

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУМУ
БЕОГРАД
ДЕПАРТМАН ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Примена вештачке интелигенције за анализу интеракције између
човека и рачунара и процену когнитивних перформанси

МЕНТОР:

Проф. др Александар Јевремовић

СТУДЕНТ:

Милош Антонијевић

460039/2016

Београд, 2020.год.

Чланови комисије који су прегледали рад и одобрили одбрану:

Проф. др Александар Јевремовић

Проф. др Младен Веиновић

Проф. др Иван Чорбев

АПСТРАКТ

Проучавање интеракције између човека и рачунара подразумева приступ који се заснива на више научних дисциплина и области, као што су рачунарске науке, психологија, социологија, когнитивне науке, дизајн и сл. Модерни интерфејси преко којих се обавља интеракција омогућавају коришћење великог броја различитих сензора (миша, тастатуре, уређаја за праћење погледа, електроенцефалографије (ЕЕГ), уређаја за праћење pulsa, откуцаја срца итд.). Предмет овог истраживања је интеракција између човека и рачунара, односно могућност примене вештачке интелигенције за њену анализу и процену когнитивних перформанси испитаника. Због брзине анализирања података која далеко надмашује могућности обраде од стране људи, овакав систем је у могућности да у реалном времену шаље повратну информацију кориснику, чиме постаје активни учесник интеракције.

Могућност развоја модела вештачке интелигенције за прикупљање и анализу података о интеракцији између човека и рачунара демонстрирана је на примеру четири експеримента процене когнитивних перформанси испитаника кроз неуропсихолошке тестове - *Wisconsin Card Sorting Test (WCST)*, *Visual Short Term Working Memory Test (VSTWMT)*, *mTutor Test* и *AC Test*. За потребе сваког појединачног експеримента развијена је посебна клијентска апликација, са могућношћу повезивања са сензорским апликацијама путем синхронизацијске платформе (*HCI-MAP*). За прикупљање података о интеракцији између човека и рачунара коришћени су подаци са три сензора: ЕЕГ уређаја, уређаја за праћење погледа и рачунарског миша. Како би се омогућила агрегација и каснија заједничка обрада података о целокупној интеракцији, за комуникацију са ЕЕГ уређајем и уређајем за праћење погледа написане су независне сензорске апликације.

Резултати нашег истраживања који се односе на постигнуће испитаника на рачунарској верзији *WCS* теста показују да је број постигнутих категорија код наших испитаника са извесним одступањем у односу на референтне вредности, затим, да постоји значајно одступање резултата испитаника у односу на референтне вредности у броју покушаја до постизања прве категорије. Такође, број персеверативних одговора наших испитаника је испод нормативних вредности, али не постоје значајна одступања код грешака у одржању сета.

Визуална краткорочна меморија (енгл. *Visual short term memory*) се дефинише као способност задржавања мале количине визуалних информација (облици, боје, итд.) током кратког временског периода. *VSTM* је део краткорочне меморије, која може да задржава информације до 30 секунди. Експеримент је спроведен кроз две сесије мерења. У првој сесији испитаници су се налазили у изолованом окружењу, а у другој у присуству публике. Класификација ЕЕГ података је извршена коришћењем четири алгорита: *Naive Bayes*, *Support Vector*, *KNN*, и *Random Forest*. Добијени резултати показују да је могуће исправно класификовати редослед приказивања слике у 90.12% случајева, а врсту приказане слике у 90.51% случајева.

Циљ експеримента са електронским тестирањем знања путем *mTuror* платформе био је проналажење модела за примену вештачке интелигенције који би омогућио да електронска процена знања у што већој мери осликава реално знање испитаника. Иако није откривена снажна корелација између било ког индивидуалног параметра и прецизности одговора може се закључити да је могуће утицати на емотивно стање испитаника убацивањем одговора одређеног типа. Тако, стрес се може умањити убацивањем питања забавног карактера са очигледним тачним одговором. Интересовање се може повећати коришћењем лакших питања, а фокусираност студента може повратити коришћењем немогућих питања, без тачног одговора.

АС тест се користи за процену степена пажње, односно, способности истицања важних стимулуса у односу на ометајуће надражаје. Висок ниво корелације између положаја погледа и положаја курсора миша пружа могућност апроксимације интеракције детектоване преко једног сензора уз помоћ анализираних података са другог. Упоредивањем података о локацији и померању погледа са подацима о кретању миша, може се закључити да је у случају АС теста постојећи ниво корелације висок, нарочито на координатама слова која је испитаник прецртавао.

Општи закључак спроведених истраживања је да је могуће користити вештачку интелигенцију за анализу интеракције између човека и рачунара и да ће се њеном применом остварити приближни или бољи резултати од оних у којима анализу врши човек. Могуће је применити дистрибуирана решења за синхронизацију и пружање повратне информације од система у реалном времену. Аутоматизованом анализом добијених резултата од стране вештачке интелигенције могућа је процена когнитивних перформанси корисника.

ABSTRACT

Human-computer interaction research involves an approach that is based on multiple scientific disciplines and fields, such as computer science, psychology, sociology, cognitive sciences, design, etc. The modern interfaces through which the interaction takes place allow the use of a large number of different sensors (mouse, keyboard, gaze (eyetracker) monitor, electroencephalography (EEG), pulse monitor, heart rate, etc.). The subject of this research is human-computer interaction, that is, the ability to apply artificial intelligence to its analysis and assessment of respondents' cognitive performance. Due to the speed of data analysis that far exceeds the processing capabilities of humans, this system is able to send feedback to the user in real time, thereby becoming an active participant in the interaction.

The possibility of developing an artificial intelligence model for collecting and analyzing human-computer interaction data was demonstrated on the example of four cognitive performance assessments of subjects through neuropsychological tests - Wisconsin Card Sorting Test (WCST), Visual Short Term Working Memory Test (VSTWMT), mTutor Test and the AC Test. A separate client application was developed for each individual experiment, with the ability to connect to sensor applications via the Synchronization Platform (HCI-MAP). Three sensors were used to collect human-computer interaction data: an EEG device, a eye tracking device, and a computer mouse. In order to allow for aggregation and subsequent joint processing of data on the entire interaction, independent sensor applications have been written to communicate with the EEG and the eye tracking device.

The results of our research related to the achievement of participants on the computer version of WCS test show a certain deviation from the reference values in the number of achieved categories in our participant group. There is, also, a significant deviation of the results of the participant results with respect to the reference values in the number of attempts to achieve the first category. Further, the number of perseverative responses of our participants is below the normative values, but there are no significant discrepancies in errors in maintaining set.

Visual short-term memory (VSTM) is defined as the ability to remember a small amount of visual information, such as colors and shapes, during a short period of time. VSTM is a part of short-term memory, which can hold information up to 30 seconds. The experiment was

conducted through two measurement sessions. In the first session, the respondents were in an isolated environment and in the second in the presence of the audience. The classification of the EEG data was done by using four algorithms: Naive Bayes, Support Vector, KNN, and Random Forest. The results show that we were able to correctly classify the order of the images presented 90.12% of the time and type of the displayed image 90.51% of the time.

The aim of the experiment with electronic assesment through the mTuror platform was to find a model for the application of artificial intelligence that would allow the electronic assessment of knowledge to reflect as much as possible the real knowledge of the respondents. Although no strong correlation was found between any individual parameter and response accuracy, it can be concluded that it is possible to influence the emotional state of the subjects by inserting a particular type of questions. Thus, stress can be reduced by inserting a fun question with an obvious correct answer. Interest can be increased by using easy questions, and student focus can be restored by using impossible questions, without correct answer.

The AC test is used to assess the degree of attention, that is, the ability to highlight important stimuli in relation to distracting stimuli. The high level of correlation between the gaze position and the mouse cursor position provides an opportunity to approximate the interaction of one sensor with the help of the analyzed data from the other. By comparing the gaze data with the mouse movement data, it can be concluded that, in the case of the AC test, the existing level of correlation is high, especially at the letter coordinates that the subject crossed out.

The overall conclusion of the conducted research is that it is possible to use artificial intelligence to analyze human-computer interaction, and that its application will produce close or better results than those in which human analysis is performed. Distributed solutions can be implemented to synchronize and provide real-time feedback from the system. An automated analysis conducted by artificial intelligence can assess the cognitive performance of users.

ЗАХВАЛНОСТ

Захваљујем Богу на подареној снази, породици на стрпљењу и подршци и ментору и колегама на несебичној помоћи у изради ове дисертације.

ПРЕГЛЕД ТАБЕЛА

Табела 1. Структура учесника експеримента	65
Табела 2. Резултати учесника експеримента у односу на нормативне вредности	80
Табела 3. Постигнуто време егзекутивних функција учесника експеримента	81
Табела 4. Редослед приказивања слике, резултати KNN класификатора ($k = 1$) - са својством временског периода као атрибутом	86
Табела 5. Редослед приказивања слике, резултати Random forest класификатора - са својством временског периода као атрибутом	87
Табела 6. Редослед приказивања слике, резултати KNN класификатора ($k = 1$) - без временског периода као атрибута	87
Табела 7. Врста слике, резултати KNN класификатора ($k = 1$) - са својством временског периода као атрибутом	89
Табела 8. Врста слике, резултати Random forest класификатора - са својством временског периода као атрибутом	89
Табела 9. Врста слике, резултати KNN класификатора ($k = 1$) - без својства временског периода као атрибута (искључиво на основу ЕЕГ података)	90
Табела 10. Тачност одговора, резултати KNN класификатора ($k = 3$)	92
Табела 11. Поређење просечних вредности својстава за класе ПРВА и ДРУГА ..	93
Табела 12. Поређење просечних вредности својстава за класе СЛИКА А и СЛИКА Б	94
Табела 13. Поређење просечних вредности својстава за класе ГЛЕДАЊЕ СЛИКЕ и класа ТАЧАН и НЕТАЧАН одговор	95

Табела 14. Поређење просечних вредности својстава за класе ТАЧАН и НЕТАЧАН одговор	95
Табела 15. Средње вредности емотивних стања за различите типове питања ..	96
Табела 16. Резултати испитаника у односу на параметре за евалуацију АС теста	100
Табела 17. Аритметичке средине емотивних особина испитаника у току АС теста (АС - аритметичка средина, СД - стандардна девијација)	102

ПРЕГЛЕД СЛИКА

Слика 1. Нелинеарна зависност величине објекта и лакоће коришћења	23
Слика 2. Пример стабла одлучивања за одређивање злонамерних конкеција	33
Слика 3. Хиперраван и подржавајући вектори у дводимензионалном простору	34
Слика 4. Вишеслојна неуронска мрежа са простирањем унапред	37
Слика 5. Положај и називи EMOTIV EPOC+ канала	48
Слика 6. Мрежна организација "НСИ-МАР" платформе	50
Слика 7. Основна архитектура "НСИ-МАР" платформе	51
Слика 8. Експортирана анимација која садржи снимак екрана, положај погледа (црвени круг) и курсора миша, као и измерене емотивне карактеристике (дијаграм у горњем десном углу)	52
Слика 9. Пример израчунавања кашњења (NTP модел)	53
Слика 10. Изглед "Контролне собе" НСИ-МАР платформе	54
Слика 11. Главни прозор "MyEmotivator" апликације	55
Слика 12. Одабир зеленог метода складиштења и слања података	59
Слика 13. Изглед главног прозора "АуеЕуе" апликације	61
Слика 14. Основна страница након одабира тачног (лево) и нетачног (десно) одговора	64
Слика 15. Графикон са ЕЕГ сигнаlima прикупљеним током WCST сесије	64
Слика 16. Страница за приказ слике са детаљима за меморисање (слика А - лево и слика Б - десно)	67
Слика 17. Страница са питањима о детаљима са слике	68
Слика 18. Топлотна карта добијена из VSTWMT сесије	69
Слика 19. Пример визуализације ЕЕГ података прикупљених током VSTWMT сесије	69
Слика 20. Учесници са ЕЕГ опремом у току трајања VSTWMT експеримента	70
Слика 21. mTutor платформа - Студентски интерфејс	74
Слика 22. Испитаници носе ЕЕГ опрему током mTutor експеримента	75
Слика 23. Изглед почетног екрана АСТ апликације	77
Слика 24. Изглед главног екрана "А С теста"	78
Слика 25. Испитаник са ЕЕГ уређајем и уређајем за праћење положаја погледа у току АС теста	79
Слика 26. Локације кликтања миша у току трајања "А С теста"	79
Слика 27. Графички приказ вредности ЕЕГ перформанси код једног испитаника на почетку WCS тестирања (Y оса - вредности ЕЕГ перформанси, X оса - време у секундама)	82
Слика 28. Графички приказ вредности ЕЕГ перформанси код једног испитаника код персеверативних грешака (Y оса - вредности ЕЕГ перформанси, X оса - време у секундама)	83
Слика 29. Графички приказ вредности ЕЕГ перформанси код једног испитаника на крају теста (Y оса - вредности ЕЕГ перформанси, X оса - време у секундама)	84
Слика 30. Корелације између различитих параметара питања – тачности, времена, заинтересованости, ангажованости, стреса, опуштености и фокусираности	97

Слика 31. Екран са постигнутим резултатима који садржи вредности параметара за процену ефикасности	99
Слика 32. Снимак екрана у току репродукције сесије АС теста	103
Слика 33. Топлотна карта на основу података о локацији погледа	104
Слика 34. Топлотна карта на основу података о локацији курсора миша	104
Слика 35. Визуализација корелиције између погледа и миша	105
Слика 36. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току WSC експеримента	112
Слика 37. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току WSC експеримента	112
Слика 38. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току WSC експеримента	113
Слика 39. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току WSC експеримента	113
Слика 40. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 5. у току WSC експеримента	113
Слика 41. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 6. у току WSC експеримента	114
Слика 42. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 7. у току WSC експеримента	114
Слика 43. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 8. у току WSC експеримента	114
Слика 44. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 9. у току WSC експеримента	115
Слика 45. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 10. у току WSC експеримента	115
Слика 46. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току VSTWM експеримента (Слика А)	116
Слика 47. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току VSTWM експеримента (Слика А)	116
Слика 48. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току VSTWM експеримента (Слика А)	117
Слика 49. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току VSTWM експеримента (Слика А)	117
Слика 50. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 5. у току VSTWM експеримента (Слика А)	117
Слика 51. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току VSTWM експеримента (Слика Б)	118
Слика 52. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току VSTWM експеримента (Слика Б)	118
Слика 53. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току VSTWM експеримента (Слика Б)	119
Слика 54. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току VSTWM експеримента (Слика Б)	119
Слика 55. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 5. у току VSTWM експеримента (Слика Б)	119
Слика 56. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току mTutor експеримента	120

САДРЖАЈ

1 УВОД	14
1.1 Предмет и циљ истраживања	15
1.2 Полазне хипотезе	17
1.3 Методе истраживања	18
1.4 Научни допринос	19
1.5 Интеракција човек-рачунар	19
1.5.1 Фицови закони	20
1.5.1.1 Фицови експерименти	21
1.5.1.2 Касније корекције	22
1.5.2 Примена Фицових закона на дизајн корисничког интерфејса	22
1.6 Когнитивне перформансе	24
1.6.1 Теоријска основа Wisconsin Card Sorting теста	26
1.6.2 Теоријска основа Visual Short Term Working Memory теста	27
1.6.3 Теоријска основа mTutor теста	29
1.6.4 Теоријска основа AC теста	29
1.7 Вештачка интелигенција	30
1.7.1 Машинско учење	32
1.7.1.1 Стабла одлучивања	32
1.7.1.2 Support Vector Machine	34
1.7.1.3 K-најближих суседа	35
1.7.1.4 Неуронске мреже	36
2 ПРЕГЛЕД ОБЛАСТИ	38
3 ЕКСПЕРИМЕНТИ	44
3.1 Технологије	44
3.2 Уређаји / сензори	47
3.3 Платформа и сензорске апликације	49
3.3.1 HCI-MAP платформа	50
3.3.2 Сензорске апликације	54
3.3.2.1 MyEmotivator	55
3.3.2.2 AyeEye	60

3.4	Опис експерименталног окружења	62
3.4.1	Wisconsin Card Sorting тест	62
3.4.1.1	WCST клијентска апликација.....	63
3.4.1.2	Опис WCST експеримента	65
3.4.2	Visual Short Term Working Memory тест	66
3.4.2.1	VSTWMT клијентска апликација	67
3.4.2.2	Опис VSTWMT експеримента	70
3.4.3	mTutor тест	73
3.4.3.1	mTutor апликација	73
3.4.3.2	Опис експеримента са електронском провером знања	74
3.4.4	AC тест	76
3.4.4.1	ACT клијентска апликација	76
3.4.4.2	Опис ACT експеримента	78
4	АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА	80
4.1	Резултати Wisconsin Card Sorting теста	80
4.2	Резултати Visual Short Term Working Memory теста	85
4.2.1	Резултати класификације	85
4.2.1.1	Редослед приказивања слике	86
4.2.1.2	Врста слике	88
4.2.1.3	Тачност одговора	91
4.2.2	Квалитативна анализа	92
4.2.2.1	Редослед приказивања слике	93
4.2.2.2	Врста слике	94
4.2.2.3	Тачност одговора	94
4.3	Резултати mTutor теста	96
4.4	Резултати AC теста	98
5	ЗАКЉУЧАК	106
6	ПРИЛОЗИ	109
7	ЛИТЕРАТУРА	138

1 УВОД

Употреба рачунарских технологија подразумева неки облик интеракције између човека и рачунара. Из овог разлога интеракција човек-рачунар представља незаобилазан сегмент изучавања у сфери информационо-технолошких наука. Проучавање интеракције између човека и рачунара подразумева приступ који се заснива на више научних дисциплина и области, као што су рачунарске науке, психологија, социологија, когнитивне науке, дизајн и сл. Модерни интерфејси преко којих се обавља интеракција омогућавају коришћење великог броја различитих сензора (миша, тастатуре, уређаја за праћење погледа, електроенцефалографије (ЕЕГ), уређаја за праћење пулса, откуцаја срца итд.). Истовремена употреба више сензора повећава прецизност и поузданост добијених резултата [1]. На пример, праћење покрета миша се може користити за детекцију људских емоција или степена фокусираности [2,3], али детекција је поузданија уколико се у исто време користе подаци добијени са другог сензора, нпр. ЕЕГ уређаја [4].

За прикупљање, синхронизацију и обраду података са сензора развијена је *Human-Computer Interaction Monitoring and Analytics Platform (HCI-MAP)* [5]. Платформа подржава рад са четири сензора - ЕЕГ уређаја, *eye tracker* уређаја, уређаја за препознавање израза лица (Веб камере) и праћење покрета миша. Повезивање са другим сензорима се може једноставно имплементирати кроз отворени платформски интерфејс. Осим сензора, коришћењем истог интерфејса, платформа може да прикупља информације од корисничких апликација. У овом раду, функционалност платформе демонстрирана је на примеру четири корисничке Веб апликације.

Прва апликација коришћена за тестирање је *Wisconsin Card Sorting Test (WCST)*, која се примарно користи за процену способности апстракције код тестираних субјеката.

Друга апликација је *Visual Short Term Working Memory Test (VSTWMT)* (визуално тестирање краткорочне радне меморије), чија је намена процена способности краткорочне меморије испитаника. Под термином "визуална краткорочна радна меморија" подразумева се начин памћења визуалних података у оквиру одређеног временског интервала.

Трећа апликација коришћена за прикупљање података је платформа за електронско тестирање *mTutor*. Она је реализована у виду Веб апликације која омогућава електронску процену знања студената употребом питања са једним (*single choice*) и више (*multiple choice*) тачних одговора.

Последња коришћена апликација је *AC Test* апликација имплементирана применом *HTML5*, *JavaScript* и *CSS* технологија. *AC Test* се користи за испитивање вигилност и флексибилност пажње.

Истовремено са прикупљањем резултата тестова са корисничких апликација, бележене су вредности са коришћених сензора - миша, ЕЕГ уређаја и *eye tracker* уређаја. У ту сврху развијене су две сензорске апликације - *MyEmotivator* и *AyeEye*. *MyEmotivator* апликација је развијена у сврху прибављања и снимања измерених вредности са ЕЕГ уређаја и њихово слање *HCI-MAP* платформи на даљу обраду. Инсталира се на мобилне (таблет) уређаје и користи *Bluetooth SMART* стандард за примање ЕЕГ података и Интернет (мрежну) конекцију за слање података на платформу. Са друге стране, *AyeEye* апликација је дизајнирана у виду десктоп апликације и служи за повезивање са уређајем за праћење погледа преко *USB 3.0* рачунарског порта.

Синхронизовани подаци прикупљени коришћењем наведене платформе, сензорских и корисничких апликација употребљени су за анализу интеракције између човека и рачунара. Применом различитих алгоритама вештачке интелигенције добијени су резултати који омогућавају процену когнитивних способности корисника.

1.1 Предмет и циљ истраживања

Предмет овог истраживања је интеракција између човека и рачунара, односно могућност примене вештачке интелигенције за њену анализу и процену когнитивних перформанси испитаника.

У зависности од приступа који могу бити центрирани око људи или око рационалности, вештачка интелигенција се може дефинисати као систем који размишља или се понаша као човек или као систем који размишља или се понаша рационално [6].

Когнитивне способности (перформансе) се дефинишу као процедуре које људски мозак користи за стицање нових знања и за доношење одлука на основу стеченог знања. Различите когнитивне функције играју важну улогу у процесима перцепције, пажње, меморије, резоновања итд. Сви наведени когнитивни процеси раде заједно на стицању новог знања и утичу на тумачење и схватање света који нас окружује.

Циљ истраживања је применити вештачку интелигенцију за аутоматизовану обраду прикупљених података о интеракцији између човека и рачунара коришћењем различитих сензора и на основу тога извршити процену когнитивних способности испитаника. У ову сврху коришћени су подаци добијени са три сензора: ЕЕГ уређаја, *eye tracker* уређаја и рачунарског миша.

Електроенцефалографија (*Electroencephalography - EEG*) представља неинвазивни метод праћења промене електричног напона можданих неурона током одређеног временског интервала. Осим у медицинске сврхе (нпр. за дијагностификовање епилепсије), информације добијене на овај начин се могу користити у истраживањима која се тичу проучавања реакција људског мозга у односу на специфичне догађаје који се одигравају у току задатих временских оквира.

Праћење погледа (енгл. *eye tracking*) је техника којом се мери положај погледа испитаника, тако да се из прикупљених података могу одредити тачне координате на које се испитаник фокусирао у датом тренутку и секвенца померања очију током премештања фокуса погледа са једног положаја на други [7]. Да би одредили локацију погледа, већина *eye tracker* уређаја мери релативни положај зенице у односу на рефлексију рожњаче ока.

Догађаји миша који су од интереса за анализу су координате положаја миша у тренуцима одвијања активности на сензорима или корисничким апликацијама и догађаји притискања тастера миша у тренуцима када корисник обавља одређену акцију у склопу његове интеракције са рачунаром. На основу прикупљених података могу се дефинисати различита својства динамике коришћења миша (убрзање, промена угла, дужина држања

тастера итд.) која се могу користити у оквиру шире анализе понашања испитаника у току интеракције.

Испитаник добија повратну информацију од система путем монитора. Развијена *HCI-MAP* платформа омогућава пружање повратне информације кориснику о обављеној интеракцији или прилагођавање садржаја који се приказује испитанику.

1.2 Полазне хипотезе

Основна хипотеза је да је могуће користити вештачку интелигенцију за анализу интеракције између човека и рачунара и да ће се њеном применом остварити приближни или бољи резултати од оних у којима анализу врши човек.

Могућа је примена дистрибуираних (*cloud*) решења са циљем добијања тачних и благовремених резултата (благовремених: погодних за употребу у реалном времену, за слање повратне информације, оптимизацију итд.). Погодност дистрибуираних система је што у кратком времену могу обрадити велике количине података (добијених од различитих сензора и апликација), што је нарочито значајно код система вештачке интелигенције који захтевају високе хардверске перформансе за рад у реалном времену.

Анализом добијених резултата вештачке интелигенције могућа је процена когнитивних перформанси учесника. Способност система вештачке интелигенције да размишљају као човек чини их погодним за анализу резултата тестова којима се врши процена когнитивних способности код људи.

1.3 Методе истраживања

У овом раду примењене су теоријске и експерименталне методе истраживања.

Теоријска метода моделовања коришћена је за развој модела за прикупљање, синхронизацију и обраду података о интеракцији човека и рачунара. Теоријски модел подразумева прикупљање информација о интеракцији човека са рачунаром на основу података са више сензора и апликација преко којих корисник обавља интеракцију. Његова имплементација омогућава приказивање обрађених резултата у форматима погодним за анализу од стране људи или рачунара.

Један од основних изазова представља временска синхронизација прикупљених података. За потребе коришћења у склопу теоријског модела развијен је мрежни протокол базиран на *Network Time Protocol (NTP)* протоколу [8], који омогућава усклађивање времена добијених са различитих временских извора у окружењима у којима постоји потенцијално кашњење у преносу података.

Практична имплементација развијеног теоријског модела за прикупљање, синхронизацију и обраду података са различитих сензора реализована је у виду *HCI-MAP* платформе. Платформа се састоји од скупа модуларних Веб апликација и сервиса који за комуникацију са сензорима и другим клијентским апликацијама користе *HTTP(S)* протокол. Због своје једноставности, за формат порука које се размењују између платформе и клијентских апликација одабран је *JSON* стандард.

Комуникација сензора са платформом може бити директна, кроз алгоритме који претварају изворне сигнале у облик разумљив за даљу обраду од стране платформе, или посредна, преко додатних уређаја или интерфејса. Тако, на пример, информације о динамици коришћења миша се прикупљају кроз апликацију инсталирану директно на клијентском рачунару, док се, са друге стране, софтвер који прикупља податке са ЕЕГ уређаја налази на таблет уређају, који са самим сензором комуницира путем *Bluetooth* протокола.

Метода научног експеримента примењена је на групи испитаника на примеру различитих тестова когнитивних способности. Тестови су реализовани путем четири различите Веб апликације - *Wisconsin Card Sorting Test*, *Visual Short Term Working Memory Test*, *mTutor (Electronic assesment)* и *AC Test*.

Анализом прикупљених података, применом различитих статистичких метода, развијен је модел вештачке интелигенције за процену когнитивних способности испитаника.

1.4 Научни допринос

Научни допринос овог рада се огледа у развијању модела вештачке интелигенције за аутоматизацију процеса прикупљања и анализе података добијених интеракцијом човека и рачунара. Овако развијени модел омогућава обраду прикупљених података са циљем процене когнитивних способности испитаника. Због брзине анализирања података која далеко надмашује могућности обраде од стране људи, систем може у реалном времену да шаље повратну информацију кориснику, чиме постаје активни учесник интеракције.

1.5 Интеракција човек-рачунар

Кориснички интерфејс представља спрегу преко које корисник обавља комуникацију са хардверским или софтверским компонентама рачунара. Фицови закони представљају један од начина да се квантитативно опише интеракција између човека и околине. Познавање правила за дизајн функционалног интерфејса омогућава реализацију ефикасне интеракције, при чему се минимализује број, а тиме и ефекат грешака које су последица људског фактора (корисника) на добијене резулате.

1.5.1 Фицови закони

Шенонова теорема о капацитету канала [9] описује однос између капацитета комуникационог канала, просечне јачине примљеног сигнала, просечног нивоа шума и пропусног опсега канала на следећи начин:

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

где је:

C - информациони капацитет комуникационог канала

W - пропусни опсег канала

S - јачина сигнала

N - просечни ниво шума

Пол Фиц је у свом раду [10] поставио хипотезу да је могуће направити адекватну аналогију између људских покрета и преноса информација кроз комуникациони канал [11]. Ако се покретима додели **индекс тежине** (у битовима као мерним јединицама), онда се може рећи да људски моторни систем преноси одређени број битова информација. Под претпоставком да је моторни систем код људи неидеални канал кроз који се преноси сигнал ометен од стране шума (који ограничава информациони капацитет канала), Фиц је поставио једначину која описује однос између брзине, удаљености, и прецизности извођења брзих циљаних покрета код људи, познату као Фицов закон:

$$T = a + b \log_2(2D / W)$$

где је:

T - време покрета за које се долази до циља

D - раздаљина од почетне позиције до средине циља

W - ширина мете

a и b - емпиријски одређене константе

Односно, време потребно за извођење покрета од почетне позиције до циљаног објекта је мање уколико је објекат већи и на мањој удаљености од почетне позиције.

1.5.1.1 Фицови експерименти

Како би доказао своју теорију, Фиц је спровео три врсте експеримента. Први експеримент је подразумевао да учесници оловком наизменично притискају две металне правоугаоне плоче [11,12]. Подешавајући величину плоча и растојање између њих, Фиц је дошао до резултата на основу којих је израчунао брзину обраде информација од стране људског моторног система - *Performance Index (PI)*.

Други експеримент се састојао од премештања пластичних дискова са рупама различитих димензија у средини са једне на другу иглицу. Слично као и у претходном експерименту, мењајући величину рупа и растојање које рука испитаника треба да пређе у процесу померања диска, Фиц је утврдио однос између индекса тежине (*ID*) и времена (*T*) потребног да се покрет успешно изврши.

У трећем експерименту, од учесника се захтевало да пребацују иглице из једне рупе у другу. Резултати добијени променама у ширини иглица и растојању између рупа, потврдили су да је могуће направити аналогију између јачине сигнала (у Шеноновој теореме) и раздаљине до циља, као и између нивоа шума и ширине мете и затим посматрати људске покрете као процес преноса информација кроз комуникациони канал (људски моторни систем).

1.5.1.2 Касније корекције

У каснијим истраживањима многи аутори су предлагали различите варијације основне Фицове једначине. Једна од најприхваћенијих је Велфордова формулација [11,13,14]:

$$T = a + b \log_2(D / W + 0.5)$$

за коју и сам Фиц сведочи да пружа бољу корелацију између потребног времена и индекса тежине [15].

Други истраживачи предлажу коришћење формуле која представља директнију аналогију са Шеноновом теоремом:

$$T = a + b \log_2(1 + D / W)$$

Основни разлози за њену примену су: 1) постизање боље корелације у односу на претходне две једначине (оригиналне Фицове и Велфордове); 2) у потпуности опонаша оригиналну Шенонову теорему на којој се базира Фицова једначина; 3) вредност индекса тежине ($\log_2(1 + D / W)$) не може бити негативна [11,14].

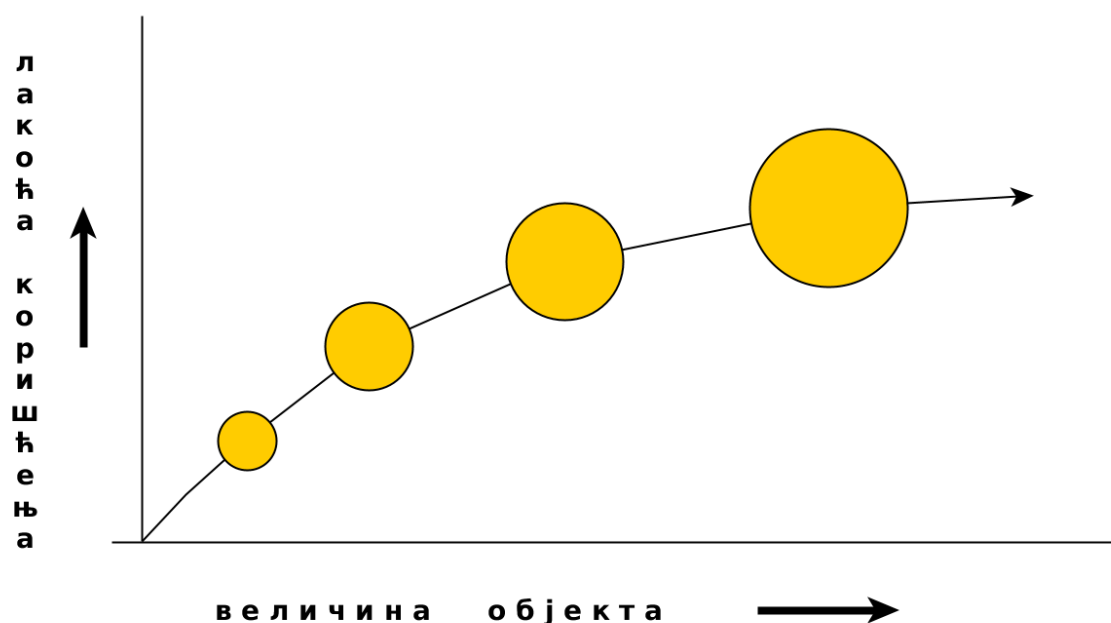
1.5.2 Примена Фицових закона на дизајн корисничког интерфејса

Кориснички интерфејс представља спрегу преко које корисник обавља комуникацију са хардверским или софтверским компонентама рачунара. У контексту интеракције човек-рачунар, главна примена Фицовог закона је у израчунавању и предвиђању вредности промењивих које су садржане у његовој основној једначини.

Друга примена Фицовог закона у овој области је у процесу процене и упоређивања карактеристика уређаја за контролу курсора (показивача) [14,16], нпр. рачунарских мишева, тачпедова, тачскрин уређаја, џојстика итд. У овом случају, уместо предвиђања времена потребног за извођење покрета, истраживачи на основу неколико измерених

временских интервала одређују начин на који различити услови утичу на коефицијенте садржане у једначини Фицовог закона.

Посматрањем Фицових закона из угла дизајна корисничког интерфејса може се доћи до неколико значајних закључака. Што је објекат шири (W), потребно је мање времена за остваривање интеракције са њим. При чему треба нагласити да је Фицова једначина логаритамска функција, што подразумева нелинеарну зависност између ширине објекта и лакоће коришћења (Слика 1). Потребно је имати у виду да, иако је Фицов закон везан за ширину објекта, у дводимензионалном простору његову висину не смемо занемарити. Кориснику би било готово немогуће да погоди објекат висине свега неколико пиксела, па је приликом дизајна неопходно узети у обзир облик објекта са којим корисник има интеракцију.



Слика 1. Нелинеарна зависност величине објекта и лакоће коришћења

Други значајан фактор у Фицовој теорему је растојање између почетног положаја и средине објекта са којим се интеракција врши. У складу са тим, неопходно је применити концепт креирања најкраћих путањи до акција за које је вероватноћа да ће их корисник

предузети највећа. Када је реч о интерфејсу који се приказује на рачунарском монитору можемо говорити о **примарном** (енгл. *prime*) и **магичним** пикселима [17].

Примарни пиксел представља прецизне координате тренутног положаја курсора миша, односно почетни положај са кога се обавља акција на екрану. Један од најважнијих изазова у дизајну интерфејса је одредити оптималне положаје објеката у односу на очекивани примарни пиксел, тако да је кориснику потребно што мање времена да изврши интеракцију са њима. Са друге стране, потребно је водити рачуна да примена овог концепта не доведе до сукоба са другим дизајнерским принципима, нпр. са принципом груписања различитих функционалности или садржаја у одвојене визуалне целине.

Магични пиксели се односе на положаје четири пиксела који се налазе у угловима екрана. Са једне стране, угловима и ивицама је најједноставније приступити, јер представљају границу до које се може обављати кретање курсором миша по екрану. Међутим, они истовремено представљају најудаљеније положаје у односу на примарни пиксел, што их чини неактрактивним из угла брзине приступа у складу са Фицовом формулом. Можемо закључити да, постављање циљаног објекта на углове и ивице екрана има смисла само уколико објекат у себи садржи сам магични пиксел.

Примена Фицовог закона је неопходна у процесу креирања корисничких интерфејса. У комбинацији са осталим дизајнерским принципима доприноси повећању лакоће коришћења и употребљивости.

1.6 Когнитивне перформансе

Когнитивне перформансе (способности) се дефинишу као процедуре које људски мозак користи за стицање нових знања и за доношење одлука на основу стеченог знања. Когнитивна перцепција нам омогућава да организујемо стимулусе које примамо кроз различита чула - вид, слух, укус, мирис и додир, и тако разумемо свет око себе. Пажња је когнитивни процес који нам омогућава да се концентришемо на стимулусе или активности како бисмо их касније обрадили. Памћење је когнитивна функција која нам омогућава да

кодирамо, сачувамо и присетимо се информација из прошлости. Резоновање (мисао) је основна функција сваког когнитивног процеса чија је улога да нам омогући да спојимо све информације које смо примили како бисмо утврдили везу између догађаја и знања [18,19,20].

Егзекутивне (извршне) функције представљају свеобухватни појам који се користи да би се описало ка циљу усмерено понашање, координисана активација многих когнитивних процеса који омогућавају одговор на нерутинске ситуације [21]. Значај егзекутивних функција је у томе што утичу на различите свакодневне активности, на самостално функционисање и успостављање социјалних релација [22]. Новије концепције наглашавају да их није могуће искључиво свести на когнитивне процесе, већ да оне обухватају и емоционалну компоненту и понашање [23]. Без њихове очуваности, особа не би била у стању да изабере адекватно понашање [24].

Кроз историју, неуропсихолошка испитивања су се ослањала на тестове базиране на папиру и оловци како би се процениле когнитивне способности. Ипак, последњих година, све већи број истраживача користи различите доступне технологије како би унапредили ефикасност, поузданост и једноставност неуропсихолошких евалуација [25].

Једна од предности рачунарског тестирања у односу на класичне тестове је њихова економичност, обзиром да захтевају мање времена за администрацију. Бодовање је аутоматизовано, резултати су тренутно доступни и могућност грешке испитивача је минимална. Неуропсихолошки тестови са папиром и оловком су ограничени на употребу од стране тренираних неуропсихолога за обављање администрације и интерпретације резултата за сваки појединачни тест. Тај процес је скуп и временски захтеван. Ова чињеница је подстакла развој различитих форми рачунарских тестова као релативно јефтине алтернативе стандардним тестовима [26].

Напредак технологије пружио је могућност добијања вредних информација на основу извршене евалуације које се не могу прикупити путем папира и оловке, као што су анализа паузи, персервативности, времена потребног за одговор за свако појединачно мерење, координације погледа и руке и сл.

1.6.1 Теоријска основа *Wisconsin Card Sorting* теста

Wisconsin Card Sorting је тест сортирања карата и најпознатији тест за откривање персеверативности (понављање моторних образаца) и менталне ригидности. Првенствено је намењен за процену апстракције здравих испитаника. Способност планирања, предвиђања, имплементације намере и провера извршених акција се процењују уз помоћ *WCS* теста [27].

Преко педесет година, *WCST* је један од најпопуларнијих и најпризнатијих тестова функција префронталног кортекса. Бренда Милнер, неуропсихолог са Института за Неурологију у Монтреалу, представила је *WCST* као тест за процену оштећења мозга код пацијената [28]. У данашње време постоје најмање две различите верзије *WCST* теста [29] са Милнеровом исправком [28] и скраћена верзија [30]. Касније, тест је претрпео додатне измене, па су тако настале нове варијанте теста [31] и [32].

У уобичајној верзији овог теста субјекту се дају два истоветна шпила од 64 карте (128 карата) са нацртаним фигурама: крст, круг, звезда и троугао у црвеној, зеленој, жутој и плавој боји, док је број фигура на карти од 1 до 4. На једној карти су све фигуре у истој боји. Презентују се четири стимулусне карте, према којима треба да се ређају карте по шпиловима, једна по једна испод стимулусних карата. Тако се испод сваке стимулусне карте ређају карте из шпилова једна преко друге (четири гомиле). Испитаник треба да открије актуелни принцип спаривања карата у односу на стимулусне карте из шпилова, а на основу повратне информације испитивача да ли је у питању тачан или погрешан одговор. Оцењивање се врши у односу на неколико фактора као што су: укупан број грешака, укупан број тачних одговора, број достигнутих категорија, број персеверативних одговора, број покушаја пре достизања прве категорије, број неуспелих покушаја да се одржи скуп итд. У клиничком испитивању најважнији резултати су вредности узастопних одговора и број достигнутих категорија.

У поређењу са класичним обликом решавања теста, "рачунарска верзија" има неколико предности. Испитаник гледа стимулусне карте и у односу на њих понуђена карта треба да се упари са једном од њих. Упаривање се врши кликом миша на стимулусну карту

за коју испитник сматра да је са понуђеном картом по неком основу слична. Испитанику се не дају превелика и детаљна упутства за решавање теста, суштина је да сам дође до решења на основу повратне информације у виду (различитог) звучног и визуалног сигнала који ће регистровати тачан и нетачан одговор. Предност решавања путем рачунара је што се тест ради брже, мада није временски ограничен и то што испитаника не збуњују остале карте које окреће, јер нема могућност да се врати на претходну карту коју је користио.

1.6.2 Теоријска основа **Visual Short Term Working Memory** теста

Визуална краткорочна меморија (енгл. *Visual short term memory*) се дефинише као способност задржавања мале количине визуалних информација (облици, боје, итд.) током кратког временског периода [33]. Информације које се задржавају у визуалној краткорочној меморији могу даље бити обрађене кроз радну меморију, могу бити претворене у дугорочну меморију, или једноставно могу бити заборављене. Краткорочна меморија има две основне карактеристике: ограничен капацитет и ограничено време трајања.

Капацитет краткорочне меморије може да задржи 7 елемената, плус/минус 2 елемента [34]. Краткорочна меморија је слабо променљива, због чега људи могу да запамте мање или више исти број елемената. Вештина памћења елемената зависи и од осталих фактора, као што је дужина речи, осећање везано за стимулус и остали лични фактори. Трајање краткорочне меморије је ограничено. Наша краткорочна меморија може да задржи информације до 30 секунди. Ипак, могуће је ове информације запамтити ако се понављају или ако им се да смисао.

Радна меморија (енгл. *working memory*) или оперативна меморија, је скуп процеса који омогућавају чување и манипулисање привременим подацима и извршавање сложених когнитивних активности. Радна меморија је тип краткорочне меморије. Примљени материјал (визуални, звучни и др.) се краткорочно складишти, али се њиме активно

манипулише, при чему оба процеса, складиштење и манипулација, бивају интегрисани ангажовањем свесно усмерене пажње [35,36].

Вишекомпонентни модел радне меморије представљен је у раду *Baddeley* и *Hitch* [35,37]. Последња верзија модела [33] садржи три система која се састоје од компонента за чување и обраду информација. Први систем је централни систем за извршавање који функционише као систем за надгледање. Његова улога је да одлучује о објекту на који се усмерава пажња и организација активности за извршење акције. Други систем је фонолошка петља која омогућава задржавање и управљање вербалног и писаног материјала у меморији. Трећи систем је визуоспацијална матрица која је одговорна за задржавање и управљање визуалним информацијама и задужена за визуалну краткорочну меморију.

Визуелна краткорочна меморија омогућава задржавање примљених визуалних информација и њихову каснију употребу. Веома је важна за нормално функционисање когнитивних способности и извршавање свакодневних активности. Свако оштећење визуалне краткорочне меморије смањује количину информација коју је особа способна да запамти, као и време задржавања информације.

Процену визуалне краткорочне меморије могуће је извршити неуропсихолошким испитивањима. Најчешће коришћени тестови укључују: класичан тест директних и индиректних бројева из Векслерове скале памћења [38], *NEPSY* тест Коркмана, Кирка и Кемпа [39], тест континуираног извођења (*CPT*) [40], Меморијски тест (*ТОММ*) [41], тест визуалне организације *Hooper (VOT)* [42], тест варијалби пажње (*ТОВА*) [43], и тест лондонска кула (*TOL*) [44]. Ови тестови, поред краткорочне визуалне меморије, процењују краткорочну меморију, брзину реакције, радну меморију, визуално скенирање, перцепцију окружења, памћење садржаја, именовање, разликовање и брзину обраде података [45].

1.6.3 Теоријска основа mTutor теста

Иако су истраживачи одувек покушавали да искористе неуролошка истраживања за унапређење постојећих модела електронског учења, у овој области и даље има доста простора за напредак. Један од највећих изазова је пронаћи начин да електронска процена знања у што већој мери осликава реално знање и вештине испитаника [46].

Савремени системи тестирања фокус са техничких и сигурносних проблема измештају на садржај тестова. Тако, данас постоји више од 20 основних типова питања која се могу искористити за израду тестова. Са друге стране, психолошко стање испитаника се најчешће игнорише, како у процесу дизајнирања тестова, тако и у току самог процеса тестирања. Ово је узрок честих притужби студената да су стресни услови утицали на постизање бољих резултата.

Како би се добило што је могуће више података о различитим емотивним реакцијама испитаника, питања су по тежини и садржају подељена у пет група – три групе "регуларних" питања (са једним тачним одговором и три тежине: лака (*LDQ*), средња (*MDQ*) и тешка (*HDQ*)) и две групе "специјалних питања": забавна (*FQ*), са тачним одговором који је очигледан јер су остали забавног карактера и немогућа (*ImQ*), која немају тачан одговор. Регуларна питања су категорисана у групе накнадно, на основу процента тачних одговора.

1.6.4 Теоријска основа АС теста

Визуално скенирање је вештина која омогућава да се ефикасно и брзо пронађу релевантне информације у нашем окружењу. Визуално скенирање спада у функције визуалне перцепције која је усмерена на откривање и препознавање визуалног стимулуса. Када је неопходно да се пронађе неки жељени предмет, мозак аутоматски обавља читав низ међусобно повезаних процеса.

Фокусирана пажња се односи на способност усмеравања пажње на стимулус. Са друге стране, селективна пажња јесте способност одржавања пажње на један стимулус када су присутни остали стимулуси који одвлаче пажњу. Овај тип пажње, уз когнитивно преусмеравање, омогућава преусмеравање пажње са циљног стимулуса, усмеравање пажње на небитан стимулус и затим враћање и усмеравање пажње на почетни стимулус [47].

АС Тест је тест из скупа неуропсихолошких тестова којим се испитује вигилност и флексибилност пажње. Спада у групу "тестова прецртавања слова" (енгл. *Letter Cancellation Task*) које први у свом раду описао Таланд [48], а недуго затим Дилер и остали [49]. Испитаник добија папир величине А4 формата на коме се налазе исписана различита слова у 29 редова са по 36 слова у реду. Задатак испитаника је да за четири минута заокружи сва слова А и С, идући с лева на десно, не прескачући редове и без могућности враћања на претходна слова. Резултат теста се формира у односу на укупан број тачно заокружених слова и укупан број грешака. У грешке спадају: грешке пропуштања - када испитаник прескочи да заокружи тражено слово и грешке погрешног заокруживања, односно заокруживања нетачног слова. Грешке се посматрају и у односу на просторну позицију па се квалификују као грешке центра, деснострани и левострани грешке. Уколико позиција грешака пропуштања доминира на некој од страна онда то може указати на могућност постојања синдрома једностраног занемаривања.

1.7 Вештачка интелигенција

Вештачка интелигенција (ВИ) је почела са развојем након Другог светског рата, а само име је добила 1956. године [6]. У односу на то да ли се бави процесима размишљања или понашања, ВИ се може дефинисати по основу ових категорија као систем који мисли као човек или систем који мисли рационално и са друге стране, као систем који се понаша као човек или систем који се понаша рационално [50].

Грчки филозоф, Аристотел (4 в.п.н.е), је први покушао да систематски анализира процес резонувања. Успео је да идентификује врсту расуђивања коју је назвао силогизам. Силогизам се може дефинисати као мисаони процес у коме се на основу две или више тврдњи изводи нови закључак, који је тачан под претпоставком да су све претходне тврдње тачне [51] (*Сви људи су смртни; Сократ је човек, следи Сократ је смртан*).

Готфрид Лајбниц, немачки филозоф, је покушао да дизајнира језик у коме би била могућа представа целокупног људског знања (филозофског и метафизичког). Овај језик би сачињавао азбуку људских мисли која би се могла користити за аутоматизацију процеса размишљања.

Математички развој логике почиње радовима Џорџа Була који је формулисао пропозициону или Булову логику. Бул је разматрао различите логичке принципе људског размишљања и представљао их кроз математичке форме, чиме је следио Лајбницову идеју о формулацији људског мишљења кроз универзални језик (алгебру). Након њега, немачки филозоф Готлиб Фриц проширује Булову логику тако да укључује објекте и релације и тако ствара логички модел који се данас користи у ВИ за репрезентацију знања и аутоматско резонување [6].

Крајем 18. века, британски научник Чарлс Станхоп дизајнирао је направу која је била у стању да решава једноставне логичке проблеме. Ова направа се састојала од кутије са улазима са стране у које су могле да се убацују обојене картице. Кроз отвор на средини кутије могле су се видети позициониране картице које су представљале проблем, а на основу посматрања њиховог преклапања могло се одредити решење проблема [51].

Алан Тјуринг, је 1950. године у свом раду *Computing Machinery and Intelligence* поставио питање да ли машина може да прође тест интелигентног понашања, касније назван Тјурингов тест. Машина пролази Тјурингов тест ако испитивач - човек, после постављања неколико питања, не може да одреди да ли је одговор дао човек или машина. Тјурингов тест који је касније допуњен видео сигналом се и данас сматра релевантним за проверу способности интелигентног понашања машине.

Појава Интернета је позитивно утицала на развој ВИ. Интернет представља погодан окружење за развој аутономних софтверских агената који претражују Интернет

домен или препоручују кориснику одговарајући садржај на основу његових интересовања. ВИ је нашла своју примену и у комерцијалној сфери, као што је аутоматизована израда Веб сајтова (*Wix ADI, Firedrop*), пружање техничке подршке (*chatbots*), гласовне претраге (*Alexa, Siri, Google Assistant*), детектовање сајбер напада (*Intrusion detection/prevention systems*) и друге. Поред тога, системи ВИ нарочито добијају на значају данас, када концепт Интернет ствари (енгл. *Internet of Things* [IoT]) добија на популарности.

1.7.1 Машинско учење

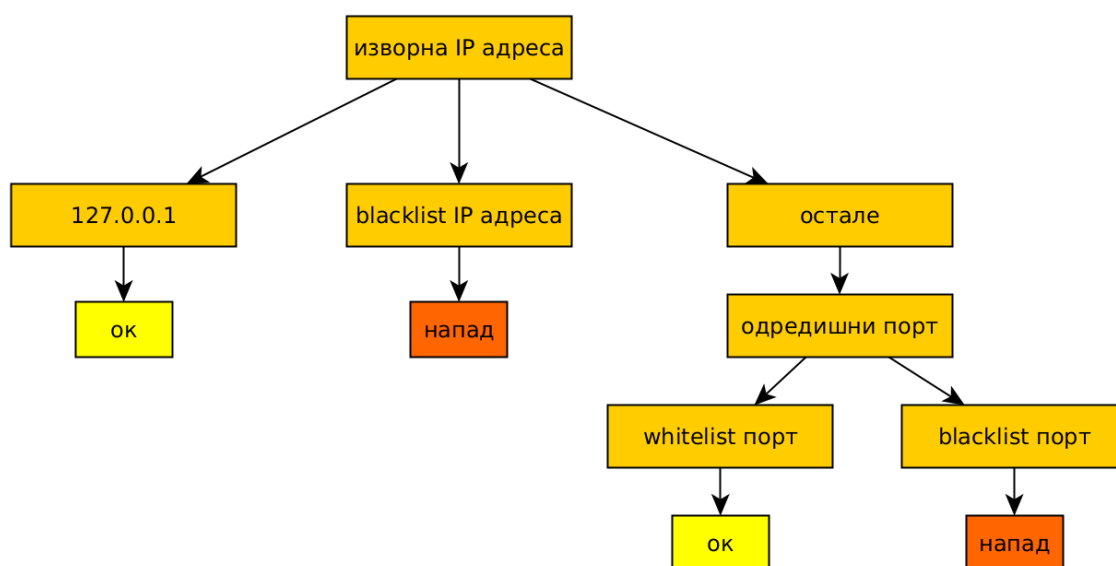
Термин **машинско учење** се може одредити као аутоматско детектовање смислених образаца у подацима [52]. Машинско учење се у свом развоју ослања на системе вештачке интелигенције, теорији вероватноће, статистици, неуропсихологији и другим сродним научним дисциплинама. За разлику од класичне употребе програма на рачунарима, због сложености образаца које је потребно детектовати, програмер не може да обезбеди експлицитно дефинисану спецификацију како сваки од ових задатака треба да се изврши. Многе вештине људи стичу и усавршавају учењем из искуства, а не праћењем стриктних инструкција које су нам дате. Машинско учење се заснива на програмима коју су у стању да уче и прилагођавају се.

Неки од модела машинског учења који су примењени у квантитативној анализи резултата нашег истраживања су: **стабла одлучивања** (енгл. *Decision tree*), **Support Vector Machine**, **К-најближих суседа** (енгл. *K-nearest neighbors*) и **неуронске мреже** (енгл. *Neural Networks*).

1.7.1.1 Стабла одлучивања

Стабла одлучивања се састоје од унутрашњих чворова који процесуирају дате податке и враћају бинарну одлуку у зависности од додељеног услова. Гране дрвета представљају исход теста, а лишће означава назив класе [53]. Овај приступ омогућава

разлагање сложене одлуке на скуп неколико мањих одлука. Дрво се формира дељењем иницијалног скупа који садржи све податке према изабраном атрибуту (карактеристици). Сваки подскуп чини један чвор дрвета и сваки чвор може имати само једног родитеља. Чворови дрвета који садрже више инстанци се даље деле по атрибутима док се не дође до чворова који садрже само једну инстанцу или више инстанци које се не могу даље поделити по карактеритикама. Ови крајњи чворови су лишће дрвета (Слика 2).



Слика 2. Пример стабла одлучивања за одређивање злонамерних конекција

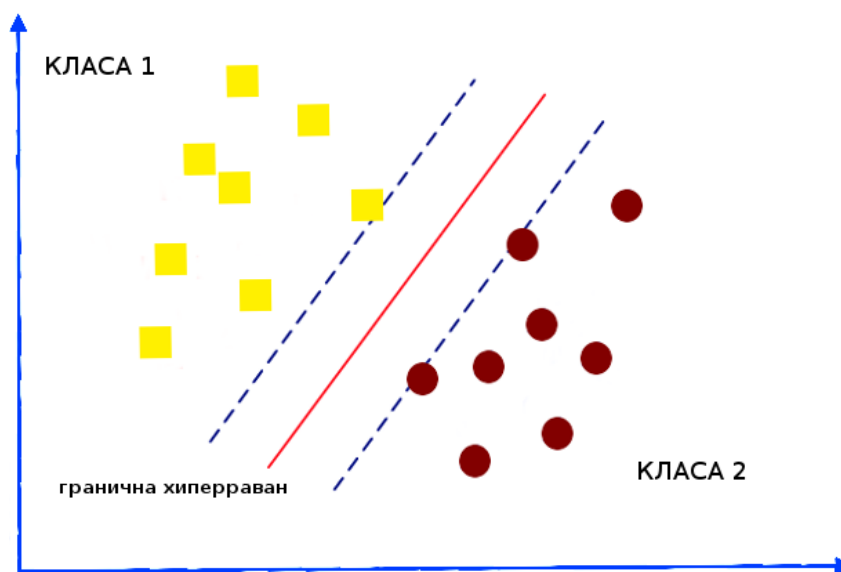
Орезивање стабла (енгл. *Tree pruning*) је техника машинског учења која се користи да минимализује величину стабла одлучивања мењајући неке од чворова лишћем, како би се смањила комплексност класификатора и унапредила његова прецизност. Орезивање стабла се може извршити *pre-pruning* или *post-pruning* методом. Код *pre-pruning* методе, стаблу се не дозвољава да се у потпуности формира, већ се поставља гранична вредност која ограничава експанзију дрвета. У случају *post-pruning* технике, стабло је у потпуности формирано када се коришћењем одабраног алгоритма орезују гране (чворови) чиме се редукује његова величина и смањује време тренирања класификатора [54].

Случајна шума (енгл. *Random forest*) је класификатор који се састоји од великог броја појединачних стабала одлучивања. У првом кораку, свако појединачно стабло одреди

класу инстанце, а затим се инстанца класификује на основу класе за коју је "гласао" највећи број стабала. Бољи резултати класификације у односу на индивидуално стабло одлучивања постижу се захваљујући ниској корелацији између појединачних стабала [55]. Један од начина остваривања ниске корелације је путем малим променама у тренажном скупу сваког стабла. Други начин је одређивање подскупа (уместо целог скупа) својстава (карактеристика) које се презентују стаблу у процесу његовог раста.

1.7.1.2 Support Vector Machine

Support Vector Machine (SVM) је метода класификације која максимализује раздаљину између граничне хиперравни и простора који одговарају различитим категоријама (класама), тако да је удаљеност хиперравни од најближих тачака (инстанци) класа максимална [56]. Тачке које су најближе граничној хиперравни називају се **подржавајући вектори** (енгл. *support vectors*) (Слика 3). Истовремено, то су тачке података које је најтеже класификовати. Њихово уклањање из тренажног скупа података променило би положај граничне хиперравни.



Слика 3. Хиперраван и подржавајући вектори у дводимензионалном простору

Најчешћа примена *SVM* класификатора је у категоризацији текста и препознавању објеката на сликама.

1.7.1.3 К-најближих суседа

К-најближих суседа је алгоритам за машинско учење који спада у групу алгоритама са надгледаним учењем (обучавање са учитељем, енгл. *supervised machine learning*). У процесу тренирања се ослања на обележене податке и на основу њих покушава да пронађе најбољу апроксимацију функције која производи жељени (исправан) излаз за тачке које не припадају обучавајућем скупу [57]. Посматрана инстанца се класификује у односу на то како су класификовани њени суседи.

У својој основи, алгоритам се заснива на груписању тачака на бази њихове међусобне удаљености. Најчешће се удаљеност рачуна као праволинијска раздаљина између тачака у равни (Еуклидска дистанца). Као примери других метрика које се могу користити за израчунавање удаљености могу се навести: Мехнетн раздаљина (енгл. *Manhattan distance*), Чебишева раздаљина (енгл. *Chebyshev distance*), Махаланобисова раздаљина (енгл. *Mahalanobis distance*).

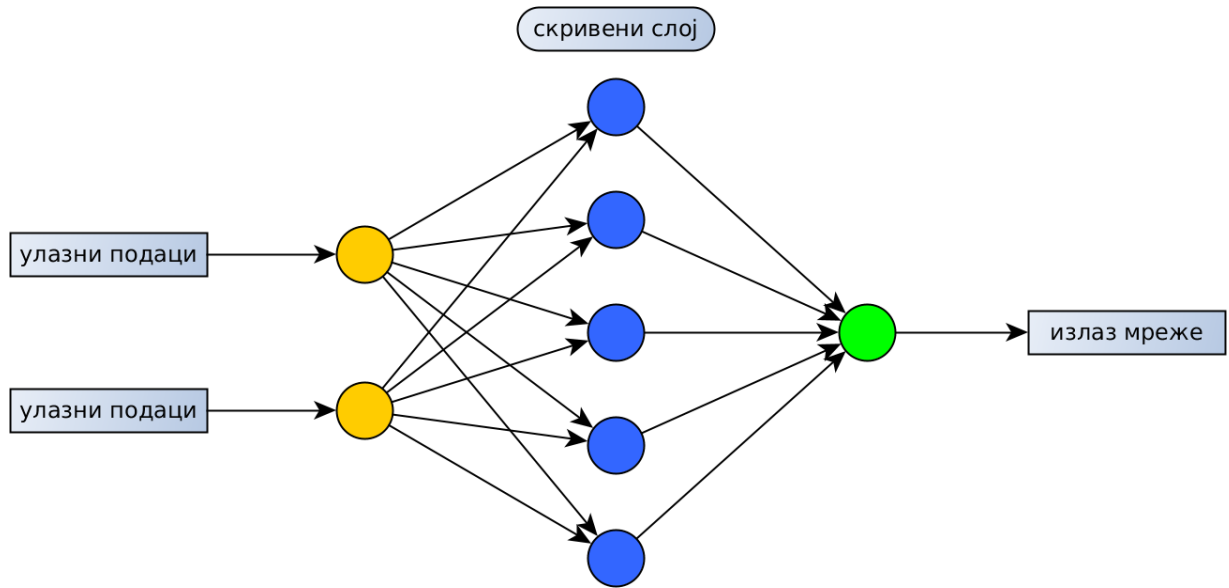
Фактор (параметар) **k** се користи за одређивање броја суседа који су укључени у процес "гласања". Инстанци се приписује класа која има највише гласова од стране *k*-њених суседа. За вредност параметра **k** се узима непаран број како би се избегла могућност да више класа имају исти број гласова.

1.7.1.4 Неуронске мреже

Неуронске мреже представљају модел препознавања образаца кроз симулирање начина рада људског мозга. Из тог разлога, неуронске мреже представљају алат помоћу кога би се могли моделовати биолошки неуронски системи. Уколико би систем неуронских мрежа могао симулирати капаците људског мозга, створила би се изврсна рачунарска подлога за изучавање свих когнитивних процеса присутних у нашем мозгу, што би дало снажан подстицај остваривању већине циљева ВИ [6]. За разлику од класичног рачунарства које захтева експлицитно писање програма у неком изабраном програмском језику, неуронске мреже обављају намењени задатак имплицитно, преко фазе обучавања подржане примерима структурираним у обучавајуће скупове.

У једнослојним и вишеслојним неуронским мрежама са простирањем сигнала унапред (енгл. *feed-forward*), сваки појединачни неурон је повезан са неколико неурона у слоју испод њега, од којих прима податке и са неколико неурона у слоју изнад, којима шаље податке (Слика 4). Свакој долазећој конекцији (синапси) неурон ће доделити вредност која се назива **синаптичка тежина**. Када је мрежа активна, неурон прима различите податке са сваке синапсе и множи их са додељеном тежином синапсе. Након тога, сабирајући добијене вредности, формира тежинску суму улаза. Најчешће, ако је та вредност испод одређене граничне вредности (прага), неурон не шаље податке следећем слоју. Уколико је вредност тежинске сума већа од прага, неурон ће проследити податак о тежинској суми преко свих својих конекција неуронима у следећем слоју.

Приликом тренирања неуронске мреже, синаптичким тежинама и праговима се додељују случајне вредности (практична препорука је да вредност буде у опсегу $\left[-\frac{3}{\sqrt{k_i}}, \frac{3}{\sqrt{k_i}}\right]$ где је k_i број улазних конекција у неурон i). Тренирање започиње од најнижег слоја и наставља се кроз повезане слојеве мреже док не стигне до излазног слоја. У том процесу, синаптичке тежине и прагови се динамички прилагођавају док сви подаци из обучавајућег скупа који припадају истој категорији (класи) не произведу исте излазе.



Слика 4. Вишеслојна неуронска мрежа са простирањем унапред

2 ПРЕГЛЕД ОБЛАСТИ

За прикупљање података о емотивним карактеристикама испитаника коришћен је *EMOTIV EPOC+* уређај. Уређај је у стању да изолује *P300* сигнал ниског напона (2-5 μV) за који се сматра да се јавља као последица доношења одлука у односу на спољашњи стимулус, односно његове процене и категоризације [58,59]. Пошто је његова снага веома мала у односу на ЕЕГ, тешко га је разликовати од позадинског шума који се јавља приликом мерења. Ово потврђује да је уређај у стању да изврши филтрирање сигнала и њихову диференцијацију од импулса који проистичу из секундарних извора, као што су контракције фацијалних мишића.

У истраживању [60] је утврђено да уређај успешно детектује сигнале који се јављају у различитим регионима мозга у зависности од боје и структуре посматраног објекта. На основу тога, аутори су били у могућности да јасно одреде изражену асиметрију у активности десне и леве мождане хемисфере. У другом раду [61] је показано да су обрасци мождане активности и одговарајуће фреквенције сигнала исправно класификовани у случајевима када корисник одабере најпожељнији маркетиншки производ. У студији Тејлора и Смита [62], тестирана је способност уређаја да правилно разликује шест парова менталних акција (*Push - Pull, Lift - Drop, Rotate left - Rotate right...*). Резултати показују да је исправна одлука о иницирању акције донета у половини случајева, у односу на лажну класификацију догађаја, када систем детектује менталну акцију која се није догодила. Додатно, систем је био у стању да у 87.5% случајева исправно одреди менталну акцију замишљену од стране учесника експеримента.

Задавање менталних команди путем *EMOTIV EPOC+* интерфејса испитано је на примеру исцртавања коцкастих, сферичних, цилиндричних, пирамидалних и конусних објеката у *CAD* систему [63]. У 44.6% случајева визуално замишљање једног од 5 основних облика довело је његовог исправног исцртавања у *3D* окружењу. Иако је метод ограничен на примитивне облике, резултати показују постојање јасне корелације између

особина комплексних објеката (заобљености, оштрине, симетрије, закривљености...) и измерених ЕЕГ вредности.

У другим студијама фокус је стављен на управљање роботском руком или трактором на даљину коришћењем различитих фацијалних израза. У оба случаја је утврђена могућност примене ЕЕГ уређаја за контролу правца по вертикалној [64] и хоризонталној оси [65]. У оквиру истраживања [66] развијена је апликација која омогућава бирање телефонског броја на *iPhone* уређају путем детектовања *P300* сигнала у тренутку осветљавања слике жељеног контакта на телефону.

У својој студији [67], аутори истражују емотивна стања студената, представљена у виду фрустрације и узбуђења, која се јављају као последица повратних информација добијених од Интелигентних система за учење (енгл. *Intelligent tutoring systems [ITS]*). Анализирајући добијене резултате аутори су развили модел који омогућава овим системима да предвиде емоције студента и у складу са тим модификују повратне информације које се студентима пружају.

Емотивне реакције на различите визуалне стимулусе биле су предмет екперимената у два независна рада [68,69]. У првом раду је испитана могућност препознавања ЕЕГ образаца у стању опуштености и замишљања две врсте слика: лица и кућа, при чему је остварена прецизност од 48%. У другом раду, развијен је метод за интерпретацију ЕЕГ вредности са циљем разликовања менталних образаца у случајевима када корисник посматра пријатну и непријатну слику у односу на неутралан контекст.

У оквиру своје студије [70] Е. Т. Есфакани и други, тестирано је детектовање нивоа задовољства и његова употреба у исправљању понашања робота како би се ниво задовољства максимизовао. Иако на малом броју испитаника (четири мушкарца), правилна класификација извршена је у просечно 79.2% случајева.

Још једна студија [71] која се бави препознавањем емоција коришћењем ЕЕГ сигнала и уређаја за праћење погледа описује резултате експеримената у којима су испитаници гледали 15 емотивних филмских исечака сврстаних у три категорије - позитивне, неутралне и негативне. Презентована анализа показује да се на основу ЕЕГ

података и пречника зенице (детектованог путем *eye tracker* уређаја) може успешно класификовати емоција са прецизношћу од 73.59%.

У сличном раду [72], аутори су користили различите класификационе алгоритме како би одредили две емотивне категорије код испитаника (позитивну и негативну). Подаци на основу којих су издвојене карактеристике за класификацију су прикупљени употребом ЕЕГ уређаја. Испитаници су гледали 12 филмских исечака (6 позитивних и 6 негативних) у трајању од 4 минута. Најбољи резултати су постигнути уз помоћ дубоке мреже веровања (енгл. *deep belief network*) при чему остварена прецизност износи 87.62%. Следе, *SVM* и *KNN* са 84.08% и 69.66%, редом.

У. *Lin* и остали у свом истраживању испитују могућност одређивања осећања за време слушања музике [73]. На основу ЕЕГ података од 26 испитаника покушали су да детектују једну од четири категорије емотивних стања - радост, љутња, туга и задовољство. За време експеримента испитаници су слушали 16 различитих музичких клипова у трајању од 30 секунди. Резултати класификације употребом *SVM* алгоритма показују да је могуће одредити емотивно стање испитаника са прецизношћу од 92.57%.

Још један рад [74] који користи *SVM* алгоритам за класификацију позитивних и негативних емотивних стања користи филмске исечке као стимулусе. Студија је спроведена на 6 испитаника који су гледали 12 филмских исечака дужине 4 минута. За то време на глави су носили ЕЕГ уређај. Одабиром 100 својстава са највећим коефицијентом корелације постигнута је прецизност од 89.22%.

Развој методе за одређивање степена замора возача у току вожње је још један пример примене ЕЕГ сигнала за детектовање менталних перформанси корисника [75]. На основу прикупљених података од 30 испитаника који су користили симулатор вожње у трајању од 33 до 60 минута, предложен је метод за класификацију нивоа замора возача у једну од две категорије - спреман/на опрезу и уморан/поспан. Презентовани модел на свака три минута утврђује степен замора и даје повратну информацију кориснику система. Одабиром карактеристика са највећом корелацијом остварена је најбоља средња прецизност од 96% употребом *KNN* класификатора. Други најбољи резултат износи 81% прецизности и добијен је коришћењем *SVM* алгоритма.

Како би измерили "академска" емотивна стања студената током решавања Берговог теста сортирања карата, аутори су у свом истраживању [76] користили изворне ЕЕГ податке и из њих издвојена статистичка својства као улаз за различите класификационе алгоритаме. Академска стања су категорисана као: досада, збуњеност, ангажовање и фрустрација. На узорку од 19 студената који су користили *EMOTIV EPOC+* уређај за прикупљање ЕЕГ података, најбољи резултат је постигнут употребом *KNN* класификатора. Резултати показују да је могуће одредити емоцију коју студент осећа у току тестирања са прецизношћу од 54.09%.

У свом раду [77], аутори су уз помоћ ЕЕГ уређаја и уређаја за праћење погледа испитивали утицај маркетиншких стимулуса на процес одлучивања. Од испитаника се захтевало да одаберу свој омиљени кекс на основу облика - круг, троугао и квадрат, укуса - празан, пшенични и пиринчани и прелива - са преливом и без прелива. Основни закључак је да постоји јасна промена у ЕЕГ вредностима у тренутку када испитаник одабере жељени производ. Додатно, укус и прелив кекса су се издвојиле као доминантне карактеристике које утичу на избор омиљеног производа од стране купца.

Једна од студија која се бави безбедносним аспектима употребе ЕЕГ сензора од стране корисника описује модел напада који омогућава откривање осетљивих података као што су бројеви банковних картица, ПИН кодови, место становања или знање о познатим личностима [78]. Закључци су формиран на основу резултата пет независних експеримента. Први експеримент је имао за циљ да утврди могућност откривања (делимичних) информација о ПИН коду који је корисник одабрао. Циљ другог експеримента био је добијање података о банковном рачуну на основу приказаних слика банака. У трећем експерименту покушано је откривање датума рођења корисника на основу ЕЕГ података прикупљених током приказивања секвенци имена месеци. Четврти експеримент се односио на препознавање лица познатих личности. Циљ последњег експеримента је одређивање географске локације корисника приликом приказивања мапа предела од интереса. Резултати показују да је проценат успешне класификације у случају ПИН кода, банковних рачуна и познатих личности 20%. Када је реч о месецу рођења успешност је износила 60%, а у случају одређивања локације, прецизност је износила 30%.

У свом раду [79], аутори су, коришћењем преносивог ЕЕГ уређаја, мерили два конгнитивна својства, фокусирану пажњу и радну меморију. Обучавањем неколико различитих класификатора за предвиђање три нивоа поменутих особина, остварили су прецизност од 84% и 81% за фокусирану пажњу и радну меморију. Друга студија [80] се бави истраживањем утицаја начина презентовања визуалних информација у различитим временским интервалима на прецизност и поузданост репродукције током *VSTM* евалуације. Резултати показују да се највећа ефикасност репродукције постиже након првог тестирања *VSTM*. Студија такође показује да, у случају више евалуационих сесија, ефикасност репродукције је боља ако се тестирања обављају у кратким временским интервалима, него у дужим (неколико сати и више).

У ситуацији која је изузетно важна за особу ретко када се јавља само једно осећање или једна тенденција за понашањем. Обично се јавља више емоција, које се манифестују паралелно или секвенцијално једна за другом. Из тог разлога, могуће је да стрес и опуштеност, иако супростављена осећања, достигну исти или сличан ниво у једном тренутку. Када корисник посматра слику са већим бројем детаља, неопходно је да се ангажује и ментално и емоционално како би запамтио што више детаља. Као резултат, стрес се повећава. Ова врста стреса се назива еустрес и корисна је јер помаже постизању циљева и повећава ефикасност током ангажовања [81].

Према једној студији [82], емотивне слике са сложеним сценама имају другачији ефекат на краткорочну визуалну меморију у поређењу са неутралним сликама са објектима. Стрес је увек присутан, али има повишене вредности у случају сложених емотивних слика. Разлика у визуалној комплексности посматраних слика утиче и на ефикасност памћења - комплексније емотивне слике се памте са више детаља од неутралних слика. Емотивно узбуђење повећава активност амигдале и хипокампуса које позитивно утичу на ефикасност памћења.

Један од првих радова који се баве испитивањем корелације између погледа корисника и коришћења рачунарског миша описује зависност кретања курсора миша по екрану и фокуса очију корисника током прегледања Веб страница [83]. Прикупљени подаци показују да је погледом обухваћено око 50% садржаја на страници, а курсором је

посећено приближно 38%. Додатно, од региона које корисник није гледао, 88% није било посећено мишем. Просечна корелација између локације погледа и миша износи 58%. Резултати потврђују да постоји снажна корелација и јасни обрасци понашања корисника током гледања Веб странице. На основу тога, аутори тврде да је, осим координата на које је корисник кликнуо, могуће искористити далеко више информација добијених од рачунарског миша. У закључку се предлаже даљи развој модела који би омогућио предвиђање локације погледа корисника на основу података о кретању миша и тиме обезбедила алтернатива скупим уређајима за праћење погледа.

У другој студији је тестирана зависност кретања миша од положаја погледа током извршавања четири операције претраживања Веб сајта [84]. Резултати прикупљени од 27 испитаника показују да је просечан проценат поклапања локације погледа и курсора, у зависности од извршене акције, између 59% и 74%. Са друге стране, кретање миша је пратило кретање погледа у просеку у 69% случајева.

Још једно истраживање које се бави утврђивањем временских интервала у којима се положај погледа и курсора миша поклапају, засновано је на понашању корисника у току претраге Веб садржаја [85]. На основу анализираних података аутори су презентovali неколико значајних закључака. Прво, проценат поклапања директно зависи од времена проведеног на страници, личних навика корисника и тренутног стања курсора. Курсор је најчешће био у стању "неактивности" (58.8% времена), затим у стању "истраживања" (32.9%) и на крају у статусу "читања" (2.5%). И на крају, развијени модел се може применити за делимичну апроксимацију положаја погледа на основу положаја миша, у мери у којој корисник активно користи миша у процесу претраживања Веб садржаја (уколико корисник није статичан).

3 ЕКСПЕРИМЕНТИ

У сврху демонстрације примене вештачке интелигенције у анализи интеракције између човека и рачунара и процену когнитивних перформанси спроведена су четири експеримента. За потребе сваког појединачног експеримента развијена је посебна клијентска апликација, са могућношћу повезивања са сензорским апликацијама путем синхронизацијске платформе (*HCI-MAP*). У овом истраживању коришћени су подаци са три сензора: ЕЕГ уређаја, уређаја за праћење погледа и рачунарског миша. Како би се омогућила агрегација и каснија заједничка обрада података о целокупној интеракцији човека и рачунара, за комуникацију са ЕЕГ уређајем и уређајем за праћење погледа написане су независне сензорске апликације.

3.1 Технологије

HCI-MAP је реализована у *PHP* програмском језику у форми модуларних Веб апликација и сервиса, а за комуникацију са сензорима и клијентским апликацијама користи протокол базиран на *JSON* формату. Прикупљени подаци се смештају у релациону базу (*MySQL*) одакле су доступни за обраду у реалном времену или каснију анализу. Генерички начин извоза податка као временских серија је у *CSV* формату.

Како би развијени апликативни интерфејс био што универзалнији, а тиме платформа доступна за коришћење са великим бројем различитих сензорских уређаја, структура *JSON* поруке није строго стандардизована. Порука садржи пет обавезних основних атрибута: *TimeOffset* – који одређује временску разлику између сата на сензору и платформи; *Source* – који идентификује сензор који шаље податке; *Session* – који садржи јединствени идентификатор сесије; *SequenceNumber* – чија је улога да детектује исправност секвенце примљених пакета и *Records* – који представља низ снимљених података са сензора. *Records* поље је промењиве структуре у зависности од конкретног

типа података који сензорска апликација прослеђује платформи. На Листи 1. приказан је пример *JSON* поруке примљене са *eye tracker* уређаја.

Листа 1. Пример *JSON* поруке са *eye tracker* уређаја

```
{
  "TimeOffset": 0.8142,
  "Source": "Eye/Tracker",
  "Session": "5a62f67491b52",
  "SequenceNumber": 4,
  "Records": [
    {
      "Type": "state",
      "mouse_y": 0.2856,
      "mouse_x": 0.3889,
      "eye_y": 0.139,
      "eye_x": 0.4046,
      "Timestamp": 1528208256.224
    },
    {
      "Type": "state",
      "mouse_y": 0.2856,
      "mouse_x": 0.3889,
      "eye_y": 0.1566,
      "eye_x": 0.4098,
      "Timestamp": 1528208256.256
    }
  ]
}
```

MyEmotivator сензорска апликација је дизајнирана за рад на *Android* оперативном систему. Због поседовања неопходних функционалности *API*-а, минимална верзија *Android*-а потребна за извршавање апликације је *Android 5.0 - Lollipop*. Тестирање је

успешно извршено и на вишој верзији 7.0 и 7.1 (*Nougat*), а може се претпоставити да је у потпуности компатибилна и са најновијом верзијом *Android*-а у тренутку писања овог рада - *Android 10.0*. У зависности од верзије оперативног система, по завршетку инсталације или приликом првог покретања апликације неопходно је одобрити системске дозволе за приступање *Bluetooth* интерфејсу и Интернет конекцији.

MyEmotivator је дизајниран у развојном окружењу *Android Studio 3* коришћењем *Java 1.8* програмског језика. Развој апликације можемо поделити у неколико фаза: израда интерфејса за *core* функционалности, управљање процесом повезивања на *EPOC+* уређај, израда интерфејса за складиштење и слање података и израда графичког окружења (*GUI*).

Под примарним (*core*) функционалностима подразумевамо методе основног нивоа приступа изворним подацима које за циљ имају подешавање режима рада уређаја, прибављање тренутно активног стања и одређивање вредности емотивних перформанси, фацијалних израза и менталних команди. Да би се остварила максимална брзина извршавања базичних алгоритама, *core* функционалности су имплементирани у форми динамичких *Share Object (so)* библиотека. Зарад брзине жртвована је подразумевана портабилност *Java* кода, који је на овај начин ограничен на коришћење у оквиру задате платформске архитектуре.

У *Java* програмском језику, методама из екстерних библиотека може се приступити употребом *Java Native Interface (JNI)*. Приликом именовања *native* функција поштоване су стандардне конвенције које се примењују за повезивање динамичких библиотека са *Java* кодом [86]. Ради прегледности, сви позиви *native* функција смештени су у један фајл који се касније референцира из осталих делова кода.

AyeEye је апликација намењена повезивању и прикупљању података са *Eye Tribe* сензора [87] за праћење локације погледа. Обзиром да апликативни интерфејс уређаја подржава интеграцију са *C++*, *C#* и *Java* платформом, одлучили смо да сензорску апликацију развијемо у *Java* програмском језику. Програмски код је писан у *NetBeans 8.2* развојном окружењу на верзији *Java 1.8*. У случају *AyeEye* апликације подразумевана преносивост *Java* кода условљена је оперативним системом који је подржан од стране серверског софтвера кога испоручује произвођач уређаја и софтвера за калибрацију са

којима *AnyEye* остварује директну комуникацију. Из тог разлога, апликација је ограничена на рад на *Windows* и *MacOS* оперативним системима.

WCS, **VSTWM** и **AC тест** су развијени у форми клијентске Веб апликације, коришћењем *JavaScript*, *HTML5* и *CSS* језика. Одабир технологија је извршен са примерним циљем обезбеђивања преносивости и независности кода од рачунарског система на коме се извршава. На овај начин је омогућено коришћење клијентских апликација на различитим хардверским архитектурама и оперативним системима. Једини неопходан предуслов за обављање тестирања јесте постојање Веб прегледача (енгл. *browser*) који подржава наведене технологије. Комуникација са *HCI-MAP* је остварена кроз дефинисани апликативни интерфејс базиран на *JSON* формату, слањем порука које садрже детаљне податке о акцијама које корисник остварује са рачунаром путем апликације.

mTutor је реализован је у виду Веб платформе за електронско тестирање у *PHP* програмском језику на *HTTP(S)* протоколу, базиране на *SOA* архитектури сервиса [88]. За смештање података о питањима, тестовима и резултатима студената коришћена је *MySQL* релациона база. За једноставније управљање сложеним функционалностима система имплементирана су три независна софтверска модула са различитим привилегијама корисника - администраторски, наставнички и студентски модул. Администраторски модул подразумева управљање налозима корисника, корисничким групама, дефинисање просторија и предмета и подешавање системских параметара. Наставнички модул подразумева креирање структуре предмета, група питања, дизајн тестова и дефинисање студентских група и просторија. Основне функционалности студентског модула су решавање тестова и преглед резултата.

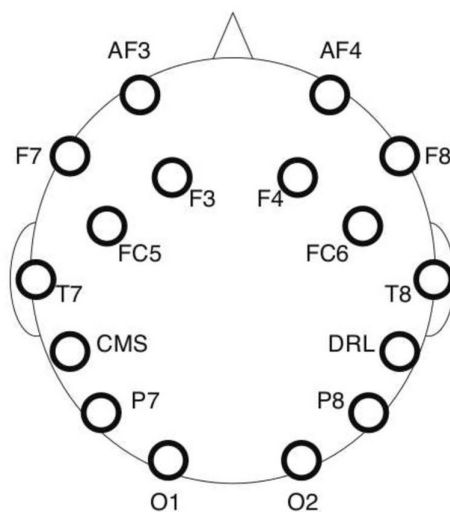
3.2 Уређаји / сензори

У овом истраживању за интеракцију између човека и рачунара коришћена су три основна сензора: ЕЕГ уређај, уређај за праћење положаја погледа и рачунарски миш.

Иако се било који ЕЕГ уређај може повезати на архитектуру *HCI-MAP*, у овом раду за потребе мерења варијабилности емотивних карактеристика испитаника у зависности од промена у спољашњем окружењу коришћен је *EMOTIV EPOC+* уређај [89]. *EMOTIV EPOC+* је бежични ЕЕГ уређај са 14 канала дизајниран за потребе мерења активности можданог кортекса. Могућност приступа изворним (сировим) ЕЕГ подацима, чини уређај погодним за потребе развоја *Brain-computer interface (BCI)* апликација. Новији модели уређаја имају уграђен жироскоп, акцелерометар и магнетометар [90].

Конвенционална техника мерења ЕЕГ мозга подразумева постављање електрода на кожу главе корисника при чему се ради боље проводљивости електричних импулса на конекторима користи специјализована паста или гел. Имена електрода и њихов положај одређена су конвенцијом под називом *International 10–20 system* [91], која гарантује стандардизован метод за обезбеђивање међусобне упоредивости добијених резултата и њихову репродукцију. У основи, локација електроде означава се у односу на област мозга коју читава (*Pre-frontal (Pf)*, *Frontal (F)*, *Temporal (T)*, *Parietal (P)*, *Occipital (O)*), и *Central (C)*) и страну главе на коју је постављена, тако да парни бројеви означавају десну, а непарни леву страну.

У складу са техничком документацијом [18], 14 канала (плус 2 контролна) које поседује *EMOTIV EPOC+* уређај носе називе: *AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4* (Слика 5). Слање података са уређај на рачунар обаља се искључиво путем бежичне *Bluetooth* технологије.



Слика 5. Положај и називи *EMOTIV EPOC+* канала

На основу измерених изворних ЕЕГ вредности, кроз ригорозну екперименталну анализу *EMOTIV* је развио три различита типа алгоритама за детекцију фацијалних израза, емотивних перформанси и менталних наредби [92]. Употребом доступних софтверских алата могуће је одредити вредности шест емотивних и подсвесних стања: узбуђење (енгл. *Excitement*), заинтересованост (енгл. *Interest*), стрес (енгл. *Stress*), ангажованост (енгл. *Engagement*), пажњу (енгл. *Focus*) и опуштеност (енгл. *Relaxation*). Коришћење менталних команди базира се на тренирању система кроз препознавање мисаоних образаца у зависности од жељеног исхода (нпр. померање објеката).

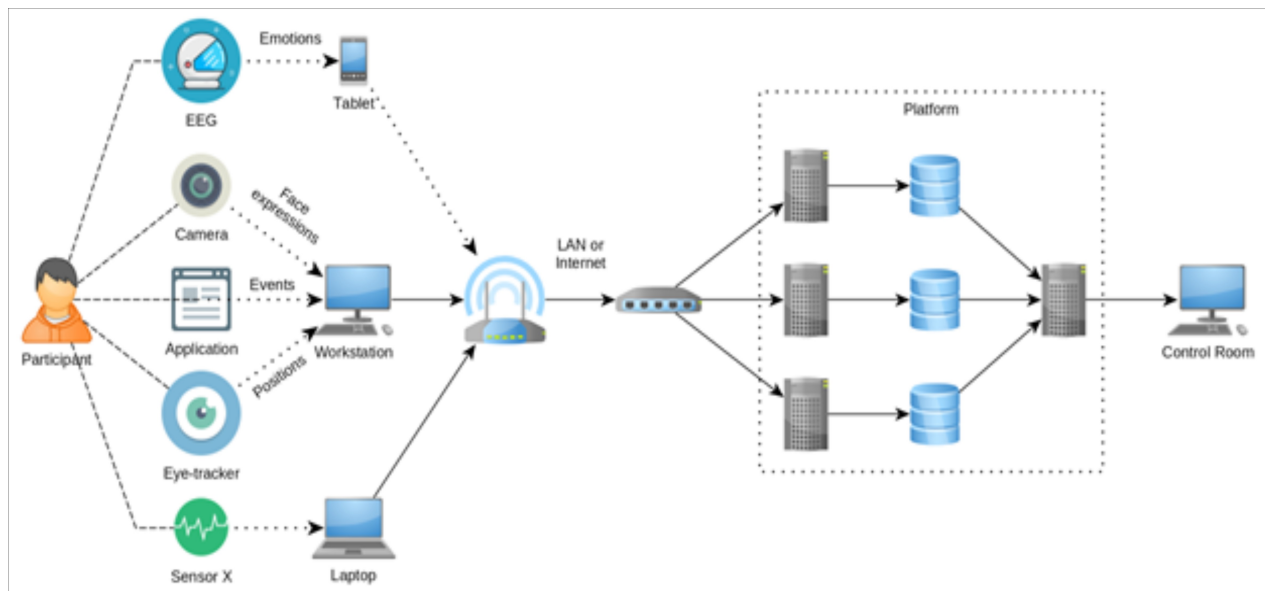
Подаци добијени обрадом података са *eye tracker* уређаја омогућавају динамичко праћење усмерености пажње испитаника током интеракције са рачунаром. На тај начин је могуће објективно проценити степен видљивости, значај и релевантност дизајна елемената интерфејса у односу на корисника.

За мерење локације погледа и путања којом се крећу очи корисника приликом преласка са једне тачке фокуса на другу коришћен је **Eye Tribe** уређај. Уређај користи конекцију са *USB 3.0* портом као извор напајања и линк за слање података рачунару. Основне компоненте уређаја су камера и инфрацрвене *LE (light-emiting)* диоде високе резолуције. Камера снима положај зеница неколико десетина пута у секунди и податке шаље алгоритму који одређује положај погледа корисника на екрану са кашњењем мањим од 20 ms. Уређај се испоручује са комплетом за развој софтвера и апликативним интерфејсом који подржава интеграцију са *C++*, *C#* и *Java* платформом.

3.3 Платформа и сензорске апликације

У овом раду за потребе прикупљања и синхронизације података са различитих сензора и клијентских апликација коришћена је *HCI-MAP* платформа. Поред тога, за сваки појединачни сензор, развијена је засебна апликација са уграђеном могућношћу слања података на платформу употребом развијеног *API*-ја (енгл. *Application Interface*) путем

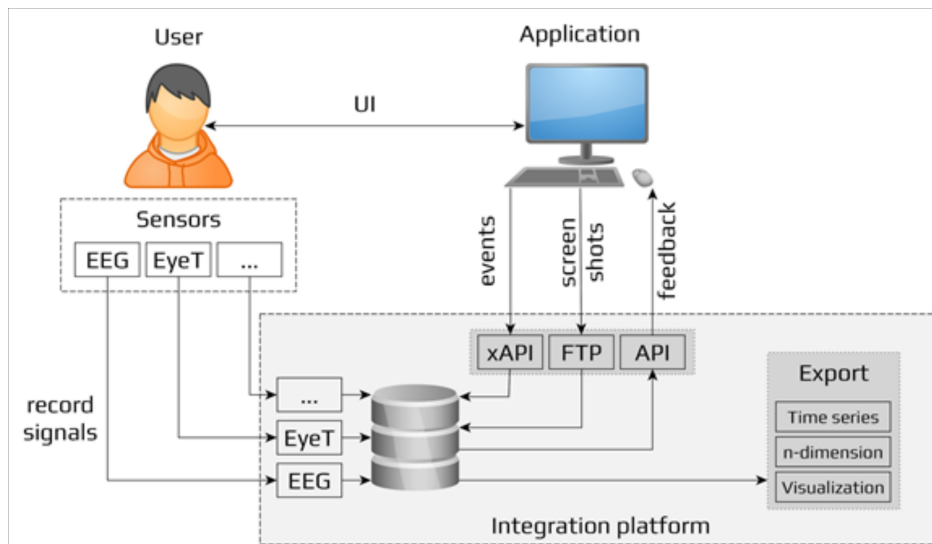
HTTP(S) протокола. На крају, сваки тест је реализован у виду посебне апликације која користи исти интерфејс за слање података о интеракцији између човека и рачунара (Слика 6).



Слика 6. Мрежна организација "НСИ-МАР" платформе

3.3.1 НСИ-МАР платформа

НСИ-МАР представља платформу за синхронизовање и прикупљање података са различитих сензора и апликација, њихову фузију и обраду у реалном времену, и враћање резултата у форматима погодним за даљу обраду од стране рачунара или интерпретацију од стране људи (Слика 7).

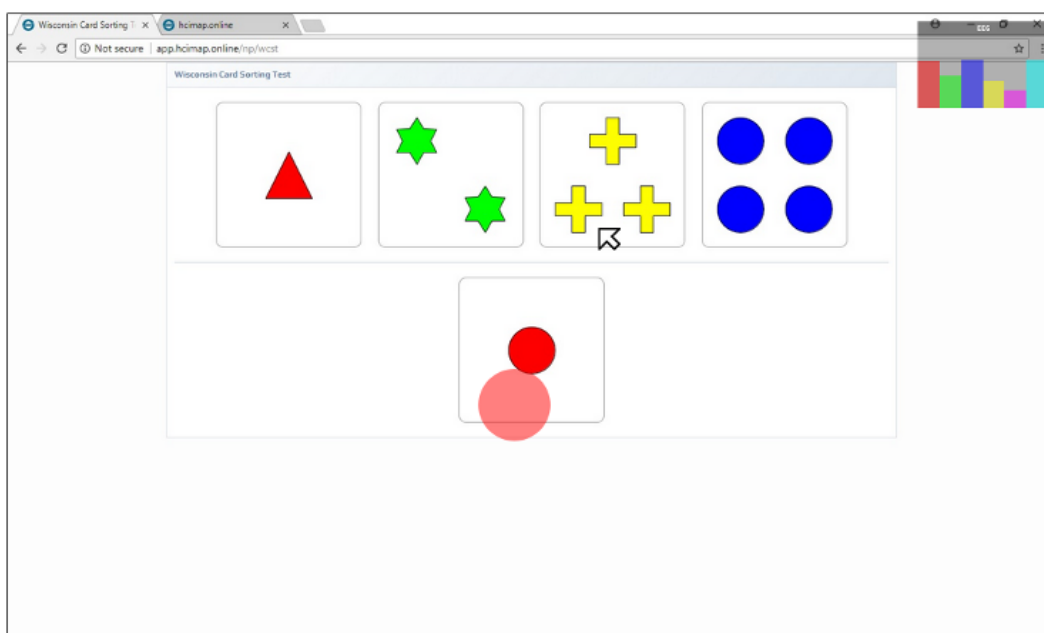


Слика 7. Основна архитектура "НСИ-МАР" платформе

Код једноставних експеримената сви сензори су повезани са једним рачунаром и деле исти временски извор, тако да се сви подаци прикупљају синхронизовано. Међутим, код сложенијих експеримената, који се изводе у дистрибуираном окружењу, не само да различити сензори користе различите временске изворе, већ и различите мрежне путање до централног сервера са различитим кашњењем. Неке од разлога за измештање обраде на удаљени сервер(е) чине постојање више учесника у експерименту, али и потреба за брзом обрадом података добијених са сензора, и враћање резултата у апликацију у виду повратне информације. Тиме се постиже адаптивно понашање коришћених апликација, а за обраду се могу користити напредни алгоритми за вештачку интелигенцију, који захтевају значајне процесорске ресурсе да би радили у реалном времену.

Тренутно су подржани сензори типа ЕЕГ, *eye tracker*, препознавање емоција путем фацијалних израза (Веб камера) и праћење курсора миша, али, с обзиром на отворени интерфејс, и други сензори се могу лако повезати са платформом. Осим са сензора, платформа информације може добијати и од стране корисничких апликација, коришћењем истог интерфејса који користе и сензори. Платформа генерички подржава извоз свих података као временских серија (у *CSV* формату), али су подржани и напреднији извештаји (нпр. снимак коришћења корисничког интерфејса са визуализацијом позиције погледа, позиције курсора миша, ЕЕГ вредностима и фацијалним изразом) (Слика 8), као и

модуларно додавање нових типова извештаја. Извоз података може се вршити накнадно, на наведени начин, или у реалном времену кроз *API*.



Слика 8. Експортована анимација која садржи снимак екрана, положај погледа (црвени круг) и курсора миша, као и измерене емотивне карактеристике (дијаграм у горњем десном углу)

Један од главних изазова при сакупљању података са више сензора, а уједно и један од главних мотива за развој ове платформе, представља њихова временска синхронизација. Подаци са сензора се могу мењати више (десетина) пута у секунди, па грешка од неколико стотина милисекунди може у потпуности учинити податке неупотребљивим [93].

Најчешће коришћени метод за временску синхронизацију у дистрибуираним системима, нпр. мрежама базираним на *TCP/IP* протоколу је коришћење *NTP*. За потребе *HCI-MAP* развијен је модел синхронизације базиран на *NTP*, уз елиминисање ограничења које изворни протокол поседује (зависност од оперативног система, администраторске привилегије, неопходност синхронизације непосредно пре почетка експеримента).

Први корак синхронизације представља израчунавање разлике у временима између клијента (нпр. мобилног уређаја) и сервера (θ) и кашњења у трансферу података (δ), коришћењем *NTP (Network Time Protocol)* модела [8]:

$$\theta = \frac{(t_1 - t_0) + (t_2 - t_3)}{2}$$

$$\delta = (t_3 - t_0) - (t_2 - t_1)$$

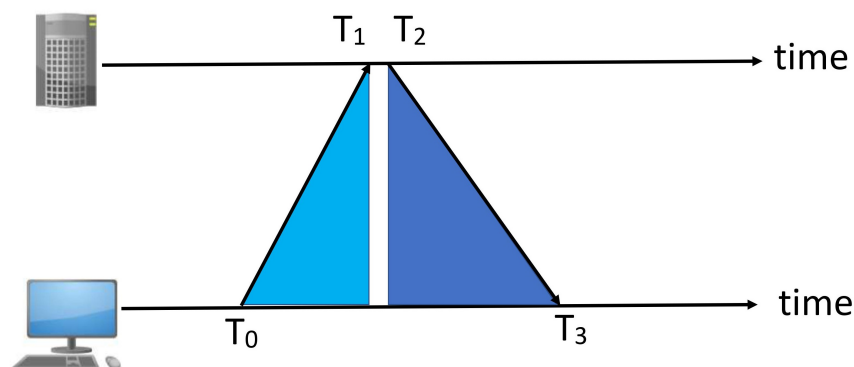
при чему је:

t_0 - прецизно време слања пакета на страни клијента

t_1 - прецизно време пријема пакета на страни сервера

t_2 - прецизно време слања одговора на страни сервера

t_3 - прецизно време пријема одговора на страни клијента (Слика 9)

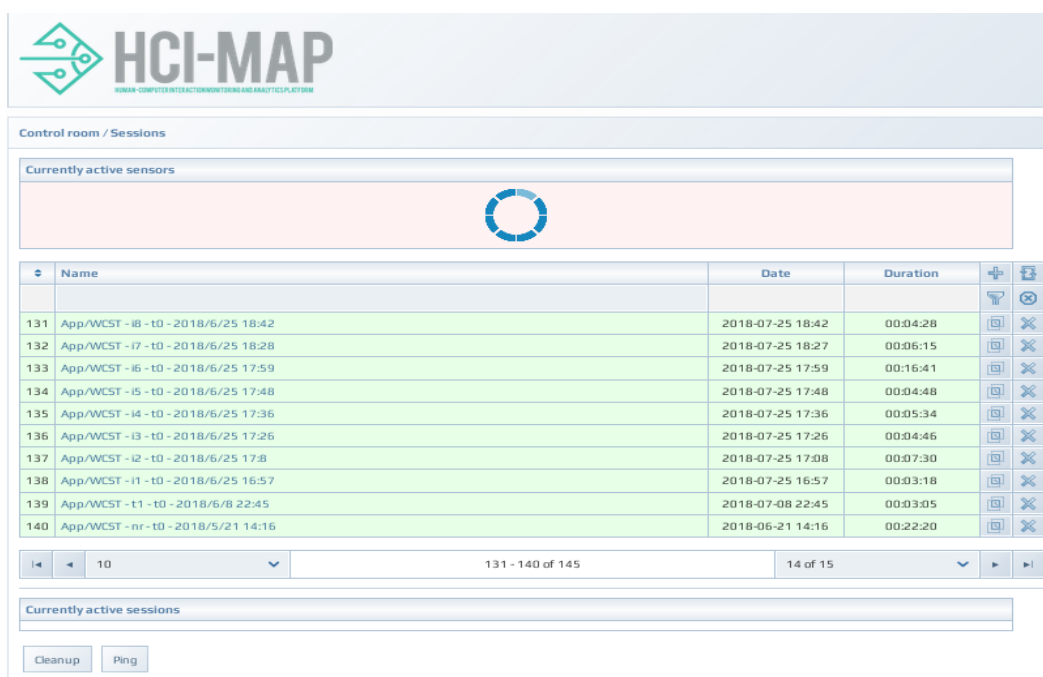


Слика 9. Пример израчунавања кашњења (NTP модел)

Оваквим приступом добијена је захтевана прецизност синхронизације (<5ms дозвољене грешке код локалне 100Mb/s мреже и до 30ms грешке код *ADSL* 10Mb/s Интернет везе), као и независност од оперативног система и администраторских привилегија.

Једна од најзначајнијих компоненти платформе је Контролна соба (Слика 10). Овај модул представља главни Веб интерфејс који омогућава праћење догађаја на платформи и

приступање скуповима података који су раније прикупљени и обрађени. На њему се могу видети тренутно активни сензори и тренутно активне и раније снимљене сесије. Такође, преко њега се могу започињати нове и уклањати старе сесије.



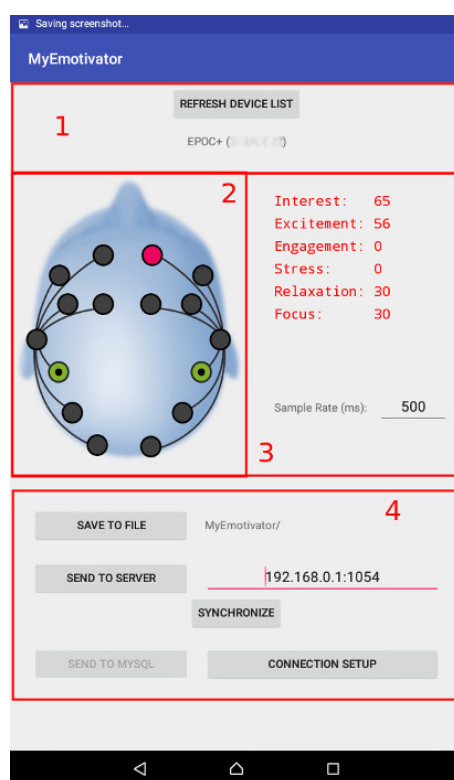
Слика 10. Изглед "Контролне собе" HSI-MAP платформе

3.3.2 Сензорске апликације

Комуникација платформе са неким сензорима је директна – на пример, софтвер који прати положај погледа и позиције курсора миша је реализован као апликација која се извршава на клијентском рачунару. Са друге стране, софтвер који платформи доставља податке са ЕЕГ сензора се извршава на *Android* таблету, који са самим ЕЕГ уређајем комуницира путем *Bluetooth* протокола (Слика 6). За комуникацију са ЕЕГ уређајем и уређајем за праћење погледа развијене су посебне апликације, са могућношћу синхронизације са клијентским апликацијама путем *HSI-MAP*.

3.3.2.1 MyEmotivator

За потребе мерења варијабилности емотивних карактеристика у зависности од промена у спољашњем окружењу, развијена је *MyEmotivator* апликацију чији је задатак да, у реалном времену, коришћењем *EMOTIV EPOC+* интерфејса приказује и бележи шест емотивних стања (заинтересованост, ангажованост, узбуђење, стрес, опуштеност и фокусираност) (Слика 11). Циљ нам је био да омогућимо што комплетнији увид и каснију анализу експерименталних података о утицају различитих спољашњих фактора на подсвесна емотивна стања испитаника путем прилагодљивог софтверског решења.



Слика 11. Главни прозор "MyEmotivator" апликације

Како би се омогућила примена у најширем могућем спектру експерименталних услова, *MyEmotivator* апликација је прилагођена употреби на мобилним уређајима. Тиме се омогућава њено коришћење у екстерном окружењу и једноставна промена локације. Такође, мерења је могуће извршити и у случајевима када испитаник није статичан, под

условом да *EPOC+* и мобилни уређај задрже прописану међусобну удаљеност. Слање података са *EMOTIV EPOC+* уређаја обавља се искључиво бежичним путем коришћењем *Bluetooth* технологије. Из тог разлога основни услов који мора да задовољи уређај који покреће *MyEmotivator* апликацију јесте поседовање *Bluetooth SMART* функционалности. У односу на класични *Bluetooth* стандард, *Bluetooth SMART* омогућава мању потрошњу енергије, одржавајући приближно једнак теоријски опсег комуникације од приближно 100 метара.

Зарад једноставности коришћења и минималног оптерећења графичких ресурса, све функционалности *MyEmotivator* апликације смештене су у оквиру главног прозора. Дизајнерско решење подразумева поделу на четири секције у складу са различитим програмским модулима које визуализују.

Први модул (Слика 11, секција 1) је задужен за скенирање активних *EPOC+* уређаја и приказивање резултата претраге у виду текстуалног поља које садржи назив уређаја и поседује могућност одабира притиском. Апликација је у стању да једнозначно одреди назив конектора (канала) са кога читава сигнал (у складу са *International 10–20* стандардом) и визуално прикаже његов положај на глави. Приказивање локација конектора на глави корисника и квалитета сигнала који се са њих читавају обављено је употребом динамички прилагодљивих слика постављених преко статичке позадине скице главе (Слика 11, секција 2). У зависности од статуса уређаја и положаја конектора, боја одговарајућих тачака (кругова) може варирати од црне (уколико конектори немају контакт са главом) и црвене (уколико нема читавања импулса), преко наранџасте (у случају слабог сигнала), до зелене (када сигнал поседује задовољавајућу снагу). У задатим временским интервалима апликација врши проверу квалитета и освежавање динамичких слика у складу са добијеним вредностима.

Трећа секција (Слика 11, секција 3) садржи текстуална поља са тренутним вредностима шест емотивних карактеристика и пољем за подешавање учесталости мерења података (*sample rate*). Када алгоритам који ЕЕГ вредности претвара у одговарајуће емотивно стање почне да ради у пуном обиму (са свим неопходним улазним параметрима), боја текста се мења из црвене у црну. Како би се спречило сетовање

недозвољеног режима рада уређаја, приликом уношења вредности у поље за фреквенцију апликација обавља проверу исправности типа и опсега унете вредности (да ли је вредност целобројна и већа од дефинисане константе).

У доњем делу основног прозора апликације налази се интерфејс са опцијама за слање и складиштење података (Слика 11, секција 4). За методе слања података на удаљени рачунар предвиђена су додатна поља за уношење потребних информација о адреси сервера и параметрима конекције (у случају *MySQL* базе). Додатне опције везане за конкретан метод приказују се у засебном *dialog* прозору који се позива притиском на жељено дугме. Овако конципиран дизајн омогућава истовремени преглед свих операција које апликација обавља и једноставно управљање статусом мобилног и *EPOC+* уређаја. Због универзалности, интерфејс је рађен на енглеском језику.

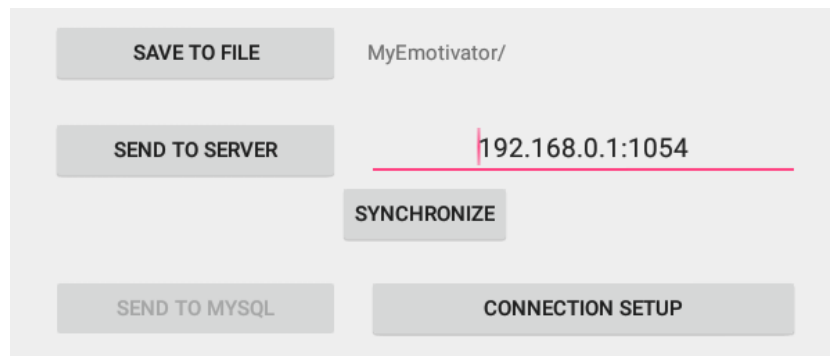
Препоручена процедура за почетак рада са *EMOTIV EPOC+* уређајем подразумева укључивање уређаја пре покретања апликације и претрагу активних уређаја по *Bluetooth* домену (Слика 11, секција 1). Убрзо по укључивању, уређај одашиља *Bluetooth* сигнал са информацијама о свом типу и називу. Апликација поседује механизам скенирања свих активних *Bluetooth* конекција, филтрирање са циљем издвајања *EPOC+* уређаја из домена, а затим и његово приказивање у оквиру главног прозора. Није на одмет напоменути, иако је компанија *EMOTIV*, поред *EPOC+*, развила још један бежични ЕЕГ уређај са 5 канала - *Insight* (који поседује сличан *core* интерфејс), *MyEmotivator* апликација је ограничена на читање и упаривање искључиво са *EPOC+* уређајима.

Одабиром жељеног *EPOC+* уређаја иницира се његово повезивање са апликацијом. У регуларним условима процедура конектовања траје 1-2 секунде. Време чекања се може продужити као последица велике физичке удаљености *EPOC+* и мобилног уређаја или слабе батерије. По успешном упаривању зауставља се механизам активног скенирања нових уређаја и започиње фаза проверавања квалитета сигнала на конекторима који се налазе на глави корисника. Дефинисана су три могућа нивоа снаге сигнала: без сигнала, лош сигнал и добар сигнал. Лош квалитет може бити последица недовољне проводљивости конектора, лошег контакта са кожом главе корисника или слабе батерије. У складу са детектованим нивоом, у основном прозору на одговарајућој слици позиције

конектора ће бити обележене одређеном бојом - црном, црвеном, наранџастом или зеленом (Слика 11, секција 2).

Подразумевана фреквенција читавања вредности емотивних стања је два пута у секунди (500 ms). Свака од шест добијених вредности (*Interest, Engagement, Excitement, Stress, Relaxation, Focus*) креће се у опсегу од 0 до 100, при чему 100 представља максимални ниво одређене емоције за датог корисника, а 0 теоретски минимум. Боја текста приказаних вредности додатно указује на исправност читавања података са уређаја, односно, уколико постоји проблем са сигналом неког канала, боја одговарајућег текста се мења у црвену (Слика 11, секција 3).

Апликација поседује три метода снимања података – на локалном уређају, преко *MySQL* сервера и на удаљеном серверу применом синхронизације са развијеном платформском архитектуром (Слика 12). Снимање података на екстерну меморију мобилног уређаја је најпоузданији метод, са најмањом потрошњом ресурса, код кога је вероватноћа за губитком информација минимална. Како би систем био додатно растерећен, за овај метод је предвиђена посебно дефинисана фреквенција уписа на меморију, независна од *sample rate* уређаја. На тај начин, подаци се сакупљају у складу са задатом динамиком читавања (енгл. *sample rate*), а затим у одређеним временским интервалима снимају на ектерну меморију у предефинисани директоријум. За потребе анализе, поред вредности шест емотивних стања, апликација бележи и прецизно време сваког обављеног читавања у *UNIX Timestamp* формату. Због својих карактеристика, описана техника је најпогоднија у случајевима када се не захтева симултана обрада измерених вредности и интеракција са корисником, већ се екпериментални циљеви могу постићи накнадном анализом снимљених резултата.



Слика 12. Одабир жељеног метода складиштења и слања података

Други приступ снимања података подразумева различите методе слања информација на удаљени рачунар путем локалне мреже или Интернета. Апликација у својој тренутној верзији садржи имплементацију два различита модела даљинског управљања подацима: слање података *MySQL* бази и синхронизовано слање података удаљеном сервису уз примену *NTP-like* протокола.

Слање података *MySQL* бази представља најједноставнији приступ који није ограничен искључиво на употребу у сврху касније анализе, већ омогућава обраду података и пружање повратне информације у реалном времену. Коришћење овог метода подразумева поседовање независног *MySQL* сервера повезаног на мрежу, са креираном базом података која поседује прецизно дефинисану структуру. Комуникација са базом се обавља посредством *Java Database Connectivity (JDBC)* *Java* интерфејса, чиме је омогућено једноставно слање упита употребом стандардних исказа (*SELECT, INSERT...*). Креирана табела на серверској страни мора да има предефинисани назив **Records** и поред примарног кључа садржи седам поља целобројног типа: *Timestamp, Interest, Excitement, Engagement, Stress, Relaxation* и *Focus*. Као потенцијални недостатак поменуте методе може се навести његова релативна непоузданост. Наиме, у случају прекида конекције са базом (до кога долази чешће него у случају стандардне *TCP/IP* конекције) послати упит се једноставно неће извршити, што доводи или до потпуног губитка података или до прекида у континуитету послатих података.

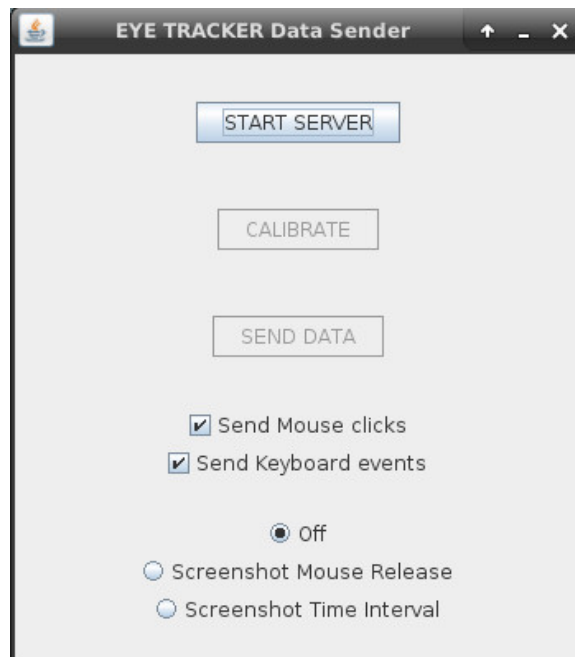
3.3.2.2 AyeEye

За потребе прикупљања података уз помоћ *Eye Tribe* уређаја произвођач је развио две одвојене апликације - серверску апликацију и апликацију за калибрисање уређаја. Обе апликације су доступне на *Windows* и *MacOS* оперативним системима.

Серверска апликација је од тренутка покретања активна у позадини и представља основни интерфејс преко кога *eye tracker* уређај комуницира са рачунаром. Њен основни задатак је да сирове податке које добија од уређаја конвертује у облик који је разумљив за човека или рачунар и тиме их учини погодним за даљу обраду и анализу. У контексту овог рада, најкорисније информације које пружа серверска апликација јесу координате положаја погледа корисника.

Основни задатак апликације за калибрисање уређаја јесте да прилагоди параметре серверске апликације специфичним карактеристикама очију сваког испитаника. За разлику од серверске апликације која једном покренута остаје активна све време коришћења уређаја, апликација за калибрисање се мора изнова користити за сваког појединачаног корисника на коме се обавља мерење. Калибрација се обавља тако што корисник погледом прати положај круга који се креће по екрану, при чему положај главе мора остати статичан. По окончању калибрације *eye tracker* уређај је спреман за коришћење.

Како би се омогућила синхронизација података са *eye tracker* уређаја са мерењима добијеним од стране других сензора и апликација, развијена је **AyeEye** апликацију. Поред своје основне функције - да шаље податке са *eye tracker* уређаја на платформу за синхронизацију, апликација прикупља податке о положају и активности миша и тастатуре. Осим тога, уграђена је могућност периодичног снимања садржаја екрана и чување снимака на локалном рачунару. Главни прозор апликације (Слика 13) се састоји од три секције.



Слика 13. Изглед главног прозора "АуеЕуе" апликације

Прва секција садржи дугмиће за управљање активностима које апликација обавља у одређеном тренутку. Пре почетка процеса прикупљања података са eye tracker уређаја неопходно је покренути генеричку серверску апликацију (*START SERVER* дугме). Серверска апликација се стартује као позадински процес и проверава да ли је уређај прикључен на рачунар и иницира његово покретање и слање података. Након успешно остварене комуникације са уређајем, калибрација уређаја се започиње покретањем основне апликације за калибрацију коју је развио произвођач (*CALIBRATE* дугме). Од корисника се тражи да, држећи главу у статичном положају, погледом прати кружић који се креће по екрану. Ниво успешности калибрације се оцељује бројчано од 0 до 5, при чему нула представља неуспешну калибрацију, а пет максимални ниво успешности. Трећа активност апликације (*SEND DATA* дугме) представља синхронизацију апликације са *HCI-MAP* платформом и слање података коришћењем платформског интерфејса. *АуеЕуе* апликација се повезује са раније покренутом серверском апликацијом уз помоћ постојећег *API*-ја и податке које сензор шаље серверу просеђује платформи.

Друга секција главног прозора садржи опције које се тичу бележења активности коришћења миша и тастатуре. Координате курсора миша се аутоматски прикупљају и шаљу заједно са координатама положаја погледа, а додатно се може одабрати опција слања

догађаја притиска и отпуштања тастера миша. Уколико се одабере опција слања догађаја тастатуре, платформи ће бити доступне информације о *ASCII* коду притиснутог тастера и прецизном времену његовог притискања и отпуштања.

У неким експериментима је, поред сензорских података, потребно поседовати информацију о садржају екрана корисника у тренутку дешавања одређених догађаја при интеракцији корисника са рачунаром. Због тога је, у оквиру треће секције главног прозора апликације, омогућен одабир опција снимања екрана на локалном рачунару. Снимци екрана у свом називу садрже прецизно време када су настали (у *UNIX timestamp* формату) како би се касније могли повезати са одговарајућим догађајима.

3.4 Опис експерименталног окружења

Сва четири експеримента која су обављена у сврху овог истраживања спроведена су уз претходно добијен пристанак свих учесника. Испитаници су упознати са процедуром извођења експеримента и начином обраде добијених података. Неки испитаници су учествовали у више експеримената. Мерења су обављена у рачунарском кабинету уз надзор лица овлашћеног за спровођење експеримента коме нису пружене информације о идентитету учесника. Идентитет особа је био познат екстерном сараднику чији задатак је био да испитанике упућује у рачунарски кабинет на почетку експеримента и који није био присутан у просторији у којој је експеримент обављен. Подаци који би повезивали прикупљена мерења са идентитетом испитаника који је учествовао у експерименту ни у једном тренутку нису бележени у писаној форми или на дигиталном медију.

3.4.1 Wisconsin Card Sorting тест

WCS је тест сортирања карата првенствено намењен за процену апстракције здравих испитаника. Тестирањем је могуће извршити процену способности планирања,

предвиђања и имплементације намере. Представља један од најпопуларнијих тестова функција префронталног кортекса.

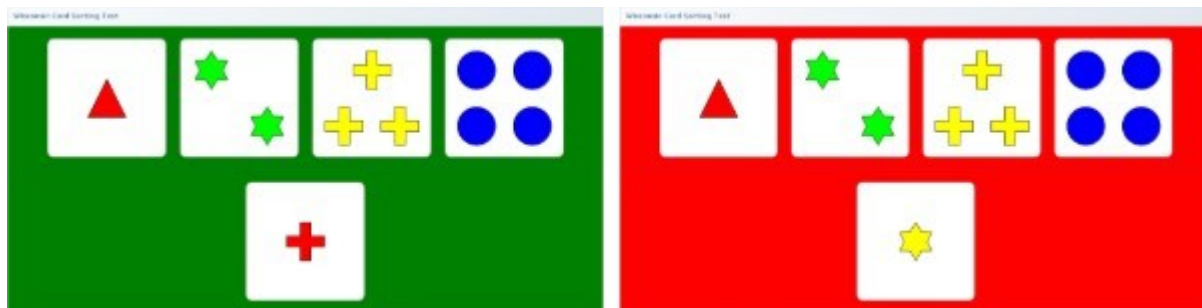
WCST експеримент је спроведен коришћењем три сензора: ЕЕГ уређаја, уређаја за праћење погледа и рачунарског миша. Сваки од сензора је обављао комуникацију са синхронизацијском платформом путем посебне сензорске, односно клијентске апликације. За слање сензорских података коришћене су наведене *MyEmotivator* и *AyeEye* апликације. Подаци о интеракцији човека са рачунаром преко рачунарског миша и подаци о успеху постигнутом у току тестирања прослеђивани су платформи коришћењем *WCST* клијентске апликације. Секундарни задатак клијентске апликације је да испитанику пружи повратне информације од система у вези са евалуацијом постигнутих резултата.

3.4.1.1 *WCST* клијентска апликација

WCS тест је развијен у виду Веб апликације, коришћењем *JavaScript*, *HTML5* и *CSS* језика. Апликација се састоји од четири странице: иницијализационе, почетне, странице за избор карата и странице за приказ резултата [5].

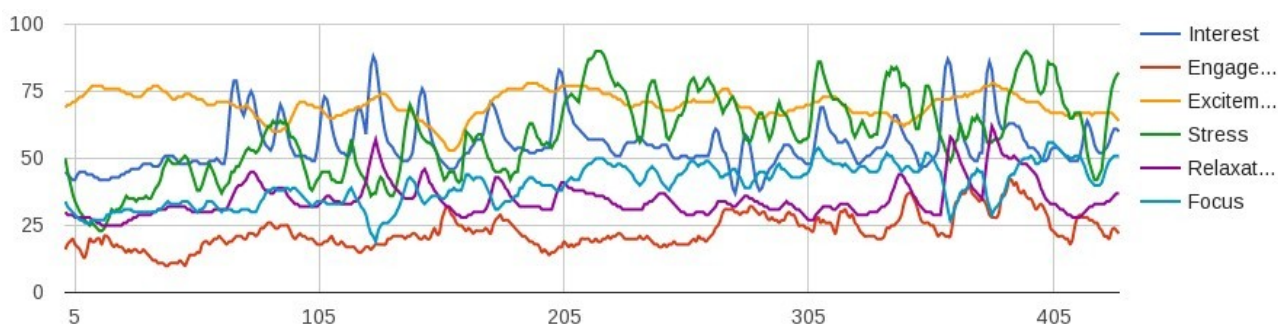
Иницијализациона страница се приказује током учитавања апликације и њен најважнији аспект је синхронизација са *HCI-MAP* платформом. По завршетку синхронизације приказује се почетни екран. Приказана *HTML* форма омогућава унос имена учесника и временског ограничења трајања теста.

Основна страница апликације служи за само спровођење тестирања кроз одабир жељене карте из приказаног скупа (Слика 14). Од пет приказаних карата, четири су статичке и представљају стимулусе, а пета - активна приказана је у доњем реду. Активна карта се приказује случајним одабиром из шпила од 128 карата, а од учесника се очекује да изабере једну стимулусну карту која по неком критеријуму (облик, боја или број) одговара приказаној активној. Тачност одговора се означава звучним сигналом и одређеном бојом, зеленом у случају тачног одабира карте и црвеном у случају нетачног. Након приказивања свих 128 карата тест се завршава и приказују се резултати.



Слика 14. Основна страница након одабира тачног (лево) и нетачног (десно) одговора

Резултати WCS теста се приказују на екрану одмах по завршетку тестирања. На страници са резултатом се може видети више квантитативних података: број тачних и нетачних одговора, број достигнутих категорија, број приказаних карата пре достизања сваке категорије итд. Осим тога, цела сесија је снимљена на платформи и може се експортирати у CSV фајл за детаљнију квантитативну и квалитативну анализу. На Слици 15. је приказан линијски графикон експортиран из ЕЕГ сигнала током трајања једне сесије, који се може користити за ивођење додатних запажања о понашању испитаника током тестирања.



Слика 15. Графикон са ЕЕГ сигналама прикупљеним током WCST сесије

Синтезом прикупљених синхронизованих података о активности рачунарског миша, положаја погледа и корисничким акцијама у апликацији може се генерисати репродукција интеракције испитаника са рачунаром у току трајања теста.

3.4.1.2 Опис WCST експеримента

Истраживање је спроведено на 20 испитаника који су предходно детаљно упознати са процедуром самог истраживања и улогом коришћених уређаја. Поред тога обавештени су да ће приликом мерења подаци о њиховом идентитету бити анонимни, односно да ће се о њима бележити само подаци везани за пол, старост и ниво образовања.

Основни критеријуми за учествовање у експерименту подразумевали су да сви испитани субјекти имају високо образовање или да су студенти, старости од 18 до 30 година и да у својој анамнези негирају присуство неуролошких и психијатријских обољења као и болести зависности (Табела 1).

Табела 1. Структура учесника експеримента

Карактеристике испитаника		Број испитаника (у процентима)
ПОЛ	Мушки	15 (75%)
	Женски	5 (25%)
СТАРОСТ	Просек (стандардна девијација)	22.9 година (3.22)
	Опсег	18-29 година
ОБРАЗОВАЊЕ	Висока школа	12 (60%)
	Средња школа	8 (40%)

Испитаницима су у рачунарској верзији *Wisconsin Card Sorting* теста на екрану приказиване странице са приказане четири стимулусне карте, од којих испитаник треба да одбере ону која по његовом мишљењу одговара активној карти приказаној испод њих. Испитаницима је дато упутство да је потребно да открију принцип спаривања карата на

основу повратне информације од система у виду боје (зелене у случају тачног одабира и црвене у случају нетачног) и звучног сигнала. Испитаници нису имали информацију од система да ли су и када достигли категорију, нити када су правили персеверативне грешке и грешке у одустајању од актуелног принципа спаривања, тј. грешке у одржавању сета. Експеримент није био временски ограничен.

3.4.2 Visual Short Term Working Memory тест

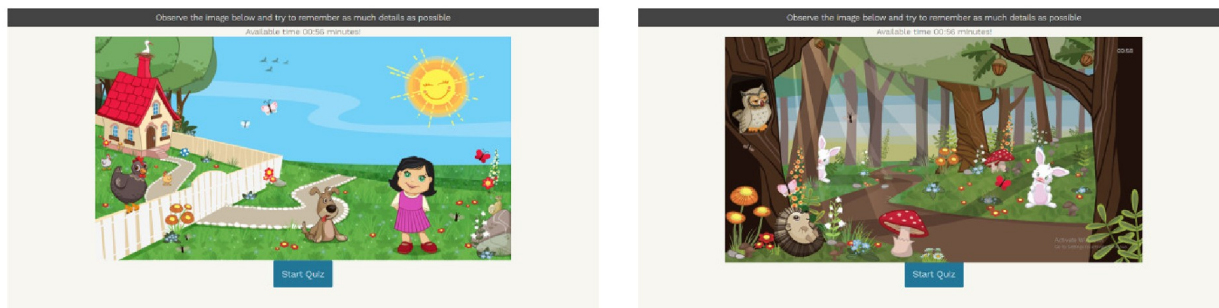
VSTWM тест представља један од начина за процену визуалне краткорочне меморије. Визуална краткорочна меморија омогућава задржавање примљених визуалних информација и њихову каснију употребу. Важна је за нормално функционисање когнитивних способности и извршавање свакодневних активности. Информације које се задржавају у визуалној краткорочној меморији могу даље бити обрађене кроз радну меморију, могу бити претворене у дугорочну меморију, или једноставно могу бити заборављене.

VSTWMT експеримент је спроведен коришћењем три сензора: ЕЕГ уређаја, уређаја за праћење погледа и рачунарског миша. ЕЕГ сензор и сензор за праћење погледа су комуницирали са синхронизацијском платформом путем *MyEmotivator* и *AyeEye* апликација. Подаци о интеракцији човека са рачунаром преко рачунарског миша и подаци о успеху постигнутом у току тестирања прослеђивани су платформи коришћењем *VSTWMT* клијентске апликације. По завршетку тестирања, клијентска апликација је испитанику пружала повратне информације од система у вези са резултатима које постигао у току трајања експеримента.

3.4.2.1 VSTWMT клијентска апликација

VSTWMT је имплементиран у виду интерактивне Веб апликације употребом *HTML5*, *JavaScript* и *CSS* технологија. Апликација се састоји из четири основна екрана: почетни екран, екран са сликом коју треба меморисати, екран са питањима и екран за приказ резултата.

Почетни екран се приказује док се обавља учитавање апликације и синхронизација са *HCI-MAP* платформом у позадини. Екран садржи два поља за унос података - о имену корисника и временског ограничења трајања теста. Унети временски оквир се користи као интервал приказивања слике на екрану и касније као период у оквиру кога корисник мора да пружи одговор на постављена питања. По уношењу тражених података започиње се прва фаза теста - приказивање слике са детаљима (Слика 16).



Слика 16. Страница за приказ слике са детаљима за меморисање (слика А - лево и слика Б - десно)

Задатак испитаника је да у задатом временском интервалу меморише што је могуће више детаља са приказане слике. По истеку времена, слика се склања са екрана и започиње фаза приказивања питања (Слика 17). Све време своје активности апликација шаље платформи податке о акцијама које корисник обавља. Питања су формулисана на начин да тестирају способност учесника експеримента за памћењем детаља.



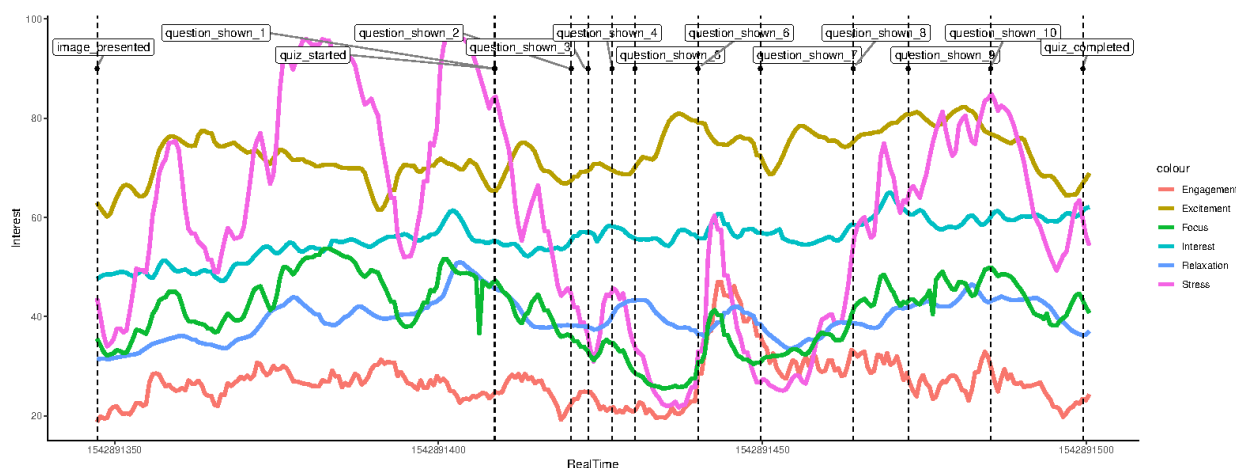
Слика 17. Страница са питањима о детаљима са слике

Након што корисник одговори на сва питања или по истеку времена предвиђеног за одговарање на питања, на екрану се приказује страница са резултатом. Свака сесија снимљена на платформи садржи податке о неколико догађаја који се дешавају приликом интеракције са Веб апликацијом. Примери догађаја су: приказана слика (*image_presented*), уклоњена слика (*image_removed*), стартован квиз (*quiz_started*), приказано питање (*question_shown*) итд. Прикупљањем и експортовањем података са *eye tracker* уређаја могуће је добити топлотну карту (енгл. *heat map*) за одређену слику за сваког појединачаног корисника (Слика 18). Детаљнијом анализом региона слике које је корисник најдуже гледао може се приступити одређивању корелација између посматраних региона и тачности одговора на питања која се односе на конкретан регион.



Слика 18. Топлотна карта добијена из VSTWMT сесије

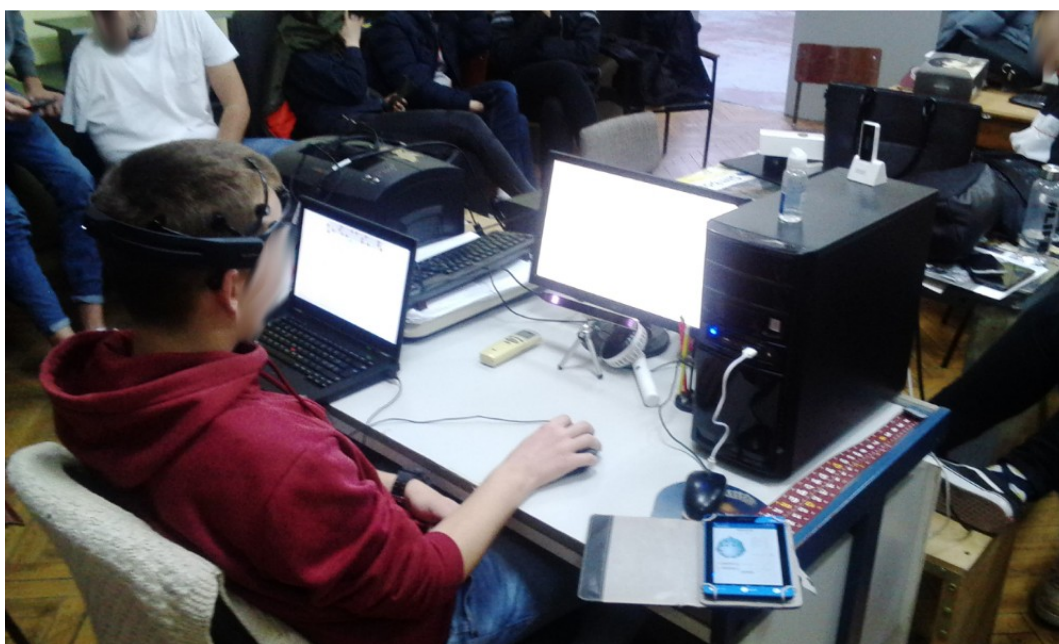
Синхронизацијом података о акцијама корисника у оквиру VSTWM апликације и података прикупљених са коришћених сензора, могу се креирати графикони сесија на којима су представљени пресеци конкретних интеракција корисника са рачунаром и података о његовим емотивним перформансама или локацији погледа у тренутку извршене акције. На Сlici 19. је приказан пример графикона са ЕЕГ вредностима испитаника у току VSTWM тестирања. Обојене линије на графикону представљају вредности неке од мерених емотивних карактеристика са сензора, а вертикални пресеци приказују назив и тачан тренутак извршеног догађаја на страни клијентске апликације.



Слика 19. Пример визуализације ЕЕГ података прикупљених током VSTWMT сесије

3.4.2.2 Опис VSTWMT експеримента

У експерименту је учествовало 12 испитаника, старости 17 и 18 година, подељених у две групе. Сваком испитанику су приказане две слике током две сесије снимања, без паузе између сесија. У току приказивања прве слике испитаници су се налазили у изолованом окружењу, док је тестирање на другој слици обављено у присуству публике. Првој групи испитаника је презентована Слика А као прва слика (у првој сесији), а Слика Б као друга слика (у другој сесији). Да би се остварила разлика у зависности добијених података од редоследа гледања слика и врсте слике коју је испитаник гледао, другој групи испитаника слике су приказане у обрнутом редоследу (прво Слика Б, а затим Слика А). Учесници су носили ЕЕГ уређај на глави и комплетна сесија је снимана уз помоћ *MyEmotivator* апликације. Поставка експеримента је приказана на Слици 20.



Слика 20. Учесници са ЕЕГ опремом у току трајања VSTWMT експеримента

На почетку сваке сесије, испитанику је на екрану приказивана одговарајућа слика у трајању од једног минута, са претходним инструкцијама да запамти што је могуће више детаља са слике. Након тога, испитаник је имао два минута да одговори на 10 питања о

детаљима са слике. По завршетку теста, апликација је приказивала број тачних одговора на постављена питања.

У експерименту је прикупљено укупно 11 комплетних мерења. За сваког корисника, добијена су два скупа података, један са мерењима која се односе на прву приказану слику и други који се односи на другу приказану слику. На крају, прикупљено је 23 валидна скупа података за класификацију - 11 комплетних скупова (са подацима из обе сесије) и један скуп који садржи делимичне податке од испитаника са бројем 12 (са снимљеним подацима у току гледања Слике А, друге по реду).

Прикупљени подаци су организовани по броју испитаника, броју питања, врсти слике (Слика А или Слика Б), редоследу приказивања слике (слика приказна у првој или другој сесији) и тачности одговора коришћењем следећих својстава:

А. Просечне вредности шест емотивних стања

Добијене вредности измерених емотивних стања са ЕЕГ сигнала су апсолутне и варирају у опсегу од 0 до 100. Коришћена су три својства (минимална, максимална и просечна вредност [аритметичка средина]) за свако емотивно стање. На овај начин, добијено је укупно 18 својстава (*interest min*, *interest max*, *interest avg*, *engagement min*, *engagement max*, *engagement avg* итд.). Вредности ових својстава су одређене за сваки временски интервал између два узастопна *question_shown* догађаја (укључујући први *image_presented* и последњи *quiz_completed* догађај) за сваку појединачну корисничку сесију. Својства су израчуната за датог испитаника, у односу на приказану слику и питање. Тако, на пример, добијене су минимална, максимална и просечна вредност сваког емотивног стања за испитаника број 1, док је одговарао на питање број 1, када је Слика А била приказана као прва слика у низу, без присуства публице.

Б. Временски период одговарања на питања или гледања слике

Коришћењем *HCI-MAP* и развијеног синхронизацијског протокола, акције корисника на клијентској апликацији су бележене у милисекундама. То је омогућило да се

добије тачан временски интервал који је испитаник провео одговарајући на свако појединачно питања и посматрајући слику. Постоји укупно 11 вредности овог својства које су прикупљене за сваку корисничку сесију (10 питања и 1 период гледања слике).

В. Нормализована просечна вредност шест емотивних стања

Различите карактеристике личности узрокују разлике у интензитету емотивних реакција на спољашње стимулусе које се рефлектују кроз варијације у максималним и минималним вредностима емотивних стања. Из тог разлога, уведено је ново, релативно својство: нормализована просечна вредност емотивног стања. Ово својство описује релацију између сваке просечне вредности емотивног стања и максималне вредности тог емотивног стања у току трајања сесије. Израчунава се по формули:

$$NV = AV/MSV$$

где је:

NV - нормализована вредност емотивног стања

AV - просечна вредност (аритметичка средина) емотивног стања

MSV - максимална вредност емотивног стања у току сесије

Овако добијене вредности својства варијају у опсегу од 0 до 1. Његовим коришћењем у процесу класификације, у неким случајевима, повећан је проценат успешне класификације за приближно 10%.

У овом експерименту је постављено неколико почетних хипотеза. Прва се односи на присуство публике током теста. Очекивали смо да присуство публике представља ометајући фактор за испитанике што ће се манифестовати кроз већи број погрешних одговора и приметном разликом у новоу стреса и фокуса која ће моћи да се детектује путем квантитативне анализе. Осим тога, очекивали смо да присуство публике повећа ниво стреса испитаника, што је могуће потврдити анализом ЕЕГ података. Такође, очекивали смо да ће концентрација бити већа док испитаници посматрају слику у односу

на период одговарања на питања, а за свако питање на које испитаник да погрешан одговор, ниво стреса ће бити повишен.

3.4.3 mTutor тест

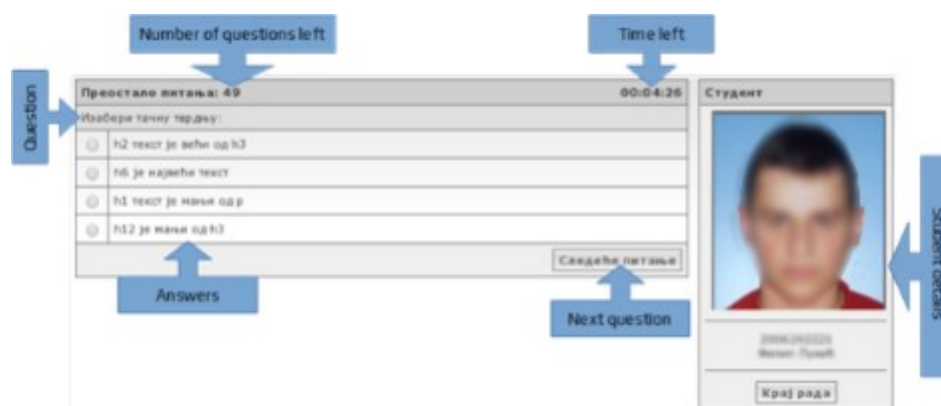
Један од највећих изазова је пронаћи начин да електронска процена знања у што већој мери осликава реално знање и вештине испитаника. Психолошко стање испитаника у току тестирања се најчешће игнорише, што представља узрок честих притужби студената да су стресни услови утицали на постизање бољих резултата.

mTutor експеримент је спроведен коришћењем два сензора: ЕЕГ уређаја и рачунарског миша. ЕЕГ сензор је обављао комуникацију са синхронизацијском платформом путем *MyEmotivator* апликације. Подаци о интеракцији човека са рачунаром преко рачунарског миша и подаци о успеху постигнутом у току тестирања прослеђивани су платформи коришћењем *mTutor* клијентске апликације. *mTutor* апликација је на крају тестирања испитаницима пружала повратне информације од система у вези са постигнутим резултатима.

3.4.3.1 mTutor апликација

Платформа за електронско тестирање која је коришћења у овом експерименту је развијена под називом *MTutor*. Реализована је у форми веб апликације која омогућава електронску проверу знања студената коришћењем питања са једним и више тачних одговора (енгл. *single* и *multi choice questions*). Састоји се од две основне секције – за наставнике и за студенте. Наставничка секција служи за креирање питања и одговора, као и дефинисање параметара теста. У студентском делу апликације, након пријављивања студента на систем, случајним редоследом приказују се питања и понуђени одговори (Слика 21). Након одабира жељеног(их) одговора, систем прелази на следеће питање.

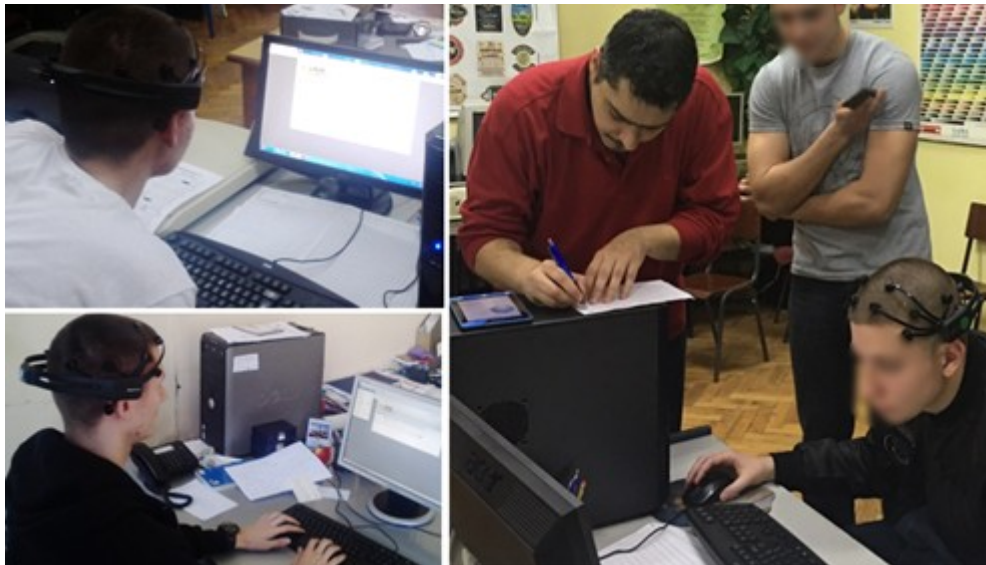
Током целокупног трајања теста студент може да види број преосталих питања и време које му је на располагању. Стратегија оцењивања је таква да не постоје негативни поени за нетачан одговор, делимично тачан одговор бодује се одређеним процентом, а у случају питања са више тачних одговора, одабир једног нетачног одговора повлачи са собом одузимање свих поена за то питање.



Слика 21. mTutor платформа - Студентски интерфејс

3.4.3.2 Опис експеримента са електронском провером знања

У експерименту је учествовало 35 испитаника, мушког пола, старости 17 и 18 година. Сви учесници похађају предмет "Основи веб дизајна" у оквиру редовног средњешколског програма. Садржај предмета је искоришћен за израду питања која су коришћена при креирању теста. Ученици поседују основна знања о раду на рачунару и обради текста која су стекли у току свог школовања. Експеримент је спроведен у контролисаном окружењу у школском рачунарском кабинету употребом *MTutor* електронског система (Слика 22).



Слика 22. Испитаници носе ЕЕГ опрему током mTutor експеримента

Питања на тесту су садржала материјале који су ученицима били познати са ранијих предавања. Ученицима је речено да ће њихови резултати на тесту бити вредновани, а да ће прикупљени подаци бити искоришћени за унапређење предметне наставе. Учесници су тест радили самостално, под надзором наставника, носећи *EMOTIV EPOC++* уређај на глави. Проблеми са синхронизацијом који су се јављали током експеримента услед нестабилне Интернет везе довели су до тога да су подаци од 8 испитаника одбачени као непотпуни или невалидни.

Из скупа од укупно 50 *single-choice* питања, систем је за сваког испитаника креирао независан тест са случајним редоследом питања и одговора. Временско ограничење је постављено на 5 минута, по чијем истеку се тест прекида и испитанику приказују постигнути резултати. Такође, испитаницима је дата инструкција да покушају да одговоре на што више питања у задатом времену.

Како би се добило што је могуће више података о различитим емотивним реакцијама испитаника, питања су по тежини и садржају подељена у пет група – три групе "регуларних" питања (са једним тачним одговором и три тежине): **лака** (*LDQ*), **средња** (*MDQ*) и **тешка** (*HDQ*) и две групе "специјалних питања": **забавна** (*FQ*), са тачним одговором који је очигледан јер су остали забавног карактера и **немогућа** (*ImQ*), која

немају тачан одговор. Регуларна питања су категорисана у групе накнадно, на основу процента тачних одговора.

3.4.4 АС тест

АС Тест се користи за испитивање вигилности и флексибилности пажње. Спада у групу "тестова прецртавања слова" (енгл. *Letter Cancellation Task*). Резултат теста се формира у односу на укупан број тачно заокружених слова и укупан број грешака. Уколико је позиција грешака доминанта на некој од страна, то може указати на потенцијално постојање синдрома једностраног занемаривања.

АС експеримент је спроведен употребом три сензора: ЕЕГ уређаја, уређаја за праћење погледа и рачунарског миша. Сваки од сензора је обављао комуникацију са синхронизацијском платформом путем посебне сензорске, односно клијентске апликације. Слање података са ЕЕГ уређаја и уређаја за праћење погледа вршено је коришћењем *MyEmotivator*, односно *EyeEye* апликације. Подаци добијени са рачунарског миша прослеђени су платформи преко АС клијентске апликације. Осим тога, клијентска апликација је имала задатак да платформи пружи податке о резултатима које је испитаник постигао током тестирања и испитаника обавести о броју и типу грешака.

3.4.4.1 АСТ клијентска апликација

Предности рачунарске верзије АС теста у односу на стандардну верзију су: већи капацитет за брзо тестирање великог броја испитаника; способност мерења перформанси на временски осетљивим задацима, као што је прецизан тренутак одабира слова; смањење трошкова који се односе на администрацију теста и бодовање; могућност коришћења теста на различитим језицима; аутоматизована обрада података и утврђивање оштећења; повећана доступност пацијентима у областима у којима постоји дефицит стручне

неуропсихолошке услуге; и аутоматизовано генерисање статистичких и нормативних резултата.

AC Test је реализован у форми Веб апликације применом *HTML5*, *JavaScript* и *CSS* технологија. Апликација се састоји из три основна екрана: почетни екран, екран са приказом теста и екран са резултатима. Почетна страница апликације омогућава унос имена корисника и временског ограничења трајања теста. У доњем делу налази се упутство у коме су таксативно наведена правила и задатак теста (Слика 23).

Test parameters

Participant:

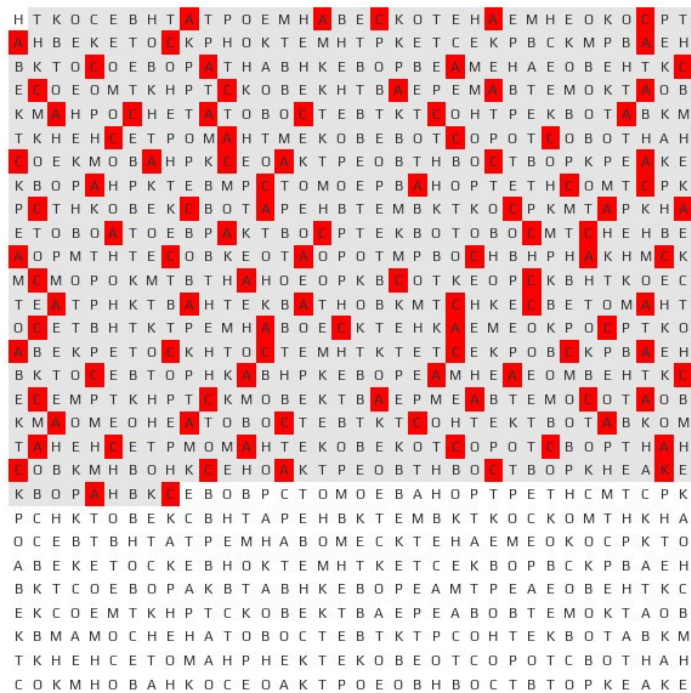
Time limit:

Instructions

- Read all of the following instructions carefully before starting the test.
- Enter full screen mode (F11).
- Enter participant's name.
- Modify time limit (if needed).
- Don't start test yet - read all the instructions first.
- The test is about selecting letters 'A' and 'C' in the table. Try not to select the other letters.
- These letters have to be selected in the appropriate order (left to right, and row by row).
- If you miss some letter, you can't go back.
- You need to select as many letters as possible before time is up.
- The test is done when you select the last available letter, or when the time is up - whatever comes first.
- The less time you use to select all the letters - the better.
- Click 'Start test' button to start the test.

Слика 23. Изглед почетног екрана АСТ апликације

Након уношења тражених података, корисник прелази на главни екран апликације у коме је приказан садржај самог теста. У 29 редова приказано је 36 слова у сваком реду, а корисник има могућност да притиском миша одабере жељено слово (Слика 24). Одабрано слово мења боју у црвену, а слова која му претходе у сиву, чиме се имплицира да су недоступна за селектовање (једно до правила теста јесте да се испитаник не може заокруживати слова која је прескочио). Задатак испитаника је да одабере што је могуће више слова 'А' и 'С' пре истека предвиђеног времена за рад (подразумевана вредност је 4 минута).

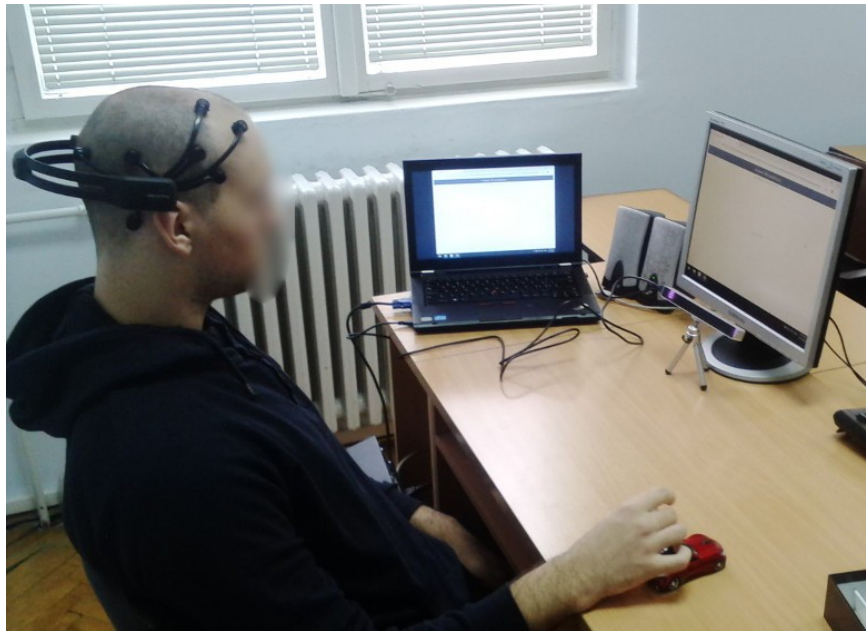


Слика 24. Изглед главног екрана "А С теста"

По истеку времена или по завршетку тестирања (када испитаник одабере последње расположиво слово), приказује се екран са резултатом. На овом екрану су доступни подаци о укупном броју тачних одговора (заокруживања), о броју тачних одговора груписаних на левој, централној и десној страни екрана, као и подаци о броју грешака и пропуштених слова груписаних по регионима (лево, централно, десно).

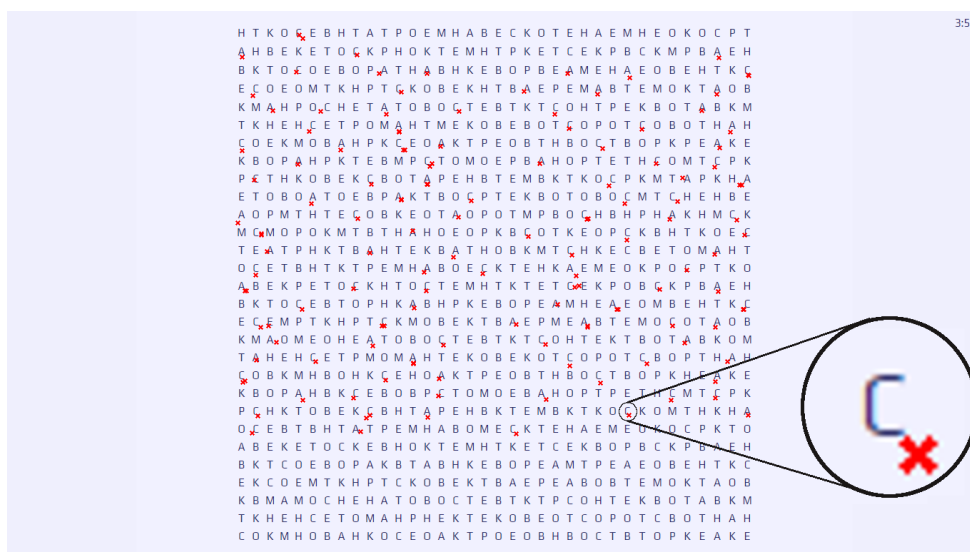
3.4.4.2 Опис АСТ експеримента

У експерименту је учествовало осамнаест испитаника, старости од 17 до 23 године. Тестирање је извршено на рачунарској верзији АС теста у изолованом окружењу. Испитаници су носили преносиви ЕЕГ уређај на глави, а испред њих био постављен сензор за праћење положаја погледа (Слика 25). Критеријуми за одабир испитаника су били познавање основа рада на рачунару и негирање постојање неуролошких обољења.



Слика 25. Испитаник са ЕЕГ уређајем и уређајем за праћење положаја погледа у току АС теста

По покретању апликације на екрану се приказује упуство са задатком за решавање. Учесницима је сугерисано да је време за израду теста ограничено на 4 минута и да сами одреде своју динамику рада. Бележење прецизних података о интеракцији испитаника са апликацијом омогућило је накнадну израду визуалне репрезентације снимљене сесије у форми екрана са прецртаним (обележеним) словима која је коришћена за додатну анализу резултата од стране људи (стручног кадра) (Слика 26).



Слика 26. Локације кликтања миша у току трајања "А С теста"

4 АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

4.1 Резултати Wisconsin Card Sorting теста

Како би се проценила ефикасност рачунарски реализованог WCS теста, добијени резултати су упоређени са нормативним вредностима стандардног WCS теста [94]. Извршено је поређење вредности четири фактора: броја достигнутих категорија, броја покушаја до прве категорије, персеверативних грешака и грешака у одржању сета (Табела 2). Резултати испитиваних егзекутивних функција добијени путем рачунарске верзије теста показују да су испитаници остварили мањи број категорија ($AC = 3.9$) у односу на нормативне вредности теста ($AC = 5.9$) за одговарајући узраст. Просечан број покушаја до постизања прве категорије у нашем испитаном узорку је значајно већи ($AC = 37.4$) у односу на нормативне вредности ($AC = 12.2$). Постигнут је значајно мањи број персеверативних одговора у испитаном узорку ($AC = 4.8$) у односу на нормативне вредности теста одговарајуће за узраст ($AC = 10.3$). Резултати грешака у одржавању сета у испитиваном узорку су просеку 1.00, док су нормативне вредности за ову ставку у просеку 1.83.

Табела 2. Резултати учесника експеримента у односу на нормативне вредности

Параметар	Нормативне вредности WCS теста		Рачунарски WCS тест	
	аритм. сред.	станд. девијац.	аритм. сред.	станд. девијац.
Број категорија	5.90	0.50	3.90	2.49
Број покушаја до прве категорије	12.20	3.90	37.40	32.61
Персеверативне грешке	10.30	6.40	4.80	3.82
Грешке у одржању сета	1.83	1.87	1.00	0.97

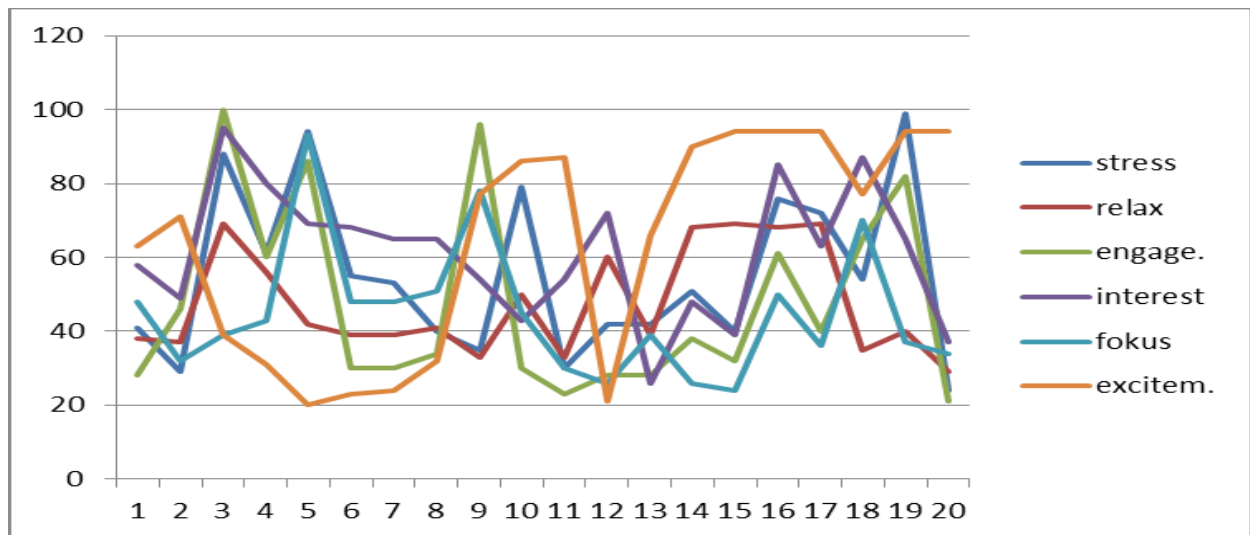
У Табели 3. приказано је просечно време до постизања прве категорије и укупно време трајања теста. У испитаном узорку просечно време за достизање прве категорије је 151.5 секунди. Укупно време за решавање теста у просеку је било 616.6 секунди, а минимално и максимално време решавања теста су 350 секунди, односно 1985 секунди.

Табела 3. Постигнуто време егзекутивних функција учесника експеримента

Параметар	Време у секундама			
	аритм. сред.	станд. девијац.	аритм. сред.	станд. девијац.
Време до прве категорије	151.5	130.7	32	506
Укупно време решавања теста	616,6	357,3	350	1985

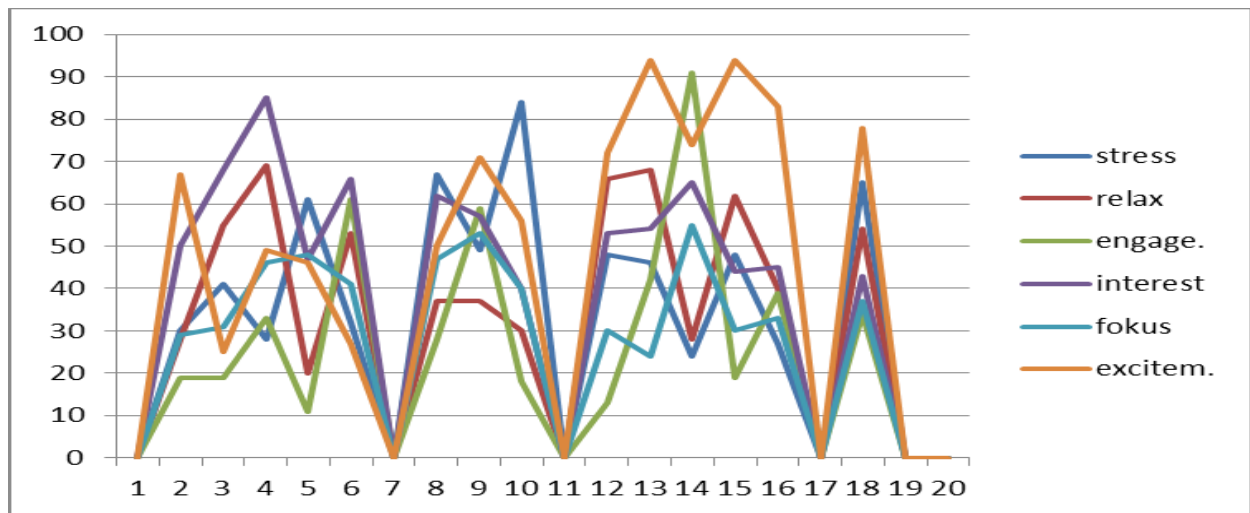
За потребе овог истраживања анализирани су прикупљени подаци о емотивним стањима испитаника у пет карактеристичних интервала решавања теста: у тренутку када су започињали тест, када су постигли прву категорију, када су правили персеверативне грешке, када су одустајали од актуелног принципа (грешке у одржању сета) и на самом крају тестирања.

Анализа података добијених са ЕЕГ уређаја показује да је на почетку тестирања код 10 испитаника (50%) регистровано узбуђење у распону од 80-100%. Ангажовање у истом распону регистровано је код 4 испитаника, док су појединачно стрес и интересовање регистровани код троје испитаника у распону од 80-100%. Остале детектоване особине код преосталих испитаника су у распону од 20-80% и у позитивној корелацији (Слика 27).



Слика 27. Графички приказ вредности ЕЕГ перформанси код једног испитаника на почетку WCS тестирања (Y оса - вредности ЕЕГ перформанси, X оса - време у секундама)

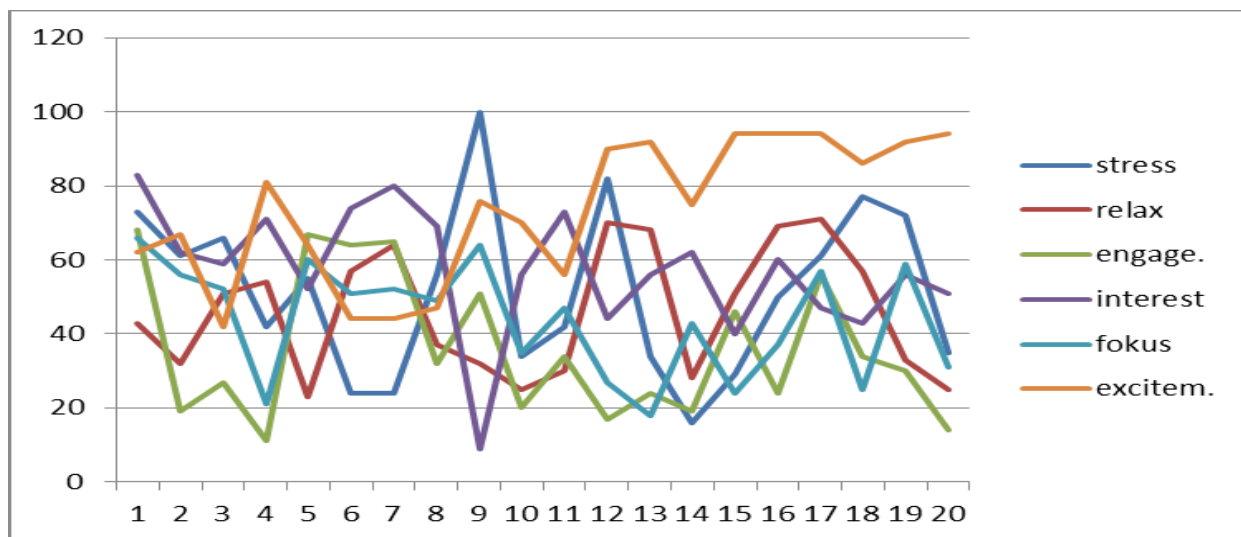
Приликом постизања прве категорије подаци показују да се интересовање региструје код 7 испитаника у распону од 80-100%, узбуђење код 6 испитаника у распону од 80-100%, док се стрес региструје код троје испитаника у распону од 80-100%. Детектоване особине код преосталих испитаника су у међусобној корелацији у распону од 20-80%. Приликом давања персеверативних одговора, код четворо испитаника регистровано је узбуђење у распону од 80-100%. Код петоро испитаника, детектоване особине су у корелацији и бележе значајан пад испод 10%. Код осталих испитаника детектоване особине су у корелацији и распону у од 10-70% (Слика 28).



Слика 28. Графички приказ вредности ЕЕГ перформанси код једног испитаника код персеверативних грешака (Y оса - вредности ЕЕГ перформанси, X оса - време у секундама)

Када је реч о грешкама у одржању сета, код четворо испитаника се детектује узбуђење у распону од 80-90%. Ангажовање, опуштеност и фокус, региструју се у распону од 20-55%. Такође, као и код персеверативних одговора, код грешака у одржању сета, код шесторо испитаника, детектоване особине су у корелацији и бележе значајан пад испод 10%.

На крају тестирања ЕЕГ подаци показују да код 10 испитаника узбуђење наставља да перзистира у распону од 80-95%, док су стрес и интересовање код двоје испитаника у распону од 80-100%. Код једног испитаника бележи се негативна корелација високо процентуално заступљеног стреса и ниско процентуално заступљеног интересовања. Остале испитиване особине крећу се у распону од 20-80% (Слика 29).



Слика 29. Графички приказ вредности ЕЕГ перформанси код једног испитаника на крају теста (Y оса - вредности ЕЕГ перформанси, X оса - време у секундама)

На самом почетку тестирања, код испитаника се као најзаступљенија особина јавља узбуђење, а затим ангажовање, одмах затим стрес и интересовање, док су остале регистроване особине у међусобној корелацији са нижим процентом заступљености. Приликом постизања прве категорије, најзаступљенија детектована особина је интересовање, а узбуђење и стрес и даље настављају да перзистирају. Анализом резултата детектованих особина у току менталног ангажовања, приликом давања персеверативних одговора, узбуђење као особина се одржава, док интересовање и ангажовање опадају. Интересантан резултат у овом случају постижу петоро испитаника, код којих су сва детектована осећања у међусобној корелацији и потпуном паду испод 10%. Веома сличан резултат детектованих особина добијених код персеверативних одговора, добијен је и код појаве грешака одустајања од сета. Узбуђење је константно присутно, затим интересовање и стрес, све у распону од 80-100%. Као и код персеверативних одговора, и код грешака одустајања од сета, код шесторо испитаника присутна је корелација свих детектованих особина са ниским процентом заступљености (испод 10%). Резултати показују да и на самом крају тестирања, узбуђење остаје најчешће детектована особина у високом распону (80-100%), а затим следе стрес и интересовање у истом распону. На крају, опуштеност и фокус као детектоване особине се увек региструју у распону од 20-70% и у сталној су корелацији са осталим особинама.

4.2 Резултати Visual Short Term Working Memory теста

У поступку обраде података добијених у току *VSTWM* теста коришћена је квантитативну и квалитативну анализу података. Квантитативна анализа подразумевала је коришћење различитих класификационих алгоритама у поступку одређивања корелације између одабраних својстава и редоследа приказивања слике, врсте слике и тачности одговора, са циљем откривања могућности придвиђања тока или исхода експеримента на основу прикупљених података о интеракцији између човека и рачунара.

Квалитативна анализа за циљ има да опише промене емотивних стања испитаника у односу на различите експериментале услове и различите фазе експеримента. На пример, посматране су варијације емотивних стања на нивоу испитане групе у тренутку када су испитаници прелазили из фазе гледања слике на фазу одговарања на питања. Такође, анализиране су разлике у вредностима емоција у зависности од врсте и редоследа слике коју су испитаници посматрали, односно, да ли је у тренутку тестирања испитаник био у присуству публике.

4.2.1 Резултати класификације

У овом раду, подаци су класификовани у односу на три класе: **1. редослед приказивања слике** (слика приказана прва или друга по реду [односно, са или без присуства публике]); **2. врста слике** (Слика А или Слика Б) и **3. тачност одговора** (слика, тачно, нетачно). Класификација је извршена коришћењем четири класификациона алгорита: *Naive Bayes*, *Support Vector Machine*, *K-nearest neighbors* (KNN) и *Random Forest*. У овом раду су презентована два најбоља постигнута резултата класификације. За припремање података и класификацију је коришћен софтвер *Weka*, верзије 3.8.3.

4.2.1.1 Редослед приказивања слике

Сваком наведеном класификатору су презентоване две класе: слика приказана ПРВА по реду и слика приказана ДРУГА по реду. Класификација је извршена са и без (коришћењем само ЕЕГ података) својства *временског периода одговарања на питања* као класификационог атрибута.

У случају када је коришћено својство *временског периода*, најбољи резултат је постигнут коришћењем **KNN** (к-најближих суседа) класификатора, са фактором $k = 1$ и Еуклидском дистанцом као метриком за претрагу удаљености инстанци (Табела 4). Од укупно 253 инстанце, исправна класификација је извршена на 228, што представља прецизност од **90.12%** за крос-валидацију (енгл. *cross-validation*) (Табела 4А) и **86.05%** када је класификатор трениран са 66% доступних података (Табела 4Б). Класификација је, такође, извршена са вредношћу фактора $k = 2$ (84.19% у случају крос-валидације; 86.05% са 66% података за тренирање), $k = 3$ (85.38% крос-валидација; 86.05% са 66% података за тренирање) и $k = 7$ (81.82% крос-валидација; 86.05% са 66% података за тренирање).

Табела 4. Редослед приказивања слике, резултати KNN класификатора ($k = 1$) - са својством *временског периода* као атрибутом

А. Крос-валидација			Б. Тренирање са 66% података			
ПРВА	ДРУГА	<-- класификовано као		ПРВА	ДРУГА	<-- класификовано као
106	15	ПРВА		33	3	ПРВА
10	122	ДРУГА		9	41	ДРУГА

Са коришћењем својства *временског периода* као атрибута, други најбољи резултат је остварен употребом *Random Forest* класификационог алгоритма, са бројем итерација постављеним на 100 и неограниченом дубином дрвета. У овом случају проценат исправно

класификованих инстанци износи 85.38% за крос-валидацију и 86.05% са тренирањем на скупу од 66% података (Табела 5).

Табела 5. Редослед приказивања слике, резултати Random forest класификатора - са својством временског периода као атрибутом

А. Крос-валидација			Б. Тренирање са 66% података			
ПРВА	ДРУГА	<-- класификовано као		ПРВА	ДРУГА	<-- класификовано као
105	16	ПРВА		33	3	ПРВА
21	111	ДРУГА		9	41	ДРУГА

Када временски период није коришћен као атрибут у класификационом алгоритму, најбољи резултат је постигнут коришћењем **KNN** (к-најближих суседа) класификатора, са фактором **k = 1** и Еуклидском дистанцом као метриком за претрагу удаљености инстанци (Табела 6). Коришћењем искључиво вредности о емотивним стањима добијених из података са ЕЕГ уређаја, добили смо 226 исправно класификоване инстанце (од 253; **89.33%**) у случају крос-валидације (Табела 6А) и 74 (од 86; **86.05%**) исправно класификоване инстанце при коришћењу 66% података за тренинг класификатора, а остатак за тестирање (Табела 6Б).

Табела 6. Редослед приказивања слике, резултати KNN класификатора (k = 1) - без временског периода као атрибута

А. Крос-валидација			Б. Тренирање са 66% података			
ПРВА	ДРУГА	<-- класификовано као		ПРВА	ДРУГА	<-- класификовано као
105	16	ПРВА		33	3	ПРВА
11	121	ДРУГА		9	41	ДРУГА

Други најбољи резултат са коришћењем својстава која се односе искључиво на емотивна стања испитаника постигнут је употребом *Random Forest* класификационог алгоритма, са 100 итерација и неограниченом дубином дрвета. Употребом крос-валидације, остварена прецизност класификације износи 84.98%, а коришћењем 66% узорка за тренирање, прецизност је 84.88%.

Горе наведени резултати показују да је могуће одредити са највећом прецизношћу од 90.12% (86.05%) ком редоследу приказивања слике припада свака инстанца, односно, да ли је испитаник посматрао слику прву или другу по реду када је одговарао на питања. Због чињенице да су испитаници били изоловани од публике када су посматрали прву слику, а у присуству публике током тестирања на другој слици, могуће се одредити са прецизношћу од **90.12%** да ли је испитаник био у присуству публике док је одговарао на питање. У случају редоследа приказивања слике, најбољи резултати су остварени када је коришћено својство *временског периода* заједно са својствима која се односе на емотивна стања испитаника.

4.2.1.2 Врста слике

У овом покушају класификације се могу издвојити две класе: Слика А и Слика Б. Класификација је извршена са и без (коришћењем само ЕЕГ података) својства *временског периода одговарања на питања* као класификационог атрибута.

Када је коришћено својство *временског периода*, најбољи резултат је постигнут коришћењем **KNN** класификатора, са фактором $k = 1$ и Еуклидском дистанцом као метриком за претрагу удаљености инстанци (Табела 7). Од укупно 253 инстанце, исправна класификација је извршена на 227, што представља прецизност од **89.72%** за крос-валидацију (енгл. *cross-validation*) (Табела 7А) и **89.53%** када је класификатор трениран са 66% доступног узорка (Табела 7Б). Класификација је, такође, извршена са вредношћу

фактора $k = 2$ (84.98% у случају крос-валидације; 84.88% са 66% података за тренирање) и $k = 3$ (87.75% крос-валидација; 88.37% са 66% података за тренирање).

Табела 7. Врста слике, резултати KNN класификатора ($k = 1$) - са својством временског периода као атрибутом

А. Крос-валидација			Б. Тренирање са 66% података			
Слика А	Слика Б	<-- класификовано као		Слика А	Слика Б	<-- класификовано као
117	15	Слика А		37	3	Слика А
11	110	Слика Б		6	40	Слика Б

Други најбољи резултат, када говоримо о врсти приказане слике, са својством временског периода, остварен је коришћењем *Random Forest* класификационог алгоритма, са бројем итерација подешеним на 100 и неограниченом дубином дрвета. Процент исправно класификованих инстанци износи 83.40% за крос-валидацију и 86.05% са тренирањем на скупу од 66% података (Табела 8).

Табела 8. Врста слике, резултати Random forest класификатора - са својством временског периода као атрибутом

А. Крос-валидација			Б. Тренирање са 66% података			
Слика А	Слика Б	<-- класификовано као		Слика А	Слика Б	<-- класификовано као
120	12	Слика А		36	4	Слика А
30	91	Слика Б		8	38	Слика Б

Ако се временски период не користи као атрибут у класификационом алгоритму, најбољи резултат се постиже коришћењем **KNN** класификатора, са фактором **k = 1** и Еуклидском дистанцом као метриком за претрагу удаљености инстанци (Табела 9). Када се за класификацију користе искључиво вредности о емотивним стањима испитаника, добија се 229 исправно класификованих инстанци (од 253; **90.51%**) у случају крос-валидације (Табела 9А) и 77 (од 86; **86.05%**) исправно класификованих инстанци када се користи 66% података за тренинг класификатора, а остатак за тестирање (Табела 9Б). Ово преставља најбољи резултат када је реч о класи *врста приказане слике*. Са вредношћу параметра **k = 2**, проценат исправних класификација износи 86.56% за крос-валидацију (87.21% са 66% узорка за тренирање), и за **k = 3**, проценат износи 89.72% за крос-валидацију (88.37% са 66% узорка за тренирање).

Табела 9. Врста слике, резултати KNN класификатора (k = 1) - без својства временског периода као атрибута (искључиво на основу ЕЕГ података)

А. Крос-валидација			Б. Тренирање са 66% података			
Слика А	Слика Б	<-- класификовано као		Слика А	Слика Б	<-- класификовано као
119	13	Слика А		37	3	Слика А
11	110	Слика Б		6	40	Слика Б

Други најбољи резултат коришћењем искључиво својстава која се односе на емотивна стања испитаника постигнут је употребом *Random Forest* класификационог алгоритма, са 100 итерација. Употребом крос-валидације, остварена прецизност класификације износи 85.38%, а коришћењем 66% узорка за тренирање, прецизност је 83.72%.

Резултати анализе показују да је могуће утврдити са највећом прецизношћу од **90.51%** (**89.53%**) којој слици (А или Б, без обзира на редослед приказивања) свака

појединачна инстанца припада, односно, коју слику је испитаник гледао пре одговарања на питања. У случају врсте слике, најбољи резултат је остварен када се за класификацију користе само својства добијена из ЕЕГ података, без временског својства као атрибута.

У сличном истраживању [95], коришћењем ЕЕГ података добијених од 8 испитаника, аутори су успели да успешно класификују сличице објеката са шире слике са оствареном прецизношћу од 78 до 95%. У другом раду [96], испитаници су посматрали случајно одабране слике из 101 различите категорије. Презентовани алгоритам показује да је могуће исправно детектовати класу слике са прецизношћу од 52–74% коришћењем искључиво ЕЕГ података. У свом раду [97], аутори су тестирали варијације можданих таласа приликом приказивања једноставних мрља боје и простих визуалних облика и њихових имена. Коришћењем развијеног модела, успели су да исправно класификују између 60% и 75% можданих таласа. Уопштени закључак је да једноставни облици, као што су кругови, и једноставни прикази боја генеришу мождане таласе изненађујуће сличне онима које генеришу њихова имена. Наши резултати потврђују да је могуће извршити разликовање између различитих слика коришћењем ЕЕГ података, са већом прецизношћу.

4.2.1.3 Тачност одговора

У случају тачности одговора на постављено питање инстанца може да припада једној од три класе: гледање слике (СЛИКА), тачан одговор (ТАЧНО) и нетачан одговор (НЕТАЧНО). Временски период као атрибут није коришћен ни у једном класификационом алгоритму, јер је временски интервал гледања слике (у трајању од 60 секунди) значајно дужи од тајања интервала одговарања на питања. Такође је важно нагласити да је овде у питању небалансирани скуп података, односно, број инстанци који припада различитим класама се драстично разликује. Тако, број инстанци које припадају гледању слике је 23, број инстанци које припадају тачном одговору је 156, а број погрешних одговора је 74.

Имајући то у виду, није остварен значајан резултат класификације коришћењем атрибута *тачност одговора* као класе. Може се рећи да је најбољи добијени резултат постигнут употребом **KNN** класификатора, са фактором $k = 3$ и Еуклидском дистанцом као метриком, где имамо више исправних него неисправних класификација у две класе: СЛИКА и ТАЧНО (Табела 10), док у случају свих других коришћених класификационих алгоритама имамо више исправних него неисправних класификација само у једној класи (ТАЧНО). KNN класификатор је дао **61.66%** исправно класификованих инстанци са крос-валидацијом и **61.63%** исправних класификација са 66% узорка за тренирање.

Табела 10. Тачност одговора, резултати KNN класификатора ($k = 3$)

А. Крос-валидација				Б. Тренирање са 66% података			
СЛИКА	ТАЧНО	НЕТАЧНО	<-- класификовано као	СЛИКА	ТАЧНО	НЕТАЧНО	<-- класификовано као
16	5	2	СЛИКА	4	1	1	СЛИКА
5	119	32	ТАЧНО	3	43	12	ТАЧНО
3	50	21	НЕТАЧНО	2	14	6	НЕТАЧНО

4.2.2 Квалитативна анализа

Након што је обављена класификација података коришћењем три различите класе, изршена је анализа промена својстава емотивних стања у односу на сваку од класа.

4.2.2.1 Редослед приказивања слике

Приликом анализе ЕЕГ података у односу на *редослед приказивања слике*, покушали смо да утврдимо однос између индивидуалног својства и класе упоређујући просечне вредности својстава свих испитаника за сваку од две могуће класе - ПРВА и ДРУГА. Након тога, одабрана су својства са највећом разликом у просечним вредностима у различим класама и груписана у односу на припадност истом емотивном стању (Табела 11).

Табела 11. Поређење просечних вредности својстава за класе ПРВА и ДРУГА

Разлика у %	Својство	Емотивно стање
-6.32	Stress Max	STRESS
-4.27	Stress Avg	STRESS
+3.76	Stress Avg/MAX	STRESS
-3.30	Rel Max	RELAXATION
-2.93	Rel Avg	RELAXATION
-2.62	Rel Min	RELAXATION

Као што се може видети из резултата, првих шест својстава са највећим променама у односу на различите класе се односе на емотивна стања **стреса** и **опуштености**. Шта више, вредности својстава стреса и опуштености (осим *Stress Avg/MAX*) су веће (у просеку) у случају класе ПРВА, из чега се може закључити да су и стрес и опуштеност били већи када су испитаници радили тест први пут, без публике, у поређењу са другим тестирањем, у присуству публике. Разлози овога захтевају дубљу анализу. Ово потврђује закључке других истраживања [98,99,100] да постоји снажна корелација између присуства публике и нивоа стреса (крвног притиска и пулса).

4.2.2.2 Врста слике

Када је у питању *врста слике*, примењена је иста методологија за утврђивање односа индивидуалних својстава у односу на класу описана у Секцији 4.2.2.1. Груписана су својства са највећом разликом у просечним вредностима у различим класама (Слика А и Слика Б) у односу на емотивно стање коме припадају (Табела 12).

Табела 12. Поређење просечних вредности својстава за класе СЛИКА А и СЛИКА Б

Разлика у %	Својство	Емотивно стање
-7.93	Stress Max	STRESS
-6.30	Stress Avg	STRESS
+4.98	Eng Avg/MAX	ENGAGEMENT
-4.40	Stress Min	STRESS
-3.66	Exc Avg/MAX	EXCITEMENT

Резултати показују да је **стрес** емотивно стање са највећом променом у односу на тип слике коју је испитаник гледао. Стрес је био већи у пресеку у случају када је испитаник гледао Слика А у односу на Слика Б, без обзира да ли је слика приказана прва или друга по реду. Разлози за ово захтевају дубљу анализу и нису предмет овог рада.

4.2.2.3 Тачност одговора

Као што је објашњено у Секцији 4.2.1.3, када је у питању *тачност одговора*, инстанца може да припада једној од три класе. Иако је коришћен исти метод за израчунавање просечне вредности сваког појединачног својства за сваку од ових класа (као у Секцијама 4.2.2.1 и 4.2.2.2), у овом случају, извршена су два одвојена поређења.

Прво поређење је између класе *гледање слике*, са једне стране, и класа *тачан* и *нетачан* одговор са друге (Табела 13). Друго поређење је између класа *тачан* и *нетачан* одговор (Табела 14).

Табела 13. Поређење просечних вредности својстава за класе ГЛЕДАЊЕ СЛИКЕ и класа ТАЧАН и НЕТАЧАН одговор

Разлика у %	Својство	Емотивно стање
-32.28	Stress Max	STRESS
-25.29	Eng Max	ENGAGEMENT
-15.85	Rel Max	RELAXATION
-13.58	Фоc Max	FOCUS

Резултати из Табеле 13 показују да постоји значајно опадање **стреса, ангажованости, опуштености и фокуса** када је испитаник прешао са гледања слике на одговарање на питања. На пример, максимална вредност стреса (*Stress Max*) је у просеку била 32.28% већа док је испитаник гледао слику.

Табела 14. Поређење просечних вредности својстава за класе ТАЧАН и НЕТАЧАН одговор

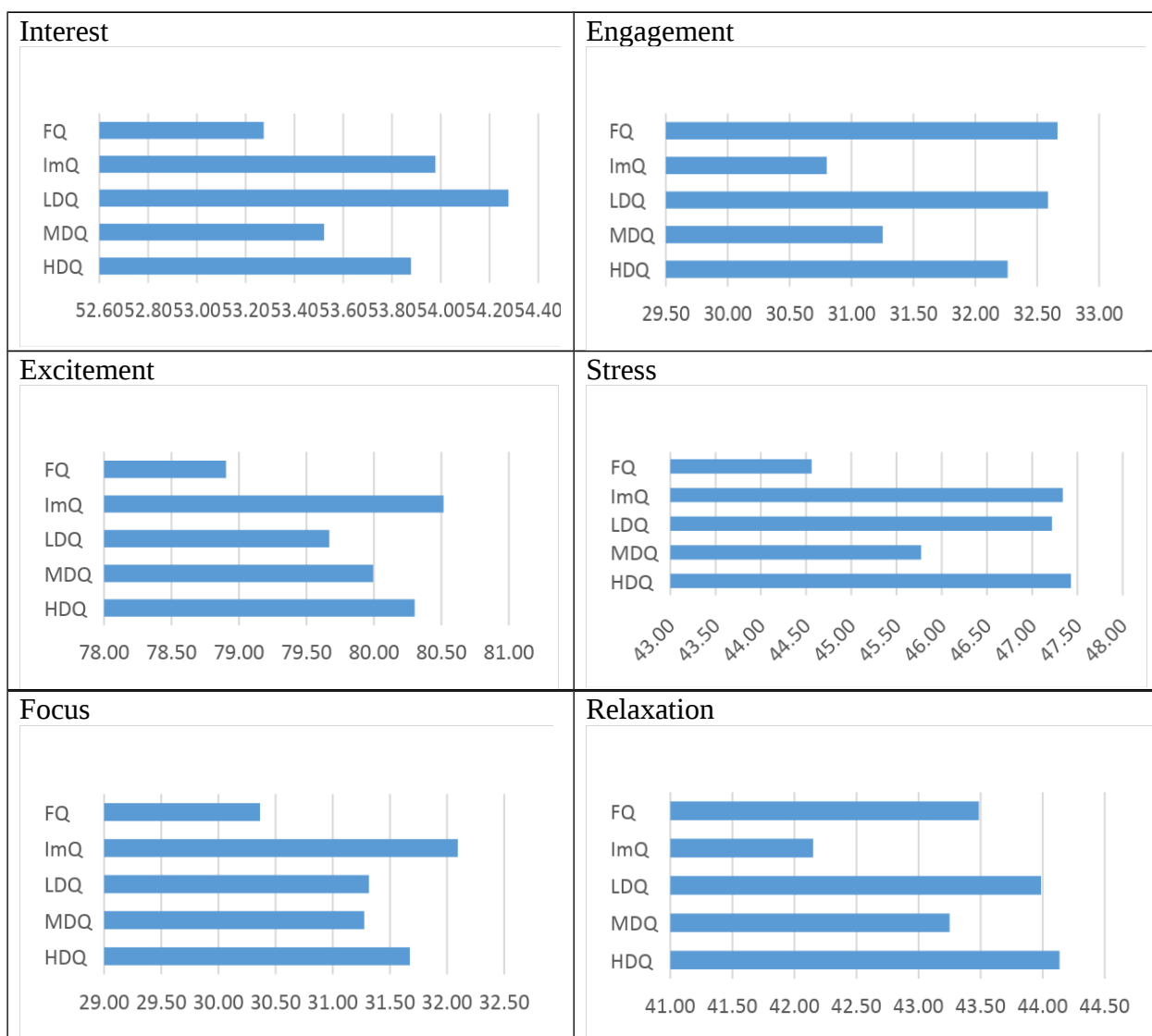
Разлика у %	Својство	Емотивно стање
+3.59	Rel Max	RELAXATION
+3.15	Rel Avg/MAX	RELAXATION
+2.97	Rel Avg	RELAXATION

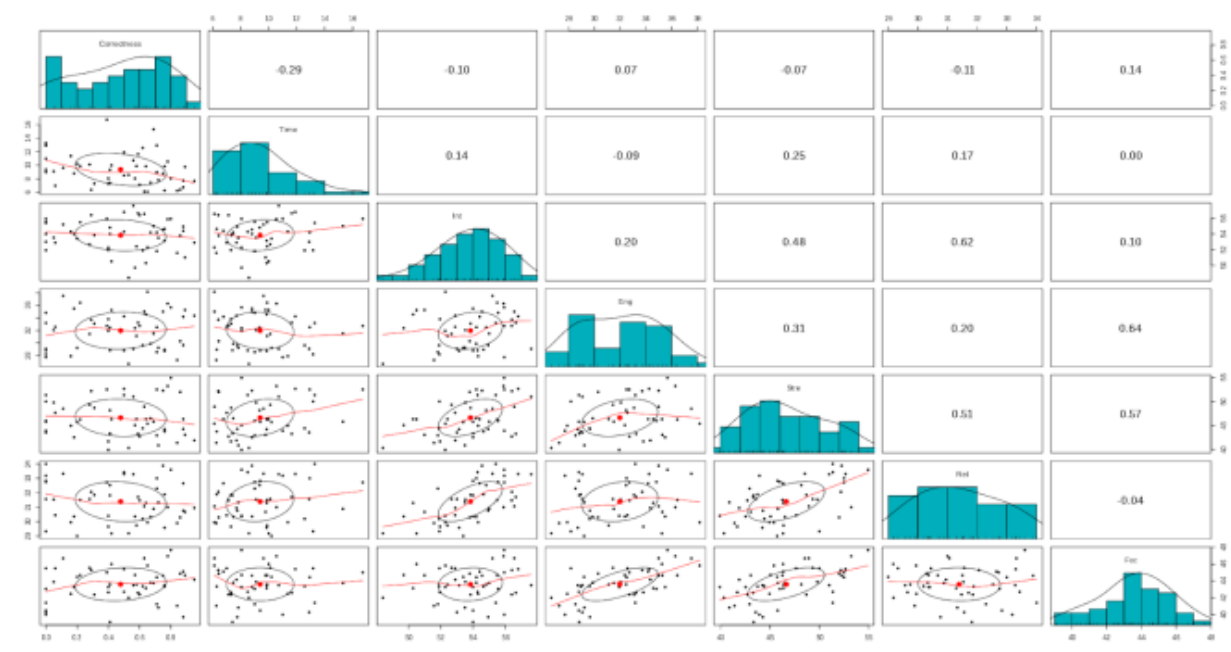
Када се упореде просечне емотивне вредности својстава за *тачан* и *нетачан* одговор, може се закључити да је једино значајно одступање у случају стања **опуштености**, које је било веће (у просеку) за питања на која је пружен *тачан* одговор.

4.3 Резултати mTutor testa

У Табели 15 је приказано шест графикана који представљају средње вредности (аритметичке средине) за сваку мерену емотивну карактеристику у зависности од типа питања. Занимљиво је да су вредности за интересовање, узбуђење, стрес и опуштености у случају *забавних* питања најниже, док *немогућа* питања имају минималне вредности за ангажованост и фокус. Регуларна питања показују сличне тенденције за узбуђење, стрес, опуштеност и фокус, при чему највише вредности имају најтежа питања.

Табела 15. Средње вредности емотивних стања за различите типове питања





Други аспект статистичке анализе представља корелација између параметара (заинтересованост, ангажованост, узбуђење, стрес, опуштеност, фокусираност) за свако питање са средњим вредностима емотивних стања за све учеснике у тесту. Слика 30 приказује корелације за парове параметара (испод дијагонале), хистограме за сваки параметар и Пирсон корелацију (изнад дијагонале). Слика 30. Корелације између различитих параметара питања – тачности, времена, заинтересованости, ангажованости, стреса, опуштености и фокусираности

Из резултата се може закључити да не постоји снажна корелација између било ког индивидуалног параметра и прецизности одговора и да је највећа (негативна) корелација између тачности одговора и времена проведеног на питању. Највећа корелација се јавља између парова: ангажованост – фокусираност (+0.64), заинтересованост – опуштеност (+0.62), стрес – фокус (+0.57), стрес – опуштеност (+0.51) и заинтересованост – стрес (+0.48).

Ове прве анализе добијених података базиране на потрази за једноставним статистичким корелацијама између различитих параметара нису довољне за ефикасну употребу примењених техника у сврху симултаног давања повратне информације систему

за тестирање нити за коришћење у корекцији резултата које су студенти показали на тесту знања. Међутим, неки закључци о утицају одређене групе питања на емотивно стање студената се могу применити на смањење стреса или повећање заинтересованости. Тако, стрес се може умањити убацивањем питања забавног карактера са очигледним тачним одговором. Највећу заинтересованост изазивају лака питања, док се фокусираност студента може повратити коришћењем немогућих питања, без тачног одговора. Са друге стране, алгоритам бодовања студената се мора адекватно прилагодити постојању "забавних" и "немогућих" питања.

4.4 Резултати АС теста

АС тест је тест за процену фокусиране и селективне пажње (концентрације), односно, способности да се истакну важни стимулуси или појмови у одређеном тренутку, уз истовремену супресију небитних или ометајућих надражаја [101]. Из брзине реаговања и броја грешака процењује се ефикасност у решавању задатка. Коришћење овог теста за процену пажње може имати клиничку важност у погледу откривања постојања једностраног просторног занемаривања.

По завршетку тестирања (када испитаник одабере последње расположиво слово), приказује се екран са резултатима који садржи вредности за све категорије од значаја за евалуацију АС теста (Слика 31). Добијени подаци представљају основ за квантитавну анализу. Аутоматизованом обрадом података о интеракцији испитаника са АС тест апликацијом могу се одредити основни параметри који се односе на: укупан број исправно одабраних (прецртаних) слова; број исправно прецртаних слова по регионима (лево, средина, десно); укупан број погрешно одабраних слова; број погрешно одабраних слова по регионима; укупан број пропуштених слова; и број пропуштених слова по регионима.

Results	
CorrectCells:	107
CorrectCellsLeft:	37
CorrectCellsCenter:	33
CorrectCellsRight:	37
IncorrectCells:	1
IncorrectCellsLeft:	0
IncorrectCellsCenter:	0
IncorrectCellsRight:	1
MissedCells:	6
MissedCellsLeft:	3
MissedCellsCenter:	0
MissedCellsRight:	3

Слика 31. Екран са постигнутим резултатима који садржи вредности параметара за процену ефикасности

Од 18 тестираних испитаника, 2 испитаника (бр. 1 и бр. 11) су завршили тест пре истека дефинисаног времена од 4 минута. У Табели 16. су приказани подаци обрађени од стране АС тест апликације о категоријама од значаја за процену ефикасности урађеног теста. У току тестирања, на екрану са словима се налази подједнак број слова А и С у левом и десном региону, док централни регион садржи у просеку 25% мање слова за прецртавање. Из табеле се може закључити да је просечан број исправно одабраних слова у левом региону ($AC = 37.72$) незнатно већи од броја исправно одабраних слова са десне стране ($AC = 36.67$).

Табела 16. Резултати испитаника у односу на параметре за евалуацију АС теста

Р.БР.	УИ	ИЛ	ИС	ИД	УГ	ГЛ	ГС	ГД	УП	ПЛ	ПС	ПД
1	147	52	43	52	1	1	0	0	13	6	2	5
2	104	38	29	37	0	0	0	0	14	4	5	5
3	93	31	31	31	4	1	1	2	27	11	4	12
4	99	36	29	34	0	0	0	0	3	0	1	2
5	91	36	28	27	0	0	0	0	21	4	4	13
6	92	32	27	33	1	0	1	0	14	5	4	5
7	82	27	28	27	1	0	1	0	24	10	3	11
8	128	44	38	46	3	1	0	2	12	6	2	4
9	91	34	27	30	1	0	1	0	10	2	2	6
10	92	32	28	32	0	0	0	0	6	2	1	3
11	130	48	35	37	1	1	0	0	30	10	10	10
12	112	36	34	42	0	0	0	0	20	10	4	6
13	115	42	33	40	0	0	0	0	10	2	4	4
14	89	31	27	31	1	0	0	1	3	1	0	2
15	99	34	31	34	0	0	0	0	4	2	0	2
16	109	37	31	41	0	0	0	0	11	5	4	2
17	122	45	36	41	4	0	3	1	13	3	3	7
18	125	44	36	45	0	0	0	0	1	0	1	0
укупно	1920	679	571	660	17	4	7	6	236	83	54	99
АС	106.67	37.72	31.72	36.67	0.94	0.22	0.39	0.33	13.11	4.61	3.00	5.50
СД	17.91	6.72	4.51	6.92	1.35	0.43	0.78	0.69	8.46	3.58	2.33	3.78

Легенда: **УИ** - бр. укупно исправних одабраних слова; **ИЛ** - бр. исправно одабраних слова лево; **ИС** - бр. исправно одабраних слова у средини; **ИД** - бр. исправно одабраних слова десно; **УГ** - бр. укупно погрешно одабраних слова; **ГЛ** - бр. погрешно одабраних слова лево; **ГС** - бр. погрешно одабраних слова у средини; **ГД** - бр. погрешно одабраних слова десно; **УП** - бр. укупно пропуштених слова; **ПЛ** - бр. пропуштених слова лево; **ПС** - бр. пропуштених слова у средини; **ПД** - бр. пропуштених слова десно; **АС** - аритметичка средина; **СД** - стандардна девијација

Процентуално, у односу на укупан број слова која је испитаник прешао радећи тест, највећи број пропуштених слова налази се са десне стране - 13%, затим у левом

региону - 11%, и на крају у центру - 8.5%. Највећи број погрешно одабраних слова, у процентуалним и апсолутним вредностима, налази се у централном региону (1%), у поређењу са левим (0.5%) и десним регионом (0.8%).

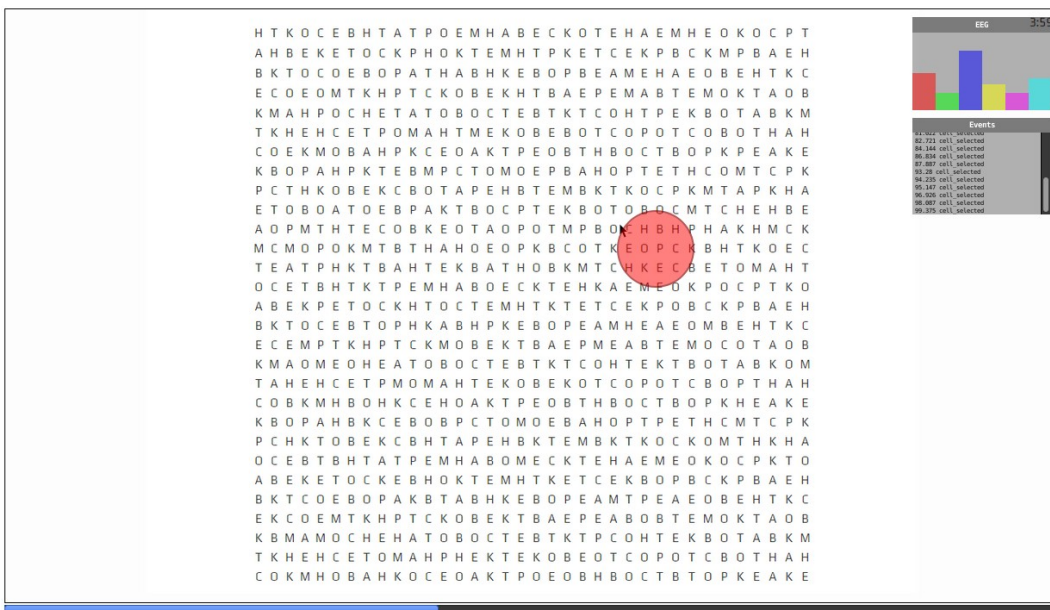
Осим анализе вредности основних категорија АС теста, апликација нам може пружити додатне податке који се могу користити за дубљу анализу. Тако, на пример, могуће је експортирати податке о врсти слова која су најчешће бирана као погрешна. Резултати показују да су испитаници као погрешно најчешће бирали слово **К** (5 пута), затим слово **Е** и **Т** (по 3 пута) и слова **М**, **О** и **Н** (по 2 пута).

Табела 17. приказује средње вредности (аритметичке средине) емотивних карактеристика испитаника у току тестирања. Потрага за једноставним статистичким корелацијама између емотивних стања и параметара за евалуацију теста показује да не постоји јасна корелација која би омогућила повезивање емотивних стања испитаника са постигнутим резултатима. Ипак, може се приметити да је код учесника бр. 18, који је постигао најмање укупних грешака (грешке погрешног прецртавања и пропуштених слова), просечна вредност ангажовања (67.73) и фокуса највећа (66.30). Могући узрок недостатка корелације лежи у чињеници да су сви тестирани испитаници здрави, без сумњи на постојање синдрома једностраног занемаривања, што се потврђује постигнутим резултатима АС теста.

Табела 17. Аритметичке средине емотивних особина испитаника у току АС теста (АС - аритметичка средина, СД - стандардна девијација)

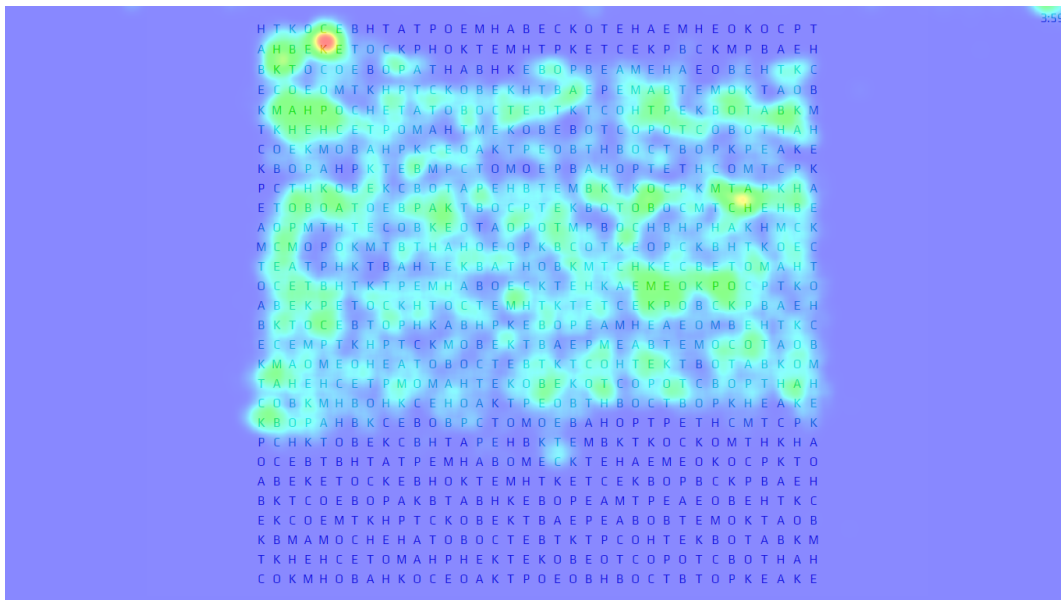
Р.БР	Интересовање	Ангажовање	Узбуђење	Стрес	Опуштеност	Фокус
1	45.94	36.14	75.79	53.25	29.51	49.23
2	64.64	37.86	86.56	47.37	31.61	47.41
3	51.81	31.44	77.92	54.30	30.28	46.77
4	50.94	32.04	94.21	30.87	28.14	37.91
5	52.34	24.39	73.49	43.07	25.90	40.99
6	52.23	24.46	76.63	41.16	26.17	38.31
7	52.10	28.48	67.11	41.87	32.99	39.72
8	54.43	22.43	74.30	43.87	28.53	38.01
9	67.73	36.39	75.41	37.94	49.75	34.42
10	61.81	38.06	80.34	63.50	37.14	50.42
11	52.94	43.01	83.35	52.02	31.23	51.33
12	51.92	15.79	78.19	41.00	26.47	33.48
13	51.37	30.23	74.81	33.23	22.27	43.05
14	56.05	39.67	76.24	43.50	28.95	47.74
15	63.47	34.25	74.60	43.18	31.64	42.99
16	77.03	40.18	61.33	54.24	44.82	50.43
17	45.16	19.21	57.57	23.09	15.21	37.47
18	45.22	67.73	78.03	55.81	28.02	66.30
АС	55.40	33.43	75.88	44.63	30.48	44.22
СД	8.43	11.50	8.32	9.91	7.69	7.94

Захваљујући вишесензорској синхронизацији са акцијама на клијентској АС тест апликацији могуће је екпортовање обрађених података у визуалне репродукције сесија са прецизним информацијама о оствареној интеракцији (Слика 32).

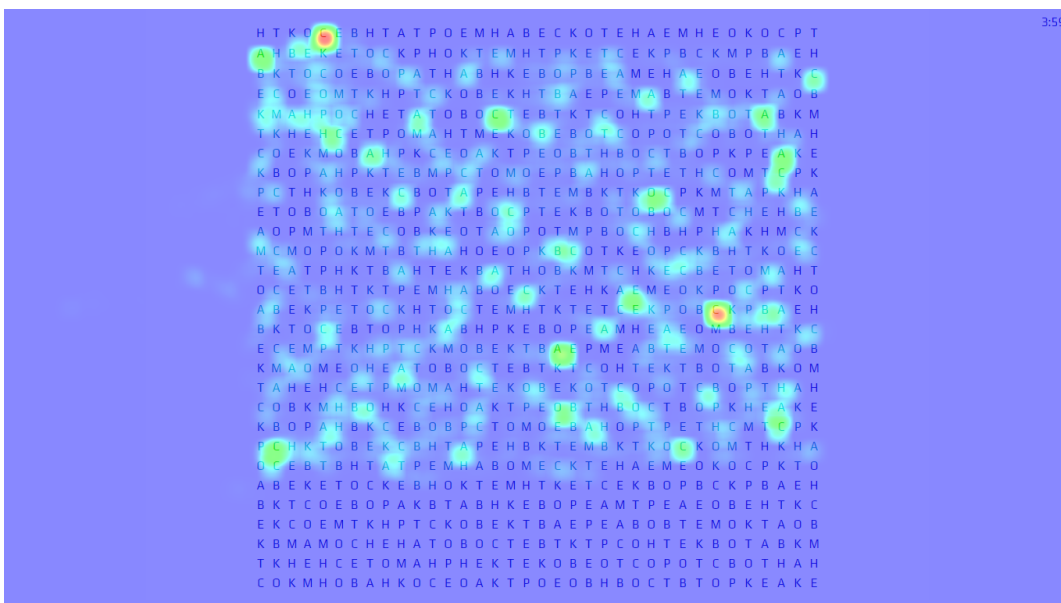


Слика 32. Снимак екрана у току репродукције сесије АС теста

Осим анализе резултата евалуације АС теста и емотивних перформанси испитаника у току трајања тестирања, коришћењем развијене платформе омогућена је анализа података везаних за положај погледа и локацију курсора миша. Прављењем топлотних карти на основу обрађених вредности положаја погледа и курсора миша може се демонстрирати ниво корелације који је детектован у овом експерименту (Слика 33 и 34). На основу овога се може извести закључак у којој мери су испитаници током трајања теста мишем пратили кретање погледа на екрану. Висок ниво корелације пружа могућност апроксимације интеракције детектоване преко једног сензора уз помоћ анализираних података са другог, односно, у овом случају, било би могуће упростити експериментално окружење елиминисањем сензора за праћење погледа, услед високе сличности кретања погледа са подацима о кретању курсора миша.



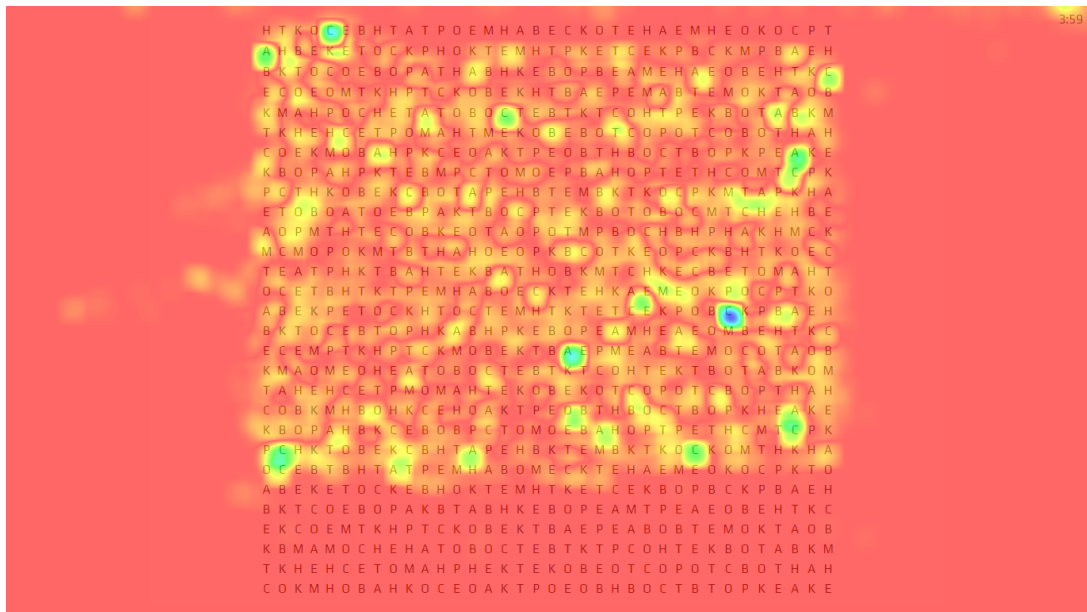
Слика 33. Топлотна карта на основу података о локацији погледа



Слика 34. Топлотна карта на основу података о локацији курсора миша

Синхронизацијом, а затим комбиновањем података о локацији и померању погледа са одговарајућим подацима прикупљеним о интеракцији преко рачунарског миша, може се изразити степен подударности кроз визуализацију израчунате корелације. На Слици 35 приказан је ниво преклапања положаја погледа са положајем миша. Може се закључити да

је у случају АС теста постојећи ниво корелације висок, нарочито на координатама слова која је испитаник прецртавао (у већини случајева слова А и С).



Слика 35. Визуализација корелиције између погледа и миша

5 ЗАКЉУЧАК

Резултати нашег истраживања који се односе на постигнуће испитаника на рачунарској верзији *WCS* теста показују извесна одступања у односу на нормативне вредности теста у стандардној форми (Табела 2). Резултати овог теста показују да је број постигнутих категорија код наших испитаника са извесним одступањем у односу на референтне вредности. Нижу ефикасност можемо објаснити мањом способношћу смењивања мисли или акција у зависности од захтева ситуације [102,103], или мањом способношћу да се флексибилно мењају перспективе или прилагођавају одговори [104]. Претпоставља се да су испитаници највише били сконцентрисани на то да ли ће дати тачан одговор, без постојања концепције о формирању низа и постизању категорије или промени критеријума за нову категорију.

Резултати нашег истраживања показују да постоји значајно одступање резултата испитаника у односу на референтне вредности у броју покушаја до постизања прве категорије. То се може објаснити тиме да су способност антиципације и извођења планиране акције код испитаника биле мање ефикасне.

Особе које су когнитивно нефлексибилне понашају се на ригидан начин, не умеју да се изборе са промењеним активностима и процедурама, зато не успевају да се прилагоде новим захтевима. Оштећење овог домена је често повезано са персеверативним понашањем и понављањем истих грешака. Резултати нашег истраживања показују да је број персеверативних одговора наших испитаника испод нормативних вредности, што указује на квалитет који зовемо ментална флексибилност [47].

Резултати нашег истраживања не показују значајна одступања код грешака у одржању сета у односу на нормативне вредности, што иде у прилог доброј способности одржања пажње, квалитета краткорочне меморије и менталне флексибилности.

У истраживању које је спроведено путем *VSTWM* тест апликације коришћени су подаци о емотивним перформансама добијени са ЕЕГ уређаја. У тестирању је учествовало

12 испитаника. На почетку тестирања, испитанику је приказана слика у трајању од једног минута, са одговарајућим инструкцијама да запамти што је могуће више детаља са слике.

Карактеристике базиране на вредносима шест емотивних стања (заинтересованост, ангажовање, узбуђење, стрес, опуштеност и фокус) су коришћење у различитим покушајима класификације у односу на три класе: редослед приказивања слике, врста приказане слике и тачност одговора. На основу резултата се може извући неколико закључака. Прво, резултати класификације показују да је употребом емотивних стања испитаника и дужине одговарања на питања могуће одредити са највећом прецизношћу од 90.12% који је био редослед слика које је испитаник гледао током тестирања. Због чињенице да је друга слика приказана у присуству публике, ово значи да је могуће утврдити са прецизношћу 90.12% да ли је испитаник био у присуству публике када је одговарао на питање. Друго, резултати добијени квантитавном анализом емотивних стања испитаника омогућавају да се са прецизношћу од 90.51% утврди коју слику (Слику А или Слику Б, без обзира на редослед приказивања) је испитаник гледао пре одговарања на питање.

Коришћењем квалитативне анализе, упоређујући укупне промене у емотивним перформансама испитаника, могуће је закључити да су стрес и опуштеност били већи (у просеку) када је испитаник радио тест први пут (без публике) у поређењу са другим путем (са публиком). Додатно, стрес је био већи (у просеку) када је испитаник гледао Слика А у поређењу са Сликаом Б. Такође, приметно је опадање вредности стреса, ангажовања, опуштености и фокуса када је испитаник прешао са гледања слике на одговарање на питања, а опуштеност је била већа (у просеку) када је испитаник исправно одговорио на питање.

Циљ експеримента са електронским тестирањем знања путем *mTuror* платформе био је проналажење модела за примену вештачке интелигенције који би омогућио да електронска процена знања у што већој мери осликава реално знање испитаника. Анализа резултата показала је да долази до смањења интересовања, узбуђења, стреса и опуштености када су испитаници решавали забавна питања. Са друге стране, немогућа питања је пратило опадање вредности ангажовања и фокуса.

Иако није откривена снажна корелација између било ког индивидуалног параметра и прецизности одговора може се закључити да је могуће утицати на емотивно стање испитаника убацавањем одговора одређеног типа. Тако, стрес се може умањити убацавањем питања забавног карактера са очигледним тачним одговором. Интересовање се може повећати коришћењем лакших питања, а фокусираност студента може повратити коришћењем немогућих питања, без тачног одговора.

АС тест се користи за процену степена пажње, односно, способности истицања важних стимулуса у односу на ометајуће надражаје. Анализа резултата прикупљених употребом рачунарске верзије теста показује да се највећи број пропуштених слова налази са десне стране, па затим у левом региону и у центру. Највећи број погрешно одабраних слова је у централном региону, затим у левом и у десном региону.

Једноставним статистичким корелацијама између емотивних стања и параметара за евалуацију теста није откривена јасна корелација која повезује емотивна стања испитаника са постигнутим резултатима. Могући разлог лежи у чињеници да су сви тестирани испитаници здрави, без сумњи на постојање синдрома једностраног занемаривања. Са друге стране, висок ниво корелације између положаја погледа и положаја курсора миша пружа могућност апроксимације интеракције детектоване преко једног сензора уз помоћ анализираних података са другог. Упоредивањем података о локацији и померању погледа са подацима о кретању миша, може се закључити да је у случају АС теста постојећи ниво корелације висок, нарочито на координатама слова која је испитаник прецртавао.

Општи закључак спроведених истраживања је да је могуће користити вештачку интелигенцију за анализу интеракције између човека и рачунара и да ће се њеном применом остварити приближни или бољи резултати од оних у којима анализу врши човек. Могуће је применити дистрибуирана решења за синхронизацију и пружање повратне информацију од система у реалном времену. Аутоматизованом анализом добијених резултата од стране вештачке интелигенције могућа је процена когнитивних перформанси корисника.

6 ПРИЛОЗИ

6.1 ПРИЛОГ А. Пример репрезентативног кода за синхронизацију путем NTP-like протокола

6.2 ПРИЛОГ В. Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из WSC експеримента

6.3 ПРИЛОГ С. Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из VSTWM експеримента

6.4 ПРИЛОГ Д. Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из mTutor експеримента

6.5 ПРИЛОГ Е. Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из АСТ експеримента

6.6 ПРИЛОГ Ф. Примери сирових података прикупљених са VSTWM клијентске апликације

6.7 ПРИЛОГ Г. Примери сирових података прикупљених са АСТ клијентске апликације

6.1 ПРИЛОГ А.

Пример репрезентативног кода за синхронизацију путем NTP-like протокола

```
public static void sendSyncPkg() throws IOException, ParseException {
    InputStream is = null;
    String servdata = "";

    try {
        URL url = new URL(syncUrl);
        HttpURLConnection conn = (HttpURLConnection)
url.openConnection();

        String data = "_Module=" + "HCI_MAP_API" + "&" + "_Method=" +
"timeOffset" + "&" + "request_sent=" + String.valueOf(currentTimeMillis());

        conn.setReadTimeout(10000);
        conn.setConnectTimeout(10000);
        conn.setRequestProperty("User-Agent", "Mozilla/5.0");
        conn.setRequestProperty("Accept-Language", "en-US,en;q=0.5");
        conn.setRequestMethod("POST");
        conn.setDoOutput(true);

        DataOutputStream wr = new
DataOutputStream(conn.getOutputStream());

        wr.writeBytes(data);
        wr.flush();
        wr.close();

        is = conn.getInputStream();
        servdata = IString(is, "ISO-8859-1");
    } finally {
        if (is != null) is.close();
    }

    long resRec = currentTimeMillis();
    JSONParser parser = new JSONParser();
    JSONObject jsonObj = (JSONObject) parser.parse(servdata);
```

```

// Calculate synchronization formula variables
long reqSent = Long.parseLong((String)jsonObj.get("request_sent"));
long reqRec = (long)((Double)jsonObj.get("request_received")*1000);
long resSent = (long)((Double)jsonObj.get("response_sent")*1000);
long timeOffset = ((reqRec-reqSent) + (resSent-resRec))/2;
long rndTrip = (resRec-reqSent) - (resSent - reqRec);

timeOffs.add(timeOffset);
rndTrips.add(rndTrip);
if (timeOffs.size() == NUM_OF_SYN_PKGS) {
    // Predefined number of synchronization packets are sent
    // Calculate time offset
    int lind = 0;
    long min = rndTrips.get(lind);

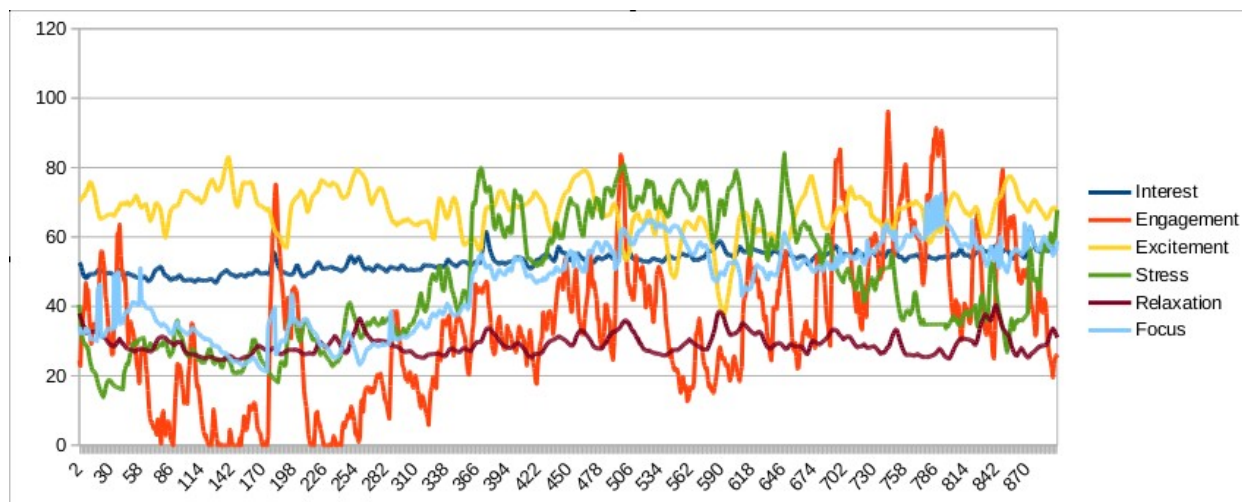
    for (int i=1; i < NUM_OF_SYN_PKGS; i++) {
        if (rndTrips.get(i) < min) {
            lind = i;
            min = rndTrips.get(i);
        }
    }
    syncOffset = timeOffs.get(lind);
    timeOffs = new ArrayList<>();
    rndTrips = new ArrayList<>();

    System.out.println("Synchronized with time offset: " +
syncOffset/1000.0 + " secs");
    // Synchronized, start sending data
    System.out.println("Sending data to platform...");
    doSendData = true;
    new Timer().schedule(ttask, 0, 1000);
}
else {
    // Send another synchronization package
    sendSyncPkg();
}
}

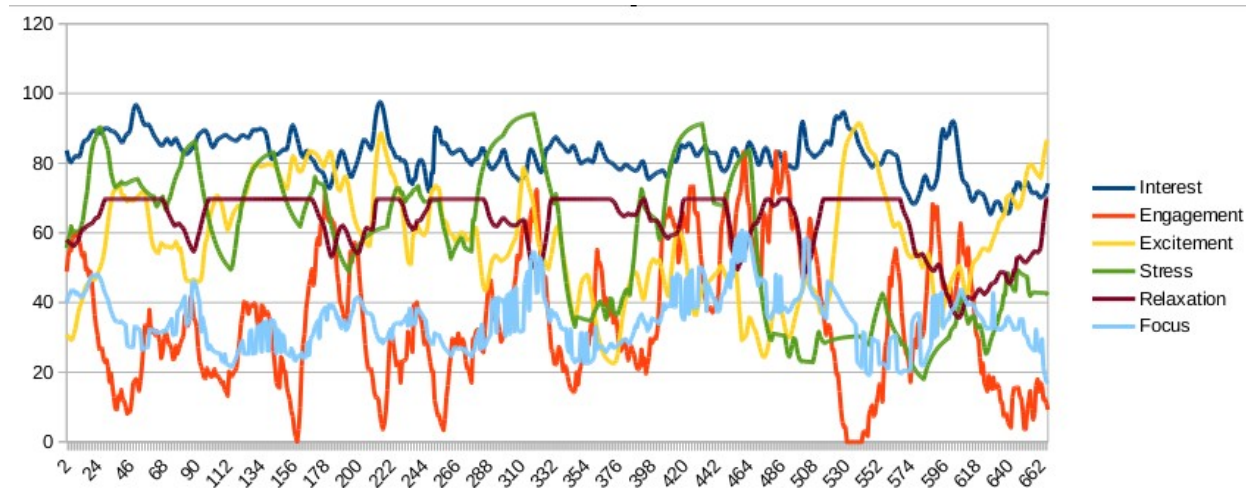
```

6.2 ПРИЛОГ В.

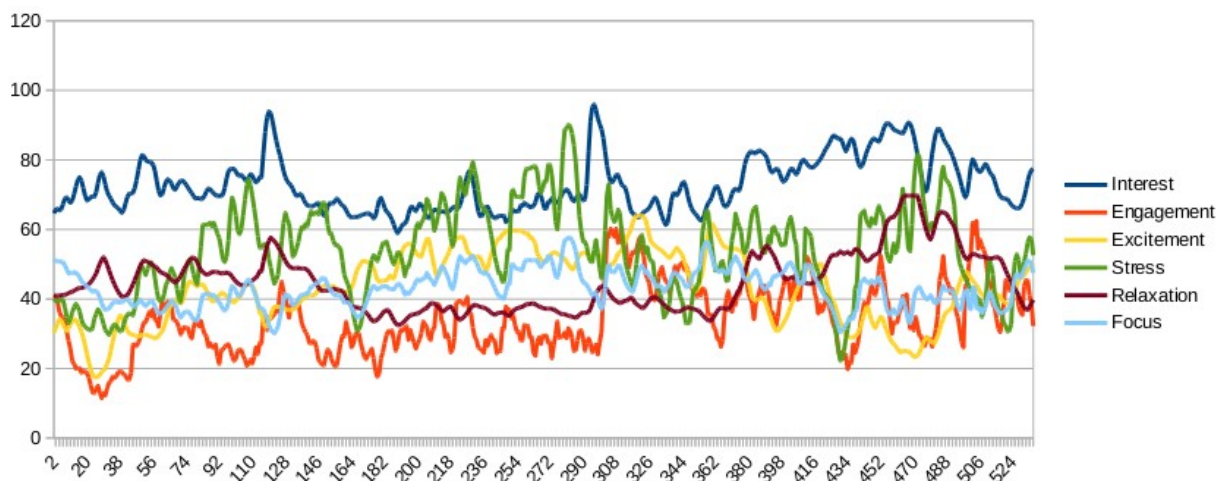
Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из WSC експеримента



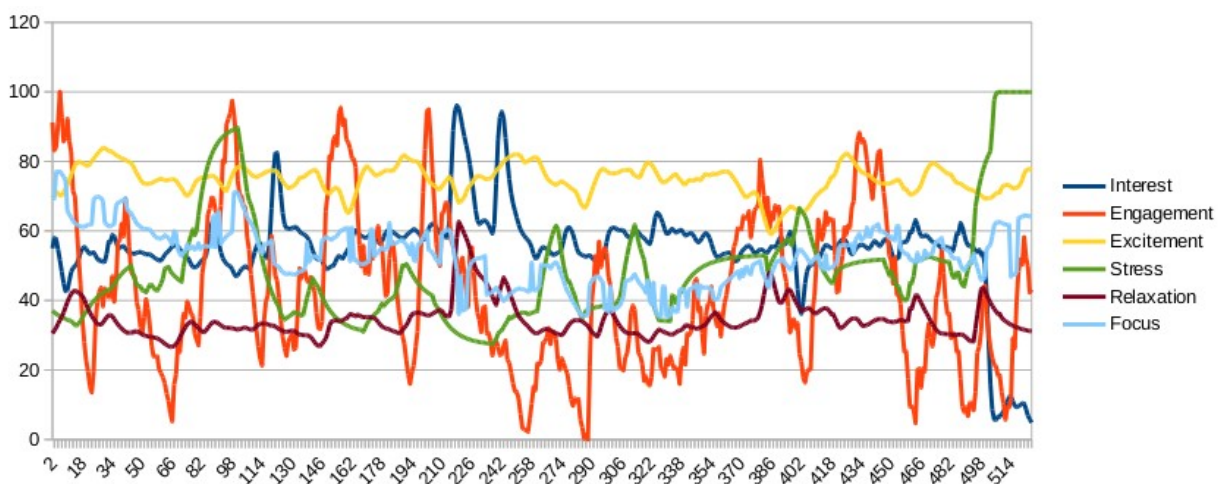
Слика 36. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току WSC експеримента



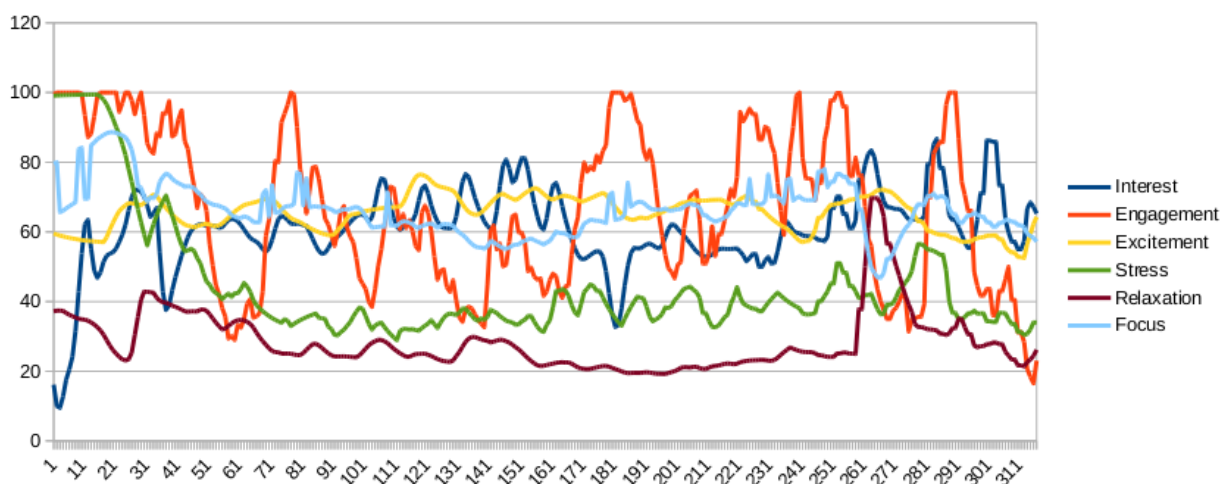
Слика 37. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току WSC експеримента



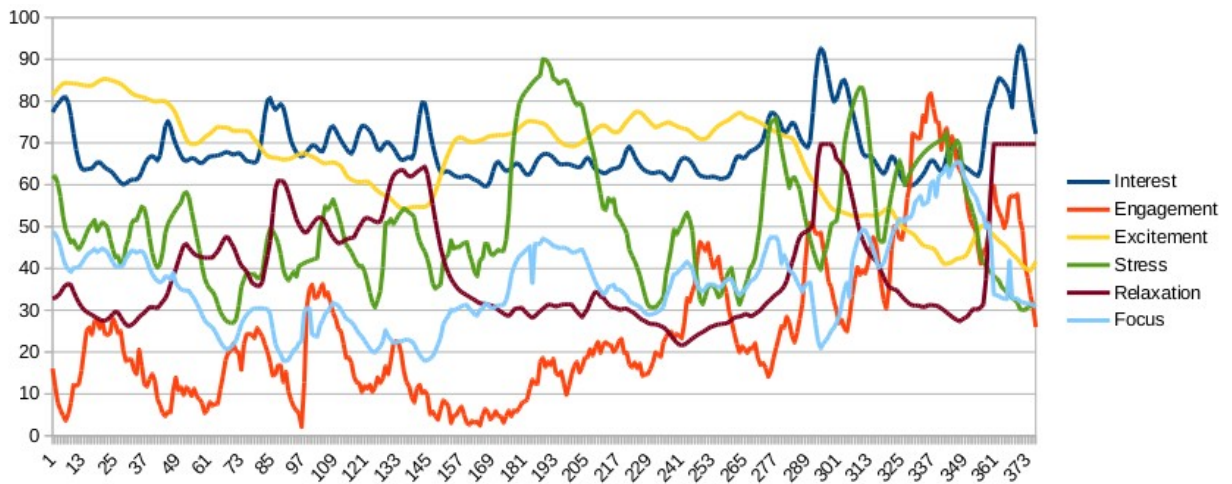
Слика 38. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току WSC експеримента



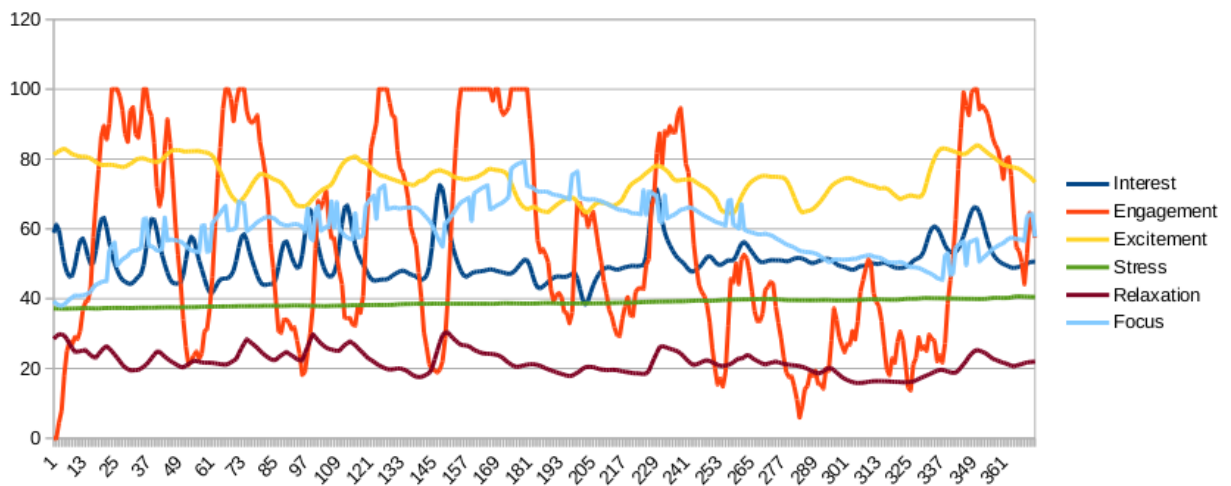
Слика 39. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току WSC експеримента



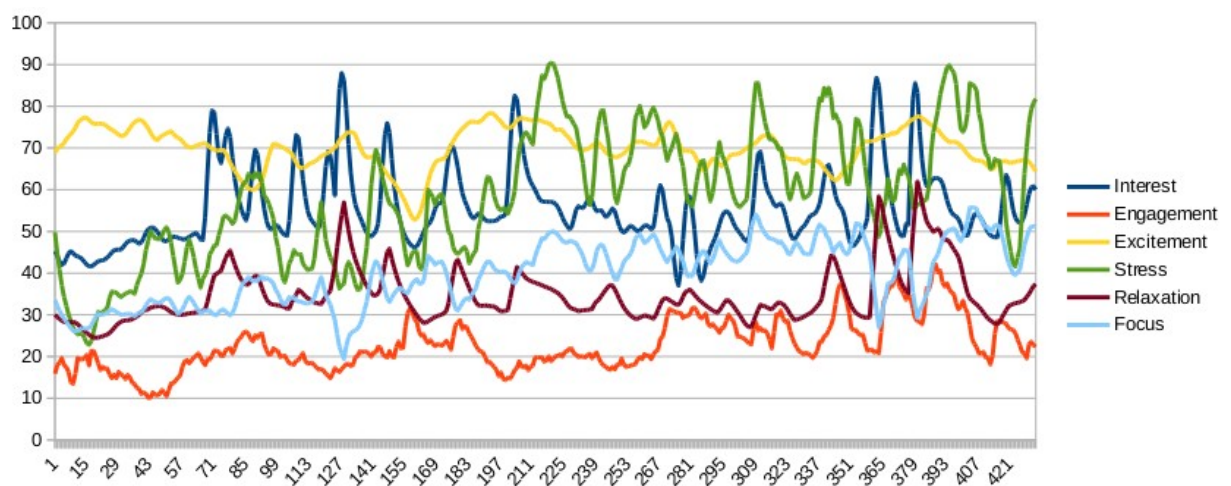
Слика 40. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 5. у току WSC експеримента



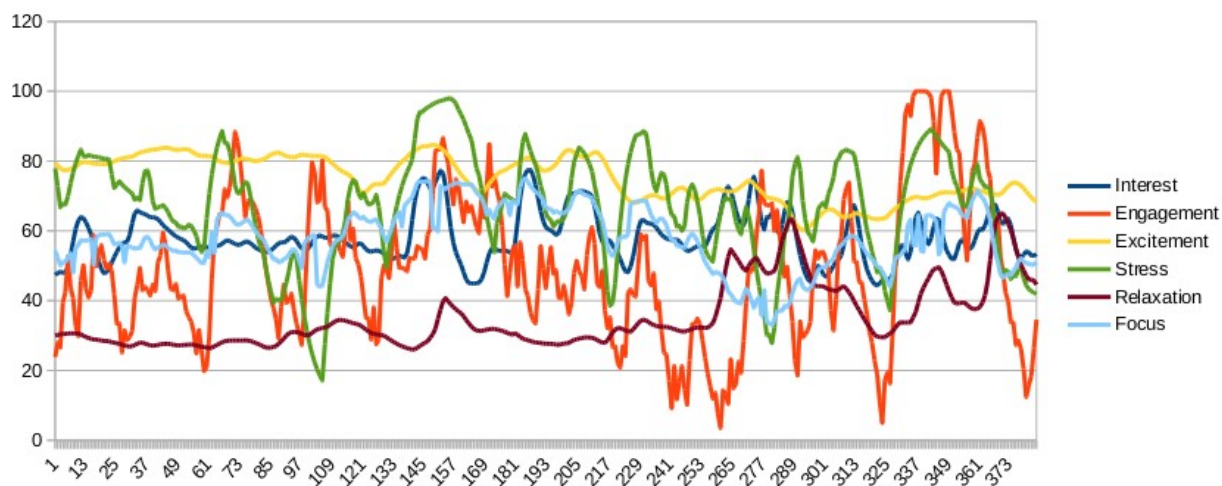
Слика 41. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 6. у току WSC експеримента



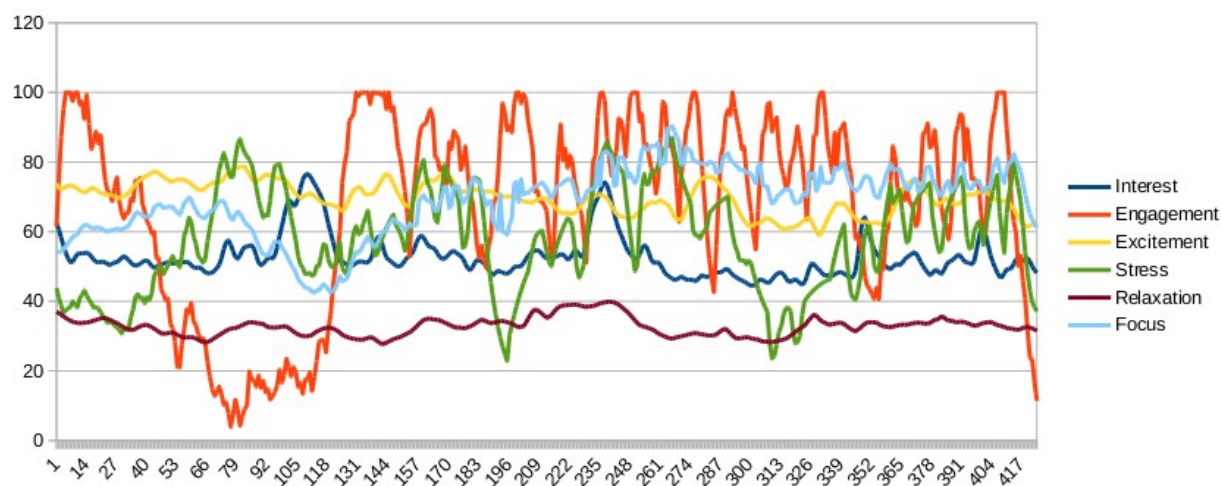
Слика 42. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 7. у току WSC експеримента



Слика 43. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 8. у току WSC експеримента



Слика 44. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 9. у току WSC експеримента

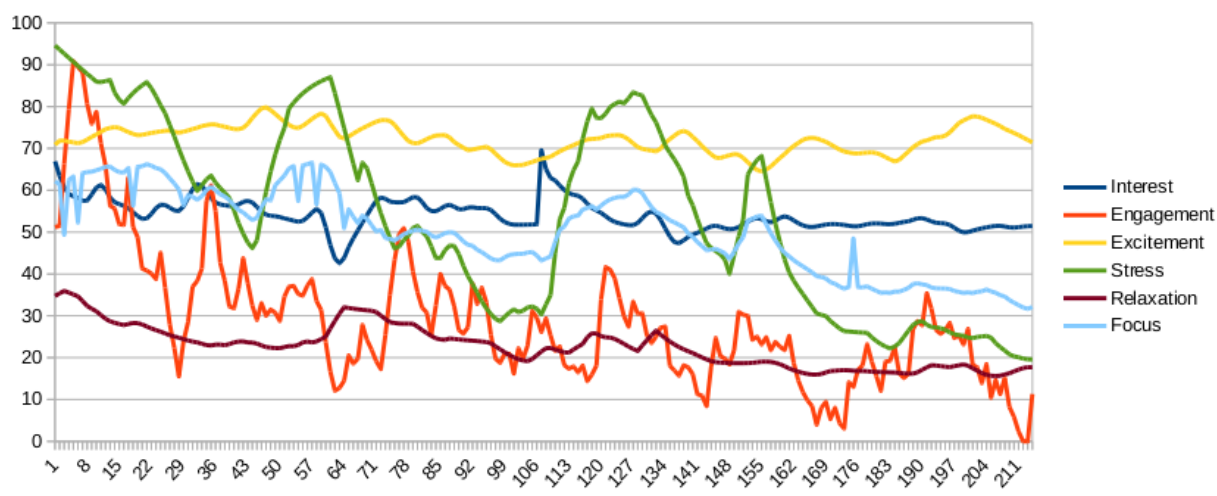


Слика 45. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 10. у току WSC експеримента

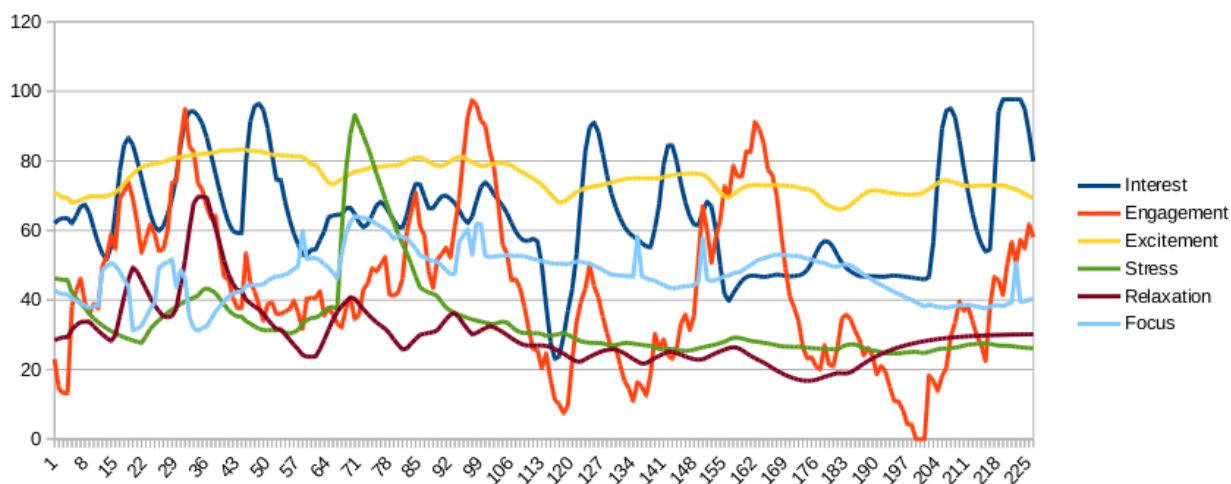
6.3 ПРИЛОГ С.

Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из VSTWM експеримента

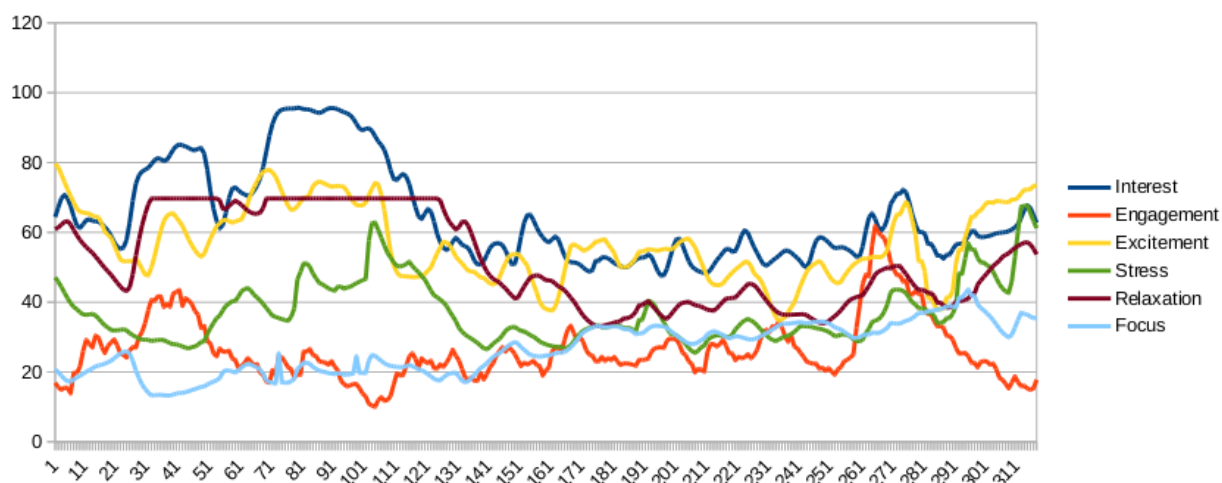
Слика А



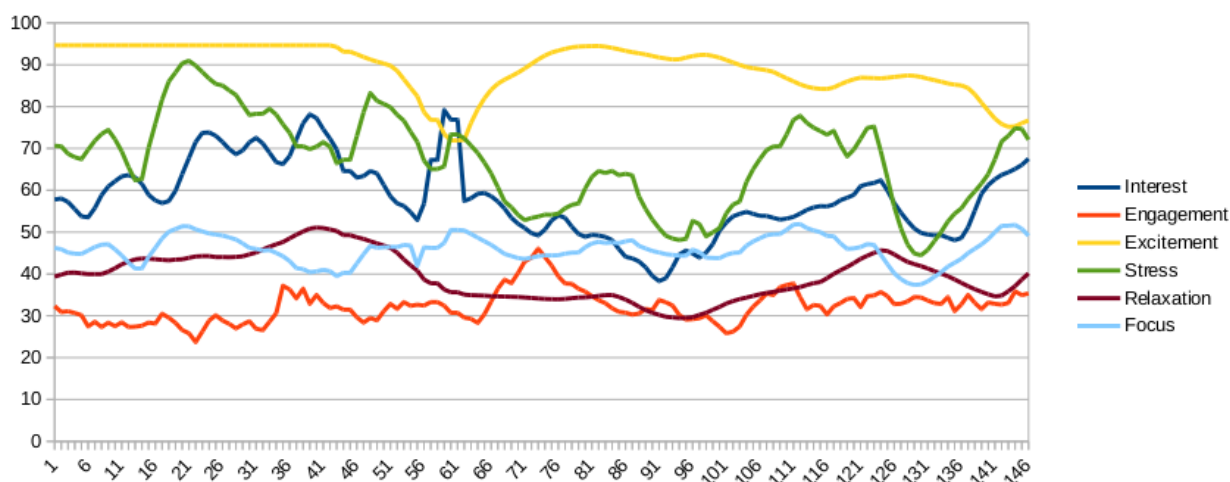
Слика 46. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току VSTWM експеримента (Слика А)



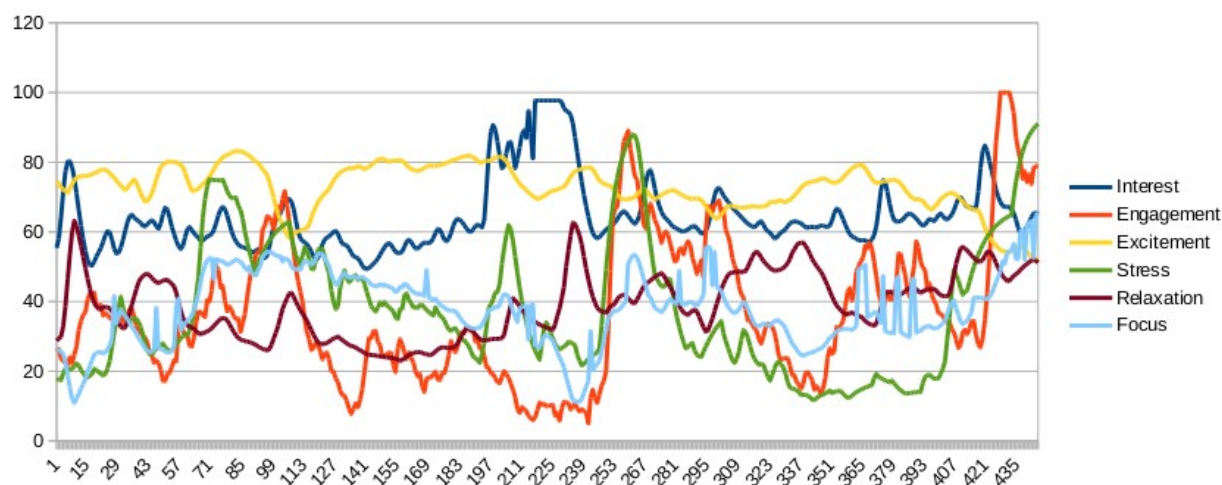
Слика 47. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току VSTWM експеримента (Слика А)



Слика 48. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току VSTWM експеримента (Слика А)

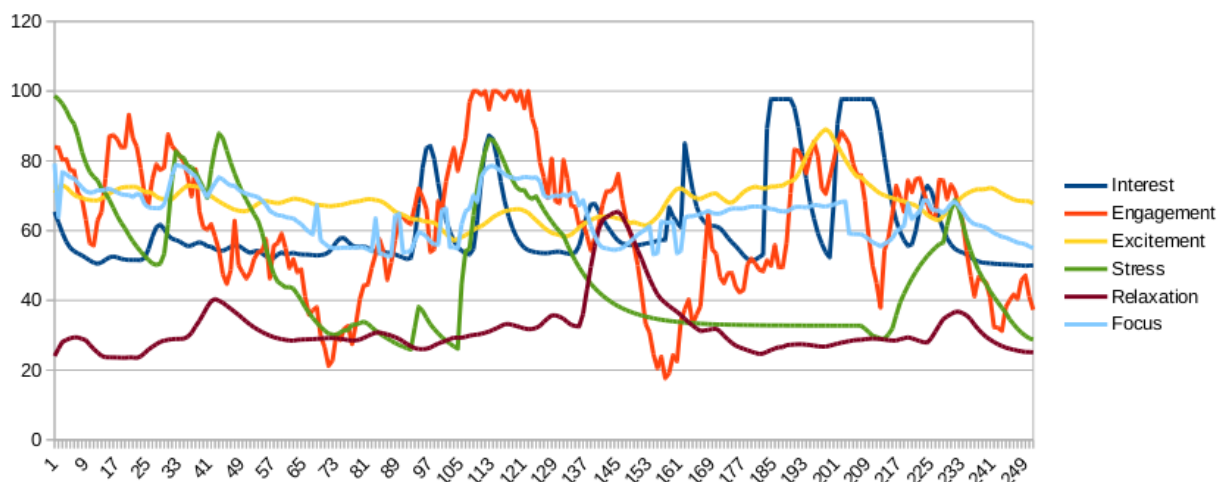


Слика 49. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току VSTWM експеримента (Слика А)

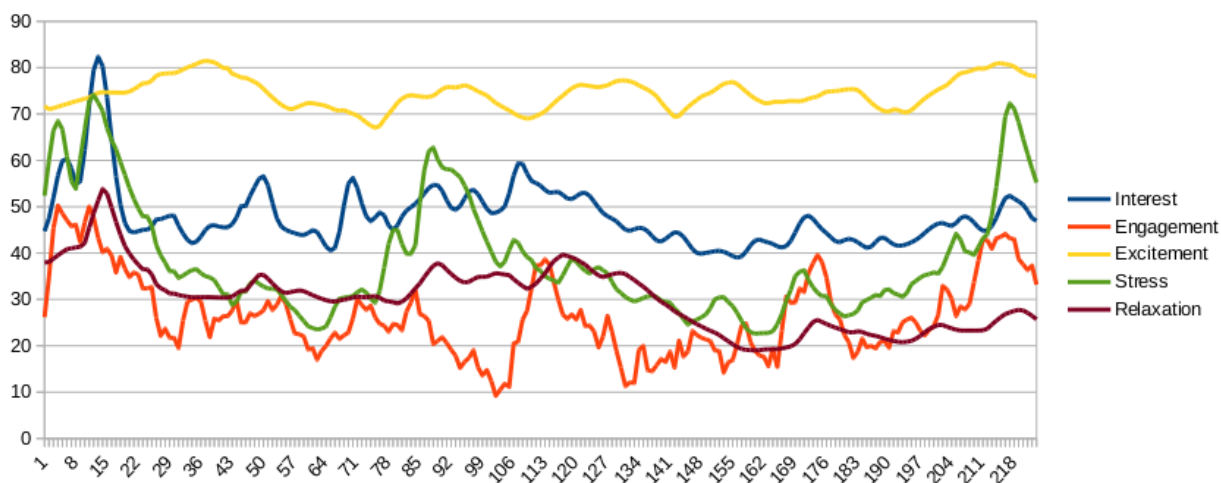


Слика 50. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току VSTWM експеримента (Слика А)

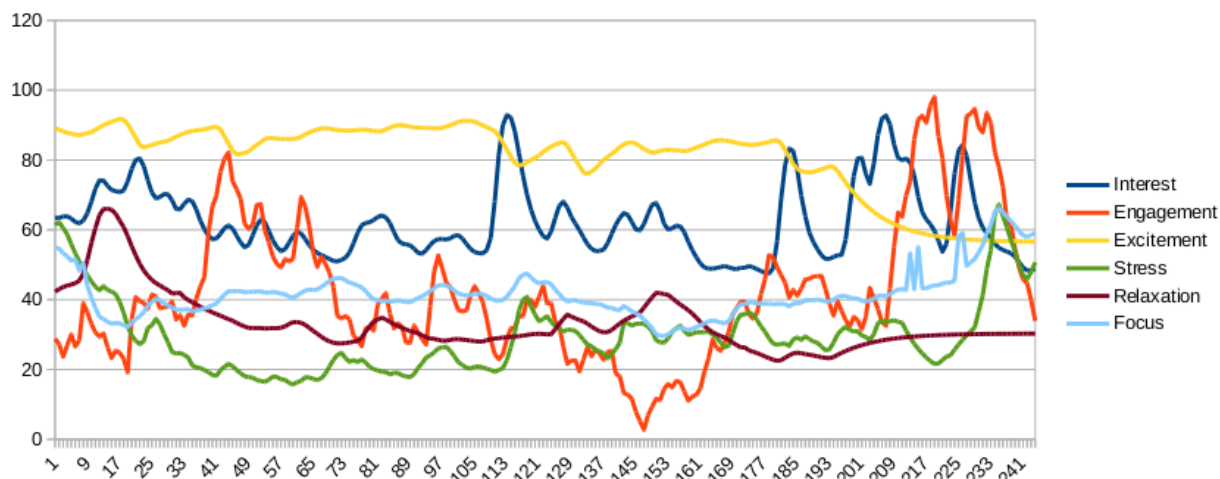
Слика Б



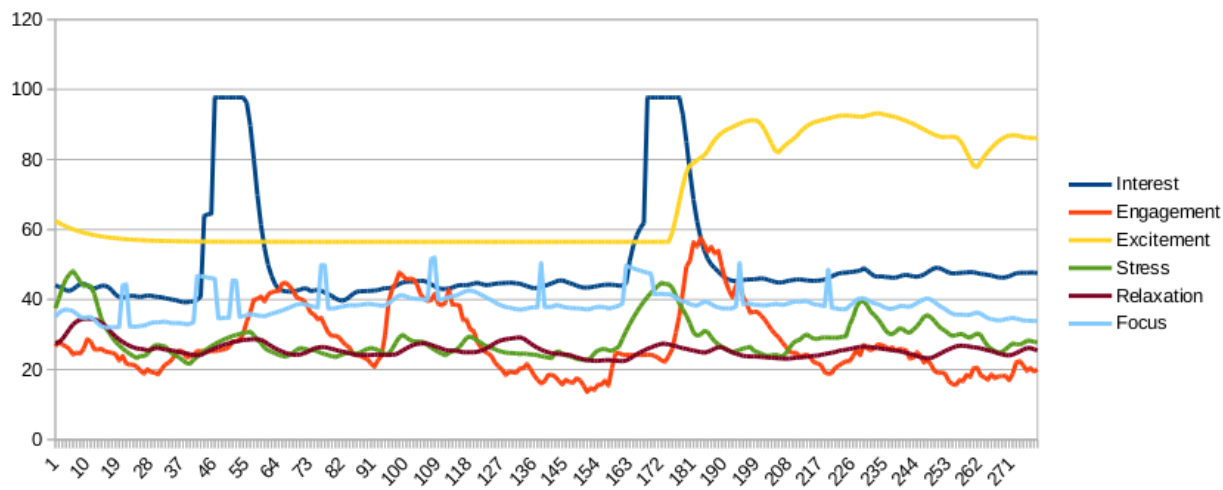
Слика 51. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току VSTWM експеримента (Слика Б)



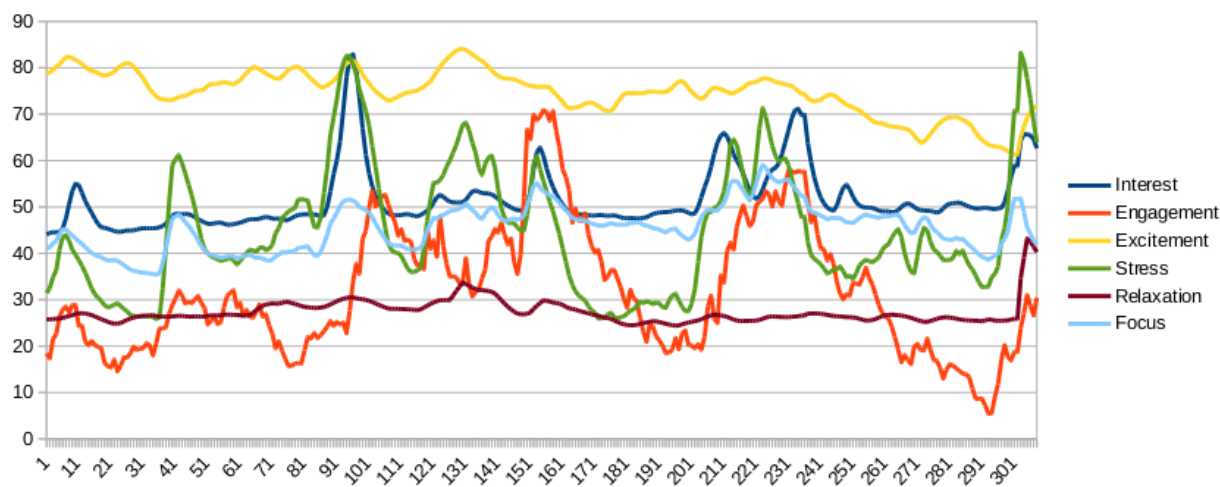
Слика 52. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току VSTWM експеримента (Слика Б)



Слика 53. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току VSTWM експеримента (Слика Б)



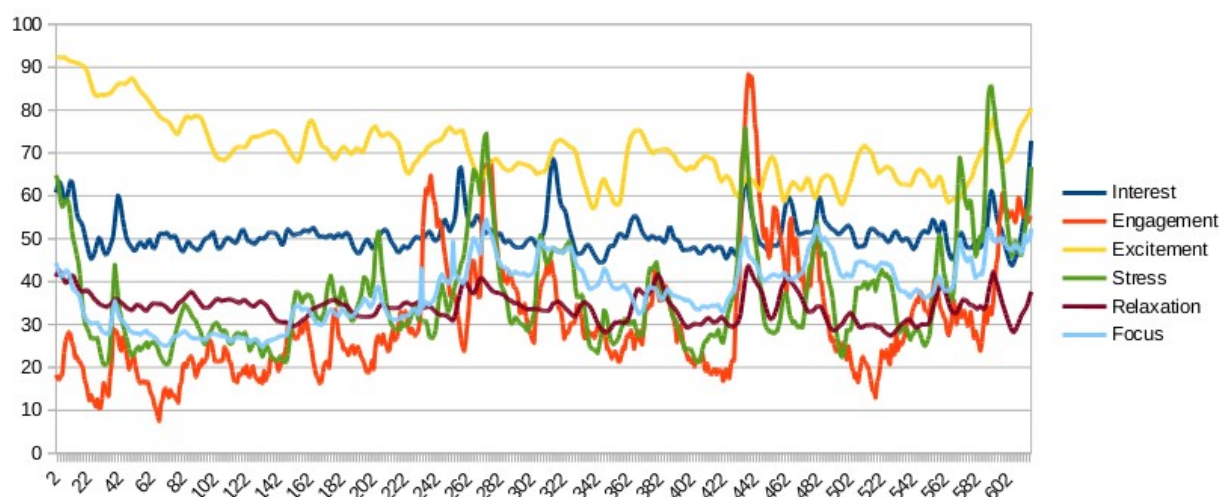
Слика 54. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току VSTWM експеримента (Слика Б)



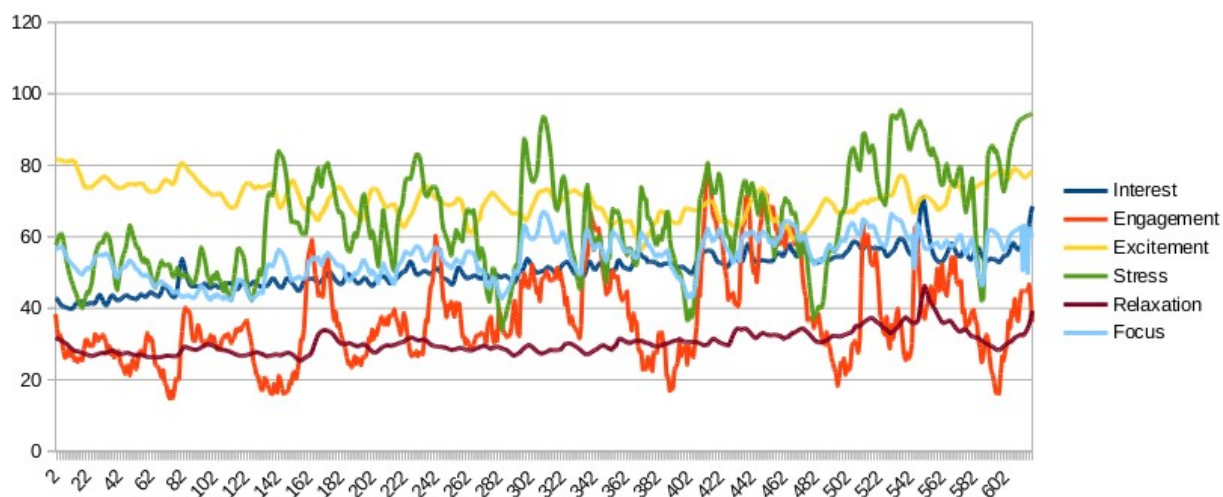
Слика 55. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 5. у току VSTWM експеримента (Слика Б)

6.4 ПРИЛОГ D.

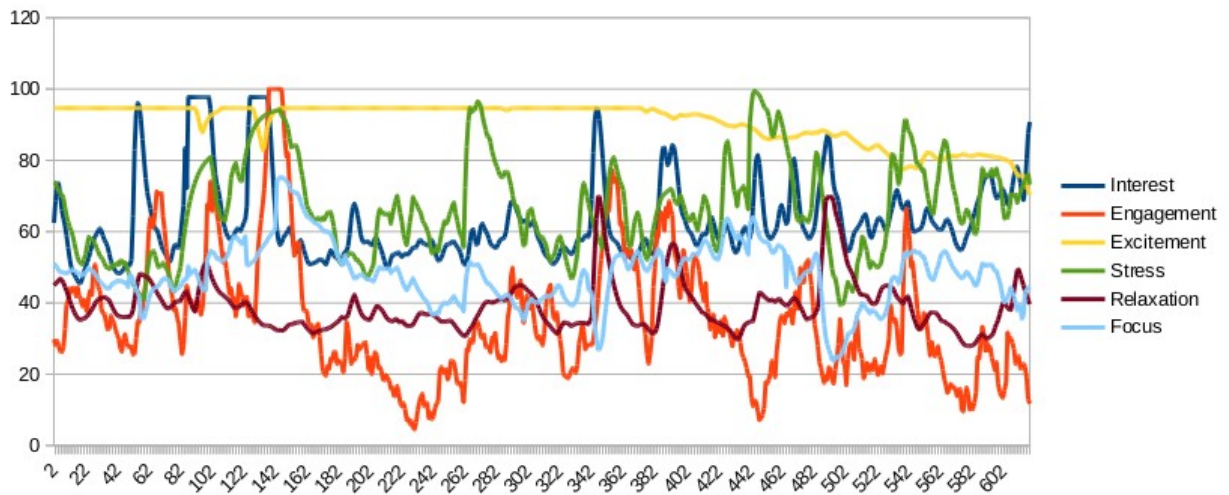
Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из mTutor експеримента



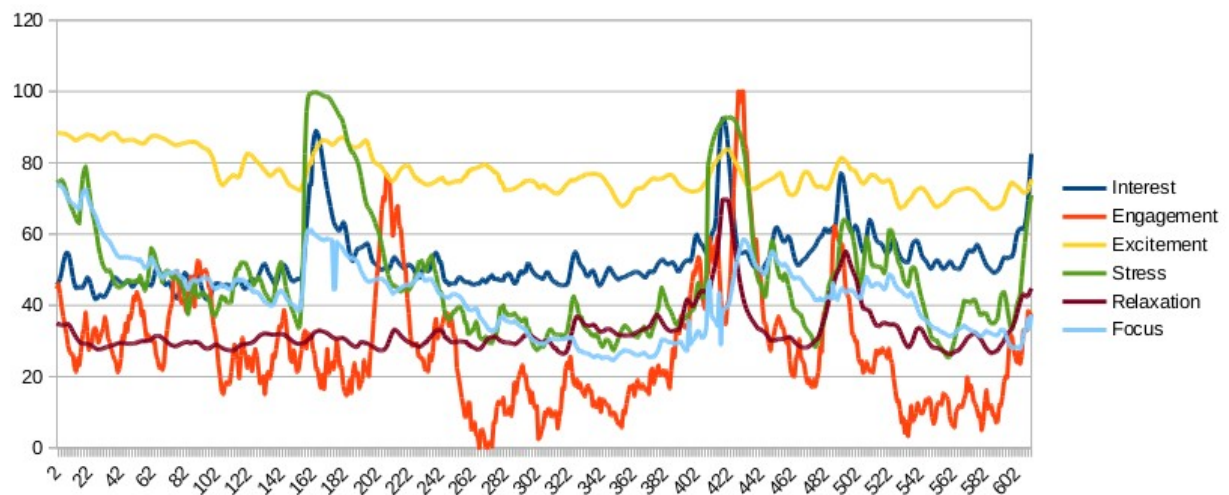
Слика 56. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току mTutor експеримента



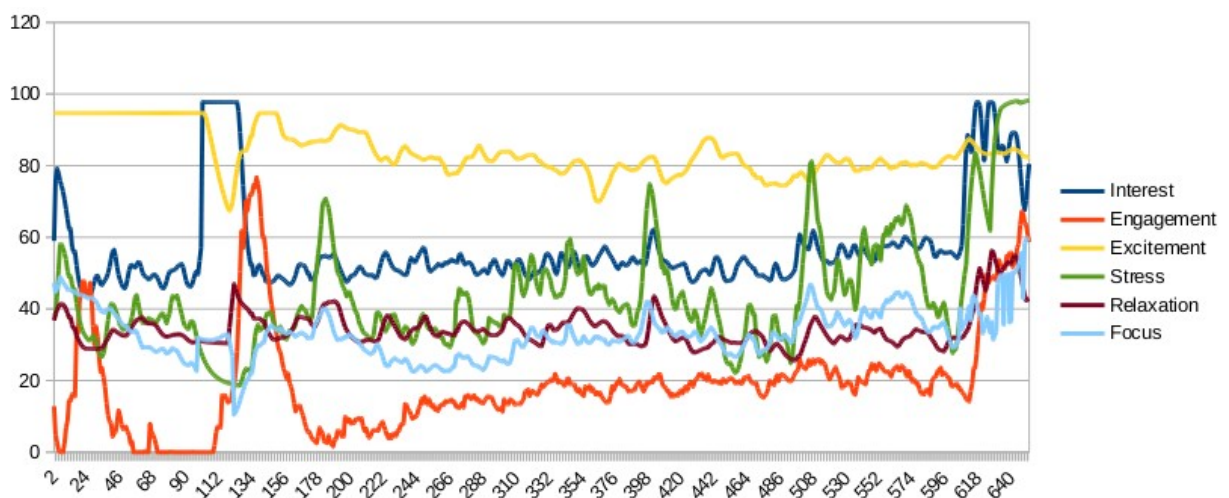
Слика 57. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току mTutor експеримента



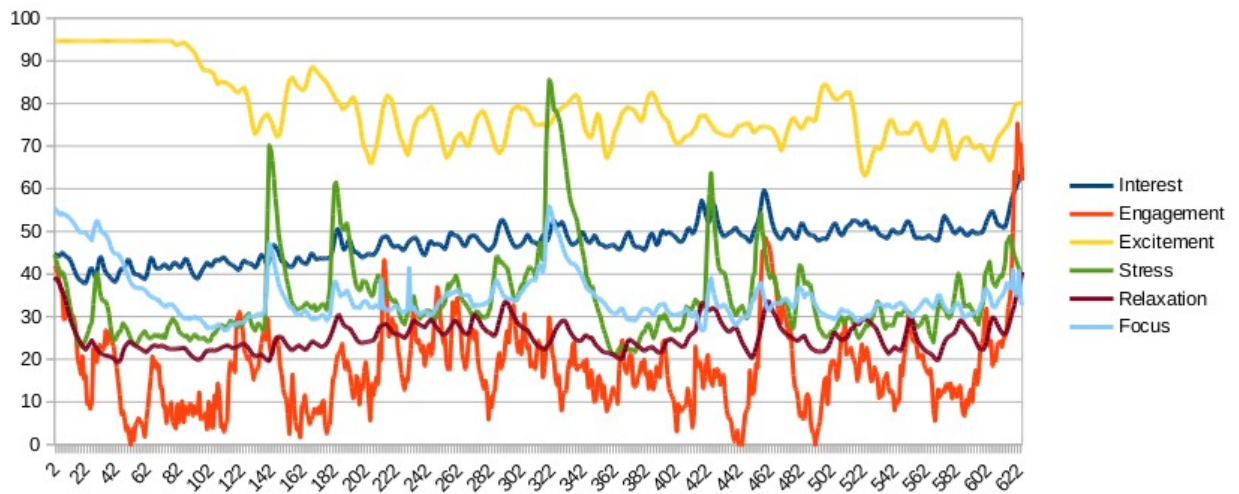
Слика 58. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току mTutor експеримента



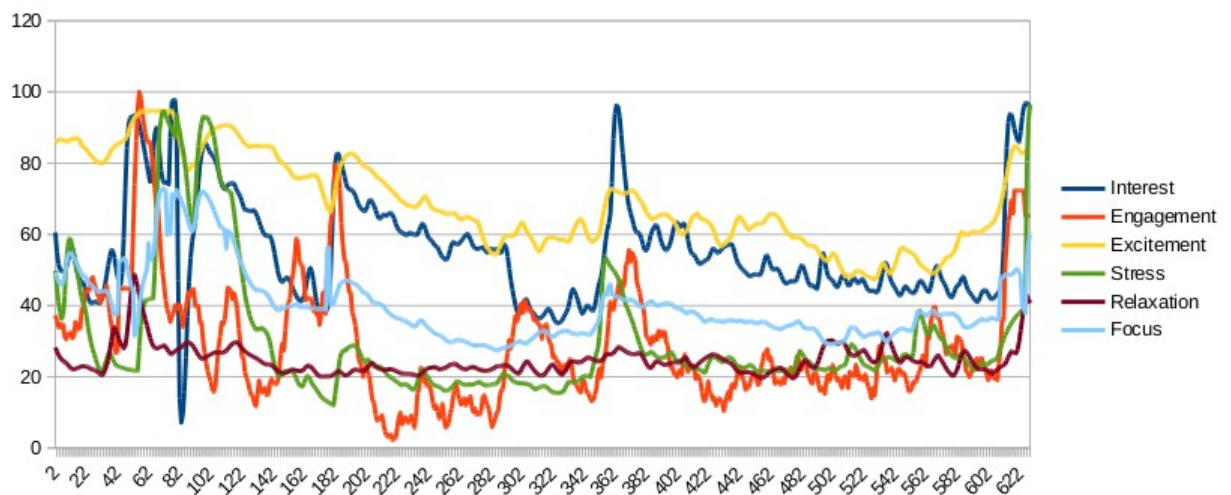
Слика 59. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току mTutor експеримента



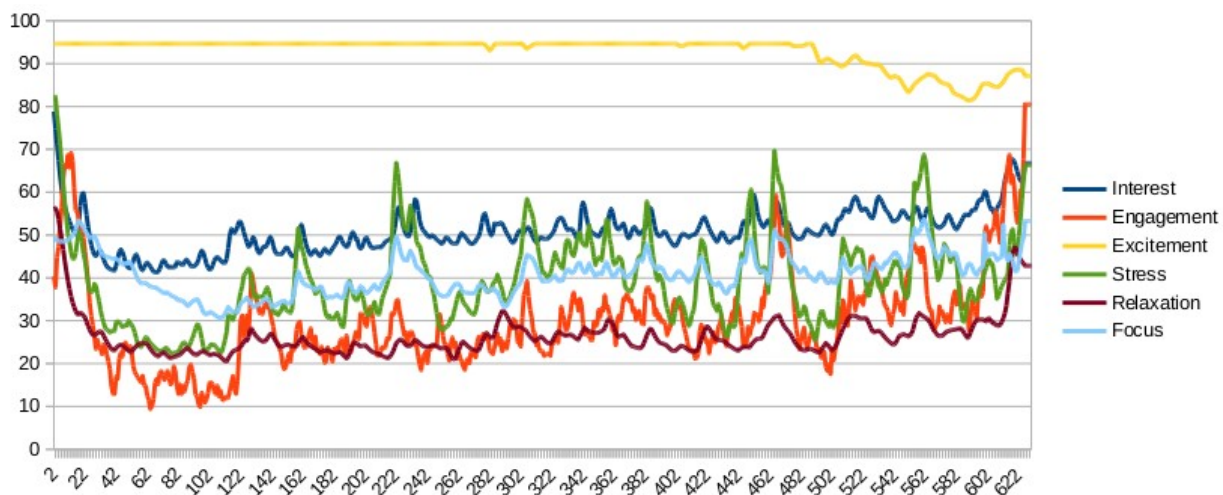
Слика 60. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 5. у току mTutor експеримента



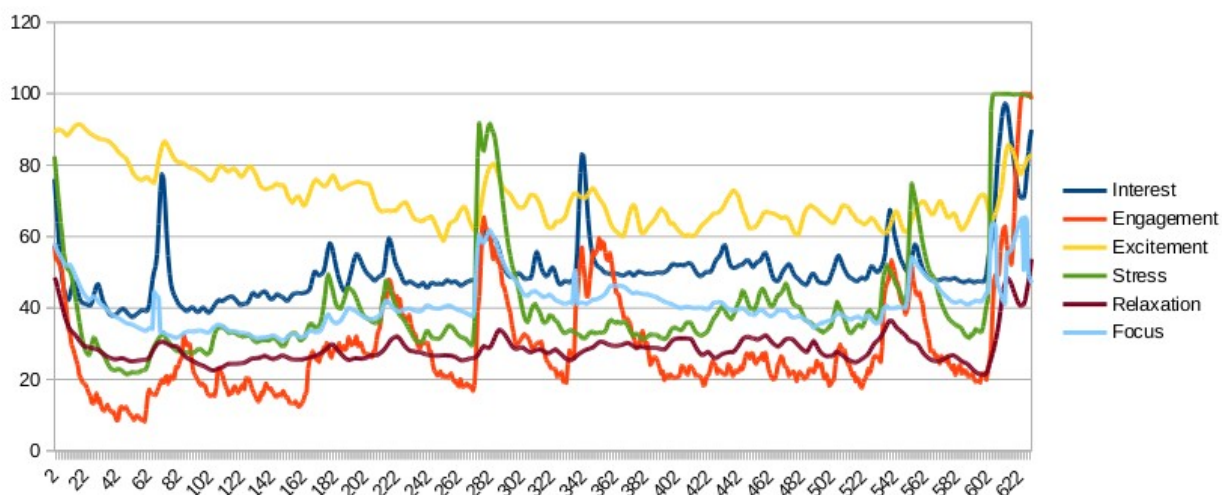
Слика 61. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 6. у току mTutor експеримента



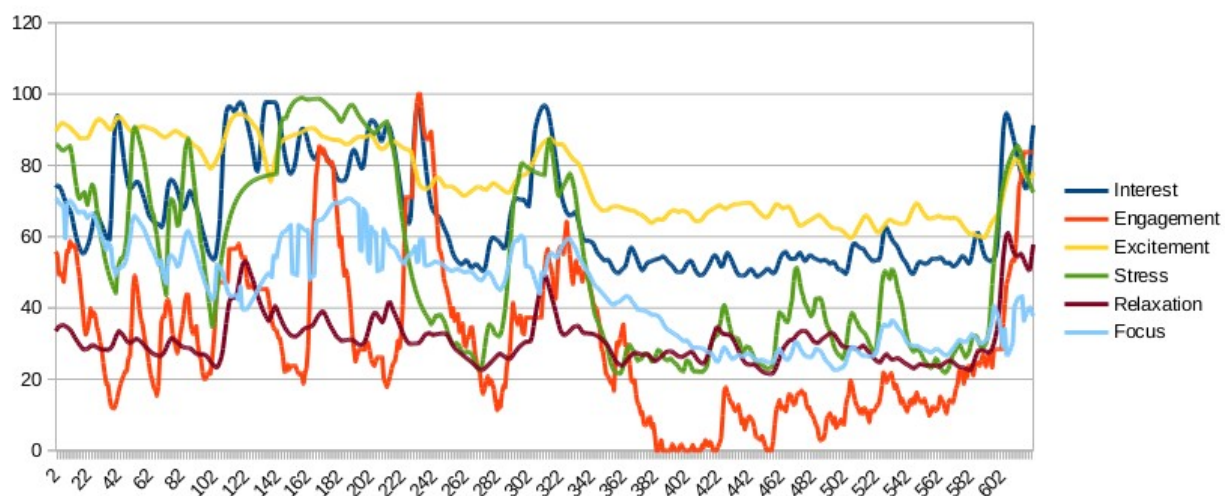
Слика 62. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 7. у току mTutor експеримента



Слика 63. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 8. у току mTutor експеримента



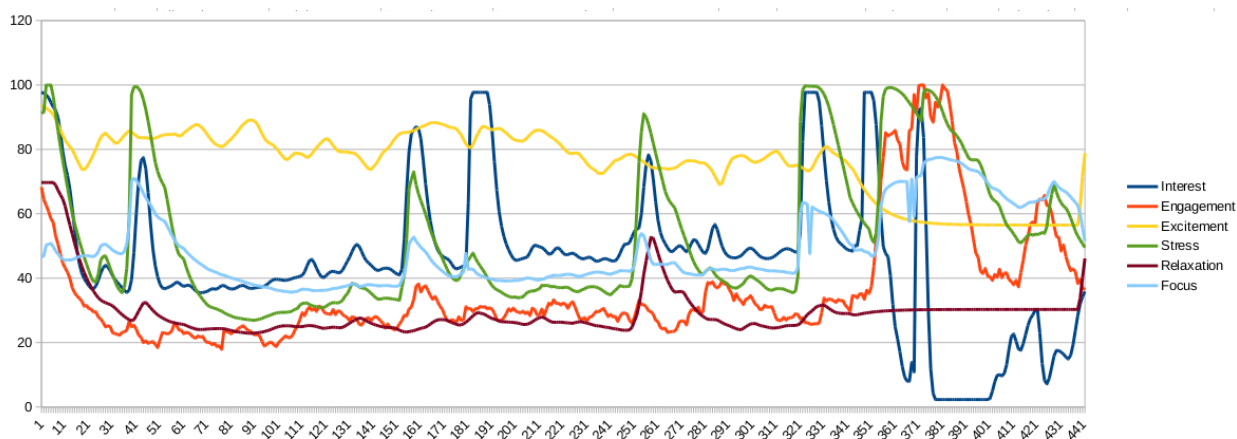
Слика 64. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 9. у току mTutor експеримента



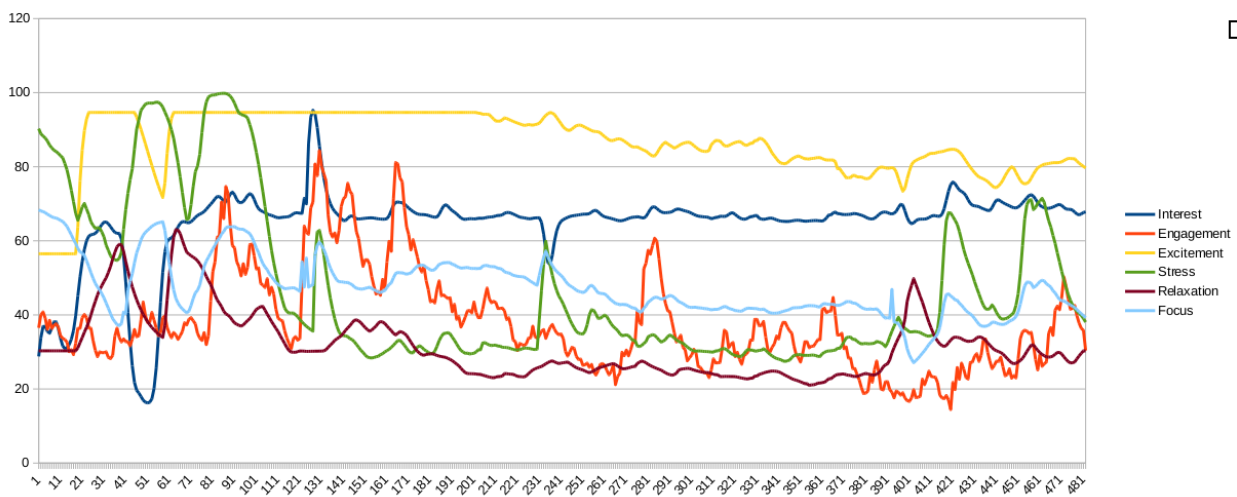
Слика 65. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 10. у току mTutor експеримента

6.5 ПРИЛОГ Е.

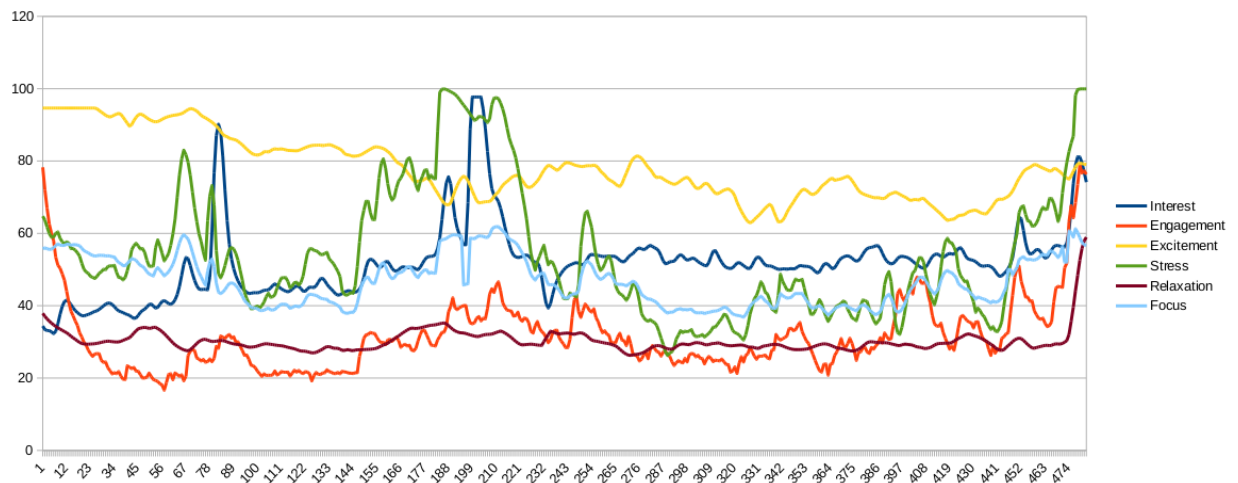
Примери графички представљених сесија са ЕЕГ подацима из АСТ експеримента



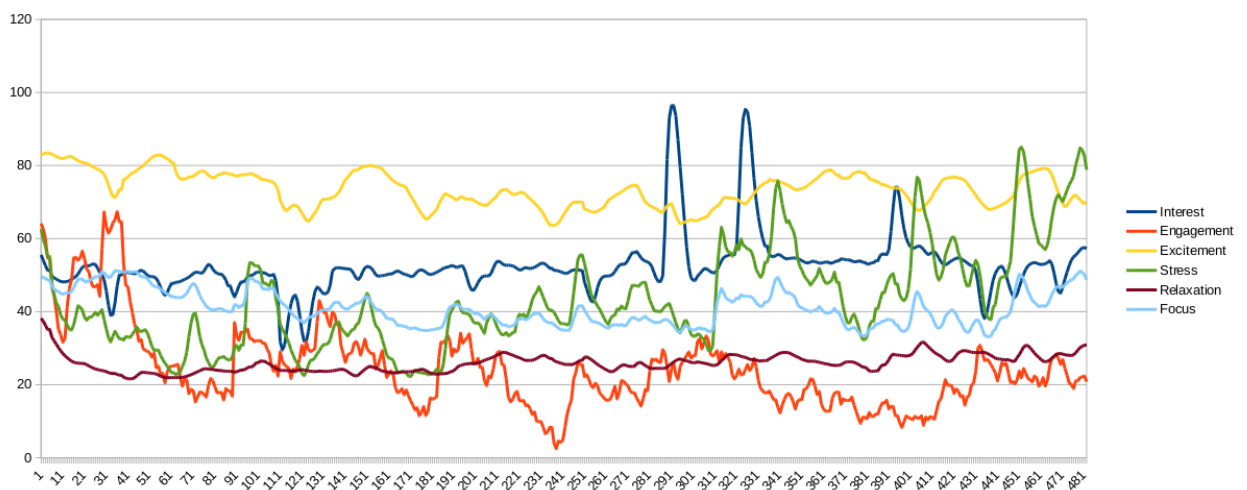
Слика 66. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 1. у току АСТ експеримента



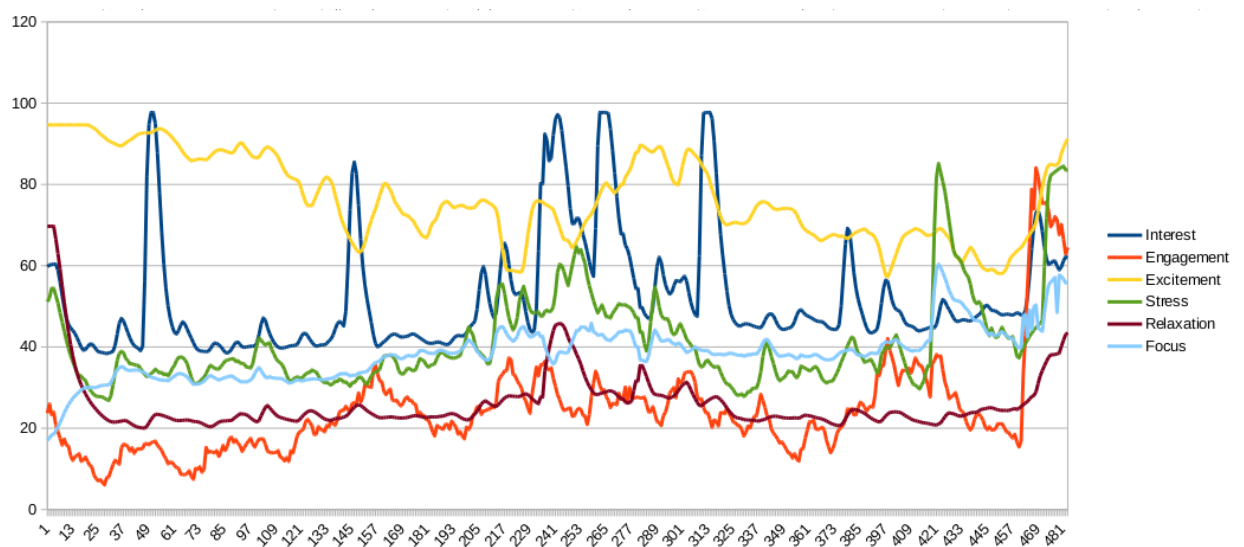
Слика 67. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 2. у току АСТ експеримента



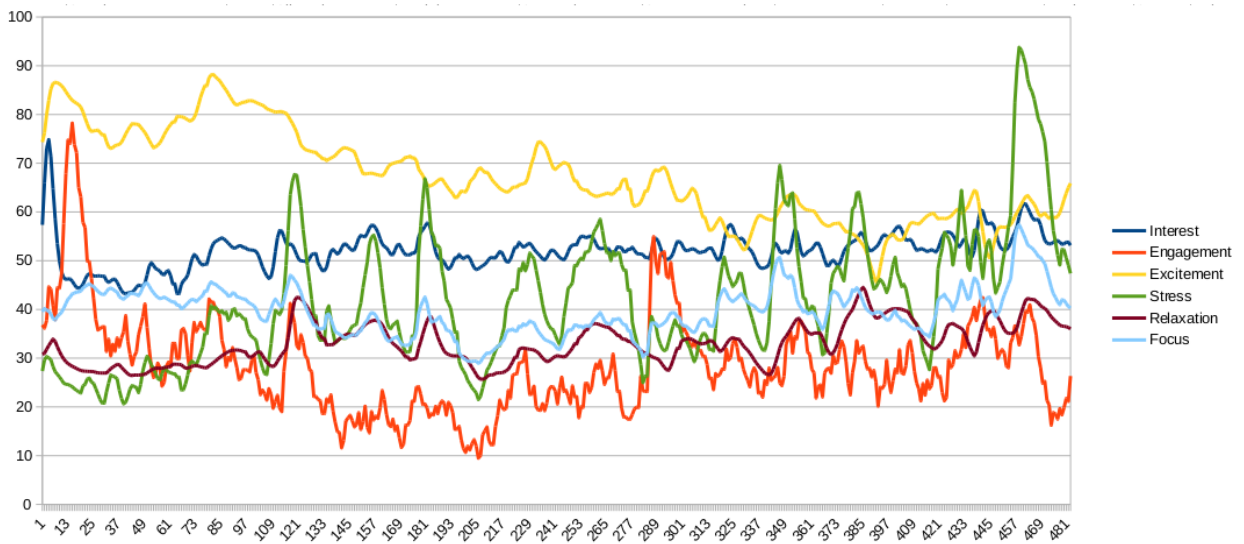
Слика 68. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 3. у току АСТ експеримента



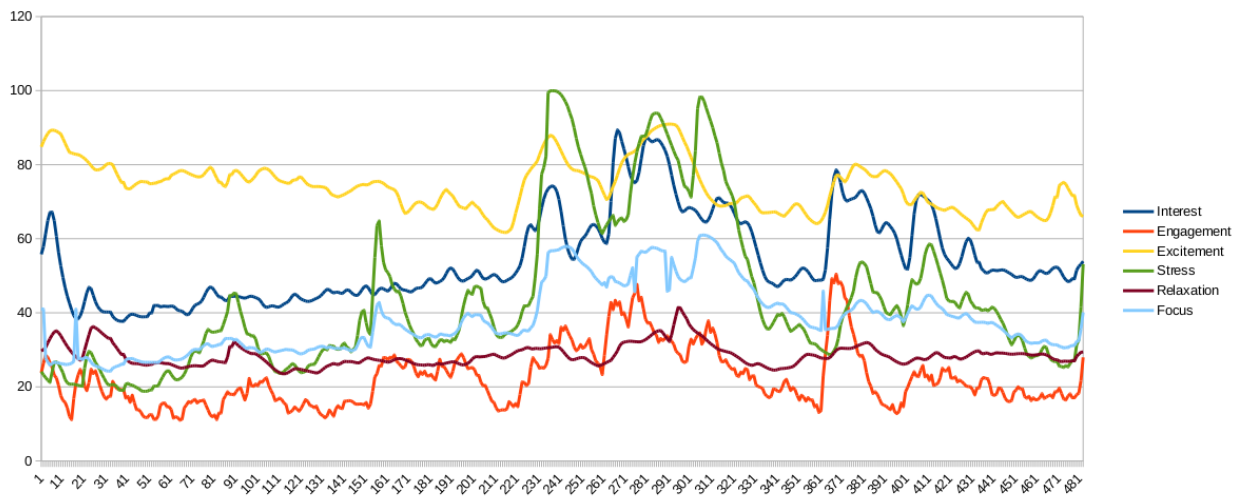
Слика 69. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 4. у току АСТ експеримента



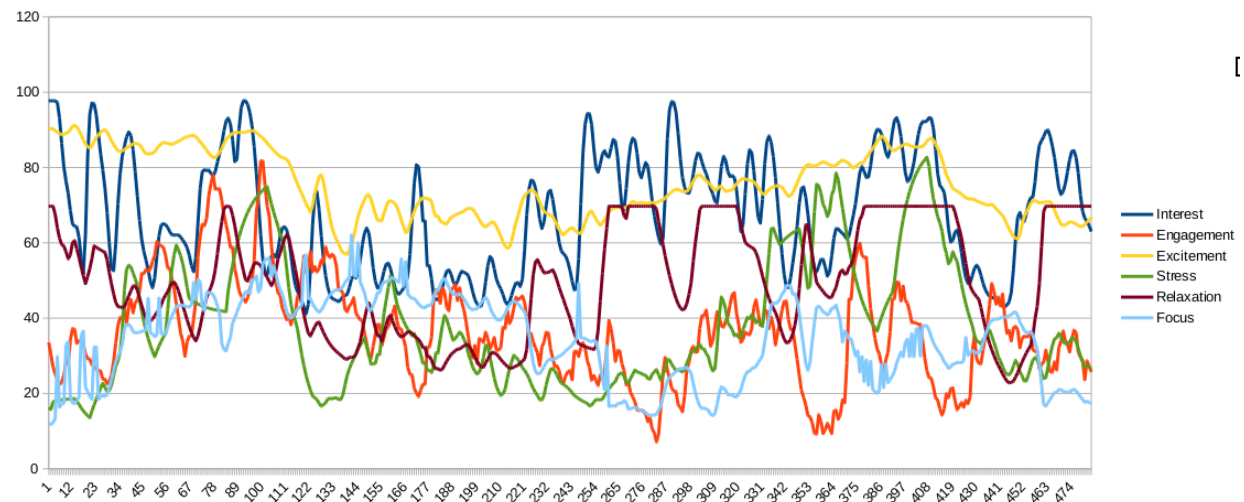
Слика 70. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 5. у току АСТ експеримента



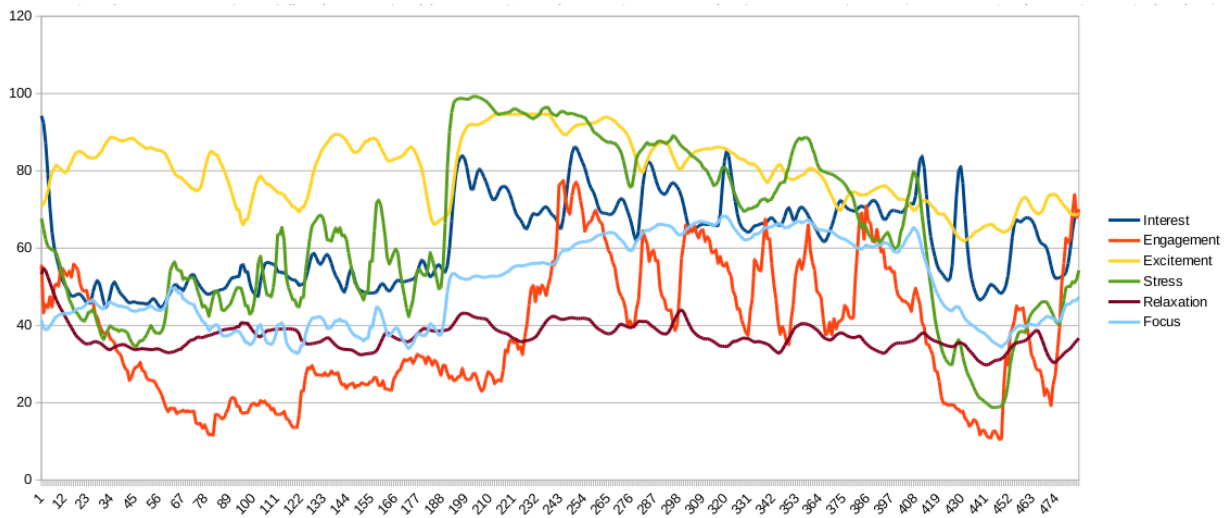
Слика 71. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 6. у току АСТ експеримента



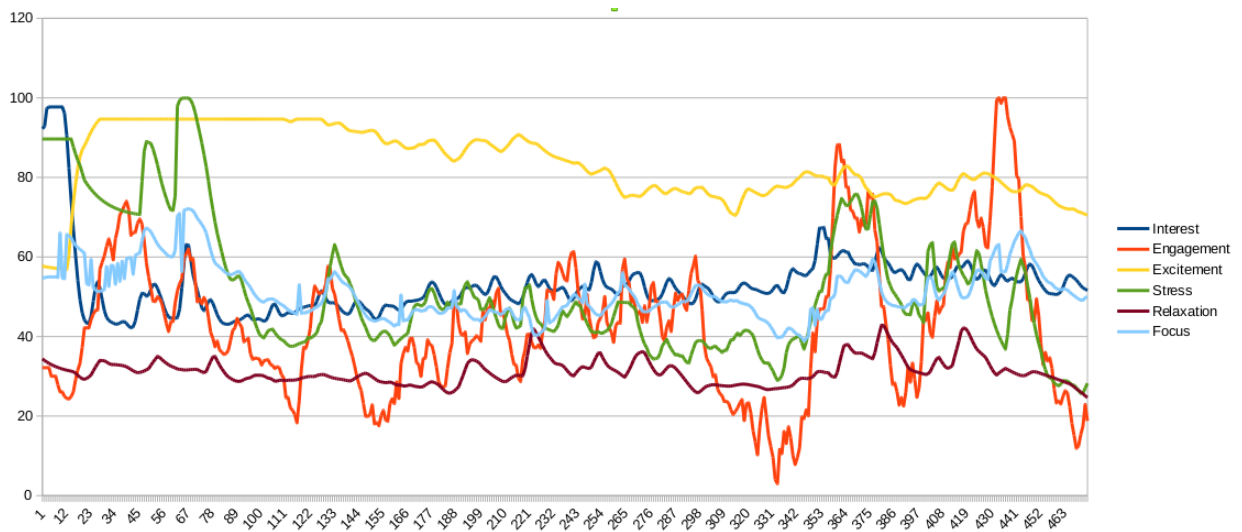
Слика 72. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 7. у току АСТ експеримента



Слика 73. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 8. у току АСТ експеримента



Слика 74. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 9. у току АСТ експеримента



Слика 75. Вредности мерених емотивних особина код Испитаника бр. 10. у току АСТ експеримента

6.6 ПРИЛОГ Б.

Примери сирових података прикупљених са VSTWM клијентске апликације

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	SequenceIP	name	number	question	answered	correct
730108	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217221.265	1547217131.309	1547217191.33	1178.254.132.235	image presented				
730808	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217282.333	1547217192.377	1547217192.475	2178.254.132.235	image time out				
730809	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217282.476	1547217192.52	1547217192.543	3178.254.132.235	image removed				
730810	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217282.543	1547217192.587	1547217192.612	4178.254.132.235	quiz started				
730811	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217282.612	1547217192.656	1547217192.681	5178.254.132.235	question shown			1	
730822	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217286.807	1547217196.851	1547217196.874	6178.254.132.235	question shown			2	
730835	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217290.631	1547217200.675	1547217200.698	7178.254.132.235	question shown			3	
730848	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217294.816	1547217204.86	1547217204.883	8178.254.132.235	question shown			4	
730859	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217297.768	1547217207.812	1547217207.835	9178.254.132.235	question shown			5	
730872	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217301.711	1547217211.755	1547217211.778	10178.254.132.235	question shown			6	
730887	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217306.088	1547217216.132	1547217216.155	11178.254.132.235	question shown			7	
730901	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217311.792	1547217221.836	1547217221.916	12178.254.132.235	question shown			8	
730923	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217319.192	1547217229.236	1547217229.315	13178.254.132.235	question shown			9	
730935	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217323.103	1547217233.147	1547217233.17	14178.254.132.235	question shown			10	
730951	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.159	1547217238.203	1547217238.292	15178.254.132.235	quiz completed				
730952	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.266	1547217238.33	1547217238.353	16178.254.132.235	user answer			1b	b
730953	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.36	1547217238.404	1547217238.428	17178.254.132.235	user answer			2d	d
730956	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.421	1547217238.465	1547217238.49	18178.254.132.235	user answer			3a	a
730957	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.487	1547217238.531	1547217238.555	19178.254.132.235	user answer			4c	c
730958	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.551	1547217238.595	1547217238.62	20178.254.132.235	user answer			5a	a
730959	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.614	1547217238.658	1547217238.683	21178.254.132.235	user answer			6b	b
730960	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.681	1547217238.725	1547217238.749	22178.254.132.235	user answer			7c	c
730961	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.754	1547217238.798	1547217238.824	23178.254.132.235	user answer			8d	d
730962	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.825	1547217238.869	1547217238.896	24178.254.132.235	user answer			9c	a
730963	App/Ramsejle	stud1_2-Test1-1	event	1547217328.9	1547217238.944	1547217238.968	25178.254.132.235	user answer			10d	d

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Seq	IP	name	number	question	answered	correct
742371	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219960.153	1547219769.939	1547219769.957	1	178.254.132.235	image presented				
744301	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219921.221	1547219831.007	1547219831.1	2	178.254.132.235	image time out				
744302	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219921.367	1547219831.153	1547219831.175	3	178.254.132.235	image removed				
744303	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219921.437	1547219831.223	1547219831.245	4	178.254.132.235	quiz started				
744304	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219921.506	1547219831.292	1547219831.315	5	178.254.132.235	question shown	1			
744432	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219925.558	1547219835.344	1547219835.364	6	178.254.132.235	question shown	2			
744532	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219928.198	1547219837.984	1547219838.003	7	178.254.132.235	question shown	3			
744729	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219934.285	1547219844.071	1547219844.146	8	178.254.132.235	question shown	4			
744829	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219937.446	1547219847.232	1547219847.252	9	178.254.132.235	question shown	5			
745057	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219944.126	1547219853.912	1547219853.987	10	178.254.132.235	question shown	6			
745154	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219947.629	1547219857.415	1547219857.436	11	178.254.132.235	question shown	7			
745419	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219955.582	1547219865.368	1547219865.443	12	178.254.132.235	question shown	8			
745616	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219962.054	1547219871.84	1547219871.917	13	178.254.132.235	question shown	9			
745749	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219966.158	1547219875.944	1547219875.964	14	178.254.132.235	question shown	10			
745974	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219972.662	1547219882.448	1547219882.53	15	178.254.132.235	quiz completed				
745975	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219972.785	1547219882.571	1547219882.593	16	178.254.132.235	user answer		1b		b
745976	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219972.846	1547219882.632	1547219882.653	17	178.254.132.235	user answer		2d		d
745977	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219972.912	1547219882.698	1547219882.719	18	178.254.132.235	user answer		3b		a
745978	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219972.977	1547219882.763	1547219882.783	19	178.254.132.235	user answer		4c		c
745979	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219973.039	1547219882.825	1547219882.846	20	178.254.132.235	user answer		5a		a
745980	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219973.116	1547219882.902	1547219882.923	21	178.254.132.235	user answer		6b		b
746016	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219973.181	1547219882.967	1547219882.988	22	178.254.132.235	user answer		7d		c
746017	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219973.238	1547219883.024	1547219883.046	23	178.254.132.235	user answer		8d		d
746018	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219973.305	1547219883.091	1547219883.111	24	178.254.132.235	user answer		9a		a
746019	App/Pamcenje	studs.2-Test1-1	event	1547219973.367	1547219883.153	1547219883.173	25	178.254.132.235	user answer		10d		d

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	SequenceIP	name	number	question	answered	correct
470267	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885757.486	1540885734.058	1540885734.325	1.91.234.132.35	image presented				
472251	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885818.765	1540885795.337	1540885795.753	2.91.234.132.35	image time out				
472252	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885819.034	1540885795.606	1540885795.864	3.91.234.132.35	image removed				
472253	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885819.157	1540885795.729	1540885795.985	4.91.234.132.35	quiz started				
472254	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885819.252	1540885795.824	1540885796.08	5.91.234.132.35	question shown	1			
472481	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885825.976	1540885802.548	1540885802.906	6.91.234.132.35	question shown	2			
472647	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885831.322	1540885807.894	1540885808.266	7.91.234.132.35	question shown	3			
472877	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885838.136	1540885814.708	1540885815.084	8.91.234.132.35	question shown	4			
473010	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885841.968	1540885818.54	1540885818.792	9.91.234.132.35	question shown	5			
473174	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885847.24	1540885823.812	1540885824.138	10.91.234.132.35	question shown	6			
473306	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885850.712	1540885827.284	1540885827.538	11.91.234.132.35	question shown	7			
473474	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885855.976	1540885832.548	1540885832.928	12.91.234.132.35	question shown	8			
473705	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885865	1540885841.572	1540885843.763	13.91.234.132.35	question shown	9			
473969	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885871.217	1540885847.789	1540885848.612	14.91.234.132.35	question shown	10			
474442	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885882.969	1540885859.541	1540885865.121	15.91.234.132.35	quiz completed				
474484	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885889.918	1540885866.49	1540885869.497	16.91.234.132.35	user answer		1b		b
474575	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885893.217	1540885869.789	1540885870.284	17.91.234.132.35	user answer		2d		d
474676	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885893.681	1540885870.253	1540885870.545	18.91.234.132.35	user answer		3a		a
474677	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885894.062	1540885870.634	1540885871.035	19.91.234.132.35	user answer		4c		c
474712	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885894.541	1540885871.113	1540885872.772	20.91.234.132.35	user answer		5a		a
474762	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885896.088	1540885872.66	1540885873.296	21.91.234.132.35	user answer		6b		b
474763	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885896.808	1540885873.38	1540885873.785	22.91.234.132.35	user answer		7c		c
474794	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885897.281	1540885873.853	1540885874.142	23.91.234.132.35	user answer		8d		d
474835	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885897.873	1540885874.445	1540885883.958	24.91.234.132.35	user answer		9d		a
475102	App/Pamcenje	skola-us12-Test1-1	event	1540885908.196	1540885884.788	1540885894.406	25.91.234.132.35	user answer		10b		d

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	SequenceIP	name	number	question	answered	correct
478052	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540886969.808	1540886946.608	1540886946.651	191.234.132.35	image presented				
479957	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887030.918	1540887007.718	1540887007.845	291.234.132.35	image time out				
479960	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887031.112	1540887007.92	1540887007.969	391.234.132.35	image removed				
479961	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887031.238	1540887008.038	1540887008.087	491.234.132.35	quiz started				
479992	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887031.361	1540887008.161	1540887008.213	591.234.132.35	question shown	1			
480124	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887035.507	1540887012.307	1540887012.367	691.234.132.35	question shown	2			
480225	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887038.468	1540887015.268	1540887015.314	791.234.132.35	question shown	3			
480326	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887041.588	1540887018.388	1540887018.494	891.234.132.35	question shown	4			
480426	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887044.972	1540887021.772	1540887021.812	991.234.132.35	question shown	5			
480593	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887048.155	1540887024.955	1540887026.472	1091.234.132.35	question shown	6			
480594	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887049.939	1540887026.739	1540887026.784	1191.234.132.35	question shown	7			
480826	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887057.139	1540887033.939	1540887034.056	1291.234.132.35	question shown	8			
481053	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887063.458	1540887040.258	1540887040.385	1391.234.132.35	question shown	9			
481154	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887066.563	1540887043.363	1540887043.407	1491.234.132.35	question shown	10			
481321	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887072.171	1540887048.971	1540887049.109	1591.234.132.35	quiz completed				
481354	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887072.368	1540887049.168	1540887049.243	1691.234.132.35	user answer		1b		b
481355	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887072.492	1540887049.292	1540887049.37	1791.234.132.35	user answer		2d		d
481356	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887072.619	1540887049.419	1540887049.495	1891.234.132.35	user answer		3a		a
481357	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887072.738	1540887049.538	1540887049.593	1991.234.132.35	user answer		4c		c
481358	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887072.843	1540887049.643	1540887049.726	2091.234.132.35	user answer		5a		a
481359	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887072.986	1540887049.786	1540887049.829	2191.234.132.35	user answer		6		b
481360	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887073.076	1540887049.876	1540887049.919	2291.234.132.35	user answer		7c		c
481361	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887073.16	1540887049.96	1540887050.013	2391.234.132.35	user answer		8d		d
481364	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887073.27	1540887050.07	1540887050.114	2491.234.132.35	user answer		9d		a
481395	App/Pamcenje	skola-us-3-Test1-1	event	1540887073.36	1540887050.16	1540887050.207	2591.234.132.35	user answer		10d		d

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Seqeup	name	number	question	answered	correct
482446	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898326.763	1540898303.759	1540898303.792	191.234.132.35	image presented				
484468	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898387.864	1540898384.86	1540898373.841	291.234.132.35	image time out				
484666	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898396.919	1540898373.915	1540898373.951	391.234.132.35	image removed				
484667	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898397.035	1540898374.031	1540898374.151	491.234.132.35	quiz started				
484668	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898397.226	1540898374.222	1540898374.285	591.234.132.35	question shown	1			
484831	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898401.906	1540898378.902	1540898410.764	691.234.132.35	question shown	2			
484897	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898433.885	1540898410.881	1540898410.913	791.234.132.35	question shown	3			
485411	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898440.21	1540898417.206	1540898429.234	891.234.132.35	question shown	4			
485904	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898457.817	1540898434.813	1540898447.892	991.234.132.35	question shown	5			
486583	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898477.969	1540898454.965	1540898457.363	1091.234.132.35	question shown	6			
487221	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898490.769	1540898467.765	1540898471.933	1191.234.132.35	question shown	7			
487385	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898499.681	1540898476.677	1540898476.717	1291.234.132.35	question shown	8			
487872	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898510.145	1540898487.141	1540898494.895	1391.234.132.35	question shown	9			
488038	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898526.961	1540898503.957	1540898513.568	1491.234.132.35	question shown	10			
488673	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898543.994	1540898520.99	1540898521.24	1591.234.132.35	quiz completed				
488676	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898544.37	1540898521.366	1540898521.406	1691.234.132.35	user answer		1b		b
488677	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898544.536	1540898521.532	1540898521.617	1791.234.132.35	user answer		2		d
488732	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898547.137	1540898524.133	1540898524.232	1891.234.132.35	user answer		3a		a
488781	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898549.107	1540898526.103	1540898526.345	1991.234.132.35	user answer		4c		c
488876	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898561.857	1540898538.853	1540898545.297	2091.234.132.35	user answer		5a		a
488879	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.414	1540898545.41	1540898545.456	2191.234.132.35	user answer		6a		b
488880	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.577	1540898545.573	1540898545.624	2291.234.132.35	user answer		7c		c
488881	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.714	1540898545.71	1540898545.753	2391.234.132.35	user answer		8d		d
488882	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898568.845	1540898545.841	1540898545.881	2491.234.132.35	user answer		9d		a
488887	App/Pamcenje	skola-usr4-Test1-1	event	1540898571.019	1540898548.015	1540898548.057	2591.234.132.35	user answer		10d		d

6.6 ПРИЛОГ G.

Примери сирових података прикупљених са АСТ клијентске апликације

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	SequenceIP	name	row	col	letter	correct
767418	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567511.136	1552567356.284	1552567356.962	306 147.91.1.43	test_started				
767450	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567512.687	1552567357.835	1552567358.165	307 147.91.1.43					
767479	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567513.688	1552567358.836	1552567358.863	308 147.91.1.43					
767482	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567514.689	1552567359.837	1552567359.864	309 147.91.1.43					
767547	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567514.77	1552567359.918	1552567360.865	310 147.91.1.43	cell_selected	0	4	C	1
767550	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567515.96	1552567361.108	1552567361.968	311 147.91.1.43	cell_selected	0	9	A	1
767613	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567517.368	1552567362.516	1552567362.868	312 147.91.1.43	cell_selected	0	16	A	1
767648	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567518.393	1552567363.541	1552567363.87	313 147.91.1.43	cell_selected	0	19	C	1
767683	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567519.097	1552567364.245	1552567364.869	314 147.91.1.43	cell_selected	0	25	A	1
767718	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567520.44	1552567365.588	1552567365.872	315 147.91.1.43	cell_selected	0	33	C	1
767746	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567521.696	1552567366.844	1552567366.875	316 147.91.1.43					
767749	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567522.096	1552567367.244	1552567367.872	317 147.91.1.43	cell_selected	1	0	A	1
767816	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567523.192	1552567368.34	1552567368.874	318 147.91.1.43	cell_selected	1	8	C	1
767849	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567524.7	1552567369.848	1552567369.878	319 147.91.1.43					
767884	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567525.401	1552567370.549	1552567370.877	320 147.91.1.43	cell_selected	1	23	C	1
767917	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567526.701	1552567371.849	1552567371.877	321 147.91.1.43					
767950	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567527.702	1552567372.85	1552567372.877	322 147.91.1.43					
767983	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567528.623	1552567373.771	1552567373.878	323 147.91.1.43	cell_selected	1	28	C	1
768016	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567529.24	1552567374.388	1552567374.88	324 147.91.1.43	cell_selected	1	33	A	1
768049	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567530.705	1552567375.853	1552567375.882	325 147.91.1.43					
768082	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567531.641	1552567376.789	1552567376.881	326 147.91.1.43	cell_selected	2	4	C	1
768119	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567532.448	1552567377.596	1552567377.881	327 147.91.1.43	cell_selected	2	10	A	1
768150	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567533.344	1552567378.492	1552567378.884	328 147.91.1.43	cell_selected	2	13	A	1
768183	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567534.709	1552567379.857	1552567379.886	329 147.91.1.43					
768218	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567534.808	1552567379.956	1552567380.888	330 147.91.1.43	cell_selected	2	23	A	1
768221	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567536.224	1552567381.372	1552567381.887	331 147.91.1.43	cell_selected	2	27	A	1
768284	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567537.112	1552567382.26	1552567382.887	332 147.91.1.43	cell_selected	2	35	C	1
768317	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567538.713	1552567383.861	1552567383.891	333 147.91.1.43					
768352	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567538.888	1552567384.036	1552567384.89	334 147.91.1.43	cell_selected	3	1	C	1
768387	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567540.16	1552567385.308	1552567385.89	335 147.91.1.43	cell_selected	3	11	C	1
768420	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - ping	-ping	1552567541.716	1552567386.864	1552567386.89	336 147.91.1.43					
768455	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567542.048	1552567387.196	1552567387.892	337 147.91.1.43	cell_selected	3	20	A	1
768490	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567543.296	1552567388.444	1552567388.894	338 147.91.1.43	cell_selected	3	25	A	1
768493	App/AC/TEST	App/AC/TEST - graf-ac-1 - event	-event	1552567544.656	1552567389.804	1552567389.895	339 147.91.1.43	cell_selected	3	33	A	1

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	Sequenc	IP	name	row	col	letter	correct
776096	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568036.206	1552567881.364	1552567881.622	276	147.91.1.43	test started				
776131	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568037.438	1552567882.596	1552567882.629	277	147.91.1.43					
776160	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568038.438	1552567883.596	1552567883.625	278	147.91.1.43					
776193	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568039.018	1552567884.176	1552567884.624	279	147.91.1.43	cell selected	0	4	C	1
776228	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568040.24	1552567885.398	1552567885.624	280	147.91.1.43	cell selected	0	9	A	1
776263	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568041.441	1552567886.599	1552567886.625	281	147.91.1.43					
776292	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568042.104	1552567887.262	1552567887.631	282	147.91.1.43	cell selected	0	16	A	1
776327	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568042.895	1552567888.053	1552567888.629	283	147.91.1.43	cell selected	0	19	C	1
776362	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568044.095	1552567889.253	1552567889.629	284	147.91.1.43	cell selected	0	25	A	1
776397	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568045.445	1552567890.603	1552567890.631	285	147.91.1.43					
776426	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568045.951	1552567891.109	1552567891.636	286	147.91.1.43	cell selected	0	33	C	1
776457	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568047.367	1552567892.525	1552567892.643	287	147.91.1.43	cell selected	1	0	A	1
776492	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568048.448	1552567893.606	1552567893.638	288	147.91.1.43					
776525	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568049.45	1552567894.608	1552567894.648	289	147.91.1.43					
776555	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568049.89	1552567895.048	1552567895.646	290	147.91.1.43	cell selected	1	8	C	1
776590	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568051.46	1552567896.618	1552567896.647	291	147.91.1.43					
776623	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568052.461	1552567897.619	1552567897.65	292	147.91.1.43					
776684	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568053.462	1552567898.62	1552567899.023	293	147.91.1.43					
776685	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568054.463	1552567899.621	1552567899.649	294	147.91.1.43					
776718	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568054.613	1552567899.771	1552567900.651	295	147.91.1.43	cell selected	1	28	C	1
776753	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568055.967	1552567901.125	1552567901.653	296	147.91.1.43	cell selected	1	33	A	1
776788	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568057.467	1552567902.625	1552567902.654	297	147.91.1.43					
776817	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568058.467	1552567903.625	1552567903.653	298	147.91.1.43					
776851	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568059.47	1552567904.628	1552567904.656	299	147.91.1.43					
776884	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568060.13	1552567905.288	1552567905.657	300	147.91.1.43	cell selected	2	13	A	1
776919	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568061.472	1552567906.63	1552567906.661	301	147.91.1.43					
776952	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568062.472	1552567907.63	1552567907.665	302	147.91.1.43					
776985	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568063.475	1552567908.633	1552567908.664	303	147.91.1.43					
777018	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568063.593	1552567908.751	1552567909.664	304	147.91.1.43	cell selected	2	27	A	1
777053	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568065.48	1552567910.638	1552567910.666	305	147.91.1.43					
777082	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568065.719	1552567910.877	1552567911.674	306	147.91.1.43	cell selected	2	35	C	1
777117	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568067.484	1552567912.642	1552567912.673	307	147.91.1.43					
777150	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-event	1552568067.72	1552567912.878	1552567913.676	308	147.91.1.43	cell selected	3	1	C	1
777185	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac2	-ping	1552568069.486	1552567914.644	1552567914.673	309	147.91.1.43					

ID	Source	Session	Type	ClientTime	RealTime	ServerTime	SequenceIP	name	row	col	letter	correct
780361	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568828.18	15525688673.342	15525688673.959	84 147.91.1.43	test_started				
780364	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568829.478	15525688674.64	15525688674.66	85 147.91.1.43					
780397	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568830.479	15525688675.641	15525688675.66	86 147.91.1.43					
780462	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568830.958	15525688676.12	15525688676.668	87 147.91.1.43	cell_selected	0	4C		1
780495	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568832.003	15525688677.165	15525688677.669	88 147.91.1.43	cell_selected	0	9A		1
780530	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568833.283	15525688678.445	15525688678.664	89 147.91.1.43	cell_selected	0	16A		1
780555	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568833.982	15525688679.144	15525688679.663	90 147.91.1.43	cell_selected	0	19C		1
780662	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568835.115	15525688680.277	15525688683.267	91 147.91.1.43	cell_selected	0	25A		1
780665	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568838.171	15525688683.333	15525688683.371	92 147.91.1.43	cell_selected	0	33C		1
780666	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568838.264	15525688683.426	15525688683.453	93 147.91.1.43					
780695	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568838.488	15525688683.65	15525688683.674	94 147.91.1.43					
780726	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568839.489	15525688684.651	15525688684.68	95 147.91.1.43					
780755	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568839.667	15525688684.829	15525688685.986	96 147.91.1.43	cell_selected	1	0A		1
780758	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568841.053	15525688686.215	15525688686.672	97 147.91.1.43	cell_selected	1	8C		1
780818	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568842.492	15525688687.654	15525688687.682	98 147.91.1.43					
780848	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568843.494	15525688688.656	15525688688.692	99 147.91.1.43					
780880	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568844.495	15525688689.657	15525688689.69	100 147.91.1.43					
780914	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568844.716	15525688689.878	15525688690.698	101 147.91.1.43	cell_selected	1	23C		1
780917	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568846.395	15525688691.557	15525688691.693	102 147.91.1.43	cell_selected	1	33A		1
780979	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568847.5	15525688692.662	15525688692.7	103 147.91.1.43					
781012	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568848.5	15525688693.662	15525688693.681	104 147.91.1.43					
781045	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568848.812	15525688693.974	15525688694.693	105 147.91.1.43	cell_selected	2	4C		1
781080	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568849.596	15525688694.758	15525688695.69	106 147.91.1.43	cell_selected	2	10A		1
781111	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568851.491	15525688696.653	15525688696.693	107 147.91.1.43	cell_selected	2	13A		1
781144	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568852.506	15525688697.668	15525688697.688	108 147.91.1.43					
781175	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568853.507	15525688698.669	15525688698.699	109 147.91.1.43					
781210	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568853.619	15525688698.781	15525688699.701	110 147.91.1.43	cell_selected	2	23A		1
781241	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568855.511	1552568700.673	1552568700.698	111 147.91.1.43					
781244	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568855.811	1552568700.973	1552568701.702	112 147.91.1.43	cell_selected	2	27A		1
781302	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568857.514	1552568702.676	1552568702.705	113 147.91.1.43					
781335	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568858.515	1552568703.677	1552568703.707	114 147.91.1.43					
781367	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	event	1552568859.484	1552568704.646	1552568704.708	115 147.91.1.43	cell_selected	2	35C		1
781402	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568860.517	1552568705.679	1552568706.013	116 147.91.1.43					
781435	App/ACTest	App/ACTest - graf-ac3	ping	1552568861.518	1552568706.68	1552568706.712	117 147.91.1.43					

814622	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981850.327	1552981691.507	1552981691.605	91	212.200.65.91	cell_selected	8	13A	1
814655	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981851.329	1552981692.509	1552981692.589	92	212.200.65.91	cell_selected	5	23C	1
814688	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981851.768	1552981692.948	1552981693.596	93	212.200.65.91	cell_selected	5	28C	1
814723	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981853.096	1552981694.276	1552981694.602	94	212.200.65.91	cell_selected	5	28C	1
814758	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981854.333	1552981695.513	1552981695.605	95	212.200.65.91	cell_selected	5	28C	1
814793	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981854.593	1552981695.773	1552981696.598	96	212.200.65.91	cell_selected	5	34A	1
814826	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981855.975	1552981697.155	1552981697.6	97	212.200.65.91	cell_selected	6	0C	1
814861	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981857.216	1552981698.396	1552981698.6	98	212.200.65.91	cell_selected	6	7A	1
814896	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981858.336	1552981699.516	1552981699.61	99	212.200.65.91	cell_selected	6	7A	1
814929	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981859.338	1552981700.518	1552981700.602	100	212.200.65.91	cell_selected	6	12E	1
814962	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981860.183	1552981701.363	1552981701.619	101	212.200.65.91	cell_selected	6	12E	1
814997	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981861.341	1552981702.521	1552981702.604	102	212.200.65.91	cell_selected	6	12E	1
815030	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981862.341	1552981703.521	1552981703.614	103	212.200.65.91	cell_selected	6	12E	1
815063	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981863.343	1552981704.523	1552981704.611	104	212.200.65.91	cell_selected	6	12E	1
815096	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981864.345	1552981705.525	1552981705.607	105	212.200.65.91	cell_selected	6	12E	1
815129	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981865.345	1552981706.525	1552981706.608	106	212.200.65.91	cell_selected	6	12E	1
815163	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981865.746	1552981706.926	1552981707.611	107	212.200.65.91	cell_selected	6	25C	1
815198	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981867.347	1552981708.527	1552981708.613	108	212.200.65.91	cell_selected	6	25C	1
815231	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981868.348	1552981709.528	1552981709.615	109	212.200.65.91	cell_selected	6	25C	1
815266	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981868.595	1552981709.775	1552981710.628	110	212.200.65.91	cell_selected	6	33A	1
815299	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981870.351	1552981711.531	1552981711.613	111	212.200.65.91	cell_selected	6	33A	1
815332	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981871.351	1552981712.531	1552981712.613	112	212.200.65.91	cell_selected	6	33A	1
815367	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981871.483	1552981712.663	1552981713.628	113	212.200.65.91	cell_selected	7	4A	1
815400	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981873.354	1552981714.534	1552981714.615	114	212.200.65.91	cell_selected	7	4A	1
815433	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981874.356	1552981715.536	1552981715.618	115	212.200.65.91	cell_selected	7	4A	1
815466	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981874.936	1552981716.116	1552981716.632	116	212.200.65.91	cell_selected	7	13C	1
815501	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981876.358	1552981717.538	1552981717.624	117	212.200.65.91	cell_selected	7	13C	1
815534	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981877.36	1552981718.54	1552981718.622	118	212.200.65.91	cell_selected	7	13C	1
815567	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981878.362	1552981719.542	1552981719.626	119	212.200.65.91	cell_selected	7	13C	1
815600	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981879.363	1552981720.543	1552981720.629	120	212.200.65.91	cell_selected	7	29C	1
815633	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981879.778	1552981720.958	1552981721.677	121	212.200.65.91	cell_selected	7	29C	1
815668	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981881.366	1552981722.546	1552981722.629	122	212.200.65.91	cell_selected	7	29C	1
815701	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981882.367	1552981723.547	1552981723.63	123	212.200.65.91	cell_selected	7	29C	1
815736	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981882.552	1552981723.732	1552981724.644	124	212.200.65.91	cell_selected	7	33C	1
815769	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981884.371	1552981725.551	1552981725.634	125	212.200.65.91	cell_selected	7	33C	1
815802	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981885.374	1552981726.554	1552981726.633	126	212.200.65.91	cell_selected	7	33C	1
815835	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981886.374	1552981727.554	1552981727.648	127	212.200.65.91	cell_selected	7	33C	1
815868	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981886.848	1552981728.028	1552981728.637	128	212.200.65.91	cell_selected	8	1C	1
815903	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-ping	1552981888.377	1552981729.557	1552981729.65	129	212.200.65.91	cell_selected	8	1C	1
815936	App/ACTest	App/ACTest - graf-user6	-event	1552981889.21	1552981730.39	1552981730.638	130	212.200.65.91	cell_selected	8	13A	1

823052	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982252.733	1552982093.947	1552982094.68	116.212.200.65.91	cell_selected	1	23C	1
823085	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982254.416	1552982095.63	1552982095.682	117.212.200.65.91				
823118	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982255.417	1552982096.631	1552982096.684	118.212.200.65.91				
823153	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982255.748	1552982096.962	1552982097.706	119.212.200.65.91	cell_selected	1	33A	1
823186	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982257.42	1552982098.634	1552982098.686	120.212.200.65.91				
823219	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982258.308	1552982099.522	1552982099.702	121.212.200.65.91	cell_selected	2	4C	1
823255	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982259.423	1552982100.637	1552982100.69	122.212.200.65.91				
823287	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982260.425	1552982101.639	1552982101.692	123.212.200.65.91				
823321	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982261.125	1552982102.339	1552982102.717	124.212.200.65.91	cell_selected	2	10A	1
823356	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982262.372	1552982103.586	1552982103.701	125.212.200.65.91	cell_selected	2	13A	1
823391	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982263.429	1552982104.643	1552982104.704	126.212.200.65.91				
823424	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982264.432	1552982105.646	1552982105.703	127.212.200.65.91				
823457	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982265.434	1552982106.648	1552982106.704	128.212.200.65.91				
823490	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982266.436	1552982107.65	1552982107.709	129.212.200.65.91				
823523	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982267.438	1552982108.652	1552982108.722	130.212.200.65.91				
823558	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982267.637	1552982108.851	1552982109.721	131.212.200.65.91	cell_selected	2	23A	1
823592	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982269.053	1552982110.267	1552982110.713	132.212.200.65.91	cell_selected	2	27A	1
823626	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982270.442	1552982111.656	1552982111.711	133.212.200.65.91				
823661	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982270.621	1552982111.835	1552982112.734	134.212.200.65.91	cell_selected	2	35C	1
823694	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982272.147	1552982113.361	1552982113.816	135.212.200.65.91	cell_selected	3	1C	1
823729	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982273.446	1552982114.66	1552982114.73	136.212.200.65.91				
823762	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982274.448	1552982115.662	1552982115.718	137.212.200.65.91				
823795	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982275.449	1552982116.663	1552982116.717	138.212.200.65.91				
823830	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982276.451	1552982117.665	1552982117.72	139.212.200.65.91				
823863	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982277.15	1552982118.364	1552982118.736	140.212.200.65.91	cell_selected	3	20A	1
823896	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982278.454	1552982119.668	1552982119.734	141.212.200.65.91				
823930	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982279.036	1552982120.25	1552982120.726	142.212.200.65.91	cell_selected	3	25A	1
823964	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982280.456	1552982121.67	1552982121.74	143.212.200.65.91				
823997	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982281.457	1552982122.671	1552982122.725	144.212.200.65.91				
824031	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982282.459	1552982123.673	1552982123.739	145.212.200.65.91				
824065	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982283.308	1552982124.522	1552982124.773	146.212.200.65.91	cell_selected	4	2A	1
824100	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982284.108	1552982125.322	1552982125.744	147.212.200.65.91	cell_selected	4	6C	1
824134	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982285.156	1552982126.37	1552982126.73	148.212.200.65.91	cell_selected	4	10A	1
824169	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982286.228	1552982127.442	1552982127.748	149.212.200.65.91	cell_selected	4	15C	1
824204	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	ping	1552982287.465	1552982128.679	1552982128.75	150.212.200.65.91				
824239	App/ACTest	App/ACTest - graf-user7	event	1552982287.844	1552982129.058	1552982129.733	151.212.200.65.91	cell_selected	4	23O	

7 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Z. Wei-Long, D. Bo-Nan, L. Bao-Liang, "Multimodal emotion recognition using EEG and eye tracking data", in 36th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., pp. 5040–5043, 2014.
- [2] T. Yamauchi and C. Bowman, "Mining Cursor Motions to Find the Gender, Experience, and Feelings of Computer Users", in 2014 IEEE International Conference on Data Mining Workshop, pp. 221–230, 2014.
- [3] M. Hibbeln, J. L. Jenkins, C. Schneider, J. S. Valacich, and M. Weinmann, "MISQ Archivist Inferring Negative Emotion from Mouse Cursor Movements", 2015.
- [4] B. Youngmann, E. Yom-Tov, "Anxiety and information seeking: Evidence from large-scale mouse tracking." in World Wide Web Conference. 2018 Presented at: WWW '18; April 23-27, 2018; Lyon, France p. 753-762.
- [5] A. Jevremovic, S. Arsic, M. Antonijevic, A. Ioannou, N. Garcia, "Human-Computer Interaction Monitoring and Analytics Platform - Wisconsin Card Sorting Test Application", HealthyIoT 2018 - 5th EAI International Conference on IoT Technologies for HealthCare, Guimaraes, Portugal, November 21-23, 2018.
- [6] M. Milosavljević, "Veštačka inteligencija", Univerzitet Singidunum, 2019.
- [7] A. Poole, L. J. Ball, "Eye Tracking in HCI and Usability Research", pp. 211-219, 2006.
- [8] D. L. Mills, "Internet time synchronization: the network time protocol", IEEE Transactions on Communications, vol. 39, no. 10, pp. 1482-1493, 1991.
- [9] C. E. Shannon, "Communication in the Presence of Noise", Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No. 2, pp. 447-457, 1998.
- [10] P. M. Fitts, "The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement", Journal of Experimental Psychology, vol. 47 no. 6, pp. 381–391, 1954.
- [11] I. S. MacKenzie, "Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction", Human-computer Interaction, vol. 7, pp. 91-139, 1992.
- [12] P. M. Fitts, "The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement", Journal of Experimental Psychology: General, vol. 121, no. 3, pp. 262-269, 1992.
- [13] A. T. Welford, "The measurement of sensory-motor performance - Survey and reappraisal of twelve years progress", Ergonomics, vol 3, no. 3, pp. 189-230, doi: 10.1080/00140136008930484, 1960.

- [14] R. W. Soukoreff, I. S. MacKenzie, "Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI", *Int. J. Human-Computer Studies*, vol. 61, pp. 751–789, 2004.
- [15] P. M. Fitts, J. R. Peterson, "Information capacity of discrete motor responses", *Journal of Experimental Psychology*, vol. 67, no. 2, pp. 103-112, 1964.
- [16] J. Accot, S. Zhai, "Beyond Fitts' Law: Models for Trajectory-Based HCI Tasks", In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems (CHI '97)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 295-302, 1997.
- [17] Zhao, H. , "Fitt's Law: Modeling Movement Time in HCI". *Theories in Computer Human Interaction*, 2002
- [18] A.R. Lurija, "Osnovi neuropsihologije", Beograd: Nolit, 1976
- [19] M.D. Lezak, "Neuropsychological assessment", New York: Oxford University Press, 1983.
- [20] D. M. Pavlović, A. M. Pavlović, "Neuropsihologija : od strukture do funkcije mozga", 2018, ISBN 9788663890695
- [21] C. Berryman, T. R. Stanton, K. J. Bowering, A. Tabor, A. McFarlane, G. L. Moseley, "Do people with chronic pain have impaired executive function? A meta-analytical review", *Clinical Psychology Review*, vol. 34, no. 7, pp 563-579, 2014.
- [22] R. C.K. Chan, D. Shum, T. Touloupoulou, E. Y.H. Chen, "Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues", *Archives of Clinical Neuropsychology*, vol. 23, no. 2, pp. 201-216, 2008.
- [23] G. A. Gioia, P. K. Isquith, L. E. Kenealy, "Assessment of behavioral aspects of executive function", chapter 8 in "Executive Functions and the Frontal Lobes: A Lifespan Perspective" ed. V. Andreson, E. Jacobs, P. J. Andreson, 2008.
- [24] Todd B. Kashdan, Jonathan Rottenberg, Psychological flexibility as a fundamental aspect of health, *Clinical Psychology Review*, Volume 30, Issue 7, 2010, Pages 865-878.
- [25] C. Zucchella, A. Federico, A. Martini, M. Tinazzi, M. Bartolo, S. Tamburin, "Neuropsychological testing", *Practical Neurology*, vol. 18, pp. 227-337, 2018.
- [26] D. Howieson, "Current limitations of neuropsychological tests and assessment procedures", *The Clinical Neuropsychologist*, vol. 33, no. 2, pp. 1-9, 2019.
- [27] R. K. Heaton, "A manual for the Wisconsin Card Sorting Test", Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1982.
- [28] B. Milner, "Effects of Different Brain Lesions on Card Sorting: The Role of the Frontal Lobes", *Arch Neurol.*, vol. 9, no. 1., 1963., doi:10.1001/archneur.1963.00460070100010
- [29] D. A. Grant, E. A. Berg, "A behavioral analysis of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigel-type card-sorting problem", *Journal of Experimental Psychology*, vol. 38, pp. 404-411, 1948., doi:10.1037/h0059831

- [30] R. K. Heaton, "Wisconsin Card Sorting Test Manual" Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, 1981.
- [31] H. E. Nelson, "A Modified Card Sorting Test Sensitive to Frontal Lobe Defects", *Cortex*, vol. 12, no. 4, pp. 313-324, 1976.
- [32] H. Yamauchi, R. Nishii, T. Higashi, S. Kagawa, H. Fukuyama, "Selective neuronal damage and Wisconsin Card Sorting Test performance in atherosclerotic occlusive disease of the major cerebral artery", *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, vol. 82, no. 2, pp. 150-156, 2011, doi: 10.1136/jnnp.2010.207274.
- [33] A. D. Baddeley, "The episodic buffer: a new component of working memory," *Trends in Cognitive Science*, vol. 4, no. 11, pp. 417-423, 2000.
- [34] R. Luria, P. Sessa, A. Gotler, P. Jolicoeur, R. Dell'Acqua, "Visual short-term memory capacity for simple and complex objects," *Journal of Cognitive Neuroscience*, vol. 22, no. 3, pp. 496-512, 2010.
- [35] A. D. Baddeley, G. J. Hitch, "Working memory," G. H. Bower (ed.): *The psychology of learning and motivation*, New York: Academic Press, pp. 47-90, 1974.
- [36] N. Cowan, E. M. Elliott, J. S. Saults, C. C. Morey, S. Mattox, A. Hismjatullina, A. R. A. Conway, "On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes," *Cognitive Psychology*, vol. 51, no. 1, pp. 42-100, 2005.
- [37] A. D. Baddeley, "Working memory," New York: Oxford University Press, 1986.
- [38] D. Wechsler, "A standardized memory scale for clinical use", *The Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied*, vol. 19, no. 1, pp. 87-95, 1945.
- [39] M. Korkman, U. Kirk, S. Kemp, "NEPSY-II: A developmental neuropsychological assessment", San Antonio, TX: The Psychological Corporation, 2007.
- [40] C. K. Conners, "Conners' Continuous Performance Test user's manual", Toronto, Canada: Multi-Health Systems, 2000.
- [41] T. N. Tombaugh, "Test of memory malingering: TOMM," North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems, 1996.
- [42] H. E. Hooper, "The Hooper visual Organization Test (1983 ed)" Los Angeles: Western Psychological Services, 1983.
- [43] "Introducing the Test of Variables of Attention (T.O.V.A.)". The Tova Company, [Online], Available: <http://tovatest.com>
- [44] M. R. Asato, J. A. Sweeney, B. Luna, "Cognitive processes in the development of TOL performance", *Neuropsychologia*, vol. 44, no. 12, pp. 2259-2269, 2006.
- [45] T. P. Alloway, G. A. Alloway, "Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment," *Journal of Experimental Child Psychology*, vol. 106, no. 1, pp. 20-29, 2009.

- [46] R. F. Burton, "Multiple choice and true/false tests: Reliability measures and some implications of negative marking," *Assess. Eval. High. Educ.*, vol. 29, no. 5, pp. 585–595, 2004.
- [47] D. M. Pavlović, A. M. Pavlović. *Neuropsihološka dijagnostika*, Beograd, ORION ART, 2013.
- [48] G. A. Talland, "Deranged Memory", New York, NY: Academic Press, 1965.
- [49] L. Diller, Y. Ben-Yishay, L. J. Gerstman, R. Goodin, W. Gordon, J. Weinberg (1974). "Studies in Scanning Behavior in Hemiplegia". *Rehabilitation Monograph No. 50, Studies in Cognition and Rehabilitation in Hemiplegia*, New York, NY: New York University Medical Center, Institute of Rehabilitation Medicine, 1974.
- [50] S. J. Russell, P. Norvig, "Artificial Intelligence A Modern Approach, 3rd ed", Prentice Hall, 2010.
- [51] N. J. Nilsson, "The Quest for Artificial Intelligence - a history of ideas and achievements", Cambridge University Press, 2010.
- [52] S. Shalev-Shwartz, S. Ben-David, "Understanding Machine Learning - From Theory to Algorithms", Cambridge University Press, 2014.
- [53] A. J. Malik, F.A. Khan, "A hybrid technique using binary particle swarm optimization and decision tree pruning for network intrusion detection", *Cluster Computing*, vol. 21, pp. 667–680, 2018. doi:10.1007/s10586-017-0971-8
- [54] F. Esposito, D. Malerba, G. Semeraro, "A comparative analysis of methods for pruning decision trees", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 19, no. 5, pp. 476–492, 1997.
- [55] V. Kulkarni, P. Sinha, "Pruning of random forest classifiers: a survey and future directions," in *International Conference on Data Science Engineering (ICDSE) (Cochin, Kerala)*, pp 64-68, 2012, doi: 10.1109/ICDSE.2012.6282329
- [56] B. E. Boser, I. Guyon, V. N. Vapnik, "A training algorithm for optimal margin classifiers" *In Proceedings of the Fifth Annual Workshop of Computational Learning Theory*, vol. 5, 144–152. Pittsburgh, ACM, 1992.
- [57] L. Jiang, Z. Cai, D. Wang, S. Jiang, "Survey of Improving K-Nearest-Neighbor for Classification", in *Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD 2007)*, 2007., doi:10.1109/fskd.2007.552
- [58] H. Ekanayake, "P300 and Emotiv EPOC: Does Emotiv EPOC capture real EEG?", pp. 1–8, 2011.
- [59] S. Debener, F. Minow, R. Emkes, K. Gandras, and M. de Vos, "How about taking a low-cost, small, and wireless EEG for a walk?", *Psychophysiology*, vol. 49, no. 11, pp. 1617–1621, 2012.
- [60] R. N. Khushaba, L. Greenacre, S. Kodagoda, J. Louviere, S. Burke, and G. Dissanayake, "Choice modeling and the brain: A study on the Electroencephalogram (EEG) of preferences", *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 16, pp. 12378–12388, 2012.

- [61] R. N. Khushaba, C. Wise, S. Kodagoda, J. Louviere, B. E. Kahn, and C. Townsend, "Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking", *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 9, pp. 3803–3812, 2013.
- [62] G. S. Taylor and C. Schmidt, "Empirical evaluation of the Emotiv EPOC BCI headset for the detection of mental actions", *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc.*, pp. 193–197, 2012.
- [63] E. T. Esfahani, V. Sundararajan, "Classification of primitive shapes using brain-computer interfaces", *CAD*. 44. pp. 1011-1019, 2012., doi:10.1016/j.cad.2011.04.008.
- [64] J. Gomez-Gil, I. San-Jose-Gonzalez, L. F. Nicolas-Alonso, and S. Alonso-Garcia, "Steering a tractor by means of an EMG-based human-machine interface", *Sensors*, vol. 11, no. 7, pp. 7110–7126, 2011.
- [65] G. N. Ranky and S. Adamovich, "Analysis of a commercial EEG device for the control of a robot arm", in *Proc. 2010 IEEE 36th Annu. Northeast Bioeng. Conf. NEBEC 2010*, pp. 6–7, 2010.
- [66] M. K. Mukerjee, "NeuroPhone : Brain-Mobile Phone Interface using a Wireless EEG Headset", *Dartmouth Computer Science Technical Report TR2010-666*, 2010.
- [67] P. S. Inventado, R. Legaspi, M. Suarez, and M. Numao, "Predicting Student Emotions Resulting From Appraisal of Its Feedback", *Res. Pract. Technol. Enhanc. Learn.*, vol. 6, no. 2, pp. 107–133, 2011.
- [68] P. Bobrov, A. Frolov, C. Cantor, I. Fedulova, M. Bakhnyan, and A. Zhavoronkov, "Brain-computer interface based on generation of visual images", *PLoS One*, vol. 6, no. 6, 2011.
- [69] M. K. Petersen, C. Stahlhut, A. Stopczynski, J. E. Larsen, and L. K. Hansen, "Smartphones get emotional: Mind reading images and reconstructing the neural sources," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 6975 LNCS, no. PART 2, pp. 578–587, 2011.
- [70] E. T. Esfahani, V. Sundararajan, "Using Brain–Computer Interfaces To Detect Human Satisfaction in Human–Robot Interaction", *Int. J. Humanoid Robot.*, vol. 08, no. 01, pp. 87–101, 2011.
- [71] W. Zheng, B. Dong, B. Lu, "Multimodal emotion recognition using EEG and eye tracking data", in *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014*, 2014., doi:10.1109/EMBC.2014.6944757
- [72] W. Zheng, J. Zhu, Y. Peng and B. Lu, "EEG-based emotion classification using deep belief networks", in *2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, Chengdu, 2014, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICME.2014.6890166
- [73] Y. Lin, C. Wang, T. Wu, S. Jeng and J. Chen, "EEG-based emotion recognition in music listening: A comparison of schemes for multiclass support vector machine", in *2009 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Taipei, pp. 489-492, 2009., doi: 10.1109/ICASSP.2009.4959627

- [74] D. Nie, X. Wang, L. Shi and B. Lu, "EEG-based emotion recognition during watching movies", in 2011 5th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering, Cancun, 2011, pp. 667-670, 2011., doi: 10.1109/NER.2011.5910636
- [75] B. T. Nugraha, R. Sarno, D. A. Asfani, T. Igasaki, M. N. Munawar, "CLASSIFICATION OF DRIVER FATIGUE STATE BASED ON EEG USING EMOTIV EPOC+", *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 86., no.3, 2016.
- [76] E. T. Mampusti, J. S. Ng, J. J. I. Quinto, G. L. Teng, M. T. C. Suarez and R. S. Trogo, "Measuring Academic Affective States of Students via Brainwave Signals", in 2011 Third International Conference on Knowledge and Systems Engineering, Hanoi, pp. 226-231, 2011., doi: 10.1109/KSE.2011.4.
- [77] R. N. Khushaba, C. Wise, S. Kodagoda, J. Louviere, B. E. Kahn, C. Townsend, "Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking", *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 9, pp. 3803-3812, 2013., <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.095>.
- [78] I. Martinovic, D. Davies, M. Frank, D. Perito, T. Ros, D. Song, "On the feasibility of side-channel attacks with brain-computer interfaces", in *Proceedings of the 21st USENIX conference on Security symposium (Security'12)*. USENIX Association, USA, 2012.
- [79] M. Zainab, M. El Halaby, S. Tamer, S. Doaa, B. Ashraf, "Characterizing focused attention and working memory using EEG", *Sensors*, vol. 18, pp. 1-21, 2018.
- [80] S. Bona, J. Silvanto, "Accuracy and confidence of visual short-term memory behavioral and neural dissociations", *PLoS One*, Published online March 24, 2014., doi:0.1371/journal.pone.0090808.
- [81] Z. Khayer, V. Nejati, J. Fathabadi, "Stress induction and visual working memory performance: The effects of emotional and non-emotional stimuli", Published online May 31, 2017., doi:10.5812/bhs.57652.
- [82] S. Vogel, L. Schwabe, "Learning and memory under stress: implications for the classroom", *NPJ Science Of Learning*, vol. 1, 16011, 2016.
- [83] M. C. Chen, J. R. Anderson, M. H. Sohn, "What can a mouse cursor tell us more? correlation of eye/mouse movements on web browsing", in *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '01)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 281-282, 2001., doi:<https://doi.org/10.1145/634067.634234>
- [84] L. Cooke, "Is the mouse a poor man's eye tracker?", in *Proceedings of STC*, 2006.
- [85] J. Huang, R. White, G. Buscher, "User see, user point: gaze and cursor alignment in web search", in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '12)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1341-1350, 2012., doi:<https://doi.org/10.1145/2207676.2208591>
- [86] "JNI - Design Overview." [Online]. Available: <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/jni/spec/design.html>.

- [87] "The Eye Tribe" [Online]. Available: <http://theyetribe.com>.
- [88] G. Šimić, "Inteligentni edukativni sistem Multitutor", Master's thesis, Faculty of Organisational sciences, Belgrade, Serbia, 2004.
- [89] "Emotiv." [Online]. Available: <https://www.emotiv.com>
- [90] "Technical Specifications - EPOC+." [Online]. Available: https://emotiv.gitbooks.io/epoc-user-manual/content/introduction/technical_specifications.html.
- [91] G.H. Klem, H. O. Luders, H. H. Jasper, C. Elger, "The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation", Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology (EEG Suppl. 52), pp. 3-6, 1999.
- [92] "Advanced EEG Technology - Backed by Science." [Online]. Available: <https://www.emotiv.com/the-science/>.
- [93] M. Antonijevic, G. Shimic, A. Jevremovic, M. Veinovic, "Potentials of Using Artificial Intelligence and EEG Data in Electronic Assessments", 5th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering, Palic, Serbia, Zbornik radova, pp. 1253-1255, 2018.
- [94] F. Eminovic, S. Arsic, "Correlation between Executive and Motor Functions in patients after a Stroke", in K. P. Bennett (ed.) Executive Functioning: Role in Early Learning Processes, Impairments in Neurological Disorders and Impact of Cognitive Behavior Therapy (CBT), pp. 323, 2014.
- [95] N. Bigdely-Shamlo, A. Vankov, R. R. Ramirez, S. Makeig, "Brain activity-based image classification from rapid serial visual presentation", IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 16, no. 5, pp. 432-441, 2008.
- [96] T. Kawakami, T. Ogawa, M. Haseyama, "Novel image classification based on decision-level fusion of EEG and visual features", in 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Florence, pp. 5874-5878, 2014.
- [97] P. Suppes, B. Han, J. Epelboim, Z. Lu, "Invariance of brain-wave representations of simple visual images and their names," in Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 96, no. 25, pp. 14658-14663, 2000.
- [98] S. Taylor, T. Seeman, N. Eisenberger, T. Kozanian, A. Moore, W. Moons, "Effects of a supportive or an unsupportive audience on biological and psychological responses to stress", Journal of Personality and Social Psychology, vol. 98, no. 1, pp. 47-56, 2010.
- [99] N. Bolger, D. Amarel, "Effects of social support visibility on adjustment to stress: Experimental evidence", Journal of Personality and Social Psychology, no. 92, vol. 3, pp. 458-475, 2007.
- [100] N. Bolger, A. Zuckerman, R. C. Kessler, "Invisible support and adjustment to stress", Journal of Personality and Social Psychology, vol. 79, no. 6, pp. 953-961, 2000.

- [101] I. Deng, L. Chung, N. Talwar, F. Tam, N. W. Churchill, T. A. Schweizer, S. J. Graham, "Functional MRI of Letter Cancellation Task Performance in Older Adults", *Front. Hum. Neurosci.*, 2019., doi: 10.3389/fnhum.2019.00097
- [102] H. M. Geurts, S. Begeer, L. Stockmann, "Brief Report: Inhibitory Control of Socially Relevant Stimuli in Children with High Functioning Autism" *J Autism Dev Disord* 39, 1603, 2009.
- [103] T. Ionescu, "Exploring the nature of cognitive flexibility", *New Ideas in Psychology*, vol. 30, no. 2, 190–200, 2012., doi: <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2011.11.001>
- [104] A. Diamond, "The Early Development of Executive Functions", 2006. doi:10.1093/acprof:oso/9780195169539.003.0006.

Објављени радови:

- M. Antonijevic, M. Zivkovic, S. Arsic, A. Jevremovic, "Using AI-Based Classification Techniques to Process EEG Data Collected during the Visual Short-Term Memory Assessment", *Journal of Sensors*, vol. 2020, 2020., <https://doi.org/10.1155/2020/8767865>
- M. Antonijevic, G. Shimic, A. Jevremovic, M. Veinovic, S. Arsic, "The Potential for the Use of EEG Data in Electronic Assessments", *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 339-351, 2018., DOI: <https://doi.org/10.2298/SJEE1803339A>