. Такође су широко употребљавани у интерфејсима мозак-компјутер [15]. ЕРП су одговори у мозгу који се јављају услед специфичних моторних, сензорских или когнитивних догађаја [33]. ЕРП-ови су прилично мали (1-30mS) и зато постоје посебни поступци за вађење ЕРП-ова из ЕЕГ сигнала [15,33]. Најједноставнији начин за вађење ЕРП-ова је да се направи просек преко скупа пробних догађаја, чиме би се истакла интересна активност, а уједно отказали други нервни процеси и бука (приказано на слици 2.4). Основне карактеристике ЕРП сигнала су: амплитуда, кашњење и просторна расподела специфичних ЕРП компоненти. Ове ЕРП компоненте могу бити са позитивним (П) или негативним (Н) одступањима која чине ЕРП таласни облик. Уз ознаку П или Н иде и број који означава време (mS) након стимуланса. Амплитуда и кашњење су компоненте које реагују под утицајем стимуланса физичких атрибута (нпр. интензитета) и дешавају се у 100 mS након стимуланса [33].



Слика 2.4: На слици је дат поступак пресека за вађење ЕРП-ова [33].

2.1.2. Електродермална активност (ЕДА)

Термин ЕДА су први увели *Johnson* и *Lubin* 1966-е године, да би означили све електричне појаве у кожи, укључујући сва активна и пасивна електрична својства која се могу пратити на кожи. Постоје два типа ЕДА снимања: ендосоматична и егзосоматична. Ендосоматична снимања се врше без примене спољашњих струја, јер само снимају разлике потенцијала који потичу из коже. А егзосоматична снимања се врше применом једносмерне струје (ЈС) или применом наизменичне струје (НС) на кожу. ЕДА се евидентирају директно у јединицама проводљивости коже, док се јединице отпорности коже добијају при константној струји. Треће слово код електродермалне јединице се може односити на ниво (Н) односно на тоничне ЕДА (ЕДН – Електродермални ниво) или на одговор (О) односно на периодичне ЕДА (ЕДО – Електродермални одговори) [43].

Некада су се ЕДА у литератури означавале као “Галванска реакција коже – ГРК” (*Galvanic skin response - GSR*), али се тај термин више не користи из неколико разлога. Као прво, термин ГРК означава кожу као галвански елемент. Друго, електродермални одговори се посматрају као врста рефлекса, чиме се не обухватају ни спонтани, ни психолошки ЕДА. Као треће и најважније је да је термин ГРК коришћен за све електродермалне појаве у целини, укључујући и тоничне ЕДА, што доводи до двосмислености појма [43].

Први ЕДА експеримент је спровео *E. D. B. Reymond* у Немачкој 1849-е године. Он је извео студију уз помоћ неколико партиципаната којима је стављао цинк-сулфат на руке или ноге и уочио је појаву електричне струје која се креће кроз удове у стању мировања, али су научници ову студију одбацили сматрајући да је та појава последица акционог потенцијала из мишића. Међутим, есенцијално откриће електродермалног феномена се преписује двојници научника који највероватније нису били ни свесни један другог, а то су: Француски неуролог *Fe' Re'* (1888) и Руски физиолог *I. R. Tarchanoff* (1889). *Fe' Re'* је користио спољашње једносмерне струје и при том је уочио смањење реакције коже након сензорске или емоционалне стимулације код хистеричних пацијената. *I. R. Tarchanoff* није користио егзосоматичну методу као *Fe' Re'*, већ је користио ендосоматичну снимајући електродермалне промене услед сензорских стимулација, маште, очекивања, грчења мишића, менталне аритметике, итд. [43].

Напредак технологије је довео до развоја опреме за снимање ЕДА, а прве студије са том опремом су рађене на мачкама, које су уједно једини нељудски примати на којима се рађени ЕДА истраживања. Сматра се да је ЕДА методологија данашњице добро основана [43]. Ширење употребе ЕДА методологије при психофизиолошким истраживањима довело је до повећаног броја објављивања разних научних радова из ове области. О томе нам сведочи и податак да се ЕДА мерења сматрају једном од највише коришћених метода мерења. Поље примене ЕДА се последњих деценија проширило и на област психофизиологију инжењерства, а за те потребе је било неопходно изградити практичније уређаје који би могли да се користе у ван-лабораторијским условима и који не би ометали раднике при обављању одређених задатака [43].

2.1.2.1. Методе ЕДА мерења

Распознајемо три основне различите методе ЕДА мерења [21], а то су:

- ЕДА метода без примене спољашњих струја (може бити ендосоматична метода или једна од две егзосоматичне).
- ЕДА метода са применом једносмерне струје (ЈС), помоћу електрода које се постављају на кожу.
- ЕДА метода са применом наизменичне струје (НС), помоћу електрода које се постављају на кожу.

Најненаметљивија метода ЕДА мерења је метода ендосоматичних електродермалних одговора. Овај поступак мерења се може различито одразити на разне процесе током фазичне ЕДА, а при том захтева додатно појачање система, а то појачање се може вршити помоћу ЕЕГ-а, појачала једносмерне струје (за ЈС случајеве), електромиограмских (ЕМГ) појачала, која имају довољно велику улазну импедансу. Још једна од већих мана им је: компликовано тумачење потенцијалних одговора коже (*skin potential response - SPR*) [21].

Најширу примену за посматрање тоничних и фазичних електродермалних феномена, дефинитивно има егзосоматична метода са применом ЈС, која има константан напонски систем. Код ове методе може доћи до поларизације електрода (што је негативна карактеристика код ових метода), чак и уз примену неполаризујућих $Ag/AgCl$ електрода [21].

При мерењима коришћењем методе са НС заобилазимо проблеме са поларизацијом, које се јављају код метода са ЈС. А то би у истраживачке сврхе могло довести до одређивања могућих капацитивних промена оба електродермална нивоа [21].

2.1.2.2. ЕДА електроде

Електроде сачињавају биомедицински систем сензора. ЕДА електроде су обично израђене од метала, мада могу бити и од других материјала, на пример: карбона. За методе са ЈС снимањима је јако битно да се користи исти материјал за обе електроде (поготову ако је у питању метал), јер ће се потенцијалне разлике генерисати због различитих фаза корозије на обе. Ове разлике могу изазвати контраелектромагнетно поље, које би довело до поларизације електрода [21].

Снимања ЕДА могу захтевати специјалну додатну опрему у виду: специјалних електрода, гела за електроде и уређаја за снимање. Реткост је да се за ЕДА мерења користи стандардна опрема, а то су углавном случајеви код ендосоматичних мерења. Чак и та мерења захтевају посебан избор и припрему неактивне стране за снимање [21].

Код ендосоматичних снимања се електроде користе да покупе напоне између одређених локација на кожи. Ове електроде нису поларизоване, јер не носе наметнуту струју [21].

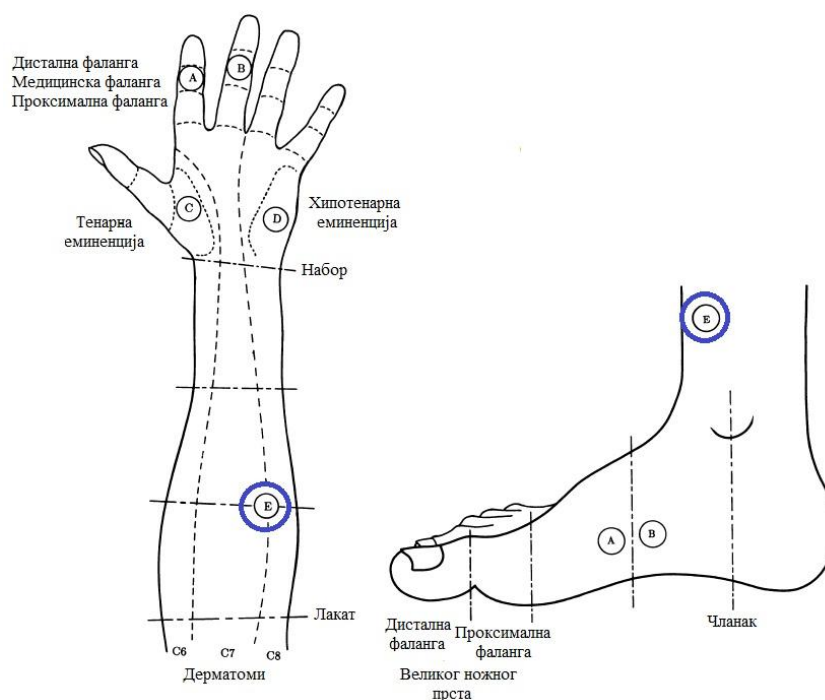
Код егзосоматичних снимања са једносмерном струјом, пар електрода се везује на спољашњи напон од 0.5V. Електроде тада преносе једносмерну струју и почињу да се понашају као анода и катода у електричном систему [21].

Код егзосоматичних снимања са наизменичном струјом се најчешће користе стандардне $Ag/AgCl$ (сребро/сребро-хлорид) електроде, у циљу тежње ка минималним могућностима појаве поларизације, али и присрастрасности између електрода. $Ag/AgCl$ електроде су комерцијално доступне, а могу служити и за вишеструку употребу, јер им површина може бити брушена више пута. Ове електроде су доста скупље од електрода $Ag/AgCl$ електрода за једнократну употребу [21].

Фиксирање електрода се може обавити на више начина, али је најпопуларнији помоћу лепљиве траке, тачније налепнице у коју је утиснута електрода. Може се десити да постоји потреба за додатном траком, као на пример: У случајевима код којих се јавља повећано знојење коже. Приликом постављања електрода треба обратити пажњу и на каблове који спајају електроде са конектором, јер може доћи до случајног повлачења или извлачења

каблова и тиме доћи до померања електрода са унапред одређених локација или једноставно до прекида везе. Због оваквих случајева се превентивно користи помоћна лепљива трака, којом би се фиксирали каблови. Ово је један од разлога што су електроде за једнократну употребу боље. Код електрода за једнократну употребу су прикључци са конектором удаљени од електрода. Такође имају одличан систем фиксирања, а и хигијенски и антиалергијски су бољи, јер не постоји могућност да их користи једна особа више пута, већ се бацају након употребе. Такозвани “предгелни“ модели имају додатну предност, с тим што треба водити рачуна да тај гел буде предвиђен за ЕДА електроде (јер гел за ЕКГ или ЕЕГ неће одговарати). Одабир електрода, жица и електролита зависи од врсте мерења. Углавном је свеједно за мерења која се врше у трајању од 30-60 минута, док је за нека дуготрајнија мерења потребна специјална опрема [22].

Постоји више локација за постављање електрода, а оне се одређују на основу врсте ЕДА снимања. На (слици 2.5) су дате неке од локација за постављање електрода на нози и руци [22].



Слика 2.5: На слици су приказане препоручене локације за постављање електрода на нози и руци, с тим што су локације уоквирене плавом бојом предвиђене само за ендосоматична снимања [22].

2.2.1.2.1. Препоруке за ЕДА електроде

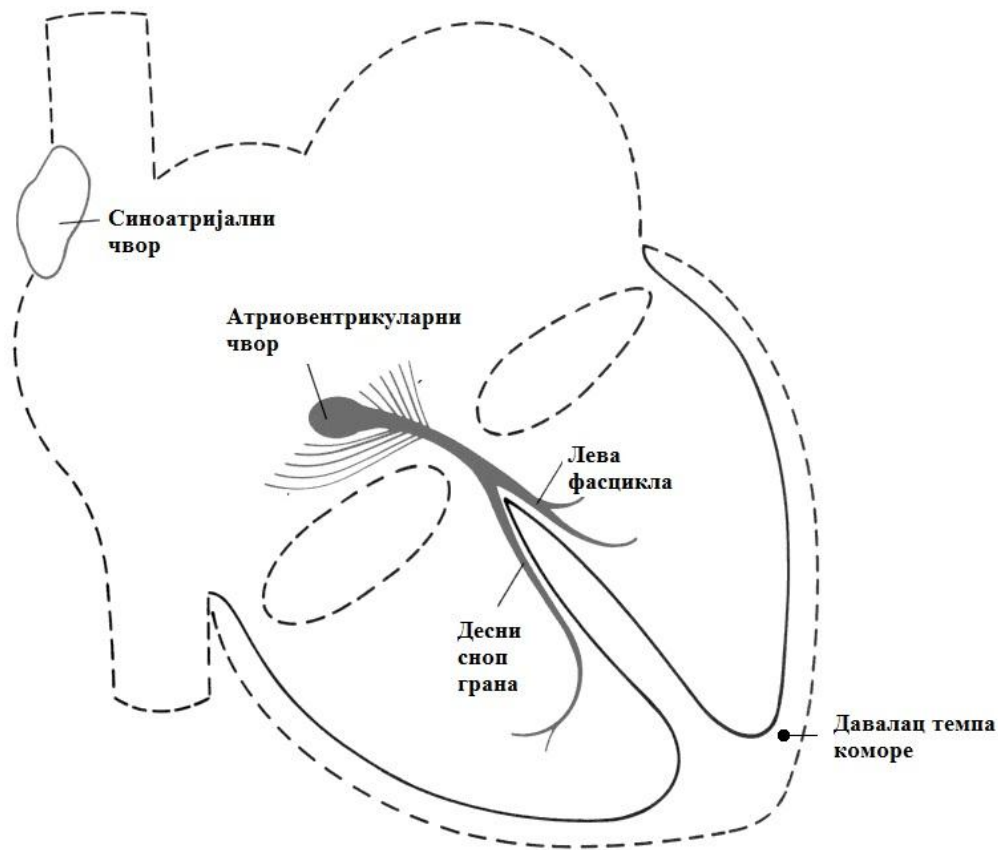
Препоруке за електроде код три технички различита типа мерења [21]:

- Електрорде за снимање потенцијала без струја: тачније без примене једносмерних струја, све електроде служе само за мерење ендосоматичних напона, док је тренутни проток струје занемарљив. Битно је да мерени напон буде низак, најпожељније је да буде испод вредности од 1mV. Такође се препоручује и низак ниво струјања код електрода.
- Електроде за егзосоматична снимања применом једносмерних струја: Сензор система за електродермална снимања се састоји најмање од две електроде које би требало да буду једнаких својстава. Пре постављања је неопходно урадити напонски тест, да би се проверио полу-ћелијски потенцијал и степен пристрасности. Тест се врши променом једносмерног напона и протока струје и помоћу две електроде супротно поларизоване. Ниво струје ће постепено опадати, јер ће електроде створити контра електромагнетно поље, због електролизе. *Ag/AgCl* електроде су стабилније и полако смањују проток струје, ато су уједно и разлози због којих се препоручују.
- Електроде за егзосоматична снимања са наизменичном струјом: Допринос металних електрода при мерењу импедансе коже и није толико битан за снимања са наизменичном струјом. Импеданса за влажне гел-електроде је реда 400W/cm² на 1Hz, али се дешава да буде и нижа, уколико су у питању грубље површине.

2.1.3. Електрокардиограм (ЕКГ)

Током последњих 20 година, дошло је до повећаног интересовања за проучавањем пулсева, познатијих као варијације срчаних фреквенција (ВСФ). Пулсне промене су кључни показатељ кардиоваскуларног стања појединца и одређују се помоћу ЕКГ-а [46].

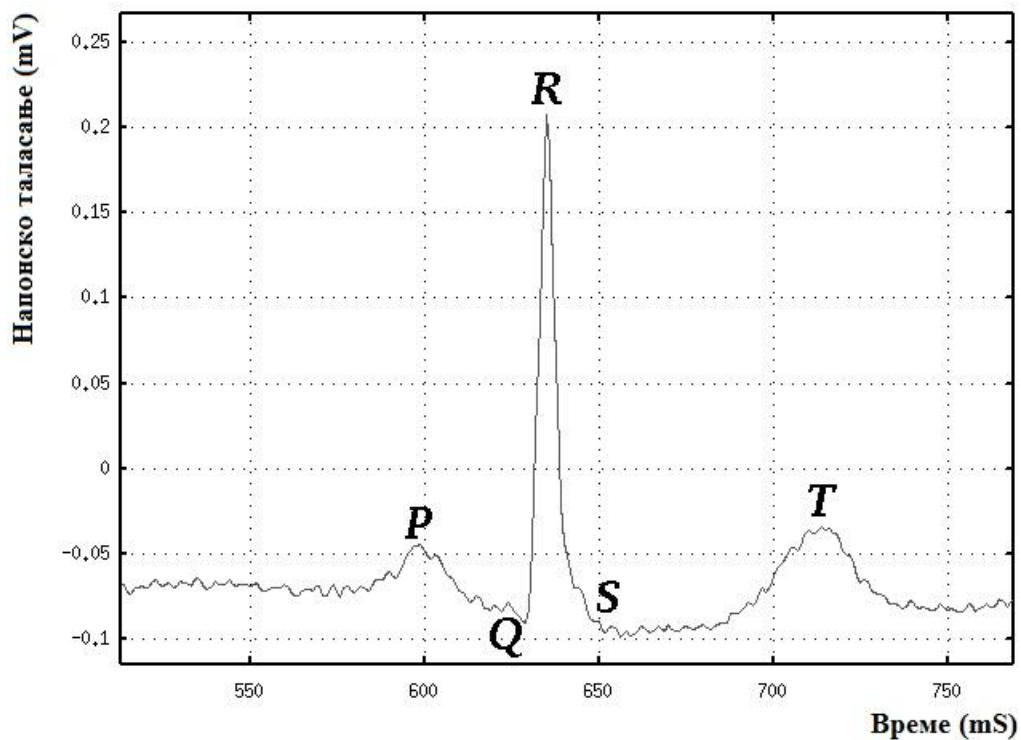
Људско срце се контролише од стране низа електричних пражњења из специфично локализованих чворова у оквиру срчаног мишића. Ова пражњења се простиру кроз срчани мишић и стимулишу контракције да би се пумпала деоксидована крв преко плућа и назад до васкуларног система. С'тога се физичка активност срца индукује помоћу локалне периодичне електричне стимулације (извор електричне стимулације приказан је на слици 2.6). Као резултат физичке активности срца, региструје се промена потенцијала реда 1mV измерена током срчаног циклуса између две електроде, а тај регистровани сигнал називамо ЕКГ [46].



Слика 2.6: Извор чворова електричне симулације у срцу [46].

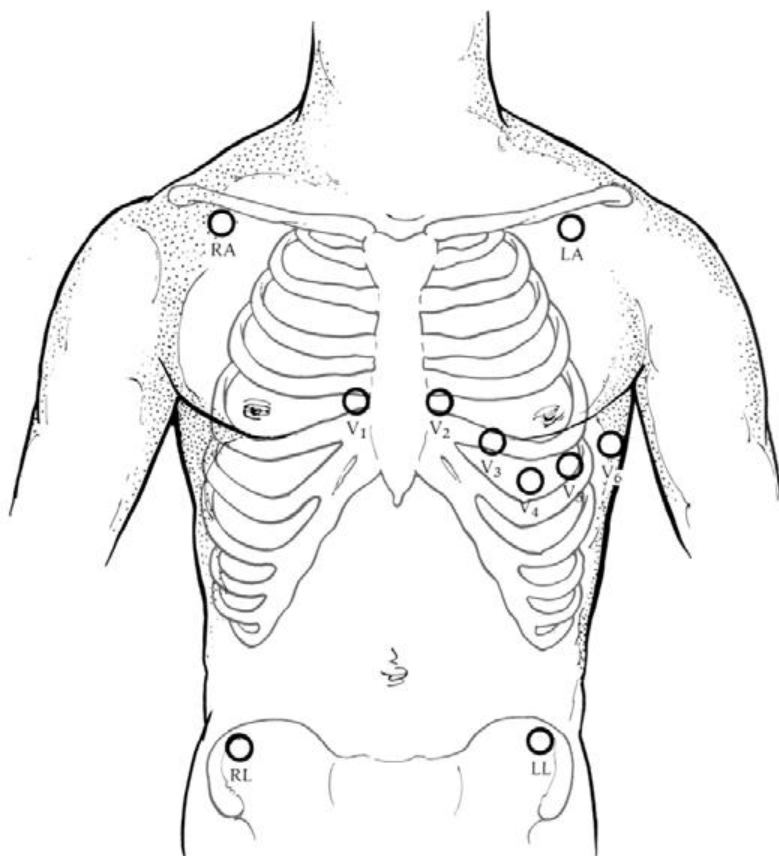
Таласни облик ЕКГ-а се састоји из три карактеристична таласа: иницијалног “*P*” таласа, главног “*QRS*” комплекса таласа и пратећег “*T*” таласа (приказано на слици 2.7) [46].

- “*P*” талас представља нисконапонско таласање проузроковано диполаризацијом преткоморе пре контракције.
- “*QRS*” комплекс је део највеће амплитуде ЕКГ-а изазван диполаризацијом коморе.
- “*T*” талас настаје реполаризацијом коморе.



Слика 2.7: На слици је приказана једна секунда типичног ЕКГ облика таласа за један откуцај срца [46].

ЕКГ снимања се врше помоћу електрода које се постављају на одређене локације у пределу грудног коша. Избор тачне локације за постављање електрода зависи од потребе. Из тог разлога је уведено 10 стандардних локација за постављање електрода за 12 различитих ЕКГ снимања (приказано на слици 2.8) [46].



Слика 2.8: Десет стандардних локација за 12 различитих ЕКГ снимања [46].

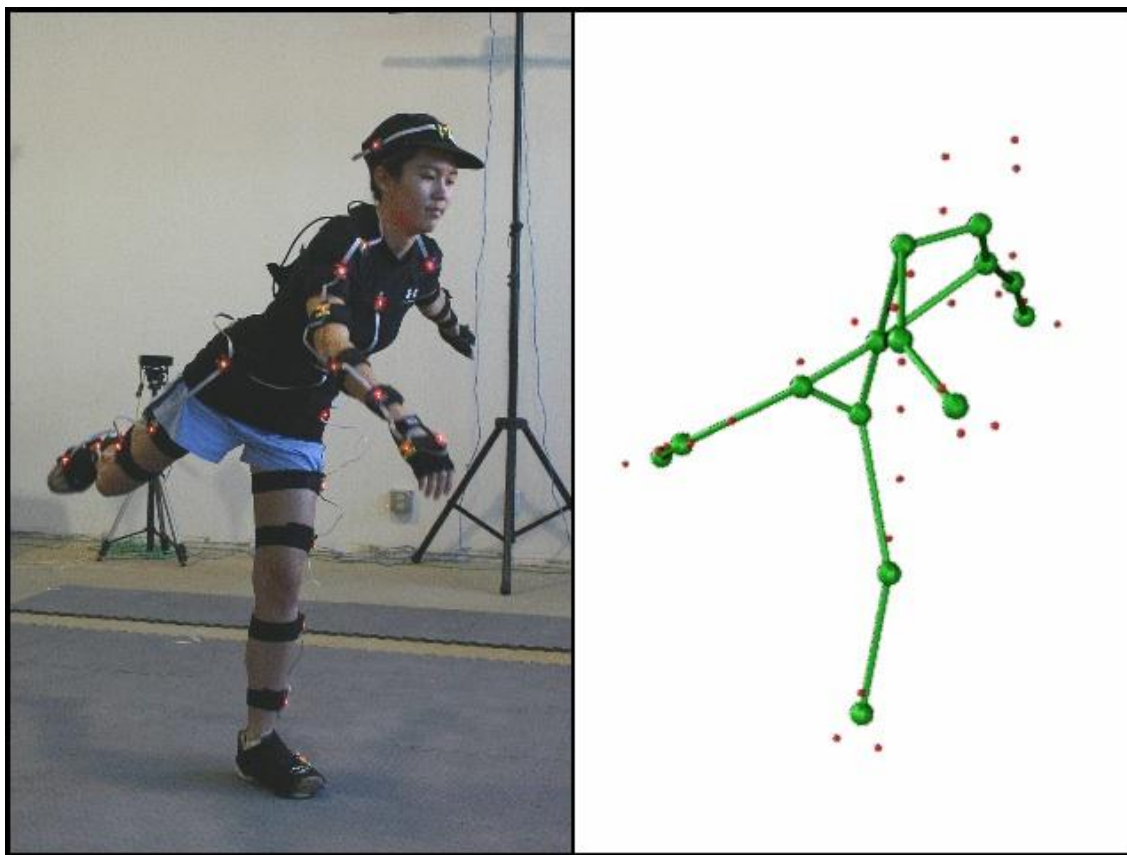
2.2. Методе за праћење покрета

1995-е године су Америчке компаније одвојиле преко 50 милијарди долара само за одштете и компензације радницима који су задобили повреде на раду [23]. У циљу смањења повреда и мишићно-коштаних поремећаја, истраживачи су појачали интересовање за праћењем покрета. На самом почетку су почели наилазити на проблеме, јер је ова метода ограничена на мали број ергономских анализа током одређеног временског периода [24]. Тек су нешто касније откривени уређаји који могу пратити и снимати покрете у тродимензионално систему.

Системи за праћење и снимање покрета снимају и прате произвољне покрете субјекта. Области коришћења ових система су првенствено биле: анимирани филмови и видео игре, а касније су проширене на области везане за спорт, а и на медицину [25]. Генерално гледано, постоје три врсте система за праћење и снимање покрета [25].

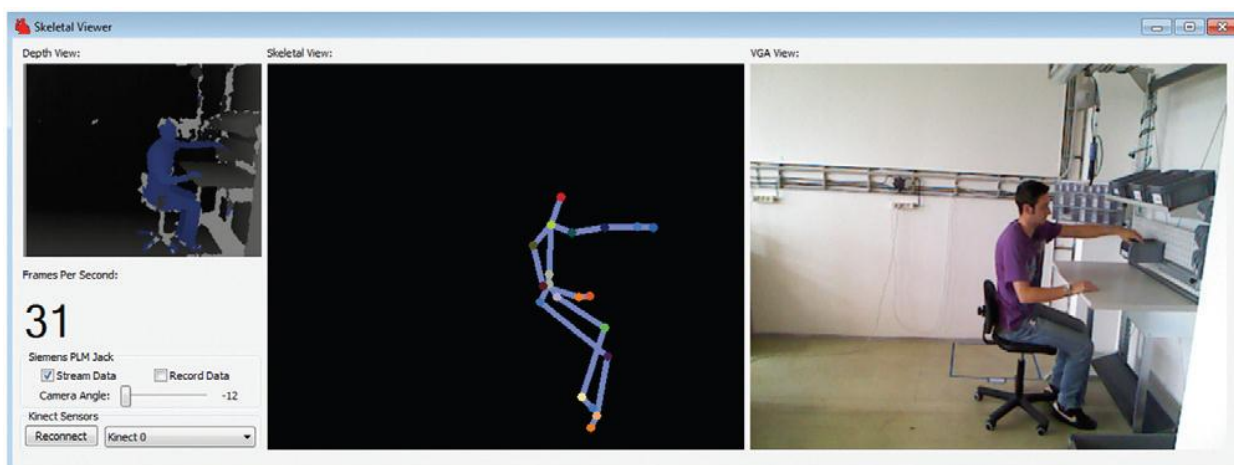
- Систем на бази маркера (приказан на слици 2.9) се базира на принципу постављања маркера на унапред одређене локације на телу субјекта. Маркери су тако дизајнирани, да буду лако уочљиви објективом камере, а онда софтвер лако

препознаје делове тела и прецизно одређује кретање. Мана овог система је што маркери могу ограничити опсег кретања субјекта. Још једна мана је што корисник мора направити калибрациони корак при ком сам ручно дефинише који маркер припада ком делу тела, што додатно повећава време припреме.



Слика 2.9: На слици је приказано праћење и снимање покрета субјекта који на телу носи маркере, односно приказан је систем за праћење покрета на бази маркера [26].

- Систем за праћење покрета без маркера (приказан на слици 2.10) не захтева ношење маркера, као што и сам назив каже. Примери ових уређаја су: *OrganicMotion* (*Organic motion* - <http://www.organicmotion.com/motion-capture/>), *Openstage* (*Unify* -), *MS Kinect* (*Microsoft* - <http://wiki.unify.com/wiki/OpenStage>), *Leap motion* (*Leap* - <https://www.leapmotion.com/>), итд. Код ових система се калибрациони корак састоји само од усвајања унапред дефинисане калибрационе позе и то у трајању од неколико секунди, а понекад чак ни то није потребно. Ови системи такође имају мане, на пример: *Openstage* има ограничење у виду окружења, јер је неопходно да се праћење и снимање покрета врши у затвореном простору са белим зидовима и белим или зеленим подовима. *MS Kinect* захтева праћење и снимање субјекта само са предње стране, итд.



Слика 2.10: На слици је приказано праћење субјекта помоћу система за прћење и снимање без маркера [24].

- Најбољи пример класичних система за праћење иснимање покрета су *Xsens* (*Xsens* - <http://www.xsens.com/>) системи (пример система је дат на слици 2.11), који захтевају да субјекат носи инерцијалне или флекс сензоре. Ови сензори се користе за мерење механичких променљивих, као што су брзина, убрзање, савијање, итд. Код ових система, системи за обраду слике и камере нису потребни, јер се сав рад заснива на снимању помоћу сензора. Из тог разлога се у оваквом систему може јавити велика апсолутна грешка. Такође као и системи засновани на маркерима имају ограничење кретања и неопходно је спроводити компликован калибрациони корак, што додатно отежава постављање.



Слика 2.11: На слици је приказан пример *Xsens* система за снимање покрета без камере, који би могао да се искористи за неку видео игру или анимирани филм [30].

Према овим карактеристикама најбољи системи за праћење покрета су системи без маркера. Из тог разлога и налазе све ширу и масовнију примену. Цена им је приступачна и лако се постављају [25].

За експеримент ћемо користити *MS Kinect* и *Leap Motion* уређаје који су сасвим довољни да би се испратили покрети радника који обавља неки задатак, а практични су и неће ометати радника при извођењу одређеног задатка.

2.2.1. *Kinect*

Kinect уређај служи за праћење и снимање људских покрета и првобитно је био осмишљен за конзолу *Xbox 360* предвиђену за видео игре, а на тржиште је пласиран у мају 2012-е године. Верзија коју је *Microsoft* пласирао те године је била предвиђена само за оперативни систем *Windows 7* (*Windows 8*). Уз ову верзију је објављен и пакет за развој софтвера који пружа могућност развијања апликација за *Kinect* помоћу програмских језика *C#*, *C++* или *Visual Basic*, што је довело до проширења области примене *Kinect*-а [24].

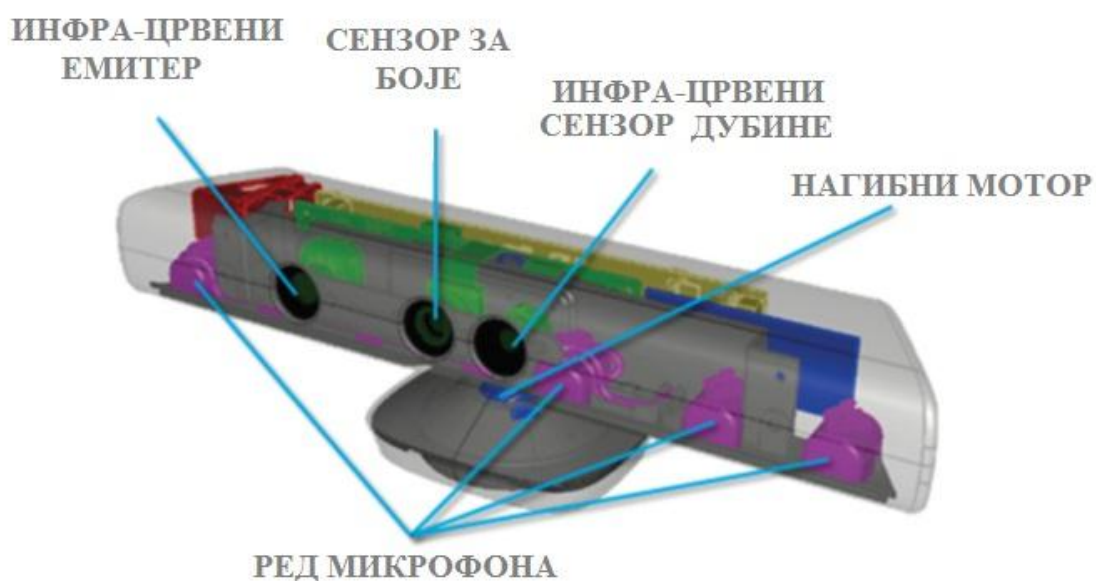
Поред примене у свету видео игара и анимираних филмова, и примене у студијама везаним за медицину, спорт, хемијску индустрију, познати су и примери примене везани за ергономију и машинску индустрију. Један од таквих примера је Тојотин покушај да се уведе систем контроле робота помоћу *Kinect*-а [27]. Или на пример: случај везан за ергономију, где је рађена студија мускулоскелетарних поремећаја на раду при подизању терета [23]. Такође је позната још једна интересантна студија из области ергономије, где је рађена класификација положаја људског тела при обављању послова [28]. *Kinect* је иначе јако погодан за ергономске анализе, из тог разлога што је прилично јефтин, а и поуздан само на основу повезивања софтвера уређаја са алатима за ергономске анализе [24]. Поред тога *Kinect* пружа могућност лаке аквизиције, класификације и анализе понављања људских покрета, који је од кључног значаја ергономским практичарима за процену постуралног оптерећења [29]. За *Kinect* постоји посебан софтвер за симулирање процеса који служи за побољшање производног процеса и дизајна производа, што додатно може смањити време потребно за извођење ергономских анализа на радном месту [24].

Kinect се састоји из три основна дела (са унутрашњим приказом на слици 2.12a и спољашњим приказом на слици 2.12b): RGB камере², сензора дубине³ и микрофона који прикупља звук из више праваца (може препознавати гласове на основу звука и разликује

² Камера која снима три основне компоненте боја и тиме и омогућава праћење и снимање људских покрета

³ Инфрацрвени пројектор у комбинацији са црно-белим *CMOS* сензором који омогућава тродимензионално просторно снимање у било каквим осветљеним условима

буку из окружења). Поред ових главних делова садржи и троосни мотор, који му омогућава покретање по све три осе [24].

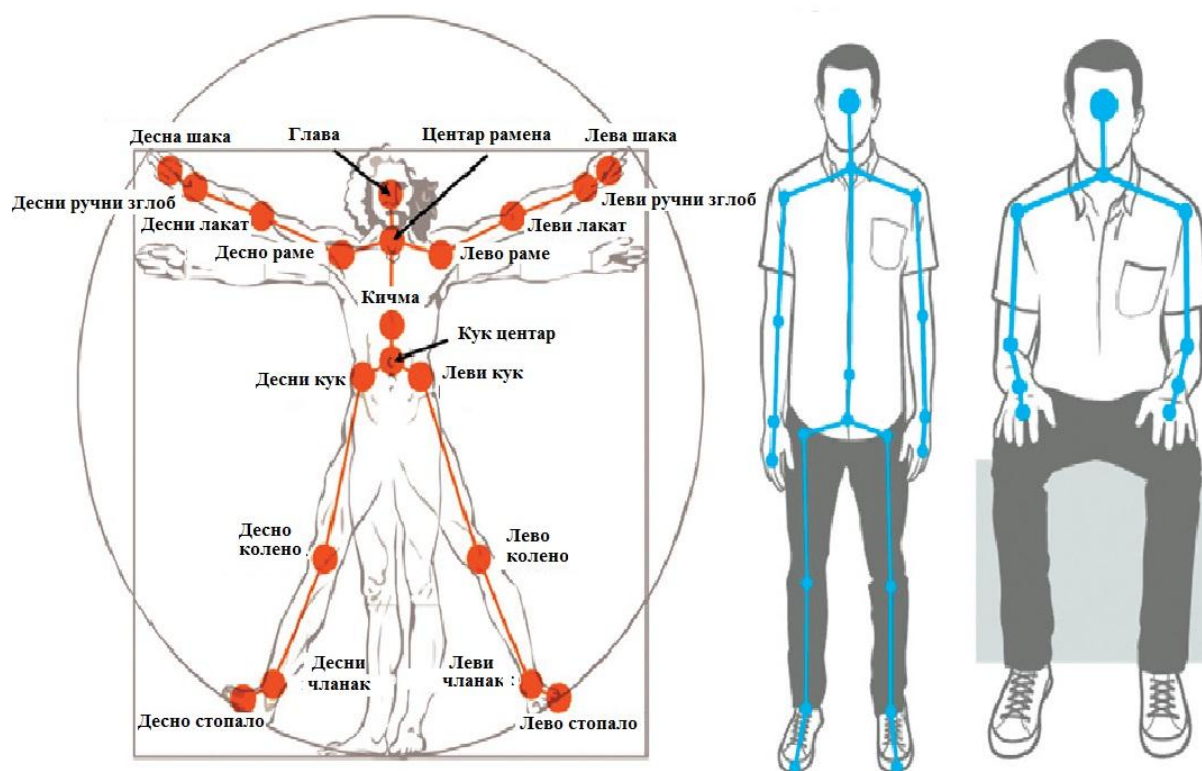


Слика 2.12a: На слици је дат модел *Kinect*-а са унутрашњом структуром [24].



Слика 2.12b: На слици је дат Спољашњи приказ *Kinect*-а [23].

Скоро одмах након појављивања *Kinect*-а на тржишту, Сименс представља верзију алата који повезује *Kinect* са софтверским пакетом “*process simulat*” (симулирање процеса). Апликација за скелетално праћење се користи за пренос кретања са правог човека на модел човека у дигиталном окружењу *process simulat* софтвера. *Kinect* има могућност препознавања до шест особа у свом видокругу и свих шест особа може пратити и снимати. Када човек стоји апликација препознаје 20 зглобних тачака, а када седи 10 зглобних тачака (комбинација зглобних тачака при оба положаја слика 2.13). Ова апликација може препознавати и лица корисника. Апликација за скелетално праћење може распознавати да ли човек седи или стоји, у зависности од положаја тела детектује број зглобова.



Слика 2.13: На слици је приказан распоред зглобних тачака на телу и њихова видљивост при седећем и стојећем положају тела [24].

2.2.2. *Leap Motion*

Leap Motion је уређај који су осмислили *David Holz* и *Michael Buckwald*, као иновативни производ за рачунар, где није потребно управљати помоћу физичких компоненти попут миша и тастатуре. Откривање овог уређаја је корисницима омогућило олакшан рад на рачунару, једноставним покретима шаке. Ради се о једном малом уређају, димензија: висине 1.27cm, ширине 3.04 cm, дубине 7.62 cm, тежине 45g (Величина је дата сликом 2.14) [47]. Унутар њега се налази контролер са инфрацрвеним камерама које прате покрете свих 10 прстију (приказано на слици 2.15) у опсегу од око 2 кубна метра, уз минимално кашњење. Велика предност овог уређаја је што је цена јако приступачна купцима [32].

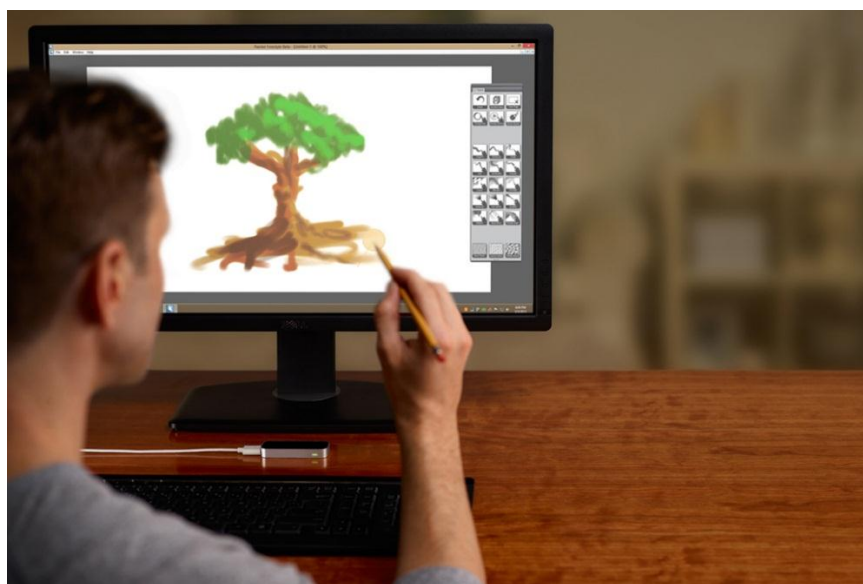


Слика 2.14: На слици су приказани изглед и величина *Leap Motion* уређаја [35].



Слика 2.15: На слици је дат приказ мускулатуре шака коју детектује сензор *Leap Motion* уређаја, такође приказан на слици [36].

Овај уређај проналази примену у доста различитих категорија: од видео игрица, образовања и уметности, апликација за цртање и 3D моделирање, па до вршења најједноставнијих основних операција на рачунару [34]. Тренутно се спроводе експерименти везани за мобилне телефоне, медицинску опрему и аутомобиле [32]. Оно што је нама најинтересантније је могућност употребе *Leap Motion*-а при вршењу ергономских анализа. Помоћу *Kinect*-а можемо уочити да ли је промена изазвана покретом шаке, али не и којим тачно покретом. Ту *Leap Motion* налази савршену примену у експерименту, јер је рад овог уређаја заснован на покретима шаке што нам даје могућност да пратимо стисакања која радник изврши при обављању задатака (приказано је на слици 2.16).



Слика 2.16: На слици је дат пример обављања функције где човек користи оловку да би цртао [38].

2.3 Метода синхронизације

Термин синхронизација се везује за две или више радњи које су у вези. Најчешћи примери синхронизације су синхронизовани филмови код којих је неопходно ускладити тон са сликом [48]. Потреба за синхронизацијом се први пут јавила 1927-е године када се појавио први звучни филм, јер је филм требало превести на друге језике као би се дистрибуирао у другим земљама [37].

За извођење ове студије се користи пет уређаја, од тога три за мерење промена код човека, а два за праћење покрета при обављању задатка. Да би одредили време, узрок и корелацију

појаве менталног замора неопходно је да сви уређаји буду прецизно синхронизовани. Такође треба узети у обзир да се ради о бежичним уређајима код којих се пренос подарака углавном врши преко *bluetooth*⁴-а. Самим тим се подразумева да постоји одређено кашњење при преносу података код сваког уређаја засебно. Овај проблем кашњења се може решити помоћу *Lab streaming layer* система.

2.3.1. Lab streaming layer

Lab streaming layer (LSL – у даљем тексту ЛСЛ) је систем за обједињено прикупљање серијског мерења времена у истраживачким експериментима који користе обе врсте временског умрежавања и временску синхронизацију, и приступ реалном времену, као и опционо и централизовано прегледање и снимање података на екстерну меморију [44].

Дистрибуција ЛСЛ-а се састоји из [44]:

- Библиотеке и њених програмско-језичких интерфејса (*C*, *C++*, *Python*, *Java*, *MATLAB*). Библиотека је опште намене и подржава више оперативних система (*Windows/Linux/macOS*, *32/64bit*). И формира срце пројекта.
- Пакета алата израђених на врху библиотеке укључујући и програм за снимање, онлајн гледаоце, увознике, апликације које чине податке из опсега дозвољене аквизиције хардвера на мрежи лабораторије (На пример: аудио, ЕЕГ, праћење покрета)

3. Поставка експеримента

Идеја је била да се експеримент спроведе на реплицираном радном месту из индустрије на коме радник обавља репетитивне функције. Простор за извођење експеримента је обезбеђен у једној од лабораторија на Факултету инжењерских наука. Предвиђено је да радник на себи носи бежичне уређаје и да се прати и снимата сваки његов покрет током одређеног времена.

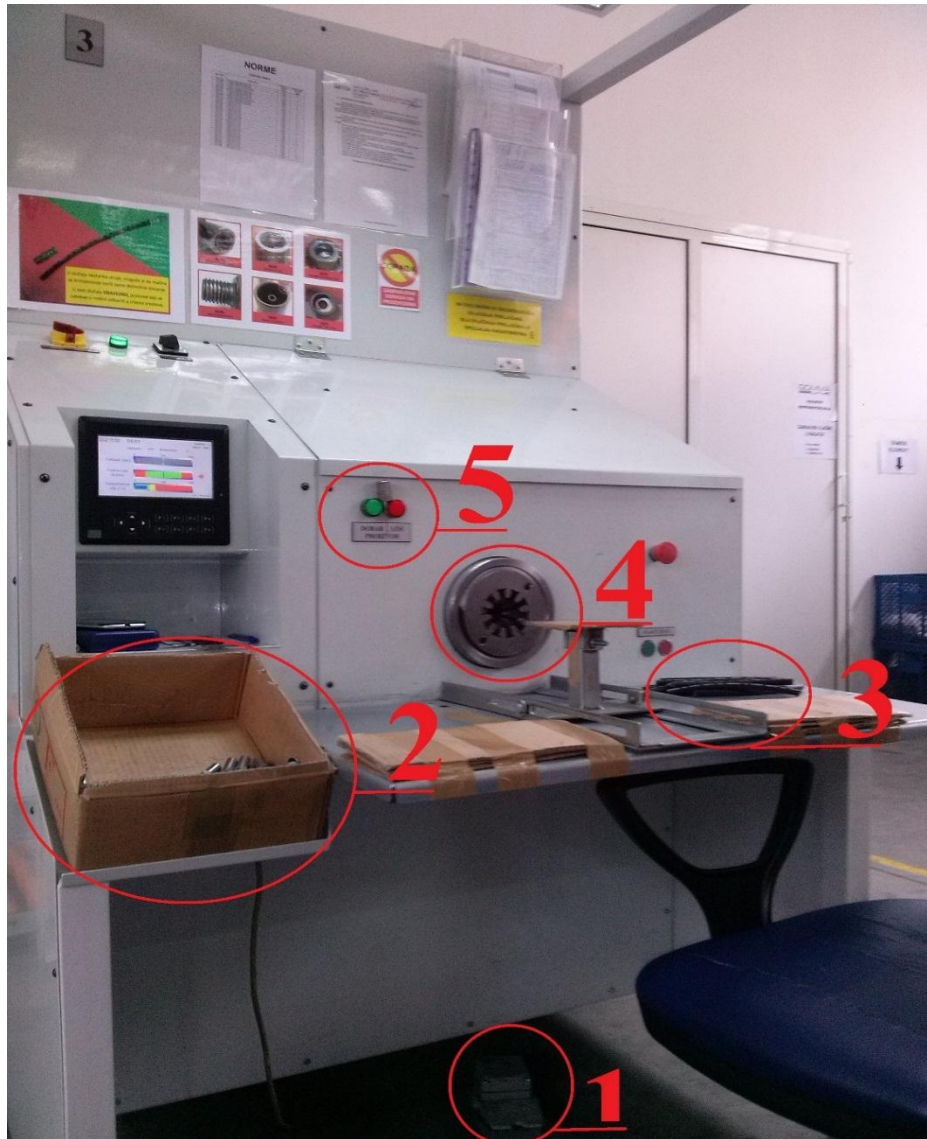
3.1 Реплицирано радно место

Реплицирање радног места из индустрије није нимало једноставан посао. Реплицирано радно место у општем случају значи направити исто радно место на другој локацији. При том треба водити рачуна о екстерним факторима који утичу на то радно место, као и о микроклиматским условима.

Изабрано радно место за реплицирање (Приказано на слици 3.1) се налази у компанији “Gomma line” d.o.o (<http://www.gomma.rs/>) из Крагујевца. У питању је радно место са

⁴ Стандардни бежични уређај за пренос података на краћим раздаљинама, користећи радио таласе и опсег од 2.4-2.485 GHz [45].

репетативним функцијама, где радник ради на машини за кримповање. Радник узима гумени део, спаја га са металним, затим убацује део у чељусти машине за кримповање и стиска папучицу која покреће пресу, када преса заврши операцију, пали се сигнална лампица и радник одлаже готов део у кутију. Раднику је потребно од 4 – 5s за обављање овог задатка. У току једног дана он обави око 3500 истих операција.



Слика 3.1: На слици је приказано радно место које треба реплицирати. 1) Папучица која покреће рад машине. 2) Кутија са металним деловима. 3) Гумени делови. 4) Чељусти машине за кримповање. 5) Сигналне лампице.

3.1.1. Реплицирање микроклиматских услова

Под микроклиматским условима се подразумевају локалне зоне затвореног простора код којих се вредности климатских услова разликују од климатских услова окружења [20]. У овом раду микроклима означава климатске услове радног места.

Основни параметри микроклиме су: температура, влажност ваздуха и брзина струјања ваздуха. Поред ових параметара постоји још фактора који могу утицати на рад, то су: осветљеност, бука, квалитет ваздуха, итд. [20].

Угодност радника на радном месту је у директној зависности од горе наведених параметара, а самим тим и резултати рада, али и укупно здравствено и психофизичко стање радника. Неодговарајући параметри микроклиме доводе до повећања замора, стреса, различитих здравствених проблема, итд. [20].

Јако је битно да се при реплицирању радног места реплицирају и микроклиматски услови, да би се добили тачни подаци при вршењу експеримената. За извођење овог експеримента није битно да ли су микроклиматски услови у границама нормале, већ нас само интересују вредности ових параметара. Вредности температуре и влажности ваздуха су измерене мултифункционалним мерачем (*PCE-EM 882*) (Дат сликом 3.2) који има могућност мерења температуре, влажности ваздуха, осветљености и нивоа буке. Измерена вредност температуре на радном месту се кретала од 25.3-25.5°C, док је температура у просторији вратирала од 23-23.5°C. Влажност ваздуха на радном месту које треба реплицирати је износила 63.5%, док је влажност ваздуха у просторији била 66%. Брзина струјања ваздуха је мерена помоћу уређаја *Anemometar Vane probe* (датог сликом 3.3) и добијена је занемарљиво мала вредност, па је одлучено да се овај параметар занемари. На слици 3.4 је приказано мерење основних параметара микроклиме помоћу мултифункционалног мерача (*PCE-EM 882*).



Слика 3.2: мултифункционални мерач (*PCE-EM 882*)



Слика 3.3: На слици је приказан Анемометар за мерење брзине струјања ваздуха.



Слика 3.4: Мерење основних параметара микроклиме.

Поред основних параметара смо измерили осветљеност и ниво буке. Осветљеност смо такође измерили помоћу мултифункционалног мерача (*PCE-EM 882*), а измерена вредност се кретала од 790-820lx. Ниво буке нисмо могли измерити помоћу мултифункционалног мерача (*PCE-EM 882*), јер је било више извора буке са различитим вредностима. У просторији се поред четири машине за кримповање (од које се једна реплицира у

лабораторију) налази и кидалица (која служи за кидање гумених делова) која изазива буку од 77dB и два компресора (који служе за чишћење готових делова) који изазивају буку од 90dB (удаљенији од радног места) и 95dB (ближи радном месту). Из тог разлога је за одређивање нивоа буке коришћен професионални микрофон (*Audio Tehnica AT2020USB*) помоћу кога су верно снимљени сви звукови и нивои буке у просторији, као и звук при извођењу операције на преси, који ће такође бити реплицирани (приказано на слици 3.5).



Слика 3.5: Одређивање нивоа буке и снимање звукова.

Реплицирање основних микроклиматских параметара параметара и није био толико тежак посао, с'обзиром на то, да је лабораторија климатизована и лако је постићи жењену вредност температуре и влажности ваздуха, а и брзина струјања ваздуха је занемарена. У

просторији је још постављен преносиви уређај модел RH520 (приказан на слици 3.6) који је статичне природе за мерење температуре и влажности ваздуха, како би се пратиле вредности ових параметара. Реплицирање осветљености је решено помоћу неонке која такође постоји на радном месту које се реплицира и налази се на висини од 1.5m. Реплицирање звукова и буке је решено помоћу система звучника (5+1) акустично постављених у лабораторији.



Слика 3.6: Уређај RH520 за праћење температуре и влажности ваздуха.

3.1.2. Конструкција реплициране машине

Да би се експеримент успешно извео, неопходно је имати исту машину на којој радник обавља операције. Ту се јавља проблем на самом почетку, јер би коришћење радне машине из индустрије довело до застоја. С'тога смо дошли на идеју да направимо сличну машину са импровизованим елементима. Израду импровизоване машине за кримповање можемо поделити у две фазе. Прва фаза се односи на израду конструкције машине по тачним диментијама, а друга фаза се везује за проналажење решења за елементе машине који су значајни за извођење операција које врши радник, а ти елементи су: чељуст машине, папучица, сигнална лампица.

Конструкција машине (дата сликом 3.7) је израђена ручно од алуминијумских профила и дрвета (радна површина стола и кућиште у које је утиснута импровизирана чељуст).



Слика 3.7: Приказ конструкције реплицираног радног места из индустрије.

Да би се решио проблем са елементима машине, није могуће наћи појединачна решења за сва три елемента, већ се сва три елемента морају спојити у функционални систем. Уместо чељусти машине је постављен метални део са отвором округлог облика у средини. Унутар металног дела се налази тастер који је спојем са сигналном лампицом (која се налази изнад металног дела). Када радник убади предмет обраде у метални део и њиме додирне тастер, пали се сигнална лампица и даје раднику знак да треба да притисне папучицу. Радник притиска импровизовану папучицу (која је повезана са рачунаром) и том функцијом покреће звук из звучника идентичан звуку који производи права машина при вршењу обраде. Звук траје око две секунде и када престане, радник вади предмет обраде и ставља

га у кутију подвиђену за готове делове. За вршење овог задатка је потребно исто времена као и на машини за кримповање из индустрије, чак је и поступак идентичан, само што се не врши права обрада предмета обраде као у индустрији.

3.2. Протокол експеримента

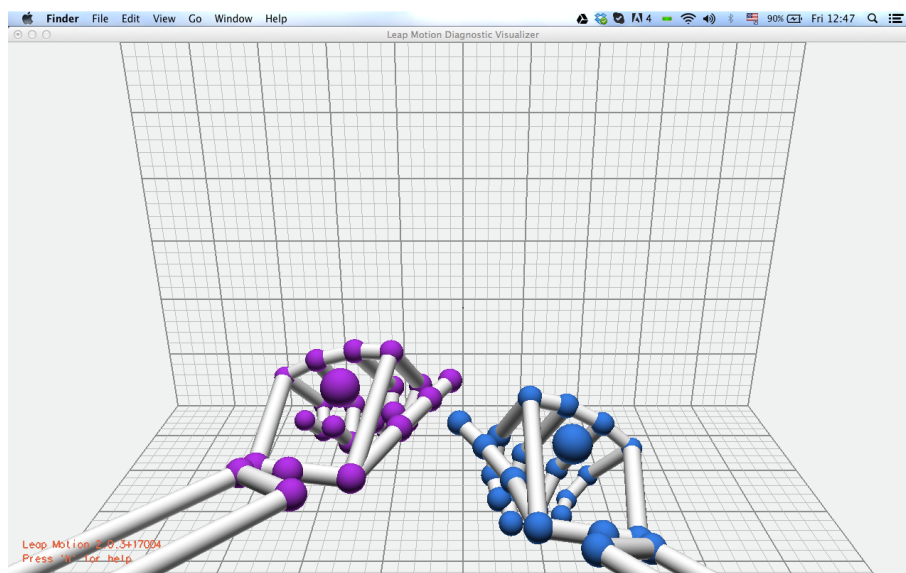
Цео протокол експеримента се односи на постављање селектованих уређаја за праћење покрета и праћење физичких и менталних промена код човека, као и на њихову синхронизацију и повезивање са рачунарима (јер ће се користити више рачунара за праћење ових метода). Пре постављања селектованих уређаја, треба поставити рачунаре помоћу којих ће се прикупљати подаци и повезати их са интернет рутером.

При постављању уређаја за праћење покрета (*Kinect*-а и *Leap motion*-а) није неопходно водити рачуна о редоследу постављања, јер уређаји нису у међусобној зависности. *MS Kinect* ће се поставити на врху конструкције реплициране машине (у висини неонке), да би могао што прегледније да прати покрете радника. Када се уређај фиксира, апликација се покрене и провери се да ли уређај снима свих десет зглобних тачака (дато сликом 3.8) (десет јер радник седи). Ако је све у реду, остаје још само да се уређај повеже са ЛСЛ-ом.



Слика 3.8: На слици је приказан *screenshot* сликан преко апликације за *Kinect*.

Leap motion се поставља на радни сто на коме радник обавља задатак, да би могао да снима покрете шака при обављању задатка. Затим се покрене апликација и установи да ли уређај прати покрете шака (дато сликом 3.9). Ако се јасно виде зглобне тачке онда треба покренути снимање.



Слика 3.9: На слици је приказан *screenshot* сликан преко апликације за *Leap motion*.

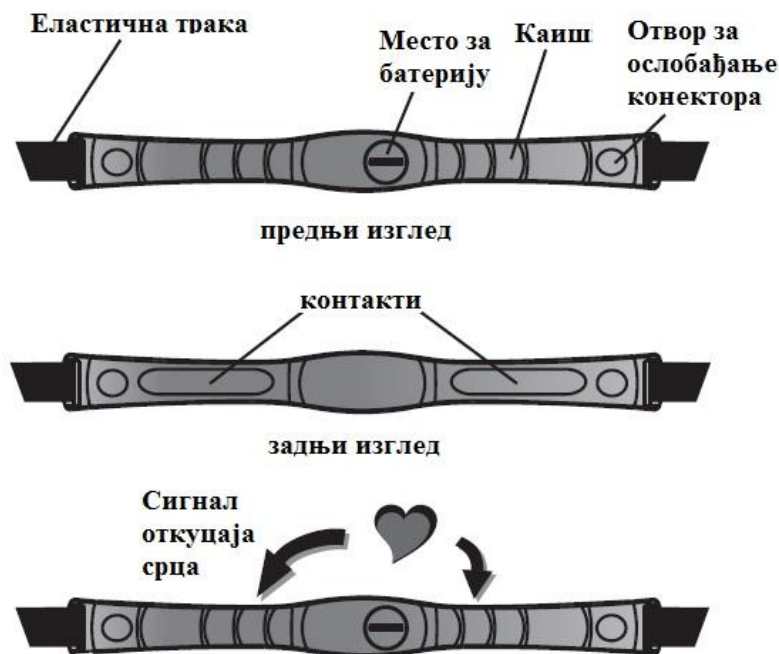
При постављању уређаја за праћење промена код човека се такође не мора водити рачуна о редоследу постављања уређаја. С тим што се строго мора водити рачуна о свим детаљима приликом постављања, да би уређаји радили како треба и да би се добили релевантни подаци.

За мерење електродермалних активности је коришћен уређај израђен у лабораторији на Факултету инжењерских наука (дат сликом 3.10) са егзосоматичном методом снимања са НС. Према препорукама за ову методу, на леву ногу радника (на препоручене локације) се постављају две стандардне $Ag/AgCl$ електроде за јендократну употребу. Затим се у уређај ставе батерије и притисне се тастер за паљење уређаја. Када се уређај покрене, покрећемо апликацију за ЕДА уређај и остварује се бежична веза између уређаја и рачунара. Када се установи да је уређај повезан са рачунаром, онда се остварује веза са ЛСЛ-ом.



Слика 3.10: ЕДА уређај за који се користи егзосоматична метода са НС.

Са ЕКГ уређаја је сличан принцип, само што се ЕКГ поставља у пределу грудног коша и потребно је нанети гел на тачке на телу предвиђене за електроде. Пре постављања уређаја *CANYON CNS-SWS Main Unit* (приказан на слици 3.11), у уређај се убацује мала батерија. Уређај такође остварује бежичну везу са рачунаром, а након остваривања ове везе, остварује се веза са ЛСЛ-ом.

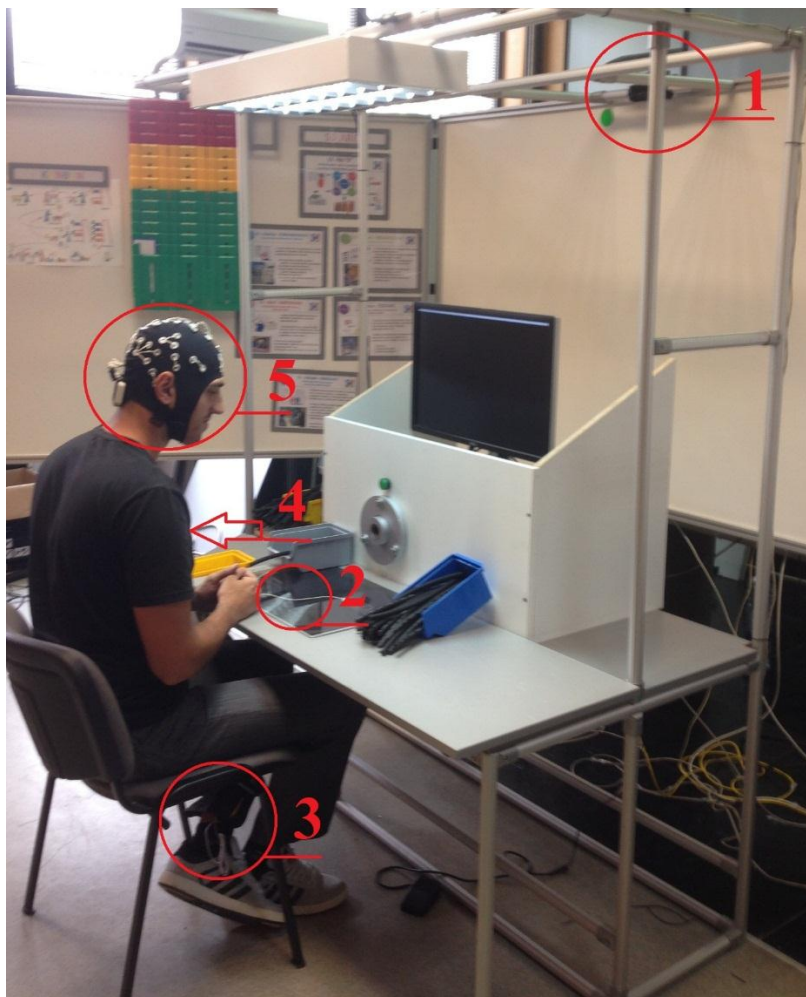


Слика 3.11: На слици је приказан ЕКГ уређај.

Постављање ЕЕГ уређаја је најкомпликованији део експеримента. Уређај који је коришћен за експеримент је лаки ЕЕГ уређај SMARTING израђен у фирми mBrain Train (Србија) (Приказан на слици 3.12) и садржи 26 електрода. При постављању ЕЕГ уређаја се користи посебан гел за ЕЕГ мерења који служи за повећање проводности електричних сигнала који се прикупљају из мозга преко електрода. Наношење гела кроз електроде може створити непријатан осећај код човека, па би требало унапред упозорити радника на то. При наношењу гела треба водити рачуна да се импедансе доведу до вредности испод $5\text{k}\Omega$ или бар приближно до $5\text{k}\Omega$, да би се добили тачни подаци. ЕЕГ капа се састоји из електрода и конектора. Када се импедансе доведу до жељених вредности, остварује се веза између ЕЕГ-а и рачунара и обично радник треба да направи неки пробни покрет или трептај да би се добио пробни сигнал и установило да је уређај добро повезан. Када се установи да је уређај добро повезан, остварује се веза са ЛСЛ-ом и тиме се завршава постављање опреме помоћу које се лако и ефикасно може одредити појава менталног оптерећења код радника. На слици 3.13 Је приказан радник на реплицираном радном месту са опремом на себи.



Слика 3.12: Приказ SMARTING ЕЕГ уређаја.



Слика 3.13: Радник на реплицираном радном месту са постављеном опремом. 1) *MS Kinect*. 2) *Leap motion*. 3) ЕДА уређај. 4) ЕКГ уређај. 5) ЕЕГ уређај.

4. Допринос

Напредак технологије у 21. веку је довео до тога да радници буду све више у интеракцији са рачунаром и аутоматизованим системима на радном месту. Према томе радници бивају све мање изложени физичким оптерећењима, а све више менталним, што значи да ће се у будућности повећати интересовање за смањењем менталног оптерећења на радном месту.

Задњих година 20. века и почетком 21. века су напредовали уређаји за одређивање физичких и менталних промена код човека, а и уређаји за праћење и снимање покрета. Напредак ове технологије нам је омогућио лако и ефикасно праћење спољашњих и унутрашњих промена код радника на радном месту. Праћењем ових промена се може доћи до извора менталног оптерећења који је узрочник многих катастрофа, повреда на раду, незадовољства на радном

месту, отказа, застоја, смањења ефикасности, опадања квалитета и многих других штетних појава у индустрији.

Овом студијом је показано да је могуће направити селекцију опреме за праћење менталног оптерећења која неће ометати радника при извођењу задатка јер је практична и лака за ношење. Такође је показано да је могуће пратити и снимати сваки покрет радника док обавља задатке.

На основу ове студије би се у будућности истраживања могла вршити директно у индустријским условима, поготову на радним местима која је тешко или скоро немогуће реплицирати у лабораторијске услове. Ова могућност би могла довести до лаког проналажења и отклањања менталног оптерећења променом ергономског дизајна или прављењем пауза када се јаве први симптоми оптерећења, а самим тим и до повећања ефикасност и ефективности рада, што би довело до наглог развоја индустрије.

5. Литература

[1] Мирослава И., Славољуб Л., Драгица М., Ивана М., Синдикални приручник: Безбедност и здравље на раду. УГС „Независност“.

[2] sr.wikipedia.org/sr/Чернобиљска_катастрофа

[3] Sauter, S. L., Murphy, L. R., & Hurrell, J. J. (1990). Prevention of work-related psychological disorders: A national strategy proposed by the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). *American Psychologist*, 45(10), 1146.

[4] Imada, A. (1990). Ergonomics: influencing management behaviour. *Ergonomics*, 33(5), 621-628.

[5] Salvendy, G. (2012). *Handbook of human factors and ergonomics*. John Wiley & Sons.

- [6] MacLeod, D. (2006). *The ergonomics kit for general industry*. CRC Press.
- [7] Aleksandra J., Branislav J., (2009). *Training for occupational safety and health improvement*. TEMPUS Joint European Project 41045_2006
- [8] Marmaras, N., Poulakakis, G., & Papakostopoulos, V. (1999). Ergonomic design in ancient Greece. *Applied ergonomics*, 30(4), 361-368.
- [9] Jamil, M. G., Saxena, A., & Mr Vivek Agnihotri, M. (2013). Optimization of Productivity by Work Force Management through Ergonomics and Standardization of Process Activities using MOST Analysis-A Case Study. *Global Journal of Researches In Engineering*, 13(6).
- [10] Moray, N. (Ed.). (2005). *Ergonomics: The history and scope of human factors* (Vol. 1). Taylor & Francis.
- [11] Holmes, G. T., Marsh, P. L., Vanggaard, L., Doucet, J., & Behmann, F. W. (1988). *Handbook on clothing: biomedical effects of military clothing and equipment systems* (No. NATO-AC/243-D/7). NORTH ATLANTIC TREATY ORGANIZATION BRUSSELS (BELGIUM).
- [12] <http://www.iea.cc/whats/index.html>
- [13] Charles H. Jeffress (October 27, 2000). BEACON Biodynamics and Ergonomics Symposium. University of Connecticut, Farmington, Conn.
- [14] Okogbaa, O. G., Shell, R. L., & Filipusic, D. (1994). On the investigation of the neurophysiological correlates of knowledge worker mental fatigue using the EEG signal. *Applied Ergonomics*, 25(6), 355-365.
- [15] Sanei, S., & Chambers, J. A. (2008). *EEG signal processing*. John Wiley & Sons.
- [16] Cheng, S. Y., & Hsu, H. T. (2011). Mental fatigue measurement using EEG.
- [17] Parasuraman, R., & Rizzo, M. (2008). *Neuroergonomics: The brain at work*. Oxford University Press, Inc..
- [18] Parasuraman, R. (2003). Neuroergonomics: research and practice. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1-2), 5-20.
- [19] Hancock, P. A., & Parasuraman, R. (2002). Human factors and ergonomics. *Encyclopedia of Cognitive Science*.
- [20] Иван Мачужић,. (2009). Безбедно и здраво радно место (водич за раднике и послодавце), БЗР Едукациони центар, Машиински факултет у Крагујевацу.

- [21] Fowles, D. C., Christie, M. J., Edelberg, R., Grings, W. W., Lykken, D. T., & Venables, P. H. (1981). Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 18(3), 232-239.
- [22] ROTH, W. T., DAWSON, M. E., & FILION, D. L. (2012). Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 49, 1017-1034.
- [23] Martin, C. C., Burkert, D. C., Choi, K. R., Wieczorek, N. B., McGregor, P. M., Herrmann, R. A., & Beling, P. A. (2012, April). A real-time ergonomic monitoring system using the Microsoft Kinect. In *Systems and Information Design Symposium (SIEDS), 2012 IEEE* (pp. 50-55). IEEE.
- [24] Horejsi, P., Gorner, T., Kurkin, O., Polasek, P., & Januska, M. (2013). Using Kinect Technology Equipment for Ergonomics. *Modern Machinery science*, 2, 390-391.
- [25] Krüger, G. S. 18.3 Human centric automation: Using marker-less motion capturing for ergonomics analysis and work assistance in manufacturing processes.
- [26] <http://lis3353.wikispaces.com/Motion+Capturing>
- [27] Siradjuddin, I., Behera, L., McGinnity, T.M., Coleman, S., A position based visual tracking system for a 7 DOF robot manipulator using a Kinect camera, In: *EEE International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Brisbane, Australia, June 10-15, 2012, IEEE, ISBN: 978-1-4673-1490-9
- [28] Ray, S. J., & Teizer, J. (2012). Real-time construction worker posture analysis for ergonomics training. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), 439-455.
- [29] Lu, C., & Ferrier, N. J. (2004). Repetitive motion analysis: segmentation and event classification. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 26(2), 258-263.
- [30] <http://www.roadtovr.com/xsens-demonstrates-camera-less-full-body-motion-tracking-at-ces-2013/>
- [31] Diego-Mas, J. A., & Alcaide-Marzal, J. (2014). Using Kinect™ sensor in observational methods for assessing postures at work. *Applied ergonomics*, 45 (4), 976-985.
- [32] <http://www.inc.com/30under30/nicole-marie-richardson/leap-motion-david-holz-michael-buckwald-2013.html>
- [33] Katrin Vanderperren. (2011). *Improving data-driven EEG – fMRI analyses for the study of cognitive functioning*. (Doctoral dissertation, department of Faculty of Engineering Kasteelpark Arenberg, Katholieke Universiteit Leuven, 10, B-3001 Leuven (Belgium)).
- [34] <http://leap.quitebeyond.de/>

- [35] <http://techcrunch.com/2013/07/22/leap-motion-launches-with-limited-appeal-but-it-could-be-a-ticking-time-bomb-of-innovation/>
- [36] <http://www.engadget.com/2014/05/28/leap-motions-beta-tracking-tech-can-see-your-joints/>
- [37] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Sinhronizacija>
- [38] <http://techcrunch.com/2014/03/20/leap-motion-lays-off-10-of-its-workforce-after-missing-on-first-year-sales-estimates/>
- [39] <http://www.eyeprotectorpro.com/2010/07/05/mouse-techniques/>
- [40] <http://www.gpminternational.com/Best%20Practice.php>
- [41] <http://buildinternet.com/2010/01/five-minute-upgrade-make-your-workstation-more-ergonomic/>
- [42] <http://www.fastofficefurniture.com.au/office-furniture/uncategorized/help-with-ergonomics/>
- [43] Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity*. Springer.
- [44] <https://code.google.com/p/labstreaminglayer/>
- [45] <http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
- [46] Clifford, G. D. (2002). *Signal processing methods for heart rate variability* (Doctoral dissertation, Department of Engineering Science, University of Oxford).
- [47] <https://www.leapmotion.com/>
- [48] <http://staznaci.com/sinhronizacija>