

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ВЕЋУ ЗА СТУДИЈЕ ПРИ УНИВЕРЗИТЕТУ**

**РЕФЕРАТ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ КАНДИДАТА**

Студијски програм: **Биомедицинско инжењерство и технологије**

Комисија у саставу

Проф. др. Милица Јанковић, ванредни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду

Др. Јована Петровић, научни саветник, ИНН „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду,

Проф. Др. Владан Вукчевић, Медицински факултет, Универзитет у Београду

оформљена 16. 6. 2025. године одлуком Већа за студије при Универзитету у Београду доставља реферат о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

**„Примена надгледаних и ненадгледаних алгоритама приликом аутоматске детекције и класификације срчаних аритмија“**

кандидата

**Владимира Атанасоског, мастер инж. електротехнике.**

**Основни подаци о кандидату и дисертацији**

Владимир Атанасоски је рођен 9. августа 1986. године у Краљеву, где је завршио основну и средњу школу. Године 2005. уписао је основне студије на Електротехничком факултету у Београду, а дипломирао 2011. године на теми “Транспортни процеси у графену”. Исте године уписао је мастер студије на матичном факултету које је завршио 2013. године мастер радом на тему “Анализа фибер оптичких сензора на основу решетки са дугим периодом”. У периоду од 2013. до 2016. године радио је у индустријском сектору на пословима дизајна оптичких сензора и оптичких мрежа. Године 2016. запошљава се у фирми Heart Beam као технички консултант за развој мобилних ЕКГ уређаја и уписује мултидисциплинарне докторске студије при Универзитету у Београду, студијски програм: Биомедицинско инжењерство и технологије. Од априла 2022. године запослен је у ИНН „Винча“ као стручни сарадник.

Докторска дисертација под насловом „Примена надгледаних и ненадгледаних алгоритама приликом аутоматске детекције и класификације срчаних аритмија“

броји 85 страна и састоји се из 7 поглавља и то Увода, Закључка и 5 тематских поглавља: СимЕМГ метода аквизиције и база података, Метода за уклањање ЕМГ шума из ЕКГ сигнала, Детекција QRS комплекса помоћу векторкардиорграма, Аутоматска детекција вентрикуларних екстрасистола и Детекција АФ-а и АФЛ-а помоћу методе дубоког учења. Резултати приказани у прва два тематска поглавља објављени су у часописима M22.

Дисертација се позива на 129 релевантних цитата.

### **Предмет и циљ докторске дисертације**

Кардиоваскуларне болести (КВБ) су водећи узрок смртности у свету. Током 2017. године, 51% жена и 40% мушкараца од укупног броја умрлих у Европи умире због КВБ-а [1]. Стога је развој поуздане и економски приступачне технологије за дијагнозу КВБ-а од велике важности, где је велика пажња усмерена ка новим дијагностичким алгоритмима за коришћење у електрокардиографији (ЕКГ), најприступачнијој методи мониторинга рада срца. Један од најчешћих облика КВБ-и представљају срчане аритмије које се манифестују нерегуларним срчаним ритмом и могу се детектовати ЕКГ-ом.

ЕКГ је метода за праћење електричне активности срца преко електрода које се постављају на кожу. Ове електроде региструју мале промене напона настале услед деполаризације и реполаризације срчаних структура. Промене услед деполаризације преткомора манифестују се као Р талас, деполаризације комора као QRS комплекс и реполаризације комора као Т талас, док је реполаризација преткомора слабо видљива у ЕКГ сигналу услед преклапања са знатно јачим QRS комплексом. Нагли развој телемедицине у последње две деценије створио је потребу за аутоматском детекцијом и праћењем аритмија у кућним условима. Међутим, овај проблем није нимало лак услед сметњи које се јављају током мобилних ЕКГ мерења.

ЕКГ сигнали, поготово они који су добијени ван клиничких услова, су подложни шумовима који проистичу из физиолошких сигнала, покрета тела или спољних фактора. Елиминација ових сметњи је јако битна како би се избегле погрешне дијагнозе. Док се неке сметње, као што је интерференција са сигналом дисања, могу лако уклонити из сигнала филтрирањем, елиминација физиолошких сметњи које настају услед напрезања мишића на телу током мерења представља велики изазов због преклапања фреквентног садржаја сметње и спектра корисног дела ЕКГ сигнала.

Атријални флатер (АФЛ) и атријална фибрилација (АФ) представљају најчешће типове срчаних аритмија и уско су повезане са повећаним ризиком од можданог удара [5,6]. Присуство ових аритмија 5 пута повећава ризик од можданог удара, 2 пута ризик од развоја срчане слабости и удвостручује смртност. Последице ових поремећаја ритма могу довести до интраваскуларног згрушавања крви у срцу и формирања угрушака који се могу пренети до других органа. Ова појава се назива емболија и доводи до прекида дотока крви у сегментима где се такав угрушак заглави и физички блокира доток крви [7]. АФЛ се јавља када постоји хаотично кретање електричних импулса у преткомори [8], при чему се преткомора контрахује убрзано са периодичном таласном формом. Присуство АФЛ-а може проузроковати стварање



микротромба, који може порастаи до нивоа који изазове мождани удар, али се може дуго и одржавати асимптоматски упркос истовременим микроемболизацијама и постепеним пропадањем функције централног нервног система. Оба поремећаја ритма лече се лековима, а у тежим случајевима и аблацијом, те су њихова детекција и разликовање једног од другог битне за правилну терапију.

Једна од најчешћих срчаних аритмија су коморске (вентрикуларне) екстрасистоле (ВЕС). За разлику од нормалних срчаних импулса који започињу у синоатријском чвору, ВЕС настају у комори. Иако се јављају и код здравих особа [2], учестала појава ВЕС-а може бити индикатор појаве КВБ, на пример кардиомиопатије [3]. Код значајнијих оштећења срчане функције ВЕС-е могу довести и до вентрикуларне тахикардије, као и до коморске фибрилације која представља механизам напрасне срчане смрти [4]. Стога је рана детекција патолошке појаве комплексне ВЕС аритмије од велике важности. Поред овога, правилном детекцијом ВЕС-а може се избећи погрешна позитивна дијагноза АФ-е. Наиме, обе аритмије чине срчане интервале нерегуларним, па се при аутоматској детекцији која се ослања на регуларност интервала могу помешати. Ово доводи до лажно позитивних дијагноза АФ-е и непотребног слања људи кардиологу, чиме се ствара непотребан притисак на здравствени систем.

**Циљеви дисертације** су дизајн нових алгоритама за аутоматску детекцију срчаних аритмија: ВЕС-а, АФЛ-а и АФ-е и отклањање шума из ЕКГ сигнала. Предложени алгоритам за детекцију ВЕС-а заснован је на новом обележју ЕКГ сигнала произашлом из физиолошке анализе ове аритмије. За детекцију атријалних аритмија, АФЛ-а и АФ-е коришћене су конволуционе и рекурентне неуралне мреже. Како је постављање тачних дијагноза из ЕКГ сигнала, условљено уклањањем сметњи из сигнала, теза се бави и развојем метода за елиминацију електромиографске (ЕМГ) сметње настале услед активности мишића, са циљем добијања што „чистијих“ и морфолошки очуваних сигнала за аутоматску детекцију аритмија.

**Основне новине** којима теза доприноси корпусу знања и развоју ЕКГ уређаја су: нова база ЕКГ сигнала са и без присуства ЕМГ шума, нов метод уклањања шума током обраде сигнала, нови приступи детекцији ВЕС-ова и атријалних аритмија, и анотација свих ВЕС-ова у јавно доступној бази аритмија.

Симултаним мерењем ЕКГ сигнала електродама постављеним на прстима и раменима добијени се сигнали са израженим и занемарљиво малим ЕМГ шумом, респективно, и од њих сачињена нова база података СимЕМГ. СимЕМГ је прва јавно доступна база ове врсте и вредан је ресурс за све инжењере и истраживаче који се баве развојем алгоритама за раздвајање ЕМГ и ЕКГ сигнала. На иновативан начин је приступљено и уклањању шума. Наиме, привременим уклањањем доминантних обележја ЕКГ сигнала омогућено је лако уклањање ЕМГ шума филтрирањем без нарушавања основне морфологије сигнала. Изложени метод има потенцијал и за примене које захтевају уклањање нискофреквентних шумова као што су случајне промене основне линије.

Да би се приступило тестирању алгоритама за детекцију ВЕС-ова, спроведена

је анотација ВЕС-ова у сигналама из доступне јавне базе. Ово је прва анотација ВЕС-ова на датој бази и, пошто је јавно доступна, омогућиће објективно тестирање алгоритама за детекцију екстрасистола.

Предложено је ново обележје ЕКГ сигнала које се заснива на интегралу QRS комплекса и на основу кога се ВЕС-ови могу класификовати са високом тачношћу. Закључак тезе да је детекција ВЕС-ова на 2 или 3 ортогонална ЕКГ одвода тачнија од детекције на једном одводу је познат од раније, али је у тези први пут показано да се повећање прецизности коришћењем 3 псеудоортогонална одвода може постићи мобилним уређајем. Тиме су дате смернице за будући развој мобилних ЕКГ уређаја.

Метод дубоког учења искоришћене су на иновативан начин да би се провериле могућности за мултикласну класификацију синусног ритма, АФ-е и АФЛ-а. Постигнута висока тачност указује на могућност коришћења ових алгоритама, али и на њихова ограничења у раздвајању ових аритмија.

**Резултати описани у дисертацији** су од потенцијалног значаја за даљи развој мобилних ЕКГ система, а посебно за уклањање шума из сигнала и прилагођавање конфигурације електрода тачној дијагнози аритмија.

### **Основне хипотезе од којих се се полазило у истраживању и њихова испуњеност**

У истраживању се пошло од 5 хипотеза и показано је да су оне испуњене:

Хипотеза 1: Истовременим мерењем потенцијала између две тачке на раменима и две тачке на шакама може се симултано снимити ЕКГ сигнал са и без присуства ЕМГ сметњи;

Утврђено је да је могуће истовремено снимити ЕКГ сигнал са и без ЕМГ сметњи мерењем потенцијала на раменима и шакама. Ово је показано експериментално на скупу од 14 здравих испитаника. Обрадом сигнала референтним методима из литературе и новим итеративним методом (ИРМ) предложеним у тези показано је да се елиминацијом ЕМГ шума из сигнала снимљеног на прстима може веома приближно добити сигнал снимљен на раменима, чиме је потврђена хипотеза. Она је квантитативно показана спектралном анализом ЕМГ сигнала. Од експериментално добијених података сачињена је СимЕМГ база која омогућава поређење ефикасности метода за елиминацију ЕМГ шума. СимЕМГ метода мерења описана је у Поглављу 2, а метода уклањања шума у Поглављу 3.

Хипотеза 2: Након уклањања доминантних компоненти из ЕКГ сигнала, пре свега QRS комплекса и Т таласа, ЕМГ шум се може издвојити коришћењем филтера пропусника високих фреквенција без нарушавања морфологије корисног дела сигнала;

У Поглављу 3 је приказан ИРМ метод за уклањање ЕМГ шума из ЕКГ сигнала. Метод је заснован на елиминацији псеудопериодичних QRS комплекса из ЕКГ сигнала пре филтрирања шума, те враћањем ових комплекса по елиминацији шума. Метод је тестиран и потврђен на различитим базама података. Поређењем са другим методима елиминације шума, а посебно са веома успешним методом који користи

таласиће, јасно је показана предност ИРМ метода у очувању морфологије сигнала. Опсежна анализа на различитим јавно доступним базама података, укључујући и СимЕМГ базу, потврдила је да издвајањем истакнутих обележја ЕКГ сигнала може омогућити ефикасно филтрирање ЕМГ шума из ЕКГ сигнала уз очување морфологије сигнала, чиме је хипотеза потврђена.

Хипотеза 3: Коришћењем 3 ЕКГ одвода може се постићи већа прецизност детекције QRS комплекса у односу на 1 одвод, чак и у присуству ЕМГ сметњи;

У Поглављу 4 представљен је нов метод за детекцију QRS комплекса коришћењем три одвода. Показано је да метод задржава високе перформансе чак и у присуству ЕМГ шума, уз сензитивност и позитивну предиктивну вредност од преко 99% на већини база. Број лажно позитивних детекција значајно је смањен у поређењу са другим методима. Поређењем перформанси алгорита на једном и 3 одвода јасно је показана предност коришћења више одвода. Слични резултати добијени су и за методе из литературе, укључујући стандардне Елгенди и Пан-Томпкинс методе детекције QRS комплекса. Хипотеза је потврђена на различитим методима и скуповима података.

Хипотеза 4: Интеграл QRS комплекса, израчунат за сваки од 3 одвода, може се користити као параметар за раздвајање ВЕС срчаних циклуса од нормалних;

У поглављу 5 је уведен нови метод детекције екстрасистола који се заснива на новом обележју ове појаве - интегралу QRS комплекса израчунатом на 3 одвода и представљеном у тродимензионалном простору. Коришћењем алгорита за кластеровање тако представљених срчаних откуцаја подаци се припремају за једноставно раздвајање синусних откуцаја од екстрасистола на основу величине кластера. Показано је да предложени метод класификације има високе перформансе: сензитивност од 97,18%, позитивну предиктивну вредност од 90,18% и специфичност од 99,25%, чак и у присуству других аритмија и ЕМГ шума, чиме је хипотеза доказана. Предложено обележје се израчунава коришћењем R тачака ЕКГ сигнала, а у тези је показано да веома слабо зависи од прецизности налажења ових тачака. Чињеница да детектор не користи остале карактеристичне тачке и да слабо зависи од прецизности налажења R тачке издваја га од постојећих алгорита који поред прецизног налажења R тачке често захтевају и налажење Q и S тачака, што није увек могуће у присуству шума.

Хипотеза 5: Секвенца RR интервала садржи довољно информација да се уз помоћ дубоке неуронске мреже могу поуздано разликовати синусни ритам, АФ и АФЛ.

Развијен је модел дубоког учења за класификацију синусног ритма, АФ и АФЛ на основу секвенце RR интервала. Архитектура мреже комбинује конволуционе и рекурентне слојеве. Евалуација је спроведена стратегијом 10-струке унакрсне валидације. Постигнуте перформансе: тачност од 89,7% и сензитивност и специфичност изнад 90% за већину класа, потврђују да модел ефикасно разликује



аритмије. Највеће грешке јављају се код АФЛ-а. Међутим, с обзиром на то да је степен нерегуларности флатера између регуларности синусног и нерегуларности фибрилационог ритма, перформансе раздвајања постигнуте у тези су одличне и конкурентне другим алгоритмима.

### **Кратак опис садржаја дисертације**

У предговору тезе дефинисани су мотивација, хипотезе и научни доприноси тезе који су детаљније обрађени у наредним поглављима.

Поглавље 1: Приказани су основни механизми функционисања срца са посебним освртом на електричну манифестацију срчане активности на површини тела која се може детектовати ЕКГ-ом. Детаљно су објашњени принципи електрокардиографије, као и поремећаји ритма који се њом могу дијагностиковати. Дат је преглед метода за детекцију најчешћих аритмија: АФ-е, АФЛ-аа и ВЕС-а, и њихови недостаци. Дат је посебан осврт на примене ових метода у мерењима преносивим ЕКГ уређајима са мањим бројем канала која су изразито подложна шуму. Тиме су дефинисани проблеми којима се теза бави, а који се могу подвести под детекцију дијагностички битних обележја ЕКГ сигнала и срчаних аритмија у присуству шума.

Поглавље 2: Описан је метод симултаног снимања ЕКГ-а са и без ЕМГ шума као и експеримент којим је валидност мерења проверена. Представљена је притом генерисана база података СимЕМГ, која је начињена јавно доступном и описана у раду у научном часопису. Описане су примене базе у тестирању алгоритама за уклањање ЕМГ шума из ЕКГ сигнала.

Поглавље 3: Поглавље представља проблем уклањања ЕМГ шума из ЕКГ сигнала који је закомпликован значајним преклапањем спектра ЕМГ шума и QRS комплекса. Предложен је нов метод за уклањање шума који се заснива на привременом уклањању доминантних делова, Р и Т таласа и QRS комплекса, као и промена основне линије ЕКГ сигнала, ради ефикаснијег филтрирања шума у наредном кораку. У последњем кораку ови делови сигнала се суперпонирају са остатком сигнала очишћеним од шума. Метод се може обавити у више итерација, по чему је назван итеративни регенеративни метод. Показано је да он омогућава очување морфологије срчаних откуцаја и има одличне перформансе у великом распону односа сигнал-шум, од 20 dB до 4 dB . Поређењем са постојећим методима, показано је да ИРМ најбоље уклања шум са јако зашумљених сигнала, док је на чистим сигнаlima са slabим шумом мало бољи метод који користи таласиће (енг. *wavelets*). Остали тестирани методи имали су лошије перформансе.

Поглавље 4: Овај део тезе бави се детекцијом срчаних откуцаја у јако зашумљеном ЕКГ сигналу и посебно је релевантан за мерења мобилним ЕКГ уређајима. Предложен је нов метод детекције откуцаја који се заснива на множењу више ЕКГ одвода. Њиме се постиже појачање QRS комплекса у односу на шум, као и знатно слабљење шума присутних само на појединим одводима. Метод је тестиран на стандардним базама са великим бројем аритмичних сигнала и бази података

добитој мобилним ЕКГ мерењем. Перформансе постигнуте на зашумљеним сигнализима премашују перформансе стандардних и широко заступљених метода, као што су Пан-Томпкинсов и Елгенди метод.

Поглавље 5: Приступљено је решавању проблема детекције вентрикуларних екстрасистола мобилним ЕКГ уређајима. Основни проблем који се притом јавља је мали број мерених одвода, од којих се на неке екстрасистоле не пројектују, па се не могу ни детектовати. Предложен је мултиканални приступ који узима у обзир све релевантне пројекције срчаног вектора, као и ново обележје помоћу којег се ВЕС-е могу одвојити од нормалних откуцаја. Ново обележје је интеграл QRS комплекса за чије је израчунавање довољно наћи R тачке. Валидност приступа доказана на примеру детекције која користи три ортогонална или скоро ортогонална ЕКГ одвода. Високе перформансе новог алгоритма постигнуте су на базама снимљеним стандардним и мобилним ЕКГ уређајима. Оне су боље од перформанси алгоритма које користе обележја ЕКГ сигнала, нпр. ширину QRS комплекса, и упоредиве са перформансама алгоритма заснованих на вештачкој интелигенцији (ВИ). С обзиром на једноставност алгоритма предложеног у тези, јасно је да он за разлику од ВИ алгоритма, не захтева велику базу улазних података и знатне рачунарске ресурсе.

Поглавље 6 описује модел дубоког учења за аутоматско разликовање синусног ритма, АФ-а и АФЛ-а. Предложени модел комбинује конволуционе и рекурентне слојеве неуронских мрежа, користећи искључиво низове RR интервала као улазне податке. За обуку и тестирање модела коришћена је приватна база снимака у трајању од 30 секунди, добијених мобилним ЕКГ уређајем. Архитектура и хиперпараметри модела одабрани су применом 10-струке унакрсне валидације. Квалитет модела је процењен на тест сету, користећи метрике тачности, сензитивности и специфичности. Главна предност предложене методе лежи у употреби само RR интервала, што значајно смањује димензионалност улазних података, повећава отпорност на шумове и варијабилност сигнала, уз задржавање високе тачности класификације, која прелази 89%.

Поглавље 7: У последњем поглављу дат је преглед испуњености хипотеза и изложени су кључни резултати и закључци истраживања. Предложени су правци будућих истраживања у области аутоматске анализе ЕКГ сигнала и детекције срчаних аритмија.

### **Остварени резултати и научни допринос дисертације**

Доприноси дисертације су у области биомедицинског инжењерства, мултидисциплинарне области која спаја електроинжењерство са медицином у сврху развоја нових метода дијагнозе и лечења. Основни доприноси тезе су развој и тестирање нових метода за уклањање шума и детекцију аритмија из ЕКГ сигнала. Наводимо их по редоследу њиховог излагања у тези:

- Генерисана је база ЕКГ снимака са и без ЕМГ шума која може да се користи за тестирање и поређење метода за уклањање шума.
- Развијен је нов итеративни регенеративни метод за уклањање ЕМГ шума из ЕКГ сигнала. Метод обезбеђује очување морфологије сигнала, што је од значаја за правилно читање ЕКГ записа током дијагностичког теста.
- Развијен је нов метод за прецизну детекцију срчаних откуцаја QRS комплекса. Коришћењем више одвода, у овом случају три, постигнута је висока тачност детекције у присуству јаких шума.
- Предложен је нов метод за детекцију ВЕС-а. Метод се заснива на прорачуну интеграла QRS комплекса на три одвода. Показано је и да је битно да ови одводи буду ортогонални, тј. да се измери цео срчани вектор, како не би дошло до проблема са детекцијом ВЕС-ова који нису присутни у свим одводима;
- Развијен је метод за раздвајање нормалног срчаног ритма од атријалних аритмија заснован на дубоким неуронским мрежама.

Предложени методи су од посебне важности за мобилна ЕКГ мерења која су подложна шумовима и за која се још увек траже оптималне конфигурације електрода при мерењима и анализи сигнала. Резултати тезе ће допринети ефикаснијем уклањању ЕМГ шума и детекцији честих лечених аритмија, АФ-е и АФЛ-а, као и аритмија типа ектопичних откуцаја које се не лече рутински али чија погрешна детекција може довести до погрешних дијагноза лечених аритмија а често присуство до тежих обољења.

#### **Објављени и саопштени резултати који чине део докторске дисертације.**

Овде дајемо кратак преглед радова који приказују резултате добијене током дисертације по М категоријама:

- 3 рада у часопису категорије М22 (на 2 први аутор, на 1 коаутор)
- 1 рад у часопису категорије М23 (коаутор)
- 1 рад у часопису без категорије (коаутор)
- 6 саопштења са међународних конференција штампаних у целини М33 (на 2 први аутор, на 4 коаутор)
- 8 саопштења са међународних конференција штампаних у изводу М34 (на 3 први аутор, на 5 коаутор)
- 3 саопштења са домаћих конференција штампаних у изводу М64 (на 2 први аутор, на 1 коаутор)
- 1 међународно признати патенат М91 (коаутор)
- 1 објављен патент М94 (коаутор)

Комисија оцењује да је овим кандидат задовољио критеријуме за докторску тезу дате у Правилнику о докторским студијама на Универзитету у Београду.

Листа публикација дата је у Прилогу 1.



**Закључак са образложењем научног доприноса докторске дисертације**


Резултати истраживања представљени у дисертацији доприносе развоју нових метода за аутоматско праћење кардиоваскуларне функције и детекцију аритмија. Предложени детектори срчаних откуцаја и аритмија постижу одличне перформансе које су упоредиве или боље од конкурентних детектора у присуству шума. Осим алатки, дате су и смернице за поуздано телеметријско праћење аритмија коришћењем више ЕКГ одвода. Доприноси тезе који се односе на уклањање ЕМГ шума битни су и за правилно праћење кардиоваскуларног стања код људи са израженим тремором и мерењима мобилним уређајима који се држе прстима.

На основу свега изнетог у овом извештају закључујемо да докторска дисертација Владимира Атанасоског даје значајан допринос развоју и примени обраде ЕКГ сигнала и аутоматских дијагностичких процедура, са посебним акцентом на мобилне ЕКГ уређаје. Такође, теза даје јасне смернице за њихово даље техничко усавршавање. Резултати дисертације публиковани у релевантним часописима JCR листе високог квалитета чиме су испуњени услови задати Правилником о докторским студијама на Универзитету у Београду.

На основу квалитета докторске дисертације, доприноса и резултата кандидата закључујемо да он испуњава услове за стицање звања доктора наука.

У Београду, 04.07.2025. год.

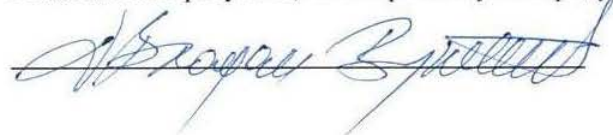
Др. Милица Јанковић, ванредни професор  
Ектротехнички факултет, Универзитет у Београду

  
\_\_\_\_\_

Др. Јована Петровић, научни саветник,  
ИНН „Винча“, Институт од националног значаја за Републику Србију,  
Универзитет у Београду,

  
\_\_\_\_\_

Др. Владан Вукчевић, професор  
Медицински факултет, Универзитет у Београду

  
\_\_\_\_\_

## Прилог 1

### 1. Библиографија кандидата (категорисано према категоризацији надлежног Министарства)

M22:

1. V. Atanasoski, J. Petrović, L. Popović Maneski, M. Miletić, M. Babić, A. Nikolić, D. Panescu, and M. D. Ivanović, "A morphology-preserving algorithm for denoising of EMG-contaminated ECG signals," *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, vol. 5, pp. 296–305, 2024.
2. M. N. Miletić, V. A. Atanasoski, P. P. Beličev, G. M. Gligorić, U. M. Ralević, J. B. Kršić, A. D. Obradović, A. Lazović, D. B. Stojanović, J. Petrović, R. Babić, D. Vukajlović, L. R. Hadžievski, B. P. Bojović, D. Panescu, and B. Vajdić, "Accurate reconstruction of the 12-lead electrocardiogram from a 3-lead electrocardiogram measured by a mobile device," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 79765–79775, 2024.
3. V. Atanasoski, J. Petrovic, L. Popović Maneski, M. Miletić, M. Babić, A. Nikolić, D. Panescu, and M. D. Ivanović, "A database of simultaneously recorded ECG signals with and without EMG noise," *IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology*, vol. 4, pp. 222–225, 2023.

M23:

4. L. Popović-Maneski, M. D. Ivanović, V. Atanasoski, M. Miletić, S. Zdolšek, B. Bojović, and L. Hadžievski, "Properties of different types of dry electrodes for wearable smart monitoring devices," *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik*, vol. 65, no. 4, pp. 405–415, 2020.

M (No impact):

5. A. Shvilkin, D. Vukajlović, B. P. Bojović, Lj. R. Hadžievski, B. Vajdic, V. A. Atanasoski, M. N. Miletić, P. J. Zimetbaum, C. M. Gibson, and V. Vukčević, "Coronary artery occlusion detection using 3-lead ECG system suitable for credit card-size personal device integration," *JACC: Advances*, vol. 2, no. 6, Aug. 2023, Art. no. 100454, doi: 10.1016/j.jacadv.2023.100454.

M33:

6. V. Atanasoski, M. Ivanović, L. Popović Maneski, M. Miletić, M. Babić, A. Nikolić, and J. Petrović, "SimEMG database as a tool for testing the preservation of diagnostic ECG-signal features upon the electromyographic noise removal," in

*Proc. 11th Int. Conf. Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)*, Niš, Serbia, 2024.

7. J. Petrović, M. D. Ivanović, V. Atanasoski, A. Lazović, M. Tiosavljević, P. Tadić, L. Hadžievski, A. Ristić, and V. Vukčević, "Validation of heart rate estimation from photoplethysmograph and accelerometer recordings during post-exercise relaxation," in *Proc. 11th Int. Conf. Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)*, Niš, Serbia, 2024, pp. 1–5.
8. A. Lazović, N. Đorđević, P. Tadić, M. Ivanović, V. Atanasoski, M. Miletić, Lj. Hadžievski, A. Ristić, V. Vukčević, and J. Petrović, "Multiparameter monitoring of cardiovascular function," in *Proc. 2nd Int. Conf. Chemo and Bioinformatics*, Kragujevac, Serbia, Sep. 2023.
9. M. Miletić, V. Atanasoski, J. Kršić, A. Lazović, and L. Popović-Maneski, "Validation of the new wearable instrument for the pendulum test based on inertial sensors," in *Proc. 7th Int. Conf. Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)*, Belgrade, Serbia, 2020, pp. 25–25.
10. M. D. Ivanović, V. Atanasoski, A. Shvilkin, Lj. Hadžievski, and A. Maluckov, "Deep learning approach for highly specific atrial fibrillation and flutter detection based on RR intervals," in *Proc. 41st Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBC)*, Berlin, Germany, 2019, pp. 1780–1783, doi: 10.1109/EMBC.2019.8856806.
11. V. Atanasoski, M. D. Ivanović, M. Marinković, G. Gligorić, B. Bojović, A. V. Shvilkin, and J. Petrović, "Unsupervised classification of premature ventricular contractions based on RR interval and heartbeat morphology," in *Proc. 14th Symp. Neural Networks and Applications (NEUREL)*, 2018, pp. 1–6.

M34:

12. V. Atanasoski, M. Ivanović, L. P. Maneski, M. Miletić, M. Babić, A. Nikolić, and J. Petrović, "Estimation of EMG noise spectrum and its elimination from ECG signals," in *Proc. Comput. Cardiol.*, Karlsruhe, Germany, Sept. 2024.
13. V. Atanasoski, M. Ivanović, L. P. Maneski, M. Miletić, M. Babić, A. Nikolić, and J. Petrović, "A database of simultaneously recorded ECG signals with and without electromyographic noise," in *Proc. Comput. Cardiol.*, Karlsruhe, Germany, Sept. 2024.
14. T. Deering, D. Vukajlović, M. Babić, B. Đurđević, V. Atanasoski, M. Miletić, S. Mittal, and P. Sanders, "An innovative, non-invasive, credit-card sized device for



ambulatory 12-lead ECG recording: First-in-human experience compared to standard 12-lead ECG,” *Circulation*, vol. 150, no. Suppl\_1, 2024.

15. A. Shvilkin, N. Zlatić, V. Atanasoski, S. G. Zdolšek, L. P. Maneski, M. Miletić, and V. Vukčević, “A personal risk assessment device in patients with chest pain,” *Circulation*, vol. 150, no. Suppl\_1, 2024.
16. M. Miletić, V. Atanasoski, G. Gligorić, M. Ivanović, P. P. Beličev, B. Bojović, B. Vajdić, Lj. Hadžievski, and D. Panescu, “EDMAID: Increased heart attack diagnostic accuracy for emergency departments,” in *Proc. 43rd Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. (EMBC)*, 2021, manuscript no. 2325.
17. M. Miletić, J. Kršić, V. Atanasoski, M. Ivanović, and B. Bojović, “Long-period grating sensors for the measurement of apexcardiogram,” in *Proc. PHOTONICA 2019: 7th Int. School and Conf. on Photonics & Machine Learning with Photonics Symp.: Book of Abstracts*, 2019, pp. 131–131.
18. J. Kršić, M. Miletić, V. Atanasoski, Lj. Hadžievski, and M. Ivanović, “Optical fiber grating sensors for the measurement of superficial temporal artery pulsations,” in *Proc. PHOTONICA 2019: 7th Int. School and Conf. on Photonics & Machine Learning with Photonics Symp.: Book of Abstracts*, 2019, pp. 121–121.
19. V. Atanasoski, M. Ivanović, N. Stojanović, Lj. Hadžievski, and J. Petrović, “Fetal actometer based on optical fibre gratings,” in *Proc. VI Int. School and Conf. on Photonics*, 2017, p. 121.

M64:

20. V. Atanasoski, M. Ivanović, A. Maluckov, and Lj. Hadžievski, “Heart rate estimation from PPG signals at large proximal arteries,” in *Proc. 18th Photonics Workshop*, Kopaonik, Serbia, Mar. 16–20, 2025, p. 16.
21. J. Petrović, A. Lazović, P. Tadić, N. Đorđević, V. Atanasoski, M. D. Ivanović, B. Bojović, Lj. Hadžievski, A. Ristić, and V. Vukčević, “Role of optics in multiparameter monitoring of cardiovascular function,” in *Proc. 17th Photonics Workshop*, 2024, p. 25.
22. V. Atanasoski, A. Lazović, M. Ivanović, Lj. Hadžievski, B. Bojović, and J. Petrović, “Autocorrelation for denoising biomedical signals,” in *Proc. 16th Photonics Workshop*, 2023, p. 25.

M91:

1. P. Belicev, B. Bojovic, Lj. Hadzievski, B. Vajdic, V. Atanasoski, G. Gligoric, and M. Miletić, *Method and apparatus for reconstructing electrocardiogram (ECG) data*, U.S. Patent 11,445,963 B1, Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://patentcenter.uspto.gov/applications/17494806>

M94:

2. V. Atanasoski, M. Subašić, P. Beličev, and M. Miletić, *Prenosni uređaj sa integrisanim elektrodama za snimanje, obradu i prenos abdominalnog EKG-a sa tri odvoda*, Serbian Patent Application No. P-2023-0407, The Intellectual Property Office of the Republic of Serbia, 2023