ISBN 978-86-7020-245-0

ИНОВИРАЊЕ ФОРЕНЗИЧКИХ МЕТОДА И ЊИХОВА ПРИМЕНА

ИНОВИРАЊЕ ФОРЕНЗИЧКИХ МЕТОДА И ЊИХОВА ПРИМЕНА

КРИМИНАЛИСТИЧКО-ПОЛИЦИЈСКА АКАДЕМИЈА

Едиција *Монографије*
Књига 13

ИНОВИРАЊЕ ФОРЕНЗИЧКИХ МЕТОДА И ЊИХОВА ПРИМЕНА

КРИМИНАЛИСТИЧКО-ПОЛИЦИЈСКА АКАДЕМИЈА
Београд, 2013

ИНОВИРАЊЕ ФОРЕНЗИЧКИХ МЕТОДА И ЊИХОВА ПРИМЕНА

Едиција *Монографије*

Књига 13

Издавач

КРИМИНАЛИСТИЧКО-ПОЛИЦИЈСКА АКАДЕМИЈА

Београд, Цара Душана 196 (Земун)

За издавача

проф. др ГОРАН МИЛОШЕВИЋ

декан Академије

Уредници

доц. др СТЕВО ЈАЋИМОВСКИ

проф. др ЈОВАН ШЕТРАЈЧИЋ

Рецензенти

проф. др ДЕЈАН РАКОВИЋ

проф. др МИЛАН ЖАРКОВИЋ

доц. др БРАНКО МАРКОСКИ

Лектор

ЈАСМИНА МИЛЕТИЋ

Компјутерска припрема

МИЛАН СРЕЋКОВИЋ

Тираж

200 примерака

Штампа

ЈП „Службени гласник”

Београд

© 2013 Криминалистичко-полицијска академија, Београд

ISBN 978-86-7020-245-0

Садржај

Стево Јаћимовски
Глава 1
МОГУЋА ПРИМЕНА
МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА У ФОРЕНЗИЦИ

1. УВОД 2
2. ИРЕВЕРЗИБИЛНА И РЕВЕРЗИБИЛНА АПСОРПЦИЈА 3
   2.1. Прорачун броја гасних молекула у условима апсорпције 4
   2.2. Стационарни проблем 6
   2.3. Индицијски бодови у истражном поступку. Истражни поступак против једног осумњиченог лица 6
   2.4. Истражни поступак против већег броја осумњичених лица 8
3. ПРИМЕНА МАТЕМАТИЧКЕ СТАТИСТИКЕ У ИСТРАЖНОМ МЕТОДУ 10
4. ПРОГНОЗА ИСХОДА ГЛАСАЊА НА ОСНОВУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ГРУПЕ 12
   4.1. Одређивање коефицијената иреверзибилног и реверзибилног кретања гласова 13
5. САЈБЕР КРИМИНАЛ 16
6. МОДЕЛОВАЊЕ ШИРЕЊА ЗЛОНАМЕРНИХ ПРОГРАМА 18
   6.1. *S-I* модел 20
   6.2. *S-I-R* модел 23
   6.3. Двофакторски модел 25
   6.4. *P-S-I-D-R* модел 26
7. ЗАКЉУЧАК 28

ЛИТЕРАТУРА 29

Стеван Армаковић, Игор Ј. Шетрајчић
Глава 2
***AB INITIO* ИСТРАЖИВАЊЕ АКТИВНИХ КОМПОНЕНТИ ЧЕСТО КОРИШЋЕНИХ β-БЛОКАТОРА**

1. УВОД ... 32
2. КОМПЈУТЕРСКИ ДЕТАЉИ ... 38
3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА ... 38
3.1. ХОМО, ЛУМО, стабилност, осетљивост и хемијска чврстоћа ... 38
3.2. НМР параметри и ароматичност ... 43
3.3. НБО анализа ... 48
3.4. НПА анализа ... 50
4. ЗАКЉУЧАК ... 51
ЛИТЕРАТУРА ... 52

Војкан Зорић
Глава 3
ФОРЕНЗИКА АУТЕНТИЧНОСТИ УМЕТНИЧКИХ СЛИКА ВОЈВОЂАНСКОГ СЛИКАРА ГИГЕ ЂУРАГИЋА ДИЛЕТА

1. УВОД ... 59
2. ОПИС УЗОРАКА ... 60
3. ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКА АНАЛИЗА ... 69
4. ЗАКЉУЧАК ... 70
ЛИТЕРАТУРА ... 73

Смиља Теодоровић
Глава 4
БИОМЕТРИЈСКО-ФОРЕНЗИЧКЕ МЕТОДЕ У ФОРЕНЗИЦИ: УЛОГА НУКЛЕИНСКИХ КИСЕЛИНА ПРИЛИКОМ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ИЗВРШИЛАЦА И ЖРТАВА КРИВИЧНИХ ДЕЛА

1. УВОД У БИОМЕТРИЈСКО-ФОРЕНЗИЧКЕ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ... 76
2. НУКЛЕИНСКЕ КИСЕЛИНЕ КАО СПЕЦИФИЧНЕ БИОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ... 82
2.1. Утврђивање идентитета актера кривичних дела помоћу ДНК профилисања ... 83

2.2. Рибонукелинска киселина (РНК) као дефинитивни метод за детекцију хуманих телесних течности и ткива на месту криминалног догађаја ... 86
2.2.1. Детекција телесних течности и ткива помоћу информационих РНК ... 87
2.2.2. Детаљнији осврт на детекцију појединих телесних течности и ткива помоћу информационих РНК ... 89
2.2.3. Анализа читавог транскриптома у циљу детекције телесних течности и ткива ... 90
2.2.4. Детекција телесних течности и ткива помоћу микро РНК ... 91
2.2.5. Форензичка РНК анализа данас ... 91
2.3. Аутентичност ДНК доказа ... 92
2.3.1. Метилациона анализа као метод за аутентификацију ДНК ... 94
2.3.2. Последице метода за аутентификацију у форензичкој ДНК анализи ... 96
2.3.3. Аутентичност форензичке ДНК методе данас ... 98
2.4. ДНК профилисање бактеријских популација са људске коже ... 98
3. ЕВАЛУАЦИЈА И СТАНДАРДИЗАЦИЈА БИОМЕТРИЈСКО-ФОРЕНЗИЧКИХ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ... 99
4. ЗАКЉУЧАК И БУДУЋИ ПРАВЦИ ... 103
ЛИТЕРАТУРА ... 104

Драган Ранђеловић

Глава 5

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ, ВИСОКОТЕХНОЛОШКИ КРИМИНАЛ И ДИГИТАЛНА ФОРЕНЗИКА

1. УВОД ... 111
1.1. Дефинисање основних појмова ... 113
1.2. Опис тренутног стања у свету ... 114
1.3. Образложење значаја активности ... 115
1.4. Циљеви ... 116
2. СИГУРНОСТ РАЧУНАРА И РАЧУНАРСКИХ МРЕЖА ... 116
3. КРИМИНАЛ НА ИНТЕРНЕТУ (*INTERNET CRIME COMPLAINT CENTER IC3*) ... 118
4. АЛАТИ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ НАПАДА НА МРЕЖИ ... 120
4.1. Основни појмови ... 121
4.1.1. Концепти система за детекцију упада ... 122

4.2. Системи за детекцију упада отвореног и затвореног кода.....124
4.2.1. Снорт систем за детекцију напада отвореног кода.....124
4.2.2. *Netwitness* – систем за детекцију напада комерцијалног кода.....125
4.2.3. *CommView* – систем за детекцију напада комерцијалног кода.....126
4.3. Подешавања IDS-а.....127
4.3.1. Подешавање Снорта.....127
4.3.2. Подешавање *NetWitness*-а.....129
4.3.3. Подешавање *CommView*-а.....131
4.4. Упоредна анализа.....132
4.4.1. Без неког покренутог програма за детекцију упада на мрежи.....133
4.4.2. Покретање програма за детекцију упада на мрежи.....134
4.5. Закључак.....138
5. АЛАТИ ДИГИТАЛНЕ ФОРЕНЗИКЕ.....139
5.1. Увод.....140
5.2. Комерцијални алати.....141
5.2.1. *EnCase Tool*.....142
5.3. Некомерцијални алати.....147
5.3.1. *DD*.....148
5.3.2. *Sleuth Kit* и *Autopsy*.....151
5.4. Примери примене алата дигиталне форензике.....154
5.4.1. Форензичка анализа копије медија са алатима отвореног кода.....154
5.4.2. Форензичка анализа копије медија са комерцијалним алатима.....167
5.5. Закључак.....172
6. МУЛТИФУНКЦИОНАЛНИ И ИНТЕГРИСАНИ АЛАТИ ЗА ПОВЕЋАЊЕ СИГУРНОСТИ МРЕЖЕ.....172
6.1. Фазе напада у мрежи и адекватни алати.....173
6.1.1. Посматрање и упознавање жртве.....173
6.1.2. Снимање система.....173
6.1.3. Скенирање.....174
6.1.4. Пописивање.....175
6.2. Интегрисани алати.....175
6.2.1. *SANS Intitute Forensics Toolkit (SIFT) Workstation*.....176
6.2.2. *Visual Basic* апликација за преглед и покретање одређених фајлова.....177

7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА 181
7.1. Стање у МУП-у Републике Србије 183
ЛИТЕРАТУРА 185

Бранкица Поповић
Глава 6
РОБУСТАН МЕТОД АДАПТИВНОГ ПОБОЉШАЊА СЛИКЕ ОТИСКА ПРСТА

1. УВОД – БИОМЕТРИЈСКИ СИСТЕМИ 189
2. СИСТЕМИ ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ ЗАСНОВАНИ НА ОТИСКУ ПРСТА 192
2.1. Историјат употребе отисака 192
2.2. Основне карактеристике отиска прста 193
2.3. Аутоматски системи за препознавање преко отисака 195
3. ОРИЈЕНТАЦИОНА СЛИКА ОТИСКА ПРСТА 196
3.1. Методе одређивања оријентационе слике засноване на градијенту 197
3.2. Мултискално одређивање оријентационе слике 199
3.3. Предложени алгоритам мултискалног одређивања оријентационе слике 200
3.3.1. Пирамидално израчунавање 201
3.3.2. Мултискални модел са преклапањем блокова 203
4. ПОПРАВКА КВАЛИТЕТА (ПОБОЉШАЊЕ) СЛИКЕ ОТИСКА ПРСТА 204
4.1. Методе за побољшање слике отиска прста 204
4.2. Поступак побољшања слике отиска прста 206
4.2.1. Сегментација 206
4.2.2. Нормализација 207
4.2.3. Одређивање оријентационе и фреквенцијске слике отиска прста 207
4.2.4. Филтрирање 208
4.3. Предложени алгоритам побољшања слике отиска прста 212
4.4. Експериментални резултати 213
5. ЗАКЉУЧАК 217
ЛИТЕРАТУРА 218

Миладин Нешић
Глава 7
ФОРЕНЗИЧКА ОБРАДА АУТОМОБИЛСКИХ СИЈАЛИЦА

1. УВОД 223
2. ЗАКОНСКЕ ОДРЕДБЕ 224
3. ЗНАЧАЈ ТРАГОВА НА СИЈАЛИЦАМА 227
4. ДЕЛОВИ СИЈАЛИЦЕ И ПРИНЦИП РАДА СИЈАЛИЦЕ 230
5. МОГУЋНОСТИ УТВРЂИВАЊА СТАЊА СИЈАЛИЦЕ 233
6. ТРАГОВИ КОЈИ СЕ МОГУ НАЋИ НА СИЈАЛИЦАМА 235
7. ПОСТУПАК НА ЛИЦУ МЕСТА 237
8. НАЈЧЕШЋЕ ГРЕШКЕ У НАШОЈ ПРАКСИ 239
9. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ МЕРА 241
ЛИТЕРАТУРА 242

Горан Илић, Радован Карацић
Глава 8
КАРАКТЕРИСТИКЕ ОШТЕЋЕЊА ТКИВА ЈЕТРЕ И СРЧАНОГ МИШИЋА КОД ИНТРАВЕНСКИХ ХЕРОИНОМАНА

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА 246
2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ 247
2.1. Истраживање оштећења јетре 247
2.2. Истраживање оштећења срчаног мишића 248
3. РЕЗУЛТАТИ 249
3.1. Мутно бубрење и везикуларне дегенеративне промене у истраживаној групи *iv* хероинома 249
3.2. Масне промене у целој истраживаној групи *iv* хероинома 251
3.3. Вирусни и реактивни хепатитис 252
3.3.1 Хронични персистентни хепатитис 252
3.3.2. Хронични активни хепатитис 253
3.3.3. Реактивни хепатитис 255
3.4. Цироза 256
3.4.1. Алкохолна цироза 257
3.4.2. Постхепатична цироза 257
3.4.3. Цироза комбинованог порекла 258
3.5. Пренеопластичне – диспластичне промене у хепатоцитима 258

3.6. Садржај гликогена 259
3.6.1. Зонална дистрибуција гликогена 260
3.6.2. Промене садржаја гликогена у зависности од дужине интравенске злоупотребе хероина 260
3.7. Амилоидоза 262
3.8. Хепатични синусоидални макрофаги (Купферове и ендотелне ћелије) 263
3.9. Ултраструктурне промене на јетри 265
3.10. Оштећења миокарда код зависника од хероина 267
4. ДИСКУСИЈА 270
4.1. Мутно бубрење и везикуларне дегенеративне промене 270
4.2. Масне промене 271
4.3. Вирусни хепатитис 273
4.4. Цироза 275
4.5. Пренеопластичне промене 276
4.6. Садржај гликогена 276
4.7. Амилоидоза 277
4.8. Хепатични синусоидални макрофаги (ендотелне и Купферове ћелије) 279
4.9. Оштећења миокарда као последица хроничне интравенске злоупотребе хероина 280
5. ЗАКЉУЧЦИ 281
ЛИТЕРАТУРА 282
ИНДЕКС ИМЕНА 293

ПРЕДГОВОР

Ова монографија је резултат двогодишњег рада групе мултидисциплинарних стручњака са пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије (МПНТР) „Иновирање форензичких метода и њихова примена“ (ТР 34019). Идеју за овај пројекат је дао др Војкан Зорић, а она је прихваћена и разрађена од стране сарадника департмана за физику ПМФ Нови Сад и КПА Београд (пре свих академика проф. др Шетрајчић Јована, доцента др Јаћимовски Стеве). Тај пројекат је наишао на подршку руководства Универзитета у Новом Саду и руководећих људи Криминалистичко-полицијске академије у Београду, што је у мају 2010. године резултирало потписивањем протокола о међусобној сарадњи. Пројекат је прихваћен од стране МПНТР РС и његова реализација је предвиђена у периоду 2011–2014. године. На пројекту су сарадници са КПА Београд, ПМФ Нови Сад (физика, хемија), ФТН Нови Сад и Медицинског факултета у Нишу.

Треба рећи да сарадња КПА Београд (наследнице Више школе унутрашњих послова и Полицијске академије) и ПМФ Нови Сад датира још из седамдесетих година прошлог века, када су је успоставили проф. др Радојица Максимовић (директор ВШУП и потоњи декан ПА) и академик проф. др Братислав Тошић. Њихов удео у развоју форензике као науке и форензичких метода у нашој земљи је немерљив. И у овој монографији се види утицај њиховог дела и идеја.

С обзиром на своју намену и на развој прилика у људском друштву, форензика свакако спада међу науке чији развој мора да буде најбржи и најсвестранији. Форензика (научна истраживања криминалних догађаја, примена научних метода у решавању судских поступака) јесте најкомплетнија научна област. Криминал у свету са годинама расте, а апетити криминалаца су све већи, па се они користе најновијим научним достигнућима, али и најновијим релацијама у међународним односима. Форензичке науке чији је задатак борба против криминала морају да буду бар исто толико активне колико су активни и криминални методи, а пожељно би било да су бар корак испред њих. Све то квалификује форензику као једну од приоритетних области у развоју цивилизације.

Са настанком криминалистике појављују се и први покушаји да се превазиђу искључиво занатски елементи, да се створе прецизне методе и изгради систем, заснован првенствено на принципима и објективним критеријумима науке и технике.

Форензика је прерасла у науку чији је предмет истраживања проналажење, усавршавање и примена научних или на практичном искуству заснованих начина, метода и средстава који су најподеснији за откривање и разјашњавање кривичних дела, идентификовање њихових учинилаца и обезбеђење материјалних доказа о извршеним делим и учиниоцима, као и за спречавање извршења кривичних дела.

Савремени развој науке и технике, који се користе у разним врстама форензичких експертиза, довео је до тога да је форензичка експертиза практично постала неопходна истражна радња.

Др В. Водинелић дефинише криминалистику као науку која проучава, проналази и усавршава научне и на практичном искуству засноване методе и средства, која су најпогоднија да се открије и разјасни кривично дело, открије и приведе кривичној санкцији учинилац, обезбеде и фиксирају сви докази ради утврђивања (објективне) истине, као и да се спречи извршење будућих планираних и непланираних кривичних дела. Укратко, то је наука о техници, тактици и методици оперативних истражних и других судских радњи, као и о спречавању криминалитета[1]. Ради тога она користи сопствене методе, али и методе других друштвених и природних наука, које стално усавршава и прилагођава својим потребама. Криминалистика у одређеним криминалистичко-тактичким ситуацијама примењује опште научне методе, као што су посматрање, упоређивање, описивање, мерење, и експеримент, као и логичке методе анализе, синтезе, индукције, дедукције и аналогије, а према потреби и антрополошке, антропометријске, математичке и статистичке методе. Преузимање и примена метода других наука није аутоматска, већ оне подлежу прилагођавању задацима криминалистичке обраде и циљевима кривичног поступка уколико их јавни тужилац покрене.

Стога је неопходно одредити два појма: „форензички" и „форензичка наука". Форензички значи јаван, судски, који служи истражним и доказним поступцима. За форензичку науку постоје бројне дефиниције. Данас под тим појмом обично подразумевамо скуп научних принципа и техничких метода које се примењују код истраживања кривичних дела ради доказивања постојања кривичног дела и помоћи правосуђу да утврди извршиоца злочина и његов модус операнди. У пракси се форензичка наука заснива на начелима и методама природних наука (физике, хемије, биологије, физичке хемије, биохемије, биофизике, географије). Примена поменутих научних дисциплина има заједничку полазну тачку, а то је да су све оне покренуте са лица места на коме се десило кривично дело и да се њиховим методама омогућава проналажење материјалних трагова на месту кривичног дела, односно вршења одговарајућег вештачења ради обезбеђивања материјалних доказа. Јасно је да без употребе научних метода природних, техничких или других наука није могуће обезбедити квалитетне доказе који би гарантовале сигурност у даљем току кривичног поступка.

Форензичка наука се користи се за давање одговора на низ специфичних питања, од којих су три основна: 1) да ли је извршен злочин?

1 В. Водинелић, *Криминалистика*, Савремена администрација, Београд, 1984, стр. 3.

2) ко га је извршио? 3) како је извршен? Форензичка наука има два циља: 1) идентификацијску класификацију и индивидуализацију и 2) реконструкцију.

Задатак ове монографије је да се дâ известан допринос развоју форензичких метода и то оним питањима која до данас нису добила потпуно задовољавајући одговор.

У првој глави је обрађено математичко моделовање истражног поступка, засновано на аналогији са процесима апсорпције гаса. Истражни материјал састоји се од два типа доказа. Један тип су непобитни докази, који се најчешће добијају криминалистичким вештачењем. Други тип несигурни докази. Такве су на пример изјаве сведока или процене мотивација да се изврши кривично дело. Сваком од доказа се у истражном поступку може приписати одређен број индицијских бодова. Коришћење аналогије између индицијских поена и молекула гаса треба да учини истражни поступак објективнијим, јер за апсорпцију гасних молекула постоје проверени физички закони.

У другој глави је дато истраживање активних компоненти често коришћених β блокатора. Имајући у виду значај наведене групе једињења и могућност њихове потенцијалне злоупотребе (у спорту или као психоактивне супстанце), студија је обухватила три добро познате, али ипак недовољно теоријски истражене, активне компоненте β-блокатора: ацебутолол, метопролол и атенолол. Истражена је стабилност поменутих молекула преко квантно-молекулских дескриптора. Проучавање стабилности и реактивности поменуте групе једињења и њихових интермедијера је од изузетног значаја и са аспекта могућности злоупотребе поменуте групе једињења. У том смислу, на бета блокаторе се посебна пажња обраћа код спортиста, који их понекад користе у ситуацијама када је неопходна смиреност и концентрација, посебно код стрељаштва. Такође, у комбинацији са алкохолом, слично као и са наркотицима, долази до интензивирања ефеката због којих би бета блокатори могли да се користе и као психоактивне супстанце.

Трећа глава има за циљ да прикаже истраживања на пројекту у смислу иновирања неких форензичких метода из области боја и бојених материјала, влакана, пластике и стакла, опојних дрога и психоактивних супстанција као трагова са места извршења кривичних дела, њихове примене у складу са тренутним проблемима како у примени метода за брзе идентификације тако и у покушајима правних и етичких разрешења узимања, складиштења и заштите података.

У четвртој глави су изложене веома разноврсне и мултидисциплинарне форензичке методе које омогућавају како идентификацију појединаца, актера криминалних дела, тако и детекцију самих злочина. Најпре су представљени биометријски системи, који данас омогућавају аутоматску и поуздану идентификацију особа у реалном времену. Посебна пажња је посвећена најраспрострањенијим и најзначајнијим видовима биометријске идентификације особа у криминалистичкој и државној форензици: ДНК, отиску прста и лицу особа. Анализиране су фасцинантне

предности тих метода, њихова доказна вредност на суду, као и могућности да се оне преваре. Даље, експериментално је показана примена одређених научних метода на реалним полицијским узорцима различитих проблематика, као што су детекција фалсификата тонера ласерских штампача и анализа географске локације извршења кривичног дела силовања. Коначно, разматране су евалуације и стандардизације форензичких метода, као и међународна акредитација форензичких лабораторија МУП-а Републике Србије.

Пета глава је резултат потребе да се почетком 21. века, у време израженог бурног развоја информационих технологија и њихове очигледне испреплетаности са нарастајућим (и добрим делом на том развоју заснованим) високотехнолошким криминалом, стручно и научно сагледа стање и однос полиције, консеквентно и тужилаштва, и на крају судства, према тим феноменима. Рачунарске мреже и проблеми који се тичу њихове сигурности имају велику улогу у делима високотехнолошког криминала, а дигитална форензика је једна од неколико дисциплина које битно утичу на расветљавање тих дела. Стога развој нових и побољшање постојећих метода и алата те научне дисциплине представљају нужну потребу и предмет разматрања овог рада.

Шеста глава представља допринос разумевању рада система за аутоматску идентификацију на основу биометријских карактеристика учиниоца кривичних дела. Аутентификација је потврђивање (верификација) или утврђивање (идентификација) идентитета особе. Она постаје све сложенији проблем у савременом друштву, које карактеришу интензиван технолошки развој, аутоматизација разних послова и услуга као и постојање глобалне рачунарске мреже. Зато се као императив поставља услов да поступак аутентификације буде брз, поуздан, тежак за превару и, наравно, прихватљив за особу која му приступа. Методе засноване на нечему што особа *зна* (*knowledge* – нпр. лозинка или PIN – *Personal Identification Number*), или што особа *има* (*possesion* – нпр. идентификациона картица), мада широко распрострањене, нису веома сигурне. Картице и лозинке се могу украсти или делити, штавише, немогуће је разликовати легитимног корисника од оног који је на нелегалан начин дошао у њихов посед. Зато је развијен трећи метод аутентификације заснован на нечему што особа *јесте* (*biomterics*). Биометријско препознавање (*biometric recognition*), или просто биометрија, може се дефинисати као наука о утврђивању идентитета особе на основу њених физичких и/или карактеристика понашања на потпуно или делимично аутоматизован начин.

Седма глава обухвата ситуације у којима је значајно утврђивање стања сијалица на возилу које је учествовало у саобраћајној незгоди. Објашњен је процес настанка трагова, објашњени су најважнији трагови у типичним ситуацијама и анализиране су могућности утврђивања стања сијалица. Дате су препоруке за унапређење постојеће праксе фиксирања трагова на сијалицама.

Осма глава обухвата микроморфолошка, хистохемијска, имунохистохемијска и ултраструктурна испитивања јетре, као органа који највише страда при злоупотреби хероина. Она су учињена са циљем да се пре-

цизно сагледају врсте и степен оштећења јетре изазваних интравенском злоупотребом хероина, као и то да ли је израженост ових лезија зависна од дужине временског периода у којем је интравенски апликован хероин. Хистолошка и имунохистохемијска испитивања срчаног мишића имала су циљ да покажу да је код хероиномана у току вирусне инфекције оштећена функција имуних ћелија, што за последицу има дисфункцију срчане коморе и могућност настанка плућног едема у фаталној овердози.

Теже морфолошке лезије (хронични активни хепатитис, цироза и дифузне масне промене) на јетри утврђене су у више од половине анализираних случајева. Интравенско уношење хероина доводи до значајних морфолошких промена на ткиву јетре, при чему је интензитет тих промена већи што је дужи временски период у којем је злоупотребљаван хероин. Директни хепатотоксични ефекти хероина су везикуларне промене на хепатоцитима, масне промене су последица хроничног дејства алкохола, док су остале утврђене морфолошке лезије јетре настале у интеракцији дејстава хероина, вирусних инфекција и алкохола.

Резултати истраживања оштећења миокарда су показали да значајно смањен број макрофага у истраживаној групи хероиномана у односу на контролу упућује на закључак да лезије ћелија имуног система могу временом продуковати дисфункцију леве коморе и могућност настанка плућног едема као компликацију предозирања хероином.

На крају се захваљујемо рецензентима на савесно прочитаном материјалу и корисним сугестијама које су увелико допринеле побољшању текста монографије.

Такође, аутори се захваљују декану Криминалистичко-полицијске академије проф. др Горану Милошевићу на подршци без које излажење ове монографије не би могло да се реализује и без које она не би доспела до својих читалаца.

Уредници
доц. др Стево Јаћимовски
проф. др Јован Шетрајчић, академик

МОГУЋА ПРИМЕНА МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА У ФОРЕНЗИЦИ

I Глава

Стево Јаћимовски
Криминалистичко-полицијска академија
Цара Душана 196, 11080 Београд

Сажетак: Поред метода природних наука, форензика често користи и математичке и статистичке методе. Међу првим таквим радовима су радови проф. Радојице Максимовића и проф. Братислава Тошића (Максимовић,1993; Тошић,1997; Максимовић, 1997). Математичко моделовање истражног поступка засновано је на аналогији са процесима апсорпције гаса. Истражни материјал састоји се од два типа доказа. Један тип су непобитни докази, који се најчешће добијају криминалистичким вештачењем. Други тип доказа је несигуран. Такве су на пример изјаве сведока или процене мотивација да се изврши кривично дело. Сваком од доказа се у истражном поступку може приписати одређен број индицијских бодова. Коришћење аналогије између индицијских поена и молекула гаса треба да учини истражни поступак објективнијим, јер за апсорпцију гасних молекула постоје проверени физички закони. Коришћењем метода математичке статистике у даљем делу рад тј. коришћењем максималне веродостојности уз линеарну трансформацију случајне променљиве нађене су измењене варијанте полазне густине расподеле и процењено је да оне могу да усаврше и процес и резултат истраге. У наставку је демонстрирано како се аналогија између молекула гаса и индиција може пренети и у домен избора.

Изложен је математички формализам ове аналогије и помоћу њега се указало на пут којим се може са великом вероватноћом предвидети исход гласања, ако се избор врши између два кандидата.

Математичко моделовање динамике напада компјутерских мрежа путем злонамерних програма, као и одбрана од истих, је млада и отворена област информатике. При томе се користи аналогија преузета из математичке биологије код моделовања вирусне епидемије (модел SI и модел SIR и њихове варијације). У раду је анализиран и двофакторски и PSIDR модел. Математичко моделовање ових процеса омогућава ефикасну при-

мену мера заштите, јер омогућава боље разумевање динамике ширења злонамерних програма и процену штетности које они изазивају. Мрежна форензика и алати које она користи може допринети откривању напада на мрежу и неовлашћеног приступа подацима.

Кључне речи: математичко моделовање, индицијски поени, апсорпција гаса, истражни поступак, злонамерни програми, мрежна форензика, модели SI, SIR, PSIDR.

1. УВОД

Познато је да се у криминалистици поред метода природних наука користе и опште научне методе као и математичке и статистичке методе. У овом поглављу ћемо анализирати употребу математичких и статистичких метода за моделовање реалних ситуација, које се могу наћи у пракси, и на основу њих указати на могуће путеве разрешења проблема.

Тешко је замислити савремену науку и савремени живот без примене математичког моделовања. Замена проучаваног објекта његовим ликом – математичким моделом и његовим проучавањем је суштина методологије математичког моделовања. Истраживачки рад који се обавља не на самом објекту (појави, процесу) него на његовом моделу даје могућност да се безболно и релативно брзо, без великих трошкова и, по правилу, у свим замисливим ситуацијама истражује понашање самог објекта. Основне етапе математичког моделовања су:

1) дизајнирање модела,
2) решење математичког задатка до кога доводи модел,
3) интерпретација резултата добијених из математичког модела,
4) провера адекватности модела,
5) модификација модела.

Само по себи се разуме да је овакво моделирање ефикасно. Преношење идеја и метода из једне области делатности у друге је било корисно и допринело је усавршавању и једне и друге делатности. Таквих примера има веома много, посебно у науци (Haken, 1977). Уместо коришћења примера, овде ће бити наведена општепозната чињеница да су математички методи продрли не само у друге области науке, већ и у готово све области живота и рада. Такође, треба истаћи постојање тенденције да се друштвена кретања анализирају и предвиђају на основу стандардних стохастичких физичких законитости уз примену теорије флуктуација. Ове аналогије су несумњиво корисне и могу да убрзају развој других наука, али наравно, уз једно ограничење: треба тачно утврдити до које границе могу и смеју да се користе аналогије; свако прекорачење тих граница могло би да доведе до крупних заблуда.

У овом раду биће учињен покушај да се успостави аналогија између појава апсорпције молекула гаса и друштвених проблема, као што су истражни и судски поступак и процедура гласања. Познато је да постоје два типа апсорпције: иреверзиблна и реверзибилна. Код иреверзибил-

не апсорпције, апсорбовани молекули се не враћају у средину из које су дошли, док се код реверзибилне апсорпције могу враћати и по неколико пута прелазити пут до апсорбента и назад. Сличан покушај је учињен у раду (Машковић, 2006), где је уместо иреверзибилне и реверзибилне апсорпције коришћена аналогија са струјом у R – L и L – C колу.

У истражном и судском поступку индицијски поени, којима се мере сумња или кривица, могу поуздано да одређују кривицу или невиност (ови поени добијају се на основу криминалистичког вештачења), а могу да буду и непоуздани (нпр. искази сведока). Познато је да сведоци понекад и неколико пута мењају свој исказ. Што се тиче процедуре гласања, чврсто опредељени гласачи су аналогни молекулима који се иреверзибилно апсорбују, док су неопредељени гласачи аналогон реверзибилних молекула гаса.

2. ИРЕВЕРЗИБИЛНА И РЕВЕРЗИБИЛНА АПСОРПЦИЈА

При апсорпцији гасних молекула од стране апсорбента, дуго су се занемаривали рекомбинациони ефекти и сматрало се да процес апсорпције тече у једном смеру – није се предвиђала могућност повратка молекула из апсорбента у средину из које су дошли. Овакав тип апсорпције, који је могућ нарочито у случајевима када апсорбовани молекули ступају у хемијску реакцију и једине се са молекулима апсорбента, назива се „иреверзибилна апсорпција". Пошто молекули са собом носе своју енергију, иреверзибилну апсорпцију молекула прати иреверзибилна апсорпција топлотне енергије. Притисак зависи од броја молекула, па иреверзибилна апсорпција молекула може да доведе до иреверзибилне промене притиска. На основу емпиријских чињеница, закон иреверзибилне апсорпције формулише се на следећи начин

$$n(t) = n_0 e^{-\alpha t};\ n(0) = n_0 \tag{2.1}$$

Рачунате промене броја молекула, температуре и притиска очитавају се од неке референтне вредности (Авогадров број, температура од 0 °C, атмосферски притисак итд.).

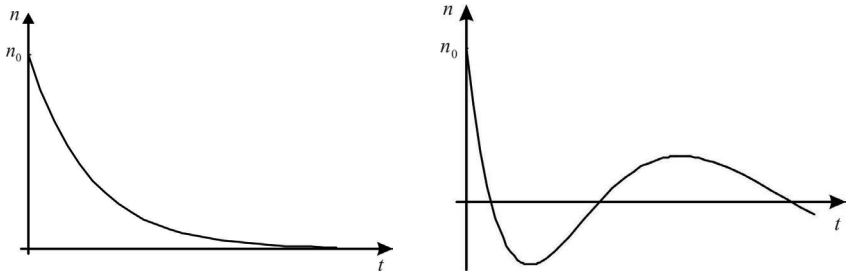
Реверзибилна апсорпција састоји се у томе да део молекула, апсорбован од стране апсорбента напушта апсорбент и враћа се у средину из које је дошао. После неког времена ти молекули поново одлазе у апсорбент и процес се периодично понавља. У раду (Timotić, 1990) формулисан је и закон реверзибилне апсорпције: промена броја молекула у времену пропорционална је временској средњој вредности броја n апсорбованих молекула:

$$\frac{dn}{dt} = -\beta \frac{1}{t} \int_0^t n(t)dt \tag{2.2}$$

Коефицијент β се назива „фреквенција реверзибилне апсоропције". Решење једначине (1.3) јесте Беселова функција нултог индекса:

$$n(t) = J_0(\sqrt{4\beta t}) \tag{2.3}$$

Беселова функција је за $t = 0$ једнака јединици, има бесконачно много нула, чији је размак приближно π и опада са временом по правилу $J_0 \approx t^{-1/2}$.

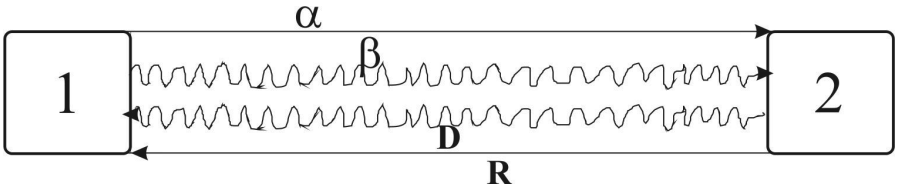


Слика 1: *График иреверзибилне апсорпције (лево) и реверзибилне апсорпције (десно)*

Као што се види, решење има квазипериодичан карактер. Микротеорија фреквенције β реверзибилне апсорпције, заснована на прорачуну вероватноће тунеловања гасне апсорпциије, дата је у (Timotic, 1991).

2.1. Прорачун броја гасних молекула у условима апсорпције

У општем случају у суду са гасом и апсорбентом одвијају се и процеси иреверзибилне апсорпције и процеси реверзибилне апсорпције. Ако је апсорбент нека веома испарљива супстанца, онда се процеси апсорпције могу одвијати у оба смера: гас-апсорбент и апсорбент-гас. Оваквој ситуацији кореспондира се марковски граф (Вукадиновић, 1970).



Слика 2: *Марковски граф за реверзибилне и иреверзибилне процесе*

Ћелија 1 графа представља део суда са гасом, а ћелија 2 апсорбент. Праве линије представљају процесе иреверзибилне апсорпције, а таласасте линије процесе реверзибилне апсорпциије. Смер апсорпције означен је стрелицом. Ако је број молекула у ћелији 1 означен са $n_1(t)$, а број молекула у ћелији 2 са $n_2(t)$ и број молекула је константан и износи n_0, онда важи релација:

$$n_1(t) + n_2(t) = n_0 = const \; n_1(0) = n_0 \; n_2(0) = n_0 \tag{2.1.1}$$

$$\frac{dn_1}{dt} = -\alpha n_1 - \frac{\beta}{t}\int_0^t n_1 dt + Rn_2 + \frac{D}{t}\int_0^t n_2 dt \tag{2.1.2}$$

$$\frac{dn_2}{dt} = \alpha n_1 + \frac{\beta}{t}\int_0^t n_1 dt - Rn_2 - \frac{D}{t}\int_0^t n_2 dt \tag{2.1.3}$$

Опште решење ове једначине је дато као (Максимовић, 1993):

$$n_1(t) = \frac{\beta+\alpha}{\beta+D+\alpha+R} n_0 e^{-(\alpha+R)t} K_\lambda[(\alpha+R)t] + \frac{\beta+\alpha}{\beta+D+\alpha+R} n_0 \tag{2.1.4}$$

где је $K_\lambda[(\alpha+R)t]$ Кумерова функција (Korn, 1961) дата као

$$K_\lambda[(\alpha+R)t] = \Gamma(\lambda+1)\sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{(-1)^\nu}{(\nu!)^2\Gamma(\lambda-\nu+1)}[(\alpha+R)t]^\nu \tag{2.1.5}$$

($\Gamma(x)$ је тзв. Ојлерова гама функција). Решења система једначина (2.1.2) – (2.1.3) су дата као

$$W_1(t) = \frac{n_1(t)}{n_0} = \frac{R+D}{\beta+D+\alpha+R}\{1 + \frac{\beta+\alpha}{R+D} e^{-(\alpha+R)t} K_\lambda[(\alpha+R)t]\} \tag{2.1.6}$$

$$W_2(t) = \frac{n_2(t)}{n_0} = \frac{\beta+\alpha}{\beta+D+\alpha+R}\{1 - e^{-(\alpha+R)t} K_\lambda[(\alpha+R)t]\} \tag{2.1.7}$$

Функција $W_1(t)$ има хоризонталну асимптоту:

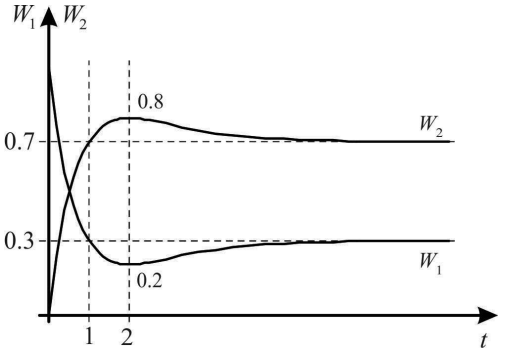
$$\lim_{t\to\infty} W_1(t) = \frac{R+D}{\beta+D+\alpha+R} \tag{2.1.8}$$

Функција $W_2(m)$ има хоризонталну асимптоту:

$$\lim_{t\to\infty} W_2(t) = \frac{\beta+\alpha}{\beta+D+\alpha+R} \tag{2.1.9}$$

У области коначних времена W_1 и W_2 могу да пресецају своју хоризонталну асимптоту и апсцисе се добијају из једначине:

$$K_\lambda[(\alpha+R)t] = 0 \tag{2.1.10}$$



Слика 3: *Вероватноће као функције времена*

2.2. Стационарни проблем

Претходне анализе показале су да бројеви честица n_1 *и* n_2 имају хоризонталне асимптоте. То значи да се при великим вредностима m, тј. по истеку довољно великих времена, бројеви n_1 и n_2 веома слабо мењају у времену. Због тога се у анализама овог типа често користи стационарна апроксимација, која је добра за велика времена и значи $n_1 \approx const$ и $n_2 \approx const$

$$n_1 = \frac{(R+D)n_0}{\beta+\alpha+R+D};\quad n_2 = \frac{(\beta+\alpha)n_0}{\beta+\alpha+R+D} \tag{2.2.1}$$

Као што се могло претпоставити, решења стационарног проблема су хоризонталне асимптоте функција $n_1(t)$ и $n_2(t)$.

2.3. Индицијски бодови у истражном поступку. Истражни поступак против једног осумњиченог лица

Ма како то изгледа чудно, може се установити аналогија између понашања гаса у суду са апсорбентом и истражног поступка. За молекуле гаса је показано да се могу двојако апсорбовати: иреверзибилно и реверзибилно. При реверзибилној апсорпцији једном апсорбовани молекули се не враћају у део суда из ког апсорбовани. У случају реверзибилне апсорпције молекули могу више пута да се крећу између апсорбента и простора из ког су апсорбовани.

У истражном поступку истражни материјал се може разделити на индицијске поене (индицијски бодови). Ови индицијски бодови аналогни су молекулама гаса. Истражни материјал састоји се од два типа доказа. Један тип су непобитини докази, који се најчешће добијају криминалистичким вештачењем. Други тип доказа је несигуран. Такве су на пример изјаве сведока или процене мотивација да се изврши кривично дело.

Сваком од доказа се у истражном поступку може приписати одређен број индицијских бодова.

Ако се истражни поступак води против једног лица, онда постоје две могућности: „крив“ или „није крив“. Свакој од ових могућности припише се једна ћелија марковског графа. Индицијски поени током времена скупљају се у ћелији „крив“ и „није крив“. Индицијски поени добијени на основу непобитних доказа, када једном уђу у ћелију више из ње не излазе. Ово је аналогија са иреверзибилном апсорпцијом гасних молекула. Индицијски поени који доспевају у једну ћелију на бази несигурних доказа, могу из ње да се врате и пређу у другу ћелију. За пример се може узети ситуација кад сведок мења исказ. Кретање индицијских поена на бази несигурних доказа веома је слично процесима реверзибилне апсорпције гасних молекула.

Коришћење аналогије између индицијских поена и молекула гаса треба да учини истражни поступак објективнијим, јер за апсорпцију гасних молекула постоје проверени физички закони, као што је наведено у првом делу.

Марковски граф истражног поступка је исти као на слици 2, па се овде неће понављати. Са $n_1(t)$ означен је број индицијских бодова за могућност „крив“, а са $n_2(t)$ означен је број индицијских бодова за могућност „није крив“.

$$n_1(0) = n_{10}; n_2(0) = n_{20}; n_{10} + n_{20} = n_0 \tag{2.3.1}$$

Систем једначина типа (2.1.2) – (2.1.3) решаван је за почетне услове

$$W_1(\theta) = W_1(0)e^{-\theta}K_\lambda(\theta) + W_1(\infty)[1 - e^{-\theta}K_\lambda(\theta)] \tag{2.3.2}$$

$$W_2(\theta) = W_2(0)e^{-\theta}K_\lambda(\theta) + W_2(\infty)[1 - e^{-\theta}K_\lambda(\theta)] \tag{2.3.3}$$

Употребљене ознаке су:

$$W_1(0) = \frac{n_{10}}{n_0}; W_2(0) = \frac{n_{20}}{n_0}; W_1(\infty) = \frac{1}{1+\rho}; W_2(\infty) = \frac{\rho}{1+\rho}; \rho = \frac{\beta+\alpha}{D+R}; \theta = (\alpha+R)t \tag{2.3.4}$$

Најобјективнији резултат истражног поступка дају вероватноће по истеку бесконачног времена, значи $W_1(\infty)$ и $W_2(\infty)$. Пошто истражни поступак траје одређен (коначан) период, питање „крив” или „није крив” решава се на основу вероватноћа $W_1(\theta)$ и $W_2(\theta)$. Пошто сама процедура рачуна дозвољава да се нађу хоризонталне асимптоте $W_1(\infty)$ и $W_2(\infty)$, истражник може на основу вредности ових асимптота дати објективну процену у којој мери је осумњичени крив или није крив.

Из наведених израза за вероватноће „крив” и „није крив”, види се да битну улогу у одређивању њихових вредности играју фреквенције α, β, P и D. У (Максимовић, 1993) предложен је начин израчунавања ових фреквенција. Овде ће бити изложен начин одређивања фреквенције β, а све остале се одређују на аналоган начин.

Ако се са $n(0)$ означи почетни број индицијских бодова који терете осумњиченог, под приливом недовољно поузданих информација у корист осумњиченог тај број током следећег дана опада за вредност $\overline{n}_1(0)$, а број $\overline{n}_1(0)$ се под приливом информација истог типа смањује до вредности $\overline{n}_2(0)$. Између i-тог и $(i+1)$-ног дана број индицијских бодова опада од вредности $\overline{n}_1(i+1)$ итд. Коефицијент β_{i+1}, који одговара промени индицијских бодова између i-тог и $(i+1)$-ног, израчунава се по формули:

$$\beta_{i+1} = \frac{\overline{n}_1(i) - \overline{n}_1(i+1)}{\overline{n}_1(i)} \tag{2.3.5}$$

док је коефицијент β, аритметичка средина величине β_i, током N дана:

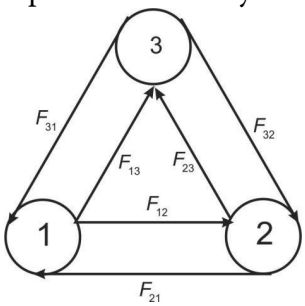
$$\beta = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}\beta_{i+1} \tag{2.3.6}$$

Пошто N у (2.3.6) представља број дана, реверзибилна фреквенција β дата је у реципрочним данима.

2.4. Истражни поступак против већег броја осумњичених лица

Ако се истражни поступак води против M лица, онда одговарајући марковски граф има (M+1) ћелија, при чему додатна ћелија одговара случају „нико није крив". Ћелија у којој се током истражног поступка покупи највише индицијских бодова означава најсумњивије лице односно највероватнијег починиоца криминалног акта.

Проблем са већим бројем осумњичених лица веома је тежак за тачно решавање, јер се своди на систем од (M+1) интегродиференцијалних једначина. Због тога се такви проблеми решавају у стационарној апроксимацији, $dn/dt = 0; i = 1, 2, 3..., M+1$ која је, као што је познато добра тек по истеку довољно времена (Вукадиновић, 1970). Овде ће бити обрађен проблем са два осумњичена лица, а затим ће бити наведена упутства за решавање општег проблема са M осумњичених лица.



Слика 4: *Марковски граф за два осумњичена лица*

Ћелија 1 одговара једном од осумњичених лица, ћелија 2 другом, а ћелија 3 случају да ни 1 ни 2 нису криви и да треба тражити друге осумњичене. Величине F_{ij} су растерећујуће фреквенције. Фреквенција којој одговара излазна стрелица из ћелије је растерећујућа фреквенција за ту ћелију (смањује сумњу). Фреквенција којој одговара улазна стрелица у ћелију је оптерећујућа фреквенција за ту ћелију (повећава сумњу). Вероватноћа да је лице 1 криво означена је са W_1, вероватноћа да је лице 2 криво са W_2, док је W_3 вероватноћа да ни једно од поменутих лица (1 и 2) није криво. Систем једначина који се добије на основу графа са слике 4 у стационарној апроксимацији има облик:

$$(F_{12}+F_{13})W_1 - F_{21}W_2 - F_{31}W_3 = 0 \tag{2.4.1}$$

$$-F_{12}W_1 + (F_{21}+F_{23})W_2 - F_{32}W_3 = 0 \tag{2.4.2}$$

$$-F_{13}W_1 - F_{23}W_2 + (F_{31}+F_{32})W_3 = 0 \tag{2.4.3}$$

Вероватноће W_1 и W_2 и W_3 задовољавају услов:

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1 \tag{2.4.4}$$

Тако се добијају коначни изрази за вероватноће:

$$W_1 = \frac{1}{1+\frac{\rho_2}{\rho_1}+\frac{1}{\rho_1}} \quad W_2 = \frac{1}{1+\frac{\rho_1}{\rho_2}+\frac{1}{\rho_2}} \quad W_3 = \frac{1}{1+\rho_1+\rho_2} \tag{2.4.5}$$

$$\rho_1 = \frac{F_{21}F_{31}+F_{21}F_{32}+F_{23}F_{31}}{F_{12}F_{23}+F_{13}F_{21}+F_{13}F_{23}} \geq 0 \;\; \rho_2 = \frac{F_{12}F_{31}+F_{12}F_{32}+F_{13}F_{32}}{F_{12}F_{23}+F_{13}F_{21}+F_{13}F_{23}} \geq 0 \tag{2.4.6}$$

Као што се види, процена вероватноћа битно зависи од фреквенција F_{ij}. Пошто се ради о стационарним процесима, у F_{ij} улазе збирови реверзибилних (β, D) и иреверзибилних (α, R) фреквенција. Оне се, према сугестији из рада Максимовића из 1993. године, рачунају као средње вредности за N дана, како је то напред изложено. На крају треба рећи да, ако се истражни поступак води против лица, онда се мора формирати $(M+1)$ једначина за вероватноће, при чему је само M једначина међусобно независна. Систем од M једначина решава се тако што се претпостави да је једна од вероватноћа позната. Све остале вероватноће изразе се преко те вероватноће и онда се користи услов $W_1 + W_2 + W_3 + \ldots + W_M + W_{M+1} = 1$. На тај начин добије се свих $(M+1)$ вероватноћа (Јаћимовски, 2009).

3. ПРИМЕНА МАТЕМАТИЧКЕ СТАТИСТИКЕ У ИСТРАЖНОМ МЕТОДУ

На основу овога за број сигурних индицијских поена (добијају се форензичким истраживањима) користиће се формула (Машковић, 2006):

$$N = N_0 e^{-\alpha x} \tag{3.1}$$

док ће се за број несигурних индицијских поена (изјаве осумњичених или сведока) користити формула

$$M = M_0 \cos \beta x \tag{3.2}$$

Основу за формулисање статистичке расподеле осумњичених за преступ представља чињеница да се од n лица известан број од k лица ($k < n$) може осумњичити за преступ са вероватноћом p, при чему је $0 < p < 1$, док се остатак од $n - k$ лица може ослободити сумње. На основу тога, густина расподеле осумњичених за преступ је пропорционална величини p^k. Величина p се третира као случајна варијабла, док је број осумњичених лица k параметар расподеле. Нормирана расподела за овај случај је дата као (Машковић, 2006):

$$\rho_k = k e^{-kx}; \quad \int_0^\infty \rho_k(x)\,dx = 1; \quad x = -\ln p \tag{3.3}$$

У пракси се веома ретко догађа да се у скупу од k осумњичених налази кривац са вероватноћом p. Много је чешћи случај да су за исто k вероватноће различите и да припадају скупу $p_1, p_2, ..., p_\mu, ..., p_n$. То значи да, у складу са оним што је напред речено, уместо једне случајне променљиве X имамо скуп од n случајних променљивих $X_1, X_2, ..., X_\mu, ..., X_n$ којима одговарају густине вероватноће $\rho_k(x_1), \rho_k(x_2), ..., \rho_k(x_\mu), ..., \rho_k(x_n)$. У оваквој ситуацији природно се поставља питање колика је величина скупа осумњичених која најбоље репродукује ситуацију. Највероватнија (оптимална) вредност скупа осумњичених лица је:

$$k = \left(\frac{1}{n}\sum_{\mu=1}^{n} x_\mu\right)^{-1} \tag{3.4}$$

Види се да је оптимално k реципрочна вредност аритметичке средине вредности x_μ које узимају случајне променљиве X_μ. Уколико истражни орган није задовољан добијеном оптималном расподелом, он може да тражи неку реалнију расподелу. У том циљу он прелази од случајне променљиве X на случајну променљиву Y линеарном трансформацијом:

$$X = AY + B; \quad Y = X/A - B/A \tag{3.5}$$

Нормирана густина расподеле за овај случај

$$\rho_a(x_\mu) = k(1+a)e^{-k(1+a)x_\mu}; a > 0; a = -\ln A \tag{3.6}$$

Нормирана густина расподеле за случај када је константа B негативна, тј. $B \to -|B|$ дата је као

$$\rho_b(x_\mu) = k(1-b)e^{-k(1-b)x_\mu}; 0 < b < 1; b = \ln A \tag{3.7}$$

Поставља се питање: шта у ствари значи прелаз на нову случајну промењљиву. Добијени резултати показују да се број осумњичених лица од k по полазној расподели мења на $k(1+a)$ односно на $k(1-b)$. Са тачке гледишта истраге, та промена се постиже убрзавањем истраге и селекцијом сигурних индицијских поена у односу на несигурне. Интересантно је да убрзање истраге појачава расподелу ρ_a, а смањује расподелу ρ_b, што је такође корисно јер повећано ρ_b указује да се истрага случајно или силом прилика углавном користила несигурним индицијским поенима. Средње вредности вероватноћа налажења кривца по расподелама ρ_k, ρ_a, ρ_b су дате као:

$$\langle p\rangle_k \le e^{\frac{1}{k}}; \langle p\rangle_a \le e^{\frac{1}{k(1+a)}}; a > 1; \langle p\rangle_b \le e^{\frac{1}{k(1-b)}}; 0 < b < 1 \tag{3.8}$$

Види се да је $\langle p\rangle_a$ ближе јединици него $\langle p\rangle_k$, док је $\langle p\rangle_b$ даље од јединице него $\langle p\rangle_k$. То значи да убрзањем истраге и коришћењем углавном сигурних индицијских поена можемо сузити круг осумњичених. Уколико се круг не сужава већ шири, то значи да је истрага ишла погрешним путем и да се убрзавало углавном помоћу несигурних индицијских поена. Очигледно је да расподела ρ_a може да сузи круг осумњичених у односу на расподелу $\rho_к$. Као пример ћемо посматрати случај када се по расподели $\rho_к$ кривац налази у кругу од 10 осумњичених. Ако се користи расподела ρ_a за $a = 1$, добија се да се са истом вероватноћом кривац налази у кругу само пет лица.

Истрага је најуспешнија ако се сви постојећи докази узму у обзир. То се практично никада не постиже. Најреалније бројеве сигурних и несигурних индицијских поена добијамо усредњавањем вредности за N и M по расподелама ρ_k, ρ_a, ρ_b. Средње вредности за сигурне поене износе

$$\langle N\rangle_k = N_0\frac{1}{1+\frac{\alpha}{k}}; \langle N\rangle_a = N_0\frac{1}{1+\frac{\alpha}{k(1+a)}}; a > 0; \langle N\rangle_b = N_0\frac{1}{1+\frac{\alpha}{k(1-b)}}; 0 < b < 1 \tag{3.9}$$

док одговарајуће средње вредности за несигурне поене износе

$$\langle M\rangle_k = M_0\frac{1}{1+\frac{\beta^2}{k^2}}; \langle M\rangle_a = M_0\frac{1}{1+\frac{\beta^2}{k^2(1+a)^2}}; \langle M\rangle_b = M_0\frac{1}{1+\frac{\beta^2}{k^2(1-b)^2}} \tag{3.10}$$

Анализа наведених формула показује да се по расподели (3.6) највећи број поена (и сигурних и несигурних) укључи у истрагу. То другим речима значи да се коришћењем расподеле (3.6) постиже најобјективнији исход истраге. Пошто смо анализом очекиваних вредности и анализом средњег

броја индицијских поена закључили да у истрази треба користити расподелу (3.6), преостаје да се реши још један за истрагу веома важан проблем, а то је питање како треба вредновати несигурне индицијске поене у односу на сигурне. Критеријум вредновања не сме зависити од почетних бројева сигурних и несигурних индицијских поена. Фактор претварања несигурних индицијских поена у сигурне дефинисаћемо као:

$f = \lim_{\beta \to \sqrt{\alpha}} \frac{N_0^{-1} N}{M_0^{-1} M}$, што за одговарајуће расподеле даје:

$$f_k = \frac{1}{k} \frac{k^2 + \alpha^2}{k + \alpha}; \; f_a = \frac{1}{k(1+a)} \frac{k^2(1+a)^2 + \alpha^2}{k(1+a) + \alpha}; \; f_b = \frac{1}{k(1-b)} \frac{k^2(1-b)^2 + \alpha^2}{k(1-b) + \alpha} \quad (3.11)$$

Пошто су несигурни индицијски поени мање вредни од сигурних, сви фактори претварања (3.11) морају бити мањи од јединице. На основу тога следи респективно: фактор претварања $f_к$ се може користити ако је $k > 1$, тј. $k = 2, 3, 4...$, фактор претварања f_a се може користити ако је $k \geq 1$, тј. за све вредности $k = 1, 2, 3...$, а фактор претварања f_b се може користити ако је $k > (1-b)^{-1}$.

Пошто је $0 < b < 1$, јасно је да се фактор f_b може користити само за веће скупове k осумњичених лица. Рецимо, ако је $b = 0{,}99$ онда је $k > 100$, што значи да фактор f_b може да се користи тек кад скуп осумњичених лица премаши број 100.

1) Вероватноћа да кривац припада кругу од k осумњичених лица третира се као случајна променљива са експоненцијалном густином распада.
2) Коришћењем метода максималне веродостојности уз линеарну трансформацију случајне променљиве нађене су измењене варијанте полазне густине расподеле и процењено је да оне могу да усаврше и процес и резултат истраге.
3) Коришћењем аналогије са процесима иреверзибилне и ревирзибилне апсорпције гаса нађене су формуле за промену броја сигурних индицијских поена (они се добијају форензичким истраживањима) и за промену броја несигурних индицијских поена (они се добијају из изјава сведока и изјава осумњичених лица).
4) Дефинисан је критеријум вредновања несигурних индицијских поена у односу на сигурне.

4. ПРОГНОЗА ИСХОДА ГЛАСАЊА НА ОСНОВУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ГРУПЕ

Потпуно је очигледно да се аналогија између молекула гаса и индиција може пренети и у домен избора (Јаћимовски, 2009).

Сигурни гласови за кандидате одговарају молекулима који се иреверзибилно апсорбују, док гласови оних који се нису дефинитивно определи-

ли одговарају молекулима гаса који се реверзибилно апсорбују. Овде ће бити изложен математички формализам те аналогије и помоћу њега ће се указати на пут којим се може са великом вероватноћом предвидети исход гласања ако се избор врши између два кандидата.

У изборном телу постоји известан број гласача који су дефинитивно опредељени за једног од кандидата. Неки други број гласача ће сигурно гласати за другог кандидата. На основу ове чињенице целисходно је увести максималан број дефинитивно опредељених гласача, али такав да половина тог броја припада једном, а друга половина другом кандидату. Овај број биће обележен са N_0 и представљаће аналогију са бројем молекула који у затвореном суду стварају атмосферски притисак. Ако укупно гласачко тело има N гласова, при чему је $N > N_0$, онда разлика:

$$N - N_0 = n_0 \tag{4.1}$$

може да се упореди са вишком молекула у суду који ствара натпритисак. Очигледно је да варирање гласова у оквиру броја n_0 решава исход гласања. Ако се са $n_A(t)$ обележи број гласова које добија кандидат А, а са $n_B(t)$ број гласова за кандидата В, може се узети да је: $n_A(t) + n_B(t) = n_0$. Промена бројева $n_A(t)$ и $n_B(t)$ у времену даје систем једначина

$$\begin{aligned}
\dot{n}_A &= -\alpha n_A - \frac{\beta}{t}\int_0^t dt\, n_A + Rn_B + \frac{D}{t}\int_0^t dt\, n_B \\
\dot{n}_B &= -\alpha n_A - \frac{\beta}{t}\int_0^t dt\, n_A - Rn_B - \frac{D}{t}\int_0^t dt\, n_B
\end{aligned} \tag{4.2}$$

Уз почетни услов $n_A(0) = n_{0A}; n_B(0) = n_{0B}; \quad n_{0A} + n_{0B} = n_0$

Овај систем једначина је еквивалентан систему једначина (2.1.2) – (2.1.3). Решења су иста и изражена су преко Кумерових функција. За стационаран случај вероватноће избора кандидата А односно кандидата В означене су са W_A и W_B и дате су следећим изразима:

$$W_A = \frac{R + D}{\alpha + \beta + R + D}; \quad W_B = \frac{\alpha + \beta}{\alpha + \beta + R + D} \tag{4.3}$$

Као што се види, вероватноће избора W_A и W_B зависе искључиво од апсорпционих коефицијената α, β, R и D. Ти коефицијенти се могу одредити или прецизније проценити на основу узастопног тестирања узорка, који представља одређену групу гласача.

4.1. Одређивање коефицијената иреверзибилног и реверзибилног кретања гласова

Одабере се група од *G* гласача, од којих половина изјави да ће гласати за кандидата *A*, а друга половина да ће гласати за кандидата *B*. Та група гласача тестира се *M* пута у једнаким временским интервалима. При

тестирању може да се деси да се смањи број гласова за кандидата *A*, а да је смањење броја гласова за кандидата *B* једнако нули. Тестови са оваквим резултатом узимају се у обзир при одређивању величина α, β, R и D, јер је за линију α задужена једносмерност кретања гласова. Исто важи и за смањење броја гласова за кандидата *B*: у прорачун се укључују само они тестови где је смањење гласова за кандидата *A* једнако нули. Овим се одржава једносмерност линије α (на графу слика 2). Јасно је да могу да буду различити од нуле и смањење броја гласача за кандидата *A* и смањење броја гласача за кандидата *B*, али се овакви резултати тестова не узимају у обзир, јер не одржавају једносмерност линија α, односно *R*. Уколико су група гласача и број тестирања већи, и резултати за коефицијенте α, β, R и D биће веродостојнији. Реално је претпоставити да експериментална група има око 1000 гласача и да актуелних тестова има најмање 10.

Ако се у тренутку времена t_K, констатује да се број гласача за кандидата *A* смањио за вредност Δ_A у односу на претходно тестирање, онда се број гласача за кандидата *B* повећава за вредност $\tilde{\Delta}_B$, при чему не мора бити $\Delta_A = \tilde{\Delta}_B$, јер се од Δ_A гласача један део определи за кандидата *B*, а други део остаје неопредељен. Ако се у M_A тренутака констатује смањење броја гласача за кандидата *A*, онда у преосталих $M - M_A$ тренутака може да се констатује повећање броја гласача за кандидата *A*, односно смањење броја гласача за кандидата *B*. Повећања броја гласача за кандидата *A*, биће означено са $\tilde{\Delta}_A$, док ће смањења броја гласача за кандидата *B* бити означено са Δ_B Коефицијент реверзибилних процеса одређује се тако што се збир смањења Δ_K дели бројем тестова, где се појављује смањење и множи фреквентним фактором G/T, где је T укупно време вршења тестова и обично износи три до шест месеци. На основу тога је:

$$\alpha = \frac{\sum_{K=1}^{M_A} \Delta_{KA}}{M_A} \frac{G}{T}; \quad R = \frac{\sum_{K=1}^{M-M_A} \Delta_{KB}}{M - M_A} \frac{G}{T} \tag{4.1.1}$$

За коефицијенте реверзибилних процеса, по дефиницији ових прописа, морају се узети у обзир смањења и повећања броја гласова. Због тога се реверзибилни коефицијенти β и D одређују као апсолутна вредност збира, повећања умањеног за збир смањења, која се дели актуелним бројем тестова M и множи фреквентним фактором

$$\alpha = \frac{\left| \sum_{K=1}^{M-M_A} \tilde{\Delta}_{KA} - \sum_{K=1}^{M_A} \Delta_{KA} \right|}{M} \frac{G}{T}; \quad R = \frac{\left| \sum_{K=1}^{M_A} \tilde{\Delta}_{KB} - \sum_{K=1}^{M-M_A} \Delta_{KB} \right|}{M} \frac{G}{T} \tag{4.1.2}$$

Формуле (4.1.1) и (4.1.2) су фундаменталне за прогнозирање исхода избора.

Илустративни пример: Узорак са 1.000 гласача тестира се десет пута у једнаким временским интервалима. Време анализа ове експерименталне групе је четири месеца; T = 86.400 x 120 = 10.308.000 s; G/T= 9,645 10^{-5} Hz.

Табела 1: *Узорак од 1.000 гласача тестиран десет пута*

Редни број теста	*A*	Неопредељени	*B*	Неопредељени
0	500		500	
1	$\Delta_{1A}=5$	2	$\Delta_{1B}=3$	
2	$\Delta_{2A}=4$	3	$\Delta_{2B}=1$	
3	$\Delta_{3A}=6$		$\Delta_{3B}=10$	4
4	$\Delta_{4A}=2$		$\Delta_{4B}=2$	
5	$\Delta_{5A}=4$		$\Delta_{5B}=5$	1
6	$\Delta_{6A}=6$	3	$\Delta_{6B}=3$	
7	$\Delta_{7A}=2$		$\Delta_{7B}=4$	2
8	$\Delta_{8A}=10$	3	$\Delta_{8B}=7$	
9	$\Delta_{9A}=4$		$\Delta_{9B}=4$	
10	$\Delta_{10A}=2$		$\Delta_{10B}=2$	

На основу формула (4.1.1) и (4.1.2) налазимо да је

$$\alpha=\frac{5+4+2+6+10+2}{6}\cdot 9,645\cdot 10^{-5}=4,66\cdot 10^{-4}\,Hz$$

$$R=\frac{10+5+4+4}{6}\cdot 9,645\cdot 10^{-5}=5,55\cdot 10^{-4}\,Hz$$

$$\beta=\frac{\left|6+4+2+4-(5+4+2+6+10+2)\right|}{10}\cdot 9,645\cdot 10^{-5}=1,25\cdot 10^{-4}\,Hz$$

$$D=\frac{\left|3+1+2+3+7+2-(10+5+4+4)\right|}{10}\cdot 9,645\cdot 10^{-5}=9,645\cdot 10^{-4}\,Hz$$

Вредности вероватноћа избора су

$$W_A=\frac{6,4145}{12,405}=0,525;\quad W_B=\frac{5,91}{12,405}=0,475 \tag{4.1.3}$$

што значи да треба очекивати тесну изборну победу кандидата А.

5. САЈБЕР КРИМИНАЛ

Због отворености Интернета и огромног броја његових корисника[2] створене су могућности за нове облике криминалних активности везаних за употребу рачунара и информатичких технологија. Стога је та глобална комуникациона мрежа постала веома несигурна.

Колико је сајбер криминал у свету узео маха, говори нам податак да је 2004. година била прекретница и да је у тој години путем сајбер криминала „зарађено" преко 105 милијарди USD, што је много више од прихода од продаје дрога у тој години. Према статистикама, најмање је кривичних дела из области „пресретања комуникација", док је највише „упада у системе" и „ширења вируса и црва". Истраживања која спроводи FBI заједно са CSI показала су да је чак 90% испитаника (корпорација, банака, владиног сектора) било на неки начин изложено некој од врста напада. Губици су изражени у стотинама милиона долара. Највећи проблем је изазиван ширењем вируса (85% испитаника), а од тога је „свега" 25% напада дошло споља. Од укупног броја испитаника, „свега" 8% је признало да су им украдени важни подаци (Ćosić, 2010).

Бројни су начини на који малициозне технологије (malware) могу угрозити рачунарске информационе системе. Иако је највећи број злонамерних програма намењен Windows платформама (најчешћа мета напада је Windows XP), нису безбедне ни UNIX, Linux и друге. Термин „малвер" (malware) потиче од енглеских речи malicious (злонамерни) и software (програм). Малвери су програми који имају способност усељавања у рачунарски систем без знања и одобрења његовог корисника. Имајући у виду штету која се односи на непотребно заузимање меморијског простора, у исте спадају и они програми који не наносе директну штету системима већ постоје да би њихов аутор испробао методе ширења, као и они који су иначе корисни али могу да се употребе злонамерно.

Ови програми најчешће доспевају у оперативне системе на следеће начине (Новаковић, 2011):

- копирањем зараженог програма са мобилног медија;
- преко LAN мреже или преузимањем са Интернета путем FTP, NT;
- преко дељених директоријума на мрежи;
- посредством TR, неког од R2R протокола и слично;
- помоћу отворених TCP и/или UDP портова који омогућавају извршење удаљеног кода на жртви;
- преко *peer-to-peer* (R2R) мреже;
- путем и-мејл *attachment*-а;
- посредством *Internet Messaging* (IM) сервиса;
- путем малициозних *ActiveX*, *Java* и *Javascript* програма односно других малвера који преузимају злонамерни кôд с неке локације на Интернету и инсталирају га на жртви;

2 У јуну 2010. године регистровано је 1,97 милијарди Интернет корисника. У децембру 2010. године регистровано је 225 милиона веб-сајтова.

- искоришћавањем сигурносног пропуста у систему (користећи *exploite*); на пример, путања којом се шире црви (*worms*);
- преко мултимедијалних фајлова који у себи садрже такав низ података да искоришћавају пропусте у клијентским апликацијама система. Такав случај је и једна верзија библиотеке, *gdiplus.dll*, дела оперативног система *Windows* XP у некој од ранијих верзија.

Заједничко за све врсте малвера је да се шире углавном без обзира на вољу корисника, осим уколико исти из неког разлога жели да „зарази" одређени систем да би га угрозио.

Мотиви за овакво понашање неких корисника могу бити различити, а најчешће су:

- преношење разних порука (политичких, личних, па чак и тотално бесмислених);
- разни облици шпијунаже, посебно индустријске;
- едукативни;
- доказивање у хакерском свету;[3]
- крађа новца електронским путем;
- финансијска корист истраживањем понашања корисника ради њиховог сврставања у одређену циљну групу. Према стеченим сазнањима, носилац малициозне активности им пласира одређене рекламе и друге циљане садржаје.

Због њиховог свакодневног модификовања и појаве нових врста, не постоји јединствена и научно систематизована класификација непожељних програма. Разликују се према томе какву штету наносе, како се извршавају и умножавају. Међутим, разлике између типова малвера нису увек тако јасно дефинисане, многе се врсте „преплићу", па се може закључити да постоје и „мешовити" *malware* програми који садрже особине више врста.

Вируси, црви и тројански коњи су вероватно најпознатије врсте злонамерних програма који се користе у нападу на рачунарске системе. Свој публицитет стекли су захваљујући великој распрострањености и штети коју наносе рачунарској индустрији. Иако доста слични, сваки од тих злонамерних програма делује различито.

Вируси су врста злонамерних програма који се извршавају на корисниковом рачунару без његовог знања. Вируси за своје ширење користе легитимне програме на које додају свој додатак који ће се приликом покретања зараженог програма такође извршити. Код извршавања зараженог програма извршава се и злонамерни кôд и корисници често нису свесни да су заражени вирусом.

Црву, за разлику од вируса, није потребна помоћ корисника да би се проширио на остале рачунаре у мрежи. Он за то обично користи недостатке оперативног система или одређених апликација. Сама природа црва много је деструктивнија од вируса, јер брзина њиховог ширења не зависи од корисника. Они у врло кратком року могу да заразе хиљаде рачунара.

3 У компјутерском жаргону термин „хакер" (*hacker*) означава лице које брзо ускаче у компјутерску мрежу и још брже из ње искаче.

Тројански коњи су злонамерне апликације које се представљају као нормалне корисничке апликације. Немају методу ширења као црви и вируси, него корисник мора сам да их инсталира и покрене на рачунару. Када су покренути, тројански коњи су у могућности да отворе позадинска врата (*back door*) и на тај начин потенцијалном нападачу отворе несметан приступ рачунару.

6. МОДЕЛОВАЊЕ ШИРЕЊА ЗЛОНАМЕРНИХ ПРОГРАМА

Напад на мреже путем малициозног програма званог „црв“ (*worm*) данас је највећа опасност за мрежну безбедност. Овај облик наношења штете доводи до директних финансијских губитака, а служи и као основа за реализацију других опасних претњи, као што су неовлашћен приступ подацима, крађа личних и корпоративних информација итд. Постојећа средства заштите не могу се у потпуности носити са епидемијама које овај малициозни кôд изазива, те се стога као императив намеће креирање нових система детекције и заштите, који су способни да предупреде настанак епидемије или да је држе у почетном стадијуму. За решавање овог задатка неопходно је знати како да се моделује епидемија коју изазива црв, да би се она детаљно проучила и да би се анализирале чињенице који утичу на њено ширење, као и да би се дефинисали могући механизми ране детекције и заштите.

Између ширења епидемија компјутерских злонамерних програма („вируса“) и епидемија биолошких болести постоји пуно заједничких елемената. Први радови који су предвиђали креирање мултиплицирајућих програма довели су до аналогије између компјутерских и биолошких вируса. Биолошки и компјутерски злонамерни програми нису независни ентитети, њима је неопходно да се „прикаче“ на ћелију домаћина (програм или датотеку у случају компјутерских злонамерних програма) да би могли да опстану и да се репродукују. Када се заражени програм стартује, злонамерни програм улази у меморију рачунара и одатле копира свој код. Из ових чињеница следи да је за случајеве ширења компјутерских злонамерних програма било природно користити методе за анализу ширења инфективних болести.

Још у XIX веку су за проучавање инфективних болести разрађени епидемиолошки модели засновани на системима диференцијалних једначина. Ти модели, иако прилично груби и једноставни, омогућавали су доношење низа важних закључака о самој епидемији. Крајем осамдесетих и почетком деведесетих година XX века истраживачи у IBM корпорацији (J. O. Kephant и S. R. White) користили су ове биолошке моделе за проучавање ширења компјутерских злонамерних програма у компјутерским мрежама, иако глобалне мреже као што је Интернет нису постојале. При томе су за моделовање вирусне епидемије користили аналогију преузету из математичке биологије (модел *SI* и модел *SIR*). Ово је нарочито постало актуелно после појаве злонамерних програма као

што су црви (*worms*): CODE RED I, CODE RED II, NIMDA, SLAMMER... (Garetto, 2003; Komninos, 2007; Zhou, 2002; Zhou, 2003; Staniford, 2002). Њихова специфичност у односу на остале малвере је то што су фокусирани на ширење на остале рачунаре у оквиру мреже, а не само у оквиру једног рачунара. Док је за пренос класичних малвера са једног рачунара на други потребна нека врста људске акције (пренос путем и-мејла, дискете, USB-а итд.), црви су много независнији. Они сами осматрају мрежу у потрази за рачунарима са безбедносним пропустима-рупама (*security hole*). Када пронађу овакав рачунар, они се копирају кроз те рупе и почињу да се шире. Црви се шире изузетно брзо и у стању су да онеспособе рад читаве мреже у року од пар сати. Црву *Code-Red (CRv2)* било је потребно само 14 часова да зарази више од 359.000 рачунара повезаних на интернет (Zhou, 2003). Процењује се да је штета од те епидемије прешла цифру од 2,6 милијарди америчких долара.

Табела 2: *Најпознатији злонамерни програми типа „црв“ (Маринковић, 2008)*

Име црва	Време појаве	Мета напада	Карактеристике
Morris	1988	Unix	Овај црв је онеспособио главне компоненте раног интернета, заузимајући новинске наслове широм света.
Mellisa	1999	Microsoft Outlook	Ширење преко *Outlook*-а, и-мејл клијента *Microsoft*-а и инфицирање макроа, DOC фајлова.
The Love bug	2000	Microsoft Outlook	*Visual Basic script* црв, који се ширио преко *Outlook*-а, и-мејл клијента *Microsoft*-а, натерао је неке фирме да се дисконектују са интернета на неколико дана док не прође олуја.
Ramen	2001	Linux	Освојио је системе помоћу три пропуста у њима. Након инсталације је избацивао поруку *Hackers loooove nudles*, у грубом преводу „Хакери воле резанце” – воле их и други људи, али нису направили црва у њихову част.
Code Red	2001	*Windows* веб-сервери	Овај искључиво вирулентан црв заразио је преко 250.000 рачунара за мање од девет сати, планирао је *flood* напад на сајт Беле куће, www.whitehouse.gov.
Nimbda	2001	IE, дељиве фајлове, веб-сервере, Outlook	Овај *multiexploit* црв има преко дванаест различитих механизма ширења. Појавио се само недељу дана после терористичког напада 11. септембра и један је од најозлоглашенијих црва према штети и паници коју је изазвао.
Klez	2002	*Outlook* и дељиви фајлови	Направио је мали корак према полиморфизму рандомизацијом и-мејл субјеката и атачмент фајловима. То је први црв који је покушао онеспособљавање антивирусних производа.
Slapper	2002	*Linux*	Ширио се преко мреже захваљујући пропусту у *Secure Sockets Lazer* (SSL), коду који је коришћен од *Apache* веб сервера. Док се ширио правио је P2P DOS (*denial-of-service*) мрежу, чекајући од творца команду да лансира масовни *flood* напад
SQL Slammer	2002	*Windows* QL сервер	Овај мали зли програм ширио се веома ефикасно, прекидајући велики део јужнокорејске интернет везе на неколико сати. Искључио је на хиљаде машина за подизање новца у Северној Америци.

У епидемиологији се проучавају два основна модела: стохастички и детерминистички. Стохастички се примењује за проучавање малих и изолованих популација, у којима велику улогу имају случајне осцилације вероватноћа заражених индивидуа. Детерминистички модели описују епидемиолошке процесе на нивоу целе популације. Као основну претпоставку користимо чињеницу да је сусрет било које две јединке једнако вероватан – користимо хипотезу хомогеног мешања јединки популације. Претпоставља се да је контакт између заражених и подложних зарази (*susceptible*) константан и независан од могуће хетерогености система. Такође, јединке могу прелазити само између одељака, а нове јединке не могу долазити. Ради једноставности анализе ширења инфекција, специфичности које се односе на поједине индивидуе се занемарују. Сматра се да се свака индивидуа може наћи у једном од неколико стања.

За ширу детерминистичку анализу посматра се неколико група у популацији (Chen, 2005):

- *M* – група индивидуа са пасивним имунитетом (чланови поседују пасивни имунитет од рођења и постепено прелазе у групу осетљивих и подложних инфекцији – *S*);
- *S* – група осетљивих индивидуа подложних инфекцији (чланови бивају заражени и прелазе у групу *I* са неком динамиком);
- *E* – група индивидуа које су заражене, али се налазе у латентном стадијуму (извесно време нису у стању да друге чланове инфицирају, али по истеку тог времена постепено прелазе у групу *I*);
- *I* – група заражених индивидуа које шире инфекцију (по одређеној динамици прелазе у групу *R*, тј. у чланове који поседују имунитет);
- *R* – група која није подложна инфекцији (неки чланови могу да изгубе имунитет временом и пређу у групу *S* – изложених инфекцији);

Постоје разне варијанте модела са овим групама, као што *S-I* модел или *S-I-R* модел, S-*E-I-R* модел итд. Ти епидемиолошки модели ће се користити за анализу ширења компјутерских злонамерних програма типа црва. Ширење злонамерних програма кроз мреже је дискретно у току времена. Међутим, за описивање тих процеса се користе диференцијалне једначине које описују процесе који су континуални у времену (Јаћимовски, 2010). Ова апроксимација је прихватљива само код анализа ширења злонамерних програма у великим системима, као што је Интернет.

Дати модели, нажалост, не узимају у обзир низ фактора карактеристичних за компјутерске мреже, као што су промена брзине инфицирања због отказивања рутера у мрежи (у овим моделима се сматра да је брзина инфицирања константна) и активно коришћење антивирусних програма од стране корисника.

6.1. *S-I* модел

Компјутерска мрежа се састоји од веза и чворова. Чворове мреже чине компјутери који су међусобно повезани на разне начине. У моделу *S-I* се сматра да је број компјутера *N* константан и да се сваки чвор може наћи у

једном од два стања: осетљивом (подложном инфекцији) *S* и инфицираном стању *I*. При томе је:

$$S + I = N \tag{6.1.1}$$

Претпоставља се да у сваком инфицираном чвору постоји само једна копија вируса, *worm* типа, која случајним избором у доступном адресном простору бира потенцијалну жртву са средњом константном брзином β (за тражење и инфицирање једног новог чвора троши се $1/\beta$ секунди). У најједноставнијем случају β се одређује средњом брзином скенирања мреже од стране вируса V_s и величином адресног простора

$$N_{ip}\ \beta = V_s N / N_{ip} \quad N_{ip} = 2^{32} \tag{6.1.2}$$

Уводећи променљиве

$$i = I / N; \quad s = S / N \tag{6.1.3}$$

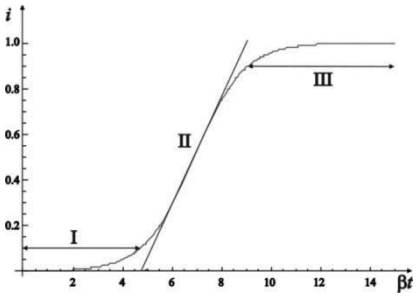
добијамо једначину динамике броја инфицираних чворова

$$\frac{di}{dt} = \beta(1-i)i \tag{6.1.4}$$

чије је решење за почетне услове $t = 0; i = i_0$ облика:

$$i(t) = \frac{1}{1 + (\frac{1}{i_0} - 1)e^{-\beta t}} \tag{6.1.5}$$

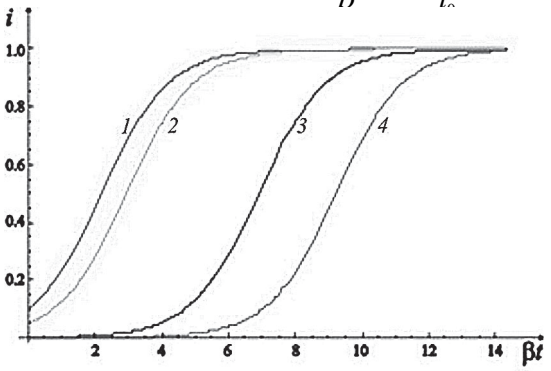
Из релације (6.1.5) следи да је епидемија одређена помоћу два параметра: брзином размножавања вируса β и почетним бројем заражених компјутера i_0.



Слика 5: *Зависност броја инфицираних од βt у S-I моделу са три етапе развоја епидемије*

На слици 5 је дата графичка зависност релације (6.1.5). На њој се јасно виде три етапе развоја епидемије:

1) релативно споро развијање (I фаза) епидемије до нивоа када се прође праг неопходан за почетак епидемије $i_{pr} \approx 0,05$. Брзина развоја епидемије је $\ln 2 / \beta$;
2) нагли пораст епидемије (II експлозивна фаза) када је $0,05 < i < 0,95$; брзина развоја епидемије је $5,89 / \beta$;
3) етапа засићења (III фаза, тзв. сатурација) када је $i > 0,95$; у овој области при случајном скенирању адресног простора заражени чворови међусобно комуницирају тако да незаражени чворови могу дуго остати у стању незараженост; за постизање нивоа засићења неопходно је време $t = \frac{1}{\beta} \ln[19(\frac{1}{i_0} - 1)]$



Слика 6: *Ширење инфекције у S-I моделу у зависности од почетног броја инфицираних* i_0 *(*$i_0 = 10^{-1}$ *-1,* $i_0 = 10^{-2}$ *- 2,* $i_0 = 10^{-3}$ *- 3,* $i_0 = 10^{-4}$ *- 4)*

Са слике 6 се види да је брзина ширења инфекције већа што је већа почетна зараженост чворова. Осим тога, са слике 6 и из релације (6.1.5) се могу извући следећи закључци (Јаћимовски, 2010):

- Хомогеност мреже (равноправност свих чворова и веза) у односу на могућу опасност представља највећи проблем. Пракса је показала да и најспорији црви, који бирају жртву методом случајног избора, могу за минут заразити кључне чворове Интернета и онеспособити телекомуникације чак и на нивоу државе. Стога све структуре чији рад директно зависи од Интернета треба да имају резервне системе са различитим кодом;
- Експоненцијални пораст броја вируса у мрежи сведочи да у систему (код овог модела) не постоји антивирусна заштита или да је она неефикасна;

Способност инфекције β у великој мери зависи од пропусне моћи система. Што је она већа (савремене веб-апликације су оријентисане на потребу за великом пропусном моћи мреже) већа је и могућност ширења епидемије,

Ефикасност епидемије је већа ако је веће i_0 тј. ако је на почетку било заражено више чворова. Што је i_0 ближе i_{pr} епидемија је са већим ефектима;

Повећање адресног простора смањује способност ширења црва, који се шире методом случајног избора жртве, пошто се на тај начин умањује вредност β.

6.2. *S-I-R* модел

У овом моделу се могу уочити фактори који доводе до заустављања епидемије. Претпоставља се да сваки чвор мреже може да се нађе у једном од три стања: *S*, *I* и *R*. Такође, важи и услов (Захарченко, 2004):

$$S + I + R = N;\ s = \frac{S}{N};\ i = \frac{I}{N};\ r = \frac{R}{N};\ s + i + r = 1 \tag{6.2.1}$$

Претпоставиће се да је чвор имун тек после „лечења“ од инфекције. Ако се уведе средња брзина „имунизације“ у јединици времена γ, добија се систем једначина:

$$\frac{ds}{dt} = -\beta is;\ \frac{di}{dt} = \beta is - \gamma i;\ \frac{dr}{dt} = \gamma i \tag{6.2.2}$$

У овом моделу може се експлицитно одредити праг епидемије. У епидемиологији, реч „епидемија“ има техничко значење: то је ситуација у којој број инфицираних расте од почетне вредности. Услов за настанак епидемије следи директно из једначине $di/dt > 0$. То ће бити испуњено када је

$$s > \gamma / \beta \tag{6.2.3}$$

Стога, за дати β и γ постоји критичан број осетљивих за једну епидемију, и ако је s_0 почетни број осетљивих, онда је услов за настанак епидемије $s_0 > \gamma / \beta$. То је једноставна интерпретација релације (6.2.3). Посматрани инфицирани ће, у просеку, бити инфициран за време β^{-1}. Број осетљивих који су инфицирани једним вирусом по јединици времена је βs. Целокупни број инфицираних који су настали од једног инфицираног чвора је $\beta s / \gamma$. Да би се један догађај квалификовао као епидемија, овај број мора бити већи од 1, што даје услов (6.2.3).

Параметар који се у овом моделу појављује,

$$R_0 = \beta s_0 / \gamma \tag{6.2.4}$$

назива се „репродукциони број епидемије“. Праг епидемије је када је $R_0 > 1$. Нажалост овај услов се лако испуњава јер γ одређује по правилу закаснела реакција људи, а β се стално повећава захваљујући побољшању техничких карактеристика мреже и квалитетном раду оних који пишу вирусе. Стога, β практично увек има већу вредност од γ за неколико редова величине. Код вируса *Code Red v2* тај однос је износио $\beta / \gamma \approx 10^6$.

У реалним условима имунитет који се остварује инсталацијом антивирусног програма остварује се како на инфицираним чворовима *I*, тако

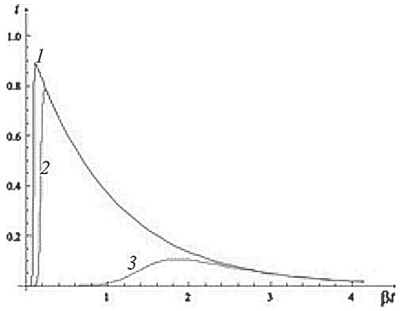
и на оним који су угрожени *S*. Претпостављајући да је средња брзина имунизације иста за све чворове (и *I* и *S*), добијамо систем једначина:

$$\frac{di}{dt} = \beta i(1-r-i) - \gamma i; \frac{dr}{dt} = \gamma(1-r) \tag{6.2.5}$$

Из друге једначине последњег система (10) следи да је:

$$r(t) = 1 - e^{-\gamma t} \tag{6.2.6}$$

одакле следи да ће сви чворови мреже бити имуни на вирусе тек после довољно дугог периода. Ово практично значи да се сви вируси у мрежи тешко могу елиминисати.



Слика 7: *Зависност броја инфицираних од* βt *у S-I-R моделу* (β *=20-1,* β *=100-2,* β *=200-3)*

Како се са слике 7 види, у случају „вакцинације" угрожених чворова *S* до значајне епидемије ће доћи када је брзина инфекције за два и више редова величине већа од брзине имунизације. Тада би се за време γ^{-1} прешао праг епидемије i_{pr}. Како то није велики проблем за оне који пишу злонамерне програме, за спречавање вирусних епидемија може да се смањује број угрожених чворова тако што ће се на новоинсталираним чворовима поставити антивирусни програми. Са слике 7 је очигледно да је за већу вредност β максимум инфицираности мреже већи и да се постиже за краће време.

У пракси се имунизација новоинсталираних чворова остварује знатно ређе (по систему „неће гром у коприве"). Поред тога, антивирусни програми неке вирусе не региструју, већ они остају притајени и, како се мрежа шири (са новим чворовима који су, по правилу, осетљиви), могућност појаве нове епидемије постаје врло вероватна.

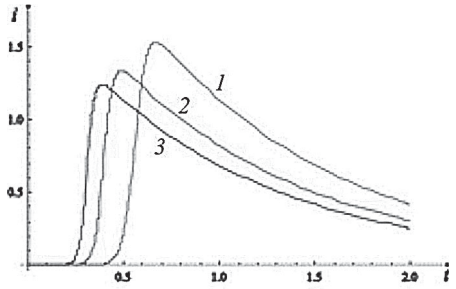
Динамика система са променљивим бројем чворова се одређује системом једначина:

$$\frac{ds}{dt} = -\beta is - (\gamma + \alpha)s + \alpha; \frac{di}{dt} = \beta is - (\gamma + \alpha)i; \frac{dr}{dt} = \gamma(1-r) - \alpha r \tag{6.2.7}$$

За овај случај, услов да дође до епидемије је:

$$s > (\gamma + \alpha)/\beta \tag{6.2.8}$$

Основна особина система који описују једначине (6.2.7) јесте да инфицирани компјутери теже одређеном константном броју. То значи да се са повећањем броја чворова у мрежи не можемо ослободити вируса чак ни при аутоматској „вакцинацији", тако да и врло мали број нових чворова омогућава појаву поновне епидемије уз одговарајуће услове (Јаћимовски, 2010).



Слика 8: *Зависност броја инфицираних од βt уS-I-R моделу са променљивим бројем чворова (β =20-1, β =30-2 и β =40-3)*

6.3. Двофакторски модел

Двофакторски модел је проистекао из потребе да се класични епидемиолошки модели типа *S-I-R* и његове варијације адаптирају и учине реалнијим. То је учињено увођењем два допунска услова (Захарченко, 2004):

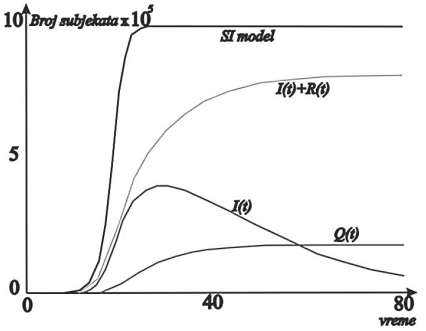
1) активно супротстављање ширењу злонамерних програма доводи до тога да се из мреже искључују не само заражени рачунари већ и они који су изложени зарази а још нису инфицирани
2) претпоставља се да брзина ширења заразе није константна, већ представља опадајућу функцију по времену. То има смисла због претпоставке да је у току епидемије мрежа оптерећенија, па може да дође до отказивања појединих елемената (нпр. рутера), чиме се процес инфицирања умањује.

И овај модел не узима у обзир утицај топологије мреже на ширење епидемије. У њему се ширење злонамерних процеса кроз мреже током времена може адекватно описати следећим системом једначина:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta(t)S(t)I(t) - \frac{dQ(t)}{dt}, \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t), \frac{dQ(t)}{dt} = \mu S(t)[I(t) + R(t)],$$
$$\beta(t) = \beta_0[1 - \frac{I(t)}{N}]^{\eta}, N = S(t) + I(t) + R(t) + Q(t),$$
$$I(0) = I_0 < N; S(0) = N - I_0; R(0) = Q(0) = 0 \qquad (6.3.1)$$

где је $Q(t)$ – број компјутера подложих инфекцији који су искључени из мреже, γ – брзина прелаза субјеката из $I \to R$, μ – брзина прелаза из $S \to R$, а η – параметар који дефинише промену брзине инфицирања током времена.

Решење система нелинеарних диференцијалних једначина (1) проналази се ненумеричким путем. За вредности параметара $N = 10^6$, $I_0 = 10$, $\beta_0 = 0,1$, $\gamma = 0,05$, $\mu = 0,07$, $\eta = 0,4$ решења су приказана на слици 9.



Слика 9: *Одговарајуће величине у функцији времена код двофакторског модела*

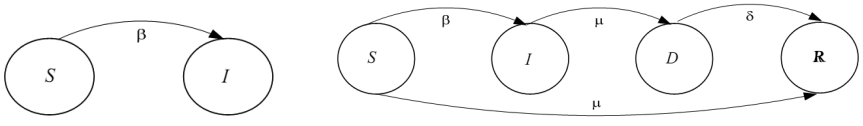
Анализом графика са слике 9 уочљиво је да је број инфицираних субјеката око 2,5 пута мањи код двофакторског модела него у случају *S-I* модела, код кога се претпоставља да не постоји антивирусна заштита.

6.4. *P-S-I-D-R* модел

У досада наведеним моделима није анализирано дејство антивирусних програма и њихов утицај на динамику ширења злонамерних програма. У моделу *P-S-I-D-R* (*Progressive Susceptible Infected Detected Removed*) реализована је промена динамике ширења црва (Leveille, 2002; Williamson, 2007). Време ширења заразе дели на два периода:

1) Први период (*Pre Response*) Прво црв инфицира један хост у мрежи. У року од неколико временских јединица (дана, сати) он се шири кроз мрежу и није уочен од већине корисника. На ову фазу се може применити *S-I* модел.
2) Период одговора (*Respons*) После извесног времена црв је регистрован на неколико хостова. Неинфицирани чворови мреже постају имуни на дати црв, а инфицирани се „лече“ неком брзином која зависи од брзине обнављања антивирусних база.

У овом моделу време које раздваја ове интервале се обележава са π. То је време неопходно да се појави „лек”. У почетку се систем може наћи у два стања $S \to R$, а по истеку времена $t = \pi$ систем пролази кроз стања $S \to I \to D \to R$ са могућношћу директног прелаза између стања $S \to R$



Слика 10: *Графички приказ P-S-I-D-R модела*

Дакле, основна разлика од класичног модела је што се заражени чвор не преводи директно у стање R већ преко стања D. За разлику од двофакторског модела овај модел не узима у обзир промену у фреквенцији инфекције (Јаћимовски, 2011).

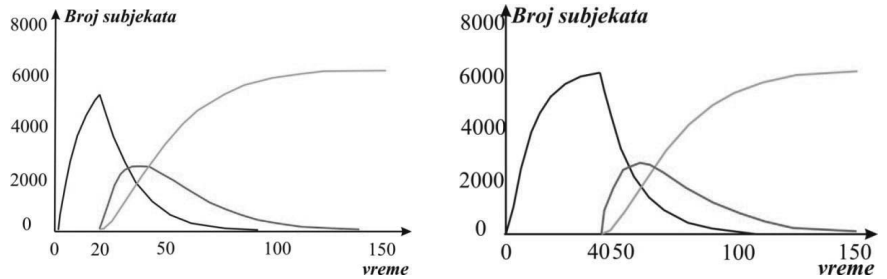
У првој фази за $t < \pi$ систем се може описати једначинама

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI, \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI; \quad S(t) + I(t) = N \tag{6.4.1}$$

У другој фази за $t > \pi$ систем се описује једначинама:

$$\begin{aligned} &\frac{dS}{dt} = -\beta SI - \mu S, \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI - \mu I, \\ &\frac{dD}{dt} = \mu I - \delta D, \qquad \frac{dR}{dt} = \delta D + \mu S \\ &S(t) + I(t) + D(t) + R(t) = N \end{aligned} \tag{6.4.2}$$

где је D – број уочених заражених субјеката, μ – брзина регистровања заражених субјеката (брзина обнављања [*update*] антивирусних програма), δ – брзина одстрањивања злонамерног програма из система. Почетни услови су $S(0) > 0, I(0) > 0, D(0) = 0, R(0) = 0$. Овај модел се разликује од класичног *S-I-R* і *S-E-I-R* модела по томе што се уводи стање *D* (*detected*) између стања *I* и *R*. За време тзв. *response* периода црв се детектује неком брзином μ (која зависи од брзине обнављања антивирусне базе) и „лечи" брзином δ. Практично, док се одређени субјекат налази у стању *D* он је ван мреже док се не „излечи". Код *S-E-I-R* модела постоји стање *E* (*exposed*) када је чвор инфициран, али он не представља извор нове инфекције. Анализа овог модела несумњиво указује на неопходност што бржег обнављања антивирусних програма како не би дошло до наглог ширења „епидемије". Чак и када је обнављање антивирусних програма довољно брзо епидемија може да се изузетно брзо јер почиње борба за субјекте између црва и система заштите. Анализом графика са слике 11 види се да је број инфицираних субјеката знатно већи уколико је период π већи.



Слика 11: *R (зелена), I (плава),D(црвена) у функцији времена у моделу P-S-I-D-R за π=20-леви график и π=40-десни график*

Једно од преимућства овог модела је што се могу направити одређене процене, као што су:

1) процена финансијске штете – њу карактерише време потребно да се „лече“ хостови и број заражених хостова: $\int_{\pi}^{T} D(t)dt$;
2) процена нанете штете – показује колико је хостова заражено и колико дуго ће се они налазити у том стању: $\int_{t_0}^{T} I(t)dt$;
3) процена максималног броја инфицираних хостова – указује на најлошије стање система: $\max(I(t))\Big|_{t=t_0}^{T}$;
4) време имунизације система – у реалном случају нису сви рачунари изложени зарази. Као основа за налажење овог параметра узима се време потребно за имунизацију 95% рачунара у систему.

Иако је овај модел тренутно најреалнији, постоје аспекти који нису довољно добро третирани:

- брзина имунизације није константна, јер што је више субјекта нападнуто, то је већа борба па је брзина имунизације, очигледно функција од *I(t)*;
- брзина ширења напада морала би бити променљива величина, као код двофакторског модела;
- неки црви избацују субјекте из употребе у одређеном периоду (нпр. црв *Klez* дејствује сваког шестог у непарном месецу).

7. ЗАКЉУЧАК

Употреба математичких модела у друштвеним наукама постаје све значајнији метод истраживања. Као што су метеоролози на основу статистичке физике створили велики број поузданих модела атмосфере помоћу којих могу дати солидне временске прогнозе, тако би се у будућности могла очекивати апликација различитих модела заснованих на егзактним наукама у скоро свим сферама друштвених појава.

У овом раду је дата могућа примена математичких модела у форензици. Ови модели су засновани на законима иреверзибилне и реверзибилне апсорпције гаса, а примењени у случају истражног поступка који се води против осумњичених лица. Такође, за случај истражног поступка се може применити и аналогија са *RC* и *LC* струјним колом. У раду је дат и поступак како се линеарном трансформацијом може убрзати поступак утврђивања починиоца кривичног дела из групе осумњичених лица. Модели који анализирају случај предвиђања победника код гласања имају једначине исте структуре као код истражног поступка. То говори о универзалности примене метода егзактних наука. Како је речено у уводу ови методи су несумњиво корисни и могу да убрзају развој других наука, али наравно, уз једно ограничење: треба тачно утврдити до које се границе могу и смеју користити аналогије: свако прекорачење ових граница могло би да доведе до крупних заблуда.

У случају сајбер криминала, упоређивање резултата које дају коришћени математички модели са развојем реалних епидемија наводи нас на закључак који није утешан. Тренутно постојећи системи детектовања могућег напада и заштите нису у стању да благовремено обезбеде одговарајући ниво безбедности од ширења злонамерних програма.

Главни је проблем како зауставити напад, и притом сачувати доказе за каснију анализу или употребу на суду. Иако већина система мрежне форензике, као што су системи за откривање напада на мрежу (*Intrusion Detection Systems*), могу пронаћи и пратити мрежне информације, посебним форензичким алатима се додатно може спровести анализа реално протеклог времена (*timeline*), реконструкција електронских порука, анализа метаподатака, анализа пакета односно оквира (*frame*), како би се математички показало да се подаци нису променили од времена када су пронађени и оштећени (B.Middleton, 2002).

Као превентиву од ових напада можемо употребити следеће методе (Petrović, 2009) :

- Едукација корисника
- Антивирусни алати
- Програми за верификацију апликација
- Конфигурација мрежних уређаја за смањивање штете

Најбоља обрана од злонамерних програма је едукација самих корисника. Тако би, на пример, корисници требали знати да не отварају електронску пошту од непознатих корисника, не посјећују web странице познате по дистрибуцији тројанских коња и не инсталирају програме који нису проверени.

Употреба антивирусних програма увелико ће помоћи код ситуација када корисник несвесно покуша покренути злонамерни програм који ће га заштити од могуће инфекције.

Програми за верификацију апликација такође су користан додатак безбедности. Они ће направити снимак програма и конфигурационих датотека и касније омогућити анализу да ли је нека од њих промењена. Промена апликација и скрипти може указати да је нека врста напада у току.

Коначно, ако се неки од црва и прошири мрежом, конфигурацијом мрежних уређаја могуће је спречити његово даље ширење на остале делове мреже и бар мало умањити насталу штету.

Захвалност

Овај рад је урађен у оквиру пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије – ТР бр. 34019.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вукадиновић, С. (1970). *Елементи рачуна вероватноће и математичке статистике*. Београд: Привредни преглед.
2. Williamson, M. M., Leveille, J. (2007). *An epidemiological model of virus spread and cleanup – Proceeding of Virus Bulletin Conference*. Toronto, p. 11.
3. Garetto, M. Gong, W., Towsley, D. (2003). *Modeling Malware Spreading Dynamics*. IEEE Infocom.
4. Захарченко, А. (2004). Черводинамика: Причины и следствия – Защита информации. *Конфидент*, № 2, стр. 50–55.
5. Zhou, C. C., Gong, W., Towsley, D. (2002). *Code Red Worm Propagation Modeling and Analysis*, CCS'02, November 18–22, Washington, DC.
6. Zhou, C., Gong, W., Towsley, D. (2003). *Worm Propagation Modeling and Analysis under Dynamic Quarantine Defense*, WORM'03, October 27, Washington, DC.
7. Zhou, C. C., Gao, L. Gong, W., Towsley, D. (2003). *Monitoring and Early Warning for Internet Worms*, CCS'03, October 27–30, Washington, DC.

8. Јаћимовски С., Миладиновић С., Млађан, М. (2010). Моделовање динамике напада злонамерних програма на компјутерске мреже. *Научни скуп „Право и форензика у криминалистици“*. Крагујевац.
9. Јаћимовски, С., Миладиновић, С. (2011). Неки модели ширења злонамерних програма у компјутерским мрежама, *Тематски зборник „Примена форензичких метода у криминалистици“*, стр. 177–187. Београд: Криминалистичко-полицијска академија.
10. Јаћимовски, С., Тошић, И., Радовановић, Р., (2009). Примена метода физике у истражном поступку. *Зборник са научног скупа са међународним учешћем- „Право и форензика“*, Крагујевац.
11. Jaćimovski, S., Tošić, I. Radovanović, R. (2009). The Application of Methods of Physics in Social Processes, *NBA*, No. 2, pp. 109–121.
12. Јаћимовски, С. К., Шетрајчић, Ј. П. (2013). *Иновирање форензичких метода и њихова примена*, Београд: Криминалистичко полицијска академија.
13. Komninos, T., Spirakis, P., Stamatiou, Y. C., Vavitsas G. (2007). A Worm Propagation Model based on Scale Free Network Structures and People's Email Acquaintance Profiles, *IJCSNS – International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 7, No. 2.
14. Korn, G., Korn, T. (1961). *Mathematical Handbook*. New York – Toronto – London: Mc.Graw-Hill.
15. Leveille, J. (2002). Epidemic spreading in technological networks. *Technical Report HPL*, 2002, 287. Bristol: HP Laboratories.
16. Максимовић, Р. (1993). *Безбедност*, 4, 435–446.
17. Максимовић, Р. (1993). *Безбедност*, 5, 513–525.
18. Максимовић, Р., Пантић, М., Пилиповић, С., Тошић, Б. (1997), *НБП*, Вол. 3, бр. 1, 24, Београд.
19. Маринковић, М. (2008). *Малициозан код-анализа и напредне технике одбране*, мастер рад. Београд: Универзитет Сингидунум.
20. Машковић, Љ., Јаћимовски, С., Поповић Б. (2006). *НБП*, 2, 45–60.
21. Middleton, B. (2002). *Cyber crime investigator's field guide*. CRC Press LLC.
22. Новаковић, Р., (2011). *Заштита од компјутерских вируса*, спец. рад. Београд: Криминалистичко-полицијска академија.
23. Petrović, K. (2009). *Ispitivanje sigurnosti mrežne opreme na uobičajene mrežne napade*, diplomski rad. Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu.
24. Staniford, S., Paxsony, V., Weaver, N. (2002). *How to Own the Internet in Your Spare Time*, Proceedings of the 11 thUSENIX Security Symposium (Security'02).
25. Timotić, U. (1990). *First World Reneweable Energy Congres*, 3, 2137–2141. London: Reading.
26. Timotic, U. (1991). *First International Conference on Combustion Technologies for a Clean Enviroment 2*, Vila Moura, Portugal, pp. 89–93,
27. Тошић, Б., Максимовић, Р., Ђапић, Н., Пилиповић, С. (1997). *НБП*, Вол. 3, бр. 1, 15, Београд.
28. Ćosić, J., Bača, M. (2010). Kompjuterska forenzika – široki aspekti primjene, *Infoteh*, Jahorina, Vol. 9, p. 857–860.
29. Haken, H. (1977). *Sinergotics*. New York: Springer–Velarg. Berlin: Heidelberg.
30. Chen, W. W. S. (2005), *Statistical Methods in Comuter Securrity*. New York: Marcel Deker.

AB INITIO ИСТРАЖИВАЊЕ АКТИВНИХ КОМПОНЕНТИ ЧЕСТО КОРИШЋЕНИХ β-БЛОКАТОРА

II Глава

Стеван Армаковић, Игор Ј. Шетрајчић
Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет,
Департман за физику
Трг Доситеја Обрадовића 4, 21000 Нови Сад

Сажетак: У овом поглављу представљено је истраживање активних компонената репрезентативних лекова за регулацију крвног притиска применом компјутерских квантно-механичких кодова, као и њихово поређење зарад добијања знања о својствима која су повезана са електронском структуром датих молекула. Имајући у виду значај наведене групе једињења, као и могућност њихове потенцијалне злоупотребе (у спорту или као психоактивне супстанце), студија је обухватила три добро познате, али ипак недовољно теоријски истражене, активне компоненте β-блокатора: ацебутолол, метопролол и атенолол. Истражена је стабилност поменутих молекула преко квантно-молекулских дескриптора. Занимљива места, подложна некој врсти напада, лоцирана су преко површи молекулског електростатичког потенцијала. Израчунати су НМР параметри хемијског померања и упоређени са експериментално утврђеним вредностима. Ароматичност је истражена преко добијених параметара хемијског померања независног од језгра. Извршена је и потпуна НБО анализа на основу које су наведене енергетски значајније интеракције. На основу НБО анализе добијена су и наелектрисања на основу НПО, која су меродавнија за анализу него Миликенова. Добијени резултати су у сагласности са експерименталним подацима и искоришћени су за иницијалне претпоставке везане за разградњу наведених једињења.

Кључне речи: β-блокатори, електронска својства, стабилност, квантно-молекулски дескриптори, МЕП површи, НМР параметри, ароматичност, НБО/НПА анализа.

1. УВОД

Када се говори о полутантима у животној средини, најчешће прво помислимо на хемикалије којима третирамо биљке и земљиште (ради што бољег приноса и ефикасније заштите култура), радиоактивни отпад и издувни гасови. Фармаколошки активна једињења (ФАЈ) и производи за личну хигијену су неприметно ушли на мала врата животне средине и то са својом примарном сврхом – да помогну људима. Њихова константна потрошња и начин примене утичу на то да та једињења непрекидно улазе у природну средину, најчешће путевима отпадне воде. Потребе људи за фармаколошки активним једињењима сваким даном све више расту; што због развоја науке и технологије, што због класичне зависности. Људи су пре знали само за благе аналгетике попут бруфена и аспирина, а данас за свако доба дана постоји гомила лекова која се користи. Ако свему томе додамо и чињеницу да је фармација одавно постала бизнис, није чудо што се у природној средини налази све већи број фармаколошки активних супстанци у све већим количинама.

Под појмом фармаколошки активних једињења подразумевамо једињења која имају високу биоактивност, која се користи у лечењу и превенцији болести. Та једињења реагују са специфичним циљним групама у телу животиња и човека, као што су рецептори или ензими. После испољеног дејства, она путем екскрета доспевају у водене системе (Daughton & Ternes, 1999). Иако се фармаколошки активна једињења у водама налазе у малим количинама, њихово непрекидно уливање у воде представља ризик за водене и копнене организме, што због акутног дејства, што због акумулације. Фармаколошки активна једињења су детектована у подземним и површинским водама (Andreozzi, Caprio, Marotta & Radovnikovic, 2003; Andreozzi, Caprio, Marotta & Vogna, 2003; Perez-Estrada et al., 2005), пијаћој води (Ternes et al., 2002; Buffle, Schumacher, Salhi, Jekel & Gunten, 2006), точеној води (Halling-Sorensen et al., 1998; Doll & Frimmel, 2003), океанској води, седиментима и земљишту (Halling-Sorensen et al., 1998). Табела 1 даје класификацију, према терапеутској активности, група фармаколошки активних једињења која се уобичајено налазе у животној средини (Klavarioti, Mantzavinos & Kassinos, 2009).

Наиме, приликом примене фармацеутских производа и дијагностичких средстава, многи састојци се излучују у непромењеном облику, путем урина, фецеса или као метаболити, и проналазе пут до канализационог система, а на крају и до природних вода. Подаци о уносу и излазу лекова у канализационим постројењима за пречишћавање указују да се нека од једињења не уклањају квантитативно коришћеним техникама. Термостабилна својства тих супстанци доводе до неповољне акумулације у окружењу (Ternes & Hirsch, 2000). Као и коришћење, испуштање фармацеутских производа у водену средину тешко је контролисати и немогуће избећи. Новија испитивања показала су да класично пречишћавање воде за пиће применом само процеса озонизационе филтрације кроз зрна активног угља делимично елиминишу неке лекове (Ternes et al., 2002). Испитана је примена UV/H_2O_2, O_3/H_2O_2 и O_3 (Huber, Canonica, Park & Von

Gunten, 2003; Zwiener & Frimmel, 2000) за елиминацију лекова, при чему је постигнута делимична елиминација (Doll & Frimmel, 2005). Поред тога, показало се да је фотокатализа обећавајући начин за пречишћавање воде (Hoffmann, Martin, Choi & Bahnemann, 1995).

Табела 1: *Фармаколошки активна једињења која се најчешће налазе у животној средини*

Фармацеутска активност	Врста лека	Тип и име ФАЈ
Антибиотици		Сулфонамиди Бактериостатици
Аналгетици/Антипиретици	Аналгетик, антипиретик, нестероидни антиинфламаторни лекови	Ацетаминофен Диклофенак, напроксен ибупрофен, кетопрокен
Лекови за централни нервни систем	Антиепилептици стимуланти централног нервног система	Кафеин
Кардиоваскуларни лекови	Бета блокатори регулатори холестерола и триглицерида	Пропранолол, атенолол, метопролол хлофибринска киселина, гемфиброзил, фезафибрат
Ендокринолошки третмани, дијагностичка једињења за помоћну апсорпцију органских халогена	Стероидни хормони Јодирани рендгенски контраст медији	17α-етинилестрадиол, естрон, 17β-естрадиол

Приликом процене персистенције сматра се да се фармаколошки активна једињења не емитују у ваздушну средину (осим неких анастетика, али су за сада у занемарљивим количинама), па се не одређује њихова концентрација у атмосфери. Фармаколошки активна једињења, као и остали загађивачи природне средине, могу да подлежу биотичким и абиотичким процесима разградње (OECD, 2000). Фармацеутици се праве тако да имају физиолошки ефекат на људе и животиње у концентрацијама у траговима. Персистенција против биолошке разградње и биолошка активност су њихова кључна својства. Они задржавају хемијску структуру довољно дуго да изврше своје терапеутско дејство, а због сталног уноса могу дуго да опстану и у околини. Њихово присуство је и у ниским и у високим концентрацијама опасно за околину (Chatzitakis et al., 2008; Mendez-Arriaga, Esplugas & Gimenez, 2008). Фармаколошки активна једињења слабо хидролизују, јер су направљене за остваривање активности у људском телу које има висок проценат воде, па је код великог броја представника главни механизам њиховог природног разлагања везан за фотолизу (OECD, 2000).

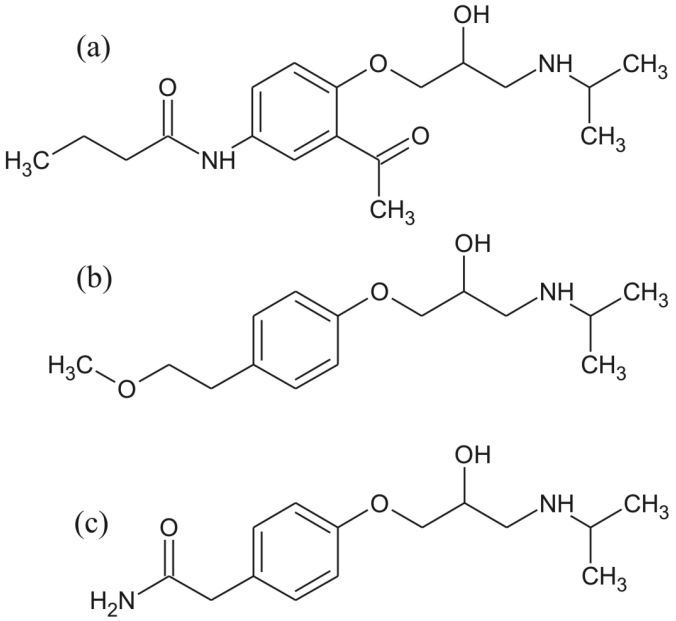
β-блокатори су лекови који се користе у лечењу различитих кардиоваскуларних болести, као што су хипертензија, коронарне болести и аритмије, тако што блокирају дејство епинефрина и норепинефрина на адренергичне рецепторе у телу, пре свега у срцу (Maurer et al., 2007). Такође су се наметнули као потенцијални супресори вентрикуларне тахикардије и вентрикуларне фибрилације (Singh, 2005). Класификују се у три категорије (Singh, 2005; Hanks, 2006):

– неселективни β-блокатори, који су уједно и прва генерација β-блокатора, који блокирају β_1- и β_2-рецепторе;
– селективни β-блокатори (друга генерација β-блокатора), који селективно инхибирају β_1-рецепторе у односу на β_2-рецепторе (у ову групу спадају ацебутолол, метопролол и атенолол);
– трећа генерација β-блокатора, који су неселективни; међутим, поред тога што блокирају β_1- и β_2-рецепторе они блокирају и α_1-рецепторе и показују антиоксидантна и антиендотелинска својства.

Присуство β-блокатора је забележено у постројењима за пречишћавање отпадних вода и површинским водама у САД (Huggett, Khan, Foran & Schlenk, 2003; Conkle, White & Metcalfe, 2008), Канади (Liu & Williams, 2007; Nikolai, McClure, MacLeod & Wong, 2006) и Немачкој (Ternes, 1998; Sacher, Lange, Brauch & Blankenhorn, 2001). Конвенционално пречишћавање отпадних вода помоћу активног угља није ефикасно у потпуном уклањању ових једињења (Yang et al., 2010). Концентрација β-блокатора у површинским водама у Европи и северној Америци креће се у опсегу од неколико ng/dm^3 до 2,2 mg/dm^3 (Alder er al., 2010). Рађеновић, Петровић и Барчело су у једном шпанском постројењу за пречишћавање воде измерили концентрацију атенолола у опсегу од 0,84 до чак 2,8 mg /dm^3 (Rađenović, Petrović и Barceló, 2009).

Као последица тога, велика пажња се посвећује стабилности поменутих једињења и њихових интермедијера насталих у току разградње у воденим системима (Alder et al., 2010; Piram et al., 2008; Yang et. al, 2010; Daughton & Ternes, 1999). β-блокатори показују спору фоторазградњу и/или хидролизу, иако индиректна фотолиза и фотоиндукована биоразградња могу бити један од главних начина уклањања поменутих једињења из животне средине (Alder et al., 2010). Стабилност поменуте групе једињења је тестирана у процесима фоторазградње у присуству вештачког УВ зрачења са или без фотокатализатора, при чему су предложени неки од могућих интермедијера насталих у тим процесима (Abramović et al., 2011; Romero et al., 2011; Yang et al., 2010). Међутим, стабилност и токсичност продуката/интермедијера насталих у процесу разградње нису још увек детаљно проучавани иако је еколошки утицај неминован.

Ацебутолол, метопролол и атенолол (слика 1, табела 2) су β-блокатори који се могу сматрати новим загађујућим материјама. Као једињења су веома растворљиви (табела 3) и стабилни, а у води врло штетни за животну средину. Због наведених чињеница од великог је значаја истраживање са циљем да се они уклоне из водених система.



Слика 1: *Структурне формуле (а) ацебутолола, (б) метопролола и (ц) атенолола*

Табела 2: *Назив и структура испитиваних једињења (Sigma Aldrich, 2011; FK 3, 2006; Martínez, Camañas & Alvarez-Coque, 1999)*

Једињење	Молекулска формула	CAS број	IUPAC назив	Комерцијални назив регистрованих лекова у Србији
Ацебутолол	$C_{18}H_{28}N_2O_4$	34381-68-5	N-(3-Acetyl-4-[2-hydroxy-3-(isopropylamino) propoxy]phenyl) butanamide	Није регистрован
Метопролол	$C_{15}H_{25}NO_3$	56392-17-7	1-(Isopropylamino)-3-[p-(β-methoxyethyl) phenoxy]-2-propanol	CORVITOL (Berlin-Chemie Немачка), METOPROLO STADA (Stada Arzneimittel Немачка), PRESOLOL (Хемофарм, Србија),
Атенолол	$C_{14}H_{22}N_2O_3$	29122-68-7	4-[2-Hydroxy-3-[(1-methylethyl) amino]propoxy] benzeneacetamide	ATENOLOL (Farmakos Srbija), ATENOLOL (Ремевита, Србија), ATENOLOL (Zdravlje Srbija), PANAPRES (Хемофарм, Србија), PRINORM (Галеника, Србија)

Табела 3: *Физичко-хемијске карактеристике испитиваних једињења (Sigma Aldrich, 2011; Martínez et al., 1999)*

Једињење	Молекулска маса (g/mol)	Изглед	Тачка топљења (°C)	Растворљивост у води на 20 °C (mg/dm^3)	Хенријева константа (atm m^3/mol)	Константа дисоцијације pK_a
Ацебутолол	336,43	Бели прах	121	259	$1,34 \times 10^{-20}$	9,2
Метопролол	267,40		122	4780	$1,40 \times 10^{-13}$	9,7
Атенолол	266,34		153	300	$1,37 \times 10^{-18}$	9,6

Стабилност хемијских загађивача у природној средини је врло важна у процесу њиховог рангирања као загађујућих супстанци. Начин на који контаминант улази у природну средину и његова дистрибуциона тенденција у великој мери утичу на укупну стабилност. Одређивање стабилности се изводи појединачно за сваку средину (вода, ваздух, земљиште или седимент), после чега се одређује укупна стабилност. Битно је да нагласимо да стабилност није синоним за распрострањеност неке супстанце. Хемијско једињење може бити идентификовано у широком подручју и ако нема високу стабилност (постоји мноштво хемикалија које се избацују у реципијенте из огромног броја извора, али се истом брзином и разграђују). Проблематика везана за потребу да се тачно дефинише полураспад једног контаминанта у испитиваној средини је последица сложености процеса његове разградње, који зависи не само од саме хемикалије, већ и од интеракције са природном средином (IUPAC Reports on Pesticides, 1980).

Проучавање стабилности и реактивности поменуте групе једињења и њихових интермедијера је од изузетног значаја и са аспекта могућности злоупотребе поменуте групе једињења. У том смислу на бета блокаторе се посебна пажња обраћа код спортиста, који их понекад користе у ситуацијама када су неопходне смиреност и концентрација, посебно код стрељаштва. Такође, у комбинацији са алкохолом, слично као и са наркотицима, долази до интензивирања ефеката због којих би бета блокатори могли да се користе и као психоактивне супстанце.

Развојем рачунарске науке и технике који прати и развој софтвера, ab initio приступ је постао доступан широкој научној заједници. Посебно треба нагласити и да постоје многи софтверски кодови која су бесплатно доступни академцима, под ГНУ лиценцом. Развој поменутих кодова у извесном броју случајева прати и развој графички вођених апликација за манипулацију улазно-излазним параметрима (Graphical User Interface, GUI). Када су у питању ab initio софтверски кодови, у

последње време се интензивно ради и на њиховој паралелизацији у сврхе побољшања перформанси.

Ab initio приступом могуће је ефикасно испитати извесне аспекте електронског подсистема посматране структуре (Armaković et al., ContMat 2012). Ефикасност је на посебно завидном нивоу када се ради о органским молекулима средње величине, а под органским молекулом средње величине подразумевамо молекул са око 30 атома угљеника (Armaković et al., Yucomat 2012).

Имајући у виду важност свега претходно наведеног, у овом поглављу ће бити представљено ab initio истраживање ацебутолола, метопролола и атенолола, као представника β-блокатора (Armaković et al., JMM1, 2012). Биће показано да се поменутим приступом могу верификовати многе експерименталне чињенице и спознати нове. Применом одговарајућег софтверског кода, о чему ће бити речи у пододељку Компјутерски детаљи, може се доћи до вредности оних параметара који се могу искористити за процену стабилности, реактивности испитаних молекула (Armaković et al., YRC 2012). Ту се пре свега мисли на енергије граничних орбитала које се могу искористити за рачунање извесног броја тзв. квантно-молекулских дескриптора, величина које указују на бројна својства молекула. Пре свих, ту се мисли на ХОМО–ЛУМО геп и глобалну хемијску чврстоћу.

Применом одговарајућих пратећих софтверских решења могуће је израдити површи молекулског електростатичког потенцијала које указују места молекула која су подложна електрофилним, нуклеофилним или радикалним нападима. У овом поглављу израђене су МЕП површи истражених једињења, које су искоришћене за иницијалне предлоге разградње истражених једињења (Armaković et al., ESRC 2012).

Развој *ab initio* приступа прати и развој метода теоријске спектроскопије. Коришћењем одговарајућег нивоа теорије могуће је репродуковати НМР параметре, ИР, УВ/Вис и друге спектре. Од посебног значаја у теоријској спектроскопији је одређивање параметара хемијског заклањања и хемијског померања. Поменути параметри су веома осетљиви на промене густине наелектрисања, па представљају идеалне параметре за поређење сличних или на неки начин пертурбованих система. Рачунанање НМР параметара коришћењем *ab initio* техника доводи до брзе процене и корелисања интензитета тензора хемијског заклањања са променама у угловима веза, дужинама веза и интеракција са најближим суседима, што увећава значај коришћења поменутих параметара (Armaković et al., JMM2, 2012).

У вези са поменутим НМР параметрима стоји процена ароматичности једињења. Ово важно својство може бити процењено како је то предложио Шлејер, преко параметара хемијског заклањања независног од језгра, о чему ће детаљније бити речи касније у одељку Ароматичност.

Важна чињеница у процени биоактивности молекула су и наелектрисања појединих атома молекула (Armaković et al., ESRC 2012). Поуздани подаци о наелектрисањима се добијају преко НПА анализе, која је део НБО анализе, о чему ће бити речи касније.

2. КОМПЈУТЕРСКИ ДЕТАЉИ

У раду је коришћен Хартри-Фоков (Hartree-Fock) метод за проналажење основних стања испитаних структура. Уз тај метод искоришћен је 6-31Гд базис. Такав, ХФ/6-31Гд ниво теорије се показао адекватним за читав низ компликованијих молекула него што су то органски молекули средње величине. Структуре су оптимизоване коришћењем *WinGamess* кода, ревизија 09 (GAMESS, 2009), бесплатно доступног под ГНУ лиценцом.

Након геометријских оптимизација структура, уследила је вибрациона анализа не би ли се утврдило да ли се заиста ради о правом равнотежном стању, којем договара минимум потенцијалне енергије. Адекватан резултат вибрационе анализе у том случају су искључиво позитивне фреквенције, што је и добијено.

Добијене, оптимизоване, геометрије су искоришћене за даљу израду МЕП површи и одређивање НМР параметара.

За визуелизацију је коришћен *WinMacMolPlt* (Bode & Gordon, 1998), такође бесплатан под ГНУ лиценцом. НМР параметри су добијени применом програмског пакета *Gaussian 03* (Gaussian 03, 2003). Улазни фајлови су припремљени уз помоћ *Авогадра* (Avogadro, 2009).

Структуре су најпре конструисане у *mol* формату одакле су коришћењем *Авогадра* иницијално оптимизоване на нивоу молекулске механике коришћењем UFF поља (*Universal Force Field*). На тај начин је трајање оптимизације структуре знатно скраћено.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

3.1. ХОМО, ЛУМО, стабилност, осетљивост и хемијска чврстоћа

Оптимизацијом структура добијени су подаци о ХОМО и ЛУМО енергијама које смо даље искористили за рачунање параметара који указују на стабилност/реактивност/осетљивост, као што су хемијски потенцијал (χ_m) и хемијска чврстоћа (η). Наведени параметри се у литератури често називају и „глобални квантно-молекулски дескриптори“ јер описују својства молекула као целине. Важно је напоменути и да, поред глобалних, постоје локални квантно-молекулски дескриптори, који описују тенденцију појединих атома испитиваних молекула ка електрофилним, нуклеофилним или радикалним нападима.

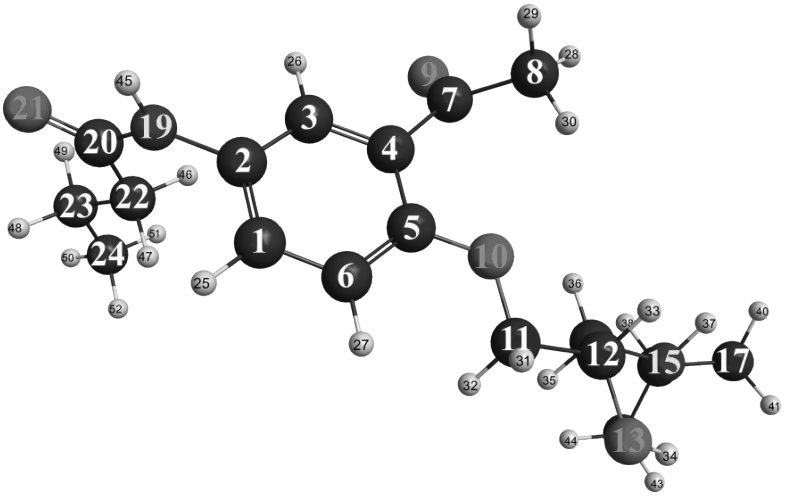
Повољност наведених параметара се огледа у чињеници да се у оквиру Копманове теореме наведени параметри своде на следеће једноставне релације:

$$\eta = +0.5\left(\mathrm{E}_{LUMO} - \mathrm{E}_{HOMO}\right),$$

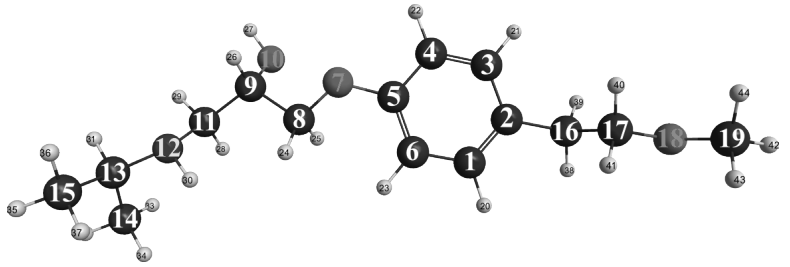
$$\chi_m = -0.5\left(\mathrm{E}_{HOMO} + \mathrm{E}_{LUMO}\right),$$

респективно. Наведене величине су важне као мера стабилности, односно осетљивости органских једињења.

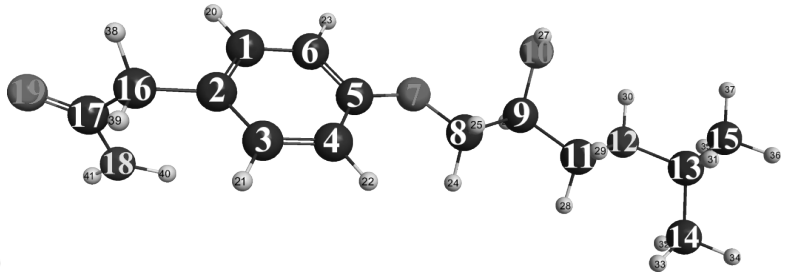
На слици 2 приказане су оптимизоване структуре испитиваних једињења.



а)



б)



ц)

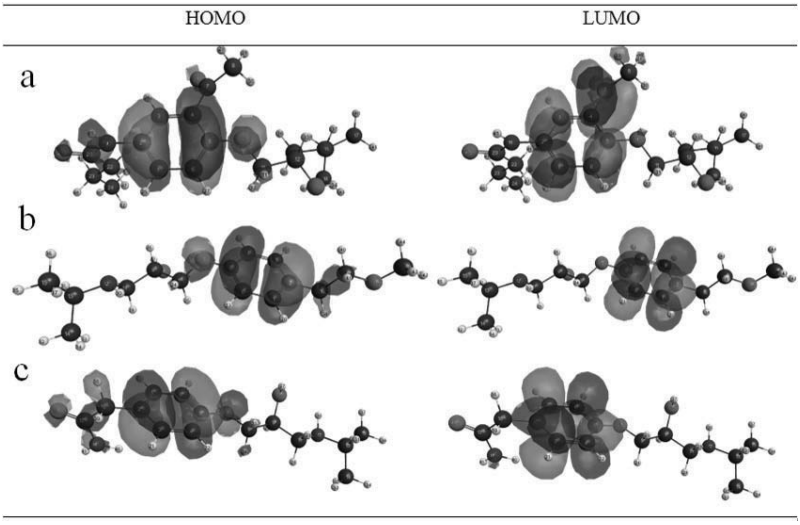
Слика 2: *Оптимизоване геометрије истражених структура: а) ацебутолол б) метопролол и ц) атенолол*

Процена реактивности, односно у општем случају осетљивости неког молекула је веома важна за анализу стабилности неког једињења и његове деградације.

За иницијалну процену реактивности молекула најбитније су тзв. спољашње (граничне) орбитале – највиша заокупљена молекулска орбитала (*Highest Ocupied Molecular Orbital*, ХОМО) и најнижа непопуњена молекулска орбитала (*Lowest Unocupied Molecular Orbital*, ЛУМО). Ове орби-

тале највише учествују у интеракцијама са другим молекулима и, у општем случају, између њих је најјаче узајамно дејство. Важност ХОМО и ЛУМО орбитала је и у томе што су прелази електрона између њих одговорни за УВ/Вис спектре код органских молекула. Вредност енергије ХОМО орбитала указује на могућност донирања електрона, а вредност енергије ЛУМО орбитала указује на могућност добијања електрона. Веома важна величина, ХОМО-ЛУМО геп, указује на хемијску активност молекула. Смањење ХОМО-ЛУМО гепа објашњава унутармолекулски трансфер наелектрисања који је одговоран за активност молекула. У том смислу, ХОМО-ЛУМО геп служи као једноставна мера кинетичке стабилности молекулске структуре која се испитује. Молекул са малом, или нултом, вредношћу ХОМО-ЛУМО гепа је хемијски реактиван (Pearson, 1989).

Имајући у виду значења ХОМО и ЛУМО орбитала јасно је да је њихова илустрација врло битна. Наиме, локација и облик, ХОМО и ЛУМО орбитала могу индицирати места високе реактивности молекула кроз давање или примање електрона. Такође, облици ХОМО и ЛУМО орбитала могу индицирати специфична својства реактивности или стабилности испитиваног молекула. У том смислу, на слици 3 су дате ХОМО-ЛУМО орбитале истражених једињења.



Слика 3: *ХОМО и ЛУМО орбитале истражених једињења: а) ацебутолол б) метопролол ц) атенолол*

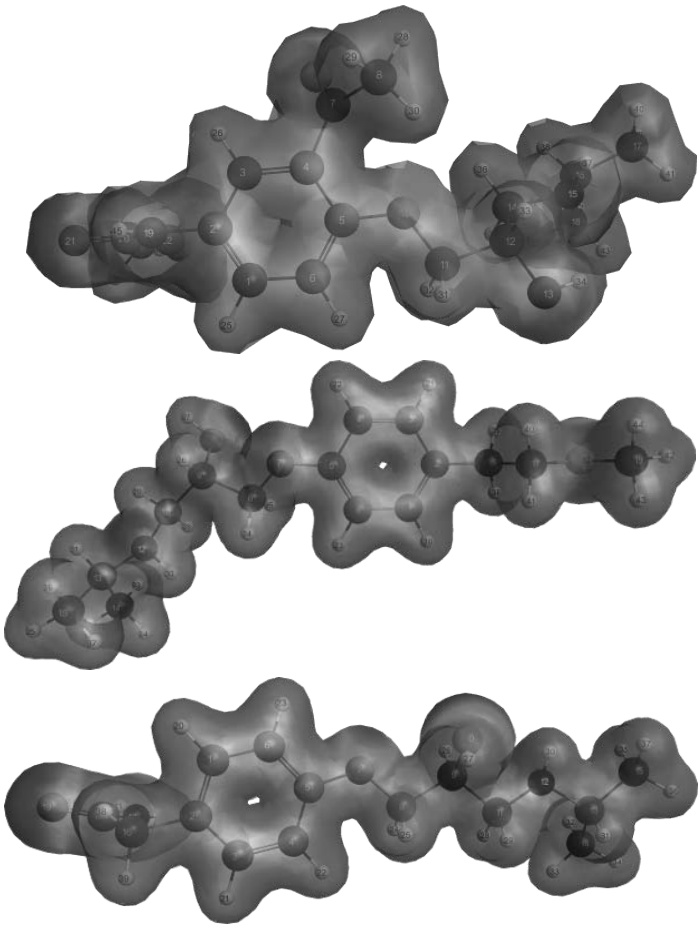
Преко ХОМО и ЛУМО орбитала, односно преко ХОМО-ЛУМО гепа може се изразити хемијска чврстоћа, што је показао Пирсон (Pearson, 1989). Хемијска чврстоћа је квантно-молекулски дескриптор који се често користи као електронско својство које карактерише релативну стабилност молекула. Хемијска чврстоћа се може интерпретирати и као отпор према промени броја електрона. Ова величина је битна и због тзв. *принципа максималне чврстоће* (Parr & Chattaraj, 1991) према коме молекули теже тако да се уреде да им чврстоћа буде максимална. Према поменутом принципу чврстоћа система је максимална при равнотежној геометрији

испитиване структуре, те је стабилност директно повезана са што вишим вредностима чврстоће (Chandrakumar, Ghanty & Ghosh, 2004; Chattaraj, Lee & Parr, 1991).

Добијени подаци по питању равнотежне енергије, ХОМО и ЛУМО енергија, ХОМО-ЛУМО гепа, хемијске чврстоће и хемијског потенцијала, сумирани су у табели 4.

Табела 4

*Compou*nd	*Equilibrium energy* (*Hartrees*)	ХОМО	ЛУМО	ΔE (eB)	*Chemical hardness*, η	*Chemical potential*, $\chi_м$
Ацебутолол	–1106,284	–9,001	2,639	11,644	5,820	3,181
Атенолол	–876,446	–8,570	3,483	12,053	6,027	2,544
Метопролол	–861,571	–8,136	4,000	12,136	6,068	2,068



а)

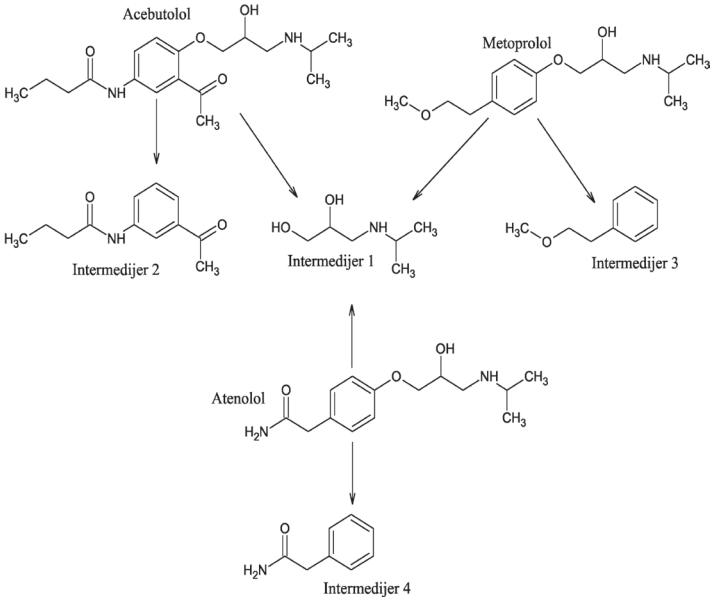
б)

ц)

Слика 4: *Репрезентативне МЕП површи истражених структура: а) ацебутолол, б) метопролол и ц) атенолол*

Кисеоников атом који носи слободне електронске парове, врло уочљиве на МЕП површинама (слика 4), као јак нуклеофилни атом (воли језгро) може бити центар релативно велике хемијске реактивности, одређујући притом реактивност целокупног молекула. Карактеристична функционална етарска веза једна је од најзначајнијих веза када су у питању трансформације молекула (Chandrakumar, Ghanty & Ghosh, 2004)

Као последица тога, интермедијер 1 (шема 1) јесте један од интермедијера који се очекују у систему када су у питању сва три једињења. Такође, у зависности од полазног једињења могу се очекивати и интермедијери 2, 3 и 4 (шема 1, табела 5).



Шема 1: *Могући путеви разградње ацебутолола, метопролола и атенолола*

Табела 5: *Могући интермедијери разградње испитиваних једињења*

Интермедијер	Молекулска формула	Назив једињења	Молекулска маса (g/mol)
1	$C_6H_{15}NO_2$	3-(propan-2-ylamino) propane-1,2-diol	133,19
2	$C_{12}H_{15}NO_2$	*N*-(3-acetylphenyl)butanamide	205,25
3	$C_9H_{12}O$	(2-methoxyethyl)benzene	136,19
4	C_8H_9NO	2-phenylacetamide	135,16

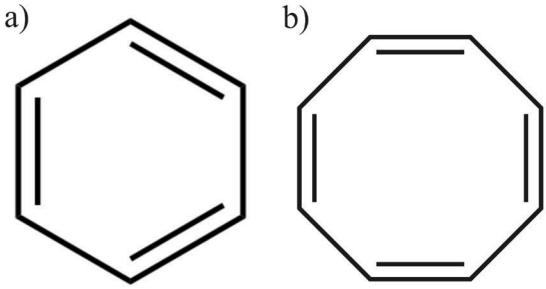
У табели 6 су дати основни параметри стабилности/осетљивости могућих интермедијера истражених једињења. На основу параметара хемијског померања (табела 6), који је виши код предложених интермедијера разградње, можемо видети да су предложени интермедијери стабилнији од полазних једињења.

Табела 6: *Основни параметри стабилности/реактивности могућих интермедијера насталих у току разградње*

Интер-медијер	Равнотеж-на енергија [a.u.]	ХОМО	ЛУМО	ΔE (eV)	Хемијска чврстоћа, η (eV)	Хемијски потенцијал, χ_m (eV)
1	–440,08	–9,633	5,714	15,347	7,674	1,960
2	–515,59	–8,218	3,946	12,164	6,082	2,136
3	–422,647	–8,735	3,973	12,708	6,354	2,381
4	–437,522	–9,143	3,538	12,681	6,340	2,802

3.2. НМР параметри и ароматичност

Средином 19. века појам ароматичности је уведен не би ли се направила разлика између незасићених угљоводоника и формално незасићеног бензена. У једном тренутку чинило се да је цикличност неопходан услов за прављење разлике између наведених група једињења, али се касније испоставило да та претпоставка није тачна, јер је утврђено да једно циклично једињење, циклооктатетраен (слика 5(б)), не поседује ароматичност већ својства типична за полиене (Krygowski & Cyrański, 2009).



Слика 5: *а) бензен, б) циклооктатетраен*

Једињења заснована на бензену која се често идентификују као ароматична једињења у општем случају се одликују слабом реактивношћу. Стога је термодинамичка стабилност, дефинисана као резонантна енергија, била прва квантитативна мера ароматичности. Многи теоријски приступи су уведени не би ли се описала ароматичност, а и магнетна сусцептибилност је искоришћена у те сврхе. Испоставило се да је магнетизам основа за неке уведене концепте, међу којима је за процену ароматичности вероватно најефективније *хемијско померање независно од језгра*, које су увели Шлејер (Schleyer) и др.

Шлејер и сарадници_(Schleyer, Maerker, Dransfeld, Jiao & Van Eikema Hommes,_1996) увели су хемијско померање независно од језгра (*nucleus independent chemical shift* – NICS), као негативну вредност апсолутног маг-

нетног заклањања израчунатог у центру прстена или један ангстрем изнад молекулске равни. У овом раду, поменути приступ је искоришћен за процену ароматичности истражених једињења. Резултати ароматичности су дати у табели 7. Као што се и очекивало, сва истражена једињења су ароматична. Најароматичнији је ацебутолол.

Ипак, на основу рада (Corminboeuf, Heine, Seifert, Von Ragué Schleyer & Weber, 2004) за компоненту која одговара оси нормално на раван прстена, NICSzz, утврђено је да је добра мера за карактеризацију π система прстена, јер изотропне NICS вредности у центру прстена садрже велик утицај од σ система и од свих трију основних компоненти NICS тензора. На великим удаљеностима од центра прстена, *zz* компонента NICS-а, доминирана од стране доприноса од π система, карактерише NICS боље од изотропне вредности.

Због свега наведеног, у табели 7 наводимо резултате и *isotropic NICS* и *NICSzz of magnetic shielding*.

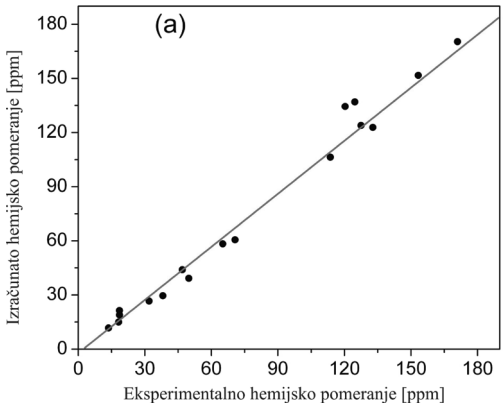
Табела 7: *Ароматичност истражених једињења*

Једињење	NICS (ppm)	$NICS_{zz}$ (ppm)	Хемијска чврстоћа, η (eV)
Ацебутолол	-12,893	-13,609	5,820
Метопролол	-12,447	-14,683	6,068
Атенолол	-11,287	-13,899	6,027

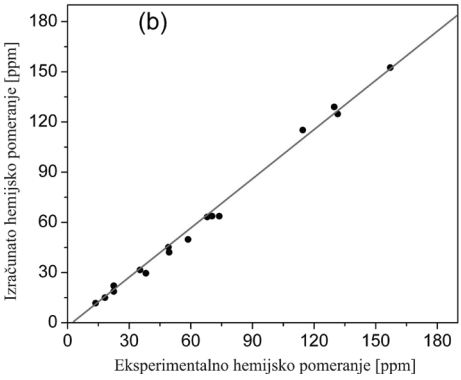
Продукти	NICS (ppm)	$NICS_{zz}$ (ppm)	Хемијска чврстоћа, η (eV)
АЦЕ1	-12,086	-15,282	6,340
МЕТ1	-11,400	-15,694	6,354
АТЕ1	-11,205	-12,351	6,082

Да бисмо утврдили коју вредност NICS-а да користимо за процену ароматичности истражених једињења, позваћемо се на чињеницу да се у неким радовима (нпр. Oziminski, 2012), као стабилност неког једињења доводи у корелацију са његовом ароматичношћу. Ако упоредимо вредности *isotropic* NICS-а и *zz* компоненте NICS-а у зависности од хемијске чврстоће (*chemical hardness*) видимо да тренд пораста од ацебутолола до атенолола важи управо за *zz* компоненту NICS-а. Иста ситуација је и за ароматичне продукте истражених једињења, с том разликом што тренд пораста NICSzz компоненте и хемијске чврстоће иде од продукта атенолола до продукта метопролола.

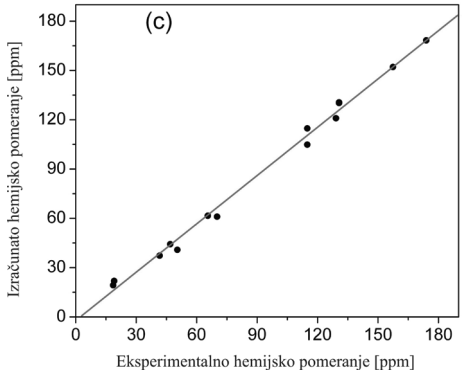
У овом раду је искоришћен GIAO метод (Wolinski, Hinton & Pulay, 1990) за одређивање НМР параметара хемијског померања и *magnetic shielding*-а, имплементиран у *Gaussian 03*. За тај метод се испоставило да је адекватан и за велике системе за одређивање Ц НМР параметара. Добијени параметри су упоређени са експерименталним вредностима, а резултати, у облику корелације израчунатих и експерименталних вредности, приказани су на сликама 6–8.



Слика 6: *Корелација између експериментално и теоријски добијених Ц НМР хемијских померања за ацебутолол*



Слика 7: *Корелација између експериментално и теоријски добијених Ц НМР хемијских померања за метопролол*



Слика 8: *Корелација између експериментално и теоријски добијених Ц НМР хемијских померања за атенолол*

Ефекти растварача DMSO, воде (H_2O) и хлороформа (CHCl3) на НМР параметре добијени су у оквиру основног ПЦМ модела, а резултати су упоређени са експерименталним за сва једињења.

Експериментални резултати за атенолол и ацебутолол су преузети из референце (Zielińska-Pisklak, Pisklak & Wawer, 2011), док су експериментални подаци за хемијско померање за метопролол преузети из референце (Teksin, Hom, Balakrishnan & Polli, 2006).

Са слика 6–8 и табела 8–10 које следе види се одлично слагање теоријских и експерименталних резултата, што оправдава употребу овог нивоа теорије на осредњим органским молекулима.

#	Теорија	Експеримент
1	136,99	124,67
2	122,87	132,78
3	134,47	120,3
4	123,93	127,47
5	151,69	153,28
6	106,36	113,62
7	195,12	198,55
8	26,66	31,93
11	60,60	70,66
12	58,34	65,13
14	44,03	46,90
16	39,26	49,83
17	21,38	18,57
18	18,95	18,59
20	170,38	170,97
22	29,61	38,13
23	15,00	18,19
24	11,72	13,62

Табела 8: *Поређење теоријских и експерименталних вредности HMP хемијског померања (ppm) за ацебутолол, у DMSO*

#	Теорија	Експеримент
1	128,41	–
2	124,83	131,50
3	129,02	129,80
4	115,17	114,50
5	152,52	157,10
6	109,08	–
8	63,74	70,34
9	63,23	67,98
11	45,16	49,10
13	42,14	49,44
14	18,73	22,48
15	22,12	22,48
16	31,58	35,28
17	63,71	73,84
19	49,80	58,66

Табела 9: *Поређење теоријских и експерименталних вредности HMP хемијског померања (ppm) за метопролол, у $CHCl_3$*

#	Теорија	Експеримент
1	130,60	130,65
2	120,77	129,1
3	130,83	130,65
4	105,25	114,88
5	152,06	157,38
6	114,14	114,88
8	60,82	70,11
9	61,72	65,52
11	43,86	46,87
13	40,58	50,39
14	19,28	18,54
15	21,88	19,02
16	37,24	41,6
17	169,63	173,93

Табела 10: *Поређење теоријских и експерименталних вредности HMP хемијског померања (ppm) за атенолол, у DMSO*

Такође, испитан је утицај различитих растварача (DMSO, вода, хлороформ) на HMP параметре хемијских померања. Резултати су дати у табелама 11–13.

#	без	Вода	CHCl3
1	135,10	137,06	136,38
2	123,55	122,86	123,00
3	135,35	134,34	134,73
4	125,69	123,81	124,49
5	150,94	151,76	151,52
6	105,39	106,43	106,07
7	189,93	195,4	193,60
8	26,28	26,68	26,54
11	60,96	60,65	60,70
12	58,92	58,29	58,56
14	44,23	44,01	44,06
16	39,71	39,26	39,38
17	21,73	21,37	21,48
18	19,04	18,97	18,95
20	166,57	170,58	169,39
22	29,91	29,47	29,71
23	15,12	15,00	15,01
24	12,22	11,71	11,86

Табела 11: *Ефекти растварача на 13Ц НМР параметре за ацебутолол*

#	без	Вода	DMSO
1	127,88	128,85	128,79
2	124,53	125,01	124,98
3	128,92	129,06	129,06
4	116,08	114,59	114,68
5	152,73	152,28	152,34
6	108,73	109,41	109,33
8	63,63	63,81	63,80
9	63,38	63,30	63,25
11	45,83	44,85	44,86
13	42,62	41,89	41,92
14	19,09	18,51	18,54
15	22,26	22,09	22,07
16	32,02	31,35	31,38
17	64,22	63,42	63,44
19	50,06	49,67	49,68

Табела 12: *Ефекти растварача на 13Ц НМР параметре за метопролол*

#	без	Вода	CHCl3
1	130,33	130,57	130,59
2	121,63	120,9	120,94
3	129,19	130,91	130,22
4	104,38	105,34	104,86
5	151,95	151,94	152,11
6	115,75	114,02	114,76
8	61,50	60,82	61,04
9	61,55	61,73	61,57
11	45,01	43,83	44,28
13	41,32	40,58	40,87
14	19,41	19,29	19,31
15	22,04	21,87	21,91
16	37,51	37,23	37,32
17	164,58	169,78	168,32

Табела 13: *Ефекти растварача на 13Ц НМР параметре за атенолол*

Из табела 11–13 се види да су се значајније промене у хемијском померању десиле код метопролола (атом C4), ацебутолола (атоми C1, C4, C7 и C20), атенолола (атом C17).

3.3. НБО анализа

НБО анализа представља ефикасан метод за истраживање интрамолекулских и интермолекулских веза и интеракција између веза. То је ефикасна база за истраживање транспорта наелектрисања или конјугативних интеракција молекулског система (Xavier & Gobinath, 2012).

НБО анализа се спроводи енергетским разматрањем свих могућих интеракција између „попуњене" (донорске) НБО и „празне" (акцепторске) НБО, и проценом њиховог енергетског значаја преко теорије пертурбација другог реда. У том смислу, добијају се енергије делокализације електрона из попуњених НБО у празне НБО, тј. добијају се енергије стабилизације као последица донације електрона из донорских НБО ка акцепторским НБО. На тај начин смо у могућности да закључимо које интеракције, међу свим могућим, узрокују стабилност молекула.

За сваку донорску НБО (*i*) и акцепторску НБО (*j*), енергија стабилизације која одговара *i-j* делокализацији може бити процењена на основу претурбације другог реда на следећи начин:

$$E(2) = \Delta E_{ij} = q_i \frac{F(i,j)^2}{\varepsilon_i \varepsilon j}$$

где су *qi* окупираност донорске орбитале, ε_i, ε_j дијагонални елементи (орбиталне енергије), а $F(i,j)$ вандијагонални матрични елементи НБО Фокове матрице.

У табелама 14–16 су дате пертурбационе енергије значајнијих донор-акцептор интеракција и значајне енергије интеракције су дате **болд** типом фонта. Што је виша вредност $E(2)$, интензивнија је интеракција између донора и акцептора електрона.

Табела 14: *Анализе метопролол НБО*

Донор НБО (i)	Аццептор НБО (j)	$E(2)$ kcal/mol	$E(i)-E(j)$ a.u.	$F(i,j)$ a.u.
BD (2) C1 – C2	BD*(2) C3 – C4	44,79	0,50	0,134
BD (2) C1 – C2	BD*(2) C5 – C6	35,48	0,49	0,119
BD (2) C3 – C4	BD*(2) C1 – C2	36,07	0,51	0,122
BD (2) C3 – C4	BD*(2) C5 – C6	44,47	0,50	0,135
BD (2) C5 – C6	BD*(2) C1 – C2	46,57	0,51	0,138
BD (2) C5 – C6	BD*(2) C3 – C4	35,18	0,51	0,120
LP (2) O7	BD*(2) C5 – C6	30,14	0,68	0,137
LP (2) O10	BD*(1) C9 – C11	10,26	1,14	0,097
LP (1) N12	BD*(1) C11 – H28	11,69	1,16	0,105
LP (1) N12	BD*(1) C13 – C14	11,09	1,08	0,098
LP (2) O18	BD*(1) C17 – H40	8,52	1,19	0,091
LP (2) O18	BD*(1) C17 – H41	8,63	1,19	0,091
LP (2) O18	BD*(1) C19 – H43	8,97	1,19	0,093
LP (2) O18	BD*(1) C19 – H44	8,34	1,18	0,090
BD*(2) C5 – C6	BD*(2) C1 – C2	627,11	0,01	0,124

За метопролол видимо да постоји једна много јача интеракција од осталих, између BD*(2) C5 – C6 и BD*(2) C1 – C2, која има вредност од 627 kcal/mol. Остале значајне интеракције имају вредности од 30–40 kcal/mol. Усамљени пар на O7 има најзначајнију интеракцију међу интеракцијама које садрже усамљене парове, док је средња вредност значајних интеракција које садрже усамљене парове 12 kcal/mol.

Табела 15: *Анализе атенолол НБО*

Донор НБО (i)	Аццептор НБО (j)	$E(2)$ kcal/mol	$E(i)-E(j)$ a.u.	$F(i,j)$ a.u.
BD (2) C1 – C6	BD*(2) C2 – C3	33,99	0,51	0,119
BD (2) C1 – C6	BD*(2) C4 – C5	43,16	0,50	0,134
BD (2) C2 – C3	BD*(2) C1 – C6	42,61	0,51	0,132
BD (2) C2 – C3	BD*(2) C4 – C5	31,55	0,50	0,114
BD (2) C4 – C5	BD*(2) C1 – C6	31,84	0,52	0,115
BD (2) C4 – C5	BD*(2) C2 – C3	46,65	0,51	0,139
LP (2) O7	BD*(2) C4 – C5	38,98	0,67	0,154
LP (1) N12	BD*(1) C11 – H29	12,08	1,12	0,105
LP (1) N12	BD*(1) C13 – H31	11,04	1,16	0,102
LP (1) N18	**BD*(2) C17 – O19**	**59,39**	0,73	0,186
LP (1) O19	RY*(1) C17	23,61	1,88	0,188
LP (2) O19	BD*(1) C16 – C17	28,59	1,05	0,156
LP (2) O19	BD*(1) C17 – N18	35,37	1,18	0,185
BD*(2) C4 – C5	**BD*(2) C1 – C6**	**568,79**	0,01	0,125
BD*(2) C17 – O19	BD*(1) C17 – O19	17,73	0,52	0,260

За атенолол поново имамо интеракцију која је много јача од осталих, између BD*(2) C4 – C5 и BD*(2) C1 – C6, чија енергија износи 569 kcal/mol и која се налази на сличном, али не и истом месту, за разлику од метопролола. У поређењу са метопрололом ова најзначајнија интеракција је слабија око 10%. Остале значајне интеракције се налазе у интервалу од 30–50 kcal/mol. Атенолол има шест интеракција које садрже усамљене парове и значајне енергије износе у просеку 25 kcal/mol. Највиши допринос интеракције која садржи усамљени пар, LP (1) N18 са BD*(2) C17 – O19, износи 60 kcal/mol.

Табела 16: *Анализе ацебутолол НБО*

Донор НБО (i)	Аццептор НБО (j)	$E(2)$ kcal/mol	$E(i)-E(j)$ a.u.	$F(i,j)$ a.u.
BD(2) C1 – C2	**BD*(2) C3 – C4**	**51,80**	0,51	0,145
BD(2) C1 – C2	BD*(2) C5 – C6	31,10	0,50	0,112
BD(2) C3 – C4	BD*(2) C1 – C2	33,17	0,50	0,115
BD(2) C3 – C4	BD*(2) C5 – C6	49,19	0,49	0,140
BD(2) C3 – C4	BD*(2) C7 – O9	13,14	0,57	0,083
BD(2) C5 – C6	**BD*(2) C1 – C2**	**53,12**	0,51	0,146
BD(2) C5 – C6	BD*(2) C3 – C4	32,23	0,51	0,115
BD(1) C8 – H29	BD*(2) C7 – O9	10,09	0,93	0,087
LP(1) O9	RY*(1) C7	21,97	1,92	0,184
LP(2) O9	BD*(1) C4 – C7	28,84	1,13	0,162
LP(2) O9	BD*(1) C7 – C8	26,57	1,09	0,154
LP(2) O10	BD*(2) C5 – C6	39,18	0,68	0,155
LP(2) O13	BD*(1) C12 – H33	11,95	1,21	0,108
LP(1) N19	**BD*(2) C20 – O21**	**85,83**	0,61	0,204
LP(1) O21	RY*(1) C20	23,12	1,88	0,186
LP(2) O21	BD*(1) N19 – C20	35,57	1,18	0,185
LP(2) O21	BD*(1) C20 – C22	28,25	1,07	0,157
BD*(2)C3 – C4	BD*(2) C7 – O9	16,36	0,07	0,065
BD*(2)C5 – C6	**BD*(2) C3 – C4**	**646,00**	0,01	0,126

Ацебутолол такође има једну много јачу интеракцију, са вредношћу од 646 kcal/mol (између BD*(2)C5 – C6 и BD*(2) C3 – C4). Остале значајне интеракције се крећу од 10 до 53 kcal/mol. Овај молекул је интересантан зато што интеракција која садржи усамљени пар (N19) има највишу вредност од свих интеракција које садрже усамљене парове једињења која су испитана и износи 86 kcal/mol. Средња вредност осталих значајних интеракција које садрже усамљене парове износи 33 kcal/mol, највише од свих испитаних.

3.4. НПА анализа

За истраживање расподеле наелектрисања неког молекула боље је искористити природну популациону анализу (*Natural Population Analysis*, НПА) него Миликенову, јер НПА анализа не зависи од избора базиса (Irikura, 1998). НПА је део потпуне НБО анализе и резултати су дати у табели 17.

Табела 17: *НПА анализа – НПА наелектрисање атома*

#	Ацебутолол		Атенолол		Метопролол	
	атом	наелек.	атом	наелек.	атом	наелек.
1	C	–0,1645	C	–0,1872	C	–0,1920
2	C	0,0935	C	–0,1077	C	–0,0816
3	C	–0,1465	C	–0,1881	C	–0,1947
4	C	–0,2141	C	–0,3288	C	–0,2680
5	C	0,4197	C	0,3855	C	0,3766
6	C	–0,3280	C	–0,2701	C	–0,3117
7	C	0,6939	O	–0,6062	O	–0,6182
8	C	–0,7241	C	–0,0586	C	–0,0481
9	O	–0,6292	C	0,1309	C	0,1370
10	O	–0,6293	O	–0,7962	O	–0,8033
11	C	–0,0462	C	–0,2297	C	–0,2309
12	C	0,1411	N	–0,7428	N	–0,7467
13	O	–0,8166	C	–0,0112	C	–0,0130
14	C	–0,2350	C	–0,6411	C	–0,6539
15	**N**	–0,7650	C	–0,6372	C	–0,6355
16	C	–0,0121	C	–0,5280	C	–0,4486
17	C	–0,6398	C	0,8489	C	–0,0153
18	C	–0,6399	N	–0,9238	O	–0,6456
19	**N**	–0,7523	O	–0,7245	C	–0,2209
20	C	0,8680				
21	O	–0,7227				
22	C	–0,5303				
23	C	–0,4222				
24	C	–0,6324				

Ацебутолол и атенолол имају по два N атома, богата негативним неалектрисањем. Један N атом се налази практично на истом месту у молекулу код сва три молекула и код свих вредност наелектрисања тог N атома износи око 0,75 e. Међутим, код ацебутолола и атенолола наелектрисања друга два N атома се значајно разликују и то скоро за 0,2 e. У раду Yurdakul & Badoğlu (2011) на основу рада Chavatte, Yous, Marot, Baurin & Lesieur (2001) изјављено је да су N атоми богати негативним наелектрисањем значајни за општу биоактивност неког једињења. На основу тога се закључује да су истражена једињења врло биоактивна. Са друге стране, сви водоници имају позитивно наелектрисање.

4. ЗАКЉУЧАК

У раду је представљена компјутерска студија репрезентативних β-блокатора који ће у релативно блиској будућности представљати значајан еколошки проблем, будући да су већ у значајној мери присутни

у свим врстама вода. Такође, постоји опасност од злоупотребе поменуте групе једињења као психоактивне супстанце, а могу се злоупотребити и у спорту, за постизање бољих резултата.

Неповољни животни услови, стрес и низак животни стандард повлаче све веће коришћење лекова за регулацију крвног притиска. Неопходно је проналазити начине за њихову ефикасну елиминацију из животне околине, што је комплексан и у сваком погледу захтеван задатак. Адекватном решењу поменутог задатка може много помоћи компјутерска *ab initio* анализа, представљена у овом поглављу. Захваљујући развоју рачунара и софтвера, такав приступ истраживању је релативно лако доступан свакој истраживачкој групи.

Истражена једињења су прилично стабилна и спадају у групу средње ароматичних једињења.

Ароматичност, процењена на основу хемијског померања независно од језгра (NICS), доведена је у корелацију са стабилношћу. Добијени резултати прате добијене податке везане за хемијску чврстоћу. На основу МЕП површи предложени су продукти за које је утврђено да су такође веома стабилни, чак и стабилнији од својих родитељских једињења, а исто је и са ароматичношћу, чији пораст прати и пораст хемијске чврстине.

Израчунати НМР параметри 13С хемијског померања су потпуно у складу са експерименталним резултатима. НБО анализа је открила које интеракције су највише допринеле стабилизацији молекула, што је веома важно ако се има у виду и експериментално утврђена постојаност ових једињења. НПА анализа је потврдила обогаћеност негативним наелектрисањем N атома.

Захвалница

Истраживања чији су резултати овде приказани делимично је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (пројекти ТР–34019 и ОН–171039).

ЛИТЕРАТУРА

1. Abramović, B., Kler, S., Šojić, D., Laušević, M., Radović, T. & Vione D. (2011). Photocatalytic degradation of metoprolol tartarate in suspensions of two TiO_2-based photocatalysts with different surface areas. Identification of intermediates and proposal of degradation pathways. *Journal of Hazardous Materials*, *198*, 123–132.
2. Alder, A. C., Schaffner, C., Majewsky, M., Klasmeier, J. & Fenner, K. (2010). Fate of β-blocker human pharmaceuticals in surface water: comparison of measured and simulated concentrations in the Glatt Valley Watershed, Switzerland. *Water Research*, *44*, 936–948.
3. Andreozzi R., Caprio V., Marotta R. & Radovnikovic A. (2003a). Ozonation and H_2O_2/UV treatment of clofibric acid in water: a kinetic investigation. *Journal of Hazardous Materials*, *103*, 233–246.

4. Andreozzi R., Caprio V.,Marotta R. & Vogna D. (2003b). Paracetamol oxidation from aqueous solutions by means of ozonation and H_2O_2/UV system. *Water Research*, *37*, 993–1004.
5. Armaković et al., ContMat (2012). AB INITIO study of active components of some β-blockers. *5th ContMat*, Banja Luka (BiH).
6. Armaković et al., Yucomat (2012). Computational study of sumanenes substituted with nitrogen. *14th YUCOMAT*, Herceg Novi (MNO).
7. Armaković et al., JMM1 (2012): Stevan Armaković, Sanja J. Armaković, Jovan P. Šetrajčić, Igor J. Šetrajčić. Active components of frequently used β-blockers from the aspect of computational study, *Journal of Molecular Modeling*, 18, 4491–4501.
8. Armaković et al., YRC (2012). Substitution effects of sumanene benzylic positions with boron and nitrogen atoms. *11th Young Researchers' Conference: Materials Science and Engineering*, Beograd 2012.
9. Armaković et al., ESRC (2012). Hydrogen storage properties of sumanene. *1st European Early Stage Researchers' Conference on Hydrogen Storage*, Beograd 2012.
10. Armaković et al., JMM2 (2012). Specificities of boron disubstituted sumanenes. *Journal of Molecular Modeling*. – in Press.
11. Armaković et al., ESRC (2012). Modeling of organic biocompaunds. *Regional Biophysics Conference 2012*, Kladovo-Belgrade 2012.
12. *Avogadro: an open-source molecular builder and visualization tool. Version 1.0.3*, http://avogadro.openmolecules.net/.
13. Bode, B. M., Gordon, M. S., MacMolPlt (1998). A graphical user interface for GAMESS. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, *16*, 133–138.
14. Buffle, M., Schumacher, J., Salhi, E., Jekel, M. & Gunten, U. (2006). Measurement of the initial phase of ozone decomposition in water and wastewater by means of a continuous quench-flow system: Application to disinfection and pharmaceutical oxidation. *Water Research*, *40*, 1884–1894.
15. Buffleernes, T., Meisenheimer, M., McDowell, D., Sacher, F., Brauch, H., Haist-Gulde, B., Preuss, G., Wilme, U. & Zulei-Seibert, N. (2002). Removal of Pharmaceuticals during Drinking Water Treatment. *Environmental Science and Technology 36*, 3855–3863.
16. Chandrakumar, K. R. S., Ghanty, T. K., Ghosh, S. K. (2004). Relationship between ionization potential, polarizability, and softness: A case study of lithium and sodium metal clusters. *Journal of Physical Chemistry A*, *108*, 6666–6666.
17. Chattaraj, P. K., Lee, H., Parr, R. G. (1991). HSAB principle. *Journal of the American Chemical Society*, *113*, 1855–1856.
18. Chatzitakis, A., Berberidou, C., Paspaltsis, I., Kyriakou, G., Sklaviadis, T. & Poulios, I. Photocatalytic degradation and drug activity reduction of Chloramphenicol. (2008). *Water Research*, *42*, 386-394.
19. Chavatte, P., Yous, S., Marot, C., Baurin, N., Lesieur, D. (2001). Three-dimensional quantitative structure-activity relationships of cyclo-oxygenase-2 (COX-2) inhibitors: A comparative molecular field analysis. *Journal of Medicinal Chemistry*, *44*, 3223–3230.

20. Conkle, L. J., White, R. J. & Metcalfe, D. C. (2008). Reduction of pharmaceutically active compounds by a lagoon wetland wastewater treatment system in Southeast Louisiana. *Chemosphere*, *73*, 1741-1748.
21. Corminboeuf, C., Heine, T., Seifert, G., Von Ragué Schleyer, P., Weber, J. (2004). Induced magnetic fields in aromatic [n]-annulenes – Interpretation of NICS tensor components. *Physical Chemistry Chemical Physics*, *6*, 273–276.
22. Daughton, C. G., Ternes, T. A. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of subtle change? *Environmental Health Perspectives*, *107(SUPPL. 6)*, 907–938.
23. Daughton, C. & Ternes, T. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of subtle change?. *Environmental Health Perspectives*, *107(suppl.6)*, 907-938.
24. Doll, E. T. & Frimmel, H. F. (2005). Removal of selected persistent organic pollutants by heterogeneous photocatalysis in water. *Catalysis Today*, 101, 195–202.
25. Doll, T. E., Frimmel, F. H. (2003). Fate of pharmaceuticals – Photodegradation by simulated solar UV-light. *Chemosphere*, *52(10)*, 1757–1769.
26. Doll, T. & Frimmel, F. (2003). Fate of pharmaceuticals – Photodegradation by simulated solar UV-light. *Chemosphere*, *52*, 1757–1769.
27. Farmakopejski vodič 3 (FK 3). Agencija za lekove i medicinska sredstva Srbije. Beograd, 2006.
28. Fent, K., Weston, A. A., Caminada, D. (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals, *Aquatic Toxicology*, *76(2)*, 122–159.
29. Frisch, M. J. et al. (2004). Gaussian, Inc., Wallingford CT.
30. Greenhalgh, R., Baron, R. L., Desmoras, J., Engst, R., Esser, H. O. & Klein, W. (1980). Definition of persistence in pesticide chemistry. *Pure & Appl. Chem*., 52, 2563–2566.
31. Zielińska-Pisklak, M. A., Pisklak, D. M., Wawer, I. (2011). 1H and 13C NMR characteristics of β-blockers. *Magnetic Resonance in Chemistry*, 49, 284–290.
32. Zwiener, C. & Frimmel, H. F. (2000). Oxidative treatment of pharmaceuticals in water. *Water Research*, *34*, 1881–1885.
33. Irikura, K. K. (1998). Computational Thermochemistry: Prediction and Estimation of Molecular Thermodynamics. *ACS Symposium Series 677*. Washington, DC: American Chemical Society.
34. Kalaichelvan, S., Sundaraganesan, N., Dereli, O., Sayin, U. (2012). Experimental, theoretical calculations of the vibrational spectra and conformational analysis of 2,4-di-tert-butylphenol. *Spectrochimica Acta. Part A*, *85*, 198–209.
35. Klavarioti, M., Mantzavinos, D. & Kassinos, D. (2009). Removal of residual pharmaceuticals from aqueous systems by advanced oxidation processes. *Environment International*, *35*, 402–417.
36. Liu, T. Q. & Williams, E. H. (2007). Kinetics and degradation products for direct photolysis of β-blockers in water. *Environmental Science and Technology*, *41*, 803–810.

37. Martínez, I. R., Camañas, R. M. V. & Alvarez-Coque, M. C. G. (1999). Micellar liquid chromatography: A worthy technique for the determination of β-antagonists in urine samples. *Analytical Chemistry*, *71*, 319–326.
38. Maurer, M., Escher, I. B., Richle, P., Schaffner, C. & Alder, C. A. (2007). Elimination of β-blockers in sewage treatment plants. *Water Research*, *41*, 1614–1622.
39. Mendez-Arriaga, F., Esplugas, S. & Gimenez, J. (2008). Photocatalytic degradation of non-steroidal anti-inflammatory drugs with TiO2 and simulated solar irradiation. *Water Research*, *42*, 585–594.
40. Nikolai, N. L., McClure, L. E., MacLeod, L. S. & Wong, S. C. (2006). Stereoisomer quantification of the β-blocker drugs atenolol, metoprolol, and propranolol in wastewaters by chiral high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, *1131*, 103–109.
41. Okulik N., Jubert A. H. (2004). Theoretical study on the structure and reactive sites of non-steroidal anti-inflammatory drugs. *Journal of Molecular Structure: Theochem*, 682, 55–62.
42. Organisation for economic Co-operation and Development. Guideline for testing of Chemicals: phototransformation of chemicals in water-direct and indirect photolysis, draft: August 2000. OECD: Paris 2000.
43. Ozdemir, N., Eren, B., Dincer, M., Bekdemir, Y. (2010). Experimental and ab initio computational studies on 4-(1H-benzo[d]imidazol- 2-yl)-N,N-dimethylaniline. *Molecular Physics*, *108*, 13–24.
44. Oziminski, W. P. (2012). Tautomeric equilibria and aromaticity of phosphodiazoles: An ab initio study, *Journal of Theoretical and Computational Chemistry*, *980*, 92–100.
45. Parr, R. G., Chattaraj, P. K. (1991). Principle of maximum hardness. *Journal of the American Chemical Society*, 113, 1854–1855.
46. Pearson, R. G. (1989). Absolute electronegativity and hardness: Applications to organic chemistry. *Journal of Organic Chemistry*, *54*, 1423–1430.
47. Perez-Estrada, L., Malato, S., Gernjak, W., Aguera, A., Thurman, E., Ferrer, I. & Fernandez-Alba,A. (2005). Photo-Fenton Degradation of Diclofenac: Identification of Main Intermediates and Degradation Pathway. *Environmental Science and Technology*, *39*, 8300–8306.
48. Piram, A., Salvador, A., Verne, C., Herbreteau, B. & Faure, R. (2008). Photolysis of beta blockers in environmental waters. *Chemosphere*, *73*, 1265–1271.
49. Politzer, P., Murray, J. S. (2002). The fundamental nature and role of the electrostatic potential in atoms and molecules. *Theoretical Chemistry Accounts*, *108*, 134–142.
50. Rađenović, J., Petrović, M. & Barceló, D. (2009). Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Research*, *43*, 831–841.

51. Romero, V., De la Cruz, N., Dantas, F. R., Marco, P., Gimenez, J. & Esplugas, S. (2011). Photocatalytic treatment of metoprolol and propranolol. *Catalysis Today*, *161*, 115–120.
52. Sacher, F., Lange, T. F., Brauch, J. H. & Blankenhorn, I. (2001). Pharmaceuticals in groundwaters: Analytical methods and results of a monitoring program in Baden-Württemberg, Germany. *Journal of Chromatography A*, *938*, 199–210.
53. Schleyer, P. v. R., Maerker, C., Dransfeld, A., Jiao, H., Van Eikema Hommes, N. J. R. (1996). Nucleus-independent chemical shifts: A simple and efficient aromaticity probe. *Journal of the American Chemical Society*, *118*, 6317–6318.
54. Schmidt, M. W., Baldridge, K. K., Boatz, J. A., Elbert, S. T., Gordon, M. S., Jensen, J. H., Koseki, S., Matsunaga, N., Nguyen, K. A., Su, S. J., Windus, T. L., Dupuis, M., Montgomery, J. A. (1993). GAMESS VERSION = 12 JAN 2009 (R3). *Journal of Computational Chemistry*, *14*, 1347–1363.
55. Sigma Aldrich, http://www.sigmaaldrich.com/catalog, 25. 1. 2013.
56. Singh, N. B. (2005). β-adrenergic blockers as antiarrhytmic and antifibrillatory compounds: An overview. *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapheutic*, *10*, S3-S14.
57. Teksin, Z. S., Hom, K., Balakrishnan, A., Polli, J. E. (2006). Ion pair-mediated transport of metoprolol across a three lipid-component PAMPA system. *Journal of Controlled Release*, *116*, 50–57.
58. Ternes, A. T. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water Research*, *32*, 3245–3260.
59. Ternes, A. T. & Hirsch, R. (2000). Occurrence and behavior of X-ray contrast media in sewage facilities and the aquatic environment. Environmental Science and Technology 34, 2741–2748.
60. Ternes, A. T., Meisenheimer, M., McDowell, D., Sacher, F., Brauch, H. J., Haist-Gulde, B., Preuss, G., Wilme, U. & Zulei-Seibert, N. (2002). Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. *Environmental Science and Technology*, *36*, 3855–3863.
61. Halling-Sorensen B., Nielsen S., Lanzky P., Ingerslev F., Lutzhoft H. & Jorgensen S. (1998). Occurrence, Fate and Effects of Pharmaceutical Substances in the Environment- A Review. *Chemosphere*, *36*, 357–393.
62. Hanks, D. S. (2006). Overview of beta blockers for systolic heart failure. *P and T*, *31*, 112–116.
63. Hoffmann, M. R., Martin, S. T., Choi, W. & Bahnemann, D. W. (1995). Environmental applications of semiconductor photocatalysis. *Chemical Reviews*, *95*, 69–96.
64. Huber, M. M., Canonica, S., Park, G. Y. & Von Gunten, U. (2003). Oxidation of Pharmaceuticals during Ozonation and Advanced Oxidation Processes. *Environmental Science and Technology*, *37*, 1016–1024.
65. Huggett, B. D., Khan, A. I., Foran, M. C. & Schlenk, D. (2003). Determination of beta-adrenergic receptor blocking pharmaceuticals in United States wastewater effluent. *Environmental Pollution*, *121*, 199–205.

66. Wolinski, K., Hinton, J. F., Pulay, P. (1990). Efficient implementation of the gauge-independent atomic orbital method for NMR chemical shift calculations. *Journal of the American Chemical Society*, *112*, 8251–8260.
67. Xavier, R. J., Gobinath, E. (2012). FT-IR, FT-Raman, ab initio and DFT studies, HOMO-LUMO and NBO analysis of 3-amino-5-mercapto-1,2,4-triazole. *Spectrochimica Acta. Part A*, *86*, 242–251.
68. Yang, H., Taicheng, A., Li, G., Song, W., Cooper, W., Luo, H. & Guo, X. (2010). Photocatalytic degradation kinetics and mechanism of environmental pharmaceuticals in aqueous suspension of TiO2: A case of β-blockers. *Journal of Hazardous Materials*, *179*, 834–839.
69. Yurdakul, Ş., Badoğlu, S. (2011). Quantum chemical studies on prototautomerism of 1H-imidazo[4,5-c]pyridine. *International Journal of Quantum Chemistry*, *111(12)*, 2944–2959.

ФОРЕНЗИКА АУТЕНТИЧНОСТИ УМЕТНИЧКИХ СЛИКА ВОЈВОЂАНСКОГ СЛИКАРА ГИГЕ ЂУРАГИЋА ДИЛЕТА

III Глава

Војкан М. Зорић[1,2]
[1] МУП Р. Србије, Дирекција полиције, Управа криминалистичке полиције, Национални криминалистичко-технички центар, Одсек у Новом Саду, Пап Павла 46, 21000 Нови Сад
[2] Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за физику
Трг Доситеја Обрадовића 4, 21000 Нови Сад

Сажетак: Криминогена средина и грамзивост друштвено опасних људи нису мимоишли ни мирног војвођанског, а светски признатог и познатог, сликара и таписеристу Гигу Ђурагића Дилета. Након обележавања 40 година уметничког тог аутора, један део његових слика које су рађене техником уља на платну, постао је предмет криминалне радње фалсификовања. Овај рад се бави научним приказом форензичког поступка којим је доказан покушај фалсификовања слика наведеног сликара, коришћењем метода светлосног стереомикроскопа, инфрацрвене спектрофотометрије са Фуријеовом трансформацијом и скенирајуће електронске микроскопије са електродисперзивним спектрометром иксзрака. Резултати лабораторијских анализа су били одлучујући фактор у позитивном решавању судског поступка.

Кључне речи: фалсификат, уметничке слике, Гига Ђурагић Диле, форензичке анализе.

1. УВОД

Вештачењем (форензичком експертизом), било је потребно утврдити аутентичност уметничких слика чувеног војвођанског сликара и таписеристе Гиге Ђурагића Дилета, које су рађене техником уља на платну. Такође, поред утврђивања да ли се ради о фалсификатима или не, задатак је био и да се утврди да ли су неке од слика досликаване.

Ради одређивања законитости по којима су рађене слике (квалитет боја, тип платна и рамова, начин припремања подлоге), односно упознавања са специфичном техником – „личном картом сликара", аутор овог рада је посетио галерије сликара Дилета и том приликом узорковао сав потребан материјал.

Након вишемесечних анализа одабраних узорака боја и платна, код испитиваних слика утврђена су бројна одступања од стила сликара Дилета, као и разне преправке – досликавања. Након тумачења добијених резултата недвосмислено је показано одступање у квалитету и врсти боја, што је имплицирало тврдњу да су у питању фалсификати уметничких слика.

2. ОПИС УЗОРАКА

Прегледом различитих дела, посебно оних насталих у каснијем стваралачком добу (јер су, према сумњи суда, спорна дела настала у скоријем периоду), утврђено је да оригиналне слике на местима где су причвршћене за радни рам немају обојене ивице. Ивице рамова остају у природној боји платна и јасно је оучљива „муниција" хефталице којом је платно причвршћено за рам (фот. 1–4).

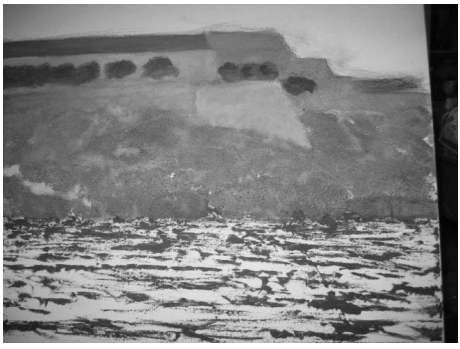
Оригиналне Дилетове слике имају подлогу која се припрема тако што се на платно наноси дрвофикс (лепак за дрво на воденој бази), па потом на њега песак и земља (да би се створио рељефни облик земље Војвођанске равнице, која је неисцрпан мотив већине Дилетових слика), па се све меша са бојом и литафоном (мермерним прахом који сликар додаје да би повећао масу боје на платну а и уштедео на иначе скупим бојама; не користи раније често коришћену цинк белу – зинквајс) (фот. 5–10).

Фот. 1: *Једна од слика у галерији*

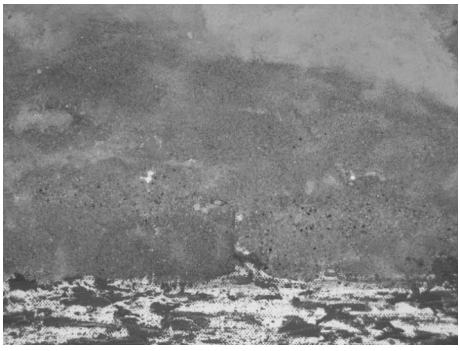
Фот. *2: Бочна страна претходне слике*

Фот. 3: *Необојена ивица рама слике*

Фот. 4: *Ближи изглед необојене ивице рама*



Фот. 5: *Песак и земља у техници рада*

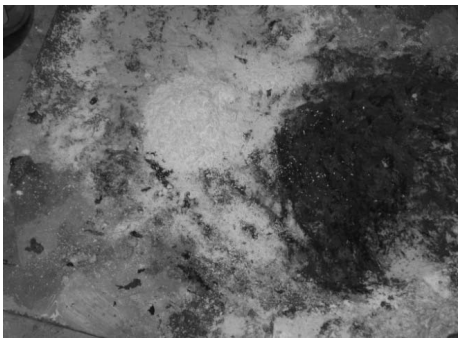


Фот. 6: *Боље уочљиви песак и земља*

Фот. 7: *Мермерни прах – литафон*

Фот. 8: *Литафон пре мешања са бојом*

Фот. 9: *Мешање литафона са бојом*



Фот. 10: *Литафон помешан са бојом и уљем*

Сликар Диле као растварач (за растварање и разређивање боја и прање алата) користи терпентин, што представља једну његову специфичност; већина других сликара користи уљани разређивач.

Аутор је потом извршио узорковање неспорног материјала (ради поређења). Почело се од директног узорковања боја из туба које су биле отворене и раније коришћене, а затечене су сложене или разбацане по галерији (фот. 11) и које је сликар Гига користио у својој техници рада. Чине их:

1) Од произвођача *Shangai SIIC Marie painting materials co. LTD*. (фот. 11):
   а) *Maries OIL COLOUR 676 Yellow ochre E 1385 (170 ml)*,
   б) *Maries OIL COLOUR 104 Titanium white E 1385 (170 ml)*,
   в) *Maries OIL COLOUR 684 Burnt Sienna E 1384 (50 ml)*.
2) Од произвођача *Winsor&Newton OLI Colour, England, London* (фот. 11): *30 Phthalo Blue (37 ml)*;
3) Од произвођача *AERO, D.D. Ipavčeva 32, 3000 Celje, Slovenija*, (фот. 11) *Umetničke oljnate barve Studio, Kromoksid zelena 806 (42 ml)*;
4) Од произвођача *Hempro, Šid, Sava Šumanović, ART color* (фот. 13 и 14); *Тамно зелена уљана боја (30 ml)*;
5) Произвођач: *Natur ART, Јагодина* (фот. 13 и 14); *811 Van Dyke Brown (60 ml)*.

Фот. 11: *Фабричке уљане боје*

Фот. 12: *Фабричке уљане боје*

Фот. 13: *Боје из фирми из Шида и Јагодине*

Фот. 14: *Ближи изглед*

Узорковање боја је извршено са следећих *неспорних слика*:

1) Булке, слика НС1 (неспорна слика 1), фот. 15;

2) Булке, слика НС2 (фот. 16);

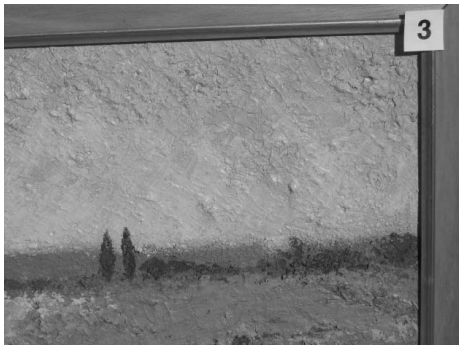
Фот. 15: *Неспорна слика: Булке 1*

Фот. 16: *Неспорна слика: Булке 2*

3) Житна поља, слика НС3 (фот. 17 и 18);

4) Житна поља са дрветом, слика НС4 (фот. 19 и 20);

Фот. 17: *Житна поља, слика 3*



Фот. 18: *Житна поља, 3 – гранулација површи*

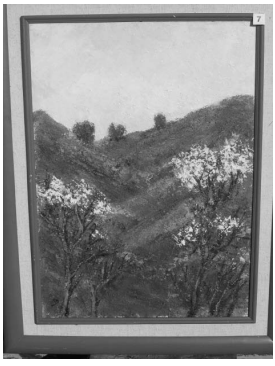
Фот. 19: *Житна поља и дрво, слика 4*

Фот. 20: *Житна поља, 4 – гранулација површи*

5) *Житна поља са салашом*, слика НС5 (фот. 21);
6) *Напуштен салаш*, слика НС6 (фот. 22);
7) *Околина бање Врујци* (западна Србија), слика НС7 (фот. 23);
8) *Ораница под снегом*, слика НС8 (фот. 24);

Фот. 21: *Житна поља са салашом у даљини, 5*

Фот. 22: *Напуштен салаш, слика 6*



Фот. 23: *Околина бање Врујици, слика 7*

Фот. 24: *Ораница под снегом, слика 8*

9) *Ораница са замрзнутом браздом*, слика НС9 (фот. 25);
10) *Житна поља, салаш и дрвеће*, слика НС10 (фот. 26 и 27);
11) *Ораница са шумом*, слика НС11 (фот. 28).

Фот. 25: *Ораница са замрзнутом браздом*

Фот. 26: *Ораница са шумом, слика 11*

Фот. 27: *Житна поља, салаш и дрвеће, сл. 10*

Фот. 28: *Житна поља, 10–нијансе окер боје*

Сви узорци су изузети са слика из сликаревог циклуса слика *Равница* и *Војводина какву сам одувек волео*.

Након завршеног узорковања материјала са неспорних слика (НС), извршено је и узорковање материјала са спорних слика (С), у присуству клијената свих заинтересованих страна.

Узорковање материјала је извршено са следећих *спорних слика*:
1) *Букет цвећа у вази*, слика С 1 (фот. 29 и 30);
2) *Булке у вази*, слика С2 (фот. 31 и 32);
3) *Букет лала у вази*, слика С3 (фот. 33 и 34);

Фот. 29: *Букет цвећа у вази, слика С1*

Фот. 30: *Слика С1 – боја бочне стране рама*

Фот. 31: *Булке у вази, слика С2*

Фот. 32: *Слика С2 – боја бочне стране рама*

Фот. 33: *Букет лала у вази, С3*

Фот. 34: *Слика С3 – боја бочне стране рама*

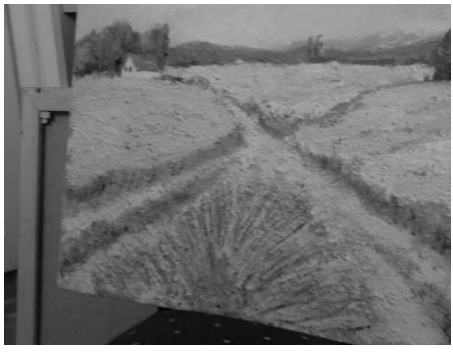
4) *Укрштање путева са булкама*, слика С4 (фот. 35 и 36);
5) *Поље са булкама*, слика С5 (фот. 37 и 38);
6) *Укрштање путева у пољу*, слика С6 (фот. 39 и 40);

Фот. 35: *Укрштање путева са булкама, С4*

Фот. 36: *Слика С4 – боја бочне стране рама*

Фот. 37: *Поље са булкама, С5*

Фот. 38: *Слика С5 – боја бочне стране рама*



Фот. 39: *Укрштање путева у пољу, С6*

Фот. 40: *Слика С6 – боја бочне стране рама*

7) *Куће у пољу*, слика С7 (фот. 41 и 42);
8) *Поље булки*, С8 (фот. 43 и 44);
9) *Капела*, С9 (фот. 45 и 46).

Фот. 41: *Куће у пољу, С7*

Фот. 42: *Слика С7 – боја бочне стране рама*

Фот. 43: *Поље булки, С8*

Фот. 44: *Слика С8–боја бочне стране рама*

Фот. 45: *Капела, С9*

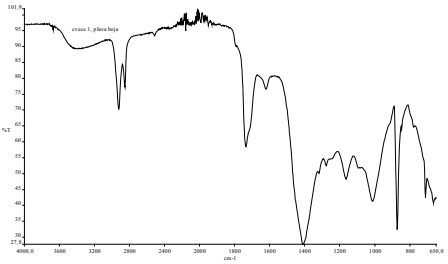
Фот. 46: *Слика С9–боја бочне стране рама*

Након поређења узоркованог материјала, помоћу визуелног и стереомикроскопског посматрача, детектована је сличност нијанси боја (респективно) код узоркованог материјала (код боја исте основе), што је имплицирало даље лабораторијске анализе.

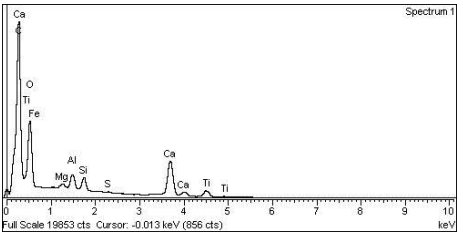
3. ФИЗИЧКО-ХЕМИЈСКА АНАЛИЗА

У поступку физичко-хемијске анализе коришћени су следећи аналитички методи:

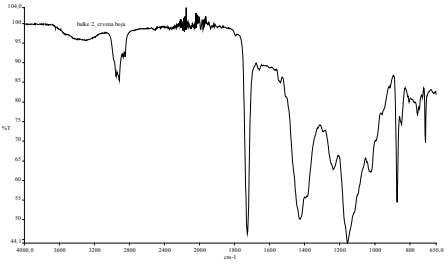
1) За физичко-хемијску анализу органског састава узорака коришћен је метод инфрацрвене спектрофотометрије са Фуријеовом трансформацијом (ФТ-ИР). Спектроскопија је урађена на инструменту марке *Thermo Electron Corporation* тип *Nexus 670*, АТР (*Attenuated Total Reflection*) техником, у лабораторији за физичку хемију Природно-математичког факултета Универзитета у Новом Саду, уз помоћ проф. др Александра Николића, шефа катедре за физичку хемију и његовог тима.
2) За потребе физичко-хемијске анализе неорганског састава узорака коришћен је метод скенирајуће електронске микроскопије са електродисперзивним спектрометром икс-зрака (СЕМ/ЕДС). Анализа је урађена у Универзитетском Центру за електронску микроскопију Универзитета у Новом Саду, уз помоћ проф. Милоша Бокорова. Коришћен је инструмент марке „ЈСМ", модел 6460 ЛВ (*Joel Scaning Microscope Low Vaccuum*), јапанске фирме „ЈОЕЛ". Код сваког узорка снимано је од два до шест спектралних подручја, зависно од тога колико се посматрана подручја међусобно разликују. На тај начин је добијена широка палета резултата (186), где су селекцијом издвојени само најбољи скенови.



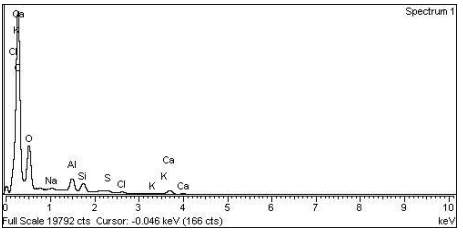
Сп. 1, плава боја ФТ-ИР



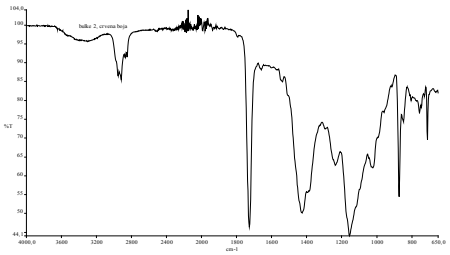
Сп. 1, плава боја СЕМ/ЕДС



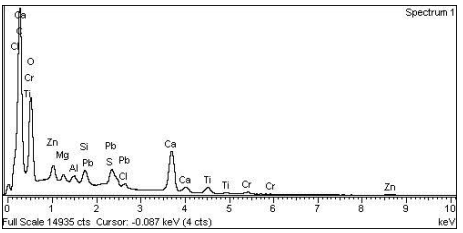
Сп. 2, црвена са булке



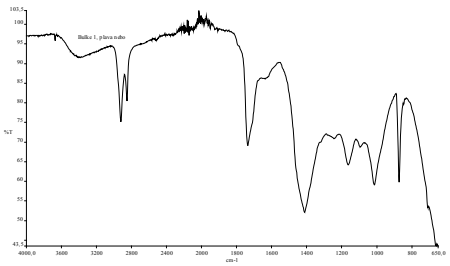
Сп. 2, црвена са булке СЕМ/ЕДС



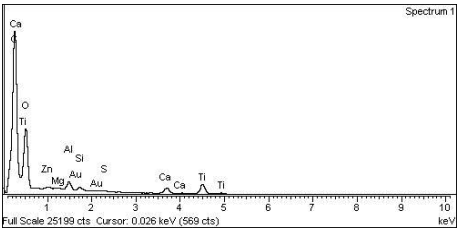
Сп. 3, лале, жута



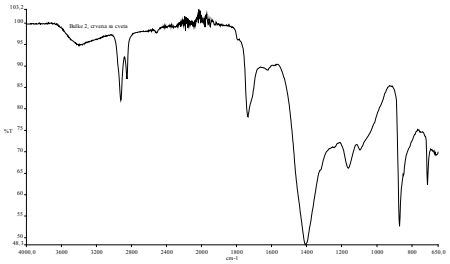
Сп. 3, лале, жута СЕМ/ЕДС



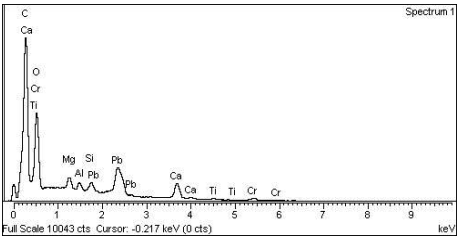
Неспорна 1, плава са неба



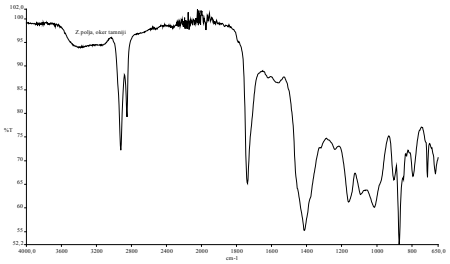
Неспорна 1, плава са неба СЕМ/ЕДС



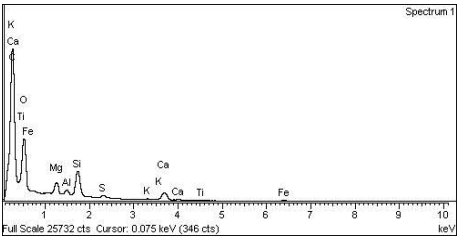
Неспорна 2, црвена булке



Неспорна 2, црвена булке СЕМ/ЕДС



Неспорна 4, жута са жита



Неспорна 4, жута са жита СЕМ/ЕДС

4. ЗАКЉУЧАК

Код предметних спорних слика, утврђено је следеће:

1) Код спорне слике С1, на којој је приказан букет плаво-жутог цвећа у плавој вази, органски састав упоређених узорака плаве боје није истоврстан, док код узорака беле боје постоји мала истоврсност са узорком једне од неспорних слика (НС4). Неорганski састав узорака плаве боје се разликује

код хемијских елемената хлора, калијума и цинка; код узорака беле боје разлика је у калијуму и цинку, као и код веће концентрације алуминијума (веће од 1, што није случај код неспорних узорака). Имајући наведено у виду, мишљења смо да спорна слика С1 није урађена коришћењем материјала који код већине својих слика користи академски сликар Гига Ђурагић Диле, односно *није аутентично* дело сликара Ђурагића;

2) Код спорне слике С2, на којој је приказан букет булки у плавој вази, органски састав упоређених узорака црвене, плаво-беле и жуте боје није истоврсног састава као и узорци наведених боја, респективно код неспорних слика. Неорганski састав узорака црвене боје се разликује у натријуму, сумпору, хлору, хрому и олову. Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С2 није урађена коришћењем материјала који код већине својих слика користи академски сликар Гига Ђурагић Диле, односно *није аутентично* дело сликара Ђурагића;

3) Код спорне слике С3, на којој је приказан букет црвених лала у белој вази, органски састав упоређених узорака црвене и беле боје није истоврстан. Уочава се истоврсност са спорним узорцима са слике С2. Неорганski састав узорака црвене боје се разликује код магнезијума и хлора, као и повећаној концентрацији алуминијума (већој од 1, што није случај код неспорних узорка), док је код узорака беле боје постоји разлика у натријуму и гвожђу, као и калцијуму (што највероватније потиче од коришћеног пуниоца – литафона). Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С3 има у свом саставу материјал који у својој сликарској техници користи сликар Ђурагић, али не у потпуности, па се за ову слику може рећи да је *досликавана*, додавањем другог бојеног материјала;

4) Код спорне слике С4, на којој је приказано укрштање путева са булкама у пољу, органски састав упоређених узорака жуте и зелене боје није истоврстан. Неорганski састав узорака жуте боје се разликује по натријуму, калијуму и гвожђу, као и у високој концентрацији хрома. Неорганski састав узорака зелене боје се разликује у јоду и повећаној концентрацији алуминијума. Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С4 није урађена коришћењем материјала који код већине својих слика користи академски сликар Гига Ђурагић Диле, односно *није аутентично* дело сликара Ђурагића;

5) Код спорне слике С5, на којој је приказано житно поље с булкама у другом плану, органски састав упоређених узорака црвене и жуте боје није истоврстан. Неорганski састав узорака црвене боје се разликује по натријуму, сумпору, хлору и гвожђу. Детекција олова је интересантна за упоређене узорке и указује на исти извор материјала. Неорганski састав узорака жуте боје се разликује по натријуму, калијуму и гвожђу. Детекција алуминијума и калцијума (у високој концентрацији), као и цинка (већи од 1), указује на делом исти извор материјала. Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С5 има у свом саставу материјал који у својој сликарској техници користи сликар Ђурагић, али не у потпуности, па се за ову слику може рећи да је она *досликавана*, додавањем другог бојеног материјала;

6) Код спорне слике С6, на којој је приказано укрштање путева у пољу, органски састав упоређених узорака жуте боје је истоврстан као и код неспорног узорка НС 10/3. Органски састав узорака зелене боје није истоврстан. Неорганski састав упоређених узорака бело-жуте боје се разликује код натријума, калијума, као и по високој концентрацији алуминијума и цинка и калцијума (за кога се претпоставља да потиче од литафона). Неорганski састав узорака зелене боје се разликује код хрома и олова. Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С6 има у свом саставу материјал који у својој сликарској техници користи сликар Ђурагић, али не у потпуности, па се за ову слику може рећи да је она *досликавана*, додавањем другог бојеног материјала;

7) Код спорне слике С7, на којој су приказане куће у пољу, органски састав упоређених узорака црвене и жуте боје није истоврстан. Неорганski састав узорака црвене боје се разликује код натријума, сумпора, калијума и калцијума (вероватно од литафона), као и гвожђа. Такође, различитост се огледа и у високој концентрацији алуминијума и силицијума. Неорганski састав узорака жуте боје се разликује у натријуму, калијуму, гвожђу и по високој концентрацији калцијума и хрома. Интресантна је детекција олова и индијума, која делом указује на коришћење истоврсног материјала. Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С7 има у свом саставу материјал који у својој сликарској техници користи сликар Ђурагић, али не у потпуности, па се за ову слику може рећи да је она *досликавана*, додавањем другог бојеног материјала;

8) Код спорне слике С8, на којој су приказане булке у житном пољу, органски састав упоређених узорака црвене и жуте боје није истоврстан. Неорганski састав узорака црвене боје се разликује у натријуму, хлору, калијуму, гвожђу, цинку, злату, алуминијуму и по високој концентрацији титана. Неорганski састав узорака жуте боје се разликује у натријуму, калијуму, гвожђу и по високој концентрацији хлора и цинка. Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С8 није урађена коришћењем материјала који код већине својих слика користи академски сликар Гига Ђурагић Диле, односно *није аутентично* дело сликара Ђурагића;

9) Код спорне слике С9, на којој је приказана мања црква/капела и дрво без крошње на чијем се врху налази гнездо роде, органски састав упоређених узорака браон боје није истоврстан. Органски састав упоређених узорака беле боје С9/1 је истоврстан као код неспорног узорка НС4. Органски састав узорака бело-плаве боје С9/2 је истоврстан као код неспорног узорка НС6. Неорганski састав узорака браон боје се разликује у силицијуму, по високој концентрацији калцијума (највероватније од литафона) и титана, као и детекцији јода, стронцијума и брома, који су највероватније накнадно нанесени у танком слоју. Неорганski састав узорака беле боје се разликује код калцијума (у високој концентрацији, највероватније од литафона), титана, и детекцији јода и стронцијума, који су највероватније накнадно нанесени у танком слоју. Неорганski састав упоређених узорака бело-плаве боје разликује се код калцијума (у високој концентрацији највероватније од литафона и титана. Јод и стронцијум су највероватније накнадно нанесени у танком слоју.

Имајући у виду наведене разлике, мишљења сам да спорна слика С9 је урађена коришћењем материјала који код већине својих слика користи академски сликар Гига Ђурагић Диле и од свих анализираних слика ова слика је најмање оштећена и на њој су вршене минималне корекције, на шта указује присуство хемијских елемената у микротраговима (јод, стронцијум и бром), али се и за ову слику *не може рећи да је апсолутно аутентично* дело сликара Ђурагића, управо због детекције наведених хемијских елемената који се утицали на корекцију.

Захвалница

Истраживања чији су резултати овде приказани делимично су финансирани од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (пројекат ТР–34019).

ЛИТЕРАТУРА

1. Зорић, В. М. (2009). *Анализа механичких осцилација у обојеним премазима и методи примене резултата у форензичким истраживањима*, докторска дисертација. Зрењанин: Технички факултет „Михајло Пупин".
2. Zorić, V. M. (2006). Methods expertise Fibres – Microtraces in evidence in the investigation, Proceedings 5. *Scientific conference with international participation „Expertus Forensis"*, 77.
3. Zorić, V. M. i dr. (2008). Contribution to the determination sameness of paint in microtraces, Proceedings 1. *Expert Witnesses Croatian Congress with International participation*, B. 6/4, 1–11.
4. Kiely, T. F. (2001). *Forensic evidence: Science and the Criminal law*, Press LLC.
5. Максимовић, Р. и др. (2000). *Методи физике, хемије и физичке хемије у криминалистици*, Београд: Полицијска академија.

БИОМЕТРИЈСКО-ФОРЕНЗИЧКЕ МЕТОДЕ У ФОРЕНЗИЦИ: УЛОГА НУКЛЕИНСКИХ КИСЕЛИНА ПРИЛИКОМ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ИЗВРШИЛАЦА И ЖРТАВА КРИВИЧНИХ ДЕЛА

IV Глава

Смиља Теодоровић
Криминалистичко-полицијска академија
Цара Душана 196, 11080 Београд

Сажетак: У овом поглављу су изложене биометријско-форензичке методе које омогућавају идентификацију појединаца, пре свега актера криминалних дела. Најпре су уопштено представљене идентификације у биометријским системима, који данас омогућавају аутоматску и поуздану идентификацију особа у реалном времену. Даље, посебна пажња је посвећена улози нуклеинских киселина као биометријских карактеристика. Наиме, обрађена је тема ДНК профилисања, једног од најзначајнијих, најраспрострањенијих и најпоузданијих видова идентификације особа данас широм света. Такође је предочена могућност варања ове методе, стратегије за детекцију покушаја превара, као и њена доказна вредност на суду. Додатно је анализирана употреба РНК, како појединачних иРНК, читавог транскрптома, тако и микроРНК, за детекцију хуманих телесних течности и ткива на месту криминалног догађа. Финално, разматране су евалуације и стандардизације биометријско-форензичких метода идентификације, нарочито ДНК, као и хармонизације метода са међународним стандардима кроз акредитацију форензичких лабораторија Републике Србије.

Кључне речи: биометријска идентификација особа, ДНК профилисање, РНК, форензичка серологија, стандардизација, евалуација метода.

1. УВОД У БИОМЕТРИЈСКО-ФОРЕНЗИЧКЕ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ

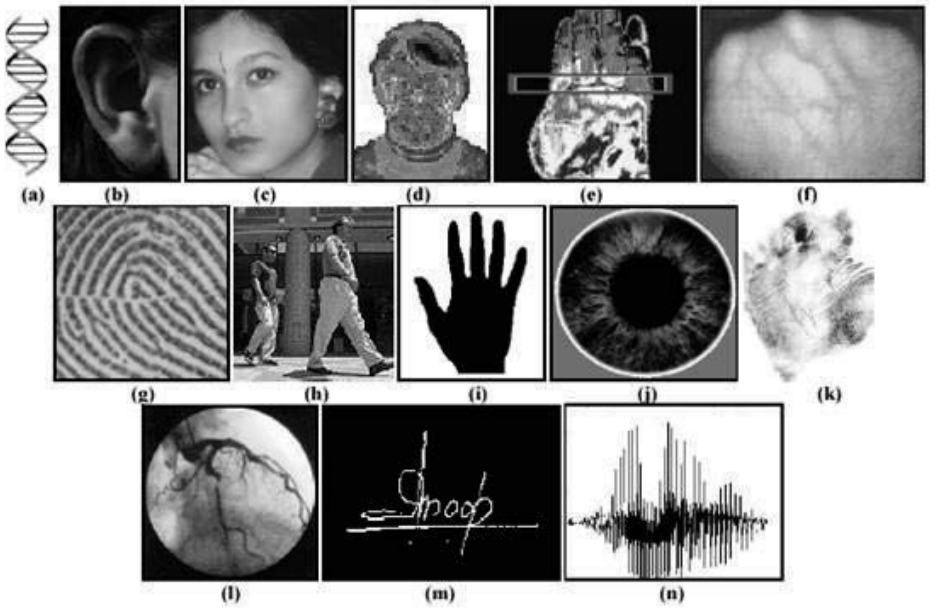
Форензика је наука која примењује методе фундаменталних и примењених наука у циљу разрешавања криминалних и цивилних догађаја, релевантних за правни систем. Као таква, омогућава сузбијање криминалитета путем откривања и доказивања како кривичних дела тако и њихових извршилаца и жртава. Тај процес се обавља помоћу софистицираних метода и технологија, које су у свету свакодневно све распрострањеније, брже, прецизније и доступније. Иновирање форензичких метода у Републици Србији и праћење савремених светских трендова и тенденција у овој области је захтеван задатак, како због свог обима, тако и због великих финансијских издатака и недостатка законске регулативе. Ипак, тај процес је кључан за превенцију криминалних радњи и разрешавање већ учињених кривичних дела, у циљу успостављања савременог државно-правног уређења. Такође, неопходне су и стандардизација и хармонизација форензичких метода и процедура са земљама Европе и САД, ради успостављања што успешније међународне сарадње и што ефектније глобалне борбе против криминала и тероризма.

Идентификација људи се може извршити путем нечега што људи знају (лозинка, ПИН код), путем нечега што људи поседују (пасош, лична карта), као и путем нечега што јесу (биолошке карактеристике) (Теодоровић & Бранковић, 2010). Како се лозинке и ПИН-ови могу заборавити или украсти, а идентификациона документа изгубити, украсти или фалсификовати, биометријске карактеристике, као интегрална компонента људског тела или особени облик понашања појединаца, представљају далеко супериорнији начин за идентификацију људи (Shen & Tan, 1999).

Дакле, биометрија подразумева идентификацију особа на основу њихових биолошких карактеристика, како физиолошких, тако и бихевиористичких (Теодоровић & Бранковић, 2010). Анатомске и физиолошке особености људског тела које се данас рутински користе за идентификацију појединаца су отисак прста и длана, слика лица, дужица ока, мрежњача ока, геометрија и вене шаке, као и ДНК (слика 1). Са друге стране, примери особеног понашања на основу којих можемо идентификовати људе су потпис, рукопис, глас, начин хода, динамика куцања и гестикулације (слика 1). Поуздана идентификација особа се врши путем универзалних, јединствених и непроменљивих биолошких карактеристика, које се могу прецизно мерити, и то на начине које је тешко преварити, а прихватљиви су јавности у савременом друштву (Jain, Ross & Prabhakar, 2004).

Идентификација особа помоћу биометријских карактеристика је нашла широку примену у криминалистици, државној сфери интереса, као и у комерцијалном сектору (Теодоровић & Бранковић, 2010). Циљ биометријске идентификације особа у форензици је проналажење или оповргавање споне између појединца и места криминалног догађаја, односно проналажење учиниоца кривичног дела или ослобађање недужних осумњичених грађана. За сваку државу је од изузетног значаја

спречавање илегалних прелазака државне границе, као и илегалних боравака на њеној територији. Многе државе су, стога, увеле биометријске системе идентификације на својим граничним прелазима: идентификација путем геометрије шаке (Бен Гурион аеродром у Тел Авиву), ириса (аеродром „Схипол“ у Амстердаму и више аеродрома у Уједињеним Арапским Емиратима), отиску прста (аеродром „Никола Тесла“ у Београду) итд. Биометријске идентификације су такође у употреби приликом приступа државним објектима високе безбедности, као и током приступа поверљивим информацијама у државним компјутерским системима. За државне структуре је такође битна индентификација људи у циљу спречавања вишеструког гласања на изборима или вишеструког примања социјалне помоћи. На пример, UNHCR програм спроведен на авганистанско-пакистанској граници, базиран на препознавању ириса, регистровао је преко 200 избеглица које, по повратку у земљу, примају државну социјалну помоћ (UNHCR, 2003). Борба против тероризма, појачана након терористичких напада у Сједињеним Америчким Државама (2001), Шпанији (2004) и Уједињеном Краљевству (2005), је подстакла употребу видео надзора на аеродромима и другим јавним местима (Теодоровић & Машковић, 2011). Финално, комерцијална биометрија обухвата широк спектар апликација, као што су утврђивање очинства, електронско пословање, видео-надзор у продавницама, као и приступ личним уређајима (лаптоп рачунари, мобилни телефони).



Слика 1: *Неке биометријске карактеристике*[4]

4 http://www.geocities.ws/hnabhijith/Biometrics.htm

Биометријске идентификације се типично врше помоћу аутоматских система који функнционишу на принципу „препознавања шаблона", биометријских система (Теодоровић & Бранковић, 2010). Да би се процес идентификације одиграо у биометријском систему, неопходно је, пре свега, извршити аквизицију биометријске карактеристике и њену дигитализацију путем сензора (Shen & Tan, 1999). Тако се, на пример, аквизиција података у аутоматском систему базираном на отиску прста врши помоћу скенера, у систему базираном на гласу говорника путем микрофона, а у систему базираном на слици лица путем фотоапарата или камере. Квалитет сензора (резолуција, површина) кључан је за прецизност крајњих резултата поређења (Jain, Feng & Nandakumar, 2010). Дигитална слика биометријске карактеристике генерисане путем сензора даље подлеже претпроцесирању, како би се из ње уклонили сви неспецифични и непоновљиви атрибути, који би могли омести процес идентификације (Shen & Tan, 1999). Потом се из обрађене дигиталне слике екстрахују карактеристике, које је чине јединственом. Оне се могу сместити у шаблон и на основу њих ће се вршити касније поређење. Алгоритам за екстракцију карактеристика за поређење генерише вектор, у коме компоненте базиране на биометрији добијају нумеричке вредности (Shen & Tan, 1999). Циљ ове иреверзибилне компресије јесте да карактеристике прикупљене од исте особе у различита времена буду представљене као „исте", а карактеристике прикупљене од различитих особа као „различите". Добијени шаблони смештају се у базу података, која може бити локална или централна. Када се током процеса идентификације пореде биометријске карактеристике, компонента система за компарацију пореди векторе добијене током екстракције карактеристика. Резултат поређења је скор подударности, који представља степен сличности између упоређених карактеристика упита и шаблона (Shen & Tan, 1999). Финално, систем доноси коначну одлуку – што је степен подударања већи, то је систем сигурнији да упоређене биометријске карактеристике потичу од исте особе (Shen & Tan, 1999). Коначна одлука система условљена је прагом, претходно дефинисаним тако да одговара примени биометријског система.

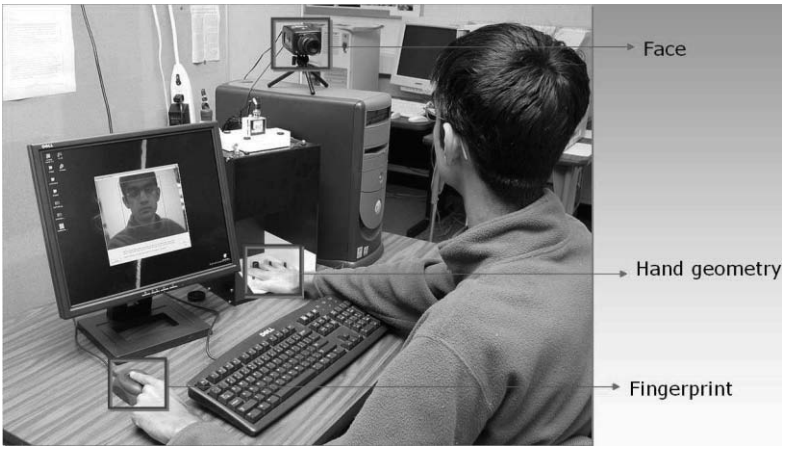
Три процеса која се одвијају у аутоматским биометријским системима су: уписивање, верификација и идентификација (Jain, Ross & Prabhakar, 2004). *Уписивање* или регистрација подразумева први контакт корисника са биометријским системом. Жељена биометријска карактеристика корисника се скенира и процесира, а из дигиталне форме се екстрахују карактеристике за касније поређење. Екстраховане карактеристике се смештају у шаблон, који се складишти у базу података. Шаблон сваког појединца практично представља референтну базу података за ту особу. *Верификација* је процес током кога се установљава да ли је одређена особа она за коју се представља. Када се жељена биометријска карактеристика скенира и процесира и из дигиталне форме екстрахују карактеристике, генерисани упит се пореди са шаблоном из базе података за ову одређену особу. Дакле, ово 1:1 поређење онемогућава да више особа користи исти идентитет. *Идентификација* је процес који нам омогућава да одгонетнемо о којој се особи ради. После скенирања жељене биометријске ка-

рактеристике и екстраховања карактеристика за поређење, створени упит се пореди са свим шаблонима који се налазе у бази података. Стога, ово 1:Н поређење спречава да једна особа користи више идентитета. Идентификација може бити „затвореног типа", када је познато да се особа налази у бази података и трага се за њеним идентитетом, или „отвореног типа", када се прво утврђује да ли се особа налази у бази података и, у случају потврдног одговора, који је њен идентитет.

У Републици Србији су 2003. године уведени нови информациони системи компаније „Моторола" за идентификацију особа помоћу карактеристика лица и отиска прста. Иста опрема у употреби је и у Норвешкој, Словенији, Данској, Шведској, Швајцарској, Чешкој, Португалу, Румунији, Грчкој и другим земљама. Та новина је умногоме модернизовала и унапредила рад Министарства унутрашњих послова Републике Србије (МУП РС) и других српских безбедносних установа. Поменуте технологије су у употреби за лична идентификациона документа (биометријску личну карту и биометријски пасош), у криминалистици (МУП-ова форензичка база отисака прстију данас броји више од 600.000 уноса), као и у међународној сарадњи приликом координације и размене информација са Интерполом, Еуруполом и другим међународним институцијама.

Проблеми који могу настати током биометријске идентификације најчешће се односе на појаву шума, на отежано очитавање, висок ниво сличности очитаних карактеристика код неколико особа, могућност релативно једноставне обмане система, грешке у очитаним подацима, лоше интеракције система и корисника, низак ниво различитости и неуниверзалност (Jain & Ross, 2004; Pettersson & Obrink, 2002). Већи део тих проблема може бити решен, или бар умањен на прихватљив ниво, увођењем мултимодулних биометријских система (Ross & Jain, 2003; Kezele, 2010; Јосић, 2011), у којима се процес идентификације обавља на основу две или више биометријских карактеристика. Они се називају „мултимодални системи" (слика 2) (Машковић, Теодоровић & Бранковић, 2012). Уколико се у њима интеграција информација које потичу од различитих биометријских карактеристика обавља рано у процесу идентификације, одмах по скенирању, говоримо о мултимодалним системима „ране или сензорске фузије" (Ross, 2007). Пример таквог система је идентификација особа помоћу дводимензионалне и тродимензионалне слике лица, које се интегришу у нову слику која потом служи као почетна дигитална слика за даље процесирање. Насупрот томе, мултимодални системи „касне фузије" су они у којима се читав процес идентификације за сваку карактеристику врши независно, те се, стога, добија број скорова подударности који је једнак броју биометријских карактеристика које се процесирају (Ross, 2007). Пример таквог система је идентификација особа помоћу отиска прста, геометрије шаке и слике лица, у коме је одлука о идентификацији базирана на коначном скору подударности, добијеном на основу три појединачна скора подударности. Мултимодални биометријски системи (Ross & Jain, 2003; Snelick, Indovina, Yen & Mink, 2003; Jain & Ross, 2004; Gower, 2010) обезбеђују виши ниво сигурне аутентификације употребом већег броја биометријских извора информација и смањују ниво

грешке и могућност обмањивања система лажним представљањем. Мултибиометријски системи захтевају дуже време пријављивања и обраде података (Jain & Ross, 2004).



Слика 2: *Мултимодални систем*
(фузија слике лица, геометрије шаке и отиска прста)

Пратећи тренд мултибиометрије, идентификациона документа у Републици Србији садрже отиске кажипрста леве и десне шаке, дигиталну фотографију и потпис, који могу бити складиштени и на чипу. То представља минимални стандард за биометријски пасош, који је дефинисала Европска унија (Gower, 2010), а слични биометријски пасоши су у употреби и у Бразилу, Шпанији, Сингапуру, Швајцарској итд. Мексико је прва земља на свету која је у идентификациона документа уврстила и дигиталну слику ириса као додатну биометријску карактеристику (The Telegraph, 2001).

У циљу повећања ефикасности препознавања, мултибиометријским системима се у последње време додају још неки подаци: етничка припадност, боја очију, боја косе, висина, тежина, пол, белези, младежи, тетоваже (O'Gorman, 2003). Иако те карактеристике нису појединачно довољно поуздане за успешну идентификацију особа, оне поседују одређену дискриминаторну моћ и називају се „меке" (*soft*) биометријске карактеристике. Иако је велики број тих карактеристика, због своје непрецизности, престао да се употребљава за хумане идентификације (на пример, Бертијонове антропометријске мере), однедавно су развијени аутоматски биометријски системи који утилизују дате особине (Теодоровић & Машковић, 2011). Упркос невероватном технолошком напретку, и даље постоје изазови за успешну биометријску идентификацију особа, као што су недоступност или немогућност аквизиције одређене карактеристике и лош квалитет снимљеног податка (Lee, Jain & Jin, 2008). Дакле, јавила се потреба за употребом „меких" биометрија, као комплементарних информација

примарним биометријским карактеристикама. На пример, Данчева је са колегама испитивала поузданост боје очију као додатног алата приликом идентификације особа помоћу ириса (Dantcheva, Erdogmus & Dugelay, 2010). „Меки" биометријски приступ може се налазити у систему за препознавање гласа: пол, нагласак и приближна старост говорника. Експериментално је показано да употреба „меких" биометрија у мултимодалним биометријским системима значајно побољшава перформансе препознавања. Истраживачи са Универзитета у Мичигену (Michigan State University) у САД су развили *TattooID* (Jain & Jin, 2007), биометријски систем за идентификацију осумњичених и жртава на основу тетоважа. Тетоваже нису само чест симбол припадности одређеној банди или криминалној организацији; „Харис" анкета спроведена 2003. године је показала да 16% америчке популације поседује бар једну тетоважу (http://www.harrisinteractive.com/vault/Harris-Interactive-Poll-Research-A-Third-of-Americans-With-Tattoos-Say-They-Make-Them-Feel-More-Sexy-2003-10.pdf). Даље, полиција рутински фотографише приведене особе, па базе података о тетоважама нису ретка појава. Ипак, данас је субјективан процес ручног сортирања, категоризације и поређења фотографија тетоважа замењен аутоматским алгоритмима, који драстично повећавају прецизност поређења и волумен процесираних узорака, а смањују време трајања анализе.

Технолошки развој информационих технологија омогућио је биометријске системе који су све мањи, прецизнији, поузданији и бржи. Они налазе све већу примену у свим делатностима у којима је неопходно недвосмислено утврдити или потврдити идентитет особе. Људски фактор и даље представља основну „рупу" у поступку идентификације бројних биометријских система.

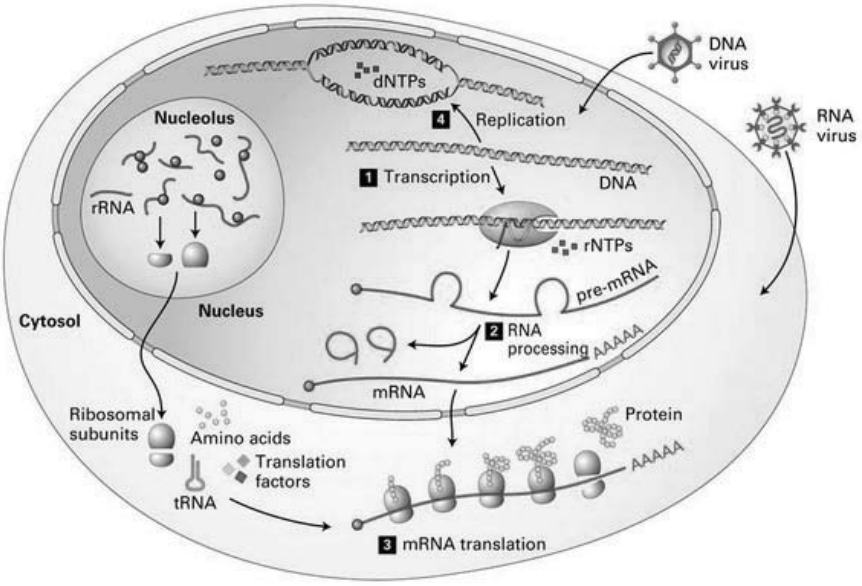
Форензичка истраживања до сада нису спровођена у Републици Србији. Представљене теоријске анализе форензичких метода, као и спроведене експерименталне студије, превасходно налазе примену у Националном криминалистичко-техничком центру (НКТЦ) Министарства унутрашњих послова Републике Србије (МУП РС), као и у осталим лабораторијама које обављају форензичке анализе. То доприноси иновирању и усавршавању рада криминалистичке полиције и чини први корак на њеном путу до потпуно осавремењене институције, попут оних које постоје у развијенијим земљама од наше. За постизање поменутог циља је додатно неопходно пратити свеобухватне евалуације форензичких метода, као и успоставити стандардизацију метода, протокола, процеса рада итд. С тим у вези је тренутно у току акредитација форензичких лабораторија Републике Србије. Међу далеко најозбиљнијим проблемима везаним за употребу биометријских технологија за идентификацију особа у Републици Србији налази се изостанак било какве легислативе, па њена хитна израда и спровођење спадају у примарне задатке наше државе.

2. НУКЛЕИНСКЕ КИСЕЛИНЕ КАО СПЕЦИФИЧНЕ БИОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Дезоксирибонуклеинска киселина (ДНК) носилац је генетских информација и заједно са рибонуклеинском киселином (РНК) и протеинима чини есенцијалне макромолекуле за све форме живота на земљи. ДНК профилисање данас представља један од најзначајнијих, најпоузданијих и најраспрострањенијих видова идентификација особа. Тај поступак се употребљава у форензичкој пракси приликом проналажења споне између осумњиченог и доказа пронађених на месту криминалног догађаја (МКД), приликом утврђивања очинства, у историјским истрагама, приликом трагања за несталим особама, жртвама масовних катастрофа и идентификације погинулих војника, током утврђивања илегалног лова на животиње итд. Форензичка ДНК анализа омогућава нам да елиминишемо осумњиченог из истраге, или да га идентификујемо, повежемо са местом злочина, жртвом и оружјем. У једном од највећих међународних случајева прошле деценије, анализе ДНК су потврдиле идентитет Садама Хусеина када је пронађен. Извршена идентификација је била заснована како на нуклеарној ДНК, тако и на поређењу Y хромозома са ДНК његова два сина.

Оно што ДНК чини сасвим специфичном биометријском карактеристиком јесте чињеница да се она не процесира у стандардном биометријском систему који је раније описан. Наиме, приликом анализе ДНК потребан је опипљив узорак, за разлику од дигиталних слика и записа који се користе приликом аквизиције биометријских података. Упоређивање узорака ДНК се не врши у реалном времену као у биометријским системима, а нису ни све фазе процеса аутоматизоване. Такође, не обавља се екстракција карактеристика, већ се пореде стварни узорци.

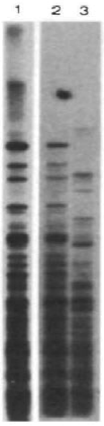
ДНК је носилац генетских информација и у целости (људски геном) и присутна је у готово свим ћелијама људског организма. Како би наследне информације које носе гени биле испољене, ДНК се, у процесу транскрипције, преписује у информациону РНК (иРНК), из које се потом, у процесу транслације, синтетишу протеини. Одређени протеини присутни су само у ћелијама одређеног типа. Тако је, на пример, карактеристично присуство структурног протеина кератина у ћелијама коже, косе и ноктију човека (Теодоровић & Милинковић, 2013). Познато је да су и иРНК, које носе информације о поменутим протеинима, такође експримоване само у одређеним, крајње диференцираним ћелијама.



Слика 3: *Централна догма молекуларне биологије*

2.1. Утврђивање идентитета актера кривичних дела помоћу ДНК профилисања

Прва метода за идентификацију особа помоћу ДНК развијена је 1985. године (Jeffreus, Wilson & Thein, 1985) и заснивала се на анализи полиморфизама дужине рестрикционих фрагмената (*Restriction fragment lenght polymorphism*, РФЛП). РФЛП анализа подразумева симултану *southern blot* хибридизацију високо варијабилних минисателитских локуса, добијених рестрикционом дигестијом и раздвојених електрофорезом, са радиоактивним пробама сачињеним од тандемских поновака (Jeffreus et al., 1985). Отац ове технике, Алек Џефриз, брзо је постао свестан могућности њене примене у форензици (Gill, Jeffreus & Werret, 1985), где се идентификација особа заснива на поређењу ДНК профила добијеног из биолошког трага са ДНК профилом особе за коју се сумња да је оставила тај траг. Џефризов метод је први пут употребљен у једном имиграционом случају, како би се потврдио идентитет британског дечака чија породица потиче из Гане (http://www.bbc.co.uk/radio4/features/desert-island-discs/castaway/04115c08#b008fcdz). Прва употреба типизације путем генетичког материјала у криминалистици догодила се у Великој Британији, у случају силовања, када је РФЛП анализом установљено да је Колин Пичворк учинилац овог кривичног дела, док је до тада главни осумњичени, Ричард Бакланд, невин, па је, стога, ослобођен оптужби. Резултати РФЛП анализе описаног случаја су приказана на слици 4.



Слика 4: *Прва објављена фотографија поређења ДНК профила: (1,2) Профили добијени из узорка вагиналног бриса након сношаја садрже ДНК и мушког и женског донора; (3) профил женског донора (Gill et al., 1985)*

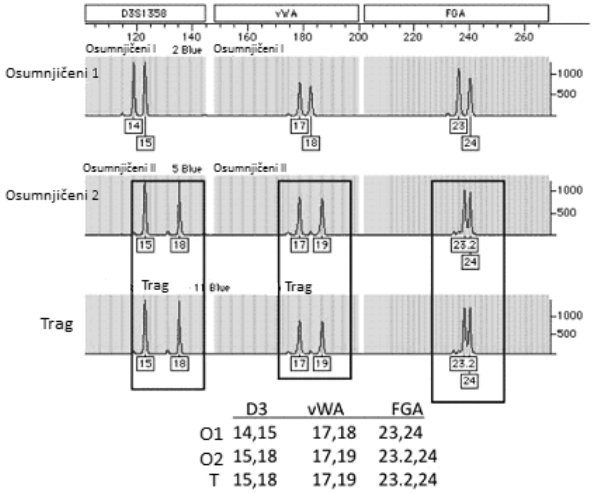
Иако је РФЛП метода за идентификацију особа путем ДНК значајно употпунила и унапредила рад криминалистичке полиције, и пронашла важну примену у утврђивању очинства и решавању имиграционих случајева, њен велики недостатак је тај што је за њену примену неопходна велика количина прикупљене ДНК. Како је познато да количина пронађеног биолошког материјала у форензичком контексту често може бити изузетно мала, јавила се очигледна потреба за развитком супериорнијих техника за идентификацију особа путем генетичког материјала. Развој ланчане реакције полимеразе (*Polymerase chain reaction*, ПЦР) 1985. године (Saiki et al., 1985) начинио је преокрет великих размера у области молекуларне биологије, али је метода почела рутински да се примењује у форензици почетком деведесетих година, после појаве аутоматских машина за секвенцирање ДНК. ПЦР метода је омогућила добијање ДНК профила особа из знатно мањих количина биолошког узорка, па чак и из делимично деградираних узорака.

Данас постоји више метода за ДНК профилисање (полиморфизам појединачних нуклеотида (СНП), анализа Y хромозома, анализа митохондријске ДНК), а типизација путем кратких тандемских поновака (*Short Tandem Repeat*, СТР) најраспрострањенија је и рутински се користи у лабораторијама широм света. СТР су сегменти репетитивних секвенци ДНК, који су расути по читавом људском геному. Тачније, СТР маркери су сегменти (локуси) ДНК који се састоје од основних поновака дужине 2–6 базних парова, који се понављају од неколико до више од 50 пута код изузетно полиморфних маркера. Типични СТР локуси који се користе у форензици су сачињени од основних поновака дужине 4–5 базних парова и сваки од њих поседује своје међународно име (Gill, 2005). На пример, СТР маркер по имену ХУМТХ01 сачињава основни поновак дужине четири базна пара, ААТГ, који се понавља више пута. Број понављања варира од особе до особе, а утврђује се амплификовањем жељеног СТР локуса

у ПЦР реакцији и одређивањем величине амплификованог производа. Дакле, пошто дужина ових ДНК сегмената варира од особе до особе, они су идеални за уочавање разлика међу људима и поуздану идентификацију (Butler & Becker, 2001). За поменути СТР локус ХУМТХ01 описано је 19 различитих варијанти у читавој популацији (http://www.cstl.nist.gov/strbase/var_TH01.htm). Стога ће се јавити више особа које поседују исти профил на датом СТР локусу. Како би се постигла адекватна моћ дискриминације, у форензичкој ДНК анализи неопходно је користити више СТР маркера. Различит број СТР локуса се користи у форензичкој пракси за идентификацију особа у различитим земљама.

Тако се, на пример, у Сједињеним Америчким Државама (САД) рутински користи 13 СТР локуса, у Великој Британији 10, а у Републици Србији 15. ДНК профили базирани на СТР локусима се налазе у полицијским базама података, од којих су две највеће на свету ФБИ-јева база података *Combined DNA Index System* (CODIS) и Британска *National DNA Database* (NDNAD). Док је прва базирана на тринаест различитих СТР локуса (Бутлер, 2005) и садржи преко осам милиона профила, друга је сачињена од десет СТР локуса и поседује око три милиона ДНК профила. Европска мрежа форензичких института (*European Network of Forensic Science Institutes*, ЕНФСИ) и Интерпол су дефинисали стандард који подразумева седам од поменутих СТР локуса који су у употреби, као минимални скуп локуса за успешно ДНК профилисање. Иако се форензичка ДНК анализа у Србији обавља на основу 15 локуса национални ДНК регистар и адекватна легислатива, нажалост, још увек недостају.

Слика 5 илуструје поједностављени случај поређења ДНК профила у коме се, на основу три СТР локуса (D3C1358, vWA и FGA) пореде генетички материјали две осумњичене особе са биолошким трагом. Као што се може уочити на слици, осумњичени број 2 поседује ДНК профил који се подудара са оним пронађеним на месту криминалног догађаја.



Слика 5: *Поједностављен пример поређења ДНК профила*[5]

5 http://dnaproject.co.za/dna-project/dna-database

Како бисмо могли да тврдимо да се два ДНК узорка поклапају, односно потичу од исте особе, неопходно је да су они идентични на сваком од анализираних СТР локуса. Свака форма сваког СТР локуса се може описати одређеним статистичким вредностима, јер се јавља са одређеном учесталошћу у популацији. Дакле, заступљеност сваке генетске комбинације се може проценити на основу прегледа читаве популације (Gill, 2005). Тако се множењем статистичких података о учесталости сваког генотипа процењује шанса да било која особа из популације, која није у крвном сродству, поседује исти ДНК профил као осумњичени („вероватноћа случајног подударања"). Што је та вероватноћа мања, то је конкретан ДНК профил ређи у популацији и резултати су поузданији. На пример, у САД се, на основу тринаест СТР маркера добијају ДНК профили чија је шанса подударања са случајно изабраном особом из популације реда величине један у билион. У Великој Британији, где се користи десет СТР маркера, вероватноћа случајног подударања је реда величине један у милијарду (Gill, 2005). Управо ослањање на статистичке прорачуне уместо на субјективно мишљење вештака, допринело је кредибилитету методе за идентификацију особа помоћу ДНК у форензици.

Посебна пажња у форензици се обраћа на адекватно прикупљање, транспортовање, складиштење и анализирање физичких доказа, укључујући и биолошке – опипљиве узорке пронађене на месту криминалног догађаја. Тако се обично прво врши детекција биолошких узорака (телесних течности и ткива), попут крви, семене течности, вагиналног секрета, пљувачке итд., а потом се из њих изолује ДНК и обавља форензичка ДНК анализа.

2.2. Рибонукелинска киселина (РНК) као дефинитивни метод за детекцију хуманих телесних течности и ткива на месту криминалног догађаја

Поред изузетног значаја форензичких ДНК анализа, данас је у форензичкој пракси од непроцењиве важности не само ДНК профилисање, већ и утврђивање порекла ДНК. Дакле, битно је недвосмислено утврдити не само коме припада, него и из ког типа биолошког трага је потекла ДНК пронађена на месту криминалног догађаја (МКД) (Теодоровић & Милинковић, 2013). Конвенционалне методе за детекцију и идентификацију телесних течности и ткива подразумевају серолошке анализе, засноване на проналажењу специфичних протеина у одређеним телесним течностима и ткивима. Те анализе су типично биохемијске реакције, засноване на промени боје реакције у случају присуства испитиване телесне течности или ткива, као и имунолошке реакције. Тако су у употреби тестови за детекцију крви засновани на присуству хемоглобина, тестови за детекцију пљувачке засновани на детекцији алфа амилазе, тестови за детекцију семене течности засновани на детекцији киселе фосфатазе и антигена специфичног за простату итд. Међутим, иако постоје утврђени стандардни тестови за детекцију поменутих телесних

течности (на пример, луминолска реакција, фенолфталеински и бензидински тестови за крв), друге телесне течности се не могу поуздано идентификовати постојећим методама (на пример, вагинални секрет). Такође, познат је проблем дистинкције крви из циркулације од менструалне крви у траговима пронађеним на МКД. Даље, многи серолошки тестови, који су у употреби у рутинској форензичкој пракси, дају лажно позитивне резултате. Тако се, на пример, у тестовима за детекцију присуства крви могу добити лажно позитивне реакције у присуству материјала биљног и животињског порекла, као и антисептика и средстава за дезинфекцију.

Конвенционалне методе за детекцију и идентификацију телесних течности у форензици су скупе и дуготрајне. Најчешће је неопходно секвенцијално извршити више тестова, што повећава трошкове и време процесирања, а захтева и већу количину биолошког трага, што није идеално (или увек могуће) решење за форензичке анализе. Дакле, у савременој форензици се наметнула потреба за проналажењем адекватног и поузданог маркера, који ће помоћу прецизног и брзог метода омогућити откривање присуства појединачних телесних течности и ткива у биолошким траговима пронађеним на МКД. Нови тренд у форензичкој серологији је употреба техника базираних на рибонуклеинској киселини (РНК) за детектовање различитих телесних течности. У овом раду ће бити обрађени најзначајнији аспекти улоге форензичких РНК технологија током анализе биолошких доказа.

2.2.1. Детекција телесних течности и ткива помоћу информационих РНК

Као што је раније објашњено, одређене иРНК су специфичне за поједине типове ћелија и у њима су обилно испољене (Alberts et al., 1994; Caron et al., 2001). Управо је овај феномен последњих година све више експлоатисан ради напредније и успешније идентификације присуства телесних течности у форензици.

Juusola и Ballantune су извели експерименте у којима су изоловали укупну иРНК из мрља крви, пљувачке, семене течности и вагиналног секрета, а потом помоћу реверзне транскрипције – ланчане реакције полимеразе (РТ-ПЦР) проучавали популације иРНК присутне у анализираним телесним течностима (Juusola & Ballantune, 2005). Тако су производи експресије гена за бета спектрин и порфобилиноген деаминазу детектовани само у крви и у мањој мери у менструалној крви, за статхерин и хистатин 3 само у пљувачки, за протамин 1 и 2 само у семеној течности, а за бета дефенсин 1 и муцин 4 само у вагиналном секрету и у мањој мери у менструалној крви (Juusola & Ballantune, 2005). Даље је показано да и симултано, у мултиплекс ПЦР реакцији посматраној на гел или капиларној електрофорези, присуство или одсуство ових специфичних РНК успешно указује на присуство односно одсуство корелирајуће телесне течности, како у форензичким узорцима сачињеним од појединачне телесне течности, тако и у мешавини телесних течности (Juusola & Ballantune, 2005). Haas и колеге су, такође, описали два нова мултиплекс ПЦР приступа – један за скрининг

на присуство крви, пљувачке, семене течности и вагиналних излучевина, а други за диференцијацију између крви, менструалне крви и вагиналних излучевина (Haas, Klesser, Maake, Bar & Kratzer, 2009). Та друга мултиплекс реакција може бити од кључног значаја при разоткривању да ли траг потиче од менструалне крви или је последица повреда. Флеминг и Харбисон су развили форензички мултиплекс ПЦР есеј за идентификацију крви, пљувачке, семене течности (са и без присуства ћелија сперматозоида) и менструалне крви (Fleming & Haribson, 2010).

Употребљавајући сличан сет иРНК специфичних за телесне течности (еритроид делта-аминолевулинат и бета спектрин за крв, статхерин протамине 2 и хистатин 3 за пљувачку, протамин 1 и 2 за семену течност и матрикс металопротеиназу 7 и 10 за менструалну крв), Juusola и Ballantune су, даље, развили мултиплекс квантитативну ланчану реакцију полимеразе у стварном времену (*qPT-ПЦР*) (Juusola & Ballantune, 2007). Тај приступ је оцењен као супериорнији, односно квантитативнији и сензитивнији, у односу на онај заснован на капиларној електрофорези, јер је показана од 5 до 40 пута већа сензитивност методе (Juusola & Ballantune, 2007). Дакле, количина специфичне иРНК неопходне за детекцију адекватне телесне течности је далеко мања, што је од изузетног значаја у форензици, где је оскудна количина узорка чест проблем. У сличној студији, међутим, није детектована значајна разлика у сензитивности између ПЦР и *PT-ПЦР* у односу на традиционалне тестове за детекцију телесних течности базиране на ензиматским или имунолошким реакцијама (Haas et al., 2009). Стога је предложено да су обе методе погодне за форензичке анализе телесних течности у форензици и поставља се питање оправданости улагања у *qPT-ПЦР*.

Од изузетног је значаја податак да приступ детекцији телесних течности базиран на РНК није ефикасан само на телесним течностима прикупљеним од добровољаца (и лабораторијским мешавинама истих), већ и на реалним узорцима прикупљеним на месту криминалног догађаја (Теодоровић & Милинковић, 2013). Тако су, на пример, Хаас и колеге демонстрирали да је мултиплекс ПЦР реакција коју су развили успешно изведена на 13 тест и 15 стварних форензичких узорака (Haas et al., 2009). За рутинску форензичку праксу је несумњиво кључна чињеница да су током поменутих анализа извршене коекстракције иРНК и ДНК из форензичких узорака. Тако се из исте мрље са места злочина може обавити форензичка анализа РНК, за детекцију присуства одређене телесне течности, и форензичка анализа ДНК, за утврђивање идентитета особе која је траг оставила (Bowden, Fleming & Harbison, 2011; Haas et al., 2009; Fleming & Haribson, 2010).

Интересантно, на основу изабраних иРНК маркера се не очекује кросреактивност са телесним течностима животињског порекла (Juusola & Ballantune, 2007), мада се овакав закључак не може донети на основу свих изведених студија. Додатно, у једној студији је показано да форензички трагови стари до чак две године не ометају детекцију телесних течности помоћу РНК, под условом да су чувани у сувим и мрачним условима (Haas et al., 2009). Експерименти спроведени на вагиналним брисевима и мрљама крви, семене течности и пљувачке су показали да влажности и

температура драстично смањују потентност иРНК маркера на старијим узорцима (Setzer, Juusola & Ballantune, 2008). Зубаков и колеге су успешно употребили девет иРНК маркера за крв на мрљама старим до чак 16 година и шест иРНК маркера за пљувачку на биолошким траговима старим до чак шест година (Zubakov, Kokshoorn, Kloosterman & Kayser, 2009), иако ови резултати нису одрживи код узорака изложених повећаној влажности или УВ зрачењу. Ти резултати су крајње неочекивани, услед нестабилности РНК молекула и свеопште присутности РНаза, ензима који деградирају молекуле РНК.

Коначно, важно је размотрити и број иРНК маркера неопходних за ваљану детекцију телесних течности у форензичким узорцима (Теодоровић & Милинковић, 2013). Флеминг и Харбисон су назначили да је, уз рутинске скриниг тестове, један маркер довољан за потврду присуства одређене телесне течности (Fleming & Haribson, 2010). С друге стране, Juusola и Ballantune су предложили два иРНК маркера по типу телесне течности (Fleming & Haribson, 2010).

2.2.2. Детаљнији осврт на детекцију појединих телесних течности и ткива помоћу информационих РНК

У циљу процене поузданости и поновљивости метода базираних на иРНК и успостављања стандарда за детекцију крви, као веома значајног и честог биолошког трага на месту криминалног догађаја, Европска група за ДНК профилисање (ЕДНАП) организовала је пројекат у коме је учествовало 16 лабораторија. Користећи различите реагенсе, протоколе и опрему, у поменутој сарадњи је свака лабораторија анализирала по осам узорака крви помоћу три иРНК маркера, за које је раније показано да су обилно експримовани у крви: бета спектрин, порфобилиноген деаминаза и бета хемоглобин (Haas, Hanson, Bar, Banemann, Bento, Berti, Borges, Bouakaze, Carracedo, Carvalho, Choma, Dotsch, Duriancikova, Hoff-Olsen, Hohoff, Johansen, Lindenbergh, Loddenkotter, Ludes, Maronas, Morling, Niederstatter, Parson, Patel, Popielarz, Salata, Schneider, Sijen, Sviezena, Zatkalıkova & Ballantyne, 2011). Бета хемоглобин је показао највећу сензитивност, бета спектрин је умерено присутан иРНК маркер крви, док је порфобилиноген деаминазу било најтеже детектовати у узорцима (Haas et al., 2011). Иако је овај експеримент био поједностављен, јер је изведен само на једној телесној течности, иРНК метода је све више присутна у форензичком окружењу. Стога је изузетно важно то што је 15 од 16 лабораторија, које раније нису имале никакво искуство у РНК анализи, успело да произведе поновљиве резултате. Такође, недавно је изведена анализа осам иРНК маркера за крв како би се изабрали најспецифичнији и најсензитивнији иРНК маркери за присуство крви у форензичком узорку. Утврђено је да крос-реактивност са другим ткивима или мрљама животињског порекла, која се повремено јавља при употреби неких иРНК маркера, може бити елиминисана употребом мање количине иРНК у РТ-ПЦР реакцији (Haas, Hanson, Kratzer, Bar & Ballantyne, 2011).

У току су бројне студије фокусиране на проналажење адекватних иРНК маркера за специфична ткива и телесне течности. Тако је, недавно, холандска група истраживача анализирала сет од 11 иРНК које су, према бази података генске експресије у људским ткивима, показале бар десет пута већу експресију у ткиву коже у односу на друга телесна ткива (Visser, Zubakov, Ballantune & Kauser, 2011). Од ових је само три иРНК, и то КРТ9, ЦДСН и ЛОР, показало адекватну специфичност и сензитивност у квантитативној ПЦР реакцији за идентификацију хуманих епителијалних ћелија у узорку (Visser et al., 2011). Прошле године је, у темељнијем скрининг тесту, пронађено пет специфичних иРНК маркера (ЛЦЕ1Ц, ЛЦЕ1Д, ЛЦЕ2Д, ЦЦЛ27, и ИЛ1Ф7) за идентификацију трагова ткива коже у форензичким узорцима (Hanson, Haas, Jucker & Ballantune, 2012). Они су успешно коришћени у два различита мултиплекс РТ-ПЦР, али је додатна оптимизација која је неопходна за њихово уврштавање у форензичку праксу (Hanson et al., 2012). Изузетан допринос представља чињеница да је за ваљану детекцију епителијалних ћелија коже потребно само 5–25 пг укупне иРНК изоловане не само из узорака коже, већ и из брисева људске коже и брисева са бројних додириваних подлога (Hanson et al., 2012).

2.2.3. Анализа читавог транскриптома у циљу детекције телесних течности и ткива

Као што је раније описано, бројне су анализе у којима су РТ-ПЦР, мултиплекс РТ-ПЦР и квантитативна РТ-ПЦР спроведене ради анализе адекватних иРНК маркера за детекцију трагова телесних течности и ткива у форензичким узорцима. Иако веома сензитивне, обрађене методе подразумевају анализу свега неколико иРНК (Park, Park, Kim, Kang, Park, Woo, Kim, Lee, Kim & Lee, 2013). Стога је у циљу свеобухватне анализе генске експресије у хуманим телесним течностима и ткивима примењена микроареј технологија, која омогућава симултану систематску анализу свих ћелијских иРНК, које потичу са читавог генома (транскриптом) (Su et al., 2002). Специфично, Парк и колеге су, користећи микроареј технологију, спровеле анализу читавог транскриптома и потрагу за новим иРНК маркерима за телесне течности и ткива. Тако су чипови са низовима који представљају 29.377 гена тестирани са 24 узорка корејских добровољаца (шест узорака сваке од четири телесне течности: крв, пљувачка, семена течност и вагинални секрет). Том анализом је првобитно пронађено 137 потенцијалних иРНК маркера специфичних за ткива (Park et al., 2013). Пошто би анализа свих њих била дуготрајна и скупа, изабрано је 41 иРНК маркера најбољих перформанси (22 специфичних за крв, четири за пљувачку, осам за семену течности и седам за вагинални секрет). Значајно је да су се бројни иРНК специфични за ткива споменути у ранијим секцијама нашли и у овом скупу. Такође, истраживачи су спроводећи сензитивније методе (РТ-ПЦР и квантитативну РТ-ПЦР), и сами потврдили резултате за 10 од 18 изабраних иРНК маркера (Park et al., 2013). За практичну употребу у форензици изабрана су четири иРНК маркера за мултиплекс квантитативну РТ-ПЦР реакцију (Park et al., 2013).

Од неизмерне је важности да је у свим анализираним узорцима успешно изведена како коекстракција РНК и ДНК, тако и анализа кратких тандемских поновака у циљу добијања ДНК профила (Park et al., 2013).

2.2.4. Детекција телесних течности и ткива помоћу микро РНК

Микро РНК (миРНК) су кратке (18–25 нуклеотида), некодирајуће РНК, које имају важну улогу у регулацији генске експресије (Теодоровић & Милинковић, 2013). Познато је да специфични миРНК профили постоје за одређене ћелијске типове (Sood et al., 2006). Стога је, полазећи од 800 миРНК, извршена микроареј анализа, која је показала диференцијалну експресију миРНК у узорцима крви и пљувачке (Courts & Madea, 2011). Као резултат ове анализе, издвојене су по три миРНК за обе телесне течности: миР-126, миР-150 и миР-451 за крв и миР-200ц, миР-203 и миР-205 за пљувачку (Courts & Madea, 2011). Тих шест миРНК маркера је потврђено помоћу квантитативне ПЦР (Courts & Madea, 2011). Ипак, различите платформе за миРНК микроареј технологију резултирају у откривању различитих миРНК специфичних за ткива. Тако су Ванг и колеге у својим микроареј експериментима идентификовали седам потенцијалних миРНК маркера: миР-16 и миР-486 за крв, миР-138-2 за пљувачку, миР-888 и миР-891 за семену течност, миР-124 за вагинални секрет и миР-214 за менструалну крв (Wang et al., 2013).

Како микроареј технологију одликује свеобухватност, али и ниска сензитивност и специфичност, Ванг и колеге су спровели квантитативну ПЦР анализу релативне експресије три раније описане миРНК у крви, пљувачки, семеној течности, вагиналном секрету и менструалној крви (Wang et al., 2012). Показано је да повећана експресија миР-16 указује на присуство крви, да је експресија миР-658 нестабилна и да експресија миР-205 није специфична (Wang et al., 2012).

Такође, у једној студији је установљено да се резултати помоћу поменутих миРНК маркера могу добити и са мрљом крви која је стара годину дана (Courts & Madea, 2011). У другим експериментима је показана постојаност резултата у траговима семене течности старим месец дана (Wang et al., 2013).

2.2.5. Форензичка РНК анализа данас

Бројна истраживања на пољу употребе РНК технологија у циљу утврђивања присуства појединачних телесних течности у биолошким траговима последњих година су указала на њихов значај и примену у рутинској форензичкој пракси. У највећем броју спроведених студија постоји консензус да је мултиплекс ПЦР најадекватнија метода за поменуту сврху. Ипак, у поменутим истраживањима и даље постоје разлике у одабиру специфичних иРНК маркера као најпримеренијих за детекцију корелирајућих телесних течности и ткива, као и броја ових маркера по телесној течности/ткиву. Радови у овој области континуирано показују да би форензичка РНК технологија била супериорнији приступ у односу на постојеће ензиматске и имунолошке реакције, и то у погледу специфич-

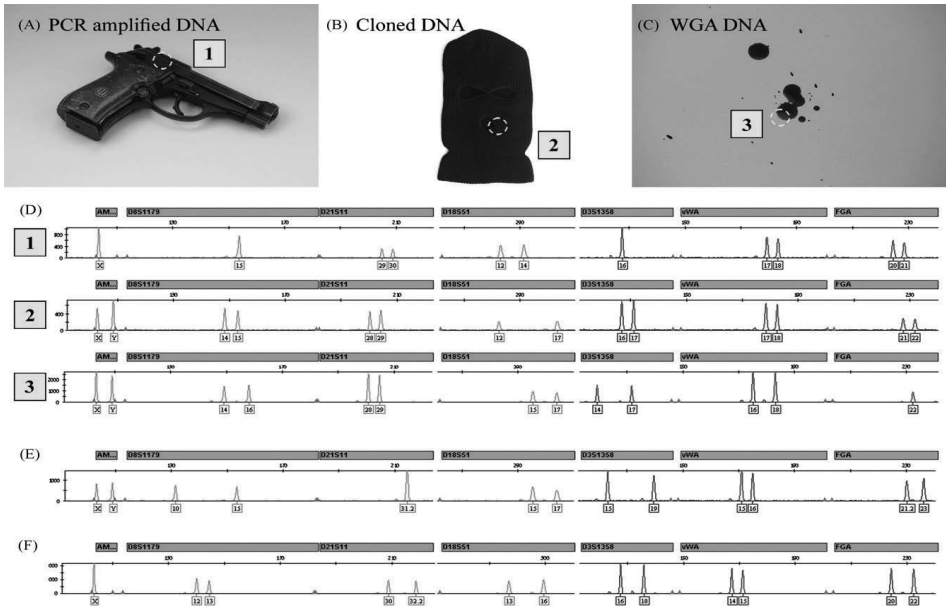
ности, сензитивности, цена, неопходне количина узорка, као и времена извођења (Теодоровић & Милинковић, 2013). Како је познато да РНК молекули нису веома стабилни, односно да су веома подложни процесу деградације од стране РНаза, нарочито услед неповољних услова средине (светло, температура итд.), поставља се питање могућности употребе овог метода у форензици. Детаљно истраживање је показало да је постојаност РНК (могућности изоловања из форензичког узорка, као и успешност саме анализе) у биолошким траговима могућа са узорцима који су се налазили на собној температури до годину дана (узорци крви, пљувачке и вагиналног секрета), односно шест месеци (семена течност) (Setzer, 2004). Такође, кратке миРНК су стабилније и постојаније од иРНК, па могу имати важну улогу у области примене форензичких РНК технологија. Предвиђа се да ће у наредним годинама доћи до замене биохемијских метода молекуларно-биолошким техникама за детекцију телесних течности и ткива у форензичкој пракси (Noreault-Conti & Buel, 2012).

2.3. Аутентичност ДНК доказа

Неспорна је чињеница да је применом форензичке ДНК анализе најчешће могуће недвосмислено утврдити коме припада биолошки траг од значаја, чак и када је количина тог биолошког материјала изузетно мала. Међутим, незаобилазно је и питање аутентичности пронађеног ДНК трага (Бранковић & Теодоровић, 2011). Познат је, на пример, случај доктора Џона Шнебергера, који је силовао своју пацијенткињу која је била под седативима, али се ДНК изолована из његове крви није подударала са ДНК изолованом из семене течности пронађене на доњем вешу жртве. Више година касније, када су ове форензичке ДНК анализе поновљене по четврти пут, из узорака докторове крви, букалног бриса и длаке, показано је да се његов ДНК профил ипак поклапа са профилом из семеном течности силоватеља. Доктор је тада признао да је раније у своју руку имплантирао тубу са туђом крвљу и антикоагулантима, што му је омогућило да завара форензичке анализе помоћу генетског материјала (http://www.vachss.com/help_text/archive/schneeberger.html).

Додатно је забрињавајућа могућност да ДНК докази могу бити фабриковани. Наиме, синтетисање вештачке ДНК у лабораторији је могуће, и то на прилично једноставан начин, помоћу стандардне опреме и знања. Коришћењем рутинских лабораторијских техника молекуларне биологије, као што су ПЦР (Stirling & Bartlett, 2003), плазмидно клонирање (Sambrook, 2001) и амплификација читавог генома (*Whole Genome Amplification* – WGA) (Sambrook, 2001), могуће је направити неограничену количину вештачке ДНК жељеног генетичког профила. Тако је група израелских научника од добровољаца прикупила узорке крви, сасушене пљувачке, длака, оструганог епитела коже, као и опушке цигарета, и њих употребила за успешно синтетисање вештачких ДНК узорака путем све три поменуте технике (Frumkin et al., 2009). Они су чак, при примени технике плазмидног клонирања, у узорке добијене од добровољаца женског пола додавали плазмид који садржи ген за протеин амелогенин, ка-

рактеристичан за особе мушког пола. На тај начин су фабриковали ДНК профил идентичан почетном, али са измењеним амелогенин локусом (генотипа XY уместо XX) (Frumkin et al., 2009).



Слика 6: Лажни форензички узорци са вештачком ДНК. (А) Пиштољ на кога је нанет ДНК профилом особе Н"222", амплификован у ПЦР реакцији. (Б) "Фантомка" са вештачком пљувачком, која садржи екстракт природне пљувачке из Н"270" (без ДНК) и ДНК фрагменте мушког профила Н"400" састављеног из ЦОДИС базе података алела. (Ц) Вештачке мрља крви садржи црвена крвна зрнца из крви природног Н"227" и вештачки Н"283" ДНК генерисан уз помоћ WGA. (Д) Профили три вештачка узорка. (Е) Профил донора Н"270" чији је екстракт пљувачке коришћен за производњу узорка на фантомци. (Ф) Профил донатора Н"227"чија су црвена крвна зрнца коришћена за генерисање мрља крви. (Frumkin et al., 2009)

Највише забрињава чињеница да се вештачки генерисана ДНК може интегрисати у ћелије људских ткива или нанети на површине предмета и подметнути на место криминалног догађаја (Бранковић & Теодоровић, 2011). Тако је, у поменутом експерименту, *in vitro* синтетисани ДНК материјал коришћен за прављење лажних форензичких узорака (Frumkin et al., 2009). ДНК умножена помоћу ПЦР реакције је директно нанета на окидач пиштоља и остављена да се осуши (слика 6а) (Frumkin et al., 2009). Помоћу ДНК добијене плазмидним клонирањем CODIS фрагмената и екстракта природне пљувачке направљени су узорци вештачке пљувачке, који су потом нанети на унутрашњу страну „фантомке" у пределу уста (слика 6б). Да би се добиле вештачке мрље крви, ДНК која је добијена *in vitro* је WGA техником помешана са пречишћеним еритроцитима других

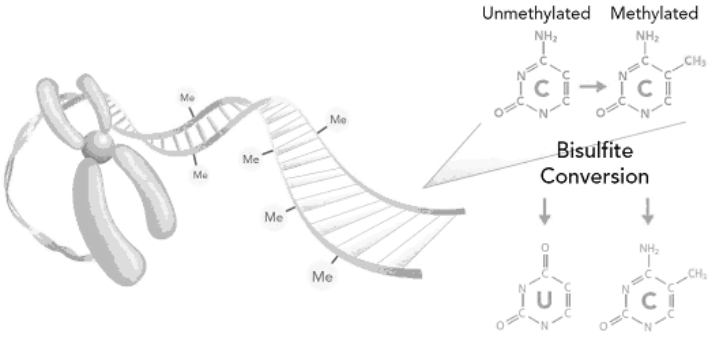
особа, а потом је та смеша накапавана са метра висине и остављена да се осуши (слика 6c) (Frumkin et al., 2009).

Приликом анализе лажних форензичких узорака спроведен је уобичајен форензички поступак. Пошто су прикупљени ДНК докази, потврђено је да је крв људског порекла (услед присуства хуманог хемоглобина у црвеним крвним зрнцима) и да су мрље пљувачке заиста пљувачка (услед позитивне реакције на ензим амилазу) (Frumkin et al., 2009). Затим је ДНК изолована из узорака и профилисана. Генотипови сва три узорка су били идентични генотипу вештачке ДНК која је коришћена за њихову производњу (H"222", мушкарац H"400" и H"283") (слика 6d). У вештачки добијеној пљувачки и узорцима крви није било уочљивих трагова природне ДНК из пљувачке и крви донора (слике 6e и 6f). Дакле, Фрумкин и колеге су показали да вештачки форензички докази, након потпуне форензичке анализе, могу дати перфектне ДНК профиле. Изузетно је проблематично то што садашња форензичка методологија не може да направи разлику између *in vitro* синтетисане и праве ДНК (Frumkin et al., 2009).

2.3.1. Метилациона анализа као метод за аутентификацију ДНК

Као решење постојећег проблема понуђена је метилациона анализа (Бранковић & Теодоровић, 2011). Наиме, ДНК поседује такозване епигенетске модификације, које представљају механизме за регулацију генске експресије, различите од оних диктираних самом секвенцом ДНК молекула. Тако се, на пример, метилација ДНК и деацетилација хистона у ћелијама сисара користе за спречавање експресије гена, без промене у ДНК секвенци. Метилација је процес у коме се, помоћу ензима метилтрансферазе, додаје метил (-CH3) група на цитозин, формирајући 5-метилцитозин. Процес се одвија на цитозинима који претходе гуанинима, на подручјима генома богатим ЦГ секвенцама („ЦпГ острва"). Метилација ЦпГ острва узводно од многих гена резултира у спречавању генске експресије. Образац те епигенетске регулације се наслеђује, а ДНК молекули се такође метилишу и *de novo* (http://www.illumina.com/documents/products/datasheets/veracode_dna_methylation_profiling.pdf).

Иако тренутна форензичка процедура не може разликовати *in vitro* синтетисану и праву ДНК, разлике међу њима ипак постоје. Наиме, вештачки генерисани ДНК молекули представљају копију оригиналног низа нуклеотида и не поседују додатне модификације, независне од ДНК секвенце. Дакле, у лабораторијски генерисаној ДНК ниједан локус није метилован, док природна ДНК поседује метиловане регионе, па се чини привлачним искористити поменуту разлику за њихову диференцијацију. Стандардни приступ за детекцију метилације ДНК је хемијско третирање ДНК натријум-бисулфатом, који конвертује цитозин у урацил, док је 5-метилцитозин резистентан на ову модификацију (слика 7) (Frommer et al., 1992).

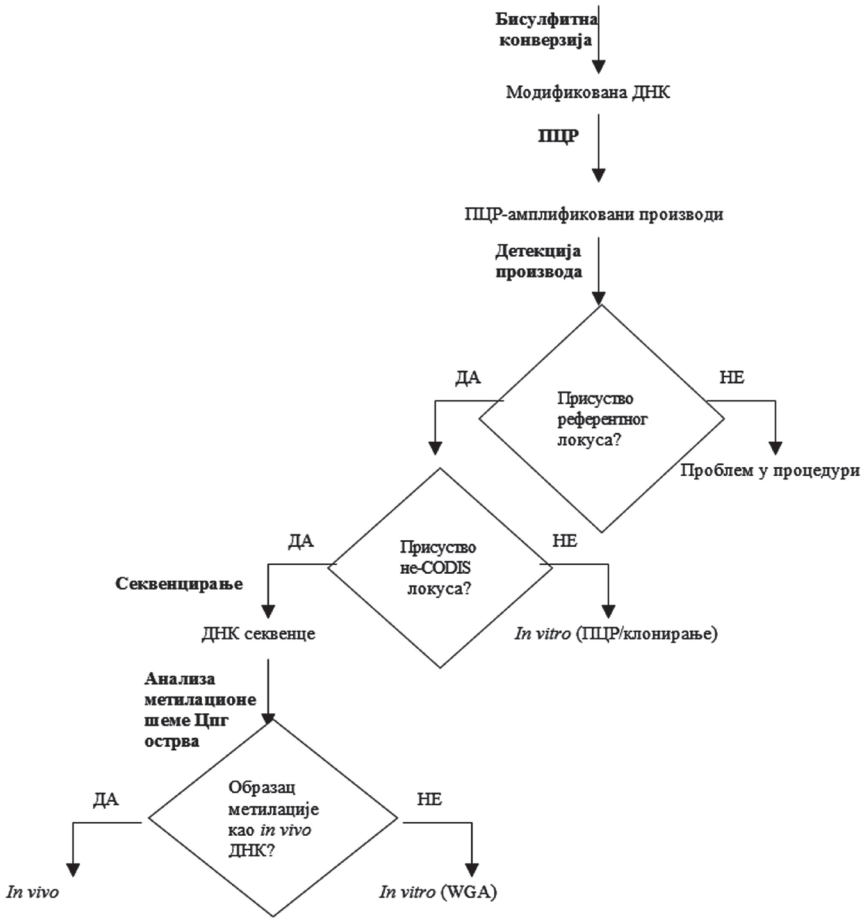


Слика 7: *Метилација ДНК*[6]

Након што је приступљено бисулфитној конверзији, израелски тим је третирану ДНК амплификовао у ПЦР реакцији за сет локуса који садрже један референтни CODIS локус (ФГАреф) и четири локуса која не спадају у референтне CODIS локусе, два увек метилована (HT18 и АДД6) и два конзистентно неметилована (MS53 и SW14) (Frumkin et al., 2009). Присуство или одсуство амплификованих производа је даље утврђивано електрофорезом. Потпуно одсуство амплификације указује на инхибицију ПЦР реакције (слика 8). Успешна амплификација референтног локуса, уз изостанак амплификације преостала четири локуса, илуструје вештачки синтетисану ДНК и то на начин који генерише само делове генома (ПЦР или метод плазмидног клонирања) (слика 8). Успешна амплификација свих пет локуса показује присуство комплетне геномске ДНК, природне или синтетисане *in vitro* путем WGA методе (слика 8). За даље разликовање тако насталих форензичких узорака неопходно је извршити секвенцирање локуса који не спадају у референтне CODIS локусе и анализирати њихов шаблон метилације (слика 8). Дакле, као што се може видети на слици 8, израелски научници су понудили методичан приступ за тестирање аутентичности ДНК.

Током провере предложеног теста за аутентификацију ДНК успешно је тестирано десет природних и десет вештачких ДНК узорака. Секвенцирањем ДНК узорака демонстрирани су очекивани метилациони обрасци: комплетна метилација ЦпГ острва на локусима HT18 и АДД6 природне ДНК, потпуно одсуство метилације на ЦпГ острвима MS53 и SW14 локуса природне ДНК и комплетан недостатак метилације на *in vitro* ДНК (Frumkin et al., 2009). Резултати се конзистентно могу репродуковати чак и у мешавинама природне и вештачке ДНК, где вештачки синтетисана ДНК сачињава чак само 10% укупне мешавине (Frumkin et al., 2009).

6 http://www.dkfz.de/gpcf/methylation.html



Слика 8: *Шематски приказ теста за аутентификацију форензичких ДНК доказа (Frumkin et al., 2009)*

2.3.2. Последице метода за аутентификацију у форензичкој ДНК анализи

Метода за аутентификацију ДНК коју су предложили Фрумкин и колеге је дуготрајна и захтева посебну експертизу, па се у овом тренутку не примењује у форензичким лабораторијама. Наравно, постоје и други приступи који би се могли искористити за проверу аутентичности ДНК (Бранковић & Теодоровић, 2011). Тако се, на пример, може вршити детекција присуства артефаката у амплификованом производу, насталих услед „клизања“ ДНК полимеразе када наиђе на репетитивне секвенце у вештачки генерисаној ДНК. Битно је напоменути да је, иако су таква истраживања интересантна и значајна за унапређење форензичке ДНК анализе, валидна замерка бројних научника да детаљно изношење у јавност начина за фабриковање ДНК практично обезбеђује криминалци-

ма „упутство за употребу“ (Morling et al., 2011). Дакле, поставља се питање етичности таквих истраживања, односно несмотрености и штетности објављивања идеја за фалсификовање ДНК (Morling et al., 2011).

Забрињавајућа је чињеница да се ДНК профил било које особе може вештачки генерисати полазећи од лако доступних предмета, као што је опушак цигарета, па је развој метода за спречавање таквих манипулација од високог значаја (Бранковић & Теодоровић, 2011). Ипак, не треба занемарити то на који би начин и колико често један „обичан“ криминалац могао да дође у посед алата молекуларне биологије. Међутим, далеко више забрињава чињеница да се синтетисање ДНК профила неке особе може извршити само уз помоћ информација из ДНК базе података, без потребе за изворним биолошким материјалом (Frumkin et al., 2009). Дакле, чак и у земљама у којима законска регулатива налаже уништавање биолошког материјала из кога је ДНК профил добијен (на пример, Белгија и Данска), постоји оправдан страх од поменутих злоупотреба. С друге стране, приступање националним ДНК базама података, односно провала у добро обезбеђене системе, не представља једноставан задатак за „обичног“ криминалца и није ситуација која би се очекивала свакодневно (Barash, 2011). Ипак, тај сценарио није немогуће замислити, нарочито са порастом броја ДНК база података које се не користе у форензичке сврхе и у којима подаци нису заштићени (Frumkin & Wasserstrom, 2011). Додатно, како се данас било која секвенца ДНК може наручити из комерцијалних молекуларно-биолошких лабораторија, за синтетисање вештачке ДНК је, у суштини, довољно имати рачунар прикључен на интернет (Frumkin et al., 2009).

Иако је од великог значаја сачувати кредибилитет ДНК анализе у форензици, на пример путем континуиране аутентификације ДНК доказа, стални захтеви за оваквом процедуром током судског поступка би могли направити озбиљне проблеме (Morling et al., 2011). Треба имати на уму да би таква пракса допринела повећању трошкова, као и додатном „загушењу“ форензичких лабораторија у земљама у којима је то већ случај (на пример, САД). Додатно, стални захтеви одбране за ДНК аутентификацијом (као што је, на пример, то био случај током суђења О. Ј. Симпсону), као и жалбе на постојеће пресуде и захтеви за поновну експертизу форензичких доказа, у великој мери би продужили већ дугачке судске поступке. Финално, мала количина пронађеног биолошког материјала вероватно не би била довољна за вишеструке анализе, па је нејасно шта би се догодило уколико би тест за аутентификацију био неуспешан или без закључка (Morling et al., 2011).

ДНК профилисање данас представља стандардну праксу у криминалистичким истрагама. Стога је изузетно битан развој како техника за брзу и прецизнију ДНК анализу из што мање количине биолошког трага, тако и оних за спречавање манипулисања овом биометријском методом, која је од непроцењивог значаја.

2.3.3. Аутентичност форензичке ДНК методе данас

Савремена форензичка ДНК анализа проналази примену не само у расветљавању кривичних дела, већ и током утврђивања очинства, у имиграционим случајевима, за утврђивање идентитета особа настрадалих у ратовима и масовним катастрофама, утврђивање идентитета киднаповане деце итд. У криминалистици се ДНК докази сматрају изузетно вредним и поузданим. Зато могућност манипулације на месту криминалног догађаја, подметањем лажних доказа који се не могу разликовати од правих, представља озбиљан проблем.

Стога, с једне стране, постоји потреба да се развије интегрисани тест идентификације ДНК који може да се изведе у постојећим форензичким лабораторијама и који ће бити прихваћен како у научним тако и у правним круговима. С друге стране, не треба заборавити да је ДНК, иако кључан, само један од доказа, и да вероватноћа случајног подударања не представља вероватноћу да је осумњичени крив, тако да чак и проналазак нативне ДНК одређене особе на месту криминалног догађаја говори само о присуству те особе на месту криминалног догађаја, али не имплицира кривицу по аутоматизму.

2.4. ДНК профилисање бактеријских популација са људске коже

Густина бактерија које настањују човечију кожу креће се и до 10^7 ћелија по квадратном центиметру (Fierera et al., 2010), а на длановима живи преко 150 јединствених бактеријских врста (Stackebrandt & Goebel, 1994). Установљено је да постоје значајне разлике између мушких и женских дланова, како по врсти бактеријских популација које их настањују, тако и по диверзитету бактеријских популација, који је далеко већи код жена (Fierera, Hamady, Lauber & Knight, 2008). Значајно, истраживања су показала високе интеркласне варијације у односу на бактеријске врсте и подврсте које настањују човечије дланове (Fierera et al., 2008), јер две особе деле само око 13% бактеријске флоре, што је послужило као мотивација да се испита у којој мери бактеријске популације на длановима представљају нечији лични печат, односно индивидуалну карактеристику особе. Како током контакта дланова са бројним површинама долази до трансфера бактеријских врста на објекте које додирујемо, а бактерије отпорне на утицаје спољашње средине (влажност, температуру, УВ зраке итд.) могу преживети на додирнутим површинама и неколико недеља (Brooke et al., 2009; Smith, Eng & Padberg, 1996), може се претпоставити да људи у свакодневном животу за собом остављају бактеријски траг у својој околини. Анализирајући ДНК бактеријских популација из брисева узетих са рачунарских тастатура корисника (слика 9), Fierera и колеге су показали веома висок степен подударања између бактеријских врста и подврста са корисникове јагодице прста и његове рачунарске тастатуре (Fierera et al., 2010). Такође, установљено је да се бактеријске популације тастатура

односно јагодица прстију два корисника у далеко већој мери разликују него бактеријске популације рачунарске тастатуре и јагодице прста истог корисника (Fierera et al., 2010). Ти резултати се поуздано могу репродуковати и чак две недеље након додиривања површине. Дакле, савремена методологија омогућила је да на сасвим нови начин доведемо у везу појединца и предмете које он дотиче на местима на којима се налази (Теодоровић & Бранковић, 2010). Иако је ту студију потребно развити и испитати какав ефекат на резултате имају, на пример, металне или стаклене подлоге, јасно је да персоналне бактерије које сви носимо на својим длановима имају веома привлачан потенцијал у форензици. Примена тог метода у форензици би омогућила идентификацију особа у случајевима када то није могуће постићи стандардним методама (на пример, услед непотпуних или размазаних отисака прстију), као и нови, независан начин за потврђивање резултата добијених на основу отисака прстију или ДНК (Теодоровић & Бранковић, 2010).

Слика 9: *Узорковање бактеријских популација са рачунарске тастатуре*

3. ЕВАЛУАЦИЈА И СТАНДАРДИЗАЦИЈА БИОМЕТРИЈСКО-ФОРЕНЗИЧКИХ МЕТОДА ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ

У савременој форензици је есенцијална употреба научних доказа у судским поступцима. Докази морају бити засновани на валидним научним тестовима, спроведеним на исправној опреми, на прикладан начин, од стране квалификованог особља (Hails, 2009). Данас је веома битно да су научни приступи који се користе у форензичким поступцима претходно објављени, евалуирани и општеприхваћени у научној заједници (*Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals*, 1993; Жарковић, Бјеловук & Нешић, 2010).

С тим у вези, Национални институт за стандарде и технологију САД (*National Institute of Standards and Technology* – NIST) спроводи независне процене великих размера биометријских система за идентификацију особа (Теодоровић & Машковић, 2011). Другим речима, обавља се анализа успешности, могућности и ограничења аутоматске идентификације данас. На пример, последња званична евалуација аутоматских система за идентификацију лица особа спроведена је 2006. године (*Face Recognition Vendor Test* – ФРВТ). Евалуација је извршена коришћењем стандардних (истраживачима непознате) улазних података и методологије тестирања, како би различити софтвери били оцењени по истим критеријумима (*National Institute of Standards and Technology* (НИСТ), 2006). Евалуација из 2006. године је показала изванредан и брз напредак у овој области. На пример, утврђено је да је идентификација углавном неометана све док је глава особе окренута под углом од око 25 степени или мање у односу на камеру, као и да се аутоматски боље препознају мушкарци и старије особе. Уопштено, оцењено је да су системи за идентификацију лица унапређени десет пута од 2002. године, а 100 пута од 1995. године (НИСТ, 2006). Велики помак начињен је у области квалитета слике, јер слике високе резолуције сада омогућавају чак и анализу текстуре лица, у алгоритмима који елиминишу утицај варијабилног осветљења, као и у тродимензионалној идентификацији (Gehlen, 2008). Судећи по веома малим стопама погрешног одбијања (*Falce rejection rate* – ФРР) и прихватања (*Falce acception rate* – ФАР), најбоље пласирани алгоритми за препознавање лица особа су коначно постали прецизнији у идентификацији од људског мозга (Williams, 2007).

Ипак, треба напоменути да аутоматски биометријски системи не подразумевају корак доношења финалне одлуке (Springer, 2008). Ти системи сортирају и рангирају резултате претраге, обезбеђујући листу кандидата чије се карактеристике најбоље поклапају са унетом карактеристиком. Како је главни циљ у форензици потврђивање или оповргавање улоге појединца у криминалном догађају, најбоље рангиране кандидате са аутоматски генерисане листе даље анализирају форензички стручњаци, који на крају суду представљају свој налаз и мишљење (Теодоровић & Машковић, 2011). Изузетно је битно напоменути да су генералне напомене у свету да је потребно дистанцирати се од субјективног мишљења током процеса доношења одлуке у форензичким идентификацијама. На пример, позитивна идентификација особа помоћу отиска прста, која има доказну вредност на суду у Републици Србији, захтева поклапање бар дванаест минуција између два отиска прста која се упоређују. Током последње деценије је велики број земаља, укључујући Велику Британију и САД, одустао од базирања идентификације на фиксном броју минуција. Уместо тога, савремени тренд је укључивање вероватноће у форензичке биометријске идентификације, односно употреба статистичких параметара за показивање степена сигурности са којим се доноси коначна одлука о идентитету (Springer, 2008).

У студији *The Innocnece Project* (Saks & Koehler, 2005) процењене су стопе грешке за поједине традиционалне биометријске идентификације (Теодоровић & Машковић, 2011):

– 12% приликом микроскопског поређења власи косе,
– 20% приликом ручног поређења отисака прстију,
– 40% приликом идентификације помоћу рукописа,
– 63% приликом идентификације помоћу гласа,
– 64% приликом идентификације на основу отисака зуба.

Грешке су установљене када су случајеви осуђеника на смртну казну поново отворени, а докази изнова анализирани помоћу ДНК, што је резултирало ослобађањем 14 од 87 затвореника (Saks & Koehler, 2005). Стога је јасно колики је допринос савремених биометријских метода у конвенционалној форензици. Битно је нагласити да се приликом ДНК профилисања и вештачења рутински употребљавају статистички параметри попут индекса веродостојности (*Likelihood ratio*) и вероватноће случајног подударања (*Random match probability*). Тврдња да се два упоређена ДНК профила поклапају може се извести само када су они идентични на свим анализираним локусима. Профил добијен на сваком локусу се у популацији јавља са одређеном учесталошћу, а множењем тих информација за сваки анализирани локус долази се до учесталости читавог конкретног ДНК профила. Дакле, учесталост одређеног ДНК профила у популацији, односно вероватноћа случајног подударања, описује шансу да дати ДНК профил деле две особе које нису у крвном сродству. Процена да вероватноћа случајног подударања за два комплетна, независна ДНК профила особа која нису у крвном сродству износи један у милијарду (Foreman & Evett, 2001) илуструје велику моћ дискриминације ове методе. Овде се истиче да ДНК аналитичар на суду описује степен сигурности са којим даје своје мишљење, а који је заснован на израчунатој вредности индекса веродостојности. Насупрот томе, вештачења других биометријских карактеристика не подразумевају рачунање вероватноћа или објашњавања могућности подударања услед случајности. Тако су, на пример, током вештачења отиска прста са доказа пронађених на месту терористичког бомбашког напада у Мадриду 2004. године, четири стручњака са потпуном сигурношћу изјавила да пронађени отисак прста припада адвокату Брендону Мејфилду, који се нешто пре догађаја преобратио у ислам. Касније је утврђено да су сва четири вештака погрешила. Из приложеног је јасно зашто се у савременој идентификацији очекује да постоји научни основ за примењене методе у форензици, као и анализа стопи грешке.

Данас у судским поступцима и даље постоје различита очекивања за вештачења различитих биометријских метода идентификације. Док се приликом вештачења отисака прстију очекује да стручњак донесе једну од три одлуке: индивидуализација (подударање отисака), елиминација (неподударање отисака) и неодлучан, са 100% сигурношћу, од ДНК вештака се очекује да примени пробабилистички приступ. Стога је препорука је да се све области крећу путем ДНК модела вештачења, у коме су

одлуке и мишљења експерата базирана на вероватноћи. Другим речима, очекује се да се за остале области биометријске идентификације обезбеде процене учесталости појавних облика у популацији, као и стопе грешке, како би се омогућило поуздано сведочење на суду о доказној вредности представљених резултата.

У Републици Србији анализе за потребе суда врше лабораторије из најразличитијих области: спорних докумената, токсиколошких и физичко-хемијских вештачења, ДНК, балистике, дактилоскопских вештачења, вештачења гласа итд. У НКТЦ МУП РС се обави око 16.000 (Видић, 2012) таквих вештачења годишње. Специфично, форензичка ДНК анализа и утврђивање очинства се у Републици Србији врше у више државних и приватних лабораторија: ДНК лабораторија НКТЦ, Центар за хуману молекуларну генетику Биолошког факултета Универзитета у Београду, ДНК лабораторија Института за судску медицину у Београду, лабораторија за ДНА Института за судску медицину у Новом Саду, ДНК центар за генетику. ДНК лабораторија у НКТЦ је опремљена по врхунским европским стандардима. Заједно са лабораторијом за физичко-хемијска вештачења започела је процес акредитације 2010. године.

Хармонизација метода, техника, начина поступања са доказима и њиховог излагања на суду са међународним стандардима се врши путем акредитације форензичке лабораторије, према стандарду ISO/IEC7025. У Републици Србији процес акредитације врши Акредитационо тело Србије (АТС), у складу са Законом о акредитацији. Акредитација даје потврду компетентности лабораторије за обављање специфичних испитивања и вештачења, као и могућност међународне сарадње. Почевши од 2010. године, ДНК и физичко-хемијска лабораторија у НКТЦ пролазе кроз процес акредитације под покровитељством ЕНФСИ. Кроз пројекат *European Mentorship for Forensic Accreditation 2* (ЕМФА 2) и менторство Форензичког института „Иван Вучетић“ из Загреба (Република Хрватска), завршетак акредитације се планира до краја 2013. године.

Један од најзначајнијих задатака који су пред Републиком Србијом је нормативно регулисање биометријских идентификација. Наиме, иако се идентификације особа помоћу биометријских карактеристика у Србији обављају и у државном и у криминалистичком и у цивилном сектору, релевантна законска регулатива не постоји. Законом о личној карти и Законом о путним исправама предвиђена је употреба биометријских података, али у њима нема информација о условима коришћења, обраде, контроле и заштите биометријских података. Ти важни аспекти употребе биометрије у државном и цивилном сектору су изостали и у Закону о заштити података о личности.

ДНК вештачења се у Србији врше од 1997. године, и то за кривична дела убиства, силовања, тешког случаја разбојништва и разбојничке крађе, тешког дела против безбедности јавног саобраћаја, као и кривичног дела против опште сигурности људи и имовине и кривичних дела убиства извршених у оружаним сукобима на просторима бивше СФРЈ и Косова и Метохије. Међутим, адекватна легислатива је изостала. По први пут се, у Закону о кривичном поступку (ЗКП) из 2011. године, спомиње

узимање биометријских узорака – отисака папиларних линија и делова тела, букалног бриса и фотографија – (члан 140), узимање узорака биолошког порекла (члан 141), узорака за форензичко-генетичку анализу (члан 142), као и узорака са леша (члан 130), ради откривања учиниоца и жртве кривичног дела, утврђивања других чињеница у поступку или отклањања сумње о повезаности са кривичним делом. Закон предвиђа да се ти узорци могу прикупити и без пристанка, по наредби јавног тужиоца или суда. Нажалост, није регулисано вођење евиденције о узетим узорцима, њихово чување и уништавање; у закону је само назначено да о тим питањима одлучује Влада (члан 279). Даље, у предлогу Закона о посебним мерама за спречавање вршења кривичних дела против полне слободе према малолетним лицима предвиђа се да ће, као део посебне евиденције о преступницима, постојати ДНК профил осуђеног (члан 13).

У Републици Србији не постоји национална ДНК база података, већ лабораторије које врше поступак форензичке ДНК анализе имају оформљене своје локалне ДНК базе података, које нису међусобно умрежене. Закон о националном ДНК регистру Републике Србије такође не постоји. Нацртом овог закона предвиђа се формирање независне Агенције за вођење ДНК регистра, као и следеће ДНК базе података: форензичка база података (која би садржала ДНК профиле добијене из биолошких трагова пронађених на месту злочина) и база података осуђених на затворске казне правоснажном судском пресудом.

4. ЗАКЉУЧАК И БУДУЋИ ПРАВЦИ

Форензички биометријски системи за идентификацију особа поседују одређене мане. Познато је да прецизност крајњих резултата у биометријском систему веома зависи од квалитета улазних података. Како је доста форензичких података „нечисто“ (на пример, мешани ДНК профили у случајевима силовања, аудио-снимци са доста позадинске буке, парцијални отисци прстију), нова истраживања су усмерена на побољшање перформанси биометријских система у форензици (на пример, развој бољих алгоритама за подударање латентних отисака прстију). Међутим, увођење биометријских метода је несумњиво унапредило форензику као науку. Данас је одржавање импресивне количине података у базама приступачно. Обимне базе података је могуће претраживати веома брзо, а добијени резултати су веома поуздани, без субјективности и људске грешке.

Биометрија је као област већ присутна у Републици Србији. Биометријски пасоши, базирани на три биометријске карактеристике (отиску прста, слици лица и потпису) које су записане на радио-фреквентном идентификатору (РФИД чипу), омогућавају грађанима Србије безвизна путовања у земље шенгенског региона. Србија је такође једна од ретких земаља која поседује обавезан биометријски идентификациони документ – личну карту, на којој биометријски подаци могу бити записани и на контактном чипу. С друге стране, многе државе су се одлучиле

за употребу опционих биометријских докумената, док су обавезна идентифкациона документа електронске (небиометријске) картице. Поред тога што наша земља „предњачи“ у употреби државне биометрије, адекватна законска регулатива у овој области недостаје, упркос чињеници да је Уставом предвиђено да се подаци о личности уређују законом. Закон о заштити података о личности није усклађен са сличним европским актима и не поседује одредбе о биометријским подацима. То питање није регулисано ниједним другим законом у Републици Србији, иако је Европска комисија назначила да Србија није установила довољну заштиту података о личности. Стога је недавно, при покушају увођења биометријске идентификације у Здравствени центар у Чачку, повереник за информације од значаја Родољуб Шабић оценио да је оваква обрада података прекомерна и несразмерна (Никитовић & Јевтић, 2011). Слично, иако се форензичка ДНК анализа, која укључује израђивање ДНК профила у криминалистичким случајевима, као и за утврђивање очинства, у Србији, обавља од 1997. године у неколико лабораторија, Закон о националном ДНК регистру не постоји. Дакле, препорука је да се веома хитно донесу и почну примењивати специфичне одредбе закона, којима ће се дефинисати питања прикупљања, складиштења, употребе и заштите биометријских података у Србији.

Репрезентација форензичких и биометријских метода у медијима је условила повећана и често нереалистична очекивања која јавност има од форензичке науке. Додатно, агресивни, али обично веома упућени адвокати одбране имају тенденцију погрешног тумачења доказа које форензички стручњаци износе вештачећи на суду. Обе појаве су допринеле томе да је велики терет на тужиоцу, дакле, на доказивању форензичких метода. Поред неопходног континуираног унапређења форензичких и биометријских метода, адекватна едукација судија, полицајаца и читаве јавности ће бити од великог значаја.

Захвалност

Овај рад је урађен у оквиру пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије – ТР бр. 34019

ЛИТЕРАТУРА

1. Теодоровић, С. и Бранковић, А. (2010). Биометријски системи: Ултимативни вид идентификације људи у криминалистици и цивилном друштву. Право и форензика у криминалистици. Крагујевац.
2. Shen, W. & Tan, T. (1999). Automated biometrics-based personal identification. PNAS, 96:11065–11066.
3. Jain, A. K., Ross, A. & Prabhakar, S. (2004). An introduction to biometric recognition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Special Issue on Image- and Video-Based Biometrics*, 14(1): 4–20.

4. UNHCR. (2003). Afghanistan: Iris-testing proves successful. Retrieved February 20, 2011, from from http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/search?page=search&docid=3f86a3ac1&query=;;Quoteiris%20recognition;;Quote
5. Teodorović, S. & Mašković, Lj. (2011). Intertwined relationship beteween biometrics and forensic science: The use of biometrics in forensic personal identifications. Dani Arčibalda Rajsa, Beograd.
6. Jain, A. K., Feng, J. & Nandakumar, K. (2010). Fingerprint matching, Computer, 43(2): 36–44.
7. Jain A. & Ross A. (2004). Multibiometric systems. Communication of the ACM. Vol 47,No1
8. Pettersson M. & Obrink M., (2002). How secure is your biometric solution ? Precise BiometricsWhite Paper, Lund, Sweden.
9. Ross A. & Jain A. K. (2003). Information Fusion in Biometrics. Pattern Recognition Letters, Special Issue on MultimodalBiometrics, 24(13):2115–2125.
10. Kezele B. (2010). Primena tehnologije otvorenog koda u multimodalnoj biometriji, 2010, Fakultet Organizacionih Nauka, Beograd.
11. Јосић, А. (2011). Примена МБАРК решења у мултимодалној биометрији, ФОН, Београд.
12. Машковић, Љ., Теодоровић, С. и Бранковић, А. (2012). Форензика у криминалистици: биометријске идентификације. Генетички инжењеринг у служби човечанства. Београд.
13. Ross, A. (2007). Proceedings of the 15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). An introduction to multibiometrics. Poznan, Poland.
14. Snelick R., Indovina, M., Yen, J. & Mink, A., (2003). Multimodal Biometrics: Issues in Design and Testing. In Proceedings of Fifth International Conference on Multimodal Interfaces, pages 68–72, Vancouver, Canada.
15. Gower, M. (2010). Biometric passports. Retrieved February 20, 2011, from http://www.parliament.uk/briefingpapers/commons/lib/research/briefings/snha-04126.pdf
16. Mexico to become first country to use iris scans on ID cards. The telegraph, February 20th 2001.
17. O'Gorman, L. (2003). Comparing passwords, tokens, and biometrics for user authentication, Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No. 12, pp. 2019–40.
18. Lee, J-E., Jain, A.K. & Jin, R. (2008). Scars, Marks and Tattoos (SMT): Soft Biometric for Suspect and Victim Identification. *Proc. Biometric Symposium, Biometric Consortium Conference*.
19. Dantcheva, A., Erdogmus, N. & Dugelay, J. L. (2010). On the Reliability of Eye Color as a Soft Biometric Trait. Eurecom. Retrieved February 20, 2011, from http://www.laboratoire-usages.com/util/publidownload.fr.htm?id=3246
20. Jain, A.K. and Jin, R. (2007). Tattoo-ID: Automatic Tattoo Image Retrieval for Suspect & Victim Identification. *Proc. PCM*, 256–265.

21. Теодоровић, С. & Милинковић, К. Анализа рибонукелинске киселине (РНК) као нови метод за дефинитивну детекцију телесних течности и ткива у форензици. Криминалистичко-форензичка обрада места криминалних догађаја. Београд, 2013.
22. Jeffreys, A., Wilson, V. & Thein, S. (1985). Individual-specific 'fingerprints' of human DNA. Nature 316 (6023): 76–79.
23. Gill, P., Jeffreys, A. & Werrett, D. (1985). Forensics application of DNA 'fingerprints'. Nature 318: 577–579.
24. Saiki, R., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, K., Horn, G., Erlich, H. & Arnheim, N. (1985). Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. Science 230 (4732): 1350–1354.
25. Gill, P. (2005). DNA as Evidence — The Technology of Identification. New England Journal of Medicine 352(26).
26. Butler, J.M. & Becker, C.H. (2001). Improved analysis of DNA short tandem repeats with time-of-flight mass spectrometry. U.S. Department of Justice (http://www.ojp.usdoj.gov/nij)
27. Butler, J. M. (2005). Forensic DNA Typing: Biology, Technology, and Genetics of STR Markers, 2nd edition, Academic Press.
28. Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Watson, J. D. (1994). Molecular Biology of the Cell, New York: Garland Publishing Inc.
29. Caron, H., van Schaik, B., van der Mee, M., Baas, F., Riggins, G., van Sluis, P., Hermus, M.C., van Asperen, R., Boon, K., Voute, P.A., Heisterkamp, S., van Kampen, A., Versteeg, R. (2001). The human transcriptome map: clustering of highly expressed genes in chromosomal domains. Science, 291, 1289–1292.
30. Juusola, J. & Ballantyne, J. (2005). Multiplex mRNA profiling for the identification of body fluids. Forensic Science International, 152, 1–12.
31. Haas, C., Klesser, B., Maake, C., Bar, W. & Kratzer, A. (2009). mRNA profiling for body fluid identification by reverse transcription endpoint PCR and realtime PCR. Forensic Science International: Genetics, 3, 80–88.
32. Fleming, R. I. & Harbison, S. A. (2010) The development of a mRNA multiplex RT-PCR assay for the definitive identification of body fluids. Forensic Science International: Genetics 4, 244–256.
33. Bowden, A., Fleming, R. & Harbison, S. (2011). A method for DNA and RNA co-extraction for use on forensic samples using the Promega DNA IQTM system. Forensic Science International: Genetics, 5, 64–68.
34. Juusola, J. & Ballantyne, J. (2007). mRNA Profiling for Body Fluid Identification by Multiplex Quantitative RT-PCR. Journal of Forensic Science, 52(6), 1252–1262.
35. Setzer, M., Juusola, J. & Ballantyne, J. (2008). Recovery and stability of RNA in vaginal swabs and blood, semen and saliva stains, Journal of Forensic Sciences, 53, 296–305.
36. Zubakov, D., Kokshoorn, M., Kloosterman, A., Kayser, M. (2009). New markers for old stains: stable mRNA markers for blood and saliva

identification from up to 16-year-old stains. International Journal of Legal Medicine, 123, 71–74.
37. Haas, C., Hanson, E., Ba r, W., Banemann, R., Bento, A.M., Berti, A., Borges, E., Bouakaze, C., Carracedo, A., Carvalho, M., Choma, A., Dotsch, M., Duriancikova, M., Hoff-Olsen, P., Hohoff, C., Johansen, P., Lindenbergh, P.A., Loddenkotter, B., Ludes, B., Maronas, O., Morling, N., Niederstatter, H., Parson, W., Patel, G., Popielarz, C., Salata, E., Schneider, P.M., Sijen, T., Sviezena, B., Zatkalıkova, L., Ballantyne, J. (2011). mRNA profiling for the identification of blood—Results of a collaborative EDNAP exercise. Forensic Science International: Genetics, 5, 21–26.
38. Haas, C., Hanson, E., Kratzer, A., Bar, W. & Ballantyne, J. (2011). Selection of highly specific and sensitive mRNA biomarkers for the identification of blood. Forensic Science International: Genetics, 5, 449–458.
39. Visser, M., Zubakov, D., Ballantyne, K. N. & Kayser, M. (2011). mRNA-based skin identification for forensic applications. International Journal of Legal Medicine, 125, 253–263.
40. Hanson, E., Haas, C., Jucker, R. & Ballantyne, J. (2012). Specific and sensitive mRNA biomarkers for the identification of skin in 'touch DNA' evidence. Forensic Science International: Genetics, 6, 548–558.
41. Park, S. M., Park, S. Y., Kim, J. H., Kang, T. W., Park, J. L., Woo, K. M., Kim, J. S., Lee, H. C., Kim, S. Y., Lee, S. H. (2013). Genome-wide mRNA profiling and multiplex quantitative RT-PCR for forensic body fluid identification. Forensic Science International: Genetics, 7, 143–150.
42. Su, A. I., Cooke, M. P., Ching, K. A., Hakak, Y., Walker, J. R., Wiltshire, T., Orth, A. P., Vega, R. G., Sapinoso, L. M., Moqrich, A., Patapoutian, A., Hampton, G. M., Schultz, P. G. & Hogenesch, J. B. (2002). Large-scale analysis of the human and mouse transcriptomes. PNAS, 99, 4465–4470.
43. Sood, P., Krek, A., Zavolan, M., Macino, G. & Rajewsky, N. (2006). Cell-type-specific signatures of microRNAs on target mRNA expression. PNAS, 103(8), 2746–2751.
44. Courts, C. & Madea, B. (2011). Specific Micro-RNA Signatures for the Detection of Saliva and Blood in Forensic Body-fluid Identification. Journal of Forensic Sciences, 56 (6), 1464–1470.
45. Wang, Z., Zhang, J., Luo, H., Ye, Y., Yan, J. & Hou, Y. (2013). Screening and confirmation of microRNA markers for forensic body fluid identification. Forensic Science International: Genetics, 7, 116–123.
46. Wang, Z., Luo, H., Pan, X., Liao, M. & Hou, Y. (2012). A model for data analysis of microRNA expression in forensic body fluid identification. Forensic Science International: Genetics, 6, 419–423.
47. Setzer, M. (2004). Stability and recovery of RNA in biological stains. [Elektronska verzija]. Preuzeto 11. decembra, 2012, sa http://etd.fcla.edu/CF/CFE0000077/Setzer_Mindy_E_200407_MS.pdf
48. Noreault-Conti, T. L. & Buel, E. Development of an RNA-based screening assay for forensic stain identification. Preuzeto 11. decembra, 2012. sa http://www.promega.com/~/media/files/resources/conference%20proceedings/ishi%2019/oral%20presentations/buel.pdf?la=en.

49. Бранковић, А. & Теодоровић, С. (2011). Примена метилационе анализе као методе за аутентификацију форензичких ДНК доказа. Иновирање форензичких метода и њихова примена, Београд, РС.
50. Stirling, D. & Bartlett, M. S. (2003). PCR Protocols (Methods in Molecular Biology), 2nd edition, Humana Press, New Jersey.
51. Sambrook, J. (2001). Molecular Cloning: A Laboratory Manual, Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York.
52. Frumkin, D., Wasserstrom, A., Davidson, A. & Grafit, A. (2009). Authentication of forensic DNA samples, Forensic Science International: Genetics 4: 95-103.
53. Frommer, M., McDonald, L. E., Millar, D. S., Collis, C. M., Watt, F., Grigg, G. W., Molloy, P. L. & Paul, C. L. (1992). A genomic sequencing protocol that yields a positive display of 5-methylcytosine residues in individual DNA strands, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.89: 1827–1831.
54. Morling, N., Schneider, P. M., Mayr, W., Gusmao, L. & Prinz, M. (2011). Authentication of forensic DNA samples, Forensic Science International: Genetics, 5(3): 249–250.
55. Barash, M. (2011). Authentication of forensic DNA samples. Forensic Science International: Genetics, 5 (3): 253–254
56. Frumkin, D. & Wasserstrom, A. (2011). Response to letter to the editor by Mr. Mark Barash. Forensic Science International: Genetics 5(3): 255–256.
57. Fierera, N., Lauber, C.L., Zhoub, N., McDonald, D. Costello, E. K. & Knight, R. (2010). Forensic identification using skin bacterial communities. *PNAS*, 107(14):6477–6481.
58. Stackebrandt, E. & Goebel, B. M. (1994). A place for DNA-DNA reassociation and 16S ribosomal-RNA sequence-analysis in the present species definition in bacteriology. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 44:846–849.
59. Brooke, J. S., Annand, J. W., Hammer, A., Dembkowski, K. & Shulman, S. T. (2009). Investigation of bacterial pathogens on 70 frequently used environmental surfaces in a large urban U.S. university. *Journal of Environmental Health*, 71:17–22.
60. Smith, S. M., Eng, R. H. K., Padberg, F. T. (1996). Survival of nosocomial pathogenic bacteria at ambient temperature. Journal of Medicine 27:293–302.
61. Hails, J. (2009) Criminal Evidence, sixth edition. Belmont, CA, USA, Wadsworth Cengage Learning.
62. Жарковић, М., Бјеловук, И. & Нешић, Л. (2010). Научни докази и улога вештака у кривичном поступку. Супротстављање организованом криминалу-правни оквир, међународни стандарди и процедуре, Београд.
63. National Institute for Standards and Technology. (2006). Face Recognition Vendor Test 2006. Retrieved September 15, 2011, from http://www.nist.gov/itl/iad/ig/frvt-2006.cfm

64. Gehlen, S. (2008). Advances in Face Recognition Research. Second End-User Group Meeting. Retrieved September 15, 2011, from http://www.3dface.org/files/slides/080221/5-gehlen-l1_identity_solutions.pdf
65. Williams, M. (2007). Better Face-Recognition Software. Technology Review. Retrieved September 15, 2011, from http://www.technologyreview.com/Infotech/18796/?a=f
66. Handbook of biometrics. (2008). New York, NY: Springer Science+Business Media, LLC.
67. Теодоровић, С. & Машковић, Љ. (2011). Идентификација особа у криминалистици на основу карактеристика лица. Иновирање форензичких метода и њихова примена, Београд, РС, 2011
68. Saks, J. and Koehler, J. J. (2005). The Coming Paradigm Shift in Forensic Identification Science. Science, 309:892–895.
69. Foreman, L. A. and Evett, I. W. (2001). Statistical analyses to support forensic interpretation for a new ten-locus STR profiling system. International Journal of Legal Medicine, 114:147–155.
70. Видић, М. (2012). Отисак прста, чаура, ДНК и остали трагови. Време, 12. јануар.
71. Бјеловук, И., Кесић, Т. & Радостављевић-Стевановић, Н. (2013). Акредитација форензичких лабораторија – стање и перспективе у Србији. Криминалистичко-форензичка обрада места криминалних догађаја. Београд.
72. Никитовић, В. & Јевтић, Ж. (2011). Директор узимао отиске да би знао да ли лекари беже с посла. *Блиц*, 18. октобар.

РАЧУНАРСКЕ МРЕЖЕ, ВИСОКОТЕХНОЛОШКИ КРИМИНАЛ И ДИГИТАЛНА ФОРЕНЗИКА

V Глава

Драган Ранђеловић
Криминалистичко-полицијска академија
Цара Душана 196, 11080 Београд

Сажетак: Овај рад је настао као последица потребе да се почетком 21. века, у време израженог бурног развоја информационих технологија и очигледне испреплетаности тог развоја са нарастајућим високотехнолошким криминалом, стручно и научно сагледају стање и однос полиције, а консеквентно томе и стање и однос тужилаштва и судства према тим феноменима. Рачунарске мреже и проблеми који се тичу њихове сигурности имају велику улогу у делима високотехнолошког криминала, а дигитална форензика је једна од неколико дисциплина које битно утичу на расветљавање тих дела. Стога истраживање и развој нових и побољшање постојећих метода и алата те научне дисциплине представљају нужну потребу и предмет разматрања овог рада.

Овај рад има за циљ презентацију широј стручној и научној јавности резултата рада на научноистраживачком пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ТР34019 „Иновирање форензичких метода и њихова примена“, који је једним својим делом аутор овог рада обављао на Криминалистичко-полицијској академији у Београду, са предметом истраживања везаним за наслов овог рада, из чега је проистекло десетак радова аутора чији садржаји представљају основу текста овог прегледног рада.

Кључне речи: Интернет, информационе технологије, високотехнолошки криминал, сигурност рачунарских мрежа, системи за детекцију напада, дигиталана форензика.

1. УВОД

Имајући у виду данашњи буран развој информационих технологија, као и документ Мисије ОЕБС у Србији „Реформа полиције у Србији“ из јануара 2004. године[7] (који је у сагласности са документом „Визија за

7 Документ је 2008. подвргнут евалуацији и ревизији од стране МУП-а Србије.

реформу МУП Републике Србије“ из 2003. године који је под управом и мониторингом Данског института за људска права сачинило Саветодавно тело за реформу МУП у сарадњи са МУП Републике Србије), постоји потреба да се након више од десет година сагледају резултати његовог спровођења у МУП-у Србије, у чијој је надлежности и био. Самим документом Визије за реформу МУП Србије било је предвиђено 14 кључних области рада:

1. Кабинет министра
2. Оперативни центар
3. Контрола и надзор
4. Полиција
-Борба против криминала
-Јавни ред и мир
-Безбедност саобраћаја
-Обезбеђење штићених личности и објеката
-Полиција у локалној заједници
5. Борба против организованог криминала
6. Специјалне јединице
-Жандармерија
-САЈ
7. Државна граница и странци
8. Ванредне ситуације
9. Управни послови
10. Кадровска питања и образовање
11. Информациони и телекомуникациони системи и технологије
12. Финансијско-административни послови и техничка подршка
13. Аналитика
14. Хеликоптерска јединица

Једна од наведених области рада су информациони и комуникациони системи и технологије. Тема овог рада је разматрање стања у МУП-у Србије (али и шире – у држави и свету) у делу ове области који се тиче сигурности мрежне инфраструктуре, као и дигиталних форензичких алата за анализу и праћење рада на мрежи, као ресурсу који повезује и битно утиче на ваљан рад и других побројаних кључних активности МУП-а Србије (Аналитика, Оперативни центар...) као и других субјеката и све то посматрано не само у Републици Србији.

Овај рад има за циљ адекватно научно одређење пројекта „Иновирање форензичких метода и њихова примена“ Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (дела који је рађен на Криминалистичко-полицијској академији у Београду) и обавештавање стручне и научне јавности о спровођењу истраживања из шире области високотехнолошког криминала. Реч је области која је нужно повезана са безбедношћу у сајбер простору и дигиталном форензиком, која својом улогом у прикупљању ваљаних доказа ствара могућност за судско процесуирање, а тиме и за спречавање и санкционисање дела из широког миљеа високотехнолошког криминала. У тематском раду пре свега разматрамо основне аспекте сигурности рачунарских мрежа, основне елементе институционализоване заштите на Интернету и, као најважније, технике и алате дигиталне форензике и алате детекције напада, који су са њима нужно повезани.

Овај рад је подељен на седам основних поглавља. У овом првом, уводном поглављу дефинисани су основни појмови: стање у свету у предметној области, значај активности и циљ који се жели постићи.

Друго поглавље рада се бави основама сигурности рачунарских мрежа: протоколима, аутентификацијом, криптографијом и системом датотека, који омогућава смештај свих врста података, злонамерним програмима у мрежи и на крају, консеквентно томе, програмима и заштитним баријерама за одбрану од њиховог дејства.

У трећем поглављу је, користећи пример Центра за жалбе на Интернет криминал у САД, објашњена улога институционализације Интеренет заштите кроз три потпоглавља: карактеристике и динамика кривичних пријава (учинилаца и подносилаца), додатне информације и могућности.

У четвртом и петом поглављу разматрани су и на конкретним примерима упоређени комерцијални и некомерцијални алати за детекцију напада на мрежи и алати дигиталне форензике. Они су размотрени са становишта значаја, развоја, цене и доступности за ширу јавност.

У шестом поглављу аутор предлаже једно решење за некомерцијални мултифункционални алат по угледу на постојећи и познати *Swift Workstation Sans* института из САД.

Последње седмо поглавље је посвећено закључним разматрањима иза којих је наведена богата литература коришћена у овом прегледном раду аутора.

1.1. Дефинисање основних појмова

Људско друштво је у свом развоју прошло кроз три основне етапе: прединдустријску, индустријску и информацијску.

За информацијско друштво, које данас чини највећи део човечанства, информација, дефинисана обрадом пре свега у информационим системима, кључни је покретач производње. Знање је стратешки ресурс, а основна технологија је интелектуални рад.

Као што је иза индустријске етапе развоја људског друштва стајао скуп такозваних „класичних технологија", тако иза информацијског друштва стоји скуп такозваних „високих технологија", заснованих пре свега на информатичким технологијама, под којима се подразумевају техничка средства и методе за прикупљање, унос, обраду, чување и пренос информација. Може се рећи да су две основне информатичке технологије микрорачунари и телекомуникације и да су оне база за развој „високих технологија" и у другим областима људског деловања, као што су развој нових материјала, генетика итд. Оне се у пракси спајају у моћну целину у рачунарским мрежама, отвореним (јавним) и затвореним, где омогућавају најшири уплив свих делатности људског друштва, што је посебно изражено на мрежи свих мрежа – Интернету. Нажалост, те мреже, а нарочито Интернет, представљају и погодно тле за криминалне и терористичке активности различите мотивације, почев од нелегалног стицања користи, све до терористичких напада. Те активности су доминантне у

такозваном високотехнолошки криминалу, иако он у најширем смислу обухвата све криминалне и терористичке радње које су везане и за друге „високе технологије".

Алати за детекцију напада служе за детекцију и спречавање напада на рачунар и/или рачунарску мрежу. Жељена сигурносна политика одређује конфигурисање система за детекцију напада. Осим самосталног деловања, ти системи могу да буду и саставни део различитих дигиталних форензичких алата – они региструју све догађаје који су важни за каснију анализу података о сигурносном инциденту на рачунарском систему.

Компјутерска (дигитална) форензика представља примену рачунарске истраге и техника анализе у циљу утврђивања потенцијалних дигиталних доказа.

Дигитални докази су неопходни у широком спектру истрага компјутерског криминала, а дигитална форензика обухвата различите методе за откривање података који почивају унутар рачунарског система или за опоравак обрисаних, криптованих или оштећених података и у ту сврху користи различите алате.

1.2. Опис тренутног стања у свету

Данас, почетком 21. века, када више од 90% података које користимо у свакодневном животу има дигитални облик и у дистрибуцији је преко најразноврснијих рачунарских мрежа у различитим широко коришћеним апликацијама:

- државна и локална управа (Ранђеловић, Поповић, 2011; Ранђеловић, Поповић, 2012);
- електронско пословање и трговина (Ранђеловић, Поповић, Стефановић, 2012);
- електронско банкарство (Ранђеловић, Никач, Стефановић, 2012);
- електронско едуковање;
- електронски системи физичко-техничке заштите и контроле кретања итд.;
- генерално посматрано, и сви остали облици „електронског" начина обављања послова из широке палете људских делатности.

Високотехнолошки криминал је веома распрострањена појава, ослоњена на различите врсте злоупотреба, међу којима доминира злоупотреба рачунарског система (самог рачунара или рачунарске мреже). Она се манифестује се као аномалија у понашању особе која користи систем или аномалија у понашању самог система. Наравно, нужно је нагласити да су затворене рачунарске мреже и самостална употреба рачунара ван мреже знатно сигурнији амбијент.

Међутим, сигурносни алати и процедуре који се инсталирају на самосталном или рачунару на локалној мрежи према Интернету (нпр. мрежна баријера) нису ефикасни када је нападач неко коме су та локална мрежа или рачунар доступни, а статистика показује да је то најчешћи вид наступања криминалних радњи.

Следећи типови напада од којих оперативни системи не могу обезбедити заштиту су:

– нападачи који се представљају као легитимни корисници;
– корисници са високим степеном привилегија који се понашају деструктивно;
– легитимни корисници који злоупотребљавају грешке у конфигурацији система или друге системске рањивости;
– извршни програми (нпр. тројански коњи) који су злонамерно модификовани да извршавају недозвољене функције.

Зато је данас дигитална форензика незаобилазно средство одвраћања и незаоблазан чинилац за рад сигурног рачунарског система. Она је релативно ново поље науке и прво се јавила код професионалаца из области кривичног права и обавештајних служби, а касније била прихваћена и од информатичара. Подразумева примену научних метода у циљу идентификације, прикупљања и анализирања дигиталних података, уз очување интегритета оригиналног доказа, и њихово вештачење на суду. Није спорна ни њена нужна веза са осталим алатима за сигуран рад рачунарских система, као што су алати за детекцију напада.

Неки од комерцијалних форензичких алата се веома често употребљавају. У САД се *EnCase* фирме *Guidance* користи у преко 90% случајева, па је прихваћен као стандард и у судској пракси, која је у сфери коришћења дигиталних форензичких алата регулисана одговарајућим законима. Од осталих алата познатији су и *AccessData ForensicToolkit* (FTK), *Ilook Investigator @Forensic Software* и *Helix*.

Треба нагласити да су поред комерцијалних алата све више у употреби и алати засновани на *open source* софтверима као што су *Autopsy* и *SIFT workstation* (Ranđelović, 2011).

Прихватањем дигиталне форензике као легитимног поступка анализе доказа долази и до повећаног интересовања за обучавање и едукацију на овом пољу, па тренутно само у Америци постоји више од тридесет колеџа и универзитета који то омогућавају.

Истовремено, Национални институт за стандарде и технологију (NIST) формирао је групу која ради на тестирању алата за дигиталну форензику (CFTT), развијајући методе тестирања. Резултати нису у потпуности откривени.

1.3. Образложење значаја активности

Тренутно се и код нас и у свету рачунарски системи, а нарочито Интернет, користе масовно, у широком опсегу свакодневних активности људског живота. То представља изузетно погодно тле за деловање и развој такозваног високотехнолошког криминала, пре свега у области рачунарства и телекомуникација, али и у другим областима високих технологија чије је функционисање незамисливо без њих. Стога је јасно да активности које су овим пројектом предвиђене имају велики значај пре свега за

одвраћање, али и за контролу, сузбијање и судско санкционисање таквог криминала. Посебан значај предвиђених активности је у мултидисциплинарном приступу решавању проблема, који подразумева три међусобно повезана и условљена аспекта:

1) утврђивање стања технологија које су основа за настајање високотехнолошког криминала и проналажење могућих и најбољих техничких решења за његово сузбијање и контролу;
2) на основу утврђеног стања технике, проналажење могућих и најбољих решења за правно-нормативну регулативу;
3) на основу утврђеног стања технике и правно-нормативне регулативе, утврђивање програма за едуковање потребног кадра.

1.4. Циљеви

Општи циљ је сузбијање високотехнолошког криминала, као неопходан услов за успешан даљи свеукупан развој у Србији.

Појединачни циљеви:

- сарадња свих државних институција Републике Србије у утврђивању појавних облика и техника високотехнолошког криминала;
- утврђивање стандарда за алате за борбу противу различитих појавних облика и техника високотехнолошког криминала;
- развој и израда некомерцијалног мултифункционалног алата;
- реформа правосуђа у приступу високотехнолошком криминалу;
- реформа школства у подучавању о високотехнолошком криминалу.

2. СИГУРНОСТ РАЧУНАРА И РАЧУНАРСКИХ МРЕЖА[8]

Сигурност информација, рачунара и рачунарских мрежа (система) данас је угрожена нападима који се могу манифестовати као (Ранђеловић, 2010):

1) пресецање (прекид), који представља активан напад на расположивост информације односно функционисање неког рачунарског система;
2) измена, која представља активан напад на интегритет информације односно рачунарског система и неко време може остати непримећен услед непажње;
3) фабриковање, које је активан напад на аутентичност информације односно рачунарског система;
4) пресретање, као атак на поверљивост информације, огледа се у надгледању информација и система и пошто не мења ни систем ни информацију (манифестује се као пасиван напад), открива се тешко, а може представљати и припрему за другу врсту напада.

Најчешће примењивани напади на рачунар и рачунарску мрежу су:

1) одбијање услуга, чиме се постиже онемогућавање рада са одређеним сервисима;

8 Ранђеловић, Д. (2012). *Високотехнолошки криминал*. Београд: Криминалистичко-полицијска академија.

2) лажирање IP адреса, којим се нападач лажно представља;
3) њушкање, којим нападач прегледа садржај порука на мрежи;
4) системске претње, међу којима се могу разликовати:
- вируси, који су само делови програма у облику злонамерног кода и захтевају носиоца у облику извршног фајла,
- црви, као самостални злонамерни програми који се шире са рачунара на рачунар коришћењем различитих Интернет сервиса,

5) програмске претње, од којих су најпознатије:
- тројански коњ – сегмент кода који се убацује у неки програм ради извлачења користи,
- прекорачење бафера – поступак којим нападач вара корисника тако што загушивањем динамичке меморије долази до стека и ту чини штетне радње кориснику
- клопка која користећи празна места у коду корисника чини му штету

Постоје различите таксономије метода одбране тј. заштите као и препоручених принципа.

Сигурност рачунарских система се данас постиже поштовањем процедура:

1) сигурног протокола, којим се остварује идентификација два саговорника повезана преко рачунарске мреже и заштићени пренос података међу њима; на Интернету је најпознатији *Secure Sockets Layer* (SSL), који преноси незаштићене податке кроз заштићене комуникацијске канале и то остварује применом одговарајућег снажног шифрирања а за идентификацију користи познату технику: система јавних кључева (*Public Key Criptography*) у затвореним мрежама, нарочито физичко-техничког обезбеђења и контроле кретања у употреби су протоколи заштићени од сваког произвођача, нпр. за *Hochiki Europe* из Енглеске то је протокол ESP (*Encapsulating Security Payload*).
2) аутентификације, која може бити једнострука или вишеструка уз коришћење идентификације различитим принципима:
- нечим што знате (нпр лозинка),
- нечим што имате као техничко средство (нпр. дигитална картица),
- нечим што поседујете као личну физичку (нпр. отисак прста) или особину понашања (нпр. рукопис),

3) криптографије, која се бави кодирањем информација ради њихове сигурности;
4) власништва над датотекама, чиме оперативни систем омогућава контролисан приступ датотекама;

Имајући у виду данашње масовно присуство малициозних програма у рачунарским мрежама незаобилазне категорије обезбеђења сигурности рачунарских система су и:

5) мрежна баријера – ватрозид (*firewall*)
6) системи за детекцију упада у рачунарски систем (IDS – *Instrusion detection systems*)

3. КРИМИНАЛ НА ИНТЕРНЕТУ (*INTERNET CRIME COMPLAINT CENTER IC3*)

У САД постоји Центар за жалбе на Интернет криминал (*Internet Crime Complaint Center* – IC3). Овај центар даје извештаје који се прослеђују савезним, државним и локалним органима јавног реда и мира како би се спровела активна истрага. Извештаји служе за подизање свести о овом проблему и ближе информисање грађана, а даје и слику о распрострањености и утицају Интернет превара, при чему се мора водити рачуна приликом доношења закључака о „типичним" жртвама или починиоцима ових кривичних дела. Свако ко користи Интернет је потенцијална жртва, па је IC3 прима пријаве оба пола, мушкараца и жена, старости у распону од десет до сто година. Способност да се предвиди жртва је ограничена, нарочито без познавања других сродних фактора ризика (на пример, броја Интернет корисника, њиховог искуства и способности). Зато су образовање и свест корисника и дејство полиције, како у превенцији тако и у санкционисању високотехнолошког криминала, главни адути у борби против њега.

У децембру 2003. године Центар за жалбе на Интернет преваре (*Internet Fraud Complaint Center – IFCC*) преименован је у Центар за жалбе на Интернет криминал (*Internet Crime Complaint Center* – IC3). Од 1. јануара до 31. децембра 2008. године на сајт IC3 је стигло 275.284 поднесака жалби (Ранђеловић, Бајагић, Царевић, 2012; Ранђеловић, Царевић, 2012).

У питању су били различити типови превара: аукцијске преваре, питања неиспоручене робе, преваре путем кредитних картица, али и жалбе на компјутерске упаде, спам (нежељена електронска пошта) и дечју порнографију. Све те жалбе су прослеђене савезним, државним и локалним органима јавног реда и мира како би се спровела активна истрага и подигла свест о овом проблему, а грађани ближе информисали. У анализу укључене различите врсте пријава.

1) Пријаве које се односе на неиспоручену робу или неплаћање по испоруци чине 32,9% жалби; преваре путем интернет аукција 25,5%; преваре путем кредитне/дебитне картице 9,0%; преваре које се остварују путем стеченог поверење на Интернету (тзв. превара нигеријско писмо) такође спадају у седам најчешће пријављиваних случајева у току године.[9]
2) 77,4% починиоца је мушког пола; половина је боравила у једној од следећих држава: Калифорнија, Њујорк, Флорида, Тексас, Дистрикт Колумбија и Вашингтон. Већина пријављених починилаца (66,1%) били су из Сједињених Држава, али је значајан број и из Велике Британије, Нигерије, Канаде, Кине и Јужне Африке.
3) 55,4% подносилаца жалби су били мушкарци, скоро половина узраста од 30 и 50 година; већина су били из САД (92,4%).

9 Највећи број случајева се односи на финансијске преваре где се подносиоци жале на губитак финансијских средстава. Укупан губитак био је 264,6 милиона долара, у просеку 931 долар по жалби, тј. по једном превареном. Види се пораст у односу на 239,1 милиона долара пријављеног губитака у 2007. http://www.ic3.gov/default.aspx

4) Мушкарци су изгубили више новца него жена (на 1,69 долара који је изгубио мушкарац долази један долар губитка по жени).
5) И-мејл (74,0%) и веб-сајтови (28,9%) су два примарна механизма остваривања контакта.

Центар за жалбе на Интернет криминал (*The Internet Crime Complaint Center* – IC3), који је почео са радом 8. маја 2000, основан је као партнерски пројекат Националног центара за привредни криминал (*National White Collar Crime Center* – NW3C) и Федералног истражног бироа (FBI), да послужи као станица која би примала, обрађивала и прослеђивала кривичне пријаве. У периоду у ком се киберкриминал брзо шири, постоји се велика потреба за таквим центром. IC3 је намењен и наставља да служи извршавању закона заједнице, укључујући и савезне, државне и локалне агенције. Од свог оснивања, IC3 прима притужбе различитог типа: преваре на мрежи (све врсте), питања права интелектуалне својине, упади у компјутере (хаковање), економска шпијунажа (крађа пословне тајне), дечија порнографија, међународно прање новца, крађа идентитета итд. Списак кривичних дела стално расте.

IC3 жртвама киберкриминала пружа згодан и за употребу једноставан механизам пријављивања кривичних дела. За спровођење закона, како на савезном тако и на државном и локалном нивоу, IC3 има централни механизам за упућивање жалби. Поред значајне сарадње са полицијом и другим агенцијама, приоритетни циљ IC3 је да успостави ефикасну сарадњу и са индустријским сектором. Захваљујући таквој сарадњи са обавештајним службама и могућности употребе стручних ресурса, IC3 постаје способна да одигра кључну улогу у идентификовању високотехнолошког криминала и борби против њега.

До појаве IC3 и NW3C[10] коришћени су бројни методи да би се одржао корак са технолошким променама и разменом информација. Сви они су постигли само делимичан успех. Разлози за то су различити, али је вероватно најважнији то што су претходни напори углавном досезали до малих сегмената локалних или регионалних група органа гоњења, са крајњим резултатом који је био ограничен на размену података. Брзина и једноставност којом учиниоци кривичних дела могу да прелазе границе широм света чине проблем још тежим. Остале препреке обухватају недоследну обуку и ограничену размену података после истраге. Јединице FBI-ја за IC3 користе аналитичке алате да од базе података о кривичним пријавама клијената IC3-а припреме оптужнице.

Аналитичари FBI-ја допунили су податке о кривичним пријавама клијената информацијама из отворених и затворених (органи гоњења) извора, као и из приватних делатности. FBI је омогућио приступ анализама и помоћ у случајевима свим органима гоњења у оквиру сваке пријаве IC3-а или на захтев неког органа гоњења. Заједно са корисним продуктивним алатима, IC3 и NW3C нуде и тимове за анализу, обучавање и истраживање који могу да помогну органима гоњења у свему што им је неопходно у погледу припреме оптужнице. У то спадају: претрага и

10 National White Collar Crime Center, http://www.nw3c.org/.

компилација информација о случају, анализе које ће вештаци извршили на добијеним подацима, ступање у контакт са другим органима заинтересованим за сарадњу у истрази, пружању помоћи у обуци или директно у вршењу обуке, припрема дијаграма међусобне повезаности и писање извештаја о случају.

Мада могућност повезивања на Интернет нуди огромне предности због могућности бољег приступа информацијама, она је и опасна, због сајтова са ниским нивоом безбедности. Ако се о томе не води рачуна, то може да има погубне последице за неприпремљене сајтове[11]. Корисници постављају следећа питања: 1) Хоће ли хакери пореметити интерне системе? 2) Хоће ли важни подаци бити угрожени (промењени или прочитани) приликом преноса? 3) Хоће ли бити доведени у непријатну ситуацију? Све претходно речено представља ваљан разлог за бригу.

Појављују се многа техничка решења везана за безбедност Интернета. Међутим, њихова је цена веома висока. Многа од њих ограничавају функционалност да би повећала безбедност. Остала захтевају значајне уступке на рачун једноставне употребе, а особље које ради на традиционалним ресурсима троши време и новац на њихову куповину, имплементацију, рад и одржавање опреме и софтвера.

После година интензивног истраживања, састанака циљних група, планирања и развоја пројеката, NW3C сада нуди јединствени Систем за претраживање и истраживање кривичних пријава путем Интернета (*Internet Complaint Search and Investigation System, ICSIS*)[12], приступачно софтверско решење коме се приступа путем безбедног веб-сајта, заштићеног лозинком. Уз ово обезбеђење, сваки орган са приступом Интернету који добије одобрење NW3C може да користи овај алат, чиме се елиминише потреба за куповином новог софтвера или хардвера, осим компјутера са уобичајеним веб-претраживачем. ICSIS омогућава истовремену претрагу више токова података. Аналитички алати треће стране заједно са карактеристиком уноса/износа, (нпр. *I2 Analyst's Notebook link charts*) уграђени су у ову апликацију ради визуелног представљања трендова и модела.

4. АЛАТИ ЗА ДЕТЕКЦИЈУ НАПАДА НА МРЕЖИ

Корисници рачунара, који данас раде пре свега у мрежама, захтевају да приступ њиховим подацима и ресурсима имају само они којима се приступ дозволи – аналогно сигурности физичке имовине, корисници рачунарских система желе такозвану рачунарску сигурност. Као најпознатија рачунарска мрежа, Интернет повезује милионе људи широм света, обезбеђујући им приступ великој количини информација. Корисницима су потребна средства којима могу да остваре задати степен сигурности.

Системи за детекцију упада у рачунарски систем IDS (*Instrusion detection system*), решавају проблем елеминације нежељених приступа мрежи. Они

11 Forouzan, B. (2009). *TCP/IP Protocol Suite*. New York: Mcgraw-Hill Forouzan Networking.

12 The Internet Complaint Search and Investigation System (ICSIS) is a Web-accessible software solution from the Internet Crime Complaint Center accessed via a secure, password-controlled website.

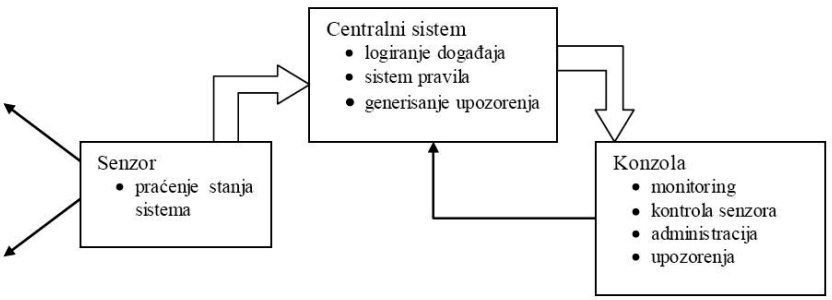
могу бити отвореног и затвореног комерцијалног кода и важно је имати увид у предности и мане једних и других (Ранђеловић, Ђорђевић, 2011).

Рачунарска сигурност је последњих неколико година један од најчешће спомињаних појмова у рачунарству. Нове методе напада на информацијске системе откривају се свакодневно и практично се удвостручују сваке следеће године. Разлози су многобројни. Приступ Интернету је све једноставнији и јефтинији, а са развојем технологије везе постају све брже, па је све теже анализирати сав промет који пролази кроз такву високо пропусну мрежу. Поред тога, на тржишту тренутно доминира веома мали број оперативних система, па проналажењем пропуста у њима нападач добија велики број потенцијалних жртава. Такође, брз развој технологија избацује на тржиште и непроверена решења, која резултирају великим бројем сигурносних пропуста. Поред тога, услед популаризације Интернета, информације о новим пропустима се врло лако и брзо шире међу великим бројем људи, па се добављање алата за нападе на разне информационе системе своди се на посету једној од многих хакерских страница.

4.1. Основни појмови

Систем за детекцију упада је апликација која детектује сигурносне претње према рачунару или мрежи и кад препозна опасност некако даје то до знања. IDS има три функционална дела (слика 1):

– *сензори* („очи“ сваког IDS-а преко којег хвата саобраћај на нивоу рачунарског система);
– *конзола* („управљачка рука“ IDS-а за надзор и контролу);
– *централни систем* („душа“ IDS-а, систем који снима сигурносне догађаје које препознаје сензор, спашава их у базу или неки лог и на основу система правила генерише упозорења).



Слика 1: *Основне компоненте IDS-а*

4.1.1. Концепти система за детекцију упада

Системи за детекцију упада или IDS се генерално могу поделити на следећи начин:

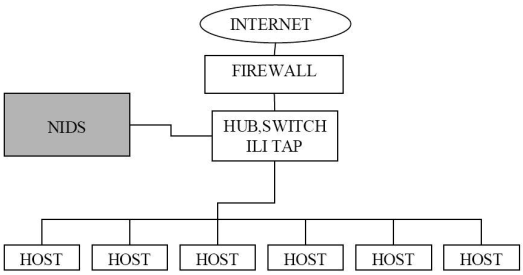
1) Мрежно засновани системи за детекцију NIDS (*Network Intrusion Detection System* – NIDS) могу да анализирају саобраћај на мрежи (пакете који путују кабловима између рачунара) и упореде га са базом отисака сигурносних претњи. NIDS (слика 2) има следеће задатке:

– користи мрежне картице постављене у *promiscuosus* (у даљем тексту: заједничком) начину рада како би ухватио пакете које путују разним медијумима и протоколима (најчешће TCP/IP);

– генерише упозорења о нападима у реалном времену;

– генерише логове који могу помоћи код анализе напада након што се напад већ десио.

Типични пример једног NIDS система је Снорт (*Snort*).



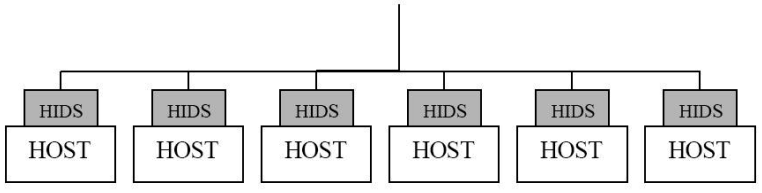
Слика 2: *Мрежно базиран систем за детекцију упада*

2) Системи за детекцију засновани на хосту – HIDS (*Host Based Intrusion Detection System*) инсталирани су као агенти на хост машинама. Могу да анализирају системске и апликацијске лог фајлове у намери да препознају активности које личе на упад. HIDS има следеће задатке:

– прати долазећи мрежни саобраћај на једном рачунару у намери да детектује нападе, користећи детекцију базирану на аномалији или потписима;

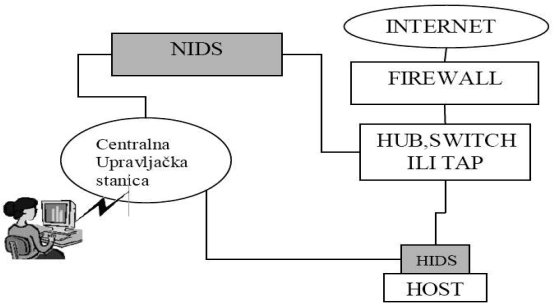
– испитује системске логове за сумњиве догађаје, као што су вишеструки неуспешни покушаји логовања;

– проверава интегритет фајлове на систему; интегритет се проверава у смислу да ли је фајл био модификован. Провера интегритета такође укључује проверу да ли су фајлови креирани или обрисани.



Слика 3: *Системи за детекцију упада базирани на хосту*

3) Дистрибуирани системи за детекцију упада – DIDS (*Distribuited Intrusion Detection System*):
– садржан је од NIDS-а, HIDS-а или обоје;
– сензори су лоцирани преко целе мреже и шаљу извештаје ка централизованој управљачкој станици;
– централизована управљачка станица садржи базу потписа упада и по потреби их шаље сензорима;
– коришћење енкриптованих VPN (*Virtual Private Network*) конекција између управљачке станице и сензора.



Слика 4: *Дистрибуирани системи за детекцију упада*

Пре него објаснимо основне концепте система за упаде, објаснићемо неколико кључних појмова.

Лажне узбуне (*false positives*) су аларми које систем за детекцију упада генерише када мисли да је детектовао валидан напад иако то није случај. Лажне узбуне су проблематичне јер могу креирати маску аларма. Јављају се када систем за детекцију генерише аларм на следеће догађаје:
– мрежни саобраћај који изгледа слично као упад али није напад;
– стварни упад који напада систем који није под присмотром IDS-а (нпр. *honeypot*).

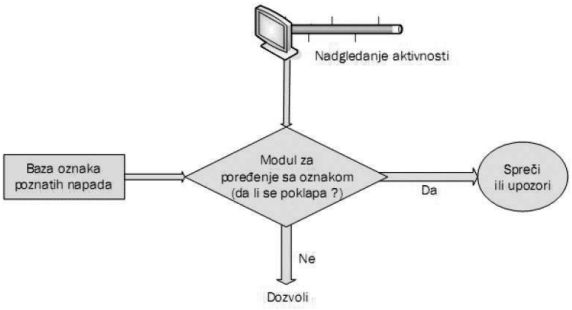
Постоје многи разлози за дешавање лажних узбуна, а једна од главних је то што су базе потписа са којима IDS или систем за детекцију упада пореди отиске саобраћаја превише опште. Већина комерцијалних и *open source* решења за детекцију упада пати од тог проблема јер је њихов систем потписа често независтан од стања (*stateless*).

Пропуштени напад (*false negative*) јесте упад који IDS није успео да детектује и стога није направио узбуну на основу њега. Постоји неколико разлога да један систем за детекцију упада пропусти напад:
• IDS нема отисак напада у својој бази потписа;
• IDS је тренутно преоптерећен и прескаче поједине пакете;
• IDS је 'преварен' од нападача који је успешно избегао систем за детекцију.
• Основни типови детекције коришћени од стране система за детекцију упада:

Детекција по потпису (*signature detection*). Потпис је узорак којим IDS пореди садржај неког пакета са унапред познатим нападима. Обично се

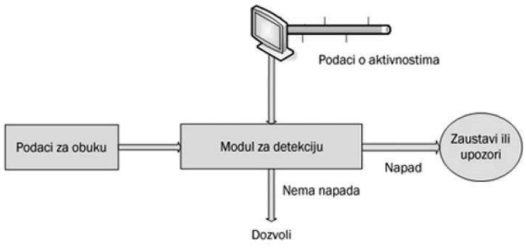
ради о типичним битима и деловима информација које IDS треба да прегледа у долазећем мрежном саобраћају и препозна као 'лош' саобраћај. Скупина потписа које користи IDS представља базу потписа (*Signature base*). Детекција по потпису је једна од најчешће коришћених типова детекције, а Снорт један од алата који користе тај тип детекције.

Мана детекције по потпису је у томе што IDS у мрежном саобраћају тражи узорке напада који су већ дефинисани у бази потписа. Он може да не препозна нови облик напада јер у бази потписа не постоји сличан узорак.



Слика 5: *Концепт детекције по потпису*

Детекција по аномалији (anomaly detection). IDS који користи детекцију по аномалији ради тако што учи како изгледа „нормалан" саобраћај на мрежи и онда прави узбуну ако види нешто што одудара од те слике. Нажалост, много тога новог или другачијег може бити маркирано као „ненормалан" саобраћај, тако да правилно подешен IDS може да буде низак у погледу пропуштених напада, али доста осетљив на лажне узбуне.



Слика 6: *Концепт детекције по аномалији*

Неки IDS користе детекцију по потписима (Снорт), неки по аномалији, а неке обоје.

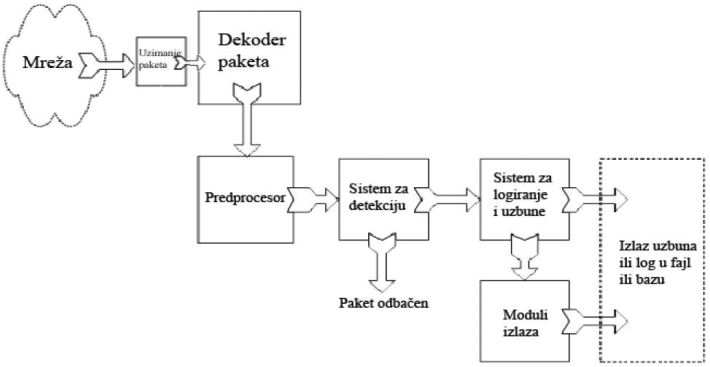
4.2. Системи за детекцију упада отвореног и затвореног кода

4.2.1. Снорт систем за детекцију напада отвореног кода

Снорт је логички подељен на неколико компоненти. Оне раде заједно да би детектовале одређене нападе и генерисале излаз у жељеном формату. Снорт базиран IDS има следеће главне компоненте:

– декодер пакета;
– претпроцесоре;
– систем за детекцију;
– логовање и узбуне;
– модуле излаза.

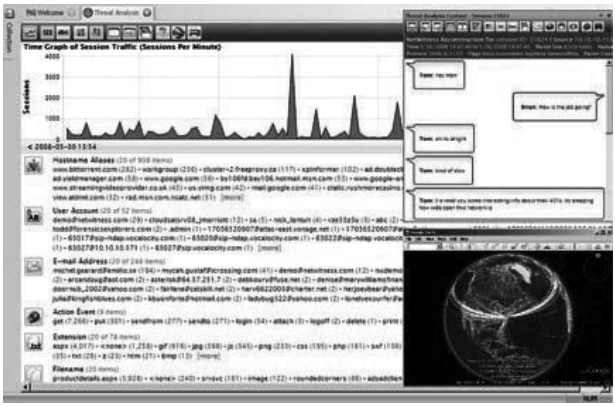
Слика 7 показује како су те компоненте уређене. Сваки пакет са мреже улази у пакет декодер. При томе се извршава процес узимања (*capturing*) пакета. За узимање пакета обично се користи посебан део софтвера који преузима мрежни саобраћај са мрежне картице и шаље према декодеру пакета. Тај софтвер се зове „драјвер за хватање пакета“ (*packet capture driver*). На оперативним системима *Windows* најчешћи драјвер за ту намену је већ поменути *WinPcap*, док је на *Linux*-у то *libpcap*. На свом путу према модулима излаза пакет бива одбачен, логован или се генерише узбуна.



Слика 7: *Компоненте Снорта*

4.2.2. *Netwitness* – систем за детекцију напада комерцијалног кода

NetWitness је безбедносно решење које проверава и надгледа саобраћај на мрежи. Он прави садржајан лог свих активности на мрежи и приказује те активности тако да их и стручњаци на мрежи и непрофесионалци могу брзо разумети.



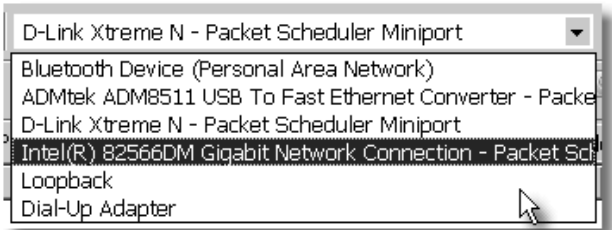
Слика 8: *Изглед основног екрана Netwitness-a*

NetWitness Investigator је алат који користимо за анализу података снимљених са мреже у намери да откријемо унутрашње или спољашње претње безбедности и IP инфраструктуру. Можемо импортовати податке из других извора или, ако имамо *Field Edition*, вршити снимање података у реалном времену.

4.2.3. *CommView* – систем за детекцију напада комерцијалног кода

CommView је моћан алат за мониторинг мреже и анализу, дизајниран за све који желе целу слику саобраћаја кроз рачунар или мрежу. То су углавном администратори мрежа, људи који се баве безбедношћу мреже, мрежни програмери, али и обични кориснике. Направљен је са многим опцијама које су прикладне за кориснике. Комбинује перформансе и флексибилност са једноставношћу употребе. Може се користити на било којем *Windows* систему (2000,, XP, 2003, Vista, 7). Захтева 10/100/1000 Mbps мрежну, бежичну или *token ring* картицу или стандардни *dial-up* адаптер.

Потребно је покренути снимање првог пакета да би се из падајућег менија одабрао адаптер који желимо да снимамо.

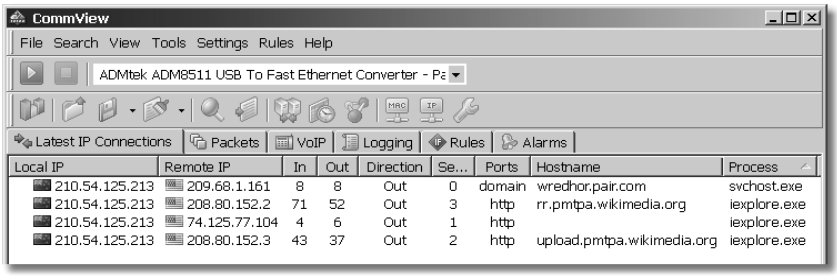


Слика 9: *Одабир адаптера који ће се снимати*

Када се изврши одабир, треба кликнути на *Start Capture.*

Слика 10: *Почетак снимања*

Ако се посети нека интернет страница, на пример *Википедија* (*www.wikipedia.org*), а затим погледа у главни прозор, видеће се шта је програм снимио.



Слика 11: *Снимљена посета Википедији*

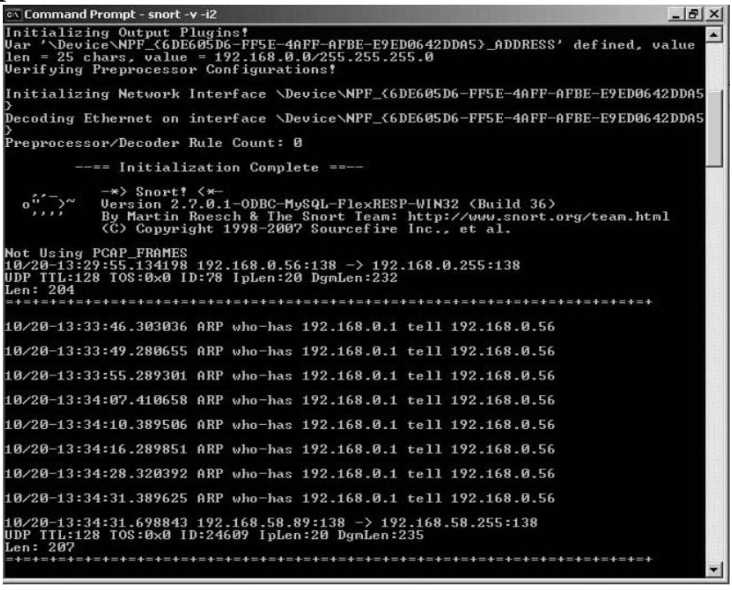
4.3. Подешавања IDS-а

4.3.1. Подешавање Снорта

Након инсталирања, подешавања и евентуално уписивања нових правила, потребно је да поставимо Снорт у *активан режим рада*. Пре почетка коришћења морамо инсталирати *WinPcap* који нам омогућује снимање садржине пакета који иду кроз мрежу. Када завршимо са том инсталацијом, подешавамо фајл *snort.conf*. Ту нам је најважније да подесимо ставку *var HOME_NET*. За *var EXTERNAL_NET* би било добро оставити вредност *any*. Снорт има три начина рада: *Sniffer*, *Packet logger* и NIDS.

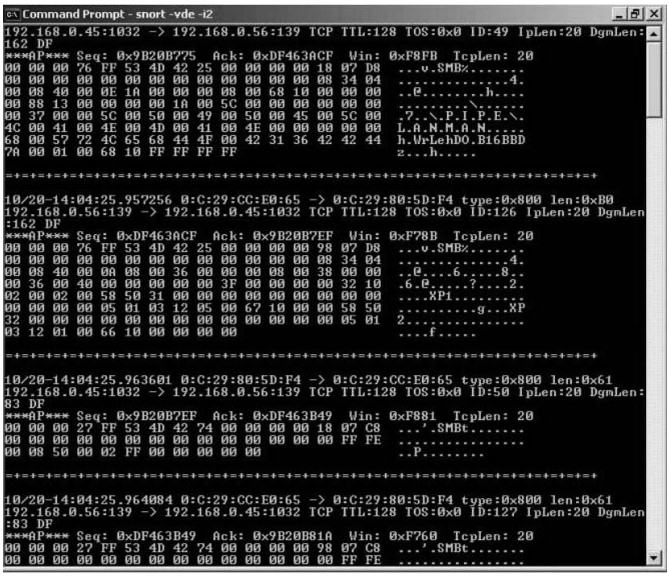
Sniffer начин рада

Sniffer врши једноставно исписивање пакета на командној линији. Да бисмо исписали заглавља ICMP/TCP/UDP користимо команду *snort –v –i2*. Параметром *i2* смо означили да користимо локални мрежни интерфејс. Ако имамо више мрежних интерфејса на рачунару, можемо из излистати командом *snort –w*. Извршавањем задате команде добијамо изглед екрана који је приказан на слици 12.



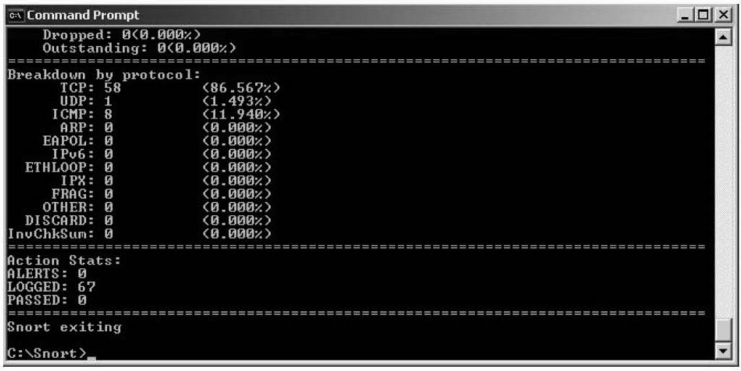
Слика 12: *Sniffer начин рада Снорта*

Ако желимо да проверимо како Снорт узима садржаје пакета, а не само садржаје заглавља, користимо команду *snort –vde –i2*. Параметар *–d* приказује садржаје пакета апликацијског слоја. Садржај екрана који прати наведену команду приказан је на слици 13.



Слика 13: *Скидање поруке у Sniffer начину рада*

Packet log начин рада – креирање лог датотеке врши се задавањем команде *snort –dev –l./log –i2*. Након извршавања команде, резултате можемо видети у фолдеру Снорта, потфолдеру *log*. Изглед екрана у *Command Prompt*-у је следећи:



Слика 14: *Packet начин рада Снорта*

Видимо број и проценат сваког протокола који је Снорт препознао.

Најбржи начин логовања је бинарни (*binary mode*) и њега покрећемо командом:

snort –dev –l./log –b –i2.

Пакети који су логовани у бинарни фајл могу се читати било којим алатом за снимање који користи *tcpdump* формат. То су алати типа *Ethereal*, *Wireshark* и други. Код коришћења овог начина снимања Снорт логује сав свој излаз у само једну датотеку и том приликом се снима цео садржај пакета.

NIDS начин рада

Постављање Снорта у најосновнији начин рада вршимо командом:

snort –dev –l./log –c snort.conf –A fast –i2.

Тако се логују само пакети који задовољавају правила која смо унапред дефинисали и датотеци *snort.conf*.

Напомена: Пошто је Снорт пре свега направљен за рад на оперативним системима *Linux*, његово коришћење на оперативном систему *Windows* захтева додатно подешавање датотеке *snort.conf*. Потребно је путање:

dynamicpreprocessor directory
/usr/local/lib/snort_dynamicpreprocessor/
dynamicengine /usr/local/lib/snort_dynamicengine/libsf_engine.so

заменити путањама:

dynamicpreprocessor directory
c:\Snort\lib\snort_dynamicpreprocessor
dynamicengine c:\Snort\lib\snort_dynamicengine\sf_engine.dll

То радимо зато што су првобитне путање намењене униксоидним оперативним системима. Након подешавања путања може се почети са симулацијом упада.

4.3.2. Подешавање *NetWitness*-а

NetWitness је безбедносно решење које проверава и надгледа саобраћај на мрежи. Он прави садржајан лог свих активности на мрежи и приказује те активности тако да их и стручњаци на мрежи и непрофесионалци могу брзо разумети.

NetWitness Investigator је алат који користимо за анализу података снимљених са мреже у намери да откријемо унутрашње или спољашње претње безбедности и IP инфраструктуру. Можемо импортовати податке из других извора или, ако имамо *Field Edition*, вршити снимање података у реалном времену. Можемо снимати саобраћај директно са локалне мреже или преузети снимљену збирку са локалног хоста или удаљеног сервера (као што је декодер или концентратор). *Username/Password* тражи пријављивање на *NetWitness Framework*. Конекција може бити енкриптована помоћу SSL-а.

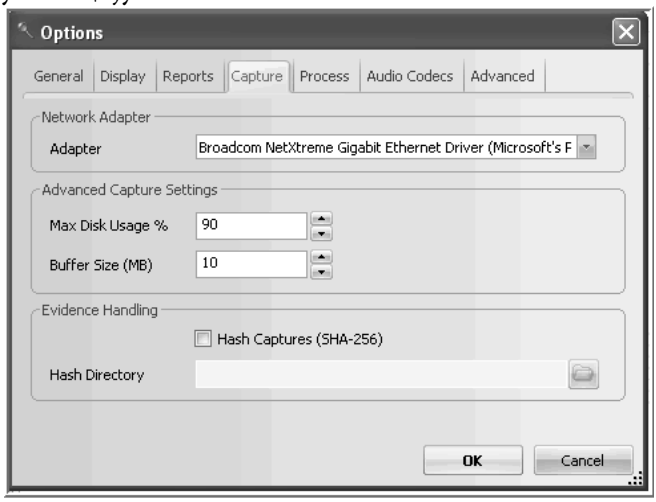
Алат и мрежна правила су намењени снимању у реалном времену подједнако добро као и код импортованих збирки. Корисници, према сопственим потребама, могу подешавати та правила или их искључити. *NetWitness* преводи сваки протокол на заједнички језик тако да познавање протокола надаље није неопходно.

Снимање мреже у реалном времену

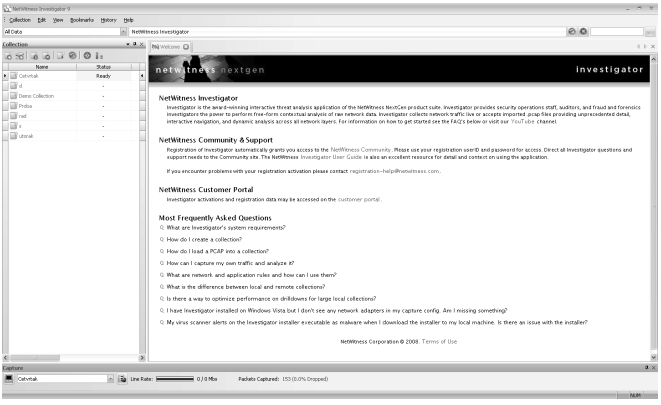
Снимање у реалном времену омогућава збирку саобраћаја на мрежи користећи *WinPCap* драјвер за снимање. *NetWitness* надгледа хабове, свичеве и пасивне мрежне тапове. Његово постављање између *firewall*-а и интранета омогућава надгледање долазећег и одлазећег Интернет саобраћаја.

Најважније опције:

– *Network adapter* – бирамо одговарајући адаптер за нашу мрежу;
– *Advance Capture Settings*;
– *Max Disc Usage* – проценат простора на диску који систем дозвољава за коришћење;
– *Buffer Size* (MB) – одређујемо величину у MB која ће бити коришћена за смештање пакета са мрежне картице;
– *Evidence Handling* – одређујемо који ће *Hash Captures* бити снимљен и његову локацију.



Слика 15: *Netwitness начин рада*



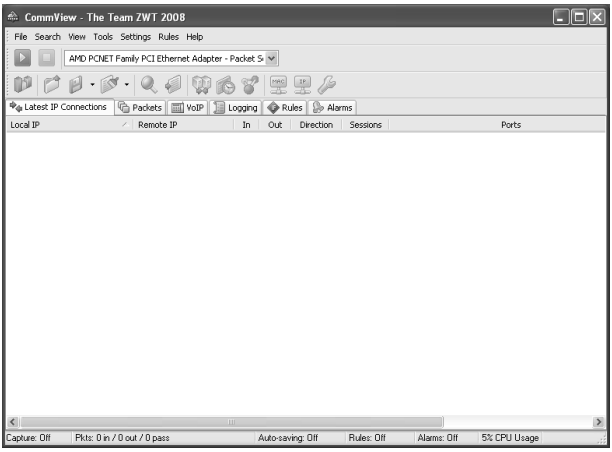
Слика 16: *Netwitness начин рада у реалном времену*

4.3.3. Подешавање *CommView*-а

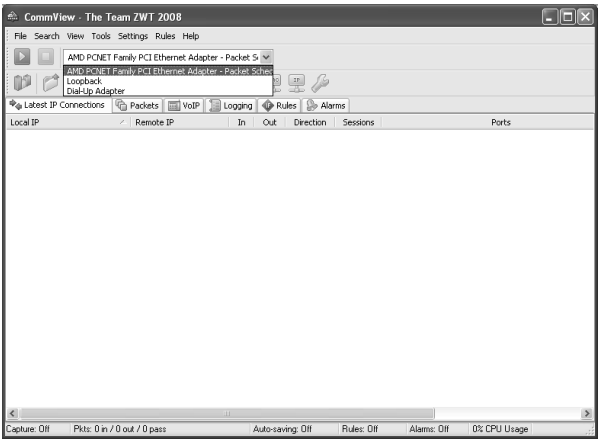
Commview је мрежни прегледач и анализатор направљен за администраторе LAN-а, професионалце, програмере мреже, кућне кориснике и све друге који желе потпуну слику саобраћаја који пролази кроз рачунар или део LAN-а. Са много корисних карактеристика, *CommView* комбинује перформансе и флексибилност.

Овај алат снима сваки пакет на мрежи и приказује важне информације о њему, као што су листа пакета, мрежне конекције, значајна статистика, графикони присутних протокола итд. Можемо испитивати, снимати, филтрирати, импортовати или експортовати снимљене пакете, видети протоколе до најнижих слојева, са потпуном анализом преко 70 широм распрострањених протокола.

CommView садржи и *VoIP* анализатор за *in-depth* анализу, снимање и репродуковање SIP и H.323 гласовних комуникација.



Слика 17: *CommView изглед екрана*

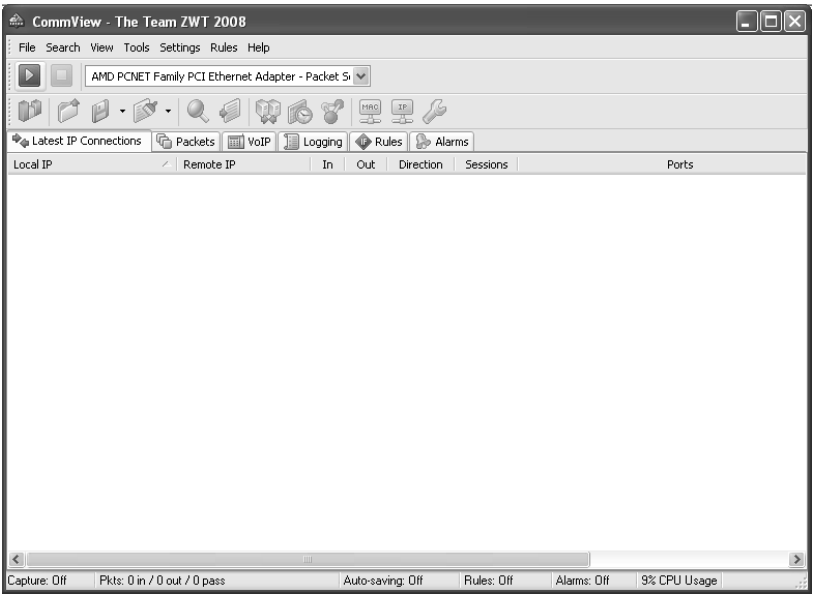


Слика 18: *CommView избор параметара*

Ако смо приступили мрежи преко *Ethernet* картице, треба да је изаберемо из падајуће листе и да започнемо мониторинг. *CommView* подржава сваки *Ethernet* адаптер од 10 Mbit, 100 Mbit или 1 Gbit.

Ако смо преко *dial-up* модема приступили мрежи, бирамо *dial-up* адаптер за мониторинг. У овом алату се виде само долазећи и одлазећи пакети, али не и *pass-through* пакети.

Мониторинг *Loopback* адаптера нам приказује локални саобраћај, послат или примљен преко TCP/IP од стране програма покренутих на нашем рачунару. Ако немамо покренут ниједан програм који размењује податке унутар рачунара, нећемо видети саобраћај када посматрамо ову опцију. Функција пакет-генератора не ради у *Loopback* адаптер режиму.



Слика 19: *CommView начин рада у реалном времену*

4.4. Упоредна анализа

За тестирање програма наведених у претходном поглављу користићемо алат *Metasploit Framework* (у даљем тексту: MSF). Систем *Metasploit Framework* доступан је за *Windows* и већину система заснованих на *Unix*-у. Тај програмски пакет намењен је развоју тестних *exploit* програма, њиховом подешавању, тестирању и покретању којим је могуће искористити одређени сигурносни пропуст.

У раду је коришћен *exploit* под називом *windows/smb/ms04_011_lsass*, односно његов *payload windows/shell_reverse_tcp*.

Команде које треба уносити приликом подешавања МСФ-а су исте без обзира на то да ли смо на посматраној машини имали неки од алата (*Snort*, *NetWitness* или *CommView*).

Прво ћемо задати команду *show exploits*. Њеним извршавањем добијамо списак *exploits*-а који су нам на располагању. Следећа команда служи да одаберемо жељени *exploit*, и то је команда *use (exploit)*. Извршавањем команде добијамо списак *payloads*-а који су нам на располагању за изабрани exploit. Сада бирамо *payload*. Команда изгледа овако:

set PAYLOAD windows/shell_reverse_tcp

Затим постављамо адресе циљане машине и машине са које покрећемо *exploit* командама:

set RHOST 192.168.116.128,

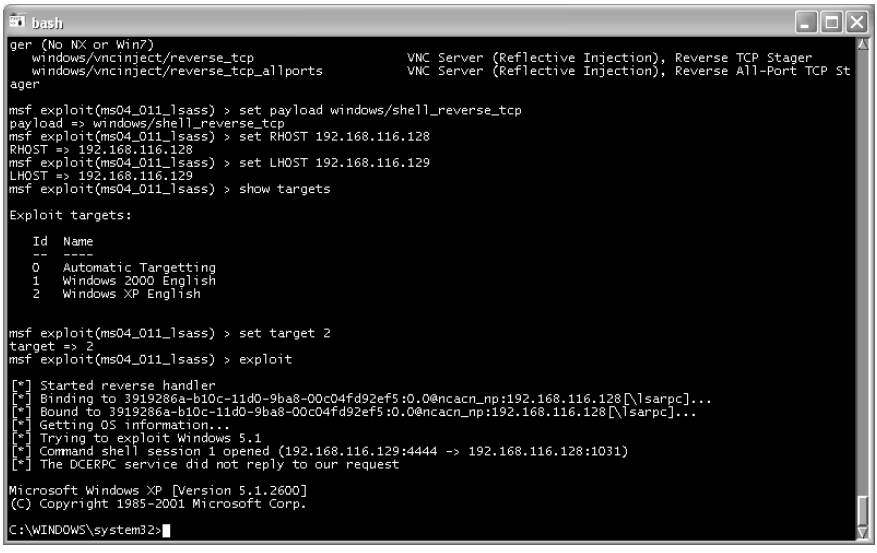
set LHOST 192.168.116.129.

Следи бирање мете (*target*). Прво морамо позвати команду *show targets* да бисмо видели списак расположивих мета, а затим изабрати жељену. У овом случају то је команда *set TARGET 2*. Последњи корак је задавање команде којом ћемо извршити *exploit*.

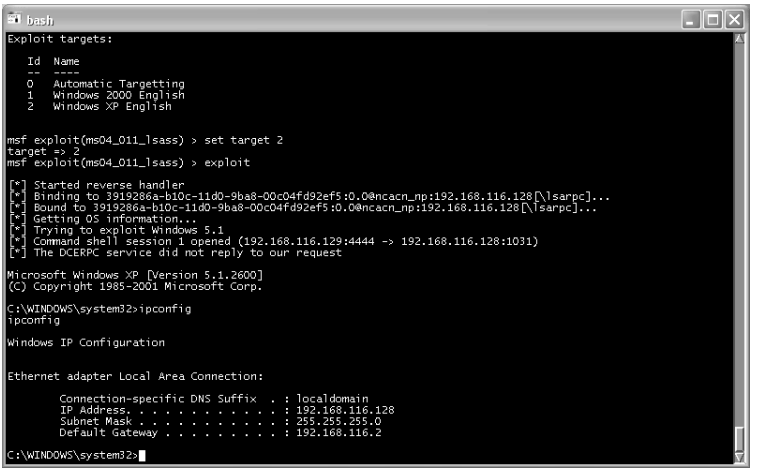
4.4.1. Без неког покренутог програма за детекцију упада на мрежи

Ако нисмо покренули ни један програм за заштиту, *exploit* се извршава и преузимамо команду над циљаном машином. Изглед екрана је као на слици 20.

Да бисмо били сигурни да смо преузели команду над системом који смо означили као мету, задаћемо команду *ipconfig* и видети IP адресу машине над којом имамо команду. После задавања команде *ipconfig* добијамо изглед екрана као на слици 21.



Слика 20: *Изглед екрана као потврда о преузимању машине*



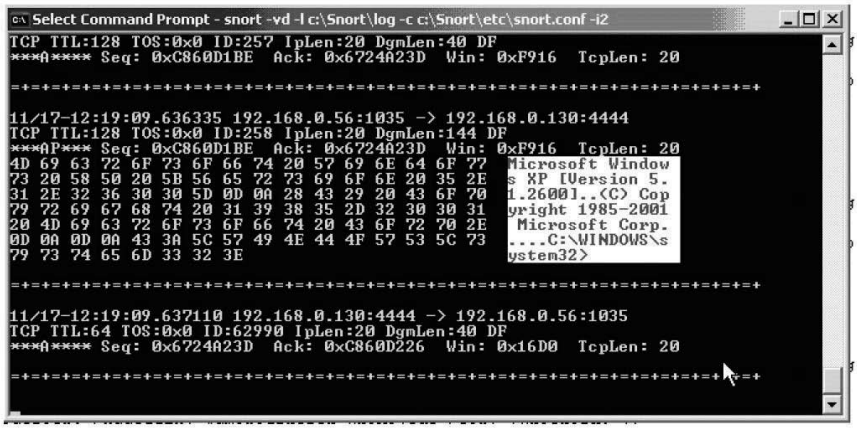
Слика 21: *Изглед екрана са IP адресом као потврда о преузимању машине*

Видимо да смо урадили оно што смо намеравали – преузели команду над жељеном машином.

4.4.2. Покретање програма за детекцију упада на мрежи

Снорт

Снорт је већ постављен у NIDS начин рада и чека упад. Када се упад догоди, Снорт декодира и приказује пакете који су учествовали у упаду. Да бисмо видели податке везане за упад, морамо отворити новокреирану датотеку у фолдеру *C:\Snort\log*.



Слика 22: *C:\Snort\log. преузете машине*

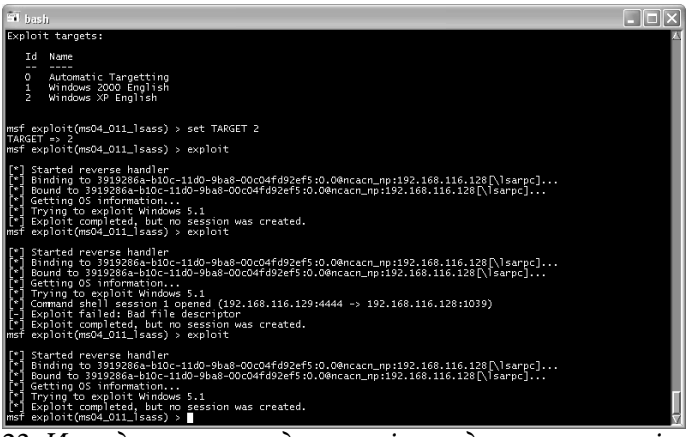
Из лог датотеке видимо да је Снорт препознао која је рањивост искоришћена, део који је изазвао узбуну, број правила и верзију правила.

[**] [1:2123:3] ATTACK-RESPONSES Microsoft cmd.exe banner [**]

[Classification: Successful Administrator Privilege Gain] [Priority: 1]

11/17-12:19:09.636335 192.168.116.129:1035 -> 192.168.116.128:4444
TCP TTL: 128 TOS:0x0 ID:258 IpLen: 20 DgmLen:144 DF
****AP*** Seq: 0xC860D1BE Ack: 0x6724A23D Win: 0xF916 TcpLen: 20*

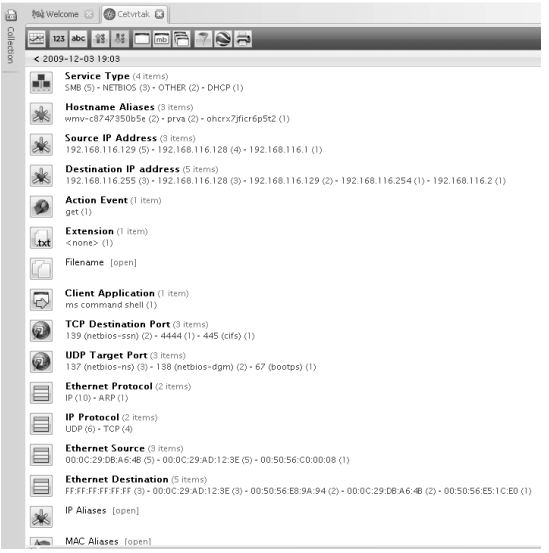
Видимо да Снорт само детектује упад. Пошто нисмо дефинисали акцију која ће се извршити после упада, он је омогућио преузимање команде над системом.



Слика 23: *Изглед екрана као детекција упада на преузетој машини*

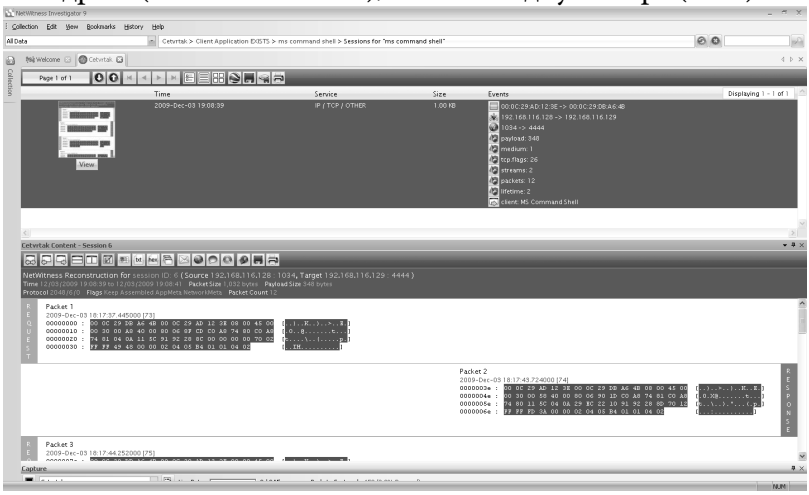
NetWitness

После извршења *exploit*-а (са стране нападача) и завршетка снимања саобраћаја на мрежи (са стране нападнуте машине), видимо да *NetWitness* није дозволио преузимање команде над системом. На систему на коме је он инсталиран видимо следеће податке:



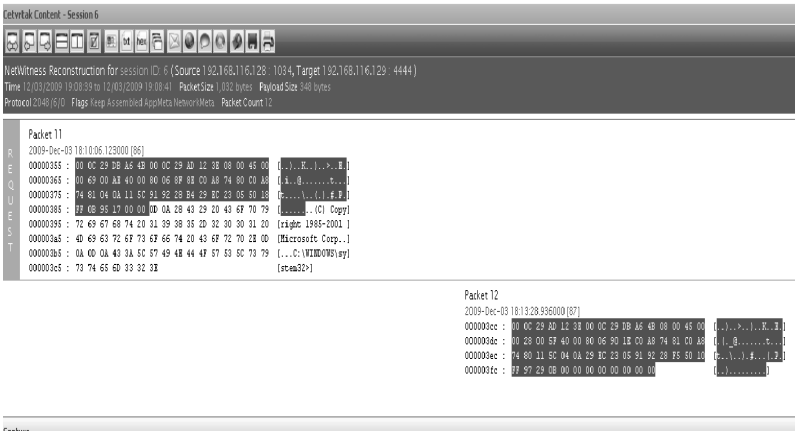
Слика 24: *Изглед екрана као доказ о непреузетој машини*

Може се видети изворна IP адреса (192.168.116.129), IP адреса машине која је послужила као мета (192.168.116.128), команда које је задата са изворне IP адресе (*ms command shell*), као и нападнути порт (4444).



Слика 25: *Изглед екрана са IP адресама нападнуте и машине нападача*

Последњи корак размене пакета између MSF-а и *NetWitness*-а изгледа као на слици 26.



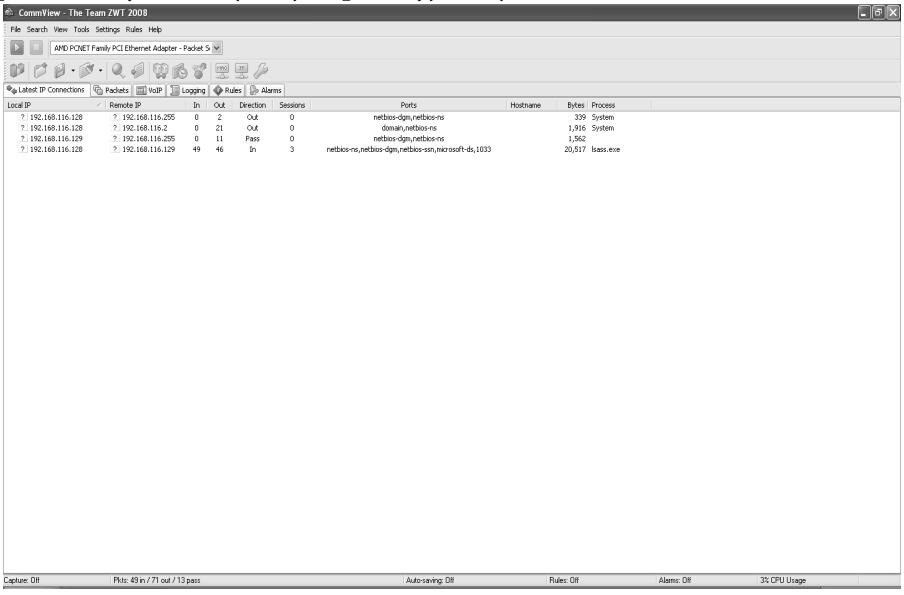
Слика 26: *Последњи корак размене пакета између MSF-а и NetWitness-а*

Подаци о саобраћају на порту циљане машине су дати на слици 27.

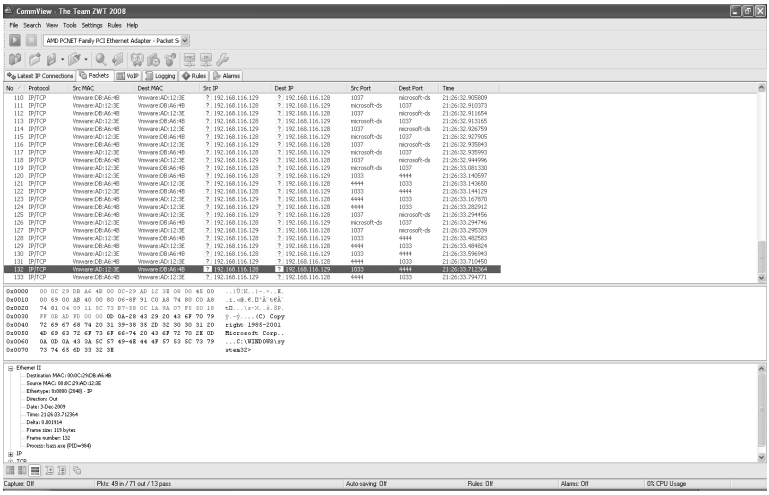
Слика 27: *Подаци о саобраћају на порту циљане машине*

CommView

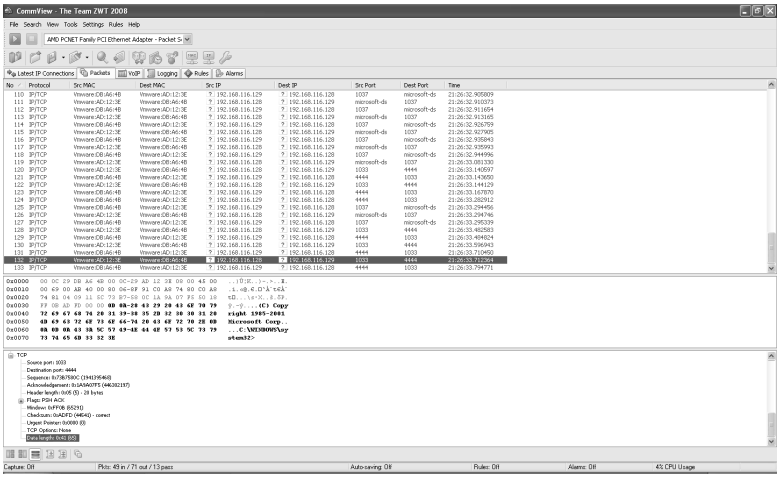
Приликом извршавања *exploit*-а *CommView* не дозвољава преузимање команде система од стране машине на којој је инсталиран МСФ. Следи приказ комуникације који приказује овај алат.



Слика 28: *Подаци о саобраћају на порту циљане машине*



Слика 29: *Код података о саобраћају на порту циљане машине*



Слика 30: *Подаци о саобраћају на порту циљане машине*

Видимо да и *CommView* приказује садржаје пакета комуникације између две машине и различитом бојом означавања указује на потенцијалне проблематичне пакете. Такође се може видети и садржај тих пакета.

4.5. Закључак

Као параметре који су релевантни за процену могућности неког IDS алата, као што су алати изложени у раду, ми смо издвојили:

– брзину реаговања у препознавању напада;
– могућност логовања (креирања лог датотека);
– једноставност имплементације.

Сви алати су показали да препознају *payload* који је коришћен.

Уочава се да нема разлике у брзини реаговања између алата отвореног и затвореног кода. Сви они препознају напад и реагују у истој секунди тако да не можемо на основу овог параметра издвојити нити некомерцијалне нити комерцијалне IDS алате.

Могућност логовања постоји и код некомерцијалних (Снорт) и код комерцијалних алата (*NetWitness* и *CommView*) тако да и у овом смислу не можемо издвојити неку групу алата.

Имплементација комерцијалних алата у систем је приметно једноставнија.

На основу тест примера који смо описали у раду долази се до закључка да, према разматраним параметрима, некомерцијални и комерцијални алати имају исте перформансе. Свакако, ваљало би издвојити да је аутоматизација одговора на напад који долази са мреже боља код алата са отвореним кодом јер ми сами можемо одредити како да се систем понаша у случају напада.

У том смислу се као занимљива намеће идеја коришћења IDS алата отвореног кода нпр. Снорта) и у области форензике, где би, поред надзора мреже као примарног задатка, додатни DD алат правио дигитални отисак на месту на коме је анализом препознат покушај напада. Наравно, све то би било упаковано у неку од софтверских развојних платформи са одговарајућим интерфејсом за кориснике, као што је су *Visual Basic* или *C* окружење.

5. АЛАТИ ДИГИТАЛНЕ ФОРЕНЗИКЕ

Компјутерска форензика је наука стицања, прикупљања, чувања и презентовања података који су електронски процесирани и ускладиштени на компјутерским медијима. Иако је релативно нова дисциплина, она има потенцијал да значајно утиче на специфичне типове истрага и кривичних гоњења. Компјутерска форензика се значајно разликује од традиционалних форензичких дисциплина.

За почетак, алати и технике које та дисциплина захтева су релативно лако доступни свакоме ко жели да спроведе форензичку анализу. Насупрот традиционалним форензичким анализама, од компјутерских истражитеља се захтева испитивање на свакој физичкој локацији, а не само у контролисаним условима. Прикупљање дигиталних доказа почиње када се информација и/или физички објект прикупе или похране у очекивању испитивања. Термин „доказ“ имплицира да је онај који је доказ прикупио препознат од стране суда и да је процес прикупљања такође препознат као легалан, у складу са местом са ког је прикупљен (Ранђеловић, Богдановић, 2010; Ранђеловић, Стојковић, 2012).

Податак или физички објект постаје доказ само када је прикупљен од стране овлашћеног лица (DataSolutions, 2003).

5.1. Увод

Термин „компјутерска“ или „дигитална форензика“ означава примену научних метода у циљу идентификације, прикупљања и анализирања података уз очување интегритета оригиналног доказа као и ланца надлежности. Компјутерска форензика се може дефинисати и као процес прикупљања, очувања, анализе и презентовања дигиталних доказа. Дигитални докази су осетљиви, лако се бришу, мењају и тиме компромитују. Специјални форензички алати омогућавају поврат и анализу и обрисаних, скривених и привремених датотека које нормално нису видљиве. Форензички алати се користе зато што дигитални докази имају структуру као „санта леда“ – састоје се од видљивих доказа који се лако проналазе и могуће их је открити „класичним алатима“ (нпр. *Windows Exlorer* и сл.), али је већи део доказа чине обрисани, преименовани или скривени фајлови за које су потребни форензички алати за идентификацију (Bishop, 2003; Casey, 2004). Најчешћа процедура приликом форензичке истраге подразумева одређивање рачунара који су предмет истраге, чување оригиналних медија и спречавање било какве измене њиховог садржаја. Ако је компјутер укључен, преузима се садржај RAM-а, а компјутер се гаси, било редовним путем било искључивањем напајања. Праве се копије свих битних медија и форензичка анализа се обавезно врши на копијама медија. (INsig2, 2003).

Неки алати за дигиталну форензику су дизајнирани само за једну сврху, док други нуде велики спектар функција. Јединственост сваке истраге ће одредити који је алат, из комплета алата истражитеља, најбољи за предметну истрагу.

Како постоји велика разлика између форензичких алата по функционалности и комплексности, тако постоји разлика и у цени. Неки од водећих комерцијалних продуката коштају неколико хиљада долара, док су други потпуно бесплатни. Опет, природа форензичара и циљ истраге одређују алат који ће се користити.

Уопштено, истражитељ ће користити алат да би прикупио податке са система (компјутер или компјутерска мрежа) без мењања података са система. Тај аспект истраге, избегавање мењања оригиналних података, основни је принцип компјутерске форензике. Неки доступни алати укључују функцију која је специјално дизајнирана да подржи овај принцип. У пракси, није увек једноставно прикупити податке без неког вида мењања система (чак ће и само гашење компјутера због преноса проузроковати промене на подацима тог система), али искусан истражитељ ће тежити да заштити интегритет оригиналних података кад год је то могуће. За то је потребно направити тачну копију свих података са диска, која се назива „слика“.

Други принцип је да се обрисани подаци или њихови делови могу повратити. Уопштено, када се податак обрише, он није физички нестао из система, него је уклоњен податак о његовој локацији (на хард-диску или другом медијуму).Он може бити присутан, а да оперативни систем компјутера више „не зна“ за њега. Прављењем слике и анализом свих

података са диска (не смо оних који су познати оперативном систему) могуће је опоравити податак који је био случајно или намерно обрисан (Forensic Focus, 2003).

5.2. Комерцијални алати

На тржишту је доступан велики број комерцијалних алата за дигиталну форензику. Неки се користе само за креирање слике медија, а неки за анализу тих слика, мада већина комерцијалних алата има обе могућности и нуде још много тога. У овом одељку рада описан је *EnCase*, као званични алат у правосуђу САД-а. Други најчешће коришћени комерцијални алати су само споменути.

EnCase компаније *Guidance Software* је потпуно уобличен комерцијални софтверски пакет, који омогућава истражитељу да направи слику и испита податке са хард-диска, покретног медија или PDA. Истрага помоћу њега почиње коришћењем прављењем слике медија, која се затим анализира. Могућа је претрага по кључној речи, као и преглед фотографија и испитивање обрисаних фајлова. Многе власти широм света користе *EnCase*, што је важан фактор за истражитеље ако постоји могућност да се истрага нађе на суду. *EnCase* је један од најскупљих комерцијалних алата а попуст је омогућен властима. Језик *eScript* омогућава истражитељу да напише мале програме (скрипте), који су високо оптимизовани за претрагу или филтрирање података који се налазе на слици (EnCase, 2009).

FTK од *AccessData* покушава да помогне аналитичару смањивањем огромних скупова података на подскуп важних информација. FTK је комерцијалан производ са ценом од око 700$ (Jones, 2003). Његова највећа предност, која га издваја од осталих алата за дигиталну форензику, јесте веома интуитиван кориснички интерфејс, који и почетницима омогућава једноставан рад (AccessData, 2009).

Vogon International нуди широк спектар комерцијалних софтвера за дигиталну форензику који су подељени на софтвере за прављење слике, обраду и истрагу. Софтвер за прављење слике прави тачну копију података са диска, која може бити индексирана са софтвером за обраду да би се брже вршила претрага компоненти истраге. У широкој понуди *Vogon* нуди сличне функције као *EnCase*, поједностављујући за истражитеља процес прављења слике и претраге.

SafeBack је још један комерцијални софтвер за компјутерску форензику, често употребљаван од стране власти широм света. *SafeBack* је примарно коришћен за прављење слике хард-диска *Интелових* компјутера и повратак ових слика на други хард-диск. То је програм базиран на DOS-у, који се може покренути са флопи-диска и намењен је само за прављење слике, без могућности анализе коју имају *EnCase* или *Vogon*-ов форензички софтвер (Forensic Focus, 2003).

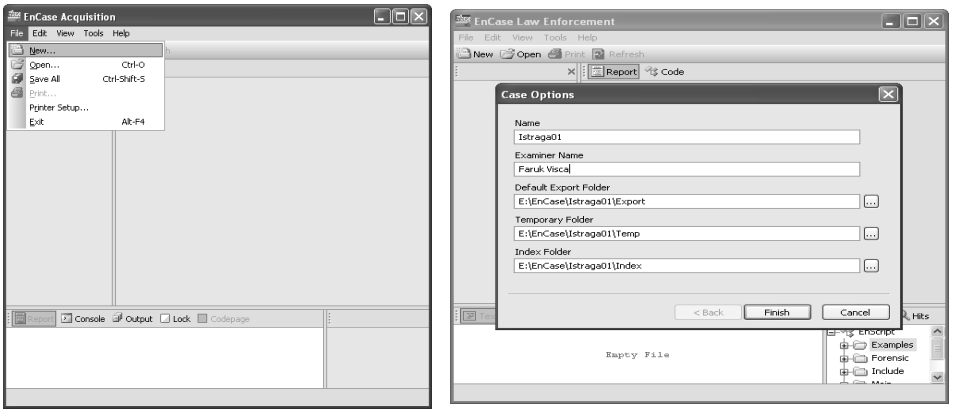
Неопходно је, поред кратко описаних софтвера за дигиталну форензику, бар споменути и *Ilook Investigator* као и HELIX од *e-fence* који је варијанта *Knoppix Linux* дистрибуције.

5.2.1. *EnCase Tool*

EnCase Forensic, производ компаније *Guidance Software*, индустријски је стандард у дигиталној односно рачунарској форензици и истрази. Неке од основних предности његовог коришћења су добра техничка подршка корисницима, графички кориснички интерфејс, одличан додатак за креирање скрипта, велика база корисника, признавање форензичке анализе на судовима и чињеница да је мноштво функција обједињено у једном алату. Коришћењем тог програма могуће је урадити комплетну форензичку анализу, почевши од аквизиције до коначног извештаја. То је један од највише употребљаваних алата у правосудним и полицијским органима, међу државним истражитељима као и консултантима (EnCase, 2009).

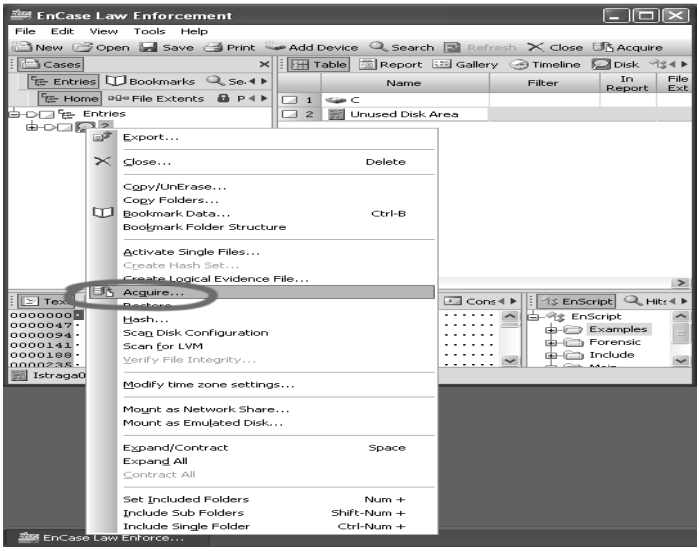
EnCase ради на оперативном систему *Windows*, али постоји и верзија за *Linux* (*LinEn*). Може да ради анализу различитих платформи (*Windows*, *Linux*, OS X, *Solaris*). Поседује мноштво модула који аутоматизују, убрзавају и дају квалитет истрази. За рад са *EnCase 6* препоручује се процесор *Intel Pentium IV* од 1,4 MHz или бржи, мада може да ради и са споријим и слабијим процесорима (нпр. *Intel Celeron*). Препоручено је бар 1 GB RAM-a. За инсталацију самог програма потребно је 55 MB простора на хард-диску, али никад неће бити вишка будући да се, у складу са правилима рачунарске форензике, истрага не води на оригиналним хард-дисковима (и осталим медијима) него на копијама, које треба негде сместити.

Dongle или *EnCase Security key* служи да изврши аутентификацију легалног софтвера. Без њега ће *EnCase* радити у тзв. *acquire* моду, у којем се може урадити аквизиција медија, али не и анализа. Програм *EnCase 6* може да ради на *Windows XP Pro*, *Windows 2003 Server* или *Windows 2000 Pro*. На систему *Windows Vista* не раде неки његови врло важни модули (нпр. софтверски *write blocker*). Нови случај се отвара кликом на *File – New...* (слика 31).



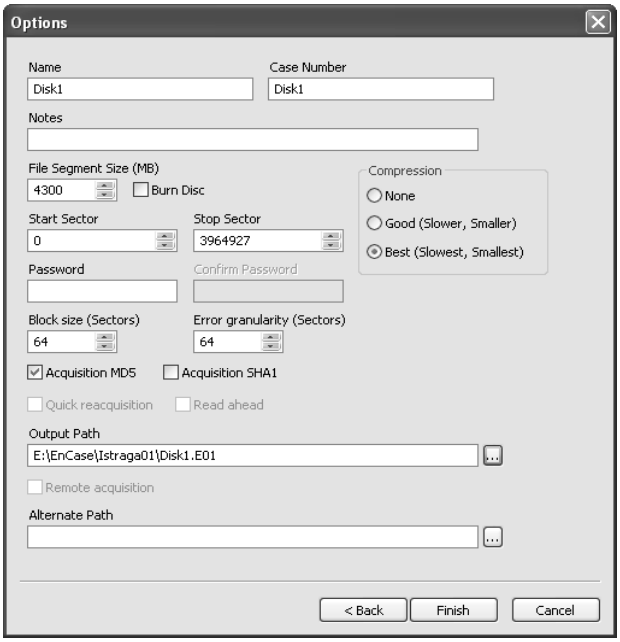
Слика 31: *Отварање новог случаја са опцијама*

Аквизиција диска се врши тако што се одабере *Acquire*, затим врста медијума и начин на који је он повезан на компјутер на којем је покренут *EnCase* (слика 32).



Слика 32: *Аквизиција диска (eSecurityLab, 2009).*

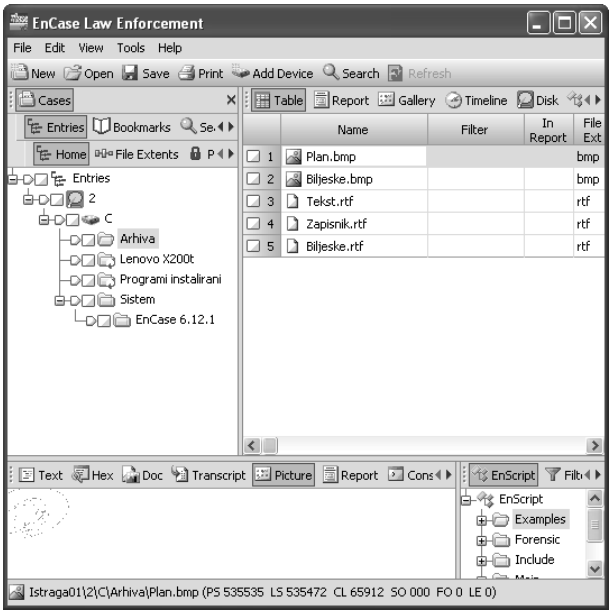
Подешава се где ће се сачувати слика која ће бити направљена, почетни и крајњи сектор, врста компресије и друго (слика 33).



Слика 33: *Подешавања излазног фајла*

На слици 34 се види садржај медијума чија слика је направљена.

Десним кликом на фајлове може се одабрати *External Viewer* да би се фајл погледао у изворном окружењу. Друга функција коју истражитељи често користе је претраживање помоћу кључне речи, које дозвољава претраживање бројева кредитних картица, крijумчареног материјала и других информација.



Слика 34: *Приказ садржаја медијума*

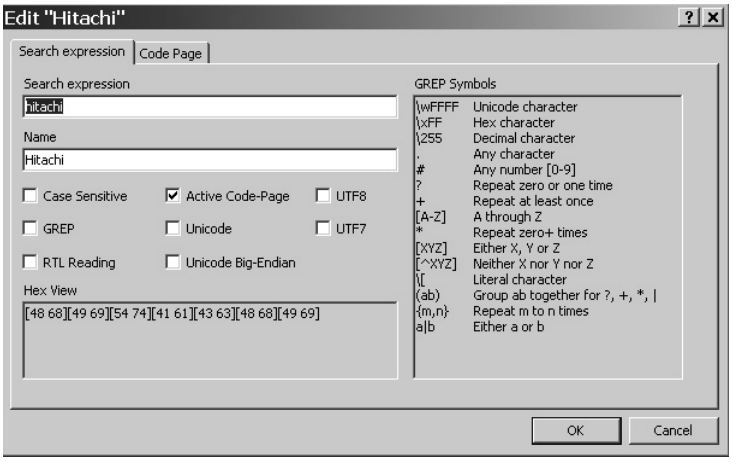
EnCase обезбеђује механизам који овај задатак извршава у позадини, па се аналитичар може вратити на посао.

Кључна реч се може додати притискањем језичка *Keywords* у горњем левом углу екрана; десним кликом на њега додаје се нова кључна реч у оквир за дијалог *New Keyword*. Може се изабрати опција *Unicode* док се претражује доказ који је добијен из *Windows* машине. Функција *Grep* подржава сложене кључне речи. Могу се развити греп-стингови кључне речи да би се потражили бројеви кредитних картица, на пример ####-####-####-####.

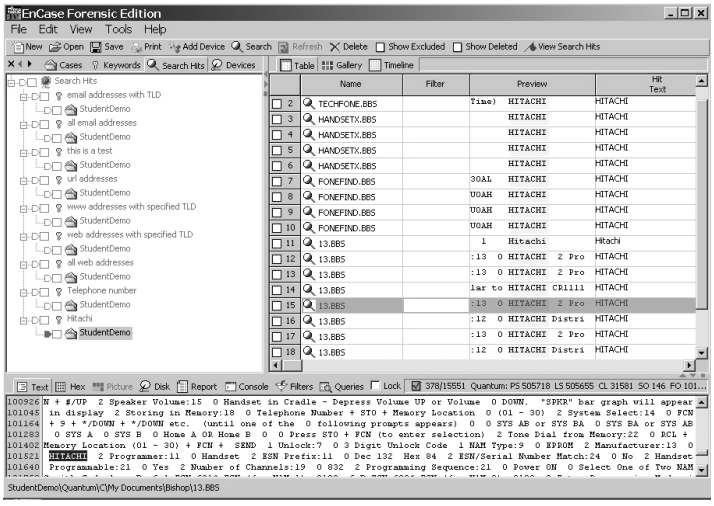
Док напредује претраживање, видеће се линија напретка у горњој области статуса. Резултати ће бити смештени у језичку *Bookmarks* у *Search* директоријуму.

Резултати укључују фајл (ако је примењив) у коме је пронађена кључна реч, и неке податке пре и после локације кључне речи у доказу. Може се затим прегледати овај фајл као и било који други фајл. (Jones et al., 2003)

Извршена је претрага за реч *hitachi* (слика 35). Резултати претраге су дати на слици 36.



Слика 35: *Подешавање претраге*



Слика 36: *Резултати претраге*

На пример, *Microsoft Office* документа садрже позната заглавља и футере, а овај процес означиће потпис *Microsoft Word Document* у *file.txt* фајл ако је откривено заглавље. То је веома корисно када субјект примењује екстензије фајла да спречи истраживача.

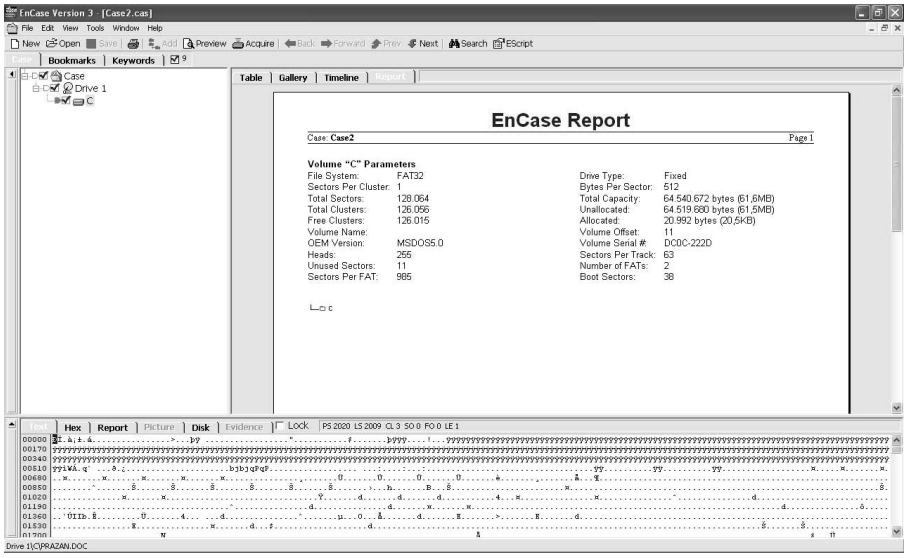
Друга опција је откривање директоријума који су избрисани са диска. Потребно је претражити цео диск за „.“ и „..“. Комбинације представљају улазе директоријума. Када их *EnCase* лоцира, смешта директоријуме у директоријум под називом *Recovered Folders* у дисковима који су откривени. Тај процес се започиње притиском десног тастера на диск и селекцијом *Recover Folders*. Он покреће и ажурира свој статус у насловној линији.

Друга функција коју обезбеђује *EnCase* је способност да се направе скрипте који се могу извршавати на доказу било ког случаја. Скрипти се праве притиском на дугме *EScript* у траци за алате. *Guidance Software*

је омогућио неколико примера *EScript* као подразумеване приликом инсталације *EnCase*-а. Један скрипт који је крајње користан је *Internet History*. Он лоцира све фајлове *index.dat* које прави *Internet Explorer* и садржи историју претраживача. Више скрипта је доступно преко корисничког форума на *EnCase* сајту. Када је учитан скрипт који се жели покренути, потребно је десним кликом кликнути на њега и одабрати *Run Script*. У примеру за скрипт *Internet History*, потребно је одабрати где да сними саопштење. Када се скрипт изврши, може се одредити директоријум и два пута притиснути фајл *index.htm*. Тај фајл садржаће индекс страну за саопштење. Када притиснемо један од фајлова који су набројани у индекс страни *Internet History* саопштења, видимо сваки URL који је отворен у претраживачу.

Два друга корисна скрипта су они које поново покривају INFO2 слогове и JPG, GIF и EMF графичке фајлове. Слогови INFO2 су фајлови који записују информацију о фајловима који су избрисани из *Recycle Bin* у оперативним системима *Windows*.

Фајлови JPG и GIF су графички фајлови који се типично користе на веб-странама. Фрагменти тих веб-страна могу постојати на диску. EMF фајлови штампају послове за оперативне системе *Windows*. Ти скрипти смештају резултате у директоријум *Bookmarks*, у директоријумима који се називају *Recovered recycle Bin Records* и *Recovered Graphics Files*. Пошто *EnCase* не може прегледати све постојеће фајлове, треба се повезати са спољашњим прегледачима за различите типове фајлова. Нови спољашњи прегледачи могу се извести бирањем *Tools*, а затим *Signatures*. У језичку *Viewers* могу се додати различити прегледачи као што је *Quickview Plus*. Након што се дода прегледач, кад год се сретне фајл који се жели прегледати спољашњим прегледачем, десним тастером се притисне фајл, изабере *Send To*, а затим прегледач који је установљен.



Слика 37: *Изглед извештаја*

EnCase подржава неколико режима прегледавања. Преглед *Gallery* приказује све графичке фајлове у директоријуму. Преглед *View* обезбеђује детаљан листинг који укључује детаљан фајл листинг, који укључује атрибуте као што су време и датум, величина фајла и друго. Преглед *Timeline* приказује шему времена прављења, измена и приступа изабраним фајловима. Преглед *Report* набраја детаље о доказном фајлу који садржи податке (слика 37). Фајл или фрагмент фајла који истражитељ бира притиском десног тастера на *Bookmarks* селектор биће приказан у саопштењу.

Ако притиснете десни тастер на саопштење, можете га извести у *Rich Text Formatu* (RFT), тако да можете исећи и залепити значајне податке у документацији истраживача (Jones al al., 2003).

5.3. Некомерцијални алати

Почеци компјутерске форензике су били на оперативном систему *Unix*, а не на *Windows*-у, који је данас достигао велику популарност. Они који су развијали *Unix* желели су да направе велики број малих програма који се могу заједно користити за извршавање комплекснијих задатака, пре него један програм који може да ради све. Из тих малих програма су настали софистицирани комерцијални пакети за компјутерску форензику. Мали програми се још могу наћи на модерним верзијама оперативног система *Unix* и многи су доступни и за *Windows* (McClure, 2006; Pastore, 2007).

У овом одељку су описана два алата за анализу копија најпопуларнијих медија: *Sleuth kit* са *Autopsy*-јем и мали програм DD.

Такође, морамо да подвучемо и *The Coroner's Toolkit*, који је колекција од (превасходно) бесплатних алата дизајнираних да се користи за форензичку анализу на *Unix* машинама. Он је специјално дизајниран да се користи у истрази приликом квара компјутера. Алат укључује помоћ при реконструкцији активности уљеза, између осталог, испитивањем времена приступа фајловима и повратком обрисаних фајлова. TCT се може користити у систему уживо.

MD5sum се користи да би се открило да ли је слика која је направљена – права копија оригинала. Та процедура резултира великим бројем, који се зове „хеш" (*hash*) и представља тачну вредност, одређену положајем података нађених на диску (MD5 се такође може користити и за креирање хеша за фајлове). У основи, ако је диск на било који начин мењан (нпр. брисањем или мењањем фајлова), покретање MD5 алгоритма ће резултирати значајно другачијом хеш вредношћу. То се види без обзира на степен промене која је извршена – чак и ако промена постоји на једном биту информације великог хард-диска, пакет са подацима ће резултирати новом хеш вредношћу. *MD5sum* је бесплатан алат за креирање MD5 хеш вредности које, компарацијом оригиналног диска и копије, могу да се користе у истрази да би се осигурало да је слика права копија оригинала.

Grep је програм који омогућава да се фајлови претражују по делимичним секвенцама карактера, на пример, реч „састанак" или фраза „састанак је у 4". Моћ *Grep*-а је у могућности да користи метакарактере. Мета-

карактери су групе од неколико карактера који за тај програм имају посебно значење и омогућавају велику флексибилност током претраге. На пример, метакарактер „.“ (на пример „ца.“ може наћи „цан“, „цат“, „цаб“ и тако даље где год је присутна ова секвенца). Док није постао стандардан програм на *Unix* системима, *Grep* је дуго био један он најкориснијих алата за истражитеље. Он је такође део *EnCase*-а. (*Forensic Focus*, 2003)

5.3.1. *DD*

DD (*data dumper*) јесте програм који може да копира и конвертује фајлове, хард-дискове, CD-е, DVD-е или било који део хард-диска који се одабере. Без обзира на све то, он се у форензичком свету користи за прављење тачног дупликата података са медија, који може омогућити сигурну истрагу сакупљених доказа. Када се, уз те могућности, помоћу софтвера забрани писање на хард-диск, DD постаје алат који се може користити да се, бит по бит, екстрахују дупликати хард-дискова који се после анализирају форензичким програмима. Од осталих програма за прављење слике хард-диска DD се издваја тиме што копира све са хард-диска, укључујући и *slack* простор и обрисане фајлове. Ако се, на пример, узме тек форматиран хард-диск од 1 GB, фајл који ће DD направити имаће такође 1 GB. То омогућава другим алатима да брзо истраже DD слику, што може помоћи да се процес анализе убрза, а доказ заштити од случајног брисања. Многи други програми једноставно копирају „живе“ фајлове, који су видљиви и употребљиви на сваком компјутеру. Нажалост, то може да утиче на губитак већине критичних информација које су претходно обрисане.

Као што је претходно поменуто, DD је *Linux* алат. Као такав, очекује се да има командну линију. Додатне опције су конверзија слике и повратак података. Уопштено, истражитељ може да користи DD да направи слику хард-диска који је повезан на компјутер или неки други медијум. Када се конектује, медијум мора бити заштићен од писања, што се постиже уносом *fstab* фајла или, када је покренуто отварање, у командној линији. Величина слободног простора мора да, у најмању руку, буде једнака величини хард-диска који је предмет истраге. Ако се користи екстерни уређај, као што је USB, треба да се покрене копија ‘rescan-scsi-bus.sh’. Тај скрипт ће олакшати конектовање и дисконектовање USB уређаја. Када је једном прегледан, уређај се отвара, заштићен од писања (‘*mount –t vfat –o ro,noatime /dev/sda1 /images/case1-hdc1*’).

Најсигурнији метод екстракције података је да се DD користи без покретања уређаја, али то није једноставно када се ради са више партиција.

Отвара се медијум заштићен од писања. Користи се следећа команда да би се направила копија прве партиције хард-диска:

dd if=/dev/hdc1 of=/home/images/case1-hdc1-c1-badguy.

Када је слика направљена, може да се отвори сигурно са следећом командом:

mount -o ro, loop, noatime /home/images/case1-hdc1-c1-badguy /mnt/case1-hdc1 ro: read-only.

То је обавезно приликом покретања било ког уређаја. Ако дође до писања по уређају током истраге, губи се вредност доказа.

Loop: омогућава да се фајл отвара и да му се приступа као регуларном уређају (партиција хард-диска).

Noatime: Онемогућава маркирање времена последњег приступа које се додаје на отворене фајлове.

Када се отвори уређај, то јест слика уређаја, може да се започне истрага употребом форензичких алата и техника (InformIT, 2009).

Unix корисници DD користе за копирање фајлова а у форензици DD се користи као алат за креирање слике доказног диска. Постоји више алата који се обично користе за креирање доказне слике као што су *EnCase* или *SafeBack*, и имају своју цену, док је DD алат отвореног кода и не наплаћује се. Оно што је специфично код DD команде за копирање је да се могу копирати уређаји који су оријентисани као блокови, DD је способан да адресира ове блокове секвенцијално.

Да би се копирао доказни диск може се користити команда:

dd if=/dev/source of=/dev/destination

If значи *infile* и то је доказни диск који треба да се клонира; *of* значи *outfile* и то је медијум на који ће се сместити клон доказа.

На пример, ако је доказни хард-диск капацитета 20 GB, користиће се *Linux live CD* на доказном компјутеру. Потребно је спремити и један хард-диск од најмање 20 GB (мада је боље да буде већи), на који ће се клонирати доказни диск. У овом случају то ће бити хард-диск од 80 GB.

mount /dev/sda2 /mnt/backupdiskdd if=/dev/sda1 of=/mnt/backupdisk/evid1

Ако није познато колики су блокови хард-диска, потребно је користити ознаке *ibs/obs* да се пронађе тачна величина. Проналажење тачне величине убрзава процес копирања.

dd if=/dev/st0 ibs=128 of=/mnt/backupdisk/evid1 obs=1 count=1

Овако се проба да се узме 1 блок величине 128 од *'st0?* и креира *'evid1?* излаз са величином блока 1. Ознака *count* се користи да би се прочитао само један блок. То се ради да би се DD ограничио да користи један блок. Ако се не подеси величина, DD ће наставити и потрошиће много времена. Овај пример треба да покаже да се подешавањем улазног блока на 128 може пронаћи права величина блока, осим, наравно, ако је баш реч о 128. Са 512, као стандардном величином блока, претпоставка је да је 128 виртуелно лош начин да се дође до стварне величине блока. Излаз ове команде вероватно ће бити порука о грешци са правом величином блока, рецимо 1024.

Ако треба прекопирати цео диск на CD или DVD, морају се користити DD са ознакама да би се направиле четири слике доказа од по 1 GB.

dd if=/dev/st0 count=4000000 of=/mnt/backupdisk/evid1

dd if=/dev/st0 count=4000000 skip=4000000 of=/mnt/backupdisk/evid2

dd if=/dev/st0 count=4000000 skip=8000000 of=/mnt/backupdisk/evid3
dd if=/dev/st0 count=4000000 skip=12000000 of=/mnt/backupdisk/evid4
dd if=/dev/st0 count=4000000 skip=16000000 of=/mnt/backupdisk/evid5

Сада се 20 GB доказног хард-диска налази на пет одвојених слика од по 4 GB (што је величина једног DVD-R диска). Ако се погледају команде, може се приметити да прва команда узима 4 GB (*count=4000000*) и копира их са именом *evid1*. Друга команда прескаче првих 4 GB (*skip 4000000*) и затим копира следећих 4 GB (*count=4000000*) са именом слике *evid2*. Овде се види шта тачно ознаке *'count'* и *'skip'* раде.

Из претходног примера се види да је DD веома добар алат за прављење физичке копије доказа. Нарочито је користан када се ради са великим дисковима (Stmik Akakom, 2009).

DD за *Windows*: dd [bs=SIZE[SUFFIX]] [count=BLOCKS[SUFFIX]] if=FILE of=FILE [seek=BLOCKS[SUFFIX]] [skip=BLOCKS[SUFFIX]] [--size] [--list] [--progress]

Величина блока (*bs*) може бити одређена у бајтовима или са неким од суфикса.

Уобичајена величина блока је 512, али копирање ће бити знатно брже ако се користи већи блок. На пример, ако се флопи-диск чита са величином блока од bs=1k count=1440, процес је скоро двоструко дужи него ако се користи bs=1440k count=1. Не треба узети ни превелику величину блока, јер *Windows* може да остане без меморије. Добра величина је 1 MB, али је то и горња граница. Већина CD-а и DVD-а имају величину сектора 2к и неће радити ако величина блока не може да се подели са 2.

Skip је опсег који ће прескочити на улазном фајлу пре него што почне читање. Он је у блоковима тако да ће опсег бити *skip * blocksize*. Може се користити и суфикс *skip=1k* тако да ће онда прескочити 1024 блокова.

Seek је опсег који ће претражити пре него што почне да пише излазни фајл. Он је такође у блоковима па ће опсег бити *seek * blocksize*. Може се користити суфикс и овде seek=1k ће тражити 1024 блокова.

count је број блокова за копирање. Ако није одређен онда ће DD да копира све док не дође до краја доказног фајла. На многим USB уређајима ово није могуће тако да треба користити --size да се погоди величина уређаја. Такође се могу користити суфикси, count=1k ће копирати 1024 блокова.

--size. Уобичајено је када се користи DD, треба да се копира цео уређај, и неће се одредити величина тако да ће DD читати док не дође до краја уређаја. Величину треба одредити кад се ради о USB меморијским уређајима јер могу да стану са радом ако се пређе величина приликом читања.

--list ће дати понуђена имена. На NT4 је \\?\Device\Harddisk<n>\Partition<n> једини могући метод. *Partition0* је цео диск. На *Windows XP*, неке партиције немају име. У овом случају користи се *Harddisk<n>\Partition<n> ime*. *Windows 2000* и каснији имају имена уређаја која су јединствена и идентификују диск или партицију. У већини случајева ово

је слово. На *Windows XP SP2* многе партиције се не могу читати директно чак и ако нису у употреби, тада је потребно прићи са „задњих врата".

--progress се користи ако се жели гледати напредовање сваког блока који се копира.

Сигурносни филтери *--filter=*

Да би се спречило случајно преписивање погрешног диска, треба користити сигурносни филтер. Доступни филтери су према табели 1:

Табела 1: *Филтери DD за Windows*

fixed – пише само по фиксном диску
removable – пише само по покретном диску
disk – пише само по било којој врсти диска
partition – пише само по партицији

Филтер се може применити ако се *dd.exe* преименује у *dd-<filter>.exe*. На пример, *dd-removable.exe* може писати само по покретном диску као што је USB, тако да осигурава да не дође до случајног писања по фиксном диску.

Даље су дати неки примери за употребу DD-a (Chrysocome, 2009).

Слика флопи диска:

dd if=\\.\a: of=c:\temp\disk1.img bs=1440k

Писање слике назад на флопи диск:

dd if=c:\temp\disk1.img of=\\.\a: bs=1440k

Скидање *.iso* са CD-a:

dd if=\\?\Device\CdRom0 of=c:\temp\disc1.iso bs=1M

Читање партиције са USB меморијског уређаја:

dd if=\\.\Volume{c18588c0-02e9-11d8-853f-00902758442b} of=c:\temp\usb1.img bs=1M

Читање целог USB меморијског уређаја:

dd if=\\?\Device\Harddisk1\Partition0 of=c:\temp\usb2.img bs=1M --size –progress

5.3.2. *Sleuth Kit* и *Autopsy*

The Sleuth Kit, раније називан TASK, јесте колекција алата за форензику анализу система под *Unix*-ом, базирана на командној линији. Алати омогућавају испитивање системских фајлова на сумњивом компјутеру на ненаметљив начин. Алат није повезан са оперативним системом да би анализирао системске фајлове, обрисани и сакривени садржаји се такође приказују.

The volume system (media management) омогућава да се испита форма хард-дискова и других медија. *Sleuth Kit* подржава DOS партиције, *Mac* партиције, *Sun slices* и *GPT* дискове. Са тим алатима је могуће идентификовати где су лоциране партиције и копирати их тако да могу бити

даље анализиране. Када се изводи комплетна анализа система, боље је користити алат са графичким окружењем него са командном линијом. *Autopsy Forensic Browser* је алат у *Sleuth Kit*-у са графичким интерфејсом који омогућава лакши ток истраге. *Autopsy* даје могућност менаџмента случаја, интегритет слике, претрагу по кључним речима и остале аутоматске операције.

Улазни подаци могу бити слике разних формата, *.raw* (*dd*), *EnCase* слике, AFF фајл систем и друге. Подржава NTFS, FAT, UFS1, UFS2, EXT2FS, EXT3FS, и ISO 9660 фајл системе (чак и када испитани оперативни систем не подржава). Алати могу бити покренути са „живог" *Unix* система током одговора на инцидент. Приказиваће фајлове који су скривени и неће модификовати време приступа.

Технике претраге:

– излистава алоциране и обрисане ASCII и *Unicode* фајлове;
– приказује детаље и садржај свих NTFS атрибута;
– приказује фајл систем и *meta-data* структуру;
– прави распоред активности, који може да се пребаци за касније прављење графика и извештаја;
– прегледа хеш у базама података као што су *NIST NSRL*, *Hash Keeper* и остале, направљене *md5sum* алатом;
– организује фајлове према типу (нпр. одваја извршне, слике и документа); могу се направити странице са малим графичким сликама за њихову бржу анализу.

Sleuth Kit је написан у *C* и *Perl*, а користи неке кодове и дизајн од *Coroner's Toolkit (TCT)*. *Sleuth Kit* је тестиран на: *Linux*, *Mac OS X*, *Windows*, *CYGWIN*, *Open & FreeBSD* и *Solaris*.

Софтвер отвореног кода омогућава да се алати прилагоде окружењу. *Sleuth Kit* и *Autopsy* су алати отвореног кода на *Unix* платформи. Како је *Autopsy* базиран на HTML, могуће га је повезати на *Autopsy* сервер са било које платформе коришћењем HTML читача. *Autopsy* омогућава интерфејс за менаџмент фајлове и приказује детаље о обрисаним подацима и структури фајл система.

Постоје различите методе анализе. Анализа на „мртвом" систему се изводи када је потребна опсежна анализа прошлог догађаја на сумњивом систему. У том случају *Autopsy* и *Sleuth Kit* се покрећу у сигурном окружењу, обично у лабораторији.

Анализа на „живом" систему се изводи на систему док он још ради. У овом случају *Autopsy* и *Sleuth Kit* се покрећу са CD-а у окружењу у ком се сумњиви систем налази у том тренутку. Та метода се често користи када је потребан одговор док се инцидент дешава. Ако се потврди, прави се слика система, а затим врши анализа на „мртвом" систему.

Технике претраге такође могу бити различите и обухватају следеће:

– излиставање фајлова, које подразумева анализу фајлова и директоријума, укључујући и имена обрисаних фајлова и фајлова чија су имена базирана на *Unicode*;

– садржај фајлова, који може да се види у *raw* и *hex* формату или ASCII карактерима; када је податак интерпретиран, *Autopsy* га обезбеђује да би се спречило оштећење.
– хеш базу података, у којој се тражи непознате фајлове да би брзо идентификовао да ли је фајл добар или лош; *Autopsy* користи *NIST National Software Reference Library* (NSRL) и базу података коју је направио корисник;
– сортирање фајлова по типу, на основу њихових интерних потписа за идентификацију; *Autopsy* може да извуче, на пример, само графичке слике; екстензија фајла се упоређује са типом фајла да би се идентификовали они који су сакривени променом екстензије;
– распоред активности, који у неким случајевима може помоћи у проналажењу области фајл система са потенцијалним доказима; *Autopsy* може да направи распоред који садржи уносе за време, модификацију, приступ и промену (MAC) чак и за алоциране фајлове;
– претрагу по кључној речи, која се може изводити и употребом ASCII карактера, на целом систему или само на алоцираном простору; карактери који се најчешће траже могу се конфигурисати за аутоматску претрагу;
– анализу *meta data* структура, које садрже детаље о фајловима и директоријумима; *Autopsy* омогућава преглед детаља сваке *meta data* структуре на фајл систему, што је корисно за опоравак обрисаних садржаја; он претражује директоријуме да би пронашао делове фајлова који имају алоцирану структуру;
– анализу јединица података, тј. места на којима се чувају садржаји фајлова, и преглед сваке од њих у различитим форматима, укључујући ASCII, *hexdump* и карактере;
– детаљи слике (фајл система) који се могу видети, укључујући структуру диска и време активности, што обезбеђује информације које су корисне током повратка података;
– менаџмент случаја – Истраге су организоване по случајевима, које садрже хостови, конфигурисани тако да сваки има своју временску зону и сат, тако да приказано време буде исто као на оригиналу који корисник види; сваки хост садржи једну или више слика за анализу;
– усклађивач догађаја – догађаји базирани на времену могу се додати из активности на фајловима или логовима *firewall*-а, а *Autopsy* их сортира, па се инциденти лакше одређују;
– белешке, које се могу сачувати на основу хостова или на основу истражитеља, што олакшава прављење белешки о фајловима и структурама; оригинална локација се може лако опозвати кликом на дугме када се касније прегледа белешка која се чува у ASCII фајлу.

Обавезно је осигурати да се фајлови не модификују током анализе. *Autopsy* ће генерисати *MD5* вредност за сваки фајл који се уводи или прави. Интегритет сваког фајла који *Autopsy* користи може се проверити у сваком тренутку.

Autopsy може да креира и ASCII извештаје за фајлове, што омогућава да се брзо направи подлога за извештај током истраге. Он прави и логове, на нивоу случаја, хоста или истражитеља, тако да се акције касније лако могу опозвати. Забележене су и тачне команде *Sleuth Kit*-а које су извршене.

Дизајн је отворен и сви фајлови које *Autopsy* користи су у *raw* формату. Сви конфигурациони фајлови су у ASCII тексту, а случајеви су организовани по директоријумима, што олакшава узимање података и архивирање. Он, такође, не ограничава коришћење других алата који могу решити специфични проблем.

Модел клијентског сервера: *Autopsy* је базиран на *HTML* и не мора бити на истом систему на ком је слика. Тиме је омогућено да неколико истражитеља користи исти сервер и да се на њега повезују са својих система.

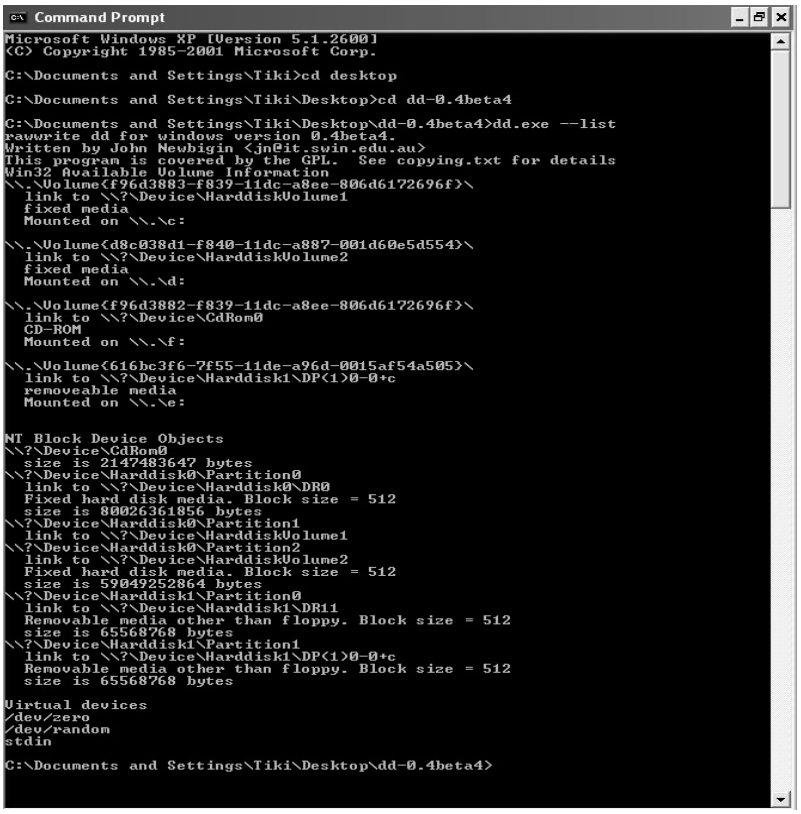
Autopsy је написан у *Perl*-у и покреће се под *Unix* платформама, као и *Sleuth Kit*, на *Linux*, *Mac OS X*, *Windows (Visual Studio)*, *CYGWIN*, *Open & FreeBSD*, *Solaris* (Sleuthkit, 2009).

5.4. Примери примене алата дигиталне форензике

У наредном поглављу се разматра примена описаних алата у форензичкој анализи слике медија, у овом случају USB-а, у режиму *stand-alone*, применом *Sleuth kit* и *Autopsy*, тј. *EnCase*.

5.4.1. Форензичка анализа копије медија са алатима отвореног кода

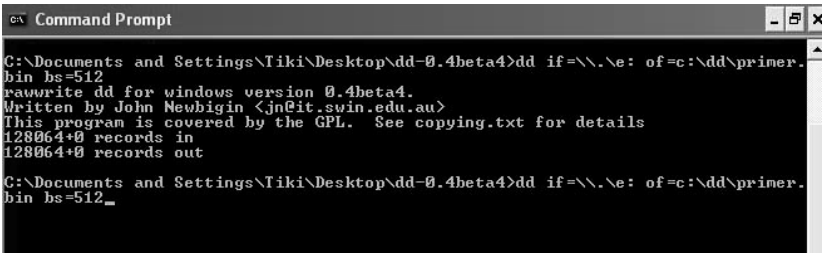
Алати за дигиталну форензику поменути у претходним поглављима тестирани су на слици USB флеш меморије од 64MB на којој су направљена два фајла у *doc* формату, *prazan.doc* и *formula.doc*. У фајлу *prazan.doc* пише да је празан и он је остао на USB-у, док у фајлу formula.doc пише да садржи тајну формулу и он је затим обрисан са USB меморије. Слика USB меморије направљена је са *dd-0.4beta4*. DD је покренут тако што је у *Command Prompt* написано *dd.exe --list* да би се видело које медијуме садржи рачунар. На слици 38 се види да рачунар поседује две партиције на хард-диску, C: и D:, CD-ROM на F: и преносни медијум на E:, који је, у ствари, испитивана USB флеш меморија. На C: партицији направљен је фолдер DD у који ће се сместити слика флеш меморије (слика 38).



Слика 38: *Опција list у DD*

Да би се направила копија (слика) USB меморије, прво се на самој меморији хардверски укључи заштита меморије од писања и брисања, затим се у DD-у пише (слика 39):

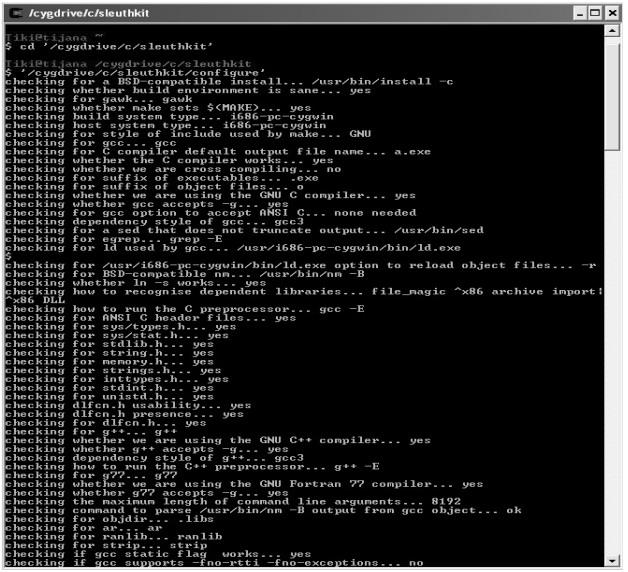
dd if=\\.\e: of=c:\dd\primer.bin bs=512k



Слика 39: *Креирање слике медијума*

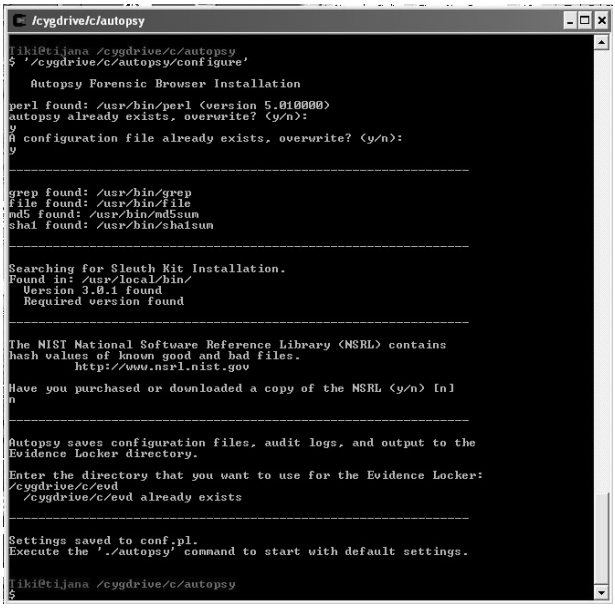
На C партицији у фолдеру DD под именом *primer.bin* направљена је слика USB меморије. Претходно су инсталирани *Sleuth kit* и *Autopsy* уз помоћ *Cygwin*-а (слика 40).

У *Cygwin*-у се прво покрене *file configure* затим *makefile*.



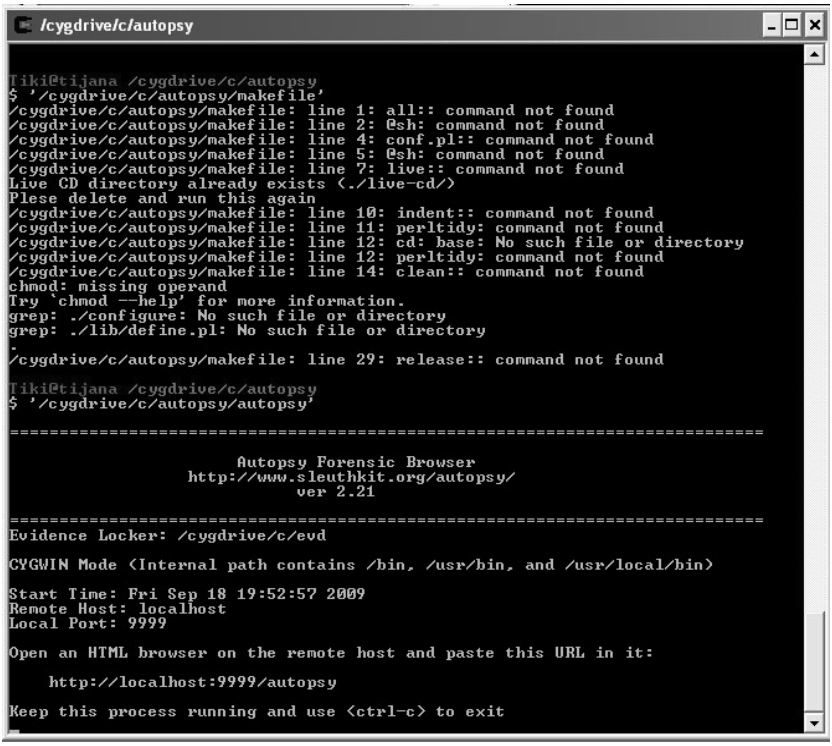
Слика 40: *Инсталација Sleuth kit-a*

Да бисмо инсталирали *Autopsy*, у *Cygwin* куцамо:
cd '/cygdrive/c/autopsy'
'/cygdrive/c/autopsy/configure'



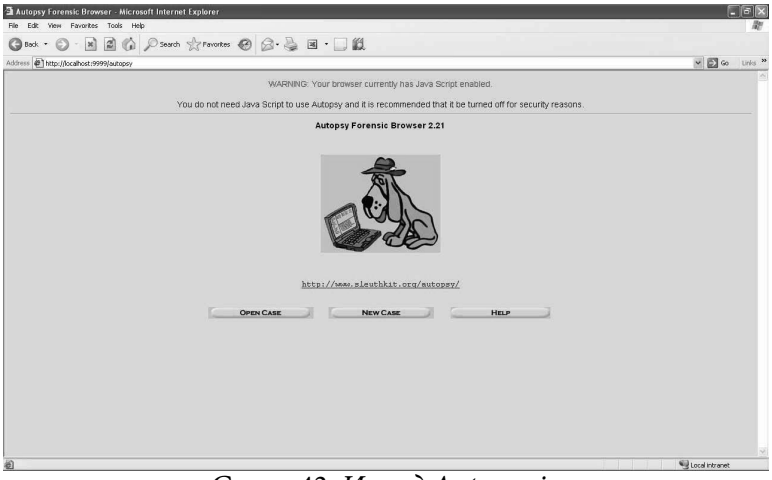
Слика 41: *Инсталација Autopsy*

Затим:
'/cygdrive/c/autopsy/makefile'
'/cygdrive/c/autopsy/autopsy'



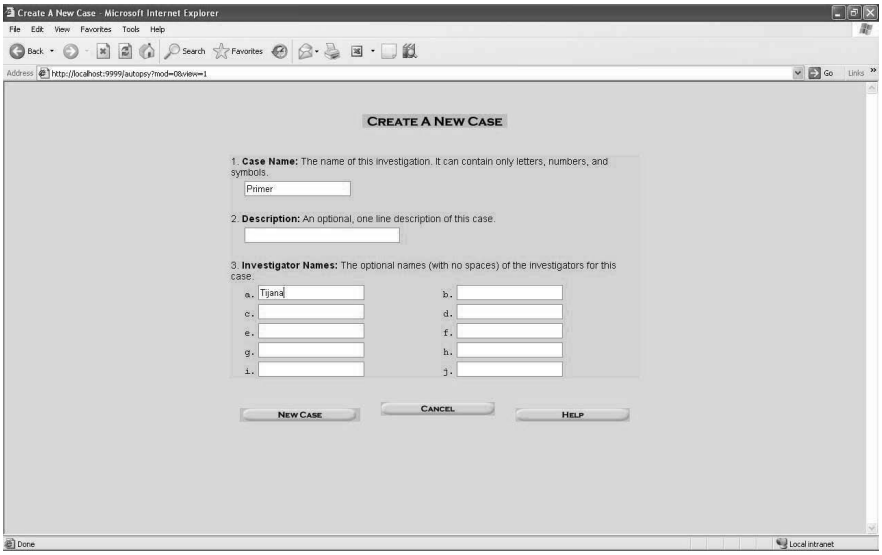
Слика 42: *Покретање Autopsy-ja*

Након чега се може покренути писањем у *HTML Browser*:
http://localhost:9999/autopsy
Отвара се *Autopsy*, који изгледа као на слици 43.



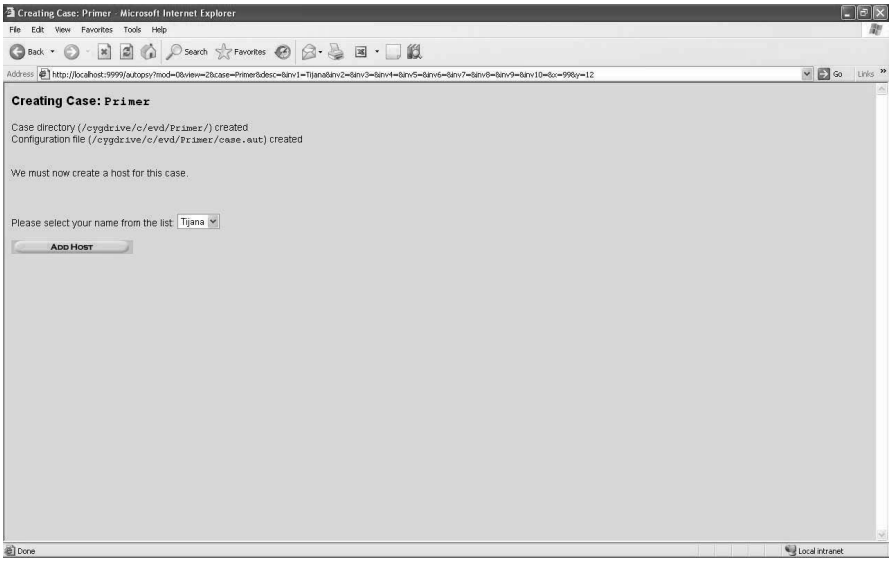
Слика 43: *Изглед Autopsy-ja*

Затим је потребно отворити нови случај, одабиром *New Case*. Отвара се прозор као на слици 44.



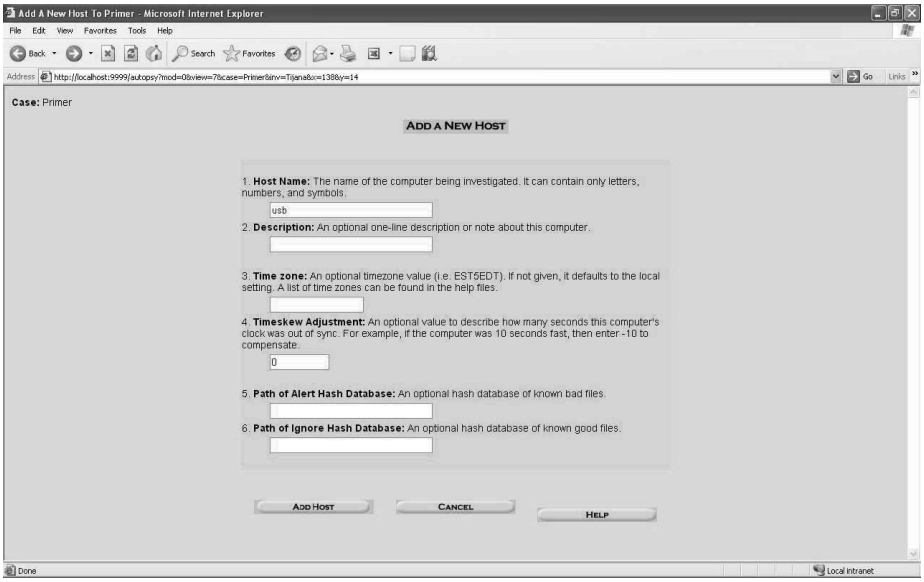
Слика 44: *Отварање новог случаја у Autopsy-jy*

Новом случају се даје име *Primer*, на слици 45 и име истражитеља *Tijana*. Може се дати и неки ближи опис случаја, што је препоручљиво када се ради о већој истрази са неколико рачунара.



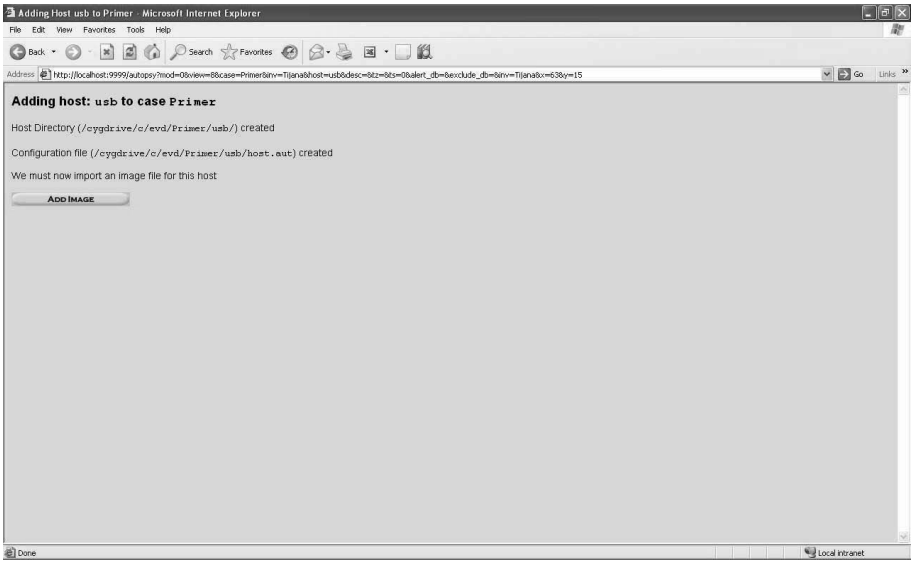
Слика 45: *Креирање новог случаја*

Будући да на истом случају може да ради неколико истражитеља, потребно је одредити који ради на предметном случају и дати неке ближе информације, као што су временска зона, име рачунара који се прегледа и друго, што се види на слици 46.

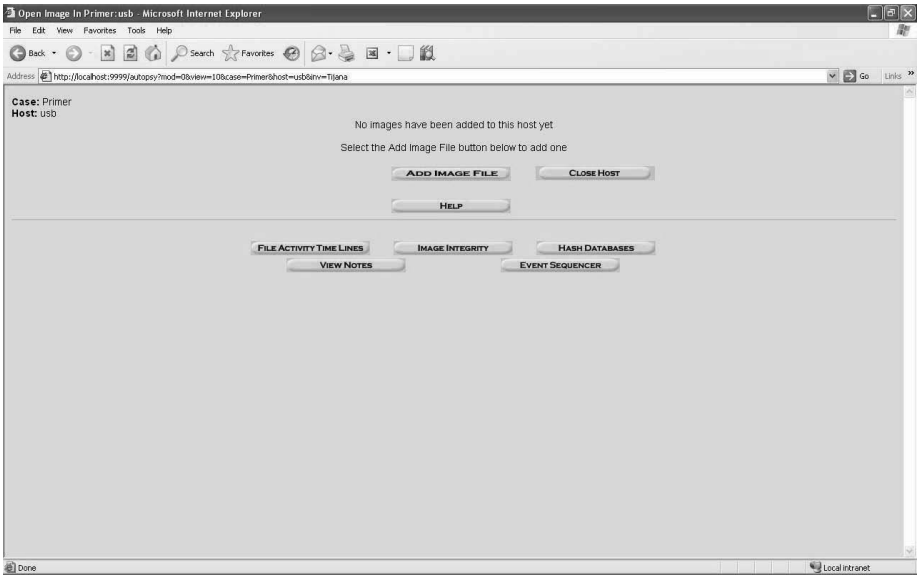


Слика 46: *Додавање хоста*

Након тога се додаје слика сачињена за предметни случај.

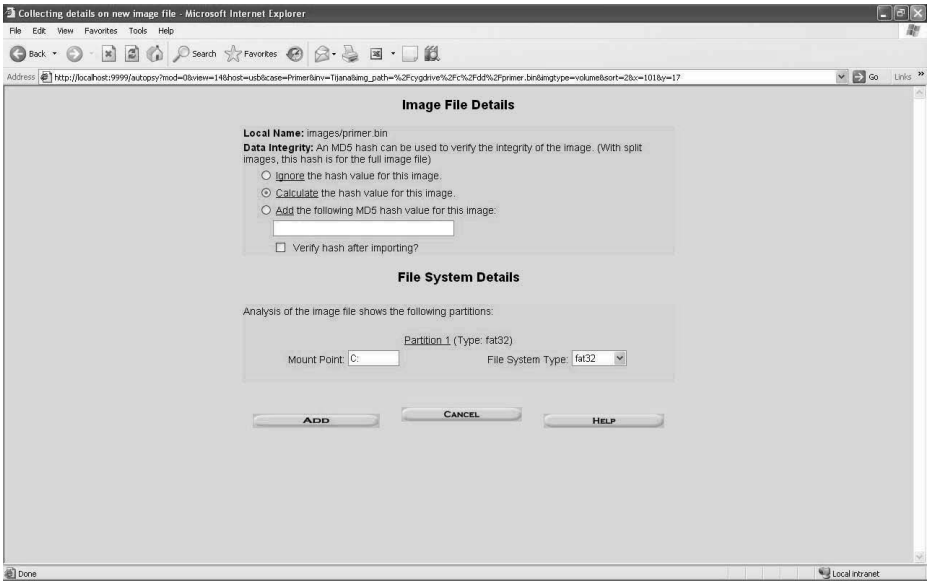


Слика 47: *Додавање слике случају*



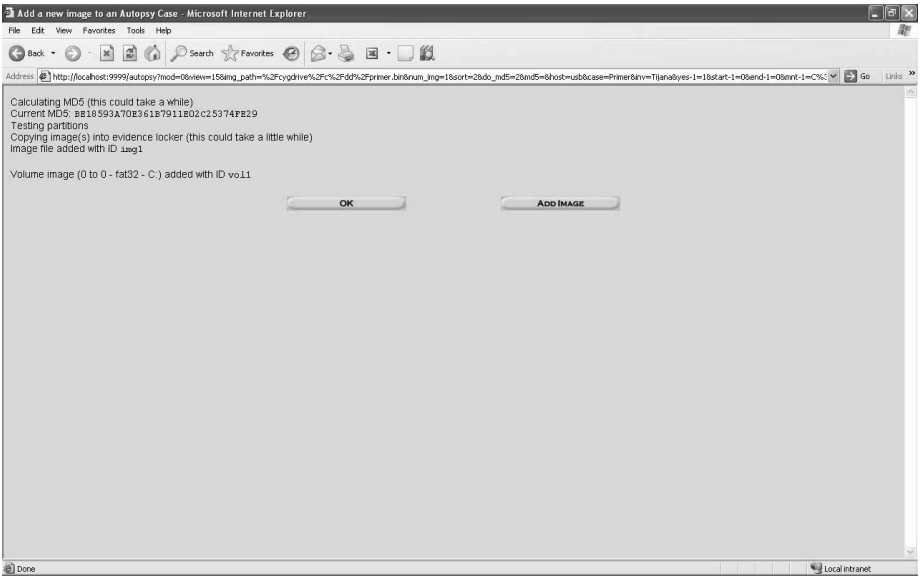
Слика 48: *Опције*

Пре него што се дода слика, потребно је одабрати да ли се рачуна MD5 вредност или се додаје позната MD5 вредност и извршава верификација.



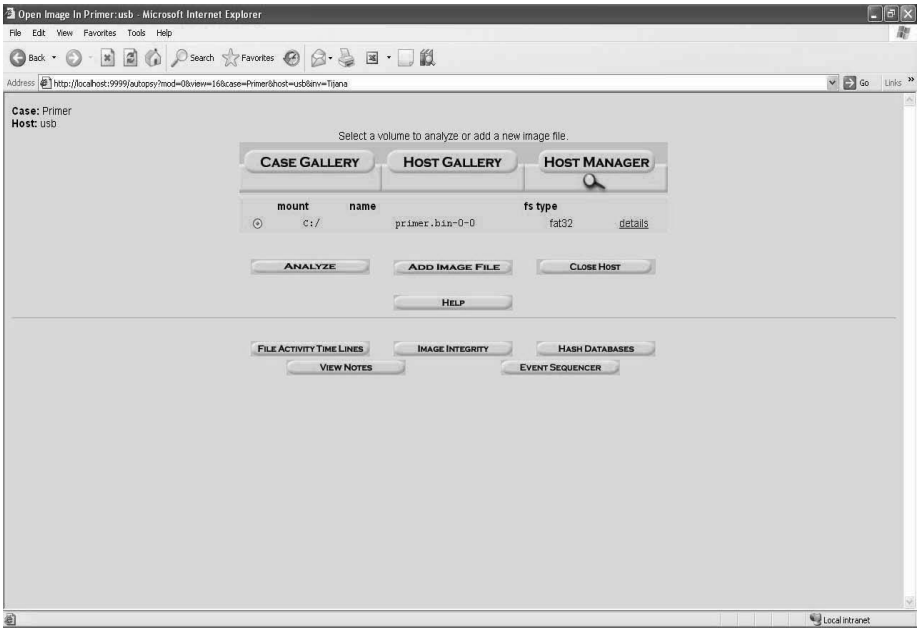
Слика 49: *Додавање слике случају*

Приликом додавања слике случају израчунава се MD5 вредност која се види на слици 50 и копира слика у фолдер *Evidence locker*, који је одабран приликом покретања *Autopsy*-ја.



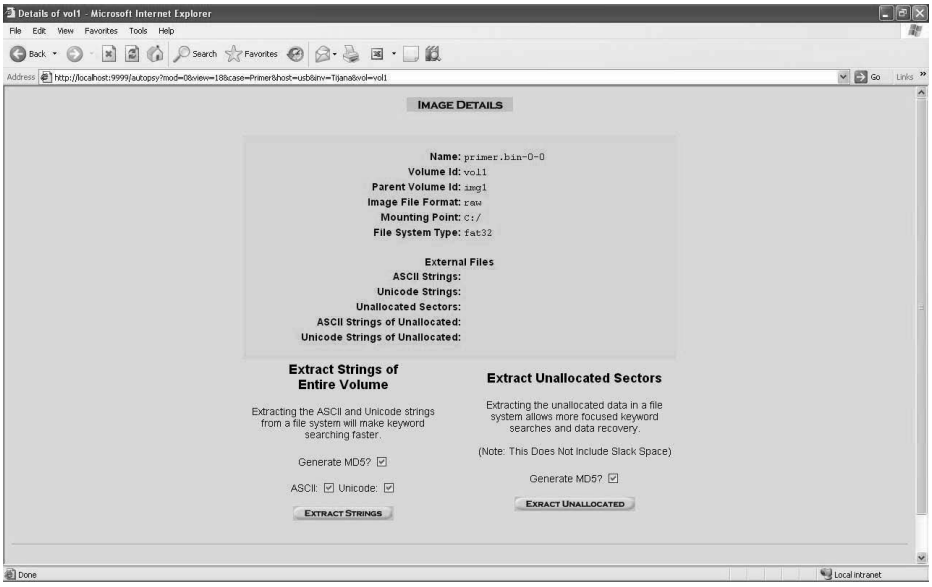
Слика 50: *MD5 вредност слике*

На слици 51 се види да је додата слика *primer.bin* формата *fat32*.



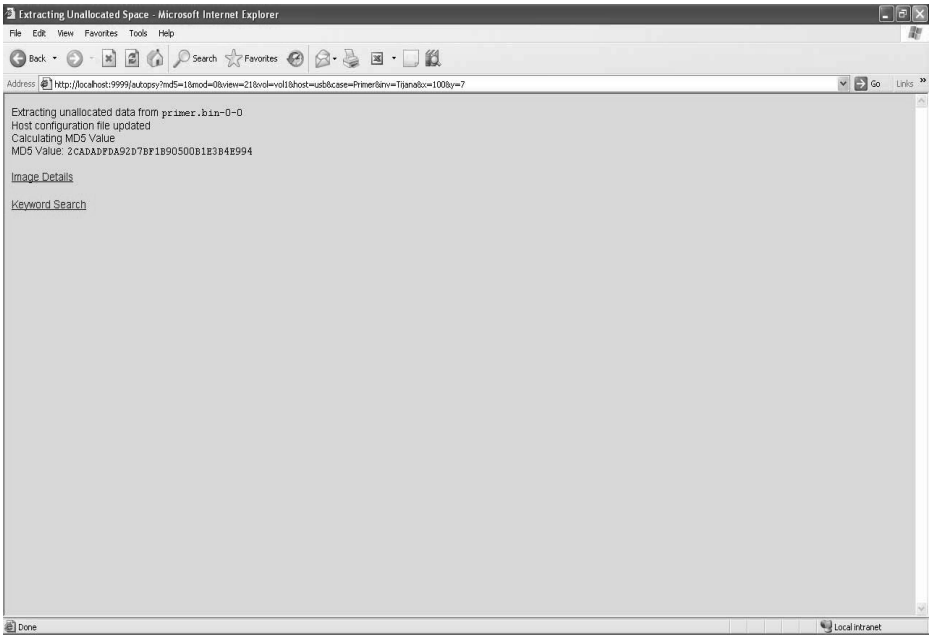
Слика 51: *Опције након додавања слике*

Кликом на *details* добијају се подаци на слици 52.



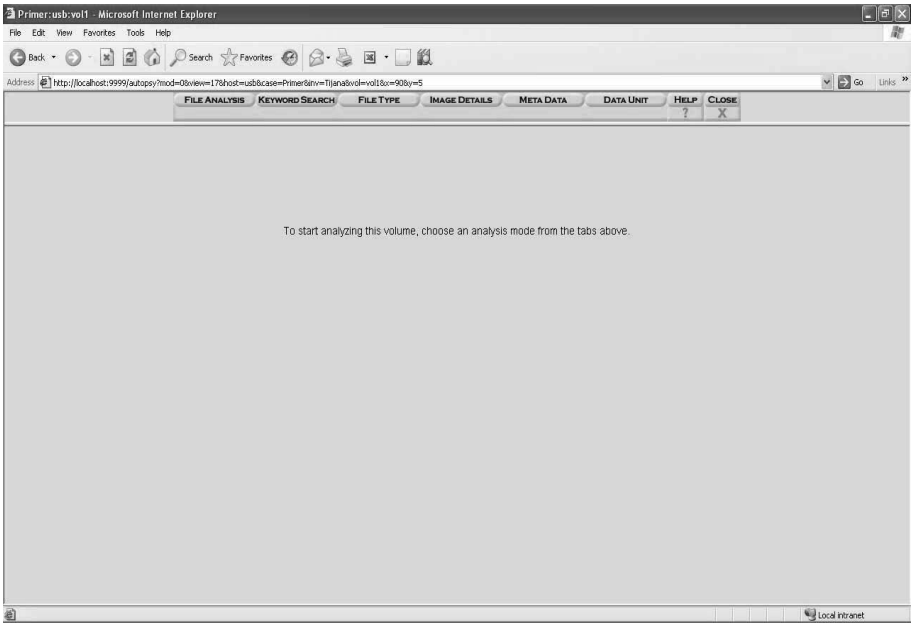
Слика 52: *Детаљи слике*

Може се извршити екстракција стрингова и обрисаних сектора.



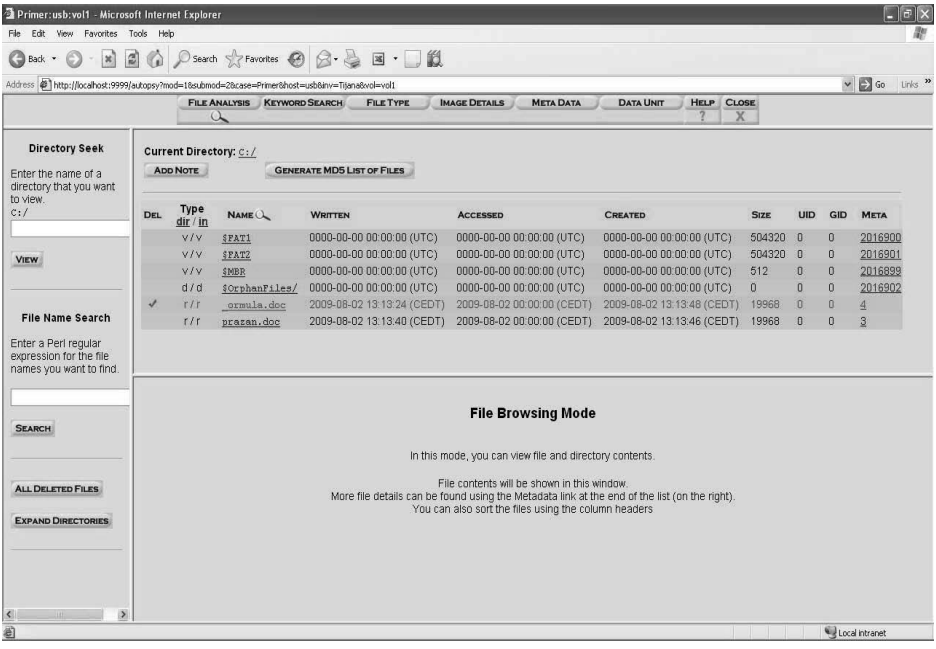
Слика 53: *Екстракција стрингова и обрисаних фајлова*

Опције које следе дате су на слици 54: анализа фајлова, претраживање по кључној речи, типови фајлова, детаљи слике и друго.



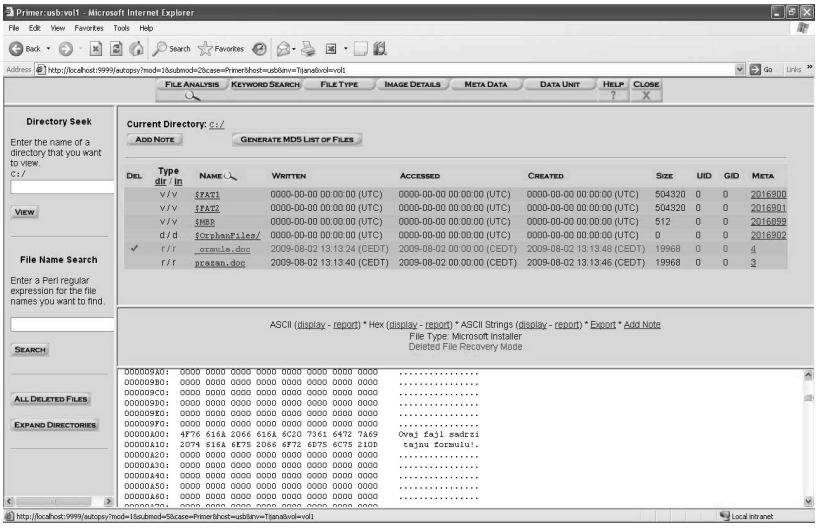
Слика 54: *Опције у Autopsy-jy*

Одабиром *File analisys* отвара се садржај слике, који се види на слици 55. Црвеном бојом означен је фајл који је обрисан.



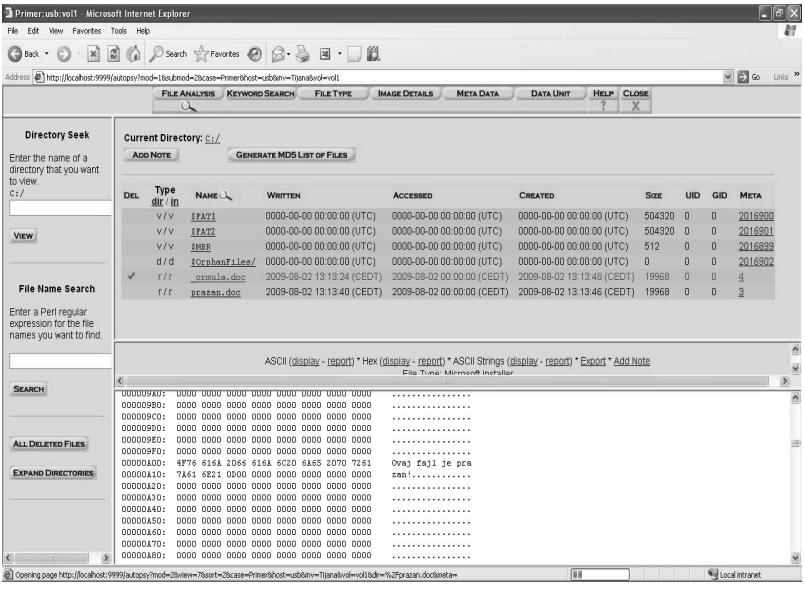
Слика 55: *Садржај слике*

На слици 56 се види ASCII приказ обрисаног фајла *formula.doc* и види се да у њему пише *Ovaj fajl sadrži tajnu formulu!*



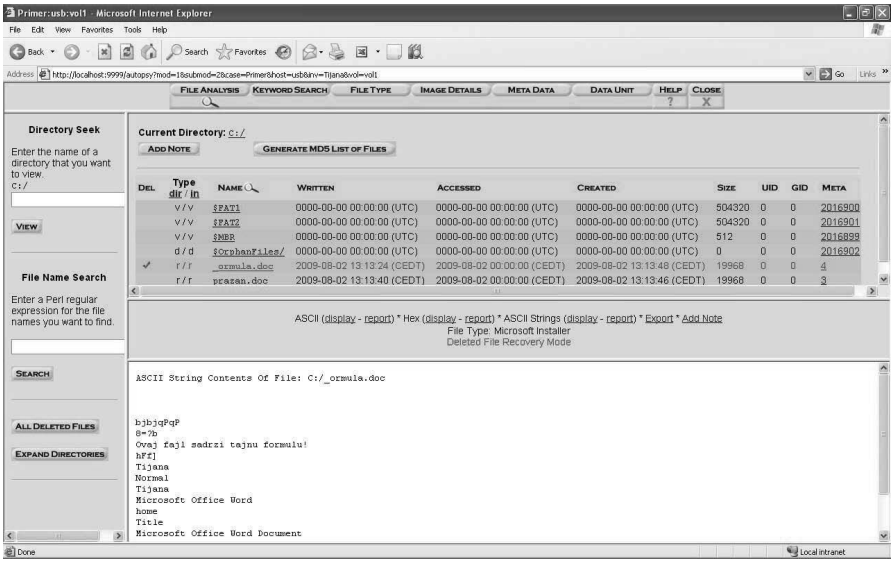
Слика 56: *ASCII приказ фајла formula.doc*

На слици 57 се види ASCII приказ фајла *prazan.doc* и види се да у њему пише *Ovaj fajl je prazan!*



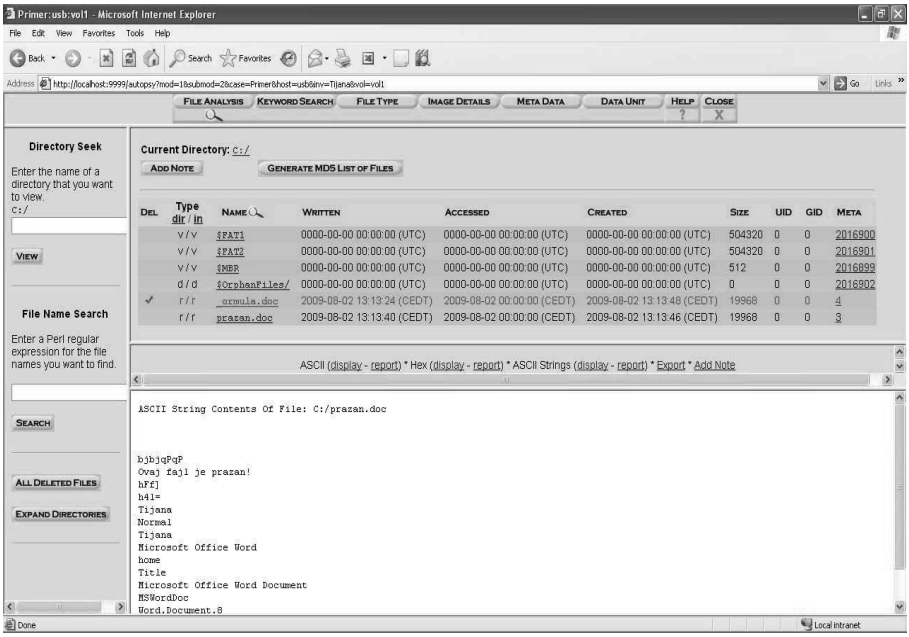
Слика 57: *ASCII приказ фајла prazan.doc*

На слици 58 је *hex* приказ обрисаног фајла *formula.doc*.



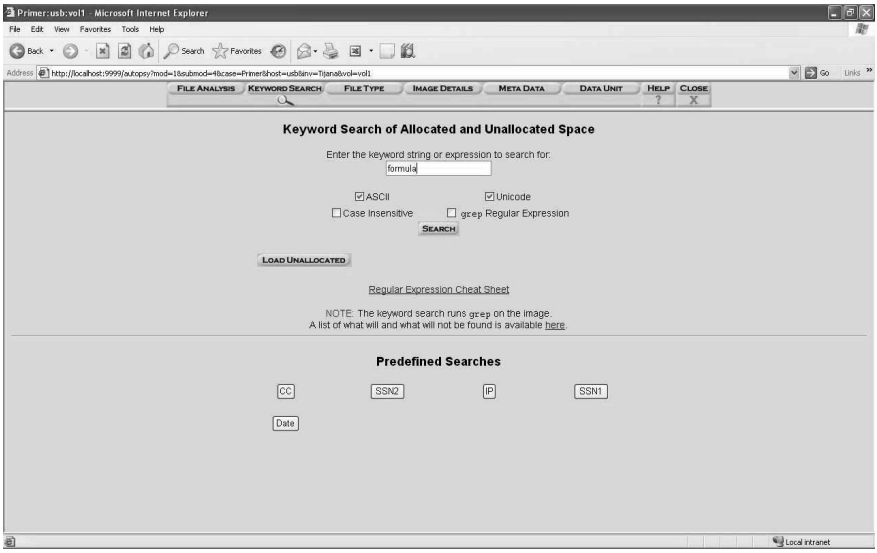
Слика 58: *Hex приказ фајла formula.doc*

На слици 59 је *hex* приказ постојећег фајла *prazan.doc*.



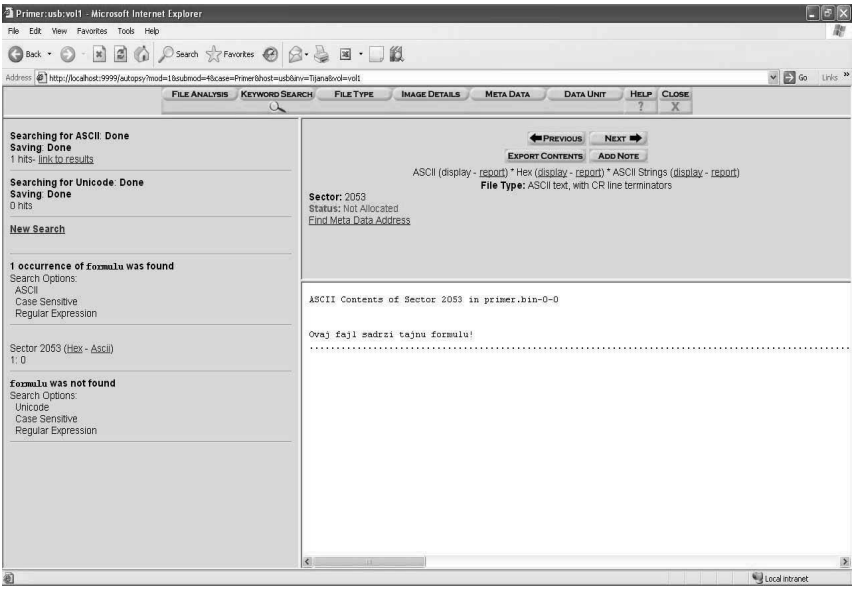
Слика 59: *Hex приказ фајла prazan.doc*

На слици 60 је приказано како се врши претрага назначеног и неназначеног (обрисаног) простора. Претрага је урађена за кључну реч *formula*.



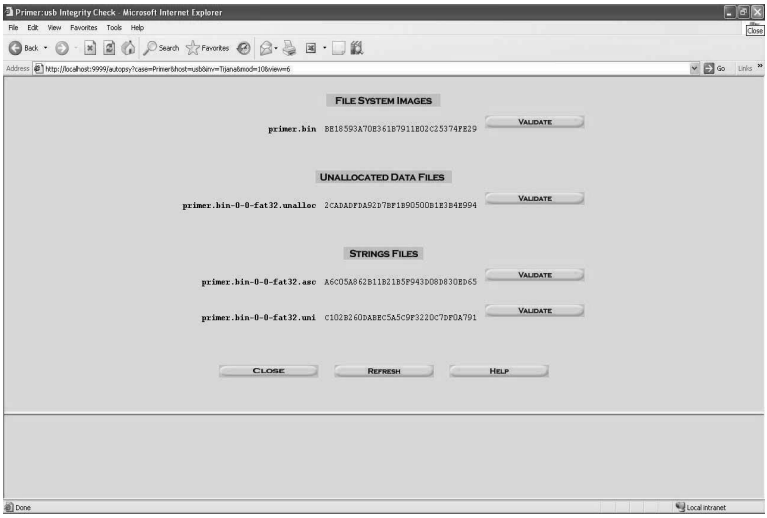
Слика 60: *Претрага по кључној речи*

На слици 61 је приказ резултата претраге, са леве стране су резултати претраге, а са десне приказ резултата и сектор на којем се налази тражена реч.



Слика 61: *Приказ резултата претраге*

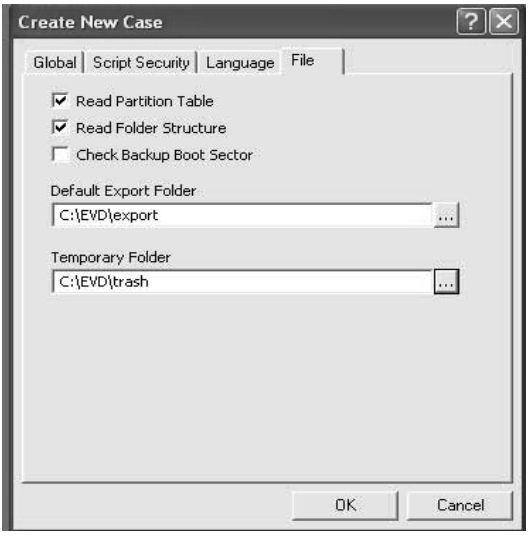
На слици 62 су MD5 вредности за слику и фајлове.



Слика 62: *MD5 вредности*

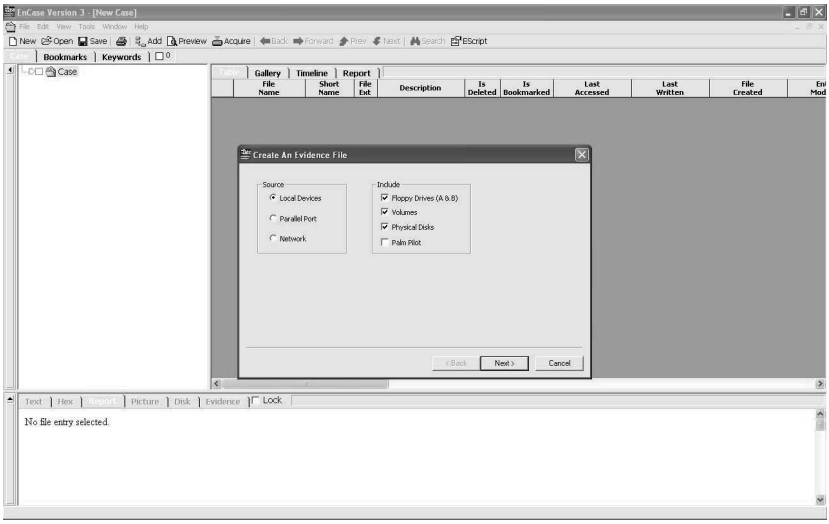
5.4.2. Форензичка анализа копије медија са комерцијалним алатима

Урађен је пример са EnCase софтвером који је описан у претходном потпоглављу. Рађена је анализа слике USB флеш меморије од 64MB на којој су направљена два фајла у *doc* формату, *prazan.doc* и *formula.doc*. У фајлу *prazan.doc* пише да је празан и он је остао на USB-у, а у фајлу *formula.doc* пише да садржи тајну формулу и он је обрисан са USB меморије. Нови случај се отвара кликом на *File – New...* (слика 63).



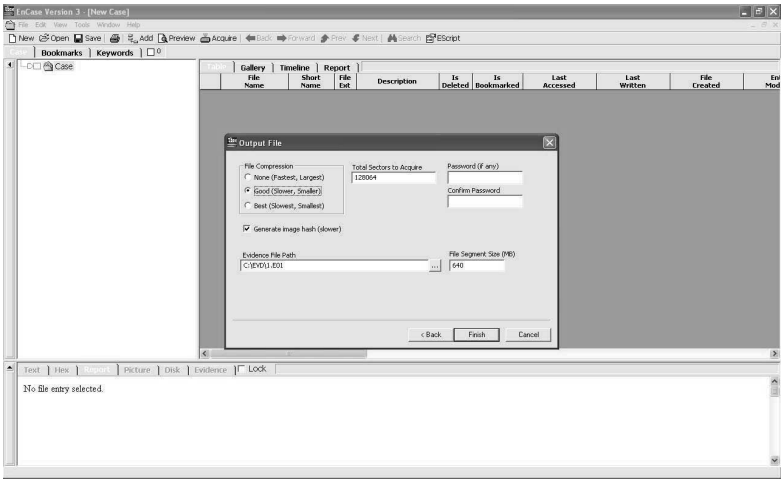
Слика 63: *Отварање новог случаја*

Урађена је аквизиција USB флеш меморије.



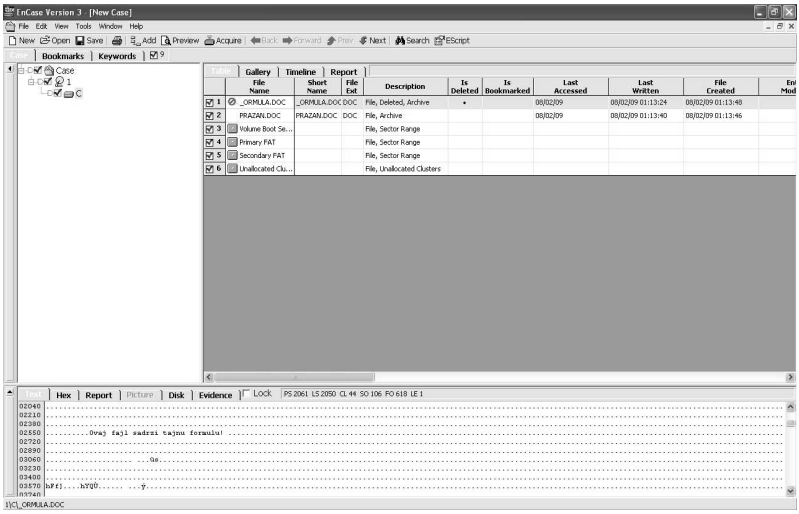
Слика 64: *Аквизиција USB флеш меморије*

Подешено је да се слика сачува у C:\EVD\ са називом 1.E01, што није препоручљиво ако се ради аквизиција целог диска. Пошто се у овом случају ради само аквизиција USB флеш меморије, то је прихватљиво. Одабрана је *Good* (спорије и мање) врста компресије и величина сегмента.



Слика 65: *Подешавања излазног фајла*

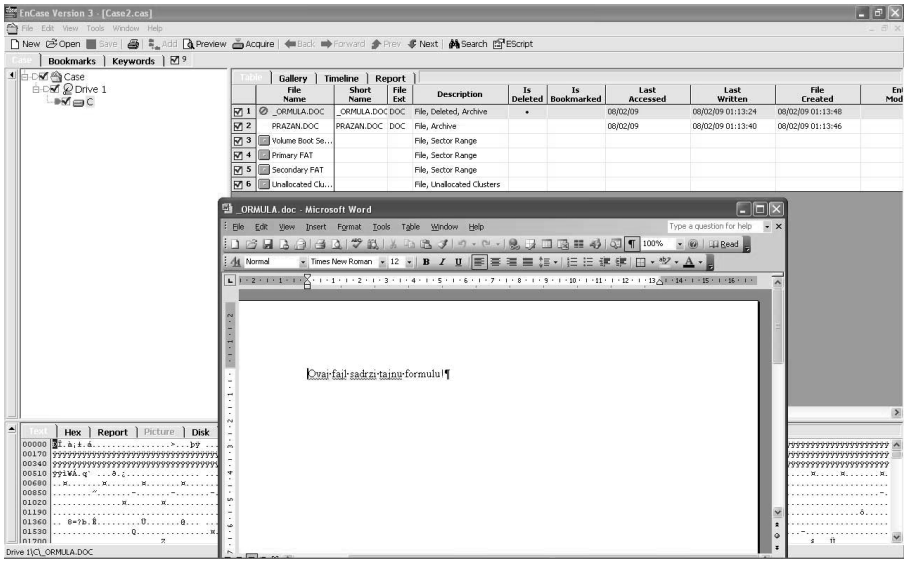
На слици 66 се види садржај слике, тј. да постоји фајл који је обрисан са називом *_ORMULA.DOC и PRAZAN.DOC*, који се још увек налази на медијуму. Оба фајла су креирана 2. августа 2009, први у 01:13:48 а други 01:13:46. Писање је вршено на *_ORMULA.DOC* у 01:13:24, а на *PRAZAN.DOC* у 01:13:40.



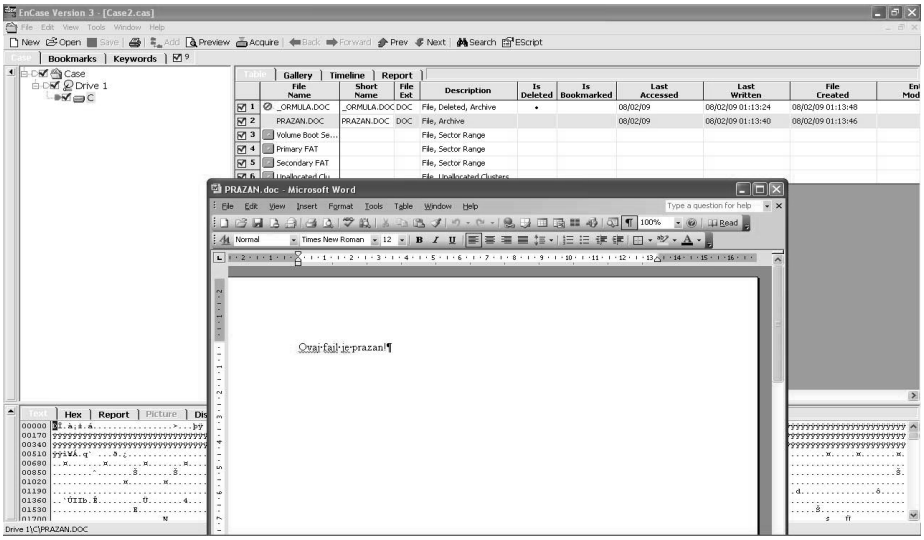
Слика 66: *Приказ садржаја медијума*

Десним кликом на фајлове може се одабрати *External Viewer* да би се фајлови прегледали у неком спољашњем прегледачу. У овом случају то је *Microsoft Word*.

На слици 67 се види фајл *_ORMULA.DOC* у *MS Word*-у и види се да у њему пише *Ovaj fajl sadrži fajnu formulu!*, док се на слици 68 види фајл *PRAZAN.DOC* и да у њему пише *Ovaj fajl je prazan!*



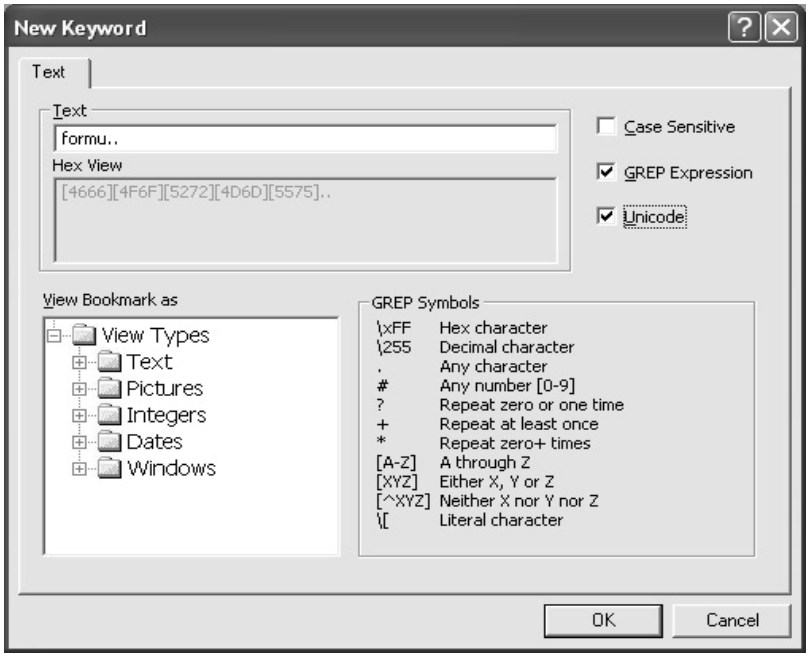
Слика 67: *Приказ фајла Formula.doc у екстерном Viewer-у*



Слика 68: *Приказ фајла Prazan.doc у екстерном Viewer-у*

У овом примеру је због малог садржаја фајлова било једноставно прегледати све фајлове. Приликом претраге медијума са већим садржајем, битна опција је претрага по кључној речи.

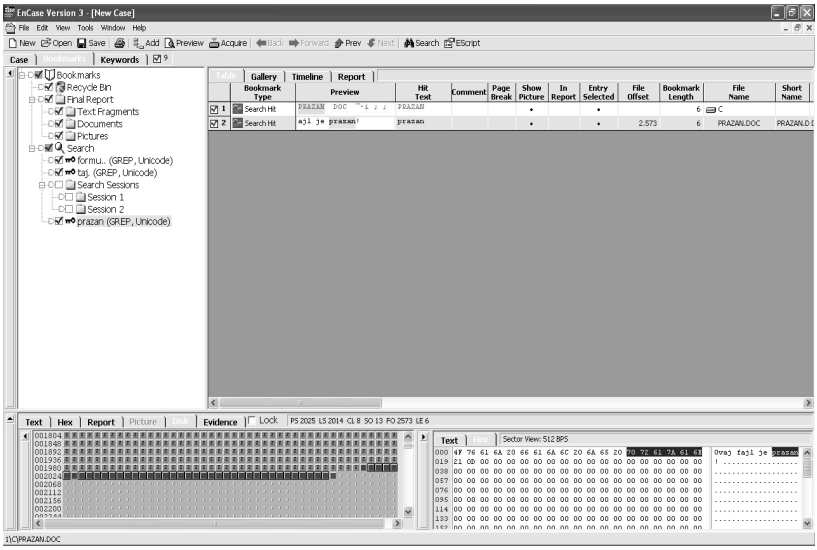
Као пример, извршена је претрага за кључне речи *formu..* (тачке представљају било који карактер), *taj* и *prazan.*



Слика 69: *Додавање кључних речи*

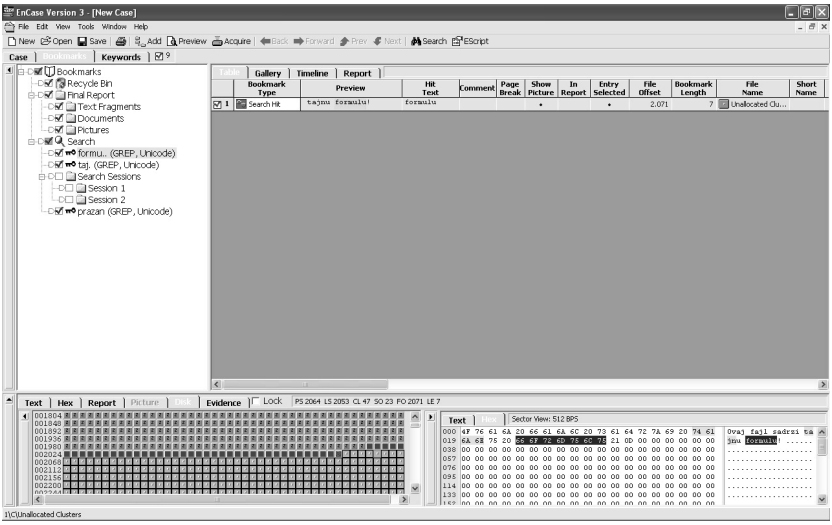
Резултати претраге су дати на следећим сликама.

На слици 70 се виде резултати претраге по кључној речи и *prazan*. Нађена је на два места, у називу фајла *PRAZAN.DOC* и у самом фајлу. На слици 70 се види и хексадесимални приказ са тачном локацијом на диску за речи које су тражене.



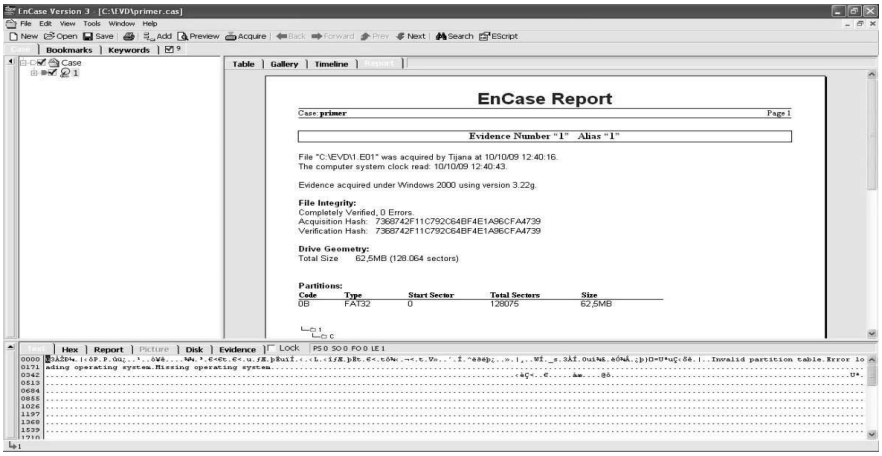
Слика 70: *Резултати претраге по кључној речи „prazan“*

На слици 71 се види тачна локација речи *formula* – налази се на нелоцираним кластерима, што значи да је била обрисана.



Слика 71: *Резултати претраге по кључној речи и “formu..“*

На слици 72 се види преглед (*Report*) овог случаја.



Слика 72: *Изглед извештаја*

5.5. Закључак

Колекција алата који су доступни истражитељима се повећава. Многе од њих су њихови изумитељи унапредили да би могли да раде са последњим технологијама.

Неки алати дају сличне функције али различити кориснички интерфејс, док су други јединствени у пружању информација истражитељу. На њему је да одлучи који ће алат користити и који је најупотребљивији за предметну истрагу, узимајући у обзир природу доказа који треба да се прикупе и чињеницу да ће они бити презентовани на суду. Без сумње, растући број цивилних и криминалних случајева у којима форензички алати играју значајну улогу чине ово поље фасцинантним за све који у њему учествују (Forensic Focus, 2003).

6. МУЛТИФУНКЦИОНАЛНИ И ИНТЕГРИСАНИ АЛАТИ ЗА ПОВЕЋАЊЕ СИГУРНОСТИ МРЕЖЕ

Познавање потенцијалног нападача и техника које су му на располагању од пресудне је важности за сигурност на мрежи.

Хакерисањем се некада бавио релативно мали број добро поткованих стручњака али данас то није случај јер постоје алати који су врло једноставни за употребу и који сваког колико-толико упућеног корисника чине потенцијалном сигурносном претњом.

Да би неко постао хакер, потребно је да зна мрежне протоколе и апликације, оперативне системе (*Windows*, *Linux*, *Macintosh*, *Novel...*), а добродошло је и познавање неког програмског језика (*C*, *Perl...*).

Као и код сваког другог напада (пљачкање банке, ратне операције и сл.), тако и код напада на рачунарске системе, пре почетка напада потребне су информације о мети. Код хакерских упада то су имена домена, TCP и UDP услуге које се користе, врста оперативног система, активни корисници на систему, IP адресе рачунара итд.

6.1. Фазе напада у мрежи и адекватни алати

Да би напао, хакер мора да обави припремне фазе: посматрање и упознавање потенцијалне жртве, снимање система (*footprinting*), скенирање (*scanning*) и пописивање система (*enumeration*).

6.1.1. Посматрање и упознавање жртве

Пре почетка напада на рачунарске системе, потребне су одређене информације о мети. Код хакерских упада то су имена домена, TCP и UDP услуге које се користе, врста оперативног система који, активни корисници на систему, IP адресе рачунара и сл. (Ранђеловић, Петровић, Поповић, 2012). За сваки циљни систем треба прво проверити да ли је жив, а затим утврдити на којим његовим прикључцима се ослушкује уколико такви прикључци постоје.

Вештину посматрања хакер ће употребити за проналажење рањивих система и потребних информација помоћу којих се одређена локација може напасти. За то се популарно употребљава *Google* као механизам за проналажење. Организације и корисници веома често остављају поверљиве податке, а *Google* их проналази, архивира и приказује свакоме ко уме да зада одговарајући упит.

6.1.2. Снимање система

Снимање система представља методично опипавање неке организације и омогућава нападачима да саставе потпун профил њеног система обезбеђења. Служећи се различитим техникама и алатима, нападачи могу да открију: опсег имена домена, мрежних блокова и појединачних IP адреса система који су директно повезани на Интернет, као и многе друге појединости у вези са обезбеђењем њених рачунара. Иако постоји много технике снимања система, све су углавном усмерене на откривање информација у следећим окружењима: Интернету, интранету, даљинском приступу и екстранету. Снимање се мора спровести прецизно и према претходно утврђеном плану. Почиње се са одређивањем опсега снимања, прибављањем јавно доступног овлашћења, пописивањем WHOIS-а и DNS-а, испитивањем DNS-а и упознавањем мреже.

Ethereal

Овај алат припада групи снифер алата (*sniffers*). То су такозвана „њушкала". Помоћу мрежних снифера се посматра мрежни саобраћај. Проток се може забележити за каснију анализу. *Ethereal* је бесплатан и лако доступан анализатор. Веома је брз, а акценат ставља на садржај комуникације ради анализе њене техничке исправности, као и на потрагу за аномалијама, ради заштите и побољшања перформанси услуга.

Међу напредним функцијама издваја се филтрирање, на било ком нивоу, од MAC адресе до адресе пошиљаоца и-мејла.

6.1.3. Скенирање

Нападачи користе скенирање да би идентификовали потенцијалне мете напада и лоцирали рањиве изворе. Скенирањем се може доћи до следећих информација: топологије мреже, типова преноса који могу проћи кроз мрежне баријере, активних матичних рачунара у мрежи, активних оперативних система на циљаном рачунару, врста уређаја за повезивање који су присутни на мрежи, активних врста апликација на мрежи, бројева верзија софтвера и нивоа исправки и информација о налогу.

NetCat

Услужни програм *netcat* (или *nc*) одлична је алатка која може да ствара и прихвата TCP (*Transmission Control Protocol*) и UDP (*User Datagram Protocol*) конекције. *NetCat* пише и чита податке преко тих конекција док се оне не затворе. То доноси основни TCP/UDP мрежни подсистем који омогућава кориснику да ручно или преко скрипта врши интеракцију са мрежним апликацијама и сервисима на апликативном нивоу. Омогућава нам да видимо чисте TCP и UDP податке пре него што они буду умотани у следећи виши ниво као што је FTP (*File transfer Protocol*), SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) или HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*).

NetCat се најчешће употребљава за: прибављање удаљеног приступа командном окружењу, притајено скенирање портова (налик човеку), IP отимање сервиса, проксија и релеја, избегавање порт филтера, изградњу канала података, прављење сопственог FTP-а, трансфер фајлова кроз порт филтере, хватање излаза апликације, постављање замке и тестирање мрежне опреме.

Network Mapper (nmap)

Network Mapper је један од врхунских програма за скенирање прикључака, истраживање мрежа и сигурносни порт скенер. Помоћу њега се врло лако може скенирати и читава мрежа.

Nmap (Network Mapper) јесте *open source* алат за истраживање мреже. Дизајниран је за брзо скенирање великих мрежа. *Nmap* користи сирове IP пакете на нов и оригиналан начин да би установио који хостови су до-

ступни на мрежи, који сервиси (назив апликације и верзија) су покренути на тим хостовима, о којим оперативним системима и верзијама је реч, који типови пакет филтера и *firewall*-а се користе и много других карактеристика.

Резултат *Nmap* претраживања је попис скенираних мета с додатним информацијама о свакој од њих. Кључна информација је „табела занимљивих портова". У табели се налазе број порта и протокол, назив сервиса и стање. Стање је може бити отворено, филтрирано, затворено и нефилтрирано.

Уз наведену табелу портова, *Nmap* може дати и информације о циљаном рачунару, укључујући реверсе DNS имена, претпоставку о томе који оперативни систем је с друге стране, типове уређаја и MAC адресе.

6.1.4. Пописивање

Када нападач успешно открије живе системе и активне услуге, он ће почети детаљније да тражи слабости активних услуга. То је процес који зовемо пописивање и који подразумева активне везе са системима и усмерено претраживање.

Нападач ће пописивањем желети да сазна корисничка имена налога да би извео напад погађањем лозинки, често лоше конфигурисане дељене ресурсе (на пример, необезбеђене дељене датотеке) и старије верзије софтвера с познатим безбедносним пропустима, као што су веб-сервери подложни даљинском нападу преливањем бафера.

Технике пописивања су обично везане за одређену платформу и зато се тесно ослањају на информације прикупљене скенирањем прикључака и препознавањем оперативног система. Скенирање прикључака и пописивање су често обједињени у истом програму, на пример, у *SuperScan*-у, који може да скенира мрежу тражећи отворене прикључке и да истовремено отима заглавља од прикључака за које утврди да ослушкују.

6.2. Интегрисани алати

У стручној и научној светској заједници се истраживањем алата за повећање сигурности рачунарских мрежа дошло до идеје да се уз помоћ ефикасних и једноставних хакерских алата, синтезом појединих мултифункционалних алата са неким алатом за преглед саобраћаја на мрежи, обезбеди да се на једном месту врше надгледање и заштита протока података на рачунарским мрежама, нарочито на Интернету. Таква апликација је једноставна за употребу и практична због тога што користи делотворне и надоградиве а бесплатне алате отвореног кода.

У овом раду аутор се бави добрим примером *SANS Intitute Forensics Toolkit (SIFT) Workstation* интегрисаног форензичког алата и на основу њега, као језгро за развој таквих апликација, предлаже једну апликацију за претрагу фајлова на мрежи, како би помоћу ње могле да се на најлакши

начин користе некомерцијални и мултифункционални алати отвореног кода и праве жељене комбинације интегрисаних мултифункционалних алата.

6.2.1. *SANS Intitute Forensics Toolkit (SIFT) Workstation*

SANS Intitute Forensics Toolkit (SIFT) Workstation је интегрисани форензички алат који је доступан целој људској заједници као јавни сервис. SIFT и као бесплатан програм може да конкурише сваком модерном форензичком алату. Он доказује да је напредне истраге и реаговање на упаде могуће постићи најсавременијим и широко доступним *open-source* алатима који се често ажурирају. Његов изглед дат је на слици 73 (Ранђеловић, Жолт, 2012).

Слика 73: *Почетни екран SIFT Workstation-а*

SIFT се успешно покреће кроз преферирану верзију *VMware Workstation* и конфигурсан је тако да са колекцијом потребних алата изврши детаљно дигитално форензичко испитивање са различитим поставкама. Компатибилан је са *Expert Witness Format* (E01), *Advanced Forensic Format* (AFF), и (dd) доказним форматима. Нова верзија је у потпуности обновљена на *Ubuntu* бази са многим новим могућностима и алатима, као што је *log2timeline*, који обезбеђује временски оквир који може бити од огромне вредности за истражитеље. Софтвер се издваја од осталих сличних програма по способности да безбедно испитује сирове дискове и систем датотека и да обезбеди доказе пратећи строго упутство о томе како се докази испитују и проверавају да ли је дошло до њихових промена.

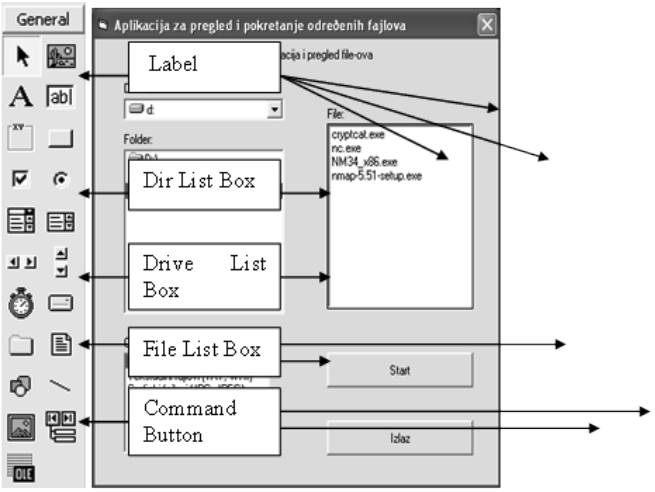
SIFT подржава оперативне системе *Windows* (MSDOS, FAT, VFAT, NTFS), MAC (HFS), *Solaris* (UFS) и *Linux* (EXT2/3/4). Софтвер садржи:

– *The Sleuth Kit* (алат за анализу фајл система);
– *log2timeline (Timeline Generation Tool)*;
– *ssdeep & md5deep (Hashing Tools)*;
– *Foremost/Scalpel (File Carving)*;
– *WireShark* (мрежни анализатор).

6.2.2. *Visual Basic* апликација за преглед и покретање одређених фајлова

Ова апликација је направљена за једноставну претрагу одређених фајлова на рачунару (овде се конкретно ради о *Windows* оперативном систему). Типови фајлова по којима се може вршити претрага су: програми (*.exe,*.com,*.bat), текстуални фајлови (*.txt,*.wri) и графички фајлови (*.jpg,*.jpeg).

Ово је само пример апликације са типовима фајлова који су често у употреби.



Слика 74: *Опис изгледа прозора апликације*

Label – за исписивање назива прозора, нпр: *Drive*, *File*, *Folder*, *Одаберите тип фајла*.

Command Bytton – кликом миша на одређено дугме (*Старт*) покреће се фајл или (*Излаз*) излази се из апликације.

Drive List Box – листа драјвова помоћу које се позиционирамо на жељену партицију (драјв) на рачунару.

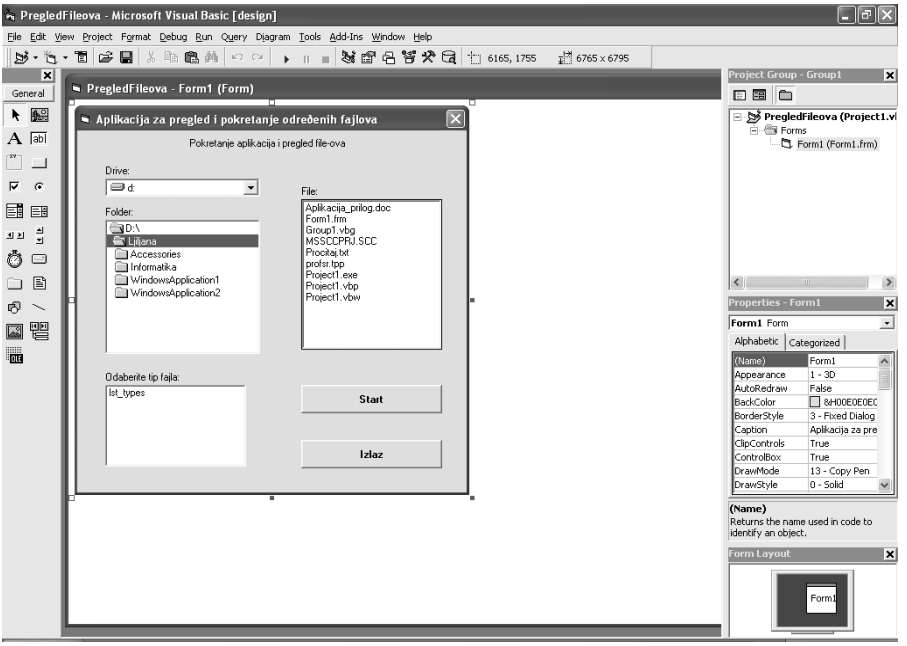
Dir List Box – листа директоријума који се налазе на одабраној партицији рачунара.

File List Box – листа фајлова који се налазе у одабраном директоријуму рачунара.

Постоје два *FileLlistBox*-а са следећим насловима изнад њих:

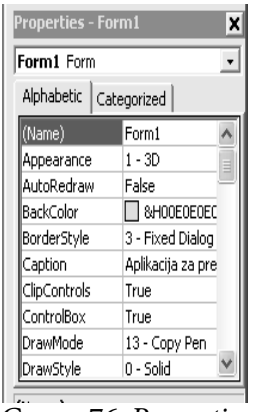
1) *Одаберите тип фајла* – бира се жељени тип фајла; у зависности од типа који је одабран: програми (*.exe,*.com,*.bat), текстуални фајлови (*.txt,*.wri) и графички фајлови (*.jpg,*.jpeg);
2) *File* – списак одабране врсте фајлова; представља резултат за одабрани драјв (из *DriveList Box*-а), директоријум из *DirList Box*-а и тип фајла са фајл листе из претходне ставке; кликом на жељени фајл, а затим на дугме *Start*, покреће се програм, слика или текстуални фајл.

Апликација је рађена у *Microsoft Visual Basic 6* (*designer*). Да бисмо били сигурни да ће ова апликација радити на сваком рачунару послужили смо се малим триком. Копирали смо фолдер *Accessories*, који у себи садржи само *wordpad* и *mspaunt*, у *Program Files* (C:\Program Files\Accessories\; ту су *wordpad.exe* и *mspaint.exe*). Тако ће се текстуални фајлови отварати у *wordpad*-у, а слике у *mspaint*-у.



Слика 75: *Изглед форме у Visual Basic 6 Designer*

Радно окружење се састоји од неколико целина међу којима се налази и *Properties*. У њему се могу подешавати параметри за сваки објекат у апликацији (боја, текст, врста фонта...).

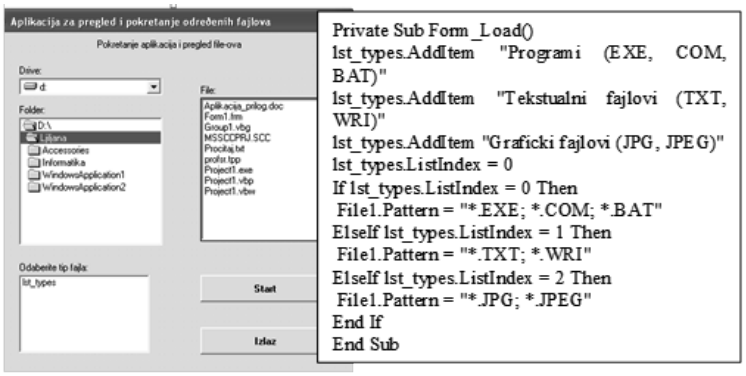


Слика 76: *Properties*

Приликом израде апликације, двокликом на било који објекат добија се кôд за тај објекат. Функције објекта можемо кориговати по жељи. Програмски језик који је овде коришћен је *Visual Basic 6*.

У запису који следи програмски кôд говори о начину на који ова апликација ради. У објекту *lst_types* кориснику је омогућено да изабере три опције:

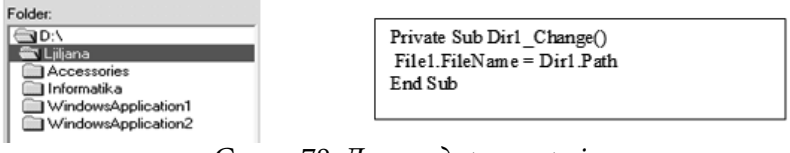
1) програми (EXE, COM, BAT),
2) текстуални фајлови (TXT, WRI),
3) графички фајлови (JPG, JPEG).



Слика 77: *Изглед екранске форме*

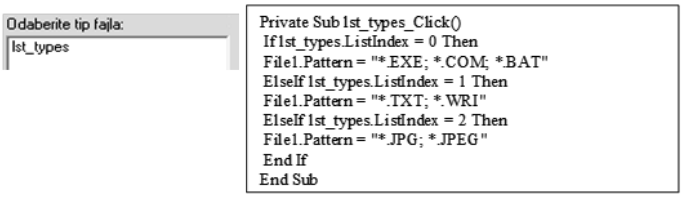
Приликом избора драјва на рачунару може да се догоди погрешан одабир (уколико изабере драјв предвиђен за CD/DVD, а у том тренутку он не постоји). У том случају ће корисник бити обавештен поруком која ће изаћи у малом прозору (*MsgBox*) и гласи: *Одаберите други драјв!*

Када се одабере жељени драјв, врши се даљи одабир фолдера (слика 78).



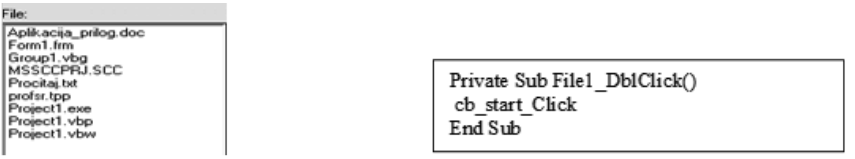
Слика 78: *Листа директоријума*

Објекат *lst_types* врши се одабир врсте фајла који желимо да покренемо (слика 79).



Слика 79: *Листа типова фајла*

У објекту *File* добија се листинг свих фајлова који се налазе на одабраном драјву, на одабраном фолдеру и у жељеном формату (слика 80). Жељени фајл се може покренути кликом на дугме *Start* или дуплим кликом миша на сам фајл.

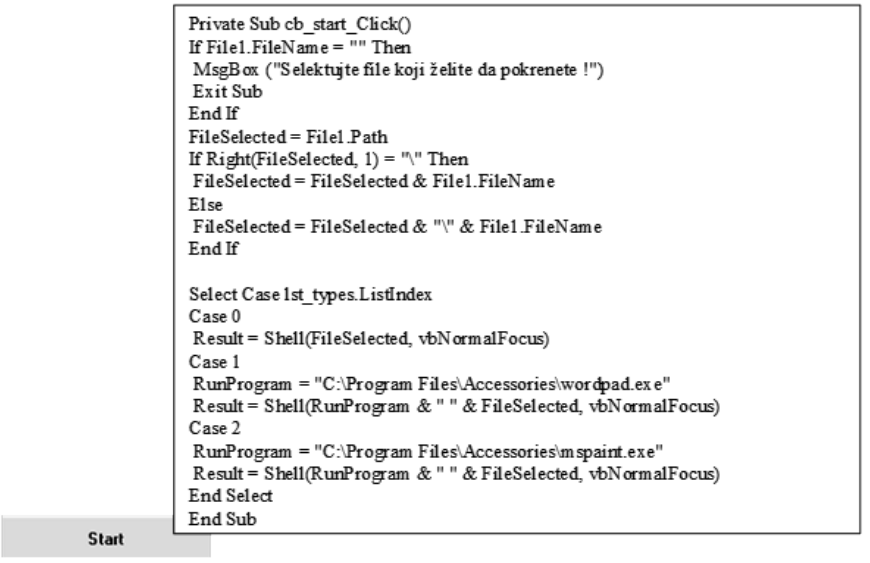


Слика 80: *Листа добијених фајлова*

Да бисмо били сигурни да ће ова апликација радити на сваком рачунару послужили смо се малим триком. Копирали смо фолдер (*MsgBox*) и гласиће: *Селектујте фајл који желите да покренете!*

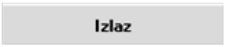
Да бисмо били сигурни да ће ова апликација радити на сваком рачунару, послужили смо се малим триком. Копирали смо фолдер *Accessories* који у себи садржи само *wordpad* и *mspaint*, у *Program Files* (C:\Program Files\Accessories\ ту су *wordpad.exe* и *mspaint.exe*). Тако ће се текстуални фајлови отварати у *wordpad*-у, а слике у *mspaint*-у.

Кликом на дугме *Start* (слика 81) испитује се која је врста фајла изабрана, нпр: *Case 1; RunProgram = "C:\Program Files\Accessories\wordpad.exe"*



Слика 81: *Button Start*

Кликом на дугме *Излаз* излази се из апликације (слика 82).




```
Private Sub cb_exit_Click()
 Unload Me
 End
End Sub
```

Слика 82: *Button Izlaz*

Приказана апликација за преглед и покретање одређених фајлова урађена је као једнослојна апликација која служи за лакше и брже проналажење постојећих алата за рад на рачунару. То представља само идеју за апликацију у двослојној архитектури, која би могла да функционише у Интранету, а можда и апликацију у трослојној архитектури, која би могла да функционише на светској мрежи Интернету.

За разлику од једнослојних апликација у двослојним апликацијама, које су заправо типичне клијент–сервер апликације, кориснички интерфејс и логика апликације су на клијенту, док се дата сервиси налазе на серверу и њима се приступа преко мреже. То значи да би сваки рачунар у Интранету могао да има приступ свим потребним алатима за рад који се налазе на било ком рачунару или серверу у оквиру Интранета.

На Интернету постоји много алата који су бесплатни и сви који су у овом раду наведени били би лако пронађени помоћу овакве апликације.

7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Стратегија остваривања сигурности је план који одређује које сигурносне механизме користе конкретне услуге са тачно дефинисаним процедурама. Једна од највише примењиваних је стратегија слојевите заштите у виду прстенова око самог система. Њом се знатно повећава сигурност система, а може се илустровати као слојевито четворопрстенско обезбеђење које садржи:

– спољашњи слој, који је граница система са спољашњим светом (обично Интернет) и који чине мрежне баријере и провера идентитета преко рутера и DNS сервера;
– слој заштите испод спољашњег, који штити систем од мреже у којој се налази и то чини помоћу јавних кључева и мрежних баријера;
– слој на системском нивоу рачунара;
– унутрашњи слој, који штити саме информације механизмима као што су аутентификација приступа и шифровање.

Са становишта положаја механизма заштите, у рачунарском систему постоје следећи аспекти заштите:

– заштита на нивоу апликације – као заштита од прекорачења бафера као и употреба криптованих сигурносних протокола у комуникацији;
– заштита на нивоу оперативног система која се огледа у идентификацији корисника, контроли приступа на нивоу система датотека као и криптографске мере заштите;

– заштита мреже пре свега мрежном баријером као и употреба криптованих сигурносних протокола у комуникацији;
– операциона заштита која обухвата пре свега детекцију напада нпр различитим алатима детекторима напада на мрежи.

Када се говори о сигурности рачунара и рачунарских мрежа, може се рећи да је у питању одржавање прихватљивог нивоа ризика и да за њу важе следећи принципи:

– сигурност је процес;
– без обзира на различите методе заштите, људски фактор се мора имати у виду;
– нема апсолутно сигурних рачунарских система;

Сигурност се као процес заснива на четири основна корака:

– процена, која је практично увод у остала три корака;
– заштита;
– откривање;
– одговор.

Одговор на сигурносни напад је предмет разматрања предложеног пројекта и то део који разматра алате дигиталне форензике и, конкретно, њихову хомологизацију, имајући у виду да не постоји одговарајуће локално спровођење програмских решења присутних у свету. Иначе, самих алата има много и разликују се по:

– апликацији за коју су прављени,
– оперативним системима за које су прављени.

Мали их је број такозваних мултифункционалних, а цене су им добре због потражње.

Данашње стање је такво да се алати могу поделити на четири групе:

– за инспекцију и превенцију,
– за детекцију инцидента,
– за истраживање и одговор,
– за поправку система.

Међутим, поменути сигурносни алати који се инсталирају на самосталном или рачунару на локалној мрежи према Интернету, нису ефикасни када је нападач неко коме су та локална мрежа или рачунар доступни, а статистике показују да је то најчешћи вид наступања криминалних радњи.

Карактеристични су следећи типови напада од којих, генерално, оперативни системи не могу обезбедити заштиту:

– нападачи који се представљају као легитимни корисници;
– корисници са високим степеном привилегија који се понашају деструктивно;
– легитимни корисници који злоупотребљавају грешке у конфигурацији система или друге системске рањивости;
– извршни програми (нпр. тројански коњи) који су злонамерно модификовани да извршавају недозвољиве функције.

Дигитална форензика представља релативно ново поље науке и прво се јавила код професионалаца из области кривичног права и обавештајних служби, а касније била прихваћена и од информатичара. Она је данас незаобилазан чинилац деловања сваког сигурног рачунарског система. Обухвата примену научних метода у циљу идентификације, прикупљања и анализирања дигиталних података, уз очување интегритета оригиналног доказа и њихово вештачење на суду, а свакако је пожељно и њено повезивање са осталим алатима који су потребни за сигуран рад рачунарских система.

Неки од форензичких алата, као што је *EnCase* фирме *Gidance*, у таквој су употреби у САД (у преко 90% случајева) да су прихваћени као стандард у судској пракси, која је у коришћењу дигиталних форензичких алата регулисана одговарајућим законским актима. С прихватањем дигиталне форензике као легитимног поступка анализе доказа дошло је и до повећаног интересовања за обучавање и едукацију на овом пољу.

Имајући у виду да се рачунарски системи (нарочито Интернет) и код нас и у свету користе масовно и у широком опсегу свакодневних људских активности, ова област представља изузетно погодно тле за деловање и развој такозваног високотехнолошког криминала. Јасан је велики значај који за контролу, сузбијање и судско санкционисање тог криминала имају активности које су предвиђене овим пројектом. Посебан значај тих активности је мултидисциплинаран приступ решавању проблема, који подразумева три међусобно повезана и условљена аспекта:

– технички;

– нормативно-правни;

– едукативни.

Конкретан предмет рада заснива се на *open source* коду. Кроз модификацију и интеграцију општих прегледача и постојећих програма за живу слику, имицинг и анализу долази се до развоја свеобухватног решења, које ће се користити као алат за детекцију напада и форензичку анализу.

7.1. Стање у МУП-у Републике Србије

Мрежна инфраструктура МУП-а Србије је интерна мрежа типа интранета, што смањује ризик од могућих неовлашћених приступа систему.

Интернет мрежа МУП-а Србије је одвојена од интранет мреже одговарајућом опремом и користи се за повезивање са грађанима и институцијама у Републици Србији и ван ње, преко јавно доступних Интернет сервиса.

На физичком слоју свакако постоје потенцијална места напада на целокупни рачунарски систем МУП-а.

Са становишта већ изнетих основних елемената за остваривање сигурности рада сваке, па и мрежне инфраструктуре МУП-а Србије, неопходно је обезбедити следеће:

– сигурни протокол којим се остварују идентификација два саговорника, повезана преко рачунарске мреже, и заштићен пренос података међу њима; имајући у виду да се ради о светским стандардима, на располагању су пре свега тунеловане заштитне комуникације и унутар њих одговарајуће најоптималније имплементације, пре свих TLS.
– аутентификацију, која може бити једнострука или вишеструка (она је сигурнија), уз коришћење идентификације различитим принципима: помоћу лозинки, дигитално (нпр. смарт картице) и биометријски (нпр. отисак прста или рукопис).
– криптографије, која кодирањем обезбеђује заштиту информација од нежељеног приступа и мењања; она је неограничена због тога што је базирана на математичком (софтверском) решавању и представља најоптималнији ресурс;
– власништва над датотекама – оне пре свега треба да буду у поседу оперативног система, па треба бирати најсигурније; најбоље решење су системи отвореног кода.

Сви наведени елементи се данас најбоље уводе кроз инфраструктуру са јавним кључевима (*Public Key Infrastrukture* – PKI), која представља комбинацију хардверских и софтверских елемената, људи, политика и процедура неопходних за генерисање, складиштење, управљање, дистрибуцију и опозив дигиталних сертификата. Њена основна улога је успостављање дигиталног идентитета (*digital IDs*) субјеката у оквиру мреже, заснованог на дигиталним сертификатима, чиме се ствара погодно окружење за реализацију других безбедносних сервиса, првенствено оних код којих је од значаја аутентичност субјеката који комуницирају.

Зато се у овом раду, као презентацији резултата истраживања на истоименом пројекту Криминалистичко-полицијске академије из Београда, посебно препоручују алати за дигиталну форензику који стоје на располагању за неспорно повећање сигурности на рачунарским мрежама, уз посебан нагласак на постојању алата отвореног кода, како за детекцију тако и за форензику акцидената на мрежи.

Међу тим алатима постоји могућност интеграције ради остваривања различитог степена сигурности и функционалности. Имајући у виду данашње стање у сајбер простору, то сугерише да су алати отвореног кода и криптографија неспорно оптимална решења. Она су неизоставан ресурс сваке мрежне инфраструктуре. За мрежну инфраструктуру МУП-а Србије то је нарочито важно, с обзиром на њено место и улогу у држави и међународној заједници.

На крају, али не мање важно (напротив), као потврду исправности предложених решења нужног увођења и употребе алата дигиталне форензике, добро је цитирати документ Мисије ОЕБС у Србији из јануара 2004. године, у којем на страни 59 стоји:

„Обрада лица места све је битнија компонента преткривичног поступка истрага лаких и тешких кривичних дела. То се све више прихвата из два разлога.

Први је да је квалитетан доказни материјал све важнији у судском поступку ради спровођења правичног поступка у складу са владавином права.

Други је да се научни методи сакупљања и анализе доказног материјала непрестано унапређују и дају све корисније резултате у току суђења.

Постоји потреба увођења савремених форензичких капацитета у полицији. Софистицираност рада организованог криминала подвлачи значај савремених криминалистичких техника и техника обраде лица места ради квалитета истраге и правичног правосудног поступка. Повећање степена софистицираности организованог криминала изискује потребу побољшања метода борбе против њега."

Захвалница

Истраживања чији су резултати овде приказани делимично су финансирана од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (пројекат ТР–34019).

ЛИТЕРАТУРА

1. *AccessData*, www.accessdata.com, 5. 6. 2009.
2. Bishop, M. (2003). *Computer Security: Art and Science*. Addison-Wesley Professional.
3. Casey, E. (2004). *Computer Crime Investigation Forensic Tools and Technology*. London: Elsevier Academic Press.
4. *Chrysocome*, www.chrysocome.net/dd, 5. 6. 2009.
5. Carrier, B. (2002). *Open Source Digital Forensics Tools*. Astake Research Report.
6. *DataSolutions d.o.o.*, www.datasolutions.rs, 22. 5. 2009.
7. *EnCase*, www.encase.com, 5. 6. 2009.
8. *eSecurityLab*, http://esecuritylab.net, 5. 6. 2009.
9. *Forensic Focus*, www.forensicfocus.com, 1. 6. 2009.
10. Ђорђевић, Б., Плескоњић Д. & Мачек Н. (2006). *Оперативни системи: концепти*. Београд: Виша електротехничка школа.
11. Howard M. & Lipner S. (2006). *The security development lifestyle*. Microsoft Press.
12. *InformIT*, www.informit.com, 15. 8. 2009.
13. *INsig2 d.o.o*., www.insig2.hr, 22. 5. 2009.
14. Jones, K. J., Shema, M. & Jonhson, B. C. (2003). *Антихакерски алати*. Чачак: Компјутер библиотека.
15. Manson, D., Carlin, A., Ramos, S., Gyger, A., Kaufman, M. & Treichelt, J. (2007). *Is the Open Way a Better Way? Digital forensic using Open Source Tools*, Proceedings HICSC'07 Hawai USA, IEEE.
16. McClure S., Scambray J., Kurtz, G. (2006). *Хакерске тајне: заштита мрежних система*. Београд: Микро књига.

17. Pastore, M. & Dulaney E.(2007). *Security* +. Miš d.o.o.
18. Плескоњић, Д., Ђорђевић, Б., Мачек, Н. & Царић, М. (2006). *Сигурност рачунарских мрежа*. Београд: Микро књига.
19. Ranđelović, D., Popović, B., Stefanović, M., Ranđelović, M. (2012). The use of visualization tools in the prevention of the money laundering. *Archibald Reiss Days*, 881–902. Beograd: Kriminalističko-policijska akademija i Fondacija Hans Zeidel.
20. Ranđelović, D., Bajagić, M., Carević, B. (2012). Internet u funkciji terorizma. *Zbornik radova „Suzbijanje kriminala i evropske integracije sa osvrtom na visokotehnoloski kriminal"*, 317–330. Banja Luka: Visoka skola unutrasnjih poslova i Fondacija Hans Zeidel.
21. Ranđelović, D., Popović, B. (2012). Primena alata vizualne analitike u rešavanju pojava korupcije i pranja novca kao komponenata visokotehnološkog kriminala. *Tematski zbornik radova međunarodnog značaja, Naučni skup „Borba protiv korupcije: Evropska dostignuća i Ukrajinska realnost"*, str. 170–175, Lwiw.
22. Ranđelović, D., Popović, B. (2011). Visual analytics tools and theirs application in social networks analysis. *TELFOR 2011*, pp. 1341–1343. Belgrade.
23. Ranđelović, D., Žolt, B., (2012). The Metasploit Framework tools and SIFT Workstation tool and theirs application in penetration testing of one information system. *International scientific conference on defensive technologies OTEH 2012*, pp. 485–491. Belgrade.
24. Ranđelović, D., Petrović, Lj., Popović, B. (2012). Jedna praktična realizacija Multifunkcionalnog antihakerskog alata, *Zbornik radova sa 20. međunarodnog telekomunikacionog foruma TELFOR '12*, str. 1508–1512. Beograd.
25. Ranđelović, D. (2011). Poređenje komercijalnih i nekomercijalnih alata digitalne forenzike i njihova upotreba. *Naucno-tehnička informacija*. Beograd: Vojnotehnički institut.
26. Ranđelović, D., Carević, B. (2012) Role of Iternet Crime Complaint Center in Protection human Rights in US. *Kultura polisa*, 2–2012, str. 373–390.
27. Ranđelović, D., Nikač, Ž., Stefanović, M. (2012). Softverski alati – vizuelajzeri i pranje novca kao oblik visokotehnološkog kriminala. *Poslovna ekonomija*, 2–2012.
28. Ranđelović, D., Stojkovic, D. (2012). Possibilities of use the Autopsy tool in forensic purpose. *NBP*, Vol. XXII, No. 3.
29. Ranđelović D., Đorđević V. (2011). A test sample application IDS open source and commercial source. *NBP*, Vol. XIX, No. *3*, pp. 45–65.
30. Ранђеловић, Д. (2010). Сигурност рачунарских мрежа као основе за повезаност полиције, безбедности и високотехнолошког криминала. *Тематски зборник „Полиција, безбедност и високотехнолопки криминал"*, стр. 133–174. Београд: Криминалистичко-полицијска академија.
31. Ranđelović, D., Bogdanović T. (2010). Application of some tools of digital forensics, *NBP*, *Vol. XV, No.2*, pp 25–47, Beograd.

32. *Stmik Akakom*, www.akakom.ac.id, 5. 6. 2009.
33. *Salty Brine Software*, www.saltybrine.com/hexdump32.htm, 20. 4. 2009.
34. *Sleuthkit*, www.sleuthkit.org, 12. 5. 2009.
35. Tanenbaum, A. (2005). *Рачунарске мреже*. Београд: Микро књига.
36. Tanenbaum, A. & Woodhull, A. (1997). *Operating System Design and Implementation*. CRC Press Inc.
37. Tanenbaum, A. (2001). *Modern Operating Systems*. Prentice Hall.
38. Урош, И. (2008). *Основи информатике*. Београд: Криминалистичко-полицијска академија.

РОБУСТАН МЕТОД АДАПТИВНОГ ПОБОЉШАЊА СЛИКЕ ОТИСКА ПРСТА

VI Глава

Бранкица Поповић
Криминалистичко-полицијска академија
Цара Душана 196, 11080 Београд

Сажетак: Побољшање слике отиска прста незаобилазан је део сваког аутоматског система препознавања заснованог на отисцима (АФИС). Међу доступним методама за обраду слике, усмерено филтрирање се показало изузетно успешним за ову класу слика. Због карактеристика слике отиска прста у фреквенцијском домену, природан и логичан избор за филтер био би дирекциони филтер пропусник опсега учестаности, подешен према локалним карактеристикама слике отиска. У овом раду предложен је робустан метод побољшања у фреквенцијском домену. Заснован је прво на појачању доминантних фреквенција (које одговарају браздама) а затим на дирекционом филтрирању Лог-Габоровим филтером, подешеним према контекстној информацији која је претходно добијена из слике отиска прста (оријентација и фреквенција бразда). Показана је успешност алгоритма на широком спектру тестираних слика, са јасним побољшањем структуре отиска и последично мањим бројем издвојених лажних минуција, чиме су перфомансе АФИС-а унапређене.

Кључне речи: биометријски системи, отисак прста, АФИС, побољшање, адаптивно филтрирање, фреквенцијски домен.

1. УВОД – БИОМЕТРИЈСКИ СИСТЕМИ

Аутентификација (потврђивање, верификација или утврђивање, идентификација) идентитета особе постаје све сложенији проблем у савременом друштву, који карактеришу интензиван технолошки развој, аутоматизација разних послова и услуга, као и постојање глобалне рачунарске мреже. Зато се као императив поставља услов да поступак аутентификације буде брз, поуздан, тежак за превару и, наравно, прихватљив за особу која му приступа. Методе засноване на нечему

што особа *зна* (*knowledge* – нпр. лозинка или PIN– *Personal Identification Number*), или што особа *има* (*possesion* – нпр. идентификациона картица), мада широко распрострањене, нису јако сигурне. Картице и лозинке се могу украсти или делити, штавише, немогуће је разликовати легитимног корисника од оног који је на нелегалан начин дошао у њихов посед. Зато је развијен трећи метод аутентификације заснован на нечему што особа *јесте* (*biomterics*). Биометријско препознавање (*biometric recognition*), или просто биометрија[13], може се дефинисати као наука о утврђивању идентитета особе на основу њених физичких и/или карактеристика понашања, на потпуно или делимично аутоматизован начин (Jain et al., 2011). Биометријски системи у фази препознавања могу да раде у режиму:

- *Верификације* – биометријска карактеристика се користи за потврђивање прокламованог идентитета тако што се пореди са шаблоном особе за коју се представља (1:1 поређење), који је претходно сачуван у бази. То је такозвано *позитивно препознавање*, чији је циљ да се спречи да више људи користи исти идентитет;
- *Идентификације* – систем утврђује идентитет особе тако што пореди њену биометријску карактеристику са свим шаблонима сачуваним у бази (1:N поређења). То се назива „негативно препознавање" и ту систем утврђује да ли је особа оно што имплицитно тврди да није. Циљ је да се спречи да једна особа користи више идентитета.

Мада се у биометријским круговима термин „аутентификација" често користи као синоним за верификацију, треба рећи да терминологија у области информационих технологија аутентификацију посматра као процес којим се систему представља идентитет корисника без обзира на режим рада (верификација или идентификација). У случајевима када режим рада није битан, користи се општи термин „препознавање" (*recognition*). Важно је нагласити да се методе засноване на знању и поседовању (*knowledge & possesion*) могу користити само за верификацију, док се за идентификацију, тј. негативно препознавање, може користити само биометрија. Упркос неким ограничењима (O'Gorman, 2002), евидентна предност биометрије у односу на традиционалне методе јесте и то што значајно смањује могућност порицања дела (*repudiation*) јер је неопрециво повезана са особом и не може се позајмити или украсти (бар не лако). Такође, биометријски системи су отпорнији на нападе (Prabhakar, Pankanti & Jain, 2003) и погоднији су за корисника који мора да памти и одржава велики број лозинки за различите апликације.

Међу свим биометријским карактеристикама које су у употреби, отисак прста је највише проучаван, коришћен (дуже од века је незаобилазан део идентификације у криминалистичким истрагама и другим пословима полицијских служби широм света) и сматра се једним од најпоузданијих метода аутентификације особе (Jain et al., 2011; Maltoni et al., 2003). Данас

13 „Термин 'биометријско препознавање' погоднији је од термина 'биометрија' јер се овај други, историјски гледано, користи у статистици у смислу анализе биолошких (посебно медицинских) података." (Jain, Ross & Nandakumar, 2011). У литератури која се бави поступком препознавања, као и у овом раду, та два термина се користе као синоними који означавају биометријско препознавање.

се аутоматски системи идентификације који су засновани на отисцима (*Automatic Fingerprint Identification System*, АФИС) користе и у многим другим областима, у државном (идентификациона документа, контрола граница и др.) и комерцијалном сектору (контрола приступа, АТМ и кредитне картице, електронска трговина и сл.). Сам поступак може се поделити у неколико фаза: формирање слике отиска прста, њена обрада, класификација, издвајање карактеристичних детаља и, на крају, поређење. Упркос интензивном развоју, још увек постоје отворена питања о поступку аутоматског препознавања преко отиска прста, као што су:

- Губитак информације при конверзији тродимензионалног прста у дводимензионалну слику отиска;
- Услед повреда на отиску, различитог положаја прста на сензору, притиска на сензор и сл., имамо различите слике отиска у различитим тренуцима узимања. Велики је изазов за алгоритам за издвајање карактеристика да то уради поуздано и робусно ради минимизације појаве лажних, али и изостављања правих карактеристика. Такође је неопходно имати протокол којим би се освежио (обновио) шаблон сачуван у бази;
- Уколико је слика отиска лошег квалитета, морају се применити алгоритми за њено побољшање. Јако је тешко направити алгоритам за побољшање који ће бити робустан на све облике појаве шума и сметњи, штавише, неодговарајући алгоритам може довести до даље деградације слике и до појаве нежељених грешака;
- Нова генерација сензора који се укључују у различите системе, као што су лаптоп, миш, мобилни телефон и сл., има малу контактну област, хвата мали регион отиска, па се због недовољног броја издвојених карактеристика често јавља грешка при поређењу;
- Техника поређења развијена за један сензор често не ради код слика отиска добијених другим сензором. Тај недостатак међуоперабилности (*inter-operability*) ограничава поређење.

Истраживања везана за побољшање карактеристика и перфомански АФИС-а иду у два правца: побољшање хардвера, пре свега сензора, како би давали слику доброг квалитета, и истраживање софтвера, фокусирано на унапређење алгоритама за поуздано издвајање карактеристика и њихово поређење.

Циљ нашег истраживања био је решавање проблема побољшања квалитета слике отиска прста како би се омогућило смањење броја издвојених лажних минуција и последично повећала тачност препознавања самог система. За поправку квалитета слике отиска прста предложен је нови поступак адаптивног филтрирања у Фуријеовом (*Fourier*) домену, који је показао робусност и добре резултате чак и код слика изузетно лошег квалитета. Ради добијања контекстних параметара, потребних за адаптивно филтрирање, коришћен је нови мултискални метод одређивања оријентационе слике, који је показао боље перформансе у односу на широко распрострањени конвенционални градијентни метод.

Сама материја је организована у пет поглавља. Након увода, у другом поглављу укратко је објашњено препознавање засновано на отисцима прстију: од историјата употребе отисака, анализе њихове структуре и представљања у АФИС-у. У трећем поглављу, након прегледа и анализе постојећих метода одређивања оријентационе слике, представљен је нови мултискални метод заснован на израчунавању градијената и ПЦА анализи (*Principal Component Analysis*). Тако добијена оријентациона слика користи се у адаптивном поступку поправке квалитета слике отиска прста у Фуријеовом домену, који је објашњен у четвртом поглављу. Предложен је нови поступак, заснован на примени Лог-Габоровог филтера, и приказани су резултати добијени на референтном узорку слика отисака прста из тестираних база. На крају је дат закључак и предочене су могућности даљег истраживања у овој области.

2. СИСТЕМИ ЗА ПРЕПОЗНАВАЊЕ ЗАСНОВАНИ НА ОТИСКУ ПРСТА

2.1. Историјат употребе отисака

Човек је веома рано открио интересантне цртеже на својим рукама, о чему сведоче многи археолошки налази стари и по више хиљада година. Има и много доказа да су источни и далекоисточни народи отисак прста користили за оверавање разних докумената, а у староегипатском језику реч „печат“ иста је са речју „прст“ (Maltoni et al., 2003, Cummins & Midlo, 1961).

Први научни рад у коме је дата системска студија структуре папиларних линија објављен је 1684. године (Jain et al., 2011). Професор Јоханес Евангелист Пуркиње (Johannes Evangelist Purkinje) објавио је 1823. године опис девет различитих класа отисака прста. Као британски гувернер у Индији, Вилијам Хершел (William Herschel) први је, 1858. године, на бројној основи увео отисак целог длана за оверу уговора са локалним становништвом. Мада му је циљ био да одврати становништво од фалсификовања потписа, брзо је увидео потенцијал употребе отиска прста као средства идентификације, чијим испитивањем се касније бавио дуги низ година. Отприлике у исто време др Хенри Фолдс (Henry Faulds) направио је анализу отиска и дискутовао о њему као средству за идентификацију. Он је објаснио и технику мастила за добијање слике отиска. Енглески лекар сер Франсис Галтон (Sir Francis Galton) сматра се родоначелником употребе минуција (још се зову и Галтонови детаљи) као карактеристика за поређење и први је направио анализу јединствености и постојаности отиска прста (Jain et al., 2011). За разлику од њега, виши полицијски службеник у Лондону, Едвард Хенри (Edward Henry), испитивао је глобалну структуру отиска прста и развио метод класификације у пет основних класа (Хенријев систем) (Yager & Amin, 2004). У исто време шеф идентификационог бироа полиције у Буенос Ајресу Иван Вучетић (Juan Vucetich) израђује свој систем класификације. Оба система су и да-

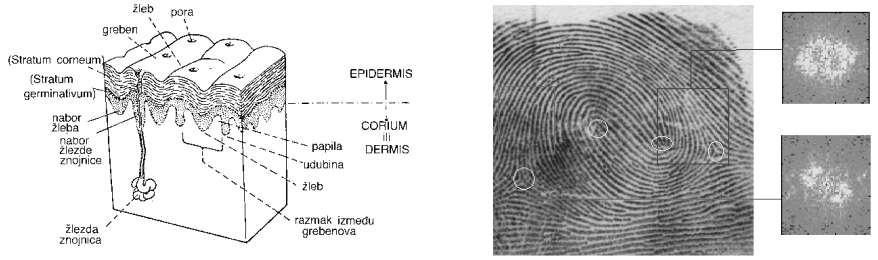
нас у употреби. У Београду је дактилоскопија уведена 1911. године и у употреби је Вучетићев систем класификације (Митровић, 1990).

Од почетка 20. века у раду полицијских служби широм света у потпуности се одбацује регистрација антропометријских мера (као што су дужина руке, величина главе и сл.) и за поступак идентификације званично уводи отисак прста. Откривена је и изванредна особина отиска прста: кадгод прст дође у контакт са неком површином, на њој остаје слика отиска (траг – *latent*). То је имало пресудну улогу за употребу отисака у криминалистичким истрагама.

Са порастом броја записа отисака прстију у базама широм света, раних шездесетих година 20. века, започела су истраживања на развоју аутоматског система за идентификацију преко отисака, АФИС-а (Trauring, 1963). Данас једну од највећих аутоматизованих база отисака на свету поседује ФБИ (*Federal Burou of Investigation*). Они у свом интегрисаном систему ИАФИС (*Integrated AFIS*) тренутно имају више од 80 милиона регистрованих лица (из полицијских и цивилних апликација заједно), укључујући и више од 70.000 осумњичених терориста (FBI, 2006). Са појавом *live-scan* технологије, која омогућава добијање слике отиска без употребе мастила, дошло је до наглог развоја и употребе АФИС-а у низу нових апликација, примењивих у разним областима људског живота и рада (Popović, Ranđelović & Banđur, 2011; Popović, Ranđelović & Banđur, 2012).

2.2. Основне карактеристике отиска прста

Кожа на длановима, табанима и прстима руку и ногу је набрана и садржи на себи структуру папиларних линија (бразде, гребени), раздвојених жлебовима (долине). Оне се појављују у феталном развоју. Потпуно се формирају до 21. недеље трудноће и њихова структура остаје непромењена током целог живота (Cummins & Midlo, 1961). Анатомска константност, непроменљивост током живота, и индивидуална варијација за сваку особу, омогућују да се употребљавају за утврђивање идентитета, јер се разликују чак и код монозиготних близанаца, упркос високом степену корелације дерматоглифских особина (Jain, Prabhakar & Pankanti, 2002).



(а) (б)

Слика 1: *(а) Пресек коже са папиларним линијама, (б) Слика отиска прста са означеним регионима сингуларитета (жута боја) и минуција (зелена боја) као и фреквенцијским спектром локалног региона*

Подручје коже са папиларним линијама нема длака нити жлезда лојница, али има много жлезда знојница, чији се изводни канали отварају уздуж гребена као што је приказано на слици 1(а). Преко њих се на површину лучи зној, што папиларну линију чини стално влажном тако да сваки додир прста са глатком површином на истој оставља траг који је верна копија отиска. Траг на неравној површини постоји, али је јако деформисан. Сама структура отиска (приказана на слици 1(б)) може се анализирати на три различита нивоа (Jain, Chen & Demirkus, 2007):

- Први ниво (*level 1 detail*) представља глобалну структуру која се односи на шему простирања папиларних линија, која омогућава да се отисак сврста у једну од неколико (најчешће пет) познатих класа. То подразумева израчунавање оријентационе (дирекционе) и фреквенцијске слике, које представљају локалну оријентацију и фреквенцију бразда у сваком пикселу респективно, као и позиције сингуларних тачака. Дискриминаторна способност овакве структуре је ограничена;
- Други ниво структуре (*level 2 detail*) појављује се у малим областима на отиску, на самим папиларним линијама. Дисконтинуитет (нерегуларност) на њима представља локалне карактеристичне детаље, назване минуцијама (*minutiae*). Оне немају утицај на глобалну структуру, али њихов број, положај и тип (крај, рачва, тачка, острво, укрштање, мост...) у значајној мери одређују јединственост отиска. Због тога се сматрају најважнијим дискриминаторним карактеристикама отиска. Користе их стручњаци, а у употреби су и у аутоматским системима за идентификацију. Напоменимо само да се по ANSI/NIST стандарду у АФИС-у користе само два типа минуција и то крај линије (када се ток бразде нагло заврши) и рачва (када се ток наставља у два правца) (ANSI, 2007). Већина алгоритама за поређење чак не прави разлику између та два типа минуција, пошто се лако може десити њихова замена током аквизиције. Типичан отисак садржи око 80 минуција, али се у биометријским системима због величине сензора често издваја знатно мање;
- Трећи ниво (*level 3 detail*) укључује детаље унутар бразда – поре. Њих понекад користе стручњаци приликом поређења, али су ретке у аутоматским системима зато што њихово издвајање захтева високу резолуцију скенирања.

Поред високе тачности и прихватљивости од стране корисника, отисак прста има још неколико предности у односу на друге биометријске карактеристике:

- Висока универзалност: већина популације (90%) има читљиве отиске и стога се може лако аутентификовати (Maltoni et al., 2003);
- Висок степен различитости (непоновљивост): до сада у свету није забележен случај поклапања отисака два различита човека (Pankanti, Prabhajar & Jain, 2002). Чак и идентични близанци, који имају исту ДНК, имају различите отиске прста (Jain et al., 2002). То отиске чини јачим механизмом за аутентификацију од ДНК;

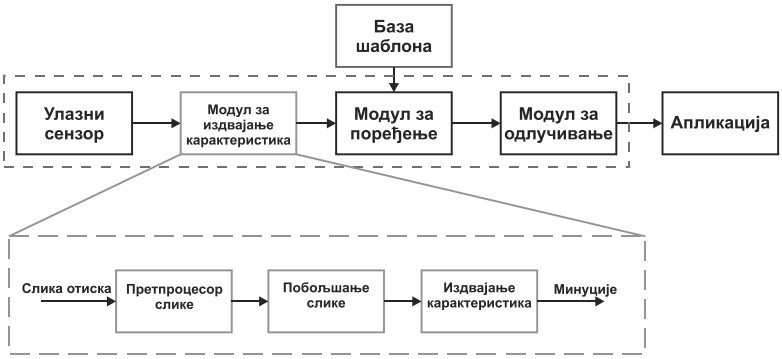
- Висока постојаност (непроменљивост): односи се на изглед цртежа, као и број и распореда карактеристка на њему, а не на његову величину;
- Преносивост: слика отиска може се вишеструко понављати (изазивати) са свим својим детаљима. Она остаје као траг на свим површинама које је прст дотакао, што је пресудно утицало на методе криминалистичких истрага;
- Лако прикупљање, поготово од појаве различитих сензора високе резолуције који раде у реалном времену;
- Тешко их је преварити: у комбинацији са криптографским техникама, ове системе је практично немогуће преварити (Поповић, Ранђеловић, Банђур, 2010). Идентификован је велики број могућих напада и заштитних мера (Uludag & Jain, 2004, Bolle, Connell & Ratha, 2002).

2.3. Аутоматски системи за препознавање преко отисака

Најважнија одлука током дизајна АФИС-а је репрезентација отиска прста – избор одговарајућег начина његовог чувања у шаблону и поређења. Пожељно је да то буде компактан и ефикасан начин, који ће очувати дискриминативност отисака. Та репрезентација умногоме одређује тачност и скалабилност система. Може се ићи на чување и поређење саме (сиве) слике отиска (*image-based*) (Roberge, Soutar & Kumar, 1999). Алтернатива је да се чувају само издвојене карактеристике (*feature-based*). Други приступ је доминантан, а његова предност је што се претпроцесирање и издвајање карактеристика обављају само једном и чува се само скуп карактеристика који се користи за поређење. Мана је то што би, у случају увођења алгоритма који ће користити неку додатну информацију из отиска, отисак морао поново да се узима, а то у случају криминалистичких апликација није увек могуће. Зато форензички АФИС-и, иако раде на принципу поређења издвојених карактеристика, увек чувају и оригиналну сиву слику отиска прста.

Већина постојећих АФИС-а заснива се на поређењу минуција, на којем се заснива и визуелно упоређивање које врше стручњаци (Maltoni et al., 2003, Popović & Popović, 2000). Сваку минуцију можемо описати атрибутима као што су њена локација (x, y), оријентација (θ) и тип. Већина алгоритама разматра само локацију и оријентацију (ANSI, 2007). Међутим, ту су и нека ограничења. Минуције је тешко издвојити и непоуздане су код слика лошег квалитета. Слободно можемо рећи да перфомансе АФИС-а директно зависе од квалитета слике отиска. Деградација квалитета последица је многих фактора: карактеристика сензора (поузданост, резолуција, шум, чистоћа итд.), утицаја околине (осветљење, температура, влажност), интеракције корисник–уређај, притиска на сензор, али и физичких повреда прста, набора и ожиљака. Та деградација се може елиминисати, или бар ублажити, избором одговарајућих поступка побољшања, који углавном користе контекстну информацију (информацију о усмерености бразда и њиховој фреквенцији у локалном суседству), добијену из слике отиска прста.

Типичан биометријски систем за препознавање преко отиска приказан је на слици 2. Након аквизиције у модулу за издвајање карактеристика, разликују се следеће фазе:



Слика 2: *Шема АФИС-а*

Претпроцесирање: састоји се од стандардних алгоритама за обраду слике као што су елиминација шума и изглађивање. Ипак, треба рећи да за разлику од обичних слика, слика отиска представља оријентисану текстуру и у себи носи врло богату структурну информацију. Штавише, дефиниција шума и нежељених грешака је такође специфична за отиске. Овде се може урадити и сегментација, којом се издваја део који садржи структуру бразда (*foreground*) од позадине (*background*). Уколико би се у фазама које следе обрађивала и позадина, то би довело до проблема, како код побољшања тако и код издвајања минуција.

Поправка квалитета (побољшање) слике отиска. Ови алгоритми су специфично пројектовани да искористе периодичну и усмерену природу бразда и неопходни су код слика отиска лошег квалитета.

Издвајање карактеристика. Већина АФИС-а користи минуције као карактеристике које се издвајају и касније пореде. Постоје различити алгоритми за издвајање минуција и генерално се деле на оне који то раде директно из побољшане слике отиска и оне који то раде из бинаризоване стањене слике отиска. За све алгоритме је, међутим, неопходан метод за верификацију и филтрирање минуција.

3. ОРИЈЕНТАЦИОНА СЛИКА ОТИСКА ПРСТА

Шема простирања папиларних линија одређена је информацијом о њиховој усмерености (оријентациона или дирекциона слика) и информацијом о њиховом међусобном растојању (фреквенијска слика). На слици отиска прста могу се пронаћи скоро све оријентације и оне се израчунавају појединачно за свако локално суседство, за разлику од фреквенције, која се може сматрати скоро константном. Наиме показано

је да младићи у просеку имају 20,7, а девојке 23,4 линије по центиметру (Jain et al., 2011).

Усмереност бразда у дводимензионалном простору може се представити на два начина. Први начин је помоћу јединичног вектора, који формира угао θ са осом *x*, који се назива „дирекција" (*direction*) вектора и налази се у интервалу $[0,2\pi)$. Алтернативни начин је да се бразда третира као неоријентисана линија. У том случају се угао θ назива „оријентација" (*orientation*) линије и налази се у интервалу $[0,\pi)$. Тај други приступ је често кориснији у анализи отисака. У литератури која се бави анализом отисака, као и у овом раду, оба појма (дирекција и оријентација) се користе као синоними при означавању оријентације бразде.

Оријентациона слика садржи, у форми матрице, информацију о локалној оријентацији бразда у сваком пикселу. Она се (изузев у регионима сингуларитета и регионима у којима постоји шум) врло споро мења и може се сматрати константном у локалном суседству. Нашла је своју примену у скоро свим сегментима АФИС-а: од сегментације (Zhu, Yin, Hu & Zhang, 2006) и адаптивног побољшања квалитета слике отиска (Chikkerur, Cartwright & Govindaraju, 2007, Hong, Wan & Jain, 1998; Sherlock, 2004), преко детекције сингуларних тачака (Wang, Li & Niu, 2007; Bazen & Gerez, 2002) и класификације (Karu & Jain, 1996; Li, Yau & Wang, 2008), до елиминације лажних минуција и поређења (Hung, 1993; Ratha, Chen & Jain, 1995; Yager & Amin, 2004).

У литератури је предложен већи број поступака за одређивање оријентационе слике. Они користе приступе засноване на: конволуционим маскама (Hung, 1993; Karu & Jain, 1996; Popović & Popović, 1997), градијентима (Bazen & Gerez, 2002; Kass & Witkin, 1987; Mei, Sun & Xia, 2009; Wang, Hu & Han, 2007; Zju et al., 2006) и моделовању (Zhou & Gu, 2004; Wang, Hu & Phillips, 2007; Huckemann, Hotz & Munk, 2008).

Технике из прве групе су мање осетљиве на шум и врло брзе. Недостатак је то што, због ослањања на фиксни број оријентација (углавном се квантизује на осам вредности), резултат није врло прецизан. Код трећег приступа, који је заснован на моделовању, неопходно је унапред знати положај и тип сингуларитета на слици отиска прста како би се прилагодили параметри модела за одређивање оријентације. То значи да је за те методе на почетку потребна груба процена оријентационог поља помоћу неког од прва два наведена приступа. Како већина модерних система захтева већу прецизност, данас се за одређивање оријентације углавном користе градијентне технике.

3.1. Методе одређивања оријентационе слике засноване на градијенту

Код слике отиска прста градијенти би показивали од центра бразде ка њеним ивицама и то би био правац највеће промене интензитета осветљаја у пикселима у тој области. Оријентација бразда у тој области биће нормална на угао усредњеног градијентог вектора $\left[\overline{G_{s,x}G_{s,y}}\right]^T$ (не ради

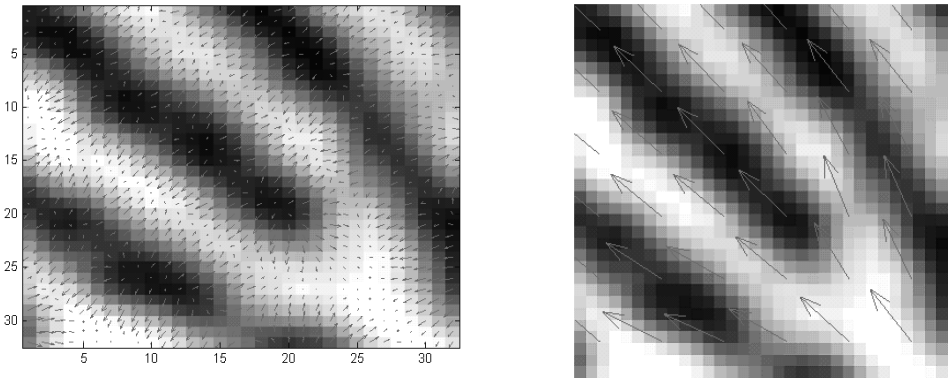
се аритметичко већ векторско усредњавање), који се у блоку димензија W рачуна као (Jain et al., 2011):

$$\left[\frac{\overline{G_{s,x}}}{G_{s,y}}\right]=\left[\frac{\sum_W G_x^2-G_y^2}{\sum_W 2G_xG_y}\right]. \tag{3.1}$$

'Конвенционални' метод, заснован на градијенту (Kass & Witkin, 1987) и прихваћен од стране многих истраживача (Ratha et al., 1995; Hong et al., 1998; Zhu et al., 2006), подразумева да се улазна слика подели на непреклапајуће блокове димензија $W\times W$ у којима се независно ради усредњавање израчунатих градијената, а локална оријентација рачуна као:

$$\Phi=\frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{\sum_W 2G_xG_y}{\sum_W G_x^2-G_y^2}\right)+\frac{\pi}{2}, G_x, G_y\neq 0 \tag{3.2}$$

Како је градијент осетљив на шум, мора се применити додатно изглађивање (нископропусно филтрирање), како би се кориговале нетачно израчунате вредности. Резултат примене 'конвенционалног' градијентног поступка приказан је на слици 3.



Слика 3: *Издвојени део слике отиска прста са приказаним а) градијентним векторима и б) оријентационом сликом добијеном градијентном методом*

Представљен је и математички еквивалентан градијентни метод заснован на ПЦА (*Principal Component Analysis*) (Bazen & Gerez, 2002). Анализа се примењује на аутоковаријансну матрицу $\mathbf{C}$ градијентног вектора, дату као:

$$C=\begin{bmatrix}G_{\boldsymbol{x}\boldsymbol{x}} & G_{\boldsymbol{x}\boldsymbol{y}}\\ G_{\boldsymbol{y}\boldsymbol{x}} & G_{\boldsymbol{y}\boldsymbol{y}}\end{bmatrix}=\sum_W\begin{bmatrix}G_x^2 & G_xG_y\\ G_xG_y & G_y^2\end{bmatrix} \tag{3.3}$$

Оријентација у пикселу је представљена крајњом осом, као дирекција сопственог вектора (*eigenvector*) v_2, који припада мањој сопственој вред-

ности (*eigenvalue*) λ_2 . Јачина *Str* (*strenght*) оријентације дефинисана је као функција две сопствене вредности, еквивалентна је кохеренцији, као мери конзистенције оријентације градијената у локалном суседству:

$$Str = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

$$v_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}\left(G_{xx} - G_{yy}\right) - \frac{1}{2}\sqrt{\left(G_{xx} - G_{yy}\right)^2 + 4G_{xy}^2} \\ G_{xy} \end{bmatrix}$$

$$Str = Coh = \frac{\sqrt{\left(G_{xx} - G_{yy}\right)^2 + 4G_{xy}^2}}{G_{xx} + G_{yy}} \tag{3.4}$$

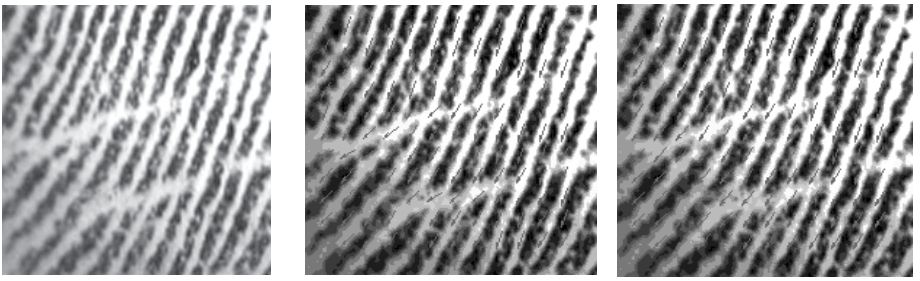
3.2. Мултискално одређивање оријентационе слике

Иако прецизни, методи засновани на градијенту имају и ограничења. Главни недостатак је велика осетљивост на шум (нпр. суви/влажни прсти, замрљаност и сл.), а непрецизне оријентације се добијају и у регионима где долази до прекида папиларних линија (посекотине, ожиљци, набори и сл.), као што је приказано на слици 4(б).

Изглађивање оријентационе слике (филтрирање нископропусним филтером – један облик редукције скале) може побољшати одређивање оријентације у регионима шума (Bazen & Gerez, 2002). При томе се мора имати на уму да филтер треба да буде довољно велики како би се успешно елиминисао шум, а опет довољно мали да не резултира губитком локализације израчунате оријентације. Зато је могуће да за изглађивање уместо једног нископропусног филтера буду потребни филтери различитих димензија (мањи у области високе закривљености бразда, већи у регионима где су бразде скоро паралелне). Механизам који то може да обезбеди је мултискални модел који на ефикасан начин комбинује информације са различитих скала. У литератури се могу наћи различити приступи.

Један приступ заснива се на изглађивању оријентације засновано на мери конзистенције оријентације (*consistency-based*) (O'Gorman & Nickerson, 1989; Jain, Hong & Bolle, 1997; Mei et al., 2009). Џин и Ким (Jin & Kim, 2010) су предложили мултискално одређивање оријентационе слике засновано на *Gaussian* филтеру, где се филтрирање ради на три скале са три филтера различитих величина (σ_1, σ_2 и σ_3 за филтрирање слике, градијента у блоку и оријентационог поља, респективно). Метод је сличан методи заснованој на ПЦА (Bazen & Gerez, 2002) пошто се добија оријентационо поље на нивоу пиксела, али укључује мултискално нископропусно филтрирање на три различите скале. Вилсон и сарадници (Wilson, Clippindale & Bhalerao, 1990) предложили су мултискално одређивање оријентације које користи линеарну комбинацију за пропагацију прорачуна са једне скале на другу. Неки аутори кори-

сте мултискални метод одређивања оријентационог поља код којег се филтрирање прилагођава локалној закривљености (Bazen, Bouman & Veldhuis, 2004, Popović & Mašković, 2007, Popović, Mašković & Banđur, 2007, Popović, Banđur & Stojanović, 2008). Традиционално, *Gaussian* прозор за филтрирање са $\sigma = 5$ за поступак изглађивања сасвим добро одређује оријентације око сингуларних тачака, али у регионима посекотина прати њихов правац. Са $\sigma = 20$ добија се права оријентација бразда у регионима ожиљака, али се губи око сингуларних тачака (примећено је да се центар помера навише). Зато се комбинују различите вредности за σ. Поступак је следећи: прво се одређује оријентационо поље; затим рачунају сингуларне тачке; опет се рачуна оријентација коришћењем веће скале $\sigma = 20$, а у областима сингуларних тачака користи се мања скала $\sigma = 5$ Резултат овог поступка приказан је на слици 4(в).

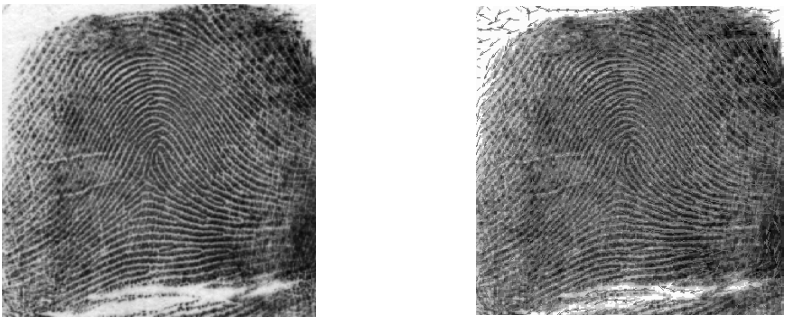


(а) (б) (в)

Слика 4: *(а) Део оригиналне слике отиска прста и оријентациона слика добијена (б) конвенционалним градијентним методом, (в) мултискалном методом*

3.3. Предложени алгоритам мултискалног одређивања оријентационе слике

Алгоритам који ми предлажемо такође је заснован на ПЦА (Bazen & Gerez, 2002). Резултат њене примене на слику отиска прста (формула 3.4) приказан је на слици 5, где је уочљиво да израчунате оријентације нису прецизне у областима са шумом.



Слика 5: *Оригинална слика отиска прста и оријентациона мапа добијена ПЦА методом нацртана преко ње*

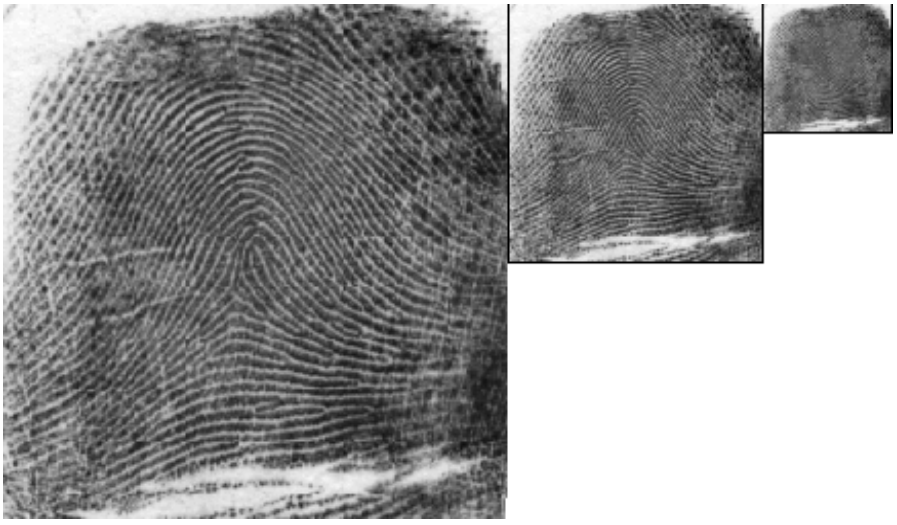
Како бисмо повећали тачност израчунате оријентације, предлажемо мултискални модел који је заснован на пирамидалној декомпозицији слике отиска прста.

3.3.1. Пирамидално израчунавање

Пирамида слике дефинисана је као скуп копија оригиналне слике у којима се смањује резолуција као што је приказано на слици 6. Доњи ниво пирамиде је оригинална слика (G_0), а сваки следећи ниво пирамиде G_l добијамо тако што се претходни ниво филтрира нископропусним филтером и изврши се узорковање са фактором 2:

$$G_l(i,j) = \sum_m \sum_n w(m,n) G_{l-1}(2i+m, 2j+n) \tag{3.5}$$

где је $0 < l < N$, N укупан број нивоа у пирамиди, а $w(m,n)$ тежинска функција нископропусног филтера. Пошто је наш циљ да смањимо ефекат шума, бирамо *Gaussian* нископропусни филтер (правимо *Gaussian*, а не *Laplacian* пирамиду) (Gonzalez, Woods & Eddins, 2004).



Слика 6: *Пример пирамиде слике отиска из наше базе*

Предложено мултискално израчунавање оријентационе слике извршава се кроз три главна корака (Popović, Banđur, Raičević & Ranđelović, 2012), приказана на слици 7:

1) Формирање пирамиде:

– Пирамида слике: од оригиналне слике, понављањем поступка нископропусно филтрирање/узорковање да би се добила *Gaussian* пирамида слике, а онда рачунање градијената на сваком нивоу;

– Пирамида градијената: израчунају се градијенти прво на оригиналној слици, па се прави њихова пирамида. Ова је опција рачунски мање

захтевна, а како даје сличне резултате, то је пирамида коју формирамо у нашем мултискалном приступу.

2) Израчунавање оријентације: на сваком нивоу слика се подели на блокове (који се преклапају или не) у којима се локална оријентација израчуна помоћу ПЦА методе.
3) Пренос (пропагација) израчунате вредности оријентације са мање скале (резолуције) на већу, комбиновањем вредности са различитих нивоа, како би се добила коначна мапа оријентација.

Један начин (најдиректнији) за пропагацију вредности са различитих нивоа је линеарна комбинација (Feng & Milinfar, 2002), дата као:

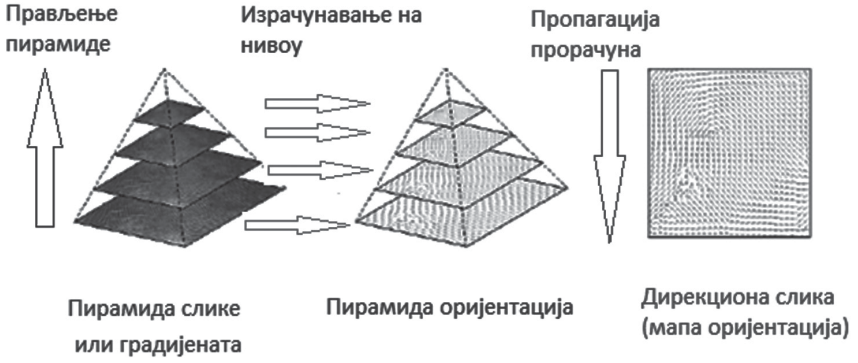
$$\hat{\theta}_n = k[n]\theta_{\downarrow n} + (1 - k[n])\theta_n \tag{3.6}$$

где је θ_n израчуната мапа оријентација на текућем нивоу, $\theta_{\downarrow n}$ израчуната мапа на родитељском нивоу (са мањом резолуцијом), $k[n]$ тежински фактор пропагације, а θ_n резултујућа израчуната оријентација за текући ниво. Уобичајени критеријум за избор тежинског фактора $k[n]$ јесте да се тражи минимум варијансе (*Minimum Variance Estimation*) резултујуће вредности:

$$k[n] \approx \frac{\sigma_{\downarrow n}^2}{\sigma_n^2 + \sigma_{\downarrow n}^2} \tag{3.7}$$

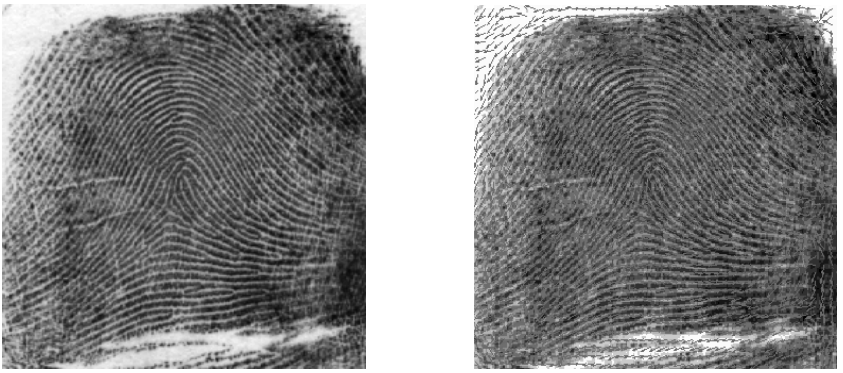
гдесу σ_n^2 и $\sigma_{\downarrow n}^2$ израчунатеваријансеоријентацијанатекућемиродитељском нивоу респективно. Како је израчунавање варијансе оријентационих углова рачунски захтеван задатак, додатним упрошћавањем уз коришћење мере доминантне оријентације *Str* (једначина 3.23) долазимо до формуле за тежински фактор пропагације:

$$k[n] \approx \frac{Str_n}{Str_n + Str_{\downarrow n}} \tag{3.8}$$



Слика 7: *Мултискални приступ израчунавања оријентације*

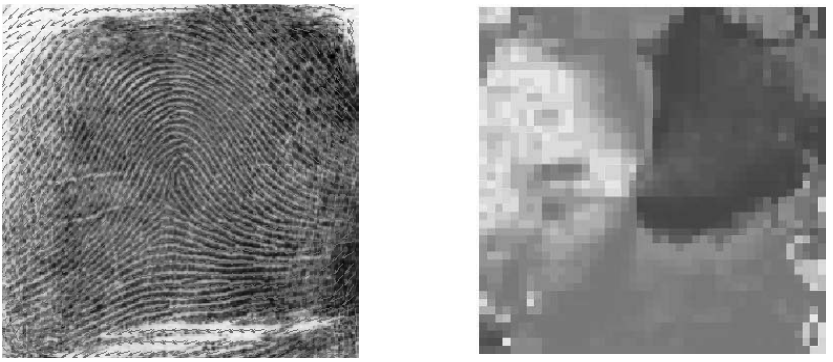
Резултат је робусно и рачунски ефикасно израчунавање оријентације, чији је конкретан пример приказан на слици 8. Коришћен је прозор исте величине као у случају израчунавања оријентације на једном нивоу (слика 5), али видимо да мултискални метод даје изглађенију мапу оријентација.



Слика 8: *Оријентациона слика добијена мултискалним приступом са тежинским фактором пропагације* $k[n]$

3.3.2. Мултискални модел са преклапањем блокова

Проблем који се јавља код мултискалног приступа је блоковски ефекат, који као такав постоји у већини метода заснованих на процесирању у блоку. Пошто се код мултискалног приступа комбинује информација са финијег нивоа са већим блоком, тај ефекат је још уочљивији. Једноставан начин за његово елиминисање је просторно изглађивање добијене вредности. Оно ће, међутим, проузроковти смањење резолуције израчунавања. Други, бољи начин за решење блоковског проблема је употреба блокова који се преклапају (Gonzales et al., 2004), што је приказано на слици 9.



Слика 9: *Оријентациона слика и мапа углова оријентације код мултискалног приступа са преклапањем блокова*

Видимо да комбинација ПЦА и мултискалне шеме чини предложени метод веома робусним на шум. Друга битна карактеристика предложене

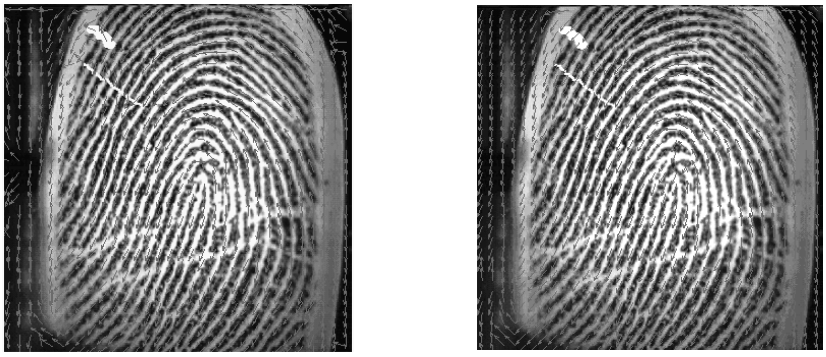
методе је аутоматско прилагођавање одређивања резолуције и поузданости, што значи да у деловима слике где је однос сигнал–шум мали, алгоритам користи веће блокове у поступку израчунавања, док се код делова где је он велики користе мањи блокови, чиме се постиже већа поузданост. Резултат примене предложеног алгоритма на слику из базе (Biometric System Lab, 1999) дат је на слици 10. При томе је у оба случаја коришћен блок величине 16 са преклапањем од 8. Добијени резултати се боље виде на увеличаном делу слике, који садржи вештачки убачене прекиде бразда различитих ширина (слика 11).

4. ПОПРАВКА КВАЛИТЕТА (ПОБОЉШАЊЕ) СЛИКЕ ОТИСКА ПРСТА

4.1. Методе за побољшање слике отиска прста

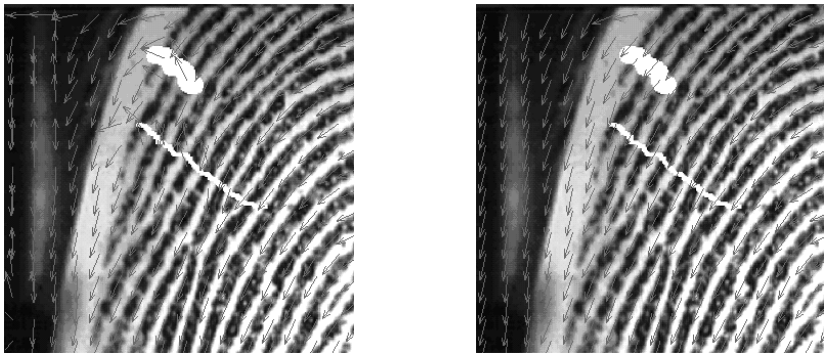
Као што је већ наглашено, критичан корак за тачност АФИС-а је поуздано издвајање карактеристика (углавном минуција) из улазне слике отиска прста, које у великој мери зависи од квалитета улазне слике отиска, што доводи до низа проблема: издваја се значајан број лажних минуција, значајан број правих минуција може бити изостављен (занемарен), а може доћи и до грешке у одређивању положаја, оријентације и типа издвојених минуција.

Зато се пре самог поступка издвајања минуција мора применити неки поступак за побољшање слике отиска прста. За то се користи комбинација метода за поправку квалитета и рестаурацију оригиналне слике. Као резултат се очекује додатно истакнута структура бразда уз максимално могућу елиминацију шума из слике које би олакшало издвајање минуција, а да при томе сам поступак не резултира лажним структурама бразда (Ailisto, Lindholm & Tikkanen, 2003; Maltoni et al., 2003).



(а) (б)

Слика 10: *Оријентациона слика приказана преко оригиналне слике отиска прста за: (а) једну скалу и (б) мултискални приступ*



(а) (б)

Слика 11: *Увеличани део слике отиска прста са приказаном оријентационом сликом израчунатом (а) на једној скали и (б) мултискално*

У ту сврху могу се користити разни алгоритми који или третирају сваки пиксел слике независно од околине (манипулација контрастом и еквилизација хистограма), или у обради користе и локално суседство сваког пиксела (линеарно филтрирање у просторном или фреквенцијском домену, нелинеарно филтрирање, хомоморфно филтрирање, адаптивно филтрирање и сл.) (Gonzales et al., 2004). Побољшање се може извести на бинарној слици или на сивој слици отиска, у просторном или фреквенцијском домену.

Када се ради о појединачној слици отиска, нпр. трагу нађеном на месту извршења кривичног дела, може се применити било која од многих дигиталних техника и филтера, који се могу комбиновати и прилагођавати за конкретан случај. Међутим, у случају дигитализације велике базе отисака добијених методом мастила за употребу у АФИС-у, у сам аутоматски процес издвајања минуција и прављења шаблона човек (стручњак) ретко интервенише, што последично значи да примењени метод побољшања мора бити робустан и примењив на широк спектар улазних слика. Између различитих техника побољшања, због саме структуре отиска (бразде имају одређену фреквенцију и оријентацију), употреба контекстних (дирекционих) филтера представља логичан избор, а цео поступак филтрирања назива се адаптивним. Главна мана таквог приступа је непоуздано одређивање контекстне информације у областима слике лошег квалитета. Развој нових алгоритама и процесорске моћи савремених рачунарских система омогућило је да се побољшање може ефикасно извести не само у просторном (Çavuşoğlu & Görgünoğlu, 2008; Yang, Park & Hitchcock, 2008), већ и у фреквенцијском домену (Chikkerur et al., 2007; Kamei, 2004; Raicevic & Popovic, 2009; Willis & Myers, 2001), а целу једну посебну групу чине истраживања везана за Габорове филтере (Hong et al., 1998; Yang, Liu, Jiang & Fan, 2003; Zhang, Tang & You, 2004). Општи је закључак да је за истицање структуре отиска најбоље користити филтрирање у складу са информацијом о простирању папиларних линија, тј. оријентационом (дирекционом) сликом.

У наставку након прегледа постојећих техника за побољшање слике отиска прста представљен је нови, робустан алгоритам који ради у фреквенијском домену. Он је заснован прво на појачању доминантне фреквенције (редукција шума), а затим примени одговарајуће дирекционог филтера. Метод се показао ефикасним, како за слике узете методом мастила, тако и за оне добијене директним скенирањем оптичким скенером.

4.2. Поступак побољшања слике отиска прста

Поступак побољшања слике отиска прста обично се изводи у две фазе:

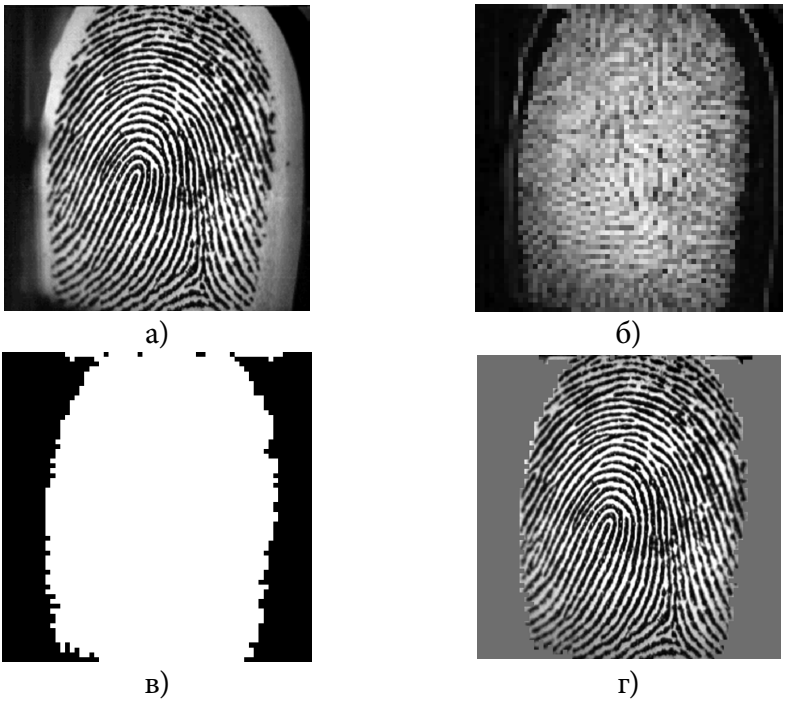
- слика се анализира у локалном суседству да би се прорачунали атрибути структуре отиска као што су ширина бразда, њихово растојање и оријентација, закривљеност, квалитет слике и постојање шума;
- на основу тих локалних карактеристика направи се скуп контекстних (усмерених) филтера да би се побољшала структура бразда и елиминисао шум.

Типични кораци у поступку побољшања слике отиска који ће у наставку бити укратко објашњени су: сегментација улазне слике, нормализација улазне слике,; израчунавање локалне оријентације и фреквенције и дирекционо филтрирање (Popovic, Banđur & Raicevic, 2010).

4.2.1. Сегментација

Слика отиска се састоји од корисног дела са структуром бразда, који потиче од контакта врха прста са сензором (*foreground*) и позадине која не садржи корисну информацију (*background*). Задатак алгоритама за сегментацију је да раздвоји та два дела, што за последицу има знатно смањење броја рачунских операција, као и издвојених лажних минуција.

На слици отиска прста у регионима позадине обично имамо малу варијансу интензитета осветљаја у пикселима, за разлику од чисте слике отиска где је та варијанса врло висока. Отуда, метод заснован на поређењу варијансе са прагом може бити искоришћен за извођење сегментације (Mehtre, 1993). Свим областима код којих је варијанса испод дефинисаног прага додељује се вредност 0. Како у овако добијеној маски могу постојати изоловани региони, како у позадини тако и на корисној слици отиска, за добијање компактног региона обично се примењује нека морфолошка операција. Резултат примене тог поступка може се видети на слици 12.



Слика 12: *Резултат сегментације коришћењем методе поређења варијансе са прагом (а) оригинална слика, (б) варијанса, (в) модификована маска (морфолошки оператори), (г) сегментована слика*

4.2.2. Нормализација

Циљеви нормализације су да се добије слика са сличним карактеристикама на целој површини, да се уклони ефекат сензорског шума и да се смањи варијација интензитета осветљаја дуж бразда без мењања њене структуре. Ако би се нормализација радила на целој слици, не би могла да компензује варијацију интензитета осветљаја, насталу због еластичне природе коже. Нормализација у блоку решава тај проблем.

4.2.3. Одређивање оријентационе и фреквенцијске слике отиска прста

Робустан мултискални метод одређивања оријентације детаљно је описан у претходном поглављу. Што се тиче фреквенције, сматра се да је она константна у локалном суседству, а да се на слици отиска налази у неком опсегу који зависи од начина аквизиције слике отиска прста. Зато је пракса да се рачуна само једном за сваки непреклапајући блок слике, а није редак случај да се за целу слику отиска рачуна једна (средња) вредност фреквенције бразда, што је случај и у нашем истраживању. Фреквенција бразда у блоку одређена је на основу пројекционе суме, која се рачуна дуж линије оријентисане нормално на правац простирања бразда (Hong et al., 1998).

4.2.4. Филтрирање

4.2.4.1. Филтрирање у просторном домену

Највише коришћене технике заснивају се на употреби контекстних филтера. Уместо да се користи један филтер за целу слику, користе се различити филтери за различите регионе слике. Филтери се пројектују према локалној оријентацији и фреквенцији бразда, пошто се разликују у различитим областима. Одговарајући филтер, подешен према локалној оријентацији и фреквенцији, може ефикасно да уклони шум, а притом сачува праву структуру бразда (Maltoni et al., 2003).

О'Горман и Никерсон су први предложили употребу контекстних филтера за побољшање квалитета слике отиска прста (O'Gorman & Nickerson, 1989). Ченг (Cheng) и Тјен (Tian) користе *scale-space* теорију (*Dyadic Scale-Space DSS*) за побољшање, што значи да комбинују глобалне и локалне карактеристике за итеративно смањење шума. Крајњи резултат се најчешће добија из три пута (Cheng & Tian, 2004). Метод заснован на дирекционој масци димензија 3×9 омогућује елиминисање мањих прекиди бразда. Алгоритам је брз и погодан за рад система у реалном времену (Çavuşoğlu & Görgünoğlu, 2008; Yang et al., 2008). Предлаже се и употреба разних анизотропних филтера заснованих на структурном адаптивном филтрирању (Yang, Burger, Firmin & Underwood, 1996). Постоје и други методи, али најчешће коришћена и цитирана техника за побољшање слика отисака прстију заснована је на конволуцији слике са банком Габорових филтера, подешених према локалној оријентацији и фреквенцији бразда (Hong et al., 1998).

4.2.4.2. Филтрирање у фреквенцијском (Фуријеовом) домену

Развој брзих алгоритама и модерних рачунарских система омогућио је да се филтрирање често ради у фреквенцијском домену (Kamei, 2004; Sherlock, 2004). Поступак филтрирања започиње Фуријеовом трансформацијом слике (обично неким од брзих алгоритама), након чега се спектар слике множи са филтерском функцијом, а онда филтрирана слика реконструише у просторном домену коришћењем инверзне Фуријеове трансформације и издвајањем њеног реалног дела.

Некеметоденезахтевајупознавањелокалнеоријентацијеифреквенције на слици отиска прста (Candela et al., 1995; Willis & Myers, 2001). Метод је назван *root filtering* и код њега се слика дели на преклапајуће блокове, а побољшана слика добија се тако што се Фуријеова трансформација блока множи са његовим спектром снаге (степенованим коефицијентом k):

$$\begin{aligned} I_{enh}(x,y) &= FFT^{-1}F(u,v)\left|F(u,v)\right|^{k} \\ F(u,v) &= FFT\left(I(x,y)\right) \end{aligned} \tag{4.1}$$

Доминантне спектралне компоненте се појачавају, а слабе још више умањују, што поступак чини посебно погодним за слике са слабим контрастом, замрљане слике и оне које садрже прекиде у структури бразда.

Предност овог приступа је што не захтева рачунање глобалних карактеристика (оријентационе и фреквенцијске слике).

Ипак, већина предложених алгоритама за побољшање у фреквенцијском домену заснива се на адаптивном филтрирању помоћу усмерених филтера, прилагођених правцу простирања бразда. Ту разликујемо два случаја. Први је када је филтер (анизотропни или Габорови) направљен у просторном домену, а само филтрирање се изводи у Фуријеовом домену (уместо конволуције у просторном ради се множење у фреквенцијском домену). Други приступ је када је филтер експлицитно дефинисан у Фуријеовом домену.

Само филтрирање слике отиска у фреквенцијском домену треба да се обави филтером пропусником опсега учестаности који задржава фреквенцијске компоненте битне за истицање структуре отиска, а елиминише оне које потичу од деградације слике. Притом, ширина пропусног опсега мора бити правилно изабрана пошто њена горња граница одређује слабљење компоненти високих фреквенција као што су ожиљци и набори, док њена доња граница одређује слабљење НФ шума као што је замрљаност (вишак мастила). Мора се водити рачуна о томе да узак пропусни опсег поправља контраст, али може довести и до нежељеног спајања бразда. Филтер направљен у фреквенцијском домену може се описати преко две одвојене компоненте: радијалне H_r, која зависи од локалног растојања између бразда ($\rho = 1/f$) и дирекционе H_a (угаоне, усмерене), која зависи од локалне оријентације бразда (ϕ):

$$H(\rho,\phi) = H_r(\rho)H_a(\phi) \tag{4.2}$$

Извођени су експерименти са различитим функцијама. *Butterworth* филтер пропусник опсега као радијална компонента и *raised cosine* филтер као угаона компонента показали су се као одличан избор са добрим резултатима (Sherlock, 2004; Chikkerur et al., 2007; Raicevic & Popovic, 2009). Као угаона компонента може се користити и функција идеалног дирекционог филтера (Popović, 1997).

У самом поступку филтрирања користи се коначан скуп филтера, где се приликом избора њихових параметара мора водити рачуна да укупан број филтера буде довољно мали, а да деградација финалне филтриране слике буде занемарљива. То се постиже елиминацијом зависности филтера од међусобне удаљености бразда – ширина пропусног опсега радијалне компоненте филтера бира се тако да покрива све очекиване варијације међусобног растојања бразда. Такође се ради дискретизација вредности оријентација бразда, где се избором малог броја (8 или 16) дискретних вредности за оријентацију добија коначан скуп дирекционих компоненти филтера, који заједно са радијалном компонентом одређују укупан скуп филтера примењен у поступку филтрирања слике.

4.2.4.3. Филтрирање Габоровим филтером

Габорови филтери су познати као веома корисно средство у апликацијама обраде слике као што су анализа текстуре, компресија и сл. Њихов импулсни одзив се може видети као синусоидални филтер пропусник опсега моделован *Gaussian*-ом и веома је сличан одзиву рецептора у визуелном кортексу човековог мозга (Maltoni et al., 2003). Једноставним подешавањем узајамно независних параметара, Габорови филтери се могу конфигурисати за различите облике, оријентације, ширине пропусног опсега или централне фреквенције, што има велики значај за анализу и обраду слике отиска прста. Наиме, Габоров филтер заснован на локалној оријентацији и фреквенцији бразда има такав ефекат да повећава контраст између бразда и жлебова истовремено ефективно редукујући шум.

Хонг и сарадници предложили су метод адаптивног побољшања у просторном домену помоћу банке Габорових филтера, подешених према претходно одређеној фреквенцији и оријентацији бразда (Hong et al., 1998). Алгоритам који је модификован тако што је коришћена једна фреквенција (просечно растојање бразда на целој слици за целу базу), а сам поступак филтрирања спроведен у фреквенцијском домену, показао се јако ефикасним (Raicevic & Popovic, 2009).

Иако Габорова елементарна функција прави интуитивну репрезентацију отиска, пошто хвата периодичну а ипак нестационарну природу региона отиска, јављају се следећи проблеми:

- за разлику од Фуријеове или дискретне *cosine* базе, слика отиска прста се не може представити као линеарна суперпозиција Габорових елементарних функција;
- максимална ширина пропусног опсега Габоровог филтера ограничена је на приближно једну октаву.

Као алтернативу Габоровој функцији предлажемо употребу Лог-Габорове функције.

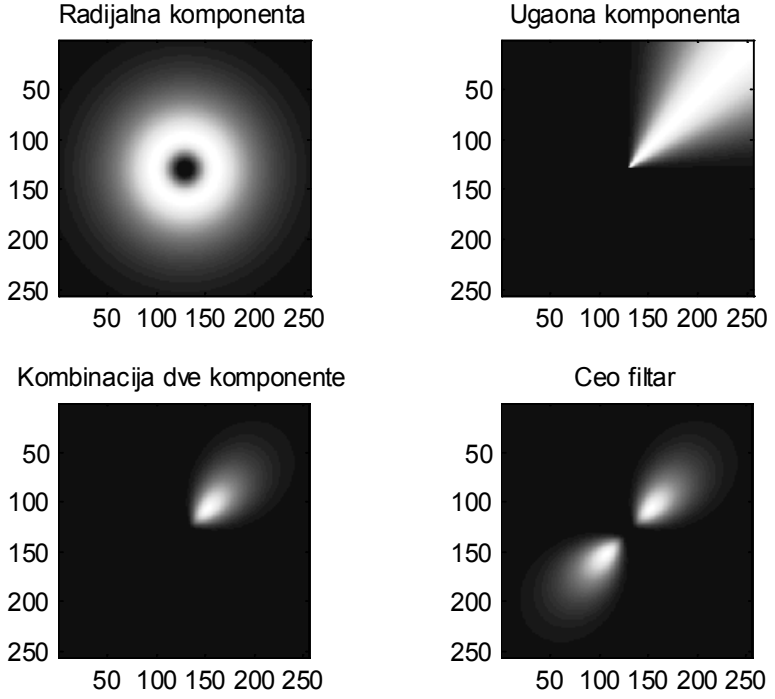
4.2.4.4. Лог-Габорови филтери

У поређењу са Габоровим филтером, Лог-Габорови филтери се могу конструисати са произвољном ширином пропусног опсега. Лог-Габорова функција има *Gaussian* трансфер функцију када се посматра на логаритамској фреквенцијској скали (Wang, Li, Huang & Feng, 2008). Дводимензионални Лог-Габоров филтер је конструисан у фреквенцијском домену (немогуће је дати аналитички израз у просторном домену због карактеристике сингуларности лог функције у координатном почетку) са радијалном и угаоном компонентом и дат је као:

$$H_r(r) = \exp\left(-\frac{\left[\log(r/f_0)\right]^2}{2\sigma_r^2}\right)$$
$$H_a(\phi) = \exp\left(-\frac{(\phi-\phi_0)^2}{2\sigma_\phi^2}\right)$$
$$H(r,\phi) = H_r(r)\cdot H_a(\phi) \tag{4.3}$$

где (r,ϕ) представљају поларне координате, f_0 је централна фреквенција филтера, ϕ_0 је угао оријентације филтера, σ_r одређује скалу ширине пропусног опсега и σ_ϕ одређује угаону ширину.

Према дефиницији, Лог-Габорова функција нема једносмерну компоненту, што доприноси побољшању контраста између бразда и жлебова на слици отиска. Трансфер функција Лог-Габоровог филтера продужена је према опсегу високих фреквенција, чиме се омогућава очување праве структуре бразда (Wang et al., 2008). На слици 13 приказан је облик радијалне и угаоне компоненте, као и целог филтера у фреквенцијском домену.



Слика 13: *Пример Лог-Габоровог филтера за* $f_0 = 1/9$, $\sigma_r = 0.5$, $\phi_0 = \pi/4$ $\sigma_\phi = \pi/9$

4.3. Предложени алгоритам побољшања слике отиска прста

Ми предлажемо нови алгоритам за побољшање слике отиска прста у фреквенцијском домену код кога се филтрирање ради у две фазе (Popovic et al., 2010):

1) појачава се доминантна фреквенција множењем спектралних компоненти са степенованим спектром снаге (редукција шума – тзв. *root filtering*);
2) филтрирање одговарајућим Лог-Габоровим филтером (директционо побољшање).

Алгоритам се састоји из следећих корака: локална нормализација, одређивање локалне оријентације и фреквенције и, на крају, локално филтрирање. Сама реч „локално" означава да се сва обрада ради не на целој слици отиска већ у блоку одређених димензија $B \times B$ (16×16 у нашем експерименту).

Како се филтрирање ради у фреквенцијском домену, и сама слика се мора прво трансформисати у тај домен. Слика отиска прста се може посматрати као систем оријентисане текстуре са нестационарним карактеристикама. Зато традиционална Фуријеова анализа није адекватна за анализу комплетне слике. Ако претпоставимо да је сигнал приближно стационаран у опсегу привременог прозора, можемо користити *2D WFT* (*windowed Fourier transform*) како бисмо избегли редундантно рачунање:

$$F(i,j,u,v) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} I(x,y)W(x-i,y-v)e^{-j(ux+vy)}dxdy \tag{4.4}$$

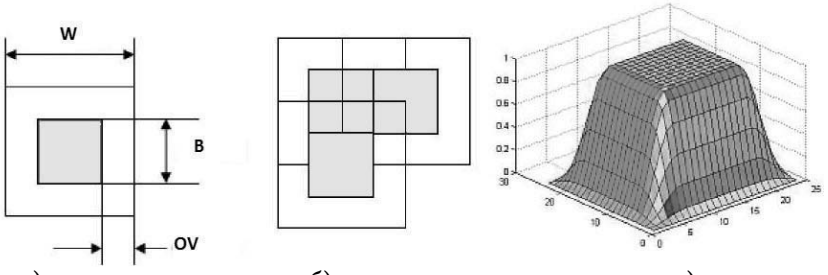
где (i,j) представљају централне координате сваког блока, а (u,v) су координате у фреквенцијском домену. За елиминацију блоковског ефекта величина прозора W треба да је већа од величине блока B слике. То значи да се суседни прозори преклапају у одређеном броју пиксела (OV), чиме се обезбеђује континуитет бразда, као што је приказано на слици 14.

За разлику од регуларне Фуријеове трансформације, овде резултат зависи од избора прозора за изглађивање (*hanning*, *hamming* или чак *gaussian*). Како нас, међутим, интересују побољшање и рестаурација слике директно из Фуријеовог домена, избор за прозор је ограничен, па користимо прозор *raised cosine*, који је закривљен близу ивица прозора, а у центру прозора је представљен јединицом (Chikkerur et al., 2007):

$$W(x,y) = \begin{cases} 1 & if\ (|x|,|y|) < B/2 \\ \frac{1}{2}\left(1+\cos\left(\frac{\pi(x-B/2)}{OV}\right)\right) & \text{остало} \end{cases}$$

$$\text{где} \quad (x,y) \in \left[-\frac{W}{2},\frac{W}{2}\right] \tag{4.5}$$

Вредност $W = 32$ одређена је компромисом између перфомански и комплексности прорачуна. Померањем прозора за сваки блок улазне слике рачуна се фреквенцијски спектар $F(u,v)$, као и спектар снаге.



а) б) в)

Слика 14: *(а) Параметри преклапајућег прозора*
(б) илустрација како се прозор помера током анализе
(в) спектрални прозор који се користи током анализе

Поступак филтрирања започиње множењем свих елемената спектра блока степенованим спектром снаге:

$$F_1(u,v) = F(u,v) \cdot |F(u,v)|^k \tag{4.6}$$

Доминантне спектралне компоненте се појачавају, чиме се повећава однос сигнала и шума и прилагођава варијација фреквенције бразда из једног блока у други. Затим се приступа филтрирању Лог-Габоровим филтером, подешеним према оријентацији и фреквенцији израчунатој за локални блок.

$$F_{enh}(u,v) = F_1(u,v) \cdot H_r \cdot H_a \tag{4.7}$$

Јасно је да конструисани филтер треба да буде исте величине као спектар улазне слике (блока). На крају се ради инверзна Фуријеова трансформација:

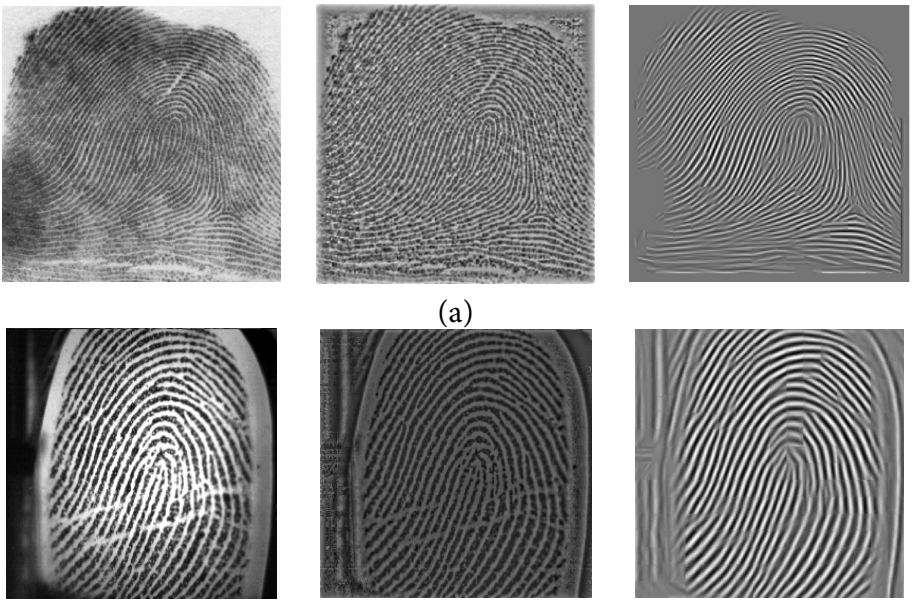
$$B_{enh}(x,y) = IFT(F_{enh}(u,v)) \tag{4.8}$$

чији реални део представља блок поправљеног квалитета (побољшан). Тај се поступак понавља за све блокове улазне слике, а коначна побољшана слика отиска прста добија се слагањем резултата сваког анализираног прозора.

4.4. Експериментални резултати

Предложени алгоритам побољшања слике отиска прста у фреквенцијском домену тестиран је на две доступне базе. Прва је база која садржи 100 слика отиска (картони од десет особа са сликама свих десет прстију, добијени из МУП-а РС за истраживање и тестирање алгоритма), узетих помоћу мастила, а онда дигитализованих оптичким скенером

са просторном резолуцијом од 500 dpi и амплитудском резолуцијом од осам бита по пикселу (256 нивоа сивог). У тој бази нема понављања слика отиска истог прста, а слике су већином слабог квалитета (Popović, 1997). Друга база садржи 168 слика отисака (21 прст, по осам слика за сваки), у *PC TIF* формату, димензија 256×256 пиксела са 256 нивоа сивог (осам бита по пикселу). Слике су узете оптичким скенером (500 dpi) и релативно су доброг квалитета. Неке од њих имају регионе прекида бразда (Biometric System Lab, 1999). Како су слике из две базе различите и по квалитету али и по општим карактеристикама (пре свега по опсегу фреквенција бразда на сликама), јасно је да је испитана ефикасност алгоритма у широком опсегу случајева (слика отисака). Сам алгоритам је имплементиран у окружењу *MATLAB® V6 Release 12 (The Mathworks Inc., USA)*, оперативном систему *Windows XP*, на персоналном рачунару са *Intell Pentium 4* процесором од 1,82 Ghz и 512 MB RAM-a. Није рачунато време извршења програма. Резултат предложеног метода побољшања за тест слику из прве и друге базе приказан је на сликама 15(а) и (б), респективно.

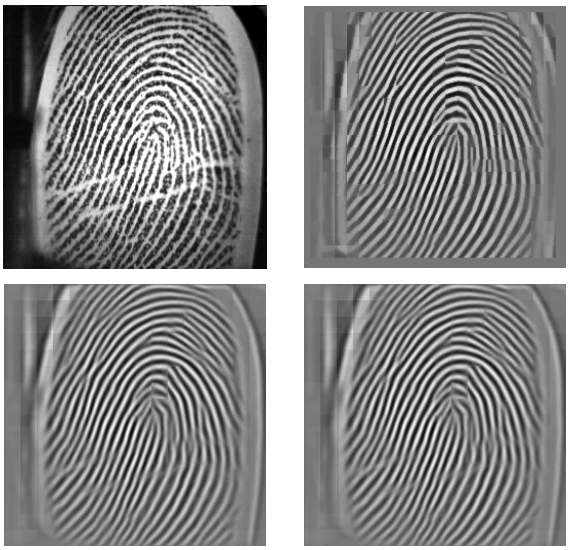


(а)

(б)

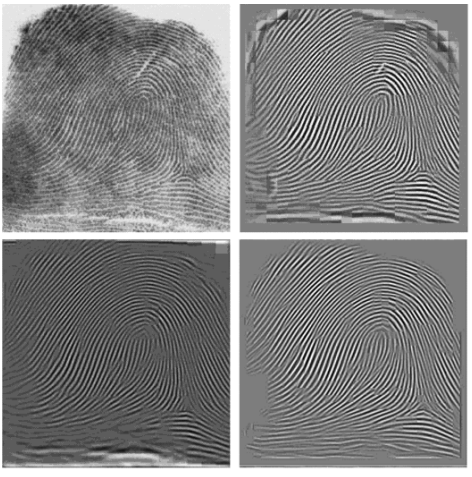
Слика 15: *Респективно оригинална, нормализована и побољшана слика отиска прста добијена (а) методом мастила, (б) оптичким скенером*

Да бисмо показали ефикасност нашег алгоритма, упоредили смо добијене резултате са сликама на којима је за поправку квалитета коришћен СТФТ метод (Chikkerur et al., 2007; *matlab code* доступан на http://www.cubs.buffalo.edu/code.shtml) и метод заснован на Габоровом филтеру (Hong et al., 1998; *Peter Kovesi's* имплементација кода, Kovesi, 2008). Када су слике релативно доброг квалитета, и предложени алгоритам и два која се користе за поређење дају сличне (упоредиве) резултате као што је приказано на сликама 16 и 17.

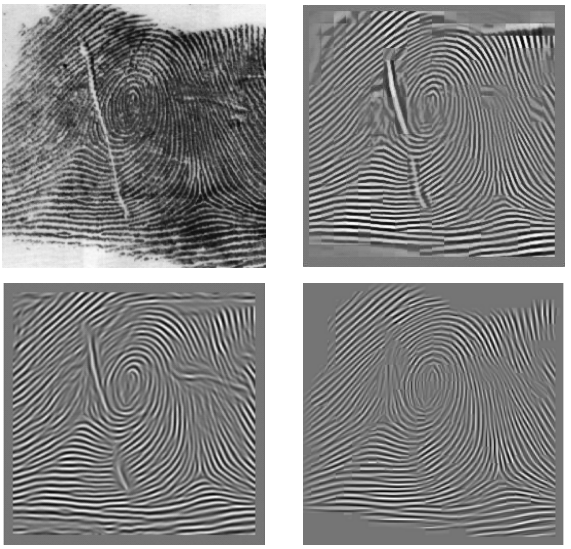


Слика 16: *Резултат побољшања слике из базе добијене оптичким скенером; с лева надесно: оригинална слика, побољшана СТФТ методом, побољшана Габоровим филтером и побољшана предложеном методом*

Имајући у виду наша искуства, све врсте алгоритама за побољшање раде добро на сликама отиска доброг квалитета. Међутим, када је квалитет слике лош, мора се обратити посебна пажња и уложити додатни напор за побољшање региона са шумом. Зато смо посебно изабрали слику лошег квалитета, која садржи замрљане регионе и регионе прекида папиларних линија (један изразито велики) како бисмо истакли ефикасност предложеног алгоритма. Добијени резултати приказани су на слици 18.



Слика 17: *Резултат побољшања слике из базе добијене техником мастила; с лева надесно: оригинална слика, побољшана СТФТ методом, побољшана Габоровим филтером и побољшана предложеном методом*



Слика 18: *Побољшана слика релативно лошег квалитета: (а) оригинална слика, (б) слика побољшана СТФТ методом, (в) побољшана Габоровим филтером и (г) предложеном методом*

Из приказаног примера видимо да предложени алгоритам има боље резултате у односу на алгоритме са којима смо га поредили. Слични резултати су добијени за целу базу, где је код свих слика примећено очигледно побољшање структуре бразда. Мада се оно несумњиво може утврдити визуелном инспекцијом, неопходно је одредити и неки објективни критеријум (квантитативну процену) за оцену успешности предложеног алгоритма. У ту се сврху обично ради анализа аутоматски издвојених минуција са слике отиска пре и након њеног побољшања, где се може користити неки од објективних критеријума, нпр. тачност (*Good Index*), дефинисана као:

$$GI = \frac{P - M - F}{A} \tag{4.9}$$

где је A број аутоматски издвојених минуција, P број упарених минуција, M број испуштених правих минуција, а F број лажних минуција. При томе је број правих минуција (*ground truth*) одређен од стране стручњака и означен са E. Како може да се деси да је GI негативно, за оцену успешности алгоритма често се користи индекс грешке (*Error Index*), дефинисан као:

$$EI = \frac{M + F}{A} \tag{4.10}$$

За поступак издвајања минуција коришћен је поступак описан у (Raičević & Popović, 2009). Сумарни резултати добијени за слике отиска из две тестиране базе приказани су у табели 1.

Табела 1: *Просечна процентуална грешка издвојених минуција*

База	**Примењени алгоритам**	**Испуштене** %	**Лажне** %
База добијена техником мастила	СТФТ	6,34	60,19
	Габоров	6,40	72,75
	Наш алгоритам	6,64	50,27
База добијена оптичким скенером	СТФТ	1,43	70,42
	Габоров	3,77	80,72
	Наш алгоритам	5,96	63,57

Из добијених резултата може се приметити да је предложен алгоритам побољшања слике отиска прста заједно са алгоритмом за издвајање минуција постигао значајно боље резултате када се ради о смањењу броја лажних минуција. То је случај са обе тестиране базе, где код појединачних слика тај проценат иде и до 60%. Притом је број испуштених правих минуција за базу добијену техником мастила сличан са алгоритмима који су коришћени за упоређивање, а нешто већи за базу добијену оптичким скенером. Релативно велики број лажних минуција великим је делом последица алгоритама за издвајање минуција (бинаризација и стањивање), чијим се додатним унапређењем могу очекивати још бољи резултати предложеног алгоритма.

5. ЗАКЉУЧАК

Како би се обезбедиле добре перфомансе аутоматских система за идентификацију преко отисака, поготово за примену у форензичким апликацијама, где је квалитет улазне слике често врло деградиран, неопходно је применити одговарајући алгоритам за побољшање слике отиска прста. Међу великим бројем понуђених метода, оне које користе контекстну, тј. информацију о усмереној структури папиларних линија, показале су се као најефикасније, и то независно од чињенице да ли се побољшање ради у просторном или фреквенцијском домену. Ограничавајући фактор је управо поуздано издвајање контекстне информације (најчешће информације о оријентацији простирања папиларних линија) из слика лошег квалитета. Метод приказан у овом раду предлаже нови мултискални приступ одређивања оријентационе слике, који се показао као посебно робустан код слика лошег квалитета. Представљен је и робустан метод побољшања слике отиска у фреквенцијском домену адаптивним филтрирањем Лог-Габоровим филтером, подешеним према израчунатој оријентацији и фреквенцији. Резултати поређења са другим познатим и признатим техникама потврђују ефикасност предложеног поступка. Ти резултати такође указују на делове који се могу додатно унапредити, пре свега у поступку издвајања минуција из побољшане слике отиска прста, што ће бити предмет даљег истраживања.

Захвалност

Овај рад је урађен у оквиру пројекта Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије – ТР бр. 34019

ЛИТЕРАТУРА

1. Ailisto, H., Lindholm, M. & Tikkanen, P. (2003). A review of fingerprint image enhancement methods. *International Journal of Image and Graphics*, 3(3), 401-424.
2. ANSI–American National Standards Institute, American national standard for information Technology, (2007). *Data Format for the Interchange of Fingerprint, Facial & Other Biometric information, ANSI/NIST-ITL 1-2007*, (Revision of ANSI/NIST-ITL1-2000) from:http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=51174
3. Bazen, A.M. & Gerez, S.H. (2002). Systematic Methods for the Computation of the Direction Fields and Singular Points of Fingerprints. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), 905-919.
4. Bazen, A.M., Bouman, N.J. & Veldhuis, R.N.J. (2004). A multi-scale approach to directional field estimation. *In Proc. of 15th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing*, Veldhoven, the Netherlands, 215-218.
5. Biometric System Lab., University of Bologna, Cesena-Italy, www.csr.unibo.it/research/biolab/ преузето 1999 сада на http://biolab.csr.unibo.it/home.asp
6. Bolle, R.M., Connell, J.H. & Ratha, N.K. (2002). Biometric perils and patches. *Pattern Recognition*, 35(12), 2727-2738.
7. Candela, G.T., Grother, P.J., Watson, C.I., Wilkinson, R.A. & Wilson, C.L. (1995). *PCASYS–a pattern-level classification automation system for fingerprints*. National Institute of Standards and Technology, NISTIR 5647.
8. Çavuşoğlu, A. & Görgünoğlu S. (2008). A fast fingerprint image enhancement algorithm using a parabolic mask. *Computers & Electrical Engineering*, 34(3),250-256.
9. Cheng, J. & Tian J. (2004). Fingerprint enhancement with dyadic scale-space. *Pattern Recognition Letters*, 25(11), 1273-1284.
10. Chikkerur, S.S., Cartwright, A.N. & Govindaraju V. (2007). Fingerprint enhancement using STFT analysis. *Pattern Recognition*, 40(1), 198-211.
11. Cummins, H. & Midlo C. (1961). *Fingerprints, Palms and Soles, an Introduction to Dermatoglyphics*. Dover Publications, New York.
12. FBI Federal Bureau of Investigation – Criminal Justice Information Services (CJIS) Division, (2006). *Integrated Automated Fingerprint Identification System*, retrieved from: http://www.fbi.gov/about-us/cjis/fingerprints_biometrics/iafis/iafis
13. Feng, X.G. & Milanfar, P. (2002). Multiscale principal components analysis for image local orientation estimation. *In 36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 1, 478-482.

14. Gonzalez, R.C., Woods, R.E. & Eddins S. (2004). *Digital Image Processing using MATLAB®*, Prentice Hall, New York.
15. Hong, L., Wan, Y. & Jain, A.K. (1998). Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(8), 777-789.
16. Huckemann, S., Hotz, T. & Munk, A. (2008). Global models for the orientation field of fingerprints: an approach based on quadratic differentials. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(9), 1507–1519.
17. Hung, D.C.D. (1993). Enhancement and feature purification of fingerprint images. *Pattern Recognition*, 26(11), 1661-1671.
18. Jain, A.K., Hong, L. & Bolle, R. (1997). On-line Fingerprint Verification. *IEEE Transactions on PAMI*, 19(4), 302-314.
19. Jain, A.K., Prabhakar, S. & Pankanti S. (2002). On the similarity of identical twin fingerprints. *Pattern Recognition*, 35(11), 2653-2663.
20. Jain, A.K., Chen, Y. & Demirkus M. (2007). Pores and Ridges: High Resolution Fingerprint Matching Using Level 3 Features. *IEEE Transactions on PAMI*, 29(1), 15-27.
21. Jain, A.K, Ross, A.A., Nandakumar, K., (2011), *Introduction to Biometrics*, Springer, New York.
22. Kamei, T. (2004). Image Filter Design for Fingerprint Enhancement. Chapter 6. in Ratha N. and Bolle R. Eds *Automatic Fingerprint Recognition Systems*, (113-126), Springer, New York.
23. Karu, K. & Jain A.K. (1996). Fingerprint classification. *Pattern Recognition*, 29(3), 389-404.
24. Kass, M. & Witkin, A. (1987). Analyzing oriented patterns. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 37(3), 362-385.
25. Kovesi, P. (2008). MATLAB and Octave Functions for Computer Vision and Image Processing. School of Computer Science&Software Engineering, the University of Western Australia, http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/Research/MatlabFns/index.html
26. Li, J., Yau, W.Y. & Wang, H. (2008). Combining singular points and orientation image information fo figerprint classification. *Pattern Recognition*, 41(1), 353-366.
27. Maltoni, D., Maio, D., Jain, A.K. & Prabhakar S. (2003). *Handbook of Fingerprint Recognition*, Springer Verlag, New York.
28. Mehtre, B.M. (1993). Fingerprint Image Analysis for Automatic Identification. *Machine Vision and Applications*, 6(2-3), 124-139.
29. Mei, Y., Sun, H. & Xia D. (2009). A gradient-based combined method for the computation of fingerprint's orientation field. *Image and Vision Computing*, 27(8), 1169-1177.
30. Митровић, В. (1990). *Криминалистичка техника*, ВШУП, Београд.
31. O'Gorman, L. & Nickerson, J.V. (1989). An approach to fingerprint filter design. *Pattern Recognition*, 22(1), 29-38.

32. O'Gorman, L. (2002). Seven issues with human authentication technologies. *In Proceedings of Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies*, Tarrytown, New York,185-186.
33. Pankanti, S., Prabhakar, S. & Jain, A.K. (2002). On the individuality of fingerprints. *IEEE Transactions on PAMI*, 24(8), 1010-1025.
34. Popović, M. & Popović, B. (1997). Computer classification of fingerprints. *NBP-Nauka Bezbednost Policija*, 2(2), 107-120.
35. Popović, B. (1997). *Računarska obrada i klasifikacija slika otisaka prstiju*. magistarska teza, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu.
36. Popović, B. & Popović M. (2000). Modification of Weber's fingerprint identification algorithm based on minutiae. *NBP*, 5(2), 51-66.
37. Popović, B. & Mašković, Lj. (2007). Fingerprint Minutiae Filtering Based on Multiscale Directional Information. *Facta Univ. Ser.: Elec. Energ*., 20(2), 233-244.
38. Popović, B., Mašković, Lj. & Banđur M. (2007). Spurious Fingerprint Minutiae Detection Based on Multiscale Directional Information. *Electronics and Electrical Engineering*, 7(79), 23-28.
39. Popović, B., Banđur, M. & Stojanović, V. (2008). Multiscale Orientation Field Estimation. *In Proceedings of XLIII International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies – ICEST '08*, Niš, Serbia, 1, 105-108.
40. Поповић, Б., Ранђеловић, Д. & Банђур М. (2010). Изазови везани за приватност и безбедност приликом употребе биометрике. *Зборник радова на CD, саветовање ЗИТЕХ 10 – Злоупотреба информационих технологија и заштита*, Београд.
41. Popovic, B., Banđur, M. & Raicevic A. (2010). Robust enhancement of fingerprint images obtained by ink method. *Electronic Letters*, 46(20), 1379-1380.
42. Popović B., Ranđelović D. & Banđur M. (2011). Law Enforcement and New Technology. *Tematski zbornik radova međunarodnog značaja, međunarodni naučni skup Dani Arčibalda Rajsa 1,* 359-368.
43. Popović B., Ranđelović D. & Banđur M. (2012). The future of biometrics technology in law enforcement agencies. *Tematski zbornik radova međunarodnog značaja, međunarodni naučni skup Security and euroatlantic perspectives of the balkans, Police science and Police profession (States and perspectives,* Ohrid, Macedonia, 2, 588-605.
44. Popović, B., Banđur, M., Raičević, A. & Ranđelović D. (2012). Different methods for fingerprint image orientation estimation. *in proc. of 20th TELFOR*, Belgrade Serbia.
45. Prabhakar, S., Pankanti, S. & Jain, A.K. (2003). Biometric Recognition: Security and Privacy Concerns. *IEEE Security & Privacy Magazine*, 1(2), 33-42.
46. Raicevic, A. & Popovic B. (2009). An Effective and Robust Fingerprint Enhancement by Adaptive Filtering in Frequency Domain. *Facta Universitatis Series: Electronics and Energetics*, 22(1), 91-104.
47. Ratha, N.K., Chen, S. & Jain A.K. (1995). Adaptive flow orientation-based feature extraction in fingerprint images. *Pattern Recognition*, 28(11), 1657-1672.

48. Roberge, D., Soutar, C. & Kumar, B.V.K. (1999). Optimal trade-off filter for the correlation of fingerprints. *Optical Engineering*, 38(1), 108-113.
49. Sherlock, B.G. (2004). Enhancing Fingerprint Images by Directional Fourier Filtering. Chapter 5 in Ratha N. and Bolle R. Eds *Automatic Fingerprint Recognition Systems*, (89-101), Springer New York.
50. Trauring, M. (1963). Automatic comparison of finger-ridge patterns. *Nature*, 197(4871), 938-940.
51. Uludag, U. & Jain, A.K. (2004). Attacks on biometric systems: a case study in fingerprints. *in Proceedings of SPIE-EI 2004, Security, Seganography and Watermarking of Multimedia Contents VI*, 622-633.
52. Wang, W., Li, J.W., Huang, F.F. & Feng H.L. (2008). Design and implementation of Log-Габор filter in fingerprint image enhancement. *Pattern Recognition Letters*, 29(3), 301-308.
53. Wang, X., Li, J. & Niu Y. (2007). Definition and extraction of stable points from fingerprint images. *Pattern Recognition*, 40(6), 1804–1815.
54. Wang, Y., Hu, J.K. & Han, F.L. (2007). Enhanced gradient-based algorithm for the estimation of fingerprint orientation field. *Applied Mathematics and Computation*, 185(2), 823-833.
55. Wang, Y., Hu, J. & Phillips, D. (2007). A Fingerprint Orientation Model Based on 2D Fourier Expansion (FOMFE) and its Application to Singular-Point Detection and Fingerprint Indexing. *IEEE Transactions on PAMI*, 29(4), 573–585.
56. Willis, A. & Myers, L. (2001). A cost-effective fingerprint recognition system for use with low-quality prints and damaged fingertips. *Pattern Recognition*, 34(2), 255-270.
57. Wilson, R., Clippingdale, S.C. & Bhalerao A.H. (1990). Robust estimation of local orientations in images using a multiresolution approach. *in Proceedings of SPI, Visual Communications and Image Processing*,1360, 1393-1403.
58. Yager, N. & Amin, A. (2004). Fingerprint classification: a review. *Pattern Analysis & Applications*, 7(1), 77-93.
59. Yager, N. & Amin, A. (2004). Fingerprint verification based on minutiae features: A review. *Pattern Analysis & Applications*, 7(1), 94-113.
60. Yang, G. Z., Burger, P., Firmin, D. N. & Underwood S.R. (1996). Structure adaptive anisotropic image filtering. *Image and Vision Computing*, 14(2), 135-145.
61. Yang, J., Liu, L., Jiang, T. & Fan, Y. (2003). A modified Габор filter design method for fingerprint image enhancement. *Pattern Recognition Letters*, 24(12), 1805-1817.
62. Yang, J.C., Park, D.S. & Hitchcock, R. (2008). Effective enhancement of low-quality fingerprints with local ridge compensation. *IEICE Electronics Express*, 5(23), 1002-1009.
63. Zhang, W., Tang, Y.Y. & You, X. (2004). Fingerprint enhancement using wavelet transform combined with Габор filter. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 18(8), 1391-1406.

64. Zhou, J. & Gu, J. (2004). A model-based method for the computation of fingerprints orientation field. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(6), 821-835.
65. Zhu, E., Yin, J.P., Hu, C.F. & Zhang, G. (2006). A systematic method for fingerprint ridge orientation estimation and image segmentation. *Pattern Recognition*, 39(8), 1452-1472.

ФОРЕНЗИЧКА ОБРАДА АУТОМОБИЛСКИХ СИЈАЛИЦА

VII Глава

Миладин Нешић, дипл. инж. саобраћаја
Криминалистичко-полицијска академија
Цара Душана 196, 11080 Београд

Сажетак: Рад обрађује ситуације у којима је значајно утврђивање стања сијалица на возилу које је учествовало у саобраћајној незгоди. Објашњен је процес настанка трагова, као и најважнији трагови у типичним ситуацијама, и анализиране су могућности утврђивања стања сијалица. Дате су препоруке за унапређење постојеће праксе фиксирања трагова на сијалицама.

Кључне речи: саобраћајна незгода, утврђивање стања сијалица, трагови на сијалицама, типичне ситуације.

1. УВОД

У великом броју анализа саобраћајних незгода постоји основана потреба да се постави питање везано за рад сијалица у светлосно-сигналним уређајима возила, јер се једино тако може доћи до материјалних доказа везаних за могућност примећивања возила у условима слабе осветљености. Међу главне узроке саобраћајних незгода убраја се лоша видљивост других учесника у саобраћају (Липовац и Нешић, 2005), која свакако у великој мери зависи и од светлосно-сигналних уређаја на возилу. У тим и сличним ситуацијама утврђивање стања одређених сијалица возила је пресудно за утврђивање одговорности учесника у саобраћајној незгоди. Међутим, уколико се приликом вршења увиђаја саобраћајне незгоде тра-

гови на сијалицама не фиксирају, или се не фиксирају на одговарајући начин, стручно утврђивање стања сијалица на возилима у тренутку судара најчешће бива спречено. У пракси се јавља значајан број таквих случајева и тек се приликом спровођења анализа у судском поступку долази до закључка да је дошло до пропуста приликом вршења увиђаја везаних за форензичку обраду сијалица. То омета не само спровођење судских поступака него и дефинисање и решавање стварних проблема у безбедности саобраћаја који се односе и на неправилно коришћење светлосно-сигналних уређаја на возилима у саобраћају (Lipovac et al., 2007a).

На пример, за налетање отпозади на заустављена возила на путу, по правилу се окривљује возач возила које је налетело. Не доводећи у питање његов допринос у већини таквих незгода, увек треба поставити и питање о начину означавања возила које је заустављено на путу. Наиме, уколико је заустављено возило неправилно означено (на пример, нису били истовремено укључени сви показивачи правца), тај пропуст је узрочно повезан са настанком незгоде.

Број таквих ситуација значајно се увећава увођењем законске обавезе за коришћење светала за сва моторна возила у саобраћају на путевима, без обзира на видљивост и доба дана (дневна светла), ради што бољег уочавања од стране осталих учесника у саобраћају.

Да би се у конкретној саобраћајној незгоди могло утврдити да ли је возач испунио законске обавезе у вези са употребом светала у саобраћају, неопходно је на лицу места, приликом вршења увиђаја, спровести одређени поступак изузимања сијалица односно њихових разбијених делова. Циљ овог рада је да укаже на значај утврђивања стања одређених сијалица на возилу за анализу саобраћајне незгоде, да коректно изложи најзначајније трагове који се могу наћи на сијалицама, прикаже могућности анализе стања сијалице и што јасније дефинише поступак на лицу места саобраћајне незгоде.

2. ЗАКОНСКЕ ОДРЕДБЕ

Законом о безбедности саобраћаја на путевима[14] (ЗБС), у 4. поглављу (правила саобраћаја), прописана је употреба светала у саобраћају (чл. 77–81). Прописано је када се и која светла користе на појединим категоријама возила. Посебно је прописан начин осветљавања пута и начин означавања појединих категорија учесника у саобраћају (возила, бицикла, пешака итд). Исти закон прописује да возила у саобраћају на путу морају да имају исправне све прописане уређаје и опрему (члан 246). Такође је одређено да се на техничком прегледу утврђује да ли возила имају прописане уређаје и да ли су они у исправном стању.

Правилник који уређује техничке услове за возила[15], међу уређаје на моторним и прикључним возилима сврстава и уређаје за осветљавање пута и за давање светлосних знакова (члан 41). Под уређајима за осветљавање

14 *Службени гласник РС*, бр. 41/09, 53/10, 101/11.

15 Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима, *Службени гласник Републике Србије* бр. 40/12, 102/12.

пута и за давање светлосних знакова на моторним и прикључним возилима односно светлима, у смислу тог правилника, подразумевају се:

1) уређаји за осветљавање пута;
2) уређаји за означавање возила;
3) уређаји за давање светлосних знакова.

Уређаји за осветљавање пута и за давање светлосних знакова (члан 45 Правилника) јесу:

1) главни фарови;
2) светла за маглу;
3) дневно светло;
4) светла за вожњу уназад;
5) фарови и светла за осветљавање места на коме се изводе радови;
6) покретни фар (рефлектор).

Главни фарови могу бити изведени тако да имају:

1) дуго светло;
2) кратко светло;
3) дуго и кратко светло.

Уређаји за означавање моторних и прикључних возила (члан 54 Правилника) јесу:

1) предња позициона светла;
2) задња позициона светла;
3) задње светло за маглу;
4) паркирна светла;
5) габаритна светла;
6) светла задње регистарске таблице;
7) ротациона и трепћућа светла;
8) катадиоптери;
9) светла за означавање возила посебних намена (такси, јавни градски превоз, обука возача, возила путне помоћи и сл.);
10) ознаке дугих, тешких и спорих возила, ознаке радилишних возила, ознаке покретних контејнера за смеће, као и рефлективне површине за означавање контуре возила и рефлективни рекламни натписи.

Уређаји за давање светлосних знакова (члан 68 Правилника) јесу:

1) стоп-светла;
2) показивачи правца;
3) уређај за истовремено укључивање свих показивача правца;
4) светлосни знак упозорења.

Уређаји за осветљавање пута на предњој страни возила (главни фарови и фарови за маглу) морају бити тако повезани да се могу укључити само ако су укључена сва позициона светла и светла за осветљавање регистарске таблице (чланови 23 и 27).

Уређаји за осветљавање пута на предњој страни возила (главни фарови, светла за маглу и дневна светла) морају бити повезани тако да се не могу укључити док се не укључе сва позициона светла и светла за осветљавање задње регистарске таблице (осим кад се користе за давање светлосних знакова) (члан 44).

Основни разлог за постојање ових норми везан је за испуњавање једног од главних начела безбедности саобраћаја, *види и буди виђен*, чијом се применом умањује могућност стварања опасних ситуација у саобраћају и избегавање препрека. Оно подразумева да се у сваком тренутку обезбеђују услови да учесници у саобраћају виде остале учеснике, али и да буду довољно видљиви за све њих у свим условима видљивости. Због тога је то начело присутно у домаћем законодавству, али и иностраном. У том смислу, прописан је читав низ различитих уређаја и начина понашања који ово гарантују. С друге стране, законодавац је дефинисао низ уређаја које морају да поседују сва возила на путу, како би се обезбедила видљивост пута и евентуалних препрека на њему.

Друго основно начело безбедног одвијања саобраћаја је *начело поверења*. У том смислу, законодавац је посебно прописао обавезу свих учесника да се понашају у складу са овим начелом. О сваком одступању од овог начела, морају се, благовремено, обавестити остали учесници у саобраћају. Ово се посебно односи на: промену правца кретања, нагло смањивање брзине возила, ненаменско коришћење саобраћајних површина (паркирање или заустављање на коловозу и слично). Зато је законодавац, доследно, предвидео и обавезу давања одговарајућих светлосних знакова при сваком одступању од очекиваних околности на путу.

Поштовање наведених и других одредаба Закона и Правилника би требало да омогући добро осветљавање пута односно добро уочавање возила (заустављених или у покрету) и других препрека на путу. Било какво одступање од тих одредаба може да доведе до настанка саобраћајне незгоде или да допринесе њеном настанку. То могу да буду ситуације у којима на возилу уопште нема одређених прописаних уређаја, или у којима они постоје али не функционишу у складу са прописима (прекид у инсталацији, неисправан осигурач или неисправна сијалица).

Зато је у свакој појединачној саобраћајној незгоди важно извршити процену значаја стања сијалица за настанак незгоде и, по потреби, посветити одговарајућу пажњу обради и утврђивању стања сијалице.

Ваља споменути и да је спровођење тих послова надлежна саобраћајна полиција која је обавезна да, за сваку регистровану саобраћајну незгоду са најмање једним повређеним лицем или материјалном штетом већом од 200.000 РСД[16] обезбеди лице места, изврши увиђај или учествује са судским органима у вршењу увиђаја, обради и процесуира увиђајну документацију и достави је надлежним правосудним органима на даље поступање (Lipovac et al., 20012). Тиме је управо и дефинисан скуп саобраћајних незгода код којих ће се разматрати изузимање сијалица ради даље анализе.

16 Овај износ је прописан одредбама Кривичног законика, *Службени гласник РС*, бр. 85/2005, 88/2005 – испр., 107/2005 – испр., 72/2009, 111/2009 и 121/2012.

3. ЗНАЧАЈ ТРАГОВА НА СИЈАЛИЦАМА

Било би врло тешко са сигурношћу предвидети све ситуације у којима би анализа трагова на сијалицама била значајна за утврђивање важних околности настанка саобраћајне незгоде. Ипак, могуће је издвојити неколико препознатљивих типичних ситуација у којима се очекује да ће познавање стања одређених (бар појединих) сијалица у тренутку судара бити значајно. Навешћемо примере таквих ситуација (Lipovac et al., 2007a).

Саобраћајне незгоде у којима је дошло до налетања на заустављено возило (слика 1А). Код овог типа саобраћајних незгода важно је да се утврди место са којег је возач могао да уочи друго заустављено возило на путу. Да би се то одредило, претходно је неопходно знати како је заустављено возило било означено (никаква светла нису била у функцији, радила су позициона светла, радила су стоп-светла или су радили сви показивачи правца). Уколико се у судском поступку докаже да возило није било уопште означено, возач долазећег возила је имао смањену могућност да благовремено примети заустављено возило, услед чега га је касно уочио и касно схватио опасност ситуације[17]. Тиме су смањене његове техничке могућности избегавања незгоде. То може да смањи његову одговорност, а нису ретке ни ситуације у којима се она потпуно искључује. Уколико се докаже да је заустављено возило имало укључене уређаје за означавање возила, односно да су ти уређаји радили, а посебно ако је радио уређај за истовремено укључивање свих показивача правца, онда је возач долазећег возила могао благовремено да уочи заустављено возило[18] и знатно раније схвати опасност ситуације. У таквим случајевима његова одговорност расте, а одговорност возача заустављеног возила се често и потпуно искључује.

Саобраћајне незгоде у којима је дошло до налетања на возило које се креће споријe или нагло успорава (слика 1Б). У овим случајевима је важно утврдити могућност уочавања првог возила (ноћу и у условима смањене видљивости)[19], односно време реаговања возача другог возила[20]. Да би се анализирала могућност да возач кочењем избегне налетање на возило испред себе, неопходно је да се утврди да ли су на првом возилу радила стоп-светла (увек), односно да ли је и како возило било означено: стање уређаја за означавање возила и уређаја за давање светлосних знакова (ноћу и у условима смањене видљивости). Требало би нагласити да неки возачи, при наглим и изненадним заустављањима, користе уређаје за истовремено

17 Растојање конкретне видљивости, са кога је могло да се уочи неозначено возило (без позиционих, без паркирних и без светала показивача правца), често је и знатно мање од 40 метара.

18 Уколико су на возилу укључена позициона светла, она се уочавају са растојања преко 300 метара, при ноћној видљивости и добро прозрачном ваздуху. Уколико су на возилу укључени сви показивачи правца, моћи ће се уочити и са знатно већих растојања. Поред тога, укључени сви показивачи правца недвосмислено сугеришу на опасност на путу, па је и време реаговања мање.

19 Уколико се неозначено возило креће споро, бржа возила која наилазе, касно га уочавају и могу налетети на њега. Ово је посебно изражено код врло спорих возила (бицикл, запрега, трактори, радне машине и слично).

20 Ово време зависи и од функционисања стоп светала. Уколико стоп светла функционишу, време реаговања је знатно мање. У супротном, време реаговања се продужава (а посебно време схватања ситуације), што смањује могућности избегавања незгоде.

укључивање свих показивача правца, што је у складу са законским одредбама. Та пракса је врло безбедна и требало би је редовно документовати.

Саобраћајне незгоде у којима је дошло до судара са возилом из супротног смера, ноћу и у условима смањене видљивости (слика 1В). Уколико на возилу нису били укључени фарови (позициона светла), онда га је возач из супротног смера теже и касније уочио, па је имао и мању могућност да избегне судар. Уколико на возилу није радио леви фар, возачи из супротног смера су могли да схвате да се мимоилазе са мотоциклом. То би могло допринети судару при мимоилажењу. Зато је у таквим ситуацијама, када се створи сумња да ли су фарови радили, значајно утврдити стање сијалица фарова[21];

Саобраћајне незгоде при претицању односно судар возила које претиче и претицаног возила које скреће улево (слика 1Г). У овим ситуацијама је важно да се утврди да ли је возач претицаног возила благовремено укључио показивач правца. Уколико се докаже да на предњем возилу (које скреће) нису радили леви показивачи правца (на основу анализе трагова на сијалицама) односно да нису били благовремено укључени (на основу упоредне анализе трагова на сијалицама и изјава сведока), расте одговорност возача који скреће. У неким ситуацијама одговорност возача који је претицао може потпуно да се елиминише. Уколико се докаже да су показивачи правца радили, да су притом били благовремено укључени и да је скретање започето пре почетка претицања, одговорност возача који је скретао може се смањити, па чак и потпуно елиминисати. Зато се у овим случајевима утврђује стање сијалица одговарајућих показивача правца скретања[22];

Саобраћајне незгоде у којима је дошло до обарања пешака, бицикла или налетања на другу препреку. Уколико се догоде ноћу или у време смањене видљивости, за такве саобраћајне незгоде може да буде значајно утврђивање стања светала фарова: да ли су фарови радили, односно да ли је радило дуго светло. Стање фарова је утиче на могућност да пешак уочи возило, али и на могућност да возач уочи пешака (или другу препреку). Дужина осветљеног сектора биће различита и зависиће од тога која су светла радила. То одређује да ли је конкретна брзина возила била прилагођена условима видљивости и дефинише могућности избегавања незгоде.

Остале саобраћајне незгоде у којима за анализу може бити важно да се утврди стање сијалица. Овде се мисли на низ специфичних и често сложених ситуација које су изазване или су у вези са неправилним стањем и функционисањем неких сијалица на возилу.

Најчешће ситуације у којима је важно утврдити стање сијалица јесу:

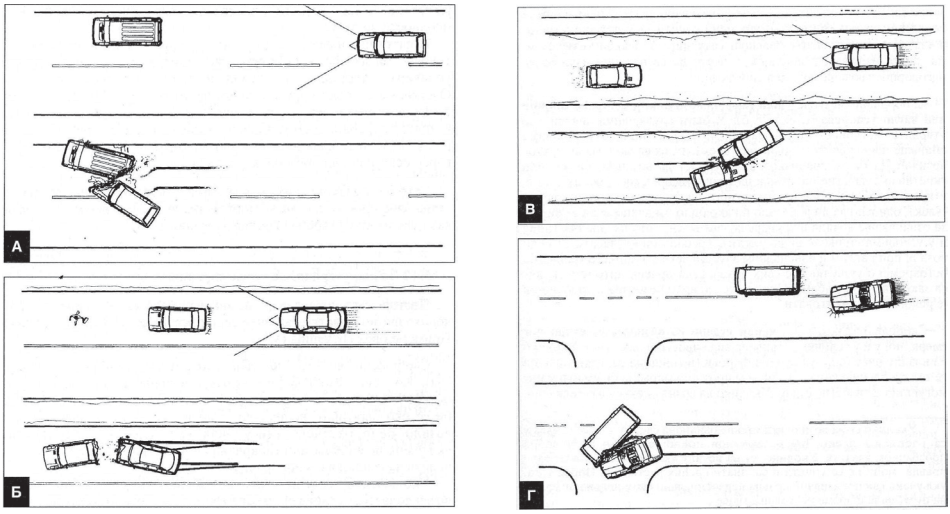
- код налетања на заустављено возило (ноћу и у условима смањене видљивости), значајно је стање сијалица за осветљавање возила (на

21 Ово је посебно често на уским коловозима, у време првог сумрака, кад неки возачи још нису укључили светла.

22 Анализама се може утврдити да ли је влакно мигавца било врућe у тренутку судара, што често није довољно! Наиме, остаје непознато да ли је показивач правца био укључен благовремено или непосредно пре судара.

заустављеном возилу) и сијалица за давање светлосних сигнала (на долазећем возилу);

- код налетања на возило у колони, значајно је стање сијалица за осветљавање возила (ноћу и у условима смањене видљивости) и сијалица стоп-светала (увек), код првог возила, односно сијалица за осветљавање пута, код другог возила;
- код неких чеоних судара (ноћу и у условима смањене видљивости) може бити значајно стање уређаја за осветљавање пута и возила;
- код саобраћајних незгода при претицању возила које скреће улево, значајно је стање левих показивача правца;
- код обарања пешака, бицикла или налетања на другу препреку, значајно је стање светала за осветљавање пута и возила, као и стање светала којима је означена препрека.



Слика 1: *Приказ најчешћих ситуација у којима је значајно утврђивање стања сијалица*

У неким од описаних ситуација утврђивање стање сијалица само доприноси потпуном расветљавању околности у којима се догодила саобраћајна незгода, док је у неким оно најзначајнији део анализе који одлучује о кривици једног, односно другог учесника незгоде. При вршењу увиђаја код таквих саобраћајних незгода, трагови који се налазе на сијалицама се сврставају у најважније трагове саобраћајне незгоде.

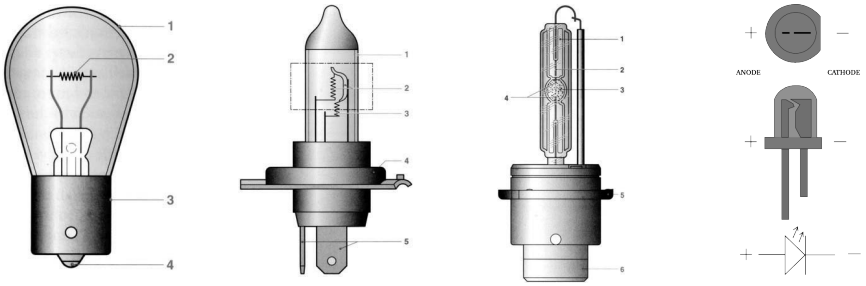
Сијалице анализирају вештаци који поседују одређена специфична знања и располажу посебном опремом (у посебним лабораторијама). Међутим, познавање трагова на сијалицама, њиховог значаја и могућности њихове анализе, значајно је и за раднике на увиђају, а посебно за оне који руководе увиђајем и обрађују трагове саобраћајне незгоде. Само на основу тих сазнања можемо образлагати поступак на лицу места саобраћајне незгоде и очекивати квалитетан рад на увиђају, стручно изузимање, чување и транспортовање спорних сијалица и њихових делова.

4. ДЕЛОВИ СИЈАЛИЦЕ И ПРИНЦИП РАДА СИЈАЛИЦЕ

У основи, постоје два главна типа сијалица:

- сијалице са ужареним влакном и
- сијалице без ужареног влакна.

Иако се сијалице које се користе у возилима константно унапређују, и данас постоји све израженија тенденција употребе сијалица без ужареног влакна, „старомодне" сијалице са ужареним влакном су и даље најзаступљеније у аутомобилима (Horvat et al., 2010).



Инкадесцентна сијалица | Халогена сијалица | HID сијалица (метал халид) | LED

Слика 2: *Типови сијалица*

Сијалице са ужареним влакном, имају: метално грло, жарну нит (спирала намотана жицом од волфрама дебљине мање од 0,1 мм), електроде (носаче спирале) и стаклени балон. Метално грло служи као проводник, који се спаја са извором електричне енергије. Према врсти металног грла, постоје сијалице са навојем и бајонет сијалице.

Жарна нит је спирала која се прави од волфрама. Волфрам или тунгстен[23] је метал сребрнобеле боје, који има високу температуру топљења (3390°C) и велики омски отпор (R_W=4,91*10^{-6} SI јединица). При проласку електричне струје кроз волфрамову спиралу, електрична енергија се претвара у топлотну, волфрамова спирала се загрева до усијања и емитује светлост. Температура волфрамове спирале достиже високе температуре. Како ове сијалице могу бити изведене као инкадесцентне (ужарено влакно се налази унутар стакленог балона испуњеног азотом или аргоном) и халогене (ужарено влакно се налази унутар стакленог балона који је испуњен халогеним гасом, јодом или бромом), температура ужареног влакна достиже температуру од 2500°C код вакуумских сијалица, односно до 3100°C код халогених сијалица (Lipovac et al., 2007a).

У производњи, волфрамова жица се извлачи кроз матрице, тако да на њој остају уздужне бразде. Оне су добро видљиве код нових влакана. При употреби сијалице долази до емисије и таложења волфрама на спиралу.

23 Шведски назив.

Волфрамово влакно се више загрева на местима где је тање јер је омска отпорност на тим местима већа. На њима је веће и испаравање волфрама. Тако се влакно још више тањи, повећава се омски отпор и расте температура. Када температура пређе границу топљења волфрама, долази до прегоревања. Крајеви прегорелих нити су затопљени, а размак између навоја спирале остаје равномеран. Емитоване волфрамове честице, хватају се на стаклени балон сијалице и он све више тамни. Због емисије и таложења волфрама губе се и уздужне бразде на спирали.

Код халогених сијалица испаравање волфрама је знатно смањено, захваљујући притиску инертног гаса. При високим температурама испарава и јод. Честице испареног волфрама спајају се са честицама испареног јода и настаје пара халогенид-волфрама. Ова врела пара је лакша и креће се навише, ка горњој страни кварцног стакла цевчице. У близини кварцног стакла она се хлади и пада наниже. Када се приближи усијаном влакну, халогенид-волфрама се распада. Ослобођене честице волфрама таложе се на усијано волфрамово влакно, а јод испарава и поново се спаја са другим испареним честицама волфрама. Како је волфрамово влакно најтоплије тамо где је најтање, на том месту ће волфрам највише испаравати, али ће се ту и таложити његове ослобођене честице.

Тако се стварно испаравање волфрама своди на минимум и продужава век трајања сијалице. Пошто се влакно ослања на кварцне ножице, његова температура може да расте и до 3100°C, што даје и већу количину светлости.

Дебљина волфрамове спирале зависи од јачине сијалице. Размак између суседних нити (корак спирале) приближно је равномеран. Хладан волфрам је прилично еластичан и при осцилацијама долази до еластичних деформација. Спирала се истеже и враћа у првобитни положај. При снажним истезањима (на пример, при јаким ударима) долази до пуцања хладне спирале. Супротно томе, усијана волфрамова спирала подложна је пластичним деформацијама. После јачих истезања (на пример при удару), врућа спирала се неће сасвим вратити у првобитни положај (спирала ће се растегнути или сабити, у зависности од смера деловања силе). Ово је посебно изражено код тањих спирала (сијалице мање снаге). Ако се ужарена спирала прекомерно истегне, доћи ће до смањивања њеног попречног пресека, што изазива повећавање омског отпора и повећавање температуре. На овим местима може доћи и до пуцања спирале („прегоревања сијалице“). Уколико се прекине ужарена спирала кроз коју пролази струја, ствара се Волтин лук и на том месту се знатно повећавају температуре. Будући да оне прелазе и тачку топљења волфрама, крајеви покидане спирале се затопе, у виду полукугле – печурке.

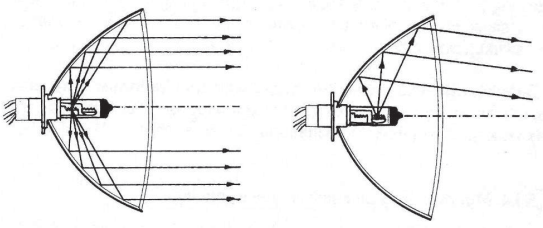
Хладан волфрам је релативно крт и врло слабо реагује са кисеоником (практично не оксидише). Супротно томе, ужарени волфрам брзо оксидише (реагује са кисеоником). При томе се стварају волфрамови нижи оксиди („температурна боја“) или сублимирани волфрам-триоксид (WO_3) који се, у контакту са хладнијим површинама, кондензује у виду жутобеличастог слоја.

Струја се доводи релативно јаким електродама, на које су заварене волфрамове спирале. Електроде се производе од метала (никла или бакра), чија је тачка топљења знатно мања него код волфрама (температура топљења чистог бакра је око 1083°C, а чистог никла око 1455°C). Знатно су дебље од спирала, имају мањи омски отпор ($R=1,55*10^{-6}$ SI јединица) и мање се загревају него волфрамова спирала. Зато се не усијавају и не емитују светлост.

Набројани елементи су смештени у стаклени балон. Температура омекшавања (топљења) стакла је знатно мања (од 900°C до 1000°C) него температура волфрамовог влакна (преко 2500°C). Отпали делови волфрамовог влакна хладе се на температуру испод 1000°C, за око 0,5 до 1 секунде (зависно од временских прилика). У балону је вакуум (сијалице мање снаге) или је он испуњен инертним гасом (сијалице веће снаге). Код халогених сијалица, спирала је смештена у цевчицу од кварцног стакла, која је испуњена инертним гасом (криптон) са малим додатком халогених елемената (јод или бром).

Сијалице са ужареним влакном које могу бити предмет анализе израђују се са једним или два влакна (*bilux* сијалице). *Bilux* сијалица за главни фар има два влакна: једно влакно за оборено и једно за велико светло. Та два влакна не могу да раде једновремено. Влакно великог светла постављено је у центар стакленог балона и емитује светлост на све стране, ка рефлектору, који је одбија, тако да формира приближно паралелан сноп светлости (слика 3а). Влакно обореног светла постављено је нешто испред влакна великог светла и изнад једног металног заклона. Тај заклон одбија светлост, тако да светлост пада само на горњи део рефлектора и одбија се наниже (слика 3б). Ако је заклон испод обореног светла симетричан, сијалица даје симетричан сноп светлости обореног светла (САД). Код нас се користе сијалице које дају асиметричан сноп светлости обореног светла[24] (имају асиметричан заклон, засечен са леве стране под углом од 15°). Струја се доводи преко три електроде: једна је заједничка за велико и оборено светло, а друге две имају изоловане прикључке.

Већина сијалица има само једно влакно. Међутим, сијалице главног фара најчешће имају два влакна, постоје и сијалице са два влакна које се користе за позициона и стоп-светла.



Слика 3: *Формирање снопа светлости сијалице главног фара: дугог и кратког светла*

24 Асиметричан сноп обореног светла боље осветљава десни део коловоза и не заслепљују возача из супротног смера. У државама где се вози левом страном (Енглеска и друге), користи се супротно асиметрично светло.

Код сијалица без ужареног влакна у овом тренутку се препознају два типа:

- LED сијалице,
- HID сијалице.

LED (Light Emiting Diode[25]) сијалице се састоје од једне или више међусобно повезаних полупроводничких диода које емитују светлост док кроз њих пролази електрична струја. LED се састоји од комадића полупроводничког материјала (најчешће силикона), са додатим одређеним нечистоћама како би се створио П-Н спој. Док кроз диоду пролази електрична струја, електрони прелазе са П стране (анода) на Н страну (катода), али не и у супротном смеру. Носиоци наелектрисања, електрони и празнине, струје до места спајања. Када електрон сусретне празнину, пада у стање нижег енергетског нивоа, и притом ослобађа енергију у форми фотона односно светлости. Овај ефекат се зове електролуминесценција. LEDs имају многе предности у односу на сијалице са ужареним влакном, и то: мања потрошња енергије, дуже трајање, мања величина, и брже укључивање и искључивање.

Слика 4: *Примери савремених LED сијалица*

HID (High Intensity Discharge[26]) сијалице стварају светлост електричним луком који настаје између електрода (од волфрама или молибдена) унутар стаклене коморе за сагоревање испуњене ксенонским гасом и металним солима (Ehmann, 2010). Ксенонски гас се користи само у почетку, код стартовања, док се у наставку користе металне соли.

5. МОГУЋНОСТИ УТВРЂИВАЊА СТАЊА СИЈАЛИЦЕ

Стање сијалица утврђује се на основу трагова на сијалицама или на њиховим деловима. Ти трагови су последица деловања снажних сила на влакно сијалице, као што су ударне силе, силе инерције и центрифугалне силе. Резултат дејства тих сила зависиће од тога да ли је влакно било хладно или усијано, у тренутку деловања сила, тј. у тренутку судара.

Могуће је разликовати следеће ситуације (Липовац, К., 2000):

- влакно је ново или истрошено при дугој употреби;

25 Диоде које емитују светлост.
26 Пражњење високог интензитета.

- влакно је неоштећено или пукло;
- влакно је деформисано или недеформисано;
- попречни пресек на месту пуцања је са ситнозрном структуром или је затопљен;
- влакно је сјајно и сребренастобеле боје или је поцрнело од оксидације, обојено жутом или сивом бојом волфрамових оксида (WO_3 или W_2O_5);
- на влакну се уочавају фрагменти стакла (у виду капљица) или их нема.

Дакле, вештак на основу трагова на сијалицама утврђује стање сијалице. Међутим, да би се коректно поступало на лицу места, значајно је прецизно дефинисати шта може да утврди вештак на основу анализе сијалице?

На основу детаљне анализе сијалице вештак може да утврди:

- да ли је спирала сијалице била хладна или врућа у тренутку судара[27];
- да ли је до кидања спирале дошло услед судара или је то последица ранијег прегоревања;
- да ли је сијалица била дуже у употреби или је нова.

За правилан рад на лицу места, значајно је знати на основу чега вештак доноси ове закључке? Вештак доноси закључке на основу анализе трагова на сијалицама или на деловима сијалица, и то:

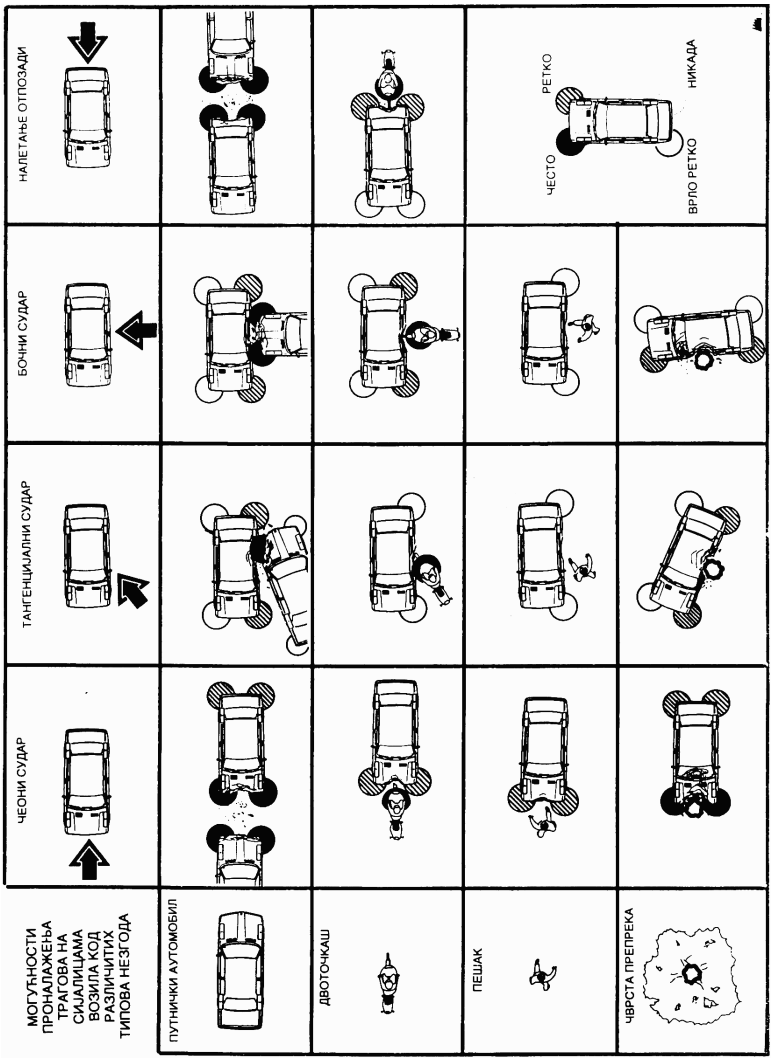
- на основу анализе апсолутних промена – анализирајући једну сијалицу и
- на основу анализе релативних промена – упоредном анализом две или више сијалица.

Мада ће вештак, по правилу, вршити упоредну и свеобухватну анализу апсолутних и релативних промена, једноставнија је и поузданија анализа релативних промена. Зато би на лицу места требало изузимати сијалице у паровима кадгод је то могуће (на пример, сијалице из оба фара, сијалице из оба мигавца, сијалице оба позициона светла и слично).

У зависности од врсте и интензитета судара, као и од положаја сијалице у односу на центар судара, настаће сви или поједини трагови који могу указати на стање сијалице у тренутку судара. Треба напоменути да ће се лакше и чешће наћи трагови на разбијеним сијалицама (ваздух улази у балон и контактира са волфрамовом спиралом).

Међутим, како би се омогућиле било какве анализе трагова на сијалицама, неопходно је да се претходно изврши коректно обезбеђење свих трагова који ће се обрађивати (Lipovac et al., 2007в), уз примену свих метода фиксирања применом савремених техничких средстава (Нешић et al., 2011).

27 Дакле, вештак може одговорити да ли је влакно било хладно или ужарено у тренутку судара. При анализи незгоде могу се јавити два проблема: на основу анализе сијалице чија спирала је била врућа у тренутку судара није могуће утврдити и кад је сијалица укључена, а ако се утврди да је спирала сијалице мигавца била хладна у тренутку судара, то не значи да мигавац није био укључен.



Слика 5: *Могућности проналажења трагова и испитивања стања сијалица код различитих типова саобраћајних судара (Липовац К., 2000)*

6. ТРАГОВИ КОЈИ СЕ МОГУ НАЋИ НА СИЈАЛИЦАМА

Коректну обраду на лицу места могу да врше само она лица која разумеју значај трагова на сијалицама и могућности њихове анализе. Зато ћемо се кратко упознати са траговима на сијалицама и начином њиховог настанка.

Који су то трагови на сијалицама, како и када настају? Разликујемо два случаја (Lipovac et al., 2007a).

1) Ако *стаклени балон није разбијен, нити оштећен*, онда при судару може доћи до истезања или до пуцања спирале на сијалицама које су близу центра ударних површина. Овде се, најчешће, ради о случајевима кад сијалица није директно погођена дејством силе. Дакле, стање сијалица ће се моћи поуздано утврдити само ако је судар био снажан и ако се сијалица налазила у непосредној близини центра судара. При обарању пешака неће се моћи утврдити стање неразбијене сијалице, јер удар није довољно снажан[28]. Ако је дошло до снажног удара у задњи десни ћошак возила, онда ће се моћи поуздано утврдити стање сијалица на том ћошку, али не и стање осталих сијалица.

1а) Ако је спирала у тренутку судара била *хладна*, истезања су еластична (враћа се у првобитни положај). Хладна спирала ће пући (покидати се) код екстремно јаких судара. Обично пуца у близини места причвршћивања. Површине пуцања ће бити сребренасто сјајне, са оштрим ивицама и израженом ситнозрном структуром.

1б) Врућа спирала ће се деформисати при јаким ударима – доћи ће до трајног (пластичног) истезања (размак између нити спирале није равномеран). Величина те деформације зависи од: силине удара, близине центра судара, типа сијалице и снаге сијалице. Врућe спирале ће веома ретко пући (само код екстремно јаких судара). Површине пуцања биће стањене, неће имати оштре ивице, а могу се наћи и трагови топљења на овим ивицама. Уколико ужарено влакно волфрама или његови комадићи додирну електроду или метални заклон, доћи ће до топљења електроде и заклона. Уколико ужарени комадићи волфрамовог влакна који отпадају са спирале додирну стакло балона, они ће га истопити и увртети се у њега. Међутим, због наглог хлађења тих комада (при контакту са стаклом), волфрамови комадићи ће остати у стаклу. Уколико се волфрамова спирала откине на месту причвршћивања за носач, овај крај може да дође у контакт са металним деловима сијалице. При томе ће настати трагови топљења (због електричног лука) или ће се пренети делови материјала (никла или бакра) на спиралу.

2) Уколико при судару дође до *пуцања стакленог балона или се балон помакне из лежишта*[29]*, доћи ће до контакта спирале и ваздуха. Под дејством потпритиска, силе инерције и силе гравитације, на спиралу ће падати и комадићи разбијеног стакла балона. Експерименти су показали да спирала прегорева тек после 4–10 секунди (зависно од јачине), после уласка ваздуха у стаклени балон (у овом периоду она је усијана).*

2а) Ако је спирала била *хладна* у тренутку судара, неће доћи до оксидације волфрамове спирале. Наиме, хладан волфрам врло споро реагује са кисеоником. Зато ће спирала задржати сребренасту боју, а посебно на површинама пуцања. Површине пуцања су сребренасто сјајне, имаће оштре ивице и изражену ситнозрну структуру. Комадићи стакла који су падали на спиралу, одбиће се и наставити да падају. На спирали

28 Само у изузетним случајевима, када је пешак директно ударен фаром, може се утврђивати стање сијалица фара.

29 У неким случајевима стаклени балон је неразбијен, али је померен у лежишту тако да ваздух продире у унутрашњост балона.

могу да остану само лабаво нахватани комадићи ситне стаклене прашине, а размак између навоја спирале остаје равномеран (због еластичне деформације).

2б) Ако је спирала била *врућа* у тренутку судара, онда ће доћи до интензивне реакције са кисеоником – волфрамово влакно ће добити температурну боју и оксидирати[30]. Ова оксидација ће бити значајнија, ако се влакно после судара споро хладило (није покидано, па је остало ужарено и непосредно после судара) и обратно (на хладнијем времену, спирала се покидала при судару). При оксидацији волфрама, настаје температурна боја, а затим и волфрамов жути оксид који се таложи на хладнијим деловима. Жути трагови волфрам-оксида могу се наћи на свим деловима сијалице, а посебно на оним који су били хладнији. Размак између навоја спирале може бити различит (неравномеран), због пластичне деформације ужарене спирале. Стакло које пада на ужарени волфрам тренутно се топи и задржава у виду капљица на деловима спирале. Мада се метални заклон загрева посредно (јер је близу волфрамовог влакна), његова температура превазилази тачку топљења стакла (преко 1000°C). Зато ће се комадићи стакла који падну на заклон истопити и остати у виду капљица. Волфрам ће оксидирати на површинама пуцања. Зато површине пуцања нису сјајне, већ су тамне. Ивице тих површина неће бити оштре, а могу се наћи и трагови топљења.

7. ПОСТУПАК НА ЛИЦУ МЕСТА

На лицу места нису присутна стручна лица која би анализирала стање сијалица, а нема ни неопходне опреме. Зато се те анализе врше накнадно, у посебно опремљеним лабораторијама. За оне који су на лицу места саобраћајне незгоде (криминалистички техничари и саобраћајни милиционери) значајно је (Липовац, К., 2000):

– да препознају ситуације у којима је значајно утврђивање стања сијалице;
– да знају могућности и домете вештачења стања сијалице;
– да на основу конкретне ситуације правилно одаберу сијалице које ће изузимати;
– да познају поступак изузимања, паковања, транспортовања и чувања сијалица, како не би значајне трагове уништили.

Поступак на лицу места се може свести на следеће (Lipovac et al., 2007б):

1) Утврдити да ли је стање сијалица важно за анализу незгоде. Ако јесте, требало би утврдити које су сијалице значајне;
2) Не палити светла како би се проверило стање сијалица! Питати да ли је неко други палио светло пре нашег доласка на лице места. Ако јесте, то се мора евидентирати и саопштити вештаку. Наиме, накнадним паљењем светла, спирала би се могла ужарити (ако је оста-

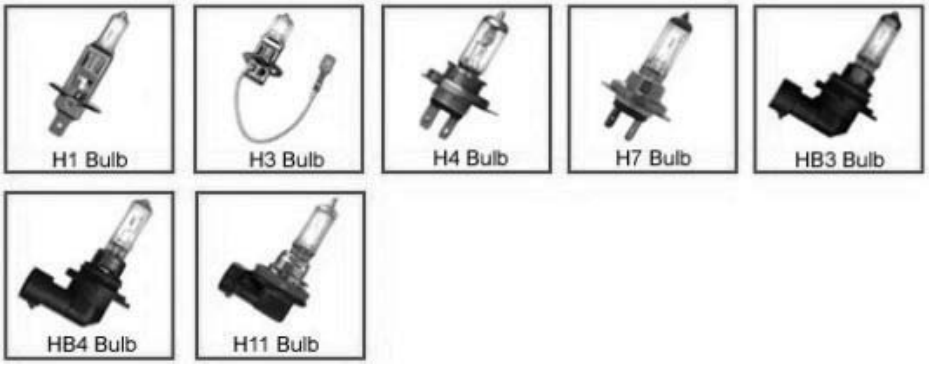
30 Требало би напоменути да се температурна боја и присуство волфрамовог оксида могу користити само ако се поуздано зна да светло није накнадно укључивано!

ла непокидана), а тиме и уништити неки важни трагови на сијалици или створити нови, што би могло навести вештака на погрешан закључак;

3) Утврдити и документовати положај прекидача значајне сијалице. То се може утврдити визуелно: самостално или уз помоћ возача или неког ко је за то стручнији. Стање прекидача се констатује у записнику;
4) Утврдити и документовати стање осигурача! Ако су сви осигурачи исправни, то ћемо констатовати. Ако је неки од осигурача прегорео, евидентираћемо његов положај (трећи са леве стране возила и сл.);
5) Пажљиво извадити значајне сијалице или делове ових сијалица. При вађењу не би требало трести сијалице, нити их оштетити. Ако прети опасност да разбијемо сијалицу, боље је извадити цео склоп – фар. По потреби тражити помоћ аутомеханичара или другог стручњака. Уколико нам се деси да оштетимо сијалицу (да је при вађењу разбијемо), то ћемо обавезно констатовати у извештају и/или записнику и о томе обавестити вештака. Ако је стаклени балон био разбијен, онда ћемо у кућишту фара пронаћи и изузети све (па и најситније) делове сијалице: комаде стакла, сијалично грло, спиралу и електроде;
6) Изузету сијалицу, фар или делове сијалице би требало пажљиво запаковати и означити. Трагови различитих сијалица се раздвајају и посебно пакују. Делови сијалице се могу осигурати стиропором, ватом, папиром и слично. Тако обезбеђене сијалице и/или делове сијалица требало би паковати у папирне кесе, а ове у картонске кутије. На паковањима или на пратећим документима требало би написати ознаку трагова (појединачно их означити) и прецизно их описати. На пример, на кутији ћемо написати ознаку 17, а у папирну кесу, заједно са сијалицом, уметнути папир са натписом: *17. – сијалица десног показивача правца, са предње – чеоне стране 3-101, БГ*101-234, неразбијена*;
7) Документовати интензитет и положај оштећења возила, као и положај сијалице[31] у односу на ова оштећења. Оштећења се документују фотодокументацијом и записником о увиђају. Промене на сијалицама су последица судара и зависе од јачине судара и растојања сијалице од центра судара. Зато је при вештачењу сијалица корисно имати и ове податке у виду;
8) Поступак изузимања сијалица или комада сијалица требало би описати у записнику и/или извештају: *...на лицу места је изузета, неразбијена сијалица, са предњег (чеоног) десног показивача правца 3-101...*
9) Поступак изузимања обавезно прати и доказивање да изузети предмети и трагови потичу са лица места. Зато је најбоље изузимање вршити на лицу места, уз присуство возача, а у записнику констатовати серијски број или макар врсту и карактеристике сијалице коју смо изузели. Изузимање се може документовати и фотографијама.

31 У пракси су чести примери да вештак добије изоловану сијалицу или фар. Некад вештак не зна њихов положај на возилу, као ни интензитет судара и близину ударне површине.

Требало би још једном поновити да се на лицу места не доносе никакви закључци, већ се изузимају предмети и трагови на основу којих ће вештак донети закључке. При томе је боље изузимати сијалице у пару, посебно ако оне нису разбијене. На пример, изузети сијалице оба фара, оба мигавца, оба стоп-светла, оба позициона светла и слично. То ће мало отежати рад на лицу места, али ће помоћи вештаку да упоређивањем стања сијалице која је близу центра судара са оном која је удаљена донесе поузданије и коректније закључке (Lipovac et al., 2007в).



Слика 6: *Разни типови халогених сијалица*

8. НАЈЧЕШЋЕ ГРЕШКЕ У НАШОЈ ПРАКСИ

У нашој пракси су бројне грешке у анализи стања значајних сијалица. Највећи број чине грешке при фиксирању трагова на сијалицама, које онемогућавају даљу анализу.

Најзначајније би било истаћи следеће грешке (Липовац К, 2000):

1) На лицу места није процењен значај сијалица и нису уопште фиксирани трагови на њима. Нажалост, ово је најчешћа и најозбиљнија грешка у нашој пракси. Руководилац увиђаја није сматрао важним и није дао налог да се значајна сијалица изузме. Тако су елиминисане све шансе накнадног вештачења стања сијалица. То се често догађа и у условима када неки од учесника незгоде или чланова екипе (криминалистички техничар или саобраћајни полицајац) скрене пажњу да је стање сијалице допринело настанку незгоде. Руководилац увиђаја би требало да сам процени значај сијалица за анализу незгоде и да налог да се одређене сијалице изузму. Посебно би требало изузети сијалице кад неки од учесника незгоде или члан екипе скрене пажњу на значај сијалица;
2) На лицу места нису изузете све значајне сијалице или нису изузете друге сијалице, које посредно указују на стање значајних сијалица (на пример, ако нису била укључена позициона светла, нису радила ни светла за означавање пута и слично). Увиђајна екипа се че-

сто задовољава изузимањем тачно одређене, спорне сијалице. Тако се сужавају могућности стручне анализе стања сијалица (изостаје могућност упоредне анализе промена на сијалицама), што закључке чини непоузданим или непрецизним;

3) Сијалице се не изузимају јер најважнија сијалица није приступачна или се њени комади не могу поуздано наћи или раздвојити од комада осталих сијалица. То су чести случајеви, у којима руководилац увиђаја одустаје од изузимања осталих сијалица (које би могле указати на стање спорне сијалице). Таква пракса је потпуно погрешна, јер се стање једне сијалице може одређивати и посредно (на пример, ако је десни фар имао укључена оборена светла, онда на левом нису могли бити укључена велика светла; ако су инсталације исправне и десно позиционо светло било хладно, то значи да је и лево позиционо светло било хладно и слично);
4) Изузимање сијалица није описано у записнику о увиђају, нити у његовој допуни. Анализа тако изузетих сијалица лако се обара на суду јер нема доказа да оне потичу са лица места. Тако се дешава да квалитетни поступци изузимања значајних сијалица немају никакав процесни значај. То је врло честа грешка у нашој пракси која доскора није ни била евидентирана. Међутим, добри адвокати, у сарадњи са вештацима, све чешће успешно оспоравају процесну вредност, овако изузетих сијалица;
5) Спорна сијалица је укључивана после незгоде, а то није ничим документовано. При укључивању сијалица (од стране учесника незгоде, сведока или чланова екипе), може доћи до загревања волфрамовог влакна (ако није прегорело или ако крајем додирне металне делове сијалице) и настанка одређених трагова који ометају вештака у анализи стања сијалице. Зато је важно да се свако накнадно укључивање сијалица документује на одговарајући начин;
6) При изузимању сијалица се разбије, а то се не документује у записнику о увиђају, нити на други начин. На овај начин вештак се може довести у заблуду, а његов налаз може бити погрешан. Наиме, ако је стаклени балон пукао при судару, вештак очекује низ трагова на сијалици. Уколико се балон оштети накнадно (при изузимању, при паковању, при чувању или при транспорту), ових очекиваних трагова неће бити. Зато је неопходно да се балон чува, а ако се ипак оштети, ово се мора написати у записнику о увиђају или на други начин документовати;
7) Сијалица је разбијена или је накнадно укључивана, па зато није изузета. Велики проценат руководилаца увиђаја, чак и криминалистичких техничара, сматра да нема могућност анализе и реконструкције стања сијалице уколико је ова оштећена при судару, ако се оштети при изузимању или ако је неко укључивао после судара. То је апсолутно погрешно. Наиме, ако се вештаку предоче све промене после судара (лупање или укључивање), он ће најчешће моћи да реконструише стање сијалице у тренутку судара;

8) Вештаку се достављају само сијалице или комади сијалица, без пратећих докумената о изузимању. Нису ретке ситуације у којим вештак не зна ни о којим се сијалицама ради, као ни у каквом су стању изузете, да ли су накнадно разбијене, да ли су накнадно укључиване и слично. Да би вештак квалитетно и поуздано утврдио стање сијалице, неопходно је да, поред сијалице, добије и пратећи извештај (записник) о изузимању, односно да сваку сијалицу прати ознака са легендом и кратким описом важних елемената поступка изузимања;
9) Све изузете сијалице су заједно запаковане. Осим што постоји велика могућност да се сијалице међусобно полупају, вештак често не може да разликује поједине сијалице или њихове комаде. Важно је изузете сијалице или њихове делове добро обезбедити од накнадних лупања и оштећивања, а паковати их појединачно, у раздвојеним паковањима;
10) Вештаку се на анализу доставља само изузета сијалица, без увиђајне документације. Обзиром да трагови на сијалици настају при судару, они и зависе од врсте и силине судара, као и од положаја центра судара у односу на сијалицу. Да би вештак дао што поузданије и свеобухватније тумачење трагова на сијалици, неопходно је да што детаљније познаје услове настанка незгоде. То се постиже тако што му се, осим спорних сијалица, достављају и остали елементи увиђајне документације, а посебно записник о увиђају, скица (ситуациони план) лица места и фотодокументација.

9. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ МЕРА

Бројне су саобраћајне незгоде за чију анализу је важно познавати стање одређених сијалица на возилу. Да би се поуздано утврдило стање сијалице у тренутку судара, неопходно је имати одговарајући стручни кадар (вештаке), као и опремљене лабораторије. Међутим, наш највећи тренутни проблем представља врло лоша пракса обраде и фиксирања сијалица на лицу места саобраћајне незгоде. То се може превазићи образовањем свих чланова увиђајне екипе, а посебно руководилаца увиђаја. Прихватање одређеног упутства о поступку изузимања сијалица могло би допринети квалитету ових увиђаја. На одговарајућим курсевима у ВШУП-у (курс за контролу и регулисање саобраћаја и криминалистичко-технички курс), сви саобраћајни полицајци и криминалистички техничари детаљно изучавају трагове на сијалицама, могућности реконструкције стања сијалица и поступак изузимања сијалица и делова сијалице.

Зато би, у овом тренутку, квалитетном изузимању сијалица и њихових делова највише допринело образовање непосредних старешина који прегледају и оверавају увиђајне документације.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baker, S.: *Traffic accident investigator"s manual for police*, Illinois, Evenston, 1963.
2. Balbino, M. A., Fiaschi, G. de Andrade, J. F., Saczk, A. A., Okumura, L. L., de Oliveira, M. F.: *development of mev-eds methodology for forensic analysis on automotive headlights, www.ipebj.com.br/forensicjournal/Development_of_ methodologies.pdf*, 5. 2. 2013.
3. Dirk B. i Ulrich P.: *Das forensische Gutachten uber den Betriebszustand von Fahrzeuglampen aus unfallbeteiligten Fahrzeugen*, Verkehrs unfall und Fahrzeug technik, 1/1984, 181-183.
4. Ehmann, R., M. S.; Jorn C.C. Yu., Determination of energization state of Xenon high intensity discharge automobile headlights. *Forensic Science Journal*, 2009, 8(1): 13-28.
5. Haris, J.O.: *Lamp Examination to Determine On or Off in a Collision*, Haris Technical Services, 1996. (3), preuzeto sa Interneta.
6. Horvat R, Barisic-Jaman B, Mrsic G, Špoljarić I, Vrdoljak A, Pehar I., *Method of light bulbs analysis on vehicles damaged in traffic accidents*. Promet-traffic & transportation, 2010, 22 (4): 259-271.
7. Lipovac K., Nešić, M., Bjelovuk, I.: Multimedijska uviđajna dokumentacija saobraćajnih nezgoda u svetlu savremenih metoda utvrđivanja činjenica, *Zbornik radova – Stručni seminar pod nazivom „Unapređenje poslova obezbeđenja lica mesta i vršenja uviđaja saobraćajnih nezgoda"*, Saobraćajni Fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2007, str. 115-122.
8. Lipovac K., Nešić, M., Vukašinović, M.: Tragovi na sijalicama i mogućnosti utvrđivanja stanja sijalica, *Zbornik radova – Stručni seminar pod nazivom „Unapređenje poslova obezbeđenja lica mesta i vršenja uviđaja saobraćajnih nezgoda"*, Saobraćajni Fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2007, str. 133-148.
9. Lipovac, K., Nesic, M., Rebic, V.: Professional development of the traffic police in the field of securing the scene of a road traffic accident and road traffic accident scene investigations. Case study – Serbia, *International scientific conference "Archibald Reiss Days", Thematic conference proceedings of international significance, Volume II*, Academy of criminalistic and police studies, Belgrade, 2012, pg. 993-1005.
10. Lipovac, K., Milinić, B., Nešić, M., Vasiljević, J., Vukašinović, M.: *Policijska obrada saobraćajnih nezgoda, obezbeđenje lica mesta saobraćajnih nezgoda i vršenje uviđaja: priručnik*, Saobraćajni fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd, 2007, str. 117.
11. Lipovac, K., Nešić, M.: Evropski akcioni program bezbednosti saobraćaja (Evropski akcioni program bezbednosti saobraćaja – prepolovljavanje žrtava saobraćajnih nezgoda u Evropskoj uniji do 2010. godine – zajednička odgovornost), *Bezbednost*, Vol.. 47, br. 3 (2005), str. 513-533.
12. Nešić, M., Lipovac, K., Malešić, S.: Savremeno vršenje uviđaja u funkciji unapređenja analize saobraćajnih nezgoda, *Zbornik radova – X Simpozijum „Analiza složenih saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju"*, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Beograd, 2011, str. 143-150.

13. Pohl, K.D.: Uber Probleme und Moglichkeiten bei der Beurteilung des Beleuchtungszustands von Fahrzeugen nach Verkehrsunfallen, *Verkehrs unfall und Fahrzeug technik*, 1/1983.
14. Глушица, Б.: Вештачење аутомобилских сијалица, *Зборник радова са саветовања: Вештачење саобраћајних незгода на путевима*, Аранђеловац, Друштво инжењера и техничара, Београд, 1996.
15. Декањ, Ј.: *Електрични уређаји на моторним возилима*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1976.
16. Закон о безбедности саобраћаја на путевима, *Службени гласник Републике Србије*, бр. 41/09, 53/10, 101/11.
17. Липовац, К.: *Увиђај саобраћајних незгода – елементи саобраћајне трасологије*, Виша школа унутрашњих послова, Земун, 2000.
18. Поповић, М.: *Примена уређаја у оперативној контроли саобраћаја*, Виша школа унутрашњих послова, Земун, 1994.

КАРАКТЕРИСТИКЕ ОШТЕЋЕЊА ТКИВА ЈЕТРЕ И СРЧАНОГ МИШИЋА КОД ИНТРАВЕНСКИХ ХЕРОИНОМАНА

VIII Глава

Горан Илић, Радован Карацић
Завод за судску медицину
Медицинског факултета у Нишу

Сажетак: Микроморфолошка, хистохемијска, имунохистохемијска и ултраструктурна испитивања јетре, као органа који највише страда при злоупотреби хероина, учињена су са циљем да се прецизно сагледају врсте и степена оштећења јетре изазваних интравенском злоупотребом хероина, као и то да ли је израженост ових лезија зависна од дужине временског периода у којем је интравенски апликован хероин. Хистолошка и имунохистохемијска испитивања срчаног мишића имала су циљ да покажу да је код хероиномана у току вирусне инфекције оштећена функција имуних ћелија, што за последицу има дисфункцију срчане коморе и могућност настанка плућног едема у фаталној овердози.

Теже морфолошке лезије (хронични активни хепатитис, цироза и дифузне масне промене) на јетри утврђене су у више од половине анализираних случајева. Интравенско уношење хероина доводи до значајних морфолошких промена на ткиву јетре, при чему је интензитет ових промена већи, што је дужи временски период у којем је злоупотребљаван хероин. Директни хепатотоксични ефекти хероина су везикуларне промене на хепатоцитима, масне промене су последица хроничног дејства алкохола, док су остале утврђене морфолошке лезије јетре настале у интеракцији дејстава хероина, вирусних инфекција и алкохола.

Резултати истраживања оштећења миокарда су показали да значајно смањен број макрофага у истраживаној групи хероиномана у односу на контролу упућује на закључак да лезије ћелија имуног система могу продуковати временом дисфункцију леве коморе и могућност настанка плућног едема као компликацију предозирања хероином.

Кључне речи: хероин, јетра, срчани мишић, интравенска злоупотреба, хепатитис, цироза, макрофаги.

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Хероин је најзначајнији опиоид који се злоупотребљава. Хероин (диацетил – морфин) се брзо хидролизује у 6-моноацетилморфин (6-MAM), који се даље преводи у морфин. Хероин и 6-MAM су липосолубилнији од морфина и брже пролазе крвно-мождану баријеру. Данас се зна да су морфин и 6-MAM одговорни за фармаколошко дејство хероина. Рапидна хидролиза хероина се одвија путем секвенционе деацетилације две одвојене естарске везе уз помоћ обичних, распрострањених, ткивних естераза (псеудохолинестеразе) (Kamendulis i sar., 1996) до 6-MAM и на крају до морфина, који се онда конјугује са глукуронском киселином.

Јетра представља врло важан орган у људском телу, она је највећа жлезда у организму и игра кључну улогу у уклањању липофилних материја из плазме, где спадају и морфин и његов дериват хероин. Хепатоцит је главно место биотрансформацијских система који својим ензимима омогућавају да се метаболити ових једињења излуче из организма. У току ових процеса долази и до токсичних оштећења ткива јетре, а уз то само интравенско уношење хероина доводи и до настанка инфекција јетриног ткива (хепатитис, сида), долази до ултраструктурних промена на хепатоцитима итд., те су ефекти уношења хероина на јетри најизраженији и најкарактеристичнији. Морфолошке промене на ткиву јетре праћене су њеном измењеном функцијом што има за последицу другачији метаболизам хероина и других токсина који се истовремено са њим уносе у организам (алкохол, лекови), те су и ефекти злоупотребе ових супстанција измењени и често изненађујући (Passarino et al., 2005; Toupalik et al., 2002; Skeie et al., 2008; Darke, 2003; Steentoft et al., 2006).

Опијати су моћни хистаминолибератори и студије показују да најчешће злоупотребљаване дроге, хероин и кокаин, ослобађају хистамин из мастоцита у присуству оксидативних ензима, што је додатни ризик за овердозирање хероином и кокаином (Di Bello et al., 1998). Анализа 48 смртних исхода повезаних са хероином (Fineschi et al., 2001) сугерише анафилактички шок као могући узрок смрти. Плућни едем као компликација предозирања хероином сматра се главним доприносећим фактором у настанку смрти хероинских зависника. Патогенетски механизма није сасвим јасан, али је и дефект у контрактилности миокардиоцита предложен. Други механизми су такође дискутовани: хипоксија која индукује пораст пермеабилности плућних капилара, централно индукована респираторна депресија, примарни токсични ефекти на алвеоларне капиларе и акутни анафилактички шок (Dettemayer, 2000). Промене на миокарду, укључујући благ инфламаторни процес, у оквиру инфекције, посебно хепатитиса Б и Ц, заслужује посебно интересовање. Може се претпоставити да ови агенси воде ка оштећењу срца, узрокујући на крају и плућни едем. Студије засноване на конвенционалној хистологији не показују разлике у алтерацији миокарда у односу на контроле, нити могу показати корелацију миокардијалне фиброзе и миокардитиса са концентрацијом морфина и 6-моноацетилморфина (6-MAM) (Dettemayer, 2009).

Кардијалне лезије код зависника од дрога изгледа имају разноврсне факторе: инфекцију, токсични ефекат, хиперсензитивност и генералну хипоксију. Више аутора сматра да последња два фактора су јављају најчешће и заслужују посебно интересовање. Значај лезија срца изгледа да варира, али понекад може бити детерминишући фактор у фаталном исходу злоупотребе дрога (хероина) (Rajs et Falconer, 1979).

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

2.1. Истраживање оштећења јетре

Студија је обухватила анализу 50 аутопсија и то 40 из групе интравенских хероиномана, а десет обдукција је представљало контролну групу (лешеви младих и здравих особа смртно страдалих због механичких траума које нису захватиле јетру). Од анализираних обдукција, 49 је обављено на Институту за судску медицину, а један на Институту за патологију у Нишу.

Од 40 обдукованих лешева интравенских хероиномана – 34 су били лешеви особа мушког, а шест женског пола.

Укупно је било пет лешева особа у старосној групи од 15 до 20 година, девет у групи од 21. до 25. године, 12 од 26. до 30, пет од 31. до 35, шест од 36. до 40. и три у старосној групацији преко 40. године живота.

У контролној групи осам лешева је било особа мушког и два женског пола (график 4.1).

Из ове групе једна особа је била старости до 15 година, две у старосној групацији 16. до 2о. године живота, пет од 21. до 25. године старости, једна у групи од 26. до 30. године живота и једна од 30. до 35. године старости.

Као доказ да се ради о интравенским хероиноманима служио је обдукциони налаз (свежи и стари убоди настали интравенском апликацијом хероина и др.), хемијско-токсиколошко доказивање хероина у крви и органима, подаци из евиденције Одсека за болести зависности Завода за ментално здравље у Нишу, као и подаци добијени од блиских рођака пре саме обдукције у Заводу за судску медицину у Нишу. На исти начин су добијене информације о дужини стажа *iv* злоупотребе хероина, о учесталости *iv* апликације, о постојању евентуалних фаза апстиненције, о уношењу алкохола и/или лекова за смирење (бензодиазепина и других).

Ради лакшег проучавања сви обдукцијски случајеви интравенских хероиномана груписани су по дужини временског периода интравенског уношења хероина у четири групе: са стажом до две године, између две и пет година, између пет и десет година и са стажом дужим од десет година.

Код морфометријског одређивања броја хепатичких синусоидалних макрофага аутопсијски случајеви су груписани по врсти морфолошких промена утврђених микроморфолошким испитивањем.

У току обдукција узимани су исечци јетре (од три до пет) који су фиксирани у 10% раствору формалдехида, обрађени у аутотехникону.

За ултраструктурно (електрономикроскопско) испитивање извршена је фиксација исечака јетре у глутар-алдехиду, а калупљење ткива у епону. Парафински пресеци, дебљине 5 μм, су бојени следећим методама (Raphael, 1983):

- Класичном (*HE*) методом, за испитивање хистолошких промена;
- Хистохемијским методама, за верификацију нађених хистолошких лезија;
- *PAS* – за бојење депонованог гликогена. Одређивање садржаја гликогена обављено је семиквантитативном методом, тако што је његова нормална количина означавана са (++), смањење I степена са (+), II степена са (±), а потпуно одсуство са (-).
- *Van Gieson* – за доказивање колагена;
- *Gomori* – за сагледавање ретикулинског скелета (строме) и мембрана;
- *Congo rot* – за верификацију амилоида.
- Имунихистохемијском (ПАП) методом, уз коришћење антитела на *core* и *surface* антигене за потврђивање вирусног Б хепатитиса (Katić i sar., 1995);
- Ултраструктурно проучавање ћелијских органела, колагена, макрофага, као и промена на другим структурама. Истакнуто испитивање је извршено на трансмисионом електронском микроскопу JEM 100 CX JEOL;
- Морфометријски су испитивани хепатички синусоидални макрофаги (Купферове и ендотелне ћелије). За ово истраживање коришћен је тестни систем M 42 који је помоћу објективног микрометра укалибриран за повећање на којем су ћелије бројане – објектив 40 x и окулар 10 x. На том повећању површина тестног система износила је At = 0,058 mm^2, а на овој површини су бројане ћелије „методом шах поља" и то на 10 поља. Из збира избројаних ћелија и површине тестног система израчунат је просечан број, Nk, хепатичких синусоидалних макрофага (Купферових и ендотелних ћелија) на 1 mm^2 (Kališnik, 1977; Kališnik, 1985; Gudović i sar., 1994);
- Од статистичких метода коришћена је средња вредност – x, стандардна девијација – SD, стандардна грешка – SE, студентов T-тест и Фишеров тест егзактне вероватноће.

2.2. Истраживање оштећења срчаног мишића

Истраживана је група хроничних интравенских хероиномана од 13 случајева, чије су смрти биле повезане са злоупотребом хероина. Обдуковани су лешеви особа животне доби од 21 до 42 године, у 11 случајева мушког, а у два случаја женског пола. У складу са токсиколошким налазима, у већини ових случајева смрт је била резултат мешовите интоксикације са предоминацијом овердозирања хероином као узроком смрти. Контролни случајеви су биле обдукције шест лешева особа без икакве историје злоупотребе хероина, које су страдале због политраума у саобраћајним

удесима. У контролној групи су били лешеви особа животне доби од 26 до 35 година, у два случаја мушког, а у четири женског пола.

Шест узорака срчаног мишића узимано је са стандардних локализација (предњи, задњи и спољашњи зид леве коморе, предњи и задњи зид десне коморе и кранијални део међукоморског септум). Узорци за токсиколошку анализу узимани су по рутинској процедури.

Стандардно хистолошко истраживање је обављено на узорцима срчаног мишића дебљине 5 μ, фиксираним парафином и обојеним хематоксилин-еозином (HE) бојењем. Свих шест узорака срчаног мишића истраживано је у сагласности са Далас критеријумима (Aretz et al., 1987).

За имунохистохемијску анализу сви миокардијални исечци су депарафинисани у ксилену и рехидратисани у градуисаном алкохола и на крају у дестилованој води. Узорци су микроталасирани и третирани цитратним пуфером pH 6,0 (20 минута моноклоналним CD45R0, клоналним UCHL1 и 30 минута за детекцију леукоцит позитивних на леукоцит заједнички антиген (LCA), моноклоналног LCA, клон PD1/26 и 2B11 и такође CD68 моноклонално антитело PG-M1). Након хлађења на собној температуре за око 20 минута слајдови су били испрани у дестилованој води за пет минута и третирани са 3% H_2O_2 због блокирања ендогене пероксидазе. Након прања, слајдови су пребачени у свеже припремљен слани пуфер (PBS) одакле су пажљиво извађени после пет минута и примарна антитела су примењена на исечцима за 30 минута у влажним купатилима на собној температури. Други и трећи линк су примењени (сваки за 20 минута и испрани са PBS). Након тога, узорци су третирани диаминобензидином (DAB) као хромогеном и обојени хематоксилином за један минут, рехидрирани и постављени у DPX. Тамно браон грануле DAB-а у ћелији представљају позитивно бојење. Људски крајници су коришћени као позитивна контрола. У свим тестовима негативна контрола је постављена без моноклоналних антитела.

Квантификација ћелијских типова је урађена при бројању специфичних типова ћелија на 30 поља великог увеличања у сваком узорку миокарда. Средња вредност је израчунавана Студентовим Т-тестом.

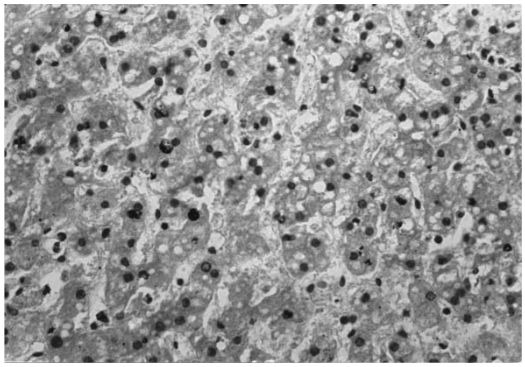
3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Мутно бубрење и везикуларне дегенеративне промене у истраживаној групи *iv* хероиномана

Ово су лакше дегенеративне промене другог степена. Карактеришу се присуством већег броја мањих вакуола у цитоплазми хепатоцита. Синоним за те промене је вакуоларна дегенерација.

Истраживањем 40 аутопсијских случајева интравенских хероиномана нађене су маркантне топографске карактеристике наведених промена.

Везикуларне промене су доминирале у зони 2 ацинуса у 17 случајева (42,5%) (слика 1).



Слика 1: *Везикуларне промене у хепатоцитима и холестаза. PAS x 250*

Експанзија ових промена према зони 3 ацинуса утврђена је у пет случајева (12,5%), док је панацинусно присуство ових промена (захватање и зоне 1 ацинуса) нађено у 16 случајева (40%). У два случаја (5%) установљена је, самостално, најлакша – паренхиматозна дегенерација.

У групи од седам аутопсија *iv* хероиномана са најкраћим стажом (до две године), нађена је везикуларна дегенерација у пет случајева (71,5%) и увек је била локализована у зони 2 ацинуса. У једном од ових случајева истовремено са везикуларном била је присутна и паренхиматозна дегенерација. У преостала два случаја (28,5%) утврђена је предоминантна паренхиматозна дегенерација.

У групи од 16 аутопсија *iv* хероиномана са стажом парентералног уношења хероина између две и пет година, утврђена је везикуларна дегенерација у осам случајева (50%) у зони 2 ацинуса. Локализација везикуларних промена и у зони 3 ацинуса нађена је у четири случаја из ове групе (25%). Дифузно тј. панацинусно присуство везикуларних промена установљено је такође у четири случаја (25%). У једном истовремено је била присутна паренхиматозна дегенерација хепатоцита (заједно са везикуларним променама у зони 2 и 3 ацинуса) (график 1).

У групи од 13 аутопсија *iv* хероиномана са стажом узимања хероина између пет и десет година нађена је везикуларна дегенерација у зони 2 ацинуса у 3 случаја (23%). Везикуларне промене у зони 2 и 3 ацинуса установљене су у једном случају (8%) из ове групе. У преосталих девет случајева (69%) утврђена је панацинусна распрострањеност везикуларних промена (график 1).

У групи од четири аутопсије *iv* хероиномана са стажом уношења хероина дужим од 10 година присутна је везикуларна дегенерација у зони 2 ацинуса у једном случају (25%) (уз истовремено присуство и паренхиматозне дегенерације). У преостала три случаја из ове групе везикуларне промене су распрострањене панацинусно (график 1).

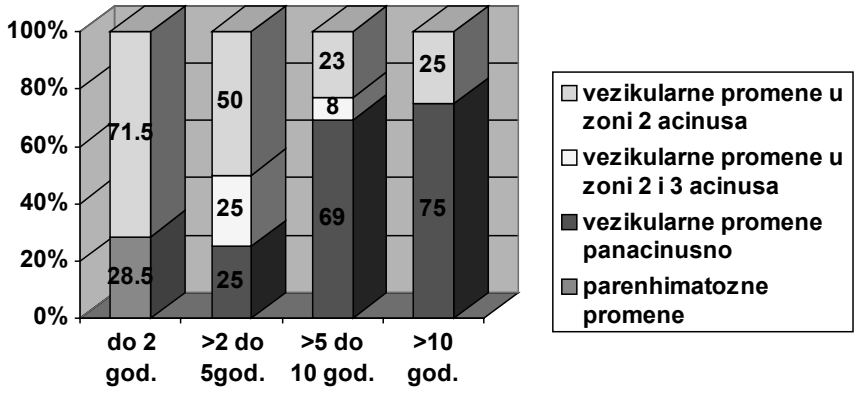


График 1: *Лакше дегенеративне промене хепатоцита у зависности од дужине стажа интравенског уношења хероина*

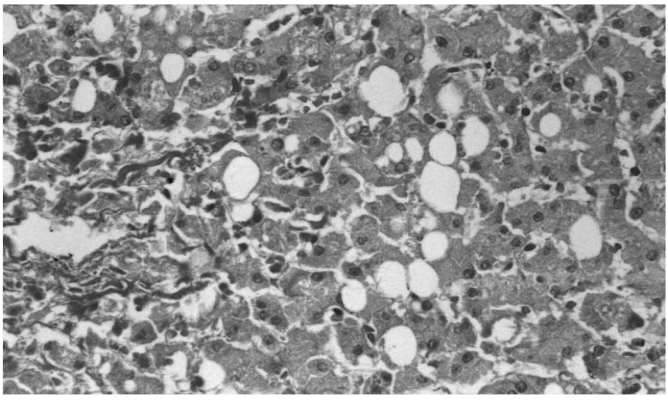
3.2. Масне промене у целој истраживаној групи *iv* хероиномана

По учесталости следеће промене су комбинованог типа тј. везикуларне су удружене са масним променама.

Масна промена је најтежи облик реверзибилног оштећења ћелије. Манифестује се присуством малих и великих масних вакуола у хепатоцитима. Масне капи потискују језгро и цитоплазму уз ћелијску мембрану.

У овој студији су утврђене масне промене различитог интензитета, почевши од фокалних, преко мултифокалних, па до дифузних, како унутар појединих зона ацинуса, тако и унутар свих ацинуса у јетри.

Ретке фокалне масне промене су нађене у зони 2 ацинуса (осам случајева или 20%) (слика 2), при чему су захваћени само неки ацинуси.



Слика 2: *Макрокапљичасте масне промене у хепатоцитима и фокална кондензација колагена у портним просторима. Ван-Гиесон x 250*

Сви ацинуси, као и све зоне унутар ацинуса оштећени су масном дегенерацијом у 27,5% (11 случајева), ретко (два од 11 случајева) до степена масних цисти.

У групи од седам аутопсија, *iv* хероиномана са стажом до две године, ни у једном случају нису нађене масне промене на хепатоцитима.

У групи од 16 аутопсија, *iv* хероиномана са стажом парентералног узимања хероина између две и пет година, фокалне масне промене су утврђене у пет случајева (31%), а дифузно распрострањена масна дегенерација у три случаја (19%). У осталим случајевима из ове групе није нађена ова врста оштећења хепатоцита.

У групи од 13 обдукција, *iv* хероиномана са стажом узимања дроге између пет и десет година, дифузна масна промена хепатоцита присутна је у осам случајева (61,5%), а фокална у два случаја (15,5%). У осталим случајевима из ове групе није нађена ова врста промена.

На четири аутопсије, *iv* хероиномана са стажом апликовања ове дроге дужим од десет година, нађене су ретке (фокалне) масне капи у једном случају (25%) а у осталим из ове групе ових промена није било.

За све случајеве у којима је утврђено присуство масних промена добијени су подаци о конзумирању алкохолних пића, у фазама апстиненције или истовремено са уношењем хероина.

3.3. Вирусни и реактивни хепатитис

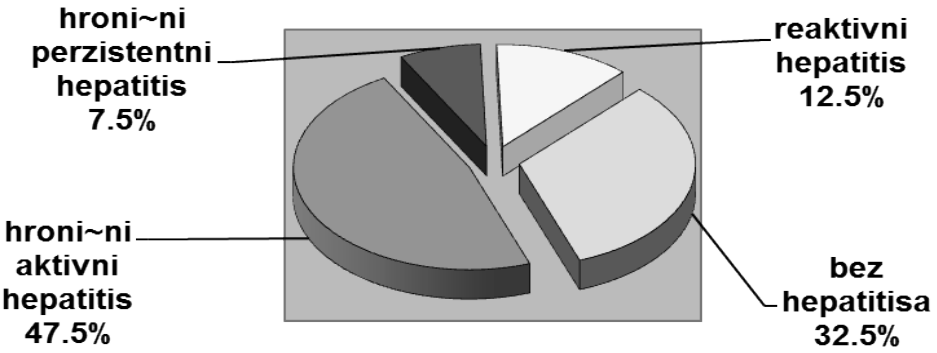
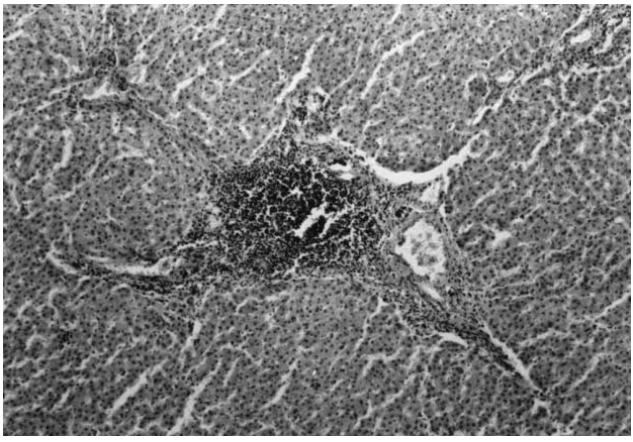


График 2: *Врсте хепатитиса у целој истраживаној групи интравенских хероиномана*

3.3.1 Хронични персистентни хепатитис

Овај хепатитис је присутан у 7,5% истраживаних аутопсија (три случаја) (график 5.5). Основно обележје овог хепатитиса је густ, претежно лимфоцитни инфилтрат у портним просторима, без перипортне некрозе хепатоцита. Нису ретки ни лимфоидни фоликули са герминативним центрима (слика 3).

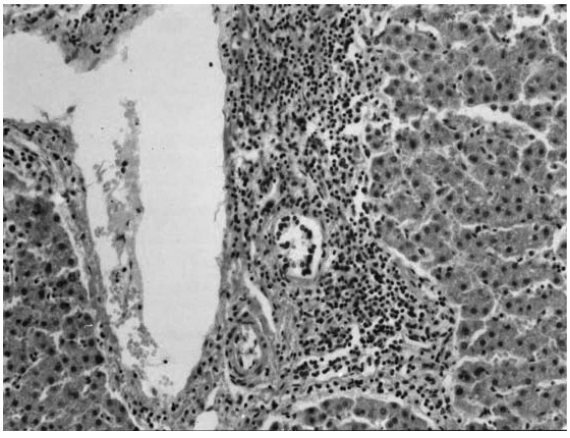


Слика 3: *Хронични персистентни хепатитис: хиперпластични лимфни фоликул у портном простору-карактеристика Ц хепатитиса. HE x 200*

Промене у ацинусима су минималне и састоје се од ретких фокалних „споти“ некроза литичког типа са пратећом лимфо-макрофагном запаљенском реакцијом.

3.3.2. Хронични активни хепатитис

Учестали је налаз на нашем материјалу тј. присутан је у 47,5% (19) случајева (график 2). Најважнија карактеристика HAH је запаљенска деструкција граничне плоче (зона 1) означена као „писмил” (назубљена) некроза. У овом случају ради се о поступној инфламацијској деструкцији појединачних хепатоцита, или њихових групица, у перипортној зони, уз густу инфилтрацију лимфо-плазмоцита и макрофага (слика 4).

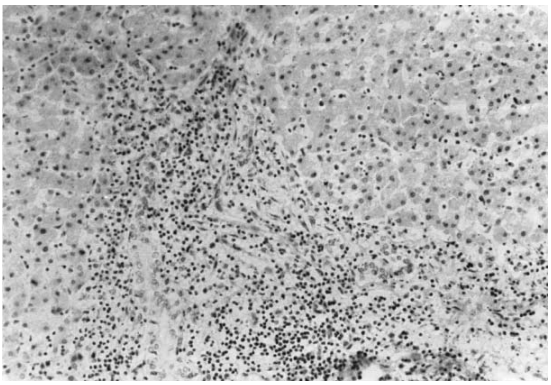


Слика 4: *Хронични активни хепатитис: „писмил“ некроза у граничној плочи ацинуса. HE x 200*

Манифестација писмил некрозе је периполеза (кондензација лимфоплазмоцита око хепатоцита), апоптоза (постепена деградација хепатоцита фрагментацијом цитоплазме) емпериполеза (запаљенске ћелије у хепатоцитима) и тубуларна трансформација (преживели хиперпластични хепатоцити граде тубуле окружене новонасталим умноженим влакнима).

Портни простори у случају писмил некрозе су проширени због замене околних хепатоцита гранулационим ткивом богатим капиларима, жучним каналићима, фиброцитима и колагеним влакнима.

„Брицинг" (премошћујућа) некроза је морфолошка карактеристика тежег оштећења хепатоцита. Може да буде центро-централна (простире се од једне до друге централне вене), центро-портна (простире се од перивенуларне зоне до периферије портних простора), као и портно-портна некроза (слика 5). Ова последња се простире линеарно дуж зоне 1 ацинуса, повезујући суседне портне просторе.

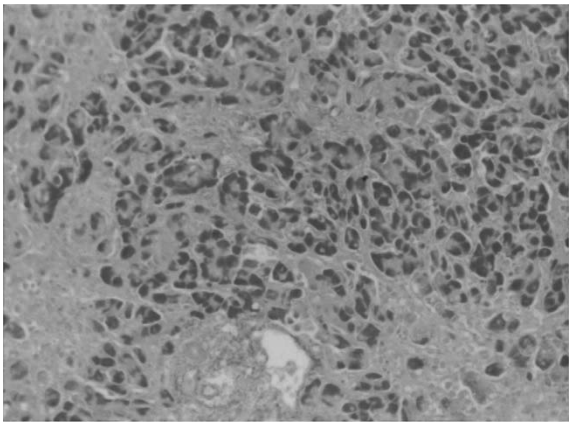


Слика 5: *Хронични активни хепатитис: изражена „брицинг" (премошћујућа) некроза. HE x 200*

Преостали хепатоцити показују дегенеративне промене типа хидропичне (литичке) и ацидофилне дегенерације. Са прогресијом налазе се летална оштећења појединих хепатоцита литичког или ацидофилног типа. Ацидофилни тип се карактерише густим еозинофилним телашцима избаченим из нормалне равни, названим Кунсилмановим телашцима.

Пратеће промене су перивенуларна билирубиностаза (присуство интрацитоплазматских зрнастих гранула у хепатоцитима и Купферовим ћелијама), као и „чешљаста" дегенерација хепатоцита (хепатоцити су балонирани, хидропичног изгледа са трачицама ретикуларног изгледа). Чешљаста дегенерација је вид холатне стазе условљене интрацелуларном акумулацијуом жучних киселина, а вероватно и холестерола.

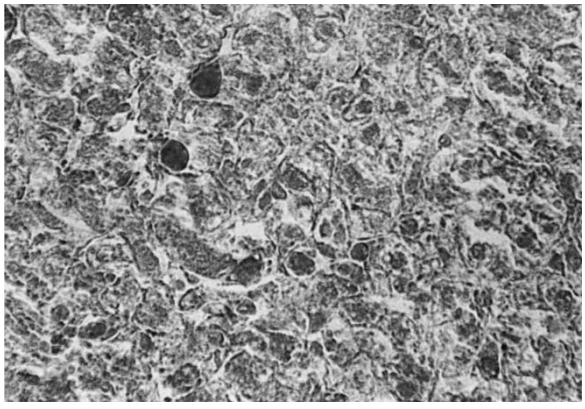
Graundglas хепатоцити су увећани, матиране цитоплазме, распоређени по читавом лобулусу. Цитоплазма ових хепатоцита је специфичном имунохистохемијском PAP техником обојена у црвено. Наиме, садржај HBsAg филамената у цистернама глатког ER-а даје овим хепатоцитима *graundglas* изглед. Овакви хепатоцити су, како у персистентном, тако и у активном Б хепатитису, распоређени по читавом лобулусу (слика 6).



Слика 6: *Б вирусни хепатитис: „surface" антиген. PAP x 250*

Хепатоцити са *sandid* једрима (у виду пешчаног сата) су такође обележје Б хепатитиса и указују на присуство велике количине HBcAg партикула (слика 7).

Масивне, панацинарне некрозе нису нађене.



Слика 7: *Б вирусни хепатитис: "core" антиген у хепатоцитима. PAP x 250*

3.3.3. Реактивни хепатитис

У истраживаној групи реактивни хепатитис је нађен је у пет случајева (12,5%). Овај хепатитис се често погрешно тумачи као „персистентни хепатитис". У суштини, он је реакција на ефекте различитих лекова, па и хероина, на хепатоците. Ацинуси су дегенеративно измењени, али без некрозе и инфламације, док су мали и средњи портни простори захваћени. У њима је густ лимфо-хистиоцитни инфилтрат без деструктивних ефеката на граничну плочу.

У групи аутопсија *ivH*, са стажом злоупотребе хероина до две године, нађена су два случаја (29%) хроничног активног хепатитиса са минималном активношћу и један случај реактивног хепатитиса (14,5%) (график 3).

У групи обдукција *ivH*, са стажом између две и пет година, хронични активни хепатитис је нађен у три случаја (18,75%), хронични персистентни хепатитис у три случаја (18,75%), док је реактивни хепатитис утврђен у четири случаја (25%) (график 3).

У групи аутопсија *ivH*, са стажом између пет и десет година, хронични активни хепатитис је нађен у десет случајева (77%), а остале врсте хепатитиса нису утврђене (график 3).

У групи аутопсија *ivH* са стажом дужим од десет година у сва четири случаја је нађен хроничан агресивни хепатитис (100%) (график 3).

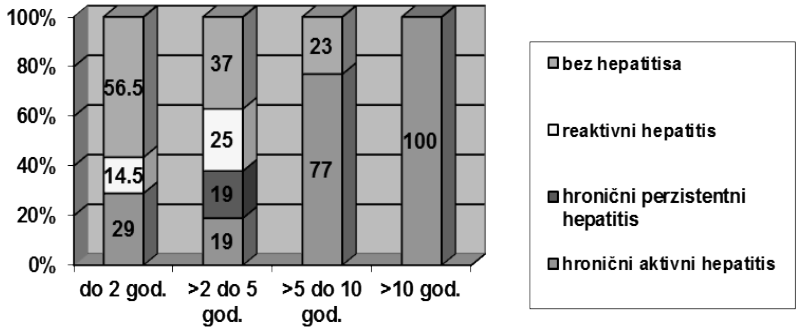


График 3: *Врсте хепатитиса у зависности од дужине стажа iv уношења хероина*

Од 19 случајева утврђеног хроничног активног хепатитиса, у девет случајева (47% случајева са хроничним активним хепатитисом) нађена је „брицинг“ некроза (22,5% свих истраживаних случајева), као тежи конфлуентни облик некрозе која повезује различите васкуларне структуре. У преосталих 10 случајева (53%) нађена је само „писмил” некроза.

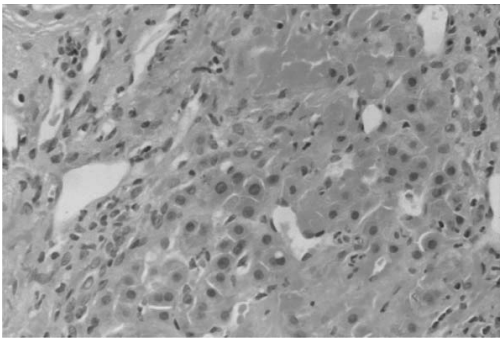
3.4. Цироза

Цироза јетре је нађена у 12 случајева (30%) и удружена је са хроничним активним хепатитисом у шест случајева (50% од свих случајева са цирозом), са доминантним, дифузним масним променама у једном случају (8%), или у комбинацији са хроничним активним хепатитисом и масним променама у пет случајева (42%). У свим случајевима цироза је у почетној фази, тј. псеудолобулуси су нађени само фокално, док су у преосталим деловима заступљени токсични ефекти дегенеративног типа; у случају секундарне инфекције хепатитис вирусима присутне су различите фазе вирусног хепатитиса.

Микроскопске карактеристике цирозе имају етиолошка обележја тј. потврђују претежно алкохолну или вирусну генезу.

3.4.1. Алкохолна цироза

У случају алкохолне цирозе, промене су унутар лобулуса и портних простора. Ране промене типа перивенуларне фиброзе се карактеришу пролиферацијом колагених влакана која окружују појединачне или групице хепатоцита, понекад са Малори телашцима у њима (слика 8).

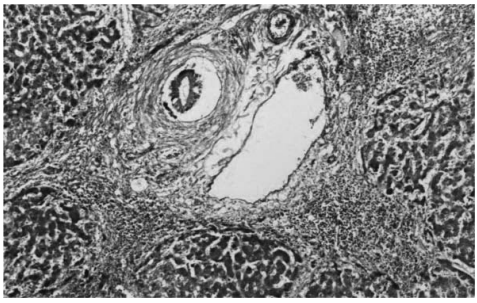


Слика 8: *Алкохолна цироза: многобројна Малори телашца у хепатоцитима. HE x 250*

У току прогресије цирозе настаје спајање финих септи, које се простиру зракасто од склерозиране централне регије, са портним простором, нарушавајући лобуларну грађу јетре. Портни простори су проширени и инфилтровани лимфо-плазмоцитима и макрофагима, као и умноженим билијарним каналићима. Хиперпластична колагена влакна су танана и дуга, продиру у саме лобулусе, градећи на овај начин псеудолобулусе.

3.4.2. Постхепатична цироза

У случају постхепатичне цирозе доминирају активне септе. Значи, умножено везивно ткиво је грађено од активних фибробласта и удружено је са писмил некрозом. Од осталих ћелија хроничног запаљења бројни су како макрофаги, тако и лимфоцити. Портни простор задобија изглед храстовог листа због упадљиве фиброзе у њему и формирања широких септи (слика 9).



Слика 9: *Постхепатична цироза: псеудолобулуси, окружени колагеним влакнима и густим лимфоцитним инфилтратом, који кида граничну плочу. Gomori x 200*

3.4.3. Цироза комбинованог порекла

У цирози која је резултанта вирусног хепатитиса и токсичних ефеката алкохола, нађене су широке септе, као последица створених, како активних, тако и пасивних септи.

На обдукцијама *ivH* са стажом уношења хероина до две године цироза јетре није нађена, а са стажом између две и пет година нађен је један случај цирозе. Она је била удружена са хроничним активним хепатитисом и са дифузним масним променама (график 4).

У групи ових обдукција, са стажом злоупотребе између пет и десет година, нађено је осам случајева са цирозом (66% случајева из ове групе) и то: у три случаја цироза је удружена са дифузним масним променама, у четири са масним променама и са хроничним активним хепатитисом, док су код једног доминирале масне промене (график 4).

На аутопсијама лешева, са уношењем хероина дужим од десет година, утврђена су три случаја са цирозом и у сва три цироза је била удружена са хроничним активним хепатитисом (график 4).

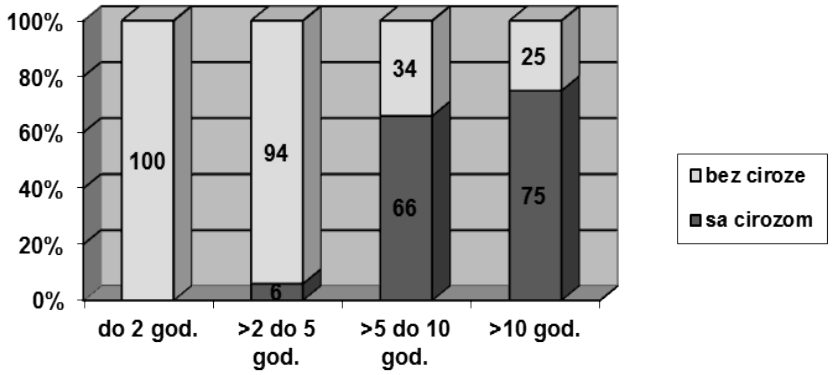


График 4: *Заступљеност цирозе у односу на дужину стажа интравенског уношења хероина*

3.5. Пренеопластичне – диспластичне промене у хепатоцитима

У 3 случаја са везикуларним и масним променама компликованим вирусним хепатитисом, од чега у два случаја и са цирозом, присутне су тешке диспластичне промене. Оне су локализоване у средњој зони ацинуса или у граничној плочи и огледају се у хаотичном распореду хепатоцита, као и у присуству полиморфних, увећаних и хиперхромних једара.

Од наведена три случаја са диспластичним променама, два су из групе *ivH* са стажом злоупотребе хероина између пет и десет година, а један је из групе са стажом дужим од десет година.

3.6. Садржај гликогена

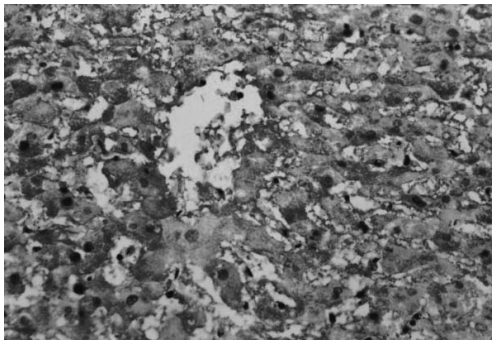
Гликоген се у виду густих, PAS позитивних гранула налази у свим хепатоцитима (слика 10). Његова количина се смањује пропорционално тежини и дистрибуцији дегенеративних и некротичних лезија хепатоцита.

У раним стадијумима хероинских оштећења гликоген се смањује у зони 2 (слика 11), да би се касније његова деплеција проширила на обе суседне зоне ацинуса (зона 1 и зона 3).

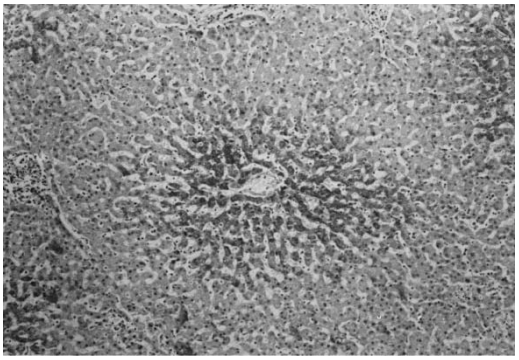
Изражена деплеција гликогена нађена је у макрокапљичастој фази масне промене, будући да је запажен само у перинуклеарном српастом халоу цитоплазме, која је заједно са једром потиснута масном вакуолом на периферију.

Најмаркантнија деплеција гликогена – до ишчезавања, скоро је убиквитаран налаз код пратећег вирусног хепатитиса. Одсуство гликогена је нађено увек у хепатоцитима са вирусним хепатитисом, уколико је он настао у јетри са већ израженим токсичним-хероинским и медикаментозно-алкохолним променама.

Унутар фокуса цирозе, деплеција гликогена је пропорционална степену дегенеративно-некротичних и регенеративних промена у хепатоцитима.



Слика 10: *Очувани депои гликогена у виду пурпурно црвених гранула у хепатоцитима PAS x 300*



Слика 11: *Изражена деплеција гликогена у зонама 2 и 3 ацинуса. PAS x 200*

3.6.1. Зонална дистрибуција гликогена

Утврђена је нормална количина гликогена:
– у свим зонама - 1 случај
– у зони 1 - 12 случајева
– у зони 2 - 2 случаја
– у зони 3 - 9 случајева

Смањена количина гликогена:
– зона 1 **-28 случајева**
- 15 случајева (I степен)
- 10 случајева (II степен)
- 3 случаја(III степен)

– зона 2 -**38 случајева**
- 17 случајева (I степен)
- 15 случајева (II степен)
- 6 случајева (III степен)

– -зона 3 -**31 случај**
- 12 случајева (I степен)
- 15 случајева (II степен)
- 4 случаја (III степен)

3.6.2. Промене садржаја гликогена у зависности од дужине интравенске злоупотребе хероина

Хероиномански стаж до две године

Нормална количина гликогена:
зона 1 - 3 случаја
зона 2 - 2 случаја
зона 3 - 4 случаја

Смањена количина гликогена:
зона 1 - 4 случаја (I степен)
зона 2 - 5 случајева
4 случаја (I степен)
1 случај (II степен)
зона 3 - 3 случаја (I степен)

Хероиномански стаж између две и пет година

Нормална количина гликогена:

зона 1 - 3 случаја
зона 2 - 0 случајева
зона 3 - 3 случаја

Смањена количина гликогена:

зона 1 -13 случајева
8 случајева (I степен)
5 случајева (II степен
зона 2 -16 случајева
8 случајева (I степен)
6 случајева (II степен)
2 случаја (III степен)
зона 3 -13 случајева
5 случајева (I степен)
6 случајева (II степен)
2 случаја (III степен)

Хероиномански стаж између пет и десет година

Нормална количина гликогена:

зона 1 - 5 случајева
зона 2 - 0 случајева
зона 3 - 1 случај

Смањена количина гликогена:

зона 1 - 8 случајева;
1 случај (I степен)
4 случаја (II степен)
3 случаја (III степен)
зона 2 -13 случајева
4 случаја (I степен)
5 случајева (II степен)
4 случаја (III степен)
зона 3 -12 случајева
3 случаја (I степен)
7 случајева (II степен)
2 случаја (III степен)

Хероиномански стаж преко десет година

Нормална количина гликогена:

зона 1 - 1 случај;
зона 2 - 0 случајева;
зона 3 - 0 случај.

Смањена количина гликогена:

зона 1 - 3 случаја;
2 случаја (I степен)
1 случај (II степен)
зона 2 - 4 случаја
1 случај (I степен)
3 случаја (II степен)
зона 3 - 4 случаја
1 случај (I степен)
2 случаја (II степен)
1 случај (III степен)

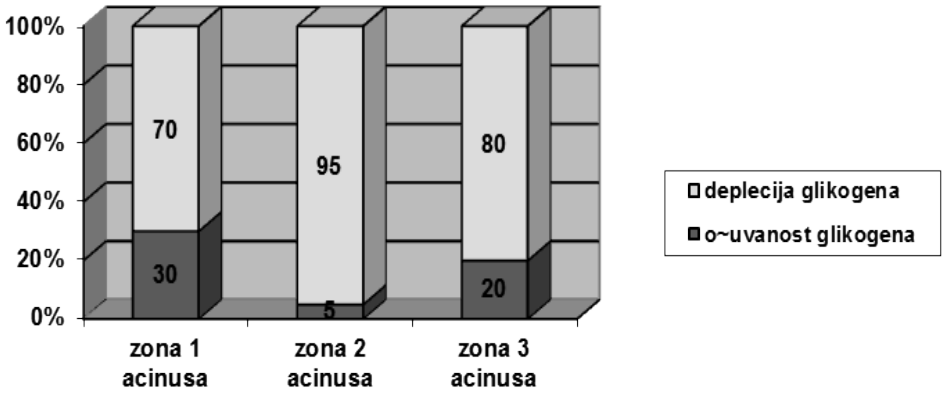
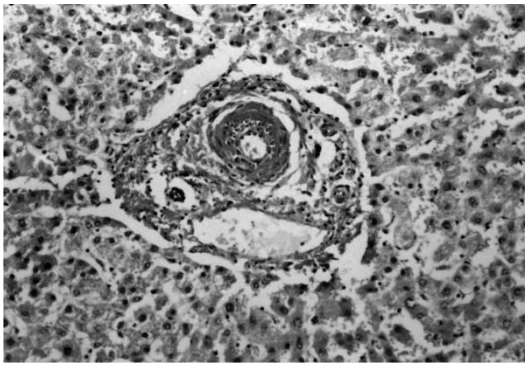


График 5: *Очуваност гликогена у појединим зонама ацинуса*

3.7. Амилоидоза

Применом специфичне, хистохемијске методе за бојење амилоида (цонго рот) амилоидни депозити показују наранџасту боју. Локализовани су у портним просторима, доминантно испод ендотела мањих грана хепатичне артерије, доводећи до сужавања њиховог лумена (слика 12). Истовремено су амилоидни депозити присутни и у строми портних простора, у виду хомогених, громуљичастих задебљања такође наранџасте боје.



Слика 12: *Хомогена, цигласто пребојена, амилоидна маса у зиду мање мишићне артерије. Congo rot x 200*

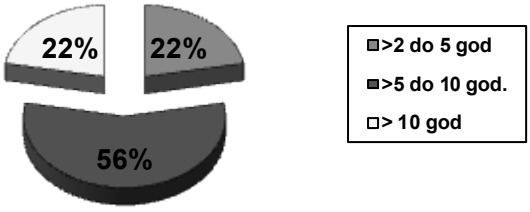


График 6: *Присуство амилоида у зависности од дужине стажа интравенског уношења хероина*

При истраживању 40 аутопсија амилоид је нађен у девет случајева (22,5%) и то у два случаја из групе са стажом између две и пет година, у пет случаја са стажом између пет и десет година и у два случаја са стажом дужим од десет година (график 6).

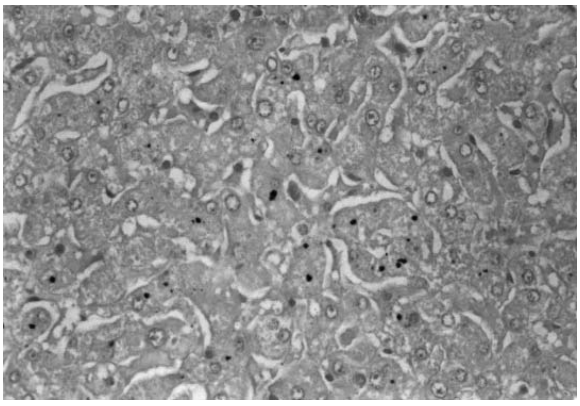
3.8. Хепатични синусоидални макрофаги (Купферове и ендотелне ћелије)

Извршено је бројање Купферових и ендотелних ћелија јетре, као хепатичких синусоидалних макрофага, у свих 40 аутопсијских случајева лешева интравенских хероиномана, као и у десет контролних случајева, а затим је извршена статистичка обрада добијених резултата (табела 1).

Табела 1: *Број хепатичних синусоидалних макрофага у зависности од морфолошких промена на јетри*

	Контрола	Хронични активни хепатитис	Хронични активни хепатитис и цироза	Хронични активни хепатитис, цироза и дифузне масне промене	Дифузне масне промене и цироза	Остале дегенеративне промене
N	10	8	6	5	4	17
$\bar{H}$	332	439	458	337	334	350
± SD	13,75	75,58	40,50	49,26	38,09	42,61
SE	4,58	28,56	18,11	24,63	21,99	10,65
t		3,95028	7,38226	0,2138	0,08702	1,5917
p		п<0,01	п<0,001	п>0,05	п>0,05	п>0,05

Добијени резултати показују да је број ових макрофага статистички значајно већи у односу на контролу само за групе случајева са хроничним активним хепатитисом односно са хроничним активним хепатитисом и постхепатичном цирозом, док остале групе нису показивале значајно већи број ових ћелија у односу на контролу. Хиперплазија и хипертрофија хепатичких синусоидалних макрофага приказане су на слици 13.



Слика 13: *Хиперплазија и хипертрофија синусоидалних макрофага (Купферових и ендотелних ћелија). Van Gieson x 300.*

3.9. Ултраструктурне промене на јетри

Ултраструктурна истраживања имају одлучујућу улогу у добијању нових података о одговору јетре на различите дроге. Различите промене се одвијају на органелама, на цитоплазматској мембрани хепатоцита и жучних каналића, као и на једру.

Ултраструктурне промене су најизраженије на глатком, али и на рапавом ER-у, а потом на митохондријама.

Наиме, на SER-у, нарочито на типу 2, доминира пролиферација, дилатација и везикуларна трансформација његових цистерни**.**

На RER-у је такође присутна дегранулација и фрагментација тј. одвајање рибозома (слика 14) и њихова дилатација. Митохондрије мењају облик и величину тј. постају полиморфне уз згушњавање њиховог матрикса (слика 14)**.** Није редак налаз ни оток митохондрија па чак ни формирање џиновских тј. мега-митохондрија. Кристе у њима се скраћују или доживљавају фрагментацију уз истовремено настајање кристалних инклузија и мијелинских фигура.

Лиозоми нису директно погођени дрогама. Промене у њима су секундарне природе и последица су дигестије продуката оштећених мембрана других органела. Тако се у цитоплазми хепатоцита, па чак и у цитоплазми билијарног епитела запажају аутофагалне вакуоле, повећан број липофусцинских гранула, паракристалне инклузије тј. „мијелоидна телашца“ (слика 14).

Евидентан је оток и истањење микровила на васкуларном полу уз протрузију цитоплазматских изврата у Дисов простор. Овај феномен је познат као љуштење (*shedding*) (слика 15) и представља неспецифичан одговор на оштећење. Много је значајније проширење међућелијског простора уз кидање дезмозома.

Доминантна је кондензација хроматина као и разградња нуклеолуса.

Карактеришу се појавом великих би- или мултинуклеарних телашаца и повећаним бројем полирибозома.

У случају тешке дегенерације типа масне промене упадљива је деплеција гликогена у цитоплазми хепатоцита (слика 16).

Мезенхимна инфламативна реакција је присутна у лобулусу, портном простору и перипортно.

Интралобуларно су повећане и едематозне Купферове и синусоидалне ендотелне ћелије (слика 15). У цитоплазми Купферових ћелија налазе се различита инклузиона телашца, пре свега грануле липофусцина, хемосидерина, цероида, као и жучне инклузије.

Проширен Дисов простор садржи ћелије запаљења типа лимфоцита и полиморфонуклеара, које су у блиској вези са хепатоцитима.

Важна промена је и „капиларизација синусоида“ (слика 14). Најпре се танка аморфна базална мембрана ствара дуж васкуларног пола. Са базалном мембраном настаје повећање колагених влакана у Дисовом, али и у међућелијском простору. Описане промене узрокују поремећај микроциркулације и даљу прогресију цирозе.

У макрофагима се налазе фагозоми и заједно са фибробластима повећавају синтезу протеина омогућавајући множење колагених фибрила. Са множењем фибрила хепатоцити постају изоловани од извора исхране, што доводи до неправилне организације лобулуса. Колаген је нарочито изражен у Дисовом простору и то у близини васкуларног пола хепатоцита. Лумен синусоида је смањен због хипертрофичних синусоидалних макрофага (слика 15) и умножених лимфоцита и плазмоцита. Кондензација колагених влакана ствара интралобуларне септе које повезују порталне зоне са лобуларним центром, нарушавајући још више лобуларну грађу. У портном простору, поред фиброзе и мононуклеарног густог инфилтрата, множе се холангиоле, али у виду солидних трака без лумена.

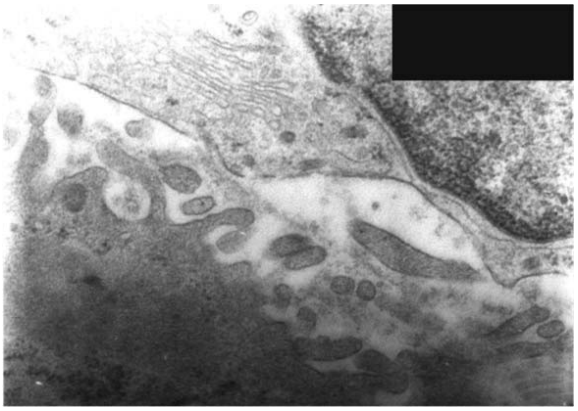
Формирање базалних мембрана и синусоидна капиларизација (слика 14) играју важну улогу у фиброгенези Дисових простора. Базалне мембране обавијају портни простор, пре свега пролиферишуће дуктулусе, док капиларизовани синусоиди представљају фокус за настајање циротичне фиброгенезе. Колагена влакна се стварају и у случају одсутне базалне мембране.

Сугерисано је да измењени Дисови простори представљају баријеру за дифузију супстрата из синусоида. Зато се развијају патолошке микровилозне ивице на неким хепатоцитима, као адаптивни одговор.

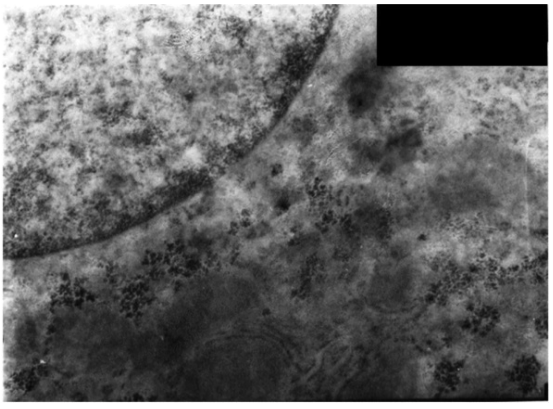
У синтези колагених влакана централну улогу имају Ито ћелије перисинусоидалних простора. Митохондрије су већих димензија – до слике мегамитохондрија. У хепатоцитима се налази Малори хијалин.

Холостаза је присутна у хепатоцитима и каналићима и удружена је са хипертрофијом Голџи зоне и са предоминацијом SER-а.

Слика 14: *Сужен интерцелуларни простор, протрузија вилуса и „капиларизација" мембране. Полиморфизам митохондрија уз кондензацију матрикса. Фокална дегранулација (стрелица) (недостатак рибозома) и фрагментација RER-а. Грануле гликогена (стрелица) су густе на периферији хепатоцита. Неке садрже кристалоидна телашца. У некима кондензација матрикса. ЕМ х 10.000.*



Слика 15: *Доминантна хипертрофија Купферове ћелије уз сужење лумена синусоида. Хиперактивност Купферове ћелије тј. хиперплазија Голџи зоне и RER-а. Истањење и љуштење микровила на васкуларном полу хепатоцита. Истовремено је присутна маргинализација и кондензација једарног хроматина хепатоцита. ЕМ х 26.000.*



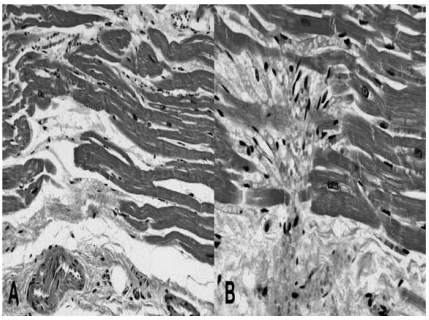
Слика 16: *Маркантна деплеција гликогена или његово одсуство у цитоплазми хепатоцита, ЕМ х 13.000.*

3.10. Оштећења миокарда код зависника од хероина

Истраживање рутински припремљених узорака срчаног мишића у формалдехиду открива акутну конгестију у скоро половини студиране групе (од 6 од 13). Ниједан случај у овој групи није достигао Далас критеријуме за постојање миокардитиса. У три случаја утврђена је периваскуларна фиброза у миокарду (слика 17).

LCA, као панлеукоцитни површински ћелијски маркер, је обојио све лимфоците и ткивне макрофаге у свим тестираним узорцима миокарда. Средње вредности броја миокардијалних леукоцита (LCA), Т-лимфоцита

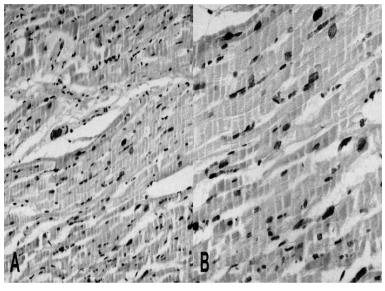
(CD45R0) и макрофага (CD68) су утврђена прегледом микроскопских поља под увеличањем 400H (слика 18) и приказане су у табели 2. Резултати контролне групе приказани су у табели 3.



Слика 17: *Концентрична фиброза око мале артерије – А. Фиброза у интерстицијуму код хероинских зависника – Б (HE; оригинално увећање x 250)*

Студентов T тест је показао да је контролна група имала вишу средњу вредност броја утврђених LCA и CD45R0 позитивних ћелија беле лозе, али разлика није била значајна (p>0,05). Средња вредност броја CD68 позитивних ћелија беле лозе била је значајно нижа у групи хероинских зависника него у контролној групи (p=0,013, Коенов d=1,41, снага 0,86) (табела 4).

Токсиколошка истраживања су била комплетно негативна у контролној групи. Фатална концентрација у крви је нађена у сваком појединачном случају у студираној групи. Концентрација морфина у феморалној крви варирала је од 0,08 до 2,03 mg/l. Концентрација 6-MAM је била од 0,07 до 0,46 mg/l. Етанол је утврђен у 38% случајева (5 од 13) у истраживаној групи. Концентрације етанола су варирале од 0,53‰ до 3,05‰. Средња вредност концентрације морфина у подгрупи, где је нађен етанол, била је 0,22 mg/l. Кодеин је детектован у феморалној крви у осам случајева (62%) и диазепам у три случаја (23%) заједно са 6_MAM и морфином, од којих је у два случаја нађена комбинација диазепама, етанола и кодеина.



Слика 18: *Имунохистохемијско бојење на CD68 у узорку срчаног мишића хероинског зависника – А; и у срчаном мишићу из контролне групе – Б (оригинално увећање x 400)*

Табела 2: *Број миокардијалних леукоцита, Т-лимфоцита и макрофага у истраживаној групи хроничних хероинских зависника (н=13)*

N	Age	Sex	LCA	CD45R0	CD68
1	21	M	3,40	2,20	2,90
2	27	F	3,20	2,76	6,55
3	42	M	4,46	3,23	3,95
4	28	M	2,60	3,83	3,10
5	31	M	4,23	1,31	6,76
6	26	M	7,10	1,90	7,06
7	26	M	0,96	0,33	1,06
8	26	M	1,83	0,53	2,70
9	22	M	3,80	2,60	1,72
10	33	M	3,90	1,75	2,85
11	40	M	4,50	2,44	2,70
12	24	M	2,45	4,10	7,06
13	40	F	3,30	4,60	3,12

Табела 3: *Број миокардијалних леукоцита, Т-лимфоцита и макрофага у контролној групи*

N	Age	Sex	LCA	CD45R0	CD68
1	31	M	3,36	1,66	9,53
2	27	F	6,23	4,73	6,96
3	23	F	3,36	2,46	8,36
4	25	F	3,23	2,23	6,23
5	35	F	2,76	1,36	5,36
6	26	M	7,10	3,23	4,35

Табела 4: *Поређење утврђеног броја CD45R0, LCA и CD68 позитивних ћелија беле лозе у срчаном мишићу контролне групе и групе хероинских зависника (n=6 контрола, n=13 хероински зависници)*

Marker	Group	N	Mean	SD	t	df	p
LCA	Control	6	4,34	1,84	1,04	17	0,314
	Drug addicts	13	3,52	1,50			
CD45R0	Control	6	2,61	1,23	0,29	17	0,776
	Drug addicts	13	2,43	1,30			
CD68	Control	6	6,80	1,91	2,78	17	0,013
	Drug addicts	13	3,96	2,12			

4. ДИСКУСИЈА

4.1. Мутно бубрење и везикуларне дегенеративне промене

Наведене промене на хепатоцитима нису специфичне за хероин, а груписане су у лакше лезије (Begić-Janeva, 1991). Наиме, краткотрајно деловање различитих биолошких, хемијских, хипоксичних, токсичних и других етиолошких нокси слабог интензитета изазива мутно бубрење и везикуларну дегенерацију хепатоцита. Истакнути ефекти су последица оштећења митохондрија, синтезе АТР-а, а самим тим и недостатка енергије за активност мембранске атепеазе. На овај начин је омогућено улажење јона На и воде у цитоплазму хепатоцита, због чега бубре структурни протеини (мутно бубрење), а у каснијој фази и матрикс органела, уз дегранулацију RER-а (вакуоларна или везикуларна дегенерација) (Stojanović, 1997).

Нашим резултатима је ултраструктурно верификована хиперплазија и хипертрофија глатког ER-а хепатоцита, ангажованог у биотрансформацији хероина кроз фазу I и II. Ова промена се хистолошки сагледава као везикуларна дегенерација хепатоцита и највероватније је последица повећане синтезе ензима SER-а, због хроничног *iv* уношења хероина (Perišić, 1988; Rang and Dolly, 1995).

На нашем материјалу везикуларне промене су присутне у 95% случајева, а само у преосталих 5% нађене су самосталне дегенеративне промене типа „мутног бубрења" (Ilić i sar., 2010, 2012).

Најчешћа локализација је била зона 2 ацинуса (42,5%), а ни у једном случају ове промене нису нађене самостално у зони 1 ацинуса. Зона 1 је изложена струјању крви са већом количином хранљивих материја и кисеоника из порталне вене и хепатичке артерије, те је због тога релативно заштићена у односу на две остале зоне (Craig, 1990; Ross, 1995). Иако је у највећој мери ензимски систем P-450 присутан у зони 3 (Begić-Janeva, 1991), а он својим деловањем ствара токсичне метаболите, овај метаболички пут је за хероин мање значајан, па је зато у мањем проценту случајева овом променом захваћена зона 3 ацинуса. За метаболизам хероина је много важнија његова хидролиза помоћу ткивних псеудохолинестераза до морфина, односно конјугација морфина са глукуронском киселином помоћу глукуронил-трансферазе (Kamendulis i sar., 1996; Green i sar., 1997).

Проценат случајева са панацинусном распрострањеношћу расте са дужином *iv* злоупотребе хероина, па је тако уопште нема у групи аутопсијских случајева хероиномана са стажом до две године, у групи са стажом између две и пет година нађена је у 25% случајева, у групи са стажом између пет и десет година присутна је у 69%, а преко 10 година у 75% случајева из ове групе. Дакле дужи временски период *iv* уношења хероина доводи и до знатнијег оштећења хепатоцита по типу везикуларне дегенерације.

Што се тиче удружености ових промена са НАН, примећује се да у 50% случајева ове промене нису удружене са поменутом болешћу јетре. Панацинусна локализација везикуларних промена је у 62,5% случајева удружена са НАН. Везикуларне промене присутне у зони 2 и 3 ацинуса су нађене заједно са НАН у 40% случајева. Локализација ових промена у зони 2 ацинуса је у 41% случајева била удружена са НАН. Претходно речено сведочи о томе да су везикуларне промене у целини, а посебно зонално, у значајном проценту независне од НАН.

Из свега претходног следи да су везикуларне промене најзаступљенија врста промена на хепатоцитима *ivH* (у 95% свих истраживаних аутопсија *ivH*) и у половини случајева су биле независне од хроничног активног хепатитиса, што значи да су овде највероватније настале директним деловањем хероина на хепатоците. Локализација им је најчешће зона 2 ацинуса, а проценат најтеже изражених везикуларних промена (панацинусна распрострањеност) расте са дужином временског стажа *iv* злоупотребе хероина.

4.2. Масне промене

Тежа, масна промена (стеатоза) означава накупљање триглицерида у хепатоцитима, што је у вези са њиховом улогом у метаболизму масти. Наиме, познато је да у јетру стижу слободне масне киселине из масног ткива, а хиломикрони из хране. У хепатоцитима се масне киселине у највећој мери естерификују у триглицериде. Мања количина се конвертује у холестерол или се инкорпорише у фосфолипиде, или се оксидише у митохондијама у кетонска тела. У хепатоцитима је могућа синтеза масних киселина из ацетата. Да би се триглицериди излучили из хепатоцита неопходно је њихово везивање за апопротеине (липидни акцепторни протеини), а самим тим и за стварање липопротеина. Према томе оштећење било које од истакнутих карика доводи до нагомилавања липопротеина у хепатоцитима (Kumar, 2007).

Масне промене су утврђене у 47,5% анализираних случајева (Ilić i sar., 2010, 2012). За све случајеве су добијени подаци о конзумирању већих количина алкохолних пића у фазама апстиненције од хероина или заједно с њим.

Локализација масних промена, у овом истраживању, била је зона 2 ацинуса (фокално присуство) или је постојала дифузна распрострањеност у ацинусу. Етил алкохол доводи до масне промене у зони 3 ацинуса (Zimmerman i Ishak, 1982), али зонална дистрибуција масних капи може варирати и није од значаја у одређивању етиологије масне промене (Morgan, 1985), што је потврђено локализацијом масних промена у овој студији. Алкохолна микрокапљичаста дегенерација је нпр. најизраженија у зони 3, може се проширити на зону 2, а ретко и зону 1 ацинуса (Uchida, 1984).

Масна промена може настати и под дејством лекова у форми од средњих до великих масних капи. Микрокапљичаста масна промена је узрокована тетрацикилинима; содијум-валпроат индукује исту лезију у зони 3 ацинуса (Ishak i Mullick, 1986).

С обзиром да су за све случајеве са масним променама у овом истраживању добијени подаци о конзумирању алкохола, као и то да у преосталим случајевима, где нису добијени подаци о конзумирању алкохола, није било никаквог облика масних промена, може се закључити да су масне промене у овој студији последица деловања алкохола.

Панацинусно присуство масних промена на хепатоцитима у највећем проценту је нађено у групи *ivH* са стажом између пет и десет година (61,5 % од свих случајева са масним променама у овом степену изражености). У вези са претходно реченим треба нагласити да су за наведену групу најчешће добијани подаци о конзумирању алкохола (за 10 од 13 случајева или 77%), што може објаснити највећу заступљеност тежег облика масних промена (дифузна распрострањеност) на хепатоцитима у овој групи. У групи *ivH* са стажом преко 10 година подаци о значајнијем уношењу алкохола су добијени само у једном случају, па је зато низак проценат присутних масних промена у овој групи (25%) (Ilić i sar., 2012).

Значи, од утицаја на израженост ових промена је дужина временског периода уношења алкохола, о чему говоре и експериментални резултати Зиматкина и сарадника (1997), који утврђују најизраженију вакуолизацију хепатоцита после интрагастричног давања животињама највеће количине алкохола у најдужем временском периоду (20–24 g/kg – месец дана).

О значају масних промена на ткиву јетре *iv* хероиномана сведоче истраживања Рутенбера и сарадника (Ruttenber et al., 1990), који налазе на аутопсијским случајевима *ivH* да је концентрација морфина (као првог метаболита хероина) у жучи и урину *ivH* са масном јетром нижа него у групи са нормалном јетром. Овај налаз сведочи о значајно смањеној функцији јетре, у смислу инсуфицијенције њене способности глукуронидације морфина, која је неопходна да би се морфин учинио хидросолубилним и излучио путем жучи и урина. Последице ових ефеката могу бити повећана биорасположивост или кумулативни ефекти хероина одн. морфина (Kaiko, 1983; Chan, 1987).

У шест случајева дифузне, а у четири фокалне масне промене су удружене са HAH-ом, другим речима у више од половине случајева са HAH-ом (10 од 19 или 53%) постојала је удруженост ове болести јетре са масним променама. Фокалне масне промене, удружене са HPH-ом нађене су у једном случају. Овај налаз се слаже са резултатима других аутора (Begić-Janeva, 1991) да је проценат носилаца HBV виши у групи алкохоличара, због имуносупресивног деловања алкохола, који спречава елиминацију вируса у акутној фази болести. Константан налаз код алкохоличара је промена мононуклеарних ћелија у периферној крви, деплеција Т и Б ћелија у слезини и Т ћелија у тимусу, посебно CD_4+/CD_8+ (Jerrells i Pruett, 1994), што такође говори о имуносупресивном дејству алкохола.

Дифузне масне промене, као типично алкохолно оштећење хепатоцита, удружене су са цирозом у шест случајева, а у три случаја са израженим везикуларним променама. Фокалне масне промене биле су у два случаја удружене са цирозом, а у два случаја са везикуларним променама. У преосталим случајевима утврђена је асоцијација ових промена са хроничним

вирусним хепатитисом, у чијој генези је алкохол учествовао на раније описани начин.

Дакле, алкохолне масне промене (дифузне и фокалне) биле су присутне у 75 % установљених случајева цирозе и убрзале и поспешиле њен настанак, о чему говоре и други аутори (Schif i Lapis, 1989; Uchida i sar., 1983; Begić-Janeva, 1991; Moslen, 1996).

Везикуларне промене, као последица деловања хероина, такође су вероватно фаворизоване деловањем алкохола, јер су заједно са масним променама биле присутне у 12,5% анализираних случајева, односно у 25% истраживаних аутопсија где није било истовременог присуства цирозе и НАН.

Иницијална перивенуларна кондензација колагених влакана (без развоја цирозе) нађена је у 8 случајева, с тим што су дифузне масне промене присутне у пет случајева (у једном истовремено нађен и НАН), а фокалне само у три случаја (такође у једном утврђен и НАН). Нови подаци о улози Ито ћелија у раној колагенизацији Дисовог простора објашњавају прву карику у развоју алкохолне цирозе (Crawford, 1994).

Дакле, масне промене на јетри *iv* хероиномана, које настају највероватније као последица конзумирања алкохола, представљају значајно оштећење хепатоцита, а удружене са другим факторима воде продубљењу лезија јетриног ткива. Тако су масне промене, као морфолошки показатељ хроничног дејства алкохола, у 53% случајева са хроничним активним хепатитисом поспешиле његов развој, а у 75% случајева са цирозом утицале на њен настанак (при чему је у свим случајевима, сем у једном био истовремено присутан и НАН). У целој истраживаној групи аутопсија масне промене су биле присутне у 47,5% случајева и, сходно подацима из литературе, у овим је случајевима могла постојати смањена детоксикациона функција јетре, али и повећана осетљивост на хероин.

4.3. Вирусни хепатитис

Резултати овог истраживања јасно указују да проценат хроничног активног хепатитиса расте са дужином временског стажа *iv* уношења хероина (Ilić i sar., 2012). Хронични вирусни хепатитис је као компликација присутан у 55% истраживаних случајева, од чега се у 47,5% од укупног броја радило о НАН-у.

Резултати других аутора такође говоре о високом проценту вирусних инфекција доказаних код *iv* хероиномана (Coppola, 1996; Tennant i Moll, 1995).

Развој НАН -а код *ivH* је изгледа првенствено везан за поремећај имунолошких механизама, јер, када су ове функције очуване, долази до брзе елиминације вируса у акутној фази болести (Katić i sar., 1995). У прилог овоме говоре истраживања (Reisine i Pasternak, 1995; Naumova et al., 2003), у којима је примена морфина условила супресију цитотоксичне активности ћелија убица и повећање раста имплантираног тумора. Швајцер и сарадници (Schweitzer et al., 1991) описали су стимулацију HIV_1

продукције у култури хуманих Купферових ћелија, коришћењем морфина у концентрацији од 0,05 до 0,5 mg/ml. Швебке и сарадници (Schwebke et al.,1994) су истраживали присуство вирусне инфекције Т лимфоцита код 213 *iv* токсикомана и установили је код 16,5 % испитаника; ова инфекција је била значајно повезана са хепатитисом Б и HIV инфекцијом, што говори о сличности у епидемиологији ових болести код *iv* зависника од дроге.

Имуносупресивно делује и алкохол (Begić-Janeva, 1991; Jerrells и Pruett, 1994), који хероиномани често користе у фазама апстиненције и ван њих, онемогућавајући елиминацију вируса у акутној фази болести.

Дакле, сугерисано је да у патогенези хроничног вирусног хепатитиса одлучујућу улогу има имунолошки механизам домаћина (интравенског хероинома на), који је, у нормалном стању, способан да сам искорени ћелије инфициране вирусом. Међутим, код особа са постепеним падом имунолошке реактивности, као што су *ivH*, хепатоцити са активном вирусном репликацијом могу персистирати као слабе тачке за НАН.

Значајно обележје НАН-а (HBV) су *graundglas* хепатоцити, чије је присуство вероватно у вези са интеграцијом вирусне ДНА. Такво персистирање је могуће због недостатка имунолошке реактивности или због одсуства циљних антигена на површини ћелија (Katić i sar., 1995).

Писмил некрозе у HBV-НАН се објашњавају секундарним, вирусом индукованим, аутоимунитетом (Katić, 1995) и овим истраживањем су утврђене у десет случајева са НАН-ом (25% свих анализираних аутопсија). Ултраструктурно се види да је перипортно ширење запаљенског инфилтрата удружено са некрозом појединих или групица хепатоцита у зони 1 лобулуса, уз нарушавање граничне плоче. Једна од манифестација писмил некрозе је апоптоза (постепена деградација хепатоцита фрагментацијом цитоплазме). Балонизујући тип ћелија (повећан волумен, смањене гликогенске грануле, вакуоларна трансформација цистерни ER-а, различити степени оштећења митохондрија) знак је некробиозе. Једра су пикнотична или вакуолизована. Није ретка ни руптура цитоплазматских мембрана ових ћелија. Други тип тежег оштећења је ацидофилна дегенерација и некроза – када се између очуваних хепатоцита виде Кунсилманова телашца, која понекад леже слободно у синусоидама.

НАН је прогресивна инфламативна лезија која се завршава цирозом у високом проценту. На брзину еволуције утиче суперпозиција брицинг некрозе, утврђене у 22,5% истраживаних случајева, који су припадали групи *ivH* са стажом између пет и десет година (15%) и групи *ivH* који су уносили хероин дуже од десет година (7,5%). „Споти" некрозе и холестаза су такође доказане у овом истраживању, а познате су као фактори који утичу на брзину еволуције НАН у цирозу (McsWeen, 1987).

Дакле, врло честа компликација *iv* уношења хероина је хронични вирусни, првенствено активни, хепатитис, који подразумева и значајна морфолошка и функционална оштећења јетре. Његова учесталост расте са дужином временског стажа *iv* коришћења хероина (по групама 14,5%, 37%, 77%, 100%), што потврђује корелацију временске дужине *iv* уношења хероина и степена морфолошких промена на јетри. Ова појава је

највероватније последица дуготрајног уношење хероина, које у већем степену супримира имунолошке снаге хероиномана, а што се сматра главним патофизиолошким механизмом настанка хроничне вирусне инфекције. Фаворизујући фактор настајања вирусног хепатитиса је парентерални начин уношења хероина потврђен у свим испитиваним случајевима.

У 53% случајева са НАН биле су истовремено присутне и алкохолне масне промене, што је аргумент више да конзумирање алкохола поспешује развој вирусне инфекције имуносупресивним деловањем (Ilić i sar., 2012).

4.4. Цироза

У овој студији цироза је била присутна у 30% анализираних случајева (12 од 40), а њена заступљеност је расла са порастом стажа *iv* уношења хероина (0%, 6%, 66%, 75%). Ова корелација се поклапа са оном утврђеном код хроничног вирусног хепатитиса.

Присуство цирозе у 11 случајева удружене са НАН-ом (92%) сведочи о његовој еволуцији у правцу цирозе. Како је већ напред речено, највероватније се ради о већем супримирању имунолошких снага што је дуже трајало *iv* уношење хероина. Овоме иде у прилог и суперпозиција „брицинг" некрозе, доказане у 22,5% истраживаних случајева, који су сви припадали групама са хероинским стажом дужим од 5 година, као фактора који убрзава еволуцију НАН у цирозу.

У 42% случаја заједно са НАН-ом, а у 8% без хепатитиса, утврђене су доминантне, дифузне, масне промене (као знак алкохолног оштећења), удружене са почетном цирозом. Ово значи да је у високом проценту и конзумирање алкохола (у фазама апстиненције од хероина и независно од тога) доприносило настанку цирозе јетре код *ivH*. Ултраструктурно, формирање базалних мембрана и синусоидна капиларизација играју важну улогу у фиброгенези Дисових али и међућелијских простора. Описане промене узрокују поремећај микроциркулације и даљу прогресију цирозе (Ilić i sar., 2010 и 2012).

Токсична хемијска средства могу да активирају Ито ћелије Дисових простора на синтезу колагена, што је битна карактеристика цирозе (Crawford, 1994). Поновљени хемијски инзулти доводе до замене уништених хепатоцита фиброзним ожиљцима, а са еволуцијом, јетра постаје одељена ожиљним ткивом, које окружује нодулусе регенерисаних хепатоцита, што се назива цирозом (Moslen, 1996). Цироза може пратити НАН и у случају када претходно обољење јетре није клинички дијагностиковано. С друге стране, субмасивна, хепатоцелуларна оштећења, узрокована лековима или дрогама, могу бити праћена нодуларном регенерацијом, фиброзом и цирозом. Врло мало документованих случајева цирозе узроковане лековима је објављено, посебно оних у којима су серијски пресеци биопсија или некропсија показивали еволутивни ток од акутног оштећења до цирозе (Ishak и Mullick, 1985).

У овој студији од 12 случајева са утврђеном цирозом ни у једном случају она није доказана без пратећег налаза НАН или алкохолне масне

дегенерације, па су према томе циротичне промене на јетри последица вирусне инфекције и дејства алкохола, а не директног утицаја хероина. Улога хероина је највероватније у поспешивању развоја вирусне инфекције имуносупресивним деловањем; притом, само *iv* коришћење хероина је фаворизујући фактор за уношење вирусне инфекције.

4.5. Пренеопластичне промене

Диспластичне промене хепатоцита, у овој студији, су доказане у 3 случаја са везикуларним и масним променама, компликованим вирусним хепатитисом. Дакле, сплет утицаја (алкохол, хероин, вирусна инфекција) довео је до оштећења хепатоцита са њиховом реактивном регенерацијом и настанком дисплазије.

Морфин (као директни продукт хероина) условљава супресију цитотоксичне активности ћелија убица и повећање раста имплантираног тумора (Reisine и Pasternak, 1995). Сличне резултате саопштава и Schweitzer (1991).

Малигне неоплазме настале под утицајем хемијских агенаса су хепатоцелуларног типа (Hall, 1994). Описано је и настајање холангиокарцинома и ангиосаркома изазваних разним токсинима (Ishak и Mullick, 1985). Скоро половина хероиномана са хепатитисом показује потенцијалну прогресивност у цирозу, отказивање јетре и хепатоцелуларни карцином (Tennant и Moll, 1995).

Дакле, постоји могућност развоја малигнитета код *ivH*. Овакве промене се надовезују на теже дегенеративне промене (везикуларне и масне), као и на хроничну вирусну инфекцију; значи, битнији су фактори који делују адитивно (алкохол, вирусна инфекција), док је деловање хероина вероватно највише у домену његових имуносупресивних ефеката.

Податак да су сва три регистрована случаја из групе *ivH* са стажом дужим од пет година (два случаја) односно преко десет година (један случај) говори да су у већој опасности, од диспластичних промена хепатоцита и могућег настанка малигнитета, *ivH* са дужим стажом уношења хероина. Ово вероватно због тога што се при дужем узимању ове дроге (а уз њу у неким случајевима и алкохола) развијају израженије дегенеративне промене (везикуларне и масне); у овим групама су много чешће хроничне вирусне инфекције, што се може објаснити дуготрајним имуносупресивним и директним хепатотоксичним дејством хероина (Ilić i sar., 2012).

4.6. Садржај гликогена

Овим истраживањем је утврђено да је гликоген био најочуванији у зони 1 ацинуса (у 30% случајева), затим у зони 3 ацинуса (очуван у 25% случајева), док је најчешће смањење истакнуто у интермедијарној зони (очуван у 5% случајева) (Ilić i sar., 2011). Највећа очуваност гликогена у зони 1 ацинуса може се објаснити најприснијим контактом ове зоне са кисеоником и хранљивим материјама из крви (Ross, 1995).

Са порастом дужине стажа *iv* апликације хероина смањује се и количина депонованог гликогена. Тако је у групи *ivH* са стажом до две године гликоген био очуван у зони 1,2 и 3 ацинуса у 43%, 30% и 57 % случајева, да би у групи *ivH* са стажом дужим од 10 година очуваност у зони 1 била 25%, а у осталим зонама 0%. Ово се слаже са претходно наведеним податком да је смањење гликогена пропорционално степену морфолошких промена на хепатоцитима (масне промене, НАН, цироза), чија заступљеност расте са дужином стажа IV уношења хероина. Деловање хероина доводи до смањења метаболизма гликогена (Jover i sar., 1992), нарочито ако су хепатоцити изложени и дејству алкохола. Због тога је и најизраженије смањење гликогена оно које прати доминантне, дифузне, масне промене на хепатоцитима, што је потврђено и електрономикроскопским истраживањем (Ilić i sar., 2011).

Од 11 случајева са дифузним масним променама, у 6 случајева у једној или две зоне гликоген је био потпуно одсутан, у 3 случаја у једној или две зоне нађено ја смањење гликогена у II степену, у преостала два случаја смањење у једној или две зоне било је у I степену (Илић и сар, 2011).

Хашигучи и сарадници (Hashiguchi et al., 1998), давањем морфин-6-глукуронида преко интрацереброventрикуларне каниле (ICV), довели су до редукције јетриног гликогена за 50%, што се објашњава активацијом опиоидних рецептора у мозгу, који индукују повећање хепатичне гликогенолизе. Смањење гликогенских депоа у условима исхемије је евидентно (Vuković, 1994). Најизраженије је у периферним зонама ацинуса, где су и иначе физиолошке резерве гликогена најмање. Грана (1968) указује да се пражњење гликогенских резерви уочава након 30–45 минута исхемије, а условљено је карактеристикама микроциркулације јетре. Разлика у количини пражњења гликогенских депоа је искључиво условљена температуром односно степеном метаболизма јетриних ћелија.

Дакле, са порастом дужине временског стажа *iv* узимања хероина, расте и деплеција гликогена у хепатоцитима изражена код алкохолне, дифузне масне промене, али и код НАН и цирозе, пропорционално степену некрозе и регенерације хепатоцита. Најочуванији је гликоген у перипортној зони ацинуса, због добре снабдевености ове зоне кисеоником и хранљивим материјама.

Смањење гликогенских депоа доводи до тога да су енергетске резерве недовољне да подрже ћелијске метаболичке реакције и наступа ћелијска смрт (Gerlah, 1963).

4.7. Амилоидоза

Присуство амилоида у овој студији је утврђено у девет случајева (22,5%), са локализацијом у портним просторима испод ендотела мањих грана хепатичне артерије. У два случаја амилоид је нађен у групи *ivH* са стажом између две и пет година, у пет случајева са стажом између пет и десет година и у два случаја са стажом дужим од десет година (Ilić i sar., 2011). Ови резултати су приближни резултатима Белматонга и сарадника (Belmatong

et al.,1997) који су амилоидозу налазили просечно за око десет година од почетка *iv* уношења хероина и настанка хроничних кожних супурација.

Осик и сарадници (Osick et al., 1993) описују карактеристике четири биопсије и 12 некропсија јетре особа које су *iv* и *sc* користиле хероин и кокаин. Хепатомегалија је била присутна у 12 случајева, а амилоидна дистрибуција је била у јетри паренхимна и васкуларна у 12 случајева.

Код захватања крвних судова амилоид се прво таложи у зиду крвних судова портних простора, као и у периваскуларном везивном ткиву (Tasić-Dimov, 1997). Прогресивна акумулација амилоида доводи до компресивне атрофије ћелијских елемената и до поремећаја функције захваћених органа и ткива, али је функција јетре у амилоидози обично очувана. Понекад се јавља блага жутица, ретко портна хипертензија и асцит.

Уз амилоидозу у јетри се развија фиброза портних простора, запаљење у портним просторима, ирегуларност граничне плоче са пролиферацијом дуктулуса, па чак и цироза јетре (Chopra et al., 1984).

У овом истраживању, у свим аутопсијским случајевима, амилоидоза је удружена са ожиљцима коже у кубиталним јамама, као последица кожних инфекција насталих на местима инјекционе апликације хероина.

Апсцеси на месту инјекционог давања хероина, кокаина и других дрога су најчешћа инфективна компликација код ове врсте токсикомана (Bergstein et al., 1995). Истраживањем је идентификовано 66 пацијената са 70 супкутаних апсцеса. Утврђено је да предоминирају анаеробне бактерије и факултативно грам + коки. 29% пацијената је позитивно на хепатитис Б сурфаце антиген, а 9% на HIV.

Познато је да у реактивној системској амилоидози дуготрајна деструкција и запаљење ткива доводе до повишених нивоа SAA у серуму (*Serum Associated Amyloid*) (Belmatong, 1997; Bergstein i sar., 1995; Johanessen, 1979, Junqueira, 2005). SAA се синтетише у јетри под утицајем цитокина, као што су IL-6 и IL-1 (Robbins, 1994); међутим сама продукција SAA није довољна за депоновање амилоида. Повишење SAA у серуму је често у запаљењима, али амилоидозе најчешће нема. SAA се нормално деградира у солубилне крајње продукте помоћу ензима из макрофага. Једно од могућих објашњења је да особе које развијају амилоидозу имају ензимски дефект који доводи до поремећаја целокупне разградње SAA, због чега настају несолубилне AA молекуле (Osick et al., 1993). У овом истраживању у 55,5% случајева амилоидоза је била удружена са алкохолним масним променама, што указује на могућност да је, у овим случајевима, нагомилавање амилоида последица утврђеног смањења броја макрофага.

У једном случају заједно са амилоидозом нађен је реактивни хепатитис, у 4 случаја НАН, а у још 4 амилоидоза је била истовремено удружена са НАН и цирозом јетре. Значајно је да је у 8 случајева (од 9 или 89%) амилоидоза била удружена са тежим облицима морфолошких оштећења јетре (НАН или НАН и цироза). Дакле, амилоидоза се најчешће јављала у групама са дугим хероиноманским стажом и у највећем проценту је удружена са маркантним морфолошким лезијама јетре (НАН и цироза), што свакако може да буде увод у значајно оштећење њене функције (Ilić i sar., 2011).

4.8. Хепатични синусоидални макрофаги (ендотелне и Купферове ћелије)

У хепатичне синусоидалне макрофаге спадају ендотелне и Купферове ћелије. Главна улога ендотелних ћелија је пиноцитоза, трансћелијски транспорт и синтеза ванћелијског матрикса (Bouwens et al., 1992). Купферове ћелије су најбројније у зони 1 ацинуса и имају превасходно фагоцитну активност и улогу у синтези цитокина (Wake и Sato, 1993). Лизозомалне ензиме имају у највећој количини у зони 1 па је ту најизраженије фагоцитно деловање, док је цитотоксично својство најјаче у зони 3 ацинуса (Bouwens et al., 1992).

Бројањем ових ћелија утврђена је значајна разлика између контроле и група са НАН без цирозе и са цирозом, док између синусоидалних макрофага контроле и осталих група значајна разлика није нађена.

Елсиси (Elsisi, 1993) сматра да активиране Купферове ћелије повећавају оштећење хепатоцита преко ослобађања реактивних кисеоникових радикала, па тако, витамином А активиране Купферове ћелије доводе до некрозе јетре и при малим дозама CCl_4. Активација синусоидалних ћелија је такође познати фактор у стварању фиброзе и настајању цирозе, при дуготрајном деловању хемијских токсина.

У овој студији синусоидални макрофаги су значајно активирани у случајевима са НАН, без обзира да ли је истовремено била присутна и постхепатична цироза. У групама где су истовремено биле присутне и алкохолне масне промене (три наведене аутопсијске групе), није било значајне разлике у односу на контролну групу (Ilić и сар, 2011). Сугерисано је да деловање алкохола онемогућава активирање синусоидалних макрофага, што иде у прилог његовом, раније дискутованом, имуносупресивном деловању (Neubauer et al., 2008). Насупрот томе у случајевима са ХАХ долази до активације макрофага, а ово може довести до продубљење морфолошких промена на јетри (Polakos et al., 2006). Ултраструктурно лумен синусоида је смањен због хипертрофичних синусоидалних макрофага, као и умножених лимфоцита и плазмоцита.

Резултати Милса и Шојера (Mills, Scheuer 1985) и Мејлфолда и сарадника (Mailfold et al., 1982) у сагласности су са резултатима ове студије, јер су такође истакли да се број, лизозим позитивних, хепатичних синусоидалних макрофага смањује у свим облицима алкохолне болести јетре у корелацији са степеном њеног оштећења, односно да расте у случајевима хроничног хепатитиса. Како активација синусоидалних ћелија доводи до оштећења хепатоцита и представља фактор у настанку фиброзе и цирозе, у случајевима са НАН -ом, где долази до повећања броја хепатичних синусоидалних макрофага, фаворизиван је настанак претходно наведених промена.

4.9. Оштећења миокарда као последица хроничне интравенске злоупотребе хероина

Оштећења миокарда повезана са злоупотребом хероина су разматрана као могући механизам узроковања финалног плућног едема у акутној интоксикацији. Ова студија је истраживала 13 случајева умрлих примарно због злоупотребе хероина. Хероин/морфин, као и хепатитис Б и Ц вирусна инфекција, заједнички пронађене код хероиномана, могу водити у миокрадна оштећења. Случајеви из истраживане групе су квалитативно и квантитативно упоређивани са контролном групом помоћу имунохистохемијских метода (Ilić и сар, 2011).

У складу са подацима из литературе, више од 10.0 LCA+ леукоцита, 10.0 CD45R0+ Т-лимфоцита и CD68+ макрофага сумарно: више од 6.0 CD68+ макрофага, као и више од 2.0 до 5.0 CD45R0+ Т-лимфоцита на микроскопском пољу великог увеличања (400 Н) морају бити схваћени као поуздан знак миокардног инфламаторног процеса, који се налази код вирусног миокардитиса. У исто време, знаци акутног миокардитиса у складу са Далас критеријумима нису били пронађени (Marholdt et al., 2004).

Имунохистохемијска квалитативна и квантитативна истраживања инфламаторних интерстицијалних ћелија омогућавала су дијагнозу граничне инфламације, у складу са истраживањима Богмана и сарадника (Baughman et al., 2006).

Мисмоутврдилиинтерстицијалнуфиброзуунеколикомиокардијалних узорака. Имајући у виду поменуте граничне вредности за Т-лимфоците, леукоцуте и макрофаге, број инфламаторних ћелија није нарастао до нивоа инфламаторног процеса упоређено са вирусно индукованим миокардитисом и Детмеровом (Dettmeuer) истраживању из 2009. године. У ствари, утврђен је мањи број лекоцита и Т-лимфоцита него у контролној групи, без статистичког значаја. Средња вредност броја макрофага била је значајно нижа у групи хероинских зависника него у контролној групи. Број ћелија запаљења није рефлектовао статус миокардитиса, због тога што је дистрибуција инфламаторних ћелија била неједнака у топографски различитим узорцима миокарда истог пацијента. Верујемо да критеријуми за инфламаторну реакцију морају бити прилагођени налазима да су најраније инфламаторне промене евидентиране у спољашњем зиду леве коморе срца и само у овим подручјима је миокардитис откривен хистолошким истраживањем (Baughman et al., 2006), у складу са чињеницом са хероиномани имају алтерисан имунолошки систем (Tallczu et al., 2008; Messmer et al., 2006). Ови резултати снажно сугеришу да је алтерација имуног система код хероиномана у корелацији са претходним опсервацијама (Numpha et al., 2007; Reunolds et al., 2009; Bhat et al., 2004) о јаком утицају на макрофаге, чији је број драматично нижи у истраживаној групи.

Један случај студиране групе показао је снажну периваскуларну и фокално интерстицијалну фиброзу, хистолошку слика излеченог миокардитиса и стечене кардиомиопатије, инфламаторног типа, у складу

са предложеном новом, ригорозном класификацијом кардиомиопатија (Maron, 2006). У појединим случајевима са иницијалном стеченом миокардиопатијом, инфламаторни тип може бити узет у обзир захваљујући вирусној инфекцији. Миокардијална фиброза хероиномана није јасног порекла. Утицај додатних супстанци такође остаје непознат.

У сагласности са претходним студијама (Darke i Zador, 1996) уочили смо да је коришћење алкохола важан ризични фактор, тако да је етанол детектован у 38% случајева. Виши нивои алкохола од 0,5‰ били су удружени са нижим нивоима морфина (у подгрупи са етанолом то је било 0,22 mg/l). Одвојено од фрамакодинамске интеракције између етанола и хероина, која може резултирати респираторном депресијом (Fugelstad et al., 2003), постоји могућност интеракције на нивоу глукуронидације.

5. ЗАКЉУЧЦИ

5.1. Везикуларне промене су најзаступљенија врста промена на хепатоцитима интравенских хероиномана и директна су последица деловања хероина на јетрине ћелије. Најчешће су локализоване у зони 2 ацинуса, а најизраженија везикуларна дегенерација (панацинусна распрострањеност) се повећава са порастом временског стажа интравенске злоупотребе хероина.

5.2. Учесталост хроничног активног хепатитиса расте са порастом дужине хероиноманског стажа, јер дуготрајно деловање хероина у већем степену супримира имунолошке снаге хероиномана, што се сматра најзначајнијим патофизиолошким механизмом у настанку ове компликације.

Хепатични синусоидални макрофаги су статистички значајно активирани у случајевима са хроничним активним хепатитисом, без обзира да ли је истовремено била присутна и постхепатична цироза.

5.3. Заступљеност цирозе расте са порастом дужине стажа интравенског апликовања хероина. Цироза је у највећем броју случајева удружена са хроничним активним хепатитисом, односно са хроничним активним хепатитисом и масним променама, а у преосталим случајевима само са масним променама, из чега следи да су циротичне промене јетре последица вирусне инфекције и дејства алкохола, а не директног утицаја хероина. Улога хероина је у поспешивању развоја вирусне инфекције имуносупресивним деловањем.

5.4. Са порастом дужине стажа интравенске апликације хероина смањује се и количина депонованог гликогена у хепатоцитима. Најизраженије смањење гликогена је оно које прати доминантне, дифузне, масне промене на хепатоцитима. Највећа очуваност гликогена у зони 1 ацинуса је последица најприснијег контакта ове зоне са кисеоником и хранљивим материјама из крвне циркулације.

5.5. Присуство амилоида је утврђено у значајном броју случајева, са локализацијом у портном простору испод ендотела мањих грана хепа-

тичне артерије, најчешће у групама са дугим хероиноманским стажом и у највећем броју случајева је била удружена са маркантним морфолошким лезијама јетре (хронични активни хепатитис и цироза), а код више од половине амилоидоза је била удружена са алкохолним масним променама.

5.6. Масне промене на хепатоцитима интравенских хероиномана последица су хроничног дејства алкохола и биле су присутне у више од половине случајева са хроничним активним хепатитисом и у високом проценту случајева са цирозом.

Везикуларне промене су такође фаворизоване деловањем алкохола, јер су заједно са масним променама биле присутне у значајном броју случајева, где истовремено није било ни хроничног активног хепатитиса ни цирозе.

5.7. Ултраструктура показује:

– хиперплазију и хипертрофију глатког ендоплазматског ретикулума, која се хистолошки сагледава као везикуларна дегенерација хепатоцита, настала као последица повећане синтезе ензима глатког ендоплазматског ретикулума, због хроничног интравенског уношења хероина;

– присуство континуиране базалне мембране уз конверзију синусоида у капиларе (у случајевима са хроничним активним хепатитисом и цирозом), што узрокује поремећај микроциркулације и даљу прогресију цирозе.

5.8. Резултати истраживања оштећења миокарда су показали да сигнификнатно смањен број макрофага у истраживаној групи хероиномана у односу на контролу упућује на закључак да лезије ћелија имуног система могу продуковати временом дисфункцију леве коморе и могућност настанка плућног едема као компликацију предозирања хероином.

5.9. Форензички значај нађених морфолошких промена на ткиву јетре и срчаном мишићу огледа се у могућности њихове практичне примене у склопу комплекса елемената за утврђивање непосредног узрока смрти интравенских хероиномана, јер смрт може наступити, уколико постоје значајна оштећења јетре и срчаног мишића и при нижим концентрацијама хероина, нарочито ако је његово дејство потпомогнуто деловањем алкохола.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arbulu A., Hohnes R.J., Asfaw J.: Tricuspid valvulectomy without replecement. Twenty years expirience. J Thorac Cardiovasc Surg. 1991; 102(6): 917-22.
2. Aretz H.T, Billingham ME, Edwards WD, Factor SM, Fallohn JT, Fenoglio JJ et al.: Myocarditis: a histopathologic deffinition and classification. Am J Cardivasc Patholog 1987; 1: 3-14.
3. Baughman K.L.: Diagnosis of myocarditis. Death of Dallas criteria. Circulation 2006; 113: 593-595.

4. Bhat RS, Bhaskaran M, Mongia A, Hitosugi N, Singhal PC.: Morphine-induced macrophage apoptosis: oxidative stress and strategies for modulation. J Leukoc Biol 2004; 75: 1131-1138.
5. Begić-Janeva A.: Patologija jetre, žučne bešike i žučnih vodova. Dečje novine. G. Milanovac; 1991: 13-22, 239-245, 269-76.
6. Belmatong N.: Inflammatory amyloidosis. Rev Prat. 1997; 47(16): 1777-82.
7. Bergstein J.M., Baker E.J., Aprahamian C., Schein M., Wittman D.H.: Soft tissue abscesses associated with parenteral drug abuse: presentation, microbiology and treatment. Am Surg. 1995; 61(12): 1105-8.
8. Bernasconi A., Kuntzer T., Ladban N., Janzer R.C., Yersin B., Regli F.: Peripheral nerve and spinal cord complication in intravenous heroin addiction. Rev Neurol Paris. 1996; 152(11): 688-94.
9. Best D., Gossop M., Marsden J., Farrel M., Strang J.: Time of day of methadone consumption and illicit heroin use. Drug Alcohol depend. 1997; 49(1): 49-54.
10. Bianchi L.: Liver biopsy interpretation in hepatitis. Path Res Pract. 1983; 178 (35): 2-19.
11. Bogusz M.J., Maier R.D., Driessen S.: Morphine, morphine-3-glucuronide, morphine-6-glucuronide, and 6-monoacetylmorphine determined by means of atmospherie preassure chemical ionization-mass spectrometry-liquid chromatography in body fluids of heroin victims. J Anal Toxicol. 1997; 21(5): 346-55.
12. Bukelić J.: Droga u školskoj klupi. Velatra. Beograd; 1997: 33-50.
13. Chan G.L.C., Matzke G.R.: Effects on renal insufficiency on the pharmacokinetics of opioid analgesics. Drug Intell Clin Pharm. 1987; 21: 773-83.
14. Chlumska A.: Ultrastructural finding in piecmil necrosis in mildly active chronic hepatitis. Cesk Pathol. 1994; 30(1): 19-22.
15. Chopra S., Rubinow A., Koff R.S., Cohen A.S.: Hepatic amyloidosis. A histopathologic analysis of primary (AL) and secundary (AA) forms. Am J of Pathology. 1984; 115: 339-45.
16. Gold MS. Cocaine (and crack): clinical aspects. In: Lowinson J.H., Ruiz P, Millman R.B., Langrod J.G., eds. Substance Abuse: A Comprehensive Textbook. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1992: 218-251.
17. Comer S.D., Collins E.D., Wilson S.T., Donovan M.R., Foltin R.W., Fischman M.W.: Effects of an alternative reinforcer on intravenous heroin self administration by humans. Eur J Pharmacol. 1998; 345(1): 13-26.
18. Cone E.J., Infer R., Darwin W.D., Needleman S.D.: Forensic drug testing for opiates. VII. Urinary excretion profile of intranasal (snorted) heroin. J Anal Toxicol. 1996; 20(6): 379-92.
19. Crawford J.M. ; The liver and biliary tract. In: Cotran R.S., Kumar V., Robbins S.L. (eds): Robbins Pathological Basis of Disease. Saundres. Philadelphia; 1994: 831-96.
20. Darke S., Zador D.: Fatal heroin "overdose": a review. Addiction. 1996; 91(12): 1765-72.

21. Darke S. Polydrug use and overdose: overthrowing old myths. Addiction. 2003; 98: 711.
22. Dettemayer R, Schmidt P, Musshoff F, Dreisvogt C, Madea B. Pulmonary edema in fatal heroin overdose: immunohistological investigations with IgE, collagen IV and laminin – no increase of defects of alveolar capacity membranes. Forensic Sci Int 2000; 110: 87-96.
23. Dettemayer R., Friedrich K., Schmidt P, Madea B. Heroin-associated myocardial damage – Conventional and immunohistochemical investigations. Forensic Sci Int 2009; 187: 42-46.
24. De Wit H., Pierri J., Johanson C.E.: Assessing individual differences in alcohol preference using a cummulative dosing procedure. Psychofarmacology. 1989; 98: 225-29.
25. Di Bello M.G., Masini E., Ioanides C., Fomusi Ndisang J., Raspanti S., Bani Sacchi T., Mannrioni P.F.: Histamine release from mast cells induced by the metabolic activtion of drugs of abuse into free radicals. Inflamm Res. 1998; 47(3): 122-30.
26. Dreisbach R.H.: Troavanja: dijagnoza i le~enje. Savremena administracija. Beograd; 1980: 358-90.
27. Dujella N., Dujella J.: Patho-anatomic changes in a narcotic addicts. Liec Vjesn. 1991; 113(11-12): 415-7.
28. Elsisi A.E.D., Earnest D.L., Sipes I.G.: Vitamin A potention of carbon-tetrachloride hepatotoxicity: Role of liver macrophages and active oxygen species. Toxicol Appl Pharmacol. 1993; 295: 295-301.
29. Farell G.C.: Drug Induced Liver Disease. Churchill Livingstone. Edinburgh, 1994: 144-58.
30. Fineschi V, Cecchi R, Centini F, Paglicci L, Reattelli I, Turillazzi E.: Immunohistochemical quantification of pulmonary mast cell tryptase and post mortem blood dosages of tryptase and eosinophil cationic protein in 48 heroin-related deaths. Forensic Sci Int 2001; 20: 189-194.
31. Fineschi V, Wetli C.V., DiPaolo M, Baroldi G. Myocardial necrosis and cocaine-associated deaths. Int J Leg Med 1997; 110: 193-198.
32. Fugelstad A, Ahlner J, Brandt L, Ceder G, et al. Use of morphine and 6-monoacetylmorphine in blood for the evaluation of possible risk factors for sudden death in 192 heroin users. Addiction 2003; 98: 463-70.
33. Fuller D.C.: A statistical approach to the prediction of verifiable heroin use from total codeine and total morphine concentrations in urine. J Forens Sci. 1997; 42(4): 685-9.
34. Gerlach E., Denticke B., Dreisbach R.H.: Zum Verhalten von Nucleotiden und Ihren Dephosphorylierten Ablauprodukten in der Niere bei Ishemie und Kurzzeitger post-Ischemiker Wiederdurchblutung. Fleuger Arch Ges Physiol. 1963; 278; 296-315.
35. Gilham D.E., Cairus W., Paine M.J., Modi S., Poulsom R., Robertys G.C., Wolf C.R.: Meatbolism of MPTP by cytochrome P 450 2D6 and the demonstration of 2d6 RNA in human foetal and adult brain by in situ hybridization. Xenobiotica. 1997; 27(1): 111-25.

36. Grana L., Soladana M., Donellan W.M., Swenson O.: Immediate and Longterm effects. Vascular Lesions in experimental liver ischemia. Arch Surg. 1968; 97: 500-13.
37. Guyton A.: Medicinska fiziologija. Medicinska knjiga. Beograd; 1996: 947-54.
38. Hill P.: Histopathology of drug-induced liver disease. In: Farell G.C. (ed): Drug Induced Liver Disease. Edinburgh. Churchill Livingstone; 1994: 115-51.
39. Hill P.D., Plummer J.L., Hasley A.H., Counins M.J.: Hepatic fibrosis and cirrhosis after chronic administration of alcohol and "low-dose" carbon tetrachloride rapor in the rat. Hepatology. 1991; 13(5): 995-8.
40. Hamid A., Curtis R., McCoy K., McGuire A., Bushell W., Lindenmmayer R., Brimberg K., Maia S., Abdur R.S., Settembrino I.: The heroin epidemic in New York City: current status and prognoses. J Psychoactive Drugs. 1997; 29(4): 375-91.
41. Hashiguchi Y., Molina P.E., Boxer R., Naukam R., Abumrad N.N.: Differential responses of brain, liver and muscle glycogen to opiates and surgical sterss. Surg Today. 1998; 28(4): 471-4.
42. Hashigushi Y., Molina P.E., Abumrad N.N.: Modualtion of metabolic effects of morphine-6-glucuronide by morphine-3-glucuronide. Brain Res Bull. 1995; 38(4): 325-9.
43. Hine C.H., Wright J.A., Allison D.J., Stephens B.G., Pasi A.: Analyses of fatalites from acute narcotism in a major urban area. J Forensic Sci. 1982; 27(2): 372-384.
44. Hollister L.E.: Drugs of Abuse. In: Katzung B. G.(ed): Basic and Clinical Pharmacology. Appleton and Lange. San Francisco; 1995: 478-90.
45. Ilić G., Karadžić R., Kostić-Banović L., Stojanović J., Antović A.: Ultrastructural changes in the liver of intravenous heroin addicts. 0, 2010; 10 (1): 38-43.
46. Ilić G., Gligorijević J., Milosavljević I., Karadžić R.: Procena morfoloških promena jetre zloupotrebom heroina u forenzičkoj praksi. Vojnosanitetski pregled, 2010; 67(5): 403-410.
47. Ilić G., Karadžić R., Kostić-Banović L., Antović A.: Amyloidosis, change in macrophage number, and dysplasia in the liver of intravenous heroin users. Rom J Leg Med 2011; 19(1): 7-16.
48. Ilić G., Gligorijević J., Karadžić R., Antović A., Kostić-Banović L., Stojanović J., Milić M.: Myocardial damage in heroin abuse: immunohistochemical investigations with LCA, CD68, and CD45R0. Rom J Leg Med 2011; 19(2): 89-94.
49. Ilić G., Karadžić R., Kostić-Banović L., Antović A., Milić M., Stojanović I.: The reduction of glycogen in the liver induced by chronic intravenous heroin abuse. Rom J Leg Med 2011; 19(4): 259-64.
50. Ilić G., Karadžić R., Kostić-Banović L., Antović A.: Duration dependent effect of intravenous heroin intake on morphological changes in the liver. Rom J Leg Med 2011; 20(1): 13-8.

51. Ilić G.: Heroin abuse in special body conditions. Complications of heroin abuse. International scientific conference "Arcibald Reiss Days" – Thematic conference proceeding of international significance; 2011: 213-22-
52. Ishak K.G. and Mullick G.: Drug Induced and Toxic Liver Injury. In: Peters R.L. i Craig J.R.: Liver Pathology. Churchill Livingstone. New York-Edinburgh-London-Melbourne; 1986: 221-55.
53. Jerrells T.R., Pruett S.B.: Immunotoxic effects of ethanol. In: Dean J.H., Luster M.I., Munson A.E., Kimber I.(eds): Immunotoxicology and immunopharmacology. Raven Press. New York; 1994: 344-62.
54. Junqueira L.C., Carneiro J.: Basic histology. New York: Mc Graw-Hill Co; 2005.
55. Kaiko A.F.: Age and morphine analgesia in cancer patients with postoperative pain. Clin Pharmacol Ther. 1980; 28: 8823-6.
56. Karch SB. Cocaine cardiovascular toxicity. South Med J 2005; 98: 794-799.
57. Katić V., Kutlešić Č., Gligorijević J.: Patologija. U: Katić V. (ed): Virusni hepatitisi. Prosveta Niš; 1995: 16-68.
58. Katić V., Otašević V., Savić V., Stojanović J., Nikolić I., Ilić G.: Histološki i ultrastrukturni efekat heroina na jetru čoveka. Med Forens. 1997; 1: 9-12.
59. Kock K.F., Simonsen K.W.: Renal myoglobin in drug addicts: occurrence and significannce in a postmortem study. For Sci Int. 1994; 65: 113-9.
60. Kolesiukov Y.A., Macchini M.L., Pasernak G.W.: L-aminocyclopropane carboxxyl acid (ACPC) presents μ and δ opioid tolerance. Life Sci. 1994; 55: 1393-8.
61. Kosten T.A.: Cocaine attenuates the severity of naloxone precipitated opioid withdrawal. Life sci. 1990; 47: 1617-23.
62. Kumar V, Abbas A.A., Fausto N., Mitchel R.N.: Amyloidosis. In: Kumar V, Abbas A.A., Fausto N., Mitchel R.N.: Rhobbins Basic Pathology. Tokyo: Saunders; 2007. p.166-72.
63. Lascin D.L.: Nonparenchimal cells and hepatotoxycity. Semin Liver Dis. 1990; 10: 293-304.
64. Laurence D.R., Bennett P.N.: Klini~ka farmakologija. Jugoslovenska medicinska naklada. Zagreb; 1984: 122-23, 270-71, 328-32.
65. Lehofer M., Liebman P.M., Moser M., Legl T., Reruhaupt G., Schanenstein K.: Decreased nociceptive sensitivity: a biological risk marker for opiate dependence ? Addiction. 1997; 92(2): 163-6.
66. Levison D.A., Kingham J.G.C., Dawson A.M., Stanfeld A.G.: Slow cirrhosis or no cirrhosis? A lesion causing benign portal hypertension, Journal of Pathology. 1982; 137: 253-72.
67. Liu M., Wu I., Wang W.: Immunohistochemical study on morphine in human tissues from opiate associatied death. Hua His i Ko. 1997; 27(2): 151-4.
68. Maccari S., Bassi C., Zanoni P., Plancher A.C.: Plasma cholesterol and triglicerides in heroin addicts. Drug Alcohol Depend. 1991; 29(2) ; 183-7.
69. Macsween R.N.M., Anthony P.P., Scheuer P.J.: Pathology in the liver. Churchill Livingstone, London-New York, 1987.; 111-32.

70. Mahrholdt H, Goedecke C, Wagner A, Meinhardt G, Athanasiadis A, Vogelsberg H et al. Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology. Circulation 2004; 109: 1250 –1258.
71. Mainfold J.H., Bishop F.M., Cloke P., Triger D.R., Underwood J.C.E.: Lysozyme in chronic liver disease: a biochemical and histological study. J Clin Pathol. 1983; 35: 815-819.
72. Maron B.J., Towbin J.A., Thiene G, Antzelevich C, Corrado D, Arnett D et al. Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies. Circulation 2006; 113: 1807-1816.
73. Mather L.E.: The clinical effects of morphine pharmacology. Reg Anesth. 1995; 20(4): 263-82.
74. Messmer D, Hatsukari I, Hitosugi N, Schmidt-Wolf GH, Pravin CS. Morphine reciprocally regulates IL-10 and IL-12 production by monocyte-derived human dendritic cells and enhances T cell activation. Mol Med 2006; 12 (Supll 11-12): 284–290.
75. Mello N.K., Mendelson J.H., Bree M.P., Lukas S.E.: Buprenorphine suppresses cocaine self administration by rhesus monkeys. Science. 1989; 245: 859-62.
76. Mills L.R. and Scheuer P.J.: Hepatic sinusoidal macrophages in alcoholic liver disease. Journal of Pathology. 1985; 147: 127-132.
77. Morgan M.Y.: Epidemiology of alcoholic liver disease in the United Kingdom. In: Hall P. (ed): Alcoholic Liver Disease. Edward Arenold. London; 1985: 193-229.
78. Morris D.C.: Cocaine heart disease. Hosp Prac 1991; 26: 81- 90.
79. Moriya F., Hashimoto Y.: Distrbution of free and conjugate morphine in body fluids and tissues in a fatal heroin overdose: Is conjugated morphine stable in postmortem specimens? J Forensic Sci. 1997; 42(4): 736-40.
80. Naumova T.A., Panchenko L.F., Pirozhkov S.V., Baronets VIu, Aliab'eva T.N. Disorders in the immune status and hepatic pathologies in young heroin addicts. Vestn. Ross. Akad. Med. Nauk. 2003; (3): 32-36.
81. Naumova T.A., Panchenko L.F., Pirozhkov S.V., Baronets VIu, Aliab'eva T.N.: Disorders in the immune status and hepatic pathologies in young heroin addicts. Vestn. Ross. Akad. Med. Nauk. 2003; (3): 32-36.
82. Neubauer K, Lindhorst A, Tron K, Ramadori G, Saile B.: Decrease of PECAM-1-gene-expression induced by proinflammatory cytokines IFN-γ and IFN-α is reversed by TGF-β in sinusoidal endothelial cells and hepatic mononuclear fagocytes. BMC Physiol. 2008; 8: 9.
83. Neumann P.B., Henriksen H., Grosman N., Christensen C.B.: Plasma morphine concentrations during chronical oral administration in patients with cancer pain. Pain. 1982; 13: 247-52.
84. Nympha B, El-Guindy DS, DeVilliers W, Doherty D.E.: Acute alcohol intake impairs lung inflammation by changing pro- and anti-inflammatory mediator balance. Alcohol 2007; 41 (5): 335–345.

85. O'Brien P. Ch.: Drug addiction and drug abuse. In: Hardman J.G., Limbird L.E. (eds): Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics. Mc Graw Hill. New York, Sent Louis, San Francisco; 1995: 557-75.
86. Osick L.A., Lee T.P., Pedemonte M.B., Jacob L., Chanon P., Naavarro C., Comer G.M.: Hepatic amyloidosis in intravenous drug abusers and AIDS patients. J Hepatol. 1993; 19(1): 79-84.
87. Osterwalder J.J.: Patients intoxicated with heroin or heroin mixtures: how long should they be monitored? Eur J Emerg Med. 1995; 2(2): 97-101.
88. Ostor A.G.: The medical complications of narcotic addiction. Med J Aust. 1997; 1: 410.
89. Passarino G, Ciccone G, Siragusa R, Tappero P, Mollo F.: Histopathological findings in 851 autopsies of drug addicts, with toxigologic and virologic correlations A J Foren Med Pathol. 2005; 26(2): 106-16.
90. Perreault C.L., Hague N.L., Ransil B.J., Morgan J.P.: The effects of cocaine on intracellular Ca^{2+} handling and myofilament Ca^{2+} responsiveness of ferret ventricular myocardium. Br J Pharmacol 1990; 101 (3): 679–685.
91. Petrović S.P.: Droga i ljudsko ponašanje. Dečje novine. Gornji Milanovac; 1989: 125-30.
92. Pindel E.V., Kedishvili N.Y., Abraham T.L., Brzezinski M.R., Zhang J., Dean R.A.: Purification and cloning of a broad substrate specificity human liver carboxylesterse that catalyzes the hydrolisis of cocaine and heroin. J Biol Chem. 1997; 272(23): 1469-75.
93. Pini L.A., Stermieri E., Ferretti C.: Dapiprazole compared with clonidine and a placebo in detoxification of opiate addicts. Int J Clin Pharmacol Res. 1991; 11(2): 99-105.
94. Polakos N.K., Cornejo J.C., Murray D.A., Wright K.O., Treanor J.J., Crispe I.N., Topham D.J. Pierce R.H.: Kupffer Cell-Dependent Hepatitis Occurs during Influenza Infection. Am J Pathol. 2006; 168(4): 1169–78.
95. Ponsoda X., Jover R., Gomez-Lechon M.J., Fabra R., Trullenque R., Castell J.V.: Intracellular gluthatione in human hepatocytes incubated with S-adenosyl L-methionini and GSH depleting drugs. Toxicology. 1991; 70(3): 293-302.
96. Portenoy R.K., Khan E., Layman M., Lapin J., Malkin M.G., Foley K.M., Thaler H.T., Cerbone D.J., Inturrisi C.E.: Chronic morphine therapy for cancer pain: plasma and cerebrospinal fluid morphine and morphine-6-glucuronide concentracitions. Neurology. 1991; 41: 1457-61.
97. Portenoy R.K., Tlaber H.T., Inturrisi C.E., Friedlander K.H., Foley K.M.: The metabolite morphine-6-glucuronide contributes to the analgesia produced by morphine infusion in patients with pain and normal renal function. Clin Pharmacol Ther. 1992; 51: 422-31.
98. Rajs J, Falconer B. Cardiac lesions in intravenous drug addicts. Forensic Sci Int 1979; 13: 193-209.
99. Rang H.P., Dale M.M., Ritter J.M.: Pharmacology. Churchill Livingstone. Edinburgh, London, New York; 1995: 609-33.

100. Reimer J., Lorenzen J., Baetz B. et al. Multiple viral hepatitis in injection drug users and associated risk factors. J. Gastroenterol. Hepatol. 2007; 22: 80–84.
101. Reisine T. and Pasternak G.: Opioid analgesics and antagonists. In: Hardman J.G., Limbird L.E. (eds): Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics. Mc Graw Hill. New York, Sent Louis, San Francisco; 1995: 521-55.
102. Rezkalla SH, Kloner RA. Cocaine-induced acute myocardial infarction. Clin Med Res 2007; 5 (3): 172–176.
103. Reynolds JL, Mahajan SD, Aalinkeel R, Nair B, Sykes DE, Schwartz SA. Proteomic analyses of the effects of drugs of abuse on monocyte-derived mature dendritic cells. Immunol Invest 2009; 38 (Suppl 6): 526–550.
104. Rop P.P., Formaris M., Salmon T., Burle J., Bressen M.: Concentrations of heroin, 06-monoacetylmorphine, and morphine in a lethal case following an oraal heroin overdose. J Anal Toxicol. 1997; 21(3): 232-5.
105. Ross M.H., Romrell L.J., Kaye G.I.: Hystology – A text and Atlas. Williams-Wilkins. Baltimore-Tokyo; 1995: 496-507.
106. Ruttenber A.J., Kalter H.D., Santinga P.: The role of ethanol abuse in the etiology of heroin related death. J Forensic Sci. 1990; 22(4): 471-8.
107. Scheuer P.J.: Liver biopsy interpretation. Bailliere-Tindall. London; 1988: 44-62.
108. Seki K., Miniami Y., Nishikawa M.: "Nonalcoholic steato hepatitis" induced by massive doses of sinthetic estrogen Gastroenterologia Jpn. 1983; 18: 197.
109. Singhal P.C., Pan C.Q., Sagar S., Valderrama E., Stahl R.A.: Morphine modulates mesangial immunoglobulin 6 uptake in rate with antithimocyte serum induced mesangiaal cell injury. Nephron. 1996; 74(1): 197-203.
110. Skeie I, Brekke M, Lindbæk M, Waal H.: Somatic health among heroin addicts before and during opioid maintenance treatment: a retrospective cohort study. BMC Public Health 2008; 8: 43.
111. Skopp G., Lutz R., Pötsch L., Gaussman B., Klinder K., Schmidt A., Aderjan R., Mattern R.: An in vitro experiment for postmortem vascular permeation. The passage of morphine and morphine glucuronides across a vascular wall. J Forensic Sci. 1997; 42(3): 486-91.
112. Stain Texier F., Sandonk P., Scherrman J.M.: Intestinal absorption and stability of morphine-6-glucuronide in different physiological compartments of the rat. Drug Metab Dispos. 1998; 26(5): 383-7.
113. Steentoft A, Teige B, Holmgren P, Vuori E, Kristinsson J, Hansen AC, Ceder G, Wethe G, Rollmann D.: Fatal poisoning in Nordic drug addicts in 2002. Forensic Science International. 2006; 160: 148–56.
114. Stenger R.J.: Organelle pathology of the liver. The endoplasmic reticulum. Gastroentrology. 1970; 58: 554.
115. Stojanović D.: Reverzibilno i ireverzibilno oštećenje ćelije. U: Katić V., Kutlešić Č., Stojanović D.: Opšta patologija. Prosveta. Niš; 1997: 14-20.

116. Talloczy Z, Martinez J, Joset D, Ray Y, Gácser A, Toussi S, et al. Methamphetamine inhibits antigen processing, presentation, and phagocytosis. PLoS Pathogens 2008; 4 (Suppl 2): 28.
117. Tardiff K., Marzuk P.M., Leon A.C., Hirsch Ch.S., Stajić M., Portera L., Hartwell N.: Cocaine, opiates and ethanol in homicides in New York City: 1990. and 1991. Jour Forens Sci. 1995; 49: 387-90.
118. Tasić-Dimov D.: Amiloidoza. U: Katić V., Kutlešić Č., Stojanović D.: Opšta patologija. Prosveta. Niš; 1997: 211-21.
119. Toupalik P, Vanerkova H, Klčir P, Bouska I.: Morphologic findings in chronic abuse of heroin and pervitine. Soud Lek. 2002; 47(1): 5-11.
120. Tezellear HD, Karch SB, Stevens BG, Billingham ME. Cocaine and the heart. Hum Pathol 1987; 18: 195-199.
121. Uchida T., Kronberg I., Peters R.L.: Giant mitochondria in alcoholic liver disease; their identification frequencs and pathological significance. Liver. 1984; 4: 29-38.
122. Vecerkova I.: Detection of diacetttylmorphin (heroin) use by thin chromatography analysis of urine. Sond Lek. 1997; 42(3): 32-8.
123. Vila N., Chamorro A.: Ballistic movements duo to ischemic infarctus after intravenous heroin overdose: report of two cases. Clin Neurol Neurosurg. 1997; 99(4): 259-62.
124. Vuković R.: Dinamika promena sinusoidalnog volumena jetre u uslovima hladne ishemije. Doktorska disertacija. Novi Sad; 1994: 62-6.
125. Wahren C.A., Brandt L., Allebeck P.: Has mortality in drug addicts increased? A comparasion between two hospitalized cohorts in Stockholm. Int J Epidemiol. 1997; 26(6): 1219-26.
126. Wake K., Sato T.: Intralobular heterogenity of perisinusoidal stellate cells in porcine liver. Cell Tiss Res. 1983; 273: 227-57.
127. Way W.L., Way E.L., Fields H.L.: Opioid Analgesics and Antagonists. In: Katzung B. G.(ed): Basic and Clinical Pharmacology. Appleton and Lange. San Francisco; 1995: 460-77.
128. Wyler D., Zollinger V.: The "golden sniff": suicide by sniffing heroin. Arch Kriminol. 1997; 200(5-6): 154-8.
129. Zimatkin S.M., Prouko P.S., Grinevich V.P.: Alcohol action on liver: dose dependence and morpho-biochemical correlations. Cas Lek Cesk. 1997; 136(19): 598-602.
130. Zimmerman H.J., Ishak K.G.: Hepatic injury due to drugs and toxins. In: Mc Sween R.N.M., Anthony P.P., Scheuer P.J. (eds): Pathology of the Liver. Churchill Livingstone. Edinburgh; 1987: 503-73.
131. Zimmerman H.J., Ishak K.G.: Valproate induced hepatic injury: analyses of 23 fatal cases. Hepatology. 1982; 2: 59.

Скраћенице коришћене у тексту

ЕМ – електрономикроскопски
RER – рапави ендоплазматски ретикулум
SER – глатки ендоплазматски ретикулум
EPR – ендоплазматски ретикулум
НАН – хронични активни хепатитис
НРН – хронични персистентни хепатитис
C_3 – компонента комплемента
NK – ћелије убице
RES – ретикуло-ендотелијални систем
cAMP – циклични аденозинмонофосфат
CNS – централни нервни систем
МО – моноцити
iv – интравенски
ivH – интравенски хероиномани
im – интрамускуларно
sc – супкутано

ИНДЕКС ИМЕНА

Armaković S. VI
Bakland R. 83
Ballantune J. 87
Barčelo D. 34
Baughman K.L. 280
Belmatong N. 277
Bertijon J. 80
Bogman K.L. 280
Bokorov M. 69
Čeng J. 208
Dantcheva A. 81
Detmer R. 280
Džefriz A. 83
Đuragić G. 59, 60, 62, 71, 72,73
Elsisi A.E.D. 279
Fleming R.I. 88, 89
Folds H 192
Frumkin D. 94
Furije Š. 191
Galton F. 192
Gurion B. 77
Haas C. 88
Haribson S.A. 88, 89
Hašiguči Y. 277
Henri E. 192
Heršel W. 192
Ilić G. X
Jaćimovski S. V,XIII, XVII, 1
Juusola J. 87
Karadžić R. X
Kephant J.O. 18
Maksimović R. XIII,9
Malori R. 257
Mejfild B. 101
Mejnfold J.H. 279
Miliken R.
Miliken R. 50
Milošević G. XVII
Mils L.R. 279
Nešić M. X
Nikolić A. 69
Osik L.A. 278
Park S. 90
Petrović M. 34
Pičvork K. 83
Popović B. IX
Purkinje J.E. 192
Rađenović J. 34
Ranđelović D. VII
Rutenber A.J. 272
Sadam H. 82
Šabić R. 104
Šetrajčić I. VI
Šetrajčić J XIII, XVII
Šlejer P.v R. 43
Šneberger Dž. 92
Šojer P.J. 279
Švajcer P. 276
Švebke J. 274
Teodorović S. VI, 75
Tjen J. 208
Tošić B. XIII
Vilson R. 199
Vodinelić V XIV
Vučetić I 103, 192
Wang Z. 91
White S.R. 18
Zorić V. VI, XIII, 59

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

343.983(082)
340.66/.68(082)
343.983:004

ИНОВИРАЊЕ форензичких метода и њихова примена / [уредници Стево Јаћимовски, Јован Шетрајчић]. - Београд : Криминалистичко-полицијска академија, 2013 (Београд : Службени гласник). - XVII, 291 стр. : илустр. ; 24 cm. - (Едиција Монографије / Криминалистичко-полицијска академија ; књ. 13)

Тираж 200. - Библиографија уз сваки рад. - Регистар.

ISBN 978-86-7020-245-0

a) Вештачење - Зборници b) Вештачење - Рачунарски системи
COBISS.SR-ID 198285324