

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ПОЉОПРИВРЕДНОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Београд-Земун
Датум: 30.04.2024.

Предмет: Извештај Комисије за оцену докторске дисертације Ненада Стојиљковића, мастер инжењера пољопривреде

Одлуком Наставно-научног већа Пољопривредног факултета Универзитета у Београду број 32/27-5.1. од 24.04.2024. године, именована је Комисија за оцену докторске дисертације Ненада Стојиљковића, мастер инжењера пољопривреде, под насловом: **"Примена модела случајне регресије за квантитативно-генетску анализу броја живорођене прасади у леглу крмача"**. На основу прегледа и анализе докторске дисертације Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ И ДИСЕРТАЦИЈИ

Основни подаци о кандидату. Мастер инжењер пољопривреде Ненад Стојиљковић рођен је 09. 03. 1991. године у Смедеревској Паланци, Република Србија. Основне академске студије завршио је 2016. године на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, студијски програм Зоотехника, стекавши звање дипломирани инжењер пољопривреде. Диплому и звање мастер инжењера пољопривреде стекао је 2017. године на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду. Уписао је докторске академске студије на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду 2017. године, смер Пољопривредне науке, модул Зоотехника.

У периоду од 2016. до 2017. године радио је у једном привредном друштву у области сточарства. Од 2017. године ради на Институту за сточарство у Београду, на Одељењу за истраживања и развој у свињарству (истраживач-сарадник од 2021. године). У току свог досадашњег рада мастер инж. Ненад Стојиљковић био је укључен у истраживачке и стручне послове и задатке на којима је Одељење за истраживање у свињарству и развој било ангажовано. Као аутор и коаутор објавио је више од 30 научних радова публикованих у домаћим и међународним часописима.

Од 01.04.2021. до 30.04.2021. године, као стипендиста у оквиру „СЕЕРУС“ програма мобилности студената, похађао је курс из области селекције домаћих и гајених животиња на Агрономском факултету у Загребу. Током курса је овладао методама процене херитабилитета, генетских корелација и приплодне вредности домаћих животиња. Као истраживач учествовао је у реализацији два домаћа пројекта и једног међународног пројекта.

Основни подаци о дисертацији. Докторска дисертација Ненада Стојиљковића, мастер инжењера пољопривреде, под насловом **"Примена модела случајне регресије за квантитативно-генетску анализу броја живорођене прасади у леглу крмача"**, написана је у складу са Упуством за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду, као и у складу са пријавом теме која је одобрена од стране Наставно-научног већа Пољопривредног факултета Универзитета у Београду и Већа научних области биотехничких наука Универзитета у Београду. Докторска дисертација садржи: насловне странице на српском и енглеском језику; страницу где су наведени ментор и

чланови Комисије; страницу са изјавама захвалности; резиме на српском и енглеском језику са кључним речима, научном облашћу, ужом научном облашћу и УДК бројем; садржај; текст дисертације организован по поглављима; литературу; прилоге; биографију; изјаву о ауторству; изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу. Дисертација је написана на 96 страница текста (са нумерацијом) и садржи 25 табела, 11 графикана, 22 табеларна прилога и укупно је цитирано 135 литературних извора. Докторска дисертација садржи 7 основних поглавља, и то: Увод (стр. 1-3), Преглед литаратуре (стр. 4-23), Материјал и метод рада (стр. 24-37), Резултати и дискусија (стр. 38-69), Закључак (стр. 70-74), Литература (стр. 75-82), Прилози (стр. 83-91). На крају текста дисертације налазе се Биографија аутора (стр. 92), Изјава о ауторству (стр. 93), Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације (стр. 94) и Изјава о коришћењу (стр. 95-96).

2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Сектор свињарске производње представља једну од најважнијих грана у сточарству због производње велике количине меса за људску исхрану и потенцијално велике економске добити која се може остварити при производњи свињског меса. У индустрији производње свињског меса особине од највећег значаја за рентабилност и економску исплативост се могу поделити на особине пораста и квалитета меса и особине плодности. Генетско унапређење особина пораста и квалитета меса се постиже релативно брзо због средње до високе наследности ових особина. Супротно томе, особине плодности крмача имају низак коефицијент наследности који успорава њихово брзо побољшање применом селекције. Ипак, укључивање особина плодности у селекцијске програме значајно доприноси повећању економске исплативости производње свињског меса.

Због наведених разлога селекција свиња на економски значајне особине представља један од највећих изазова у свињарској производњи. Основни предуслов за успешно спровођење селекције свиња је што тачнија процена генетског потенцијала, односно приплодне вредности животиња. Тачност процене приплодне вредности зависи, поред осталог, од тачности процене генетских и фенотипских параметара (варијабилности) особина на основу којих се спроводи селекција. Са друге стране ефекти селекције су директно пропорционални тачности процене приплодне вредности животиња, што наглашава значај тачности процене генетске и фенотипске варијабилности (варијанси и коваријанси) економски значајних особина свиња. Плодност свиња је једна од карактеристика ове врсте домаћих животиња која је чини супериорним произвођачем меса за људску исхрану из групе топлокрвних сисара. Она се прати преко великог броја репродуктивних особина, од којих се број живорођене прасади у леглу (БЖП) издваја као најзначајнији показатељ. Погодност ове особине као репрезентативног показатеља плодности свиња, првенствено у селекцијске сврхе, произилази из чињенице да је она у јакој позитивној генетској корелацији са осталим особинама величине легла (број мртворођене, укупнорођене и одгајене прасади), под директним је утицајем особина које дефинишу трајање репродукционог циклуса (лактација, период залучење-оплодња) и директно утиче на годишњу продуктивност крмача. Ову особину је лако мерити пребројавањем прасади у леглу по завршетку прашења, растеређена је и потенцијалних дилема у погледу третмана и дефиниције обележја у поређењу са осталим особинама величине легла при прашењу (број мртворођене и укупнорођене прасади), а растеређена је и проблема у вези са мешањем прасади у леглу која воде порекло од различитих крмача (поступак егакизације легала),

што све доприноси тачном и објективном утврђивању фенотипске вредности ове особине.

Уважавајући значај генетског унапређења популација домаћих животиња применом селекције на основу процењене приплодне вредности, основни циљ истраживања ове дисертације био је утврђивање могућности повећања тачности процене генетских и фенотипских (ко)варијанси за број живорођене прасади у леглу крмача применом модела случајне регресије у ову сврху. Са обзиром на потенцијалне предности овог методског поступка утврдило се у којој мери боља прилагођеност коваријансних функција у овом моделу може да допринесе повећању тачности процене приплодне вредности и каснијим ефектима селекције на ову особину. Реализација овог циља обухватила је и анализу ефикасности савременијег приступа у дефинисању и карактеризацији генетских и фактора околине у погледу утврђивања њиховог утицаја на варијабилност посматране особине, као и њиховог појединачног удела у укупној варијабилности исте. У циљу поређења ефикасности примене модела случајне регресије у квантитативно-генетској анализи лонгитудиналних података, у које се број живорођене прасади у узастопним прашењима убраја, овај тип анализе спроведен је и применом модела поновљивости и вишеособинског модела. Један од циљева ове дисертације био је утврђивање коефицијената наследности (херитабилитета) за број живорођене прасади у леглу, на основу параметара утврђених применом поменутих методских поступака.

3. ОСНОВНЕ ХИПОТЕЗЕ ОД КОЈИХ СЕ ПОЛАЗИЛО У ИСТРАЖИВАЊУ

Основне хипотезе од којих се полазило у оквиру ове докторске дисертације биле су следеће:

- Све испитиване особине статистички значајно варирају под утицајем негенетских и генетских фактора.
- Особине величине легла спадају у групу ниско наследних особина.
- Тачност процене фенотипских и генетских параметара за број живорођене прасади зависи од примењеног модела (модел поновљивости, вишеособински модел, модел случајне регресије) и обима података укључених у анализу, као и постојања генетских веза између анализираних популација (*метода проток гена између фарми* и *степен повезаности између фарми*).
- Квантитативно-генетска анализа броја живорођене прасади у леглу крмача (особина које се у току продуктивног живота плоткиње по одређеној закономерности мењају у узастопним прашењима) извршена уз примену модела случајне регресије даје тачнију оцену фенотипских и генотипских (ко)варијанси у поређењу са резултатима добијеним применом модела поновљивости и вишеособинског модела, због боље прилагођености лонгитудиналним подацима.

4. КРАТАК ОПИС САДРЖАЈА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Увод. У оквиру овог поглавља докторанд указује на значај свињарске производње у оквиру сточарства. Наводе се предности ове гране сточарства у погледу потенцијала за производњу меса за људску исхрану као и могућности за остваривање више економске добити при њеној реализацији. Посебан осврт је стављен на различите групе економски важних особина свиња од којих зависи успех производње у свињарству са нагласком на особине плодности. Истакнут је значај утицаја

репродукционог потенцијала свиња на укупан производни резултат у производњи свињског меса као и значај спровођења селекције у правцу његовог генетског унапређења. Указује се на објективне и субјективне потешкоће које се јављају у погледу успешности селекције у правцу повећања плодности популација свиња које се гаје код нас, али се наводе и разлози због којих није оправдано запостављање ових особина у оквиру селекцијских програма.

Докторанд наводи да је упркос бројним потешкоћама успешна селекција у правцу повећања плодности свиња остварива и наводи могућности за то. У том смислу истиче се значај тачности процене генетског потенцијала свиња, односно њихове приплодне вредности. Важан предуслов за то је избор особине која ће бити веродостојан репрезент плодности свиња у оквиру селекцијског програма. Даље се наводе разлози због којих је број живорођене прасади најоптималнији избор у том смислу. Са обзиром на чињеницу да особине плодности, самим тим и број живорођене прасади у леглу, спадају у групу нисконаследних особина, што знатно отежава и успорава њихово генетско унапређење путем селекције, наводе се математичко-статистичке методе и модели који омогућавају тачнију процену генетских и фенотипских (ко)варијанси што омогућава тачнију процену приплодне вредности и постизање већих ефеката селекције.

Из претходно наведеног произилазе и предмет и циљеви истраживања ове дисертације који се наводе у последњем делу овог поглавља, а што је већ образложено у поглављу 2. *Предмет и циљ дисертације* овог извештаја.

Преглед литературе. Досадашњи резултати истраживања из области које су у уској и директној вези са предметом дисертације приказани су у оквиру овог поглавља груписани у шест потпоглавља. У оквиру првог потпоглавља - *Селекција на величину легла крмача* приказани су литературни извори у којима је детаљно образложена проблематика селекције свиња у правцу повећања плодности, могућности и стратегије за превазилажење потешкоћа у остваривању позитивног успеха на овом пољу као и постигнути резултати у различитим одгајивачким условима. Друго потпоглавље - *Систематски и случајни утицаји на варијабилност величине легла крмача* посвећено је познатим утицајима на варијабилност БЖП који су били обухваћени при квантитативно-генетској анализи ове особине у приказаним радовима. Са обзиром на разлике у карактеристикама и начинима испољавања утицаја на варирање особине која је у фокусу истраживања ове дисертације, они су подељени и посебно приказани у два потпоглавља (*Систематски утицаји* и *Случајни утицаји*) у оквиру којих су засебно приказани резултати других аутора за сваки детерминисани утицај појединачно у форми потпоглавља. Од систематских обрађени су утицај генотипа, сезоне, старости при прашењу, паритета, оца легла, трајања лактације и трајања периода залучење-оплодња. Референце у којима су приказани случајни утицаји на варирање БЖП груписане су у потпоглавља утицај легла у коме је животиња рођена, утицај перманентне околине плоткиње и директан адитивни генетски утицај животиње. За сваки случајни утицај су табеларно приказани резултати других аутора до којих су дошли у својим истраживањима у погледу утврђеног удела у укупној варијабилности БЖП. Преглед статистичких процедура и модела унутар њих који се примењују за процену генетских параметара особина величине легла приказан је у трећем подпоглављу - *Статистички модели за процену генетских параметара особина величине легла крмача*. Овде су у три потпоглавља посебно приказани модел поновљивости (Repeatability Model - RM), вишеособински модел (Multitrait Model - MM) и модел случајне регресије (Random Regression Model - RRM). Истакнуте су теоретске и практичне разлике између модела, неопходни предуслови за њихову примену као и предности и недостаци сваког од њих. Посебно су истакнуте потенцијалне предности

примене RRM за анализу особина које се више пута понављају у току производног века животиња, тзв. лонгитудиналних података, где спада и БЖП која је предмет ове дисертације. Табеларно је приказана структура модела примењиваних у истраживањима других аутора у којима је извршена квантитативно-генетска анализа особина величине легла свиња. У четвртом потпоглављу - *Повезаност особина величине легла* приказан је преглед радова у којима су анализирани фенотипске и генетске корелације особина плодности свиња које су у фокусу ове дисертације. Докторанд истиче значај познавања вредности ових параметара од чега у великој мери зависи приступ и третман појединих особина величине легла, што пресудно може утицати, првенствено, на избор метода и модела за утврђивање компоненти (ко)варијансе и тачност оцењених параметара, а потом на тачност процене приплодне вредности и ефекте селекције. У оквиру петог потпоглавља - *Проток гена (Gene Flow) и степен повезаности између фарми (Connectedness rating)* указује се на значај генетске повезаности између животиња на различитим фармама као предуслова за објективно поређење процењених приплодних вредности животиња и самим тим успешно спровођење селекције. Приказане су две методе које се примењују за утврђивање постојања генетске везе између животиња са различитих фарми у циљу смањења пристрасности при процени генетског потенцијала животиња, која значајно може да умањи ефекте селекције. На крају овог поглавља, у шестом потпоглављу - *Поузданост процене приплодне вредности* - представљен је поступак за оцену тачности процене приплодне вредности применом методологије мешовитих модела. Истакнут је значај познавања овог параметра као и чиниоци од којих он зависи, са посебним нагласком на располагање са подацима о пореклу животиња, њиховим обимом и дубином, као и обимом података о фенотипским мерењима на животињама и генетској вези између животиња, уколико се врши процена приплодне вредности животиња са различитих фарми.

Материјал и метод рада. Ово поглавље дисертације је приказано кроз пет потпоглавља, и то: структура података на анализираним фармама, коришћени модели за анализу података применом различитих методских поступака, проток гена (Gene Flow), степен повезаности између фарми (Connectedness rating) и поузданост процене приплодне вредности.

У првом потпоглављу детаљно је приказана структура сетова података који су били предмет анализе у овом истраживању. Подаци о плодности и пореклу крмача прикупљени су на три комерцијалне фарме свиња компаније Делта Аграр, које су изабране јер постоји генетска веза између животиња које се гаје на различитим фармама. Подаци о плодности крмача у периоду од 13 година (2008-2020) су обухватили укупно 58043 легла које су опрасиле 18962 крмаче. Анализирани су репродуктивне особине четири најчешћа генотипа плодних меснатих раса свиња на фармама у Републици Србији: ландрас (Л), велики јоркшир (ВЈ), као и реципрочни мелези F1 генерације између наведених раса Л^xВЈ и ВЈ^xЛ. Формирана су четири сета података која су коришћена за анализу. Први сет података садржао је податке о прашењима са фарме Петровић салаш означене у овом истраживању словом А, други сет података означен словом Б је садржао податке о прашењима са фарме Рупов салаш, трећи сет означен је словом Ц и односи се на фарму Владимировац, док је четврти сет АБЦ садржао обједињене податке о прашењима са све три наведене фарме. Број крмача обухваћених овим истраживањем по фармама кретао се од 3160 (фарма Б) до 10192 (фарма А), самим тим је на ове две фарме опрашен најмањи број легала - 7823 (фарма Б), затим и највећи број легала - 36200 (фарма А). Након обједињавања све три фарме у један сет података (АБЦ) истовремено је анализирано укупно 58043 легала,

које су опрасиле 18962 плоткиње. Дескриптивна статистика је израчуната помоћу програмског пакета "SAS".

Ради прецизнијег утврђивања компоненти варијансе неопходно је било креирати сетове података о пореклу животиња, тзв. педигре фајлове, који су обухватили најмање три генерације предака. Педигре фајл 1 (ПЕД1) садржао је 15478 индивидуа, педигре фајл 2 (ПЕД2) 4886 индивидуа, педигре фајл 3 (ПЕД3) 10879 индивидуа, а након обједињавања све три фарме у један сет података педигре фајл (ПЕД4) је садржао укупно 23543 индивидуа.

У циљу детерминисања значајности систематских утицаја на зависно променљиву, обрада података обављена је употребом *GLM* процедуре програмског пакета "SAS". Избор систематских утицаја који су укључени у моделе за процену генетских параметара урађен је по процедури „корак по корак“ према критеријуму статистичке значајности испољених утицаја. Применом овог методског поступка се бирају фиксни и регресијски утицаји, који ће бити део мешовитог модела за процену генетских параметара.

Друго потпоглавље послужило је за приказ метода и модела унутар њих, које су примењене за квантитативно-генетску анализу БЖП у овом истраживању. Ово потпоглавље је подељено у три подналова према називима коришћених метода. У сваком од њих приказани су теоретски аспекти метода и структура оптималних модела примењених за анализу. У модел поновљивости (RM), где је особина БЖП третирана као особина која се понавља више пута у току продуктивног века грла, били су укључени следећи систематски утицаји: сезона успешног припуста приказана као комбинација године и месеца, генотип грла, фарма (само при анализи обједињеног сета података), отац легла, паритет, класа трајања претходног периода залучење-оплодња, квадратни регресијски утицај старости крмаче при прашењу угнежђен у оквиру прашења по реду и линеарни утицај трајања претходне лактације. Случајни утицаји били су: заједничка околина легла у коме су крмаче рођене/одгајане, перманентна околина у леглима крмаче и директан адитивни генетски утицај животиње. Када је особина БЖП имала третман засебних особина у узастопним паритетима за квантитативно-генетску анализу примењен је вишеособински модел (MM). За ову анализу коришћена су три модела. Првим су анализирани резултати плодности остварени у првом прашењу и он се у односу на RM разликовао утолико што у модел нису били укључени систематски утицаји паритета, класе трајања претходног периода залучење-оплодња и линеарни утицај трајања претходне лактације јер они не могу да утичу на варијабилност величине легла првопраскиња. Ови утицаји (осим паритета) су били укључени у други модел који је коришћен за анализу величине легла у каснијим прашењима. Случајне утицаје у претходна два модела представљали су утицај легла и адитивни генетски. Трећи модел је коришћен у случају када су прво и друго прашење посматрани посебно, а треће и остала прашења била обједињена као једна класа (особина). Овај модел се разликовао у односу на други по томе што је случајним утицајима био придружен и перманентни утицај крмаче.

За моделирање производне криве за сваки паритет појединачно, уз уважавање временске компоненте, примењен је случајно регресијски модел (RRM). Овај модел користи ортогоналне полиноме за описивање особина у функцији старости (сваки паритет као посебна особина). Доступно је неколико врста ортогоналних полинома, али се најчешће употребљавају Лежандрови, јер се њиховом употребом смањује корелација између процењених коефицијената коваријансе. Фиксни утицаји коришћени у RRM моделу за БЖП били су исти као код модела поновљивости (RM). Директан адитивни генетски утицај животиње, утицај перманентне околине у леглима крмаче и утицај заједничке околине у леглу у коме су крмаче рођене коришћени су као

случајна регресија на паритет, применом одговарајућих Лежандрових полинома. Коришћени су Лежандрови полиноми са два члана до полинома са четири члана.

За оцену генетских и фенотипских (ко)варијанси посматране особине применом оптималних модела RM и MM, због структуре података, коришћен је метод ограничене највеће вероватноће (Restricted Maximum Likelihood Method - REML) применом програмског пакета "VCE-6", док је припрема података за анализу у претходно наведеном софтверу, која је подразумевала тзв. кодирање података, спроведена уз помоћ програмског пакета "PEST". Исти програмски пакети су коришћени и при квантитативно-генетској анализи БЖП применом RRM, са тим што су процедуре SAS/IML и SAS/GRAPH из програмског пакета "SAS" коришћене за приказ резултата добијених из програмског пакета "VCE-6".

У трећем потпоглављу приказана је теоретска поставка методе проток гена и наведени су програмски пакети коришћени за израчунавање (R-Studio, Pedigreem, Pedigree, MatrixModels). На сличан начин у четвртном потпоглављу представљен је поступак и ресурси за примену методског поступка којим је утврђен степен повезаности између фарми (Connectedness rating). Пето потпоглавље је искоришћено за приказ теоретске основе за израчунавање поузданости процене приплодне вредности, као и за приказ поступка самог утврђивања вредности овог параметра. За израчунавање варијансе грешке предвиђања (Prediction Error Variance - PEV) неопходне за утврђивање поузданости процене приплодне вредности, као и за њену процену, коришћен је програмског пакета "PEST".

Резултати и дискусија. Резултати рада и дискусија приказани су у пет потпоглавља систематизованих према сегментима анализе и примењеним методским поступцима. Табеларни и графички прикази резултата су прегледни и на одговарајући начин допуњују текстуална тумачења, која су јасна и концизна.

У првом потпоглављу приказани су резултати који се односе на фенотипску варијабилност броја живорођене прасади у леглу (БЖП) утврђену у анализираним сетовима података. Засебно су анализирани систематски утицаји на варирање БЖП, тако да је ово потпоглавље подељено у шест подцелина. Број живорођене прасади на фарми А просечно је износио 16,18, на фарми Б 14,01 и на фарми Ц 16,88. Популациони просечни БЖП на све три анализирани фарме износио је 16,06. Утицај генотипа плоткиње статистички је високо значајно ($p < 0,001$) допринео варирању БЖП. Интервал варирања између генотипова износио је од 12,74 до 17,38. Утицај сезоне на варијабилност БЖП, анализиран као интеракција месец-година успешног припуста, био је статистички високо значајан ($p < 0,001$). Величина легла се значајно повећавала до трећег паритета, када је забележена и највећа величина легла, изузев на фарми А, где је у четвртном паритету био највећи просечан БЖП. Након трећег паритета, достигнута величина легла се задржала на истом нивоу до петог, и у следећим паритетима се постепено смањивала. Највећи просечан БЖП по прашењима је забележен на фарми Ц (18,1 у четвртном прашењу). Квадратни регресијски утицај старости при прашењу угнежђен у оквиру паритета је статистички високо значајно утицао ($p < 0,001$) на број живорођене прасади при анализи података са фарми А, Ц, и АБЦ, док при анализи података са фарме Б није испољио статистички значајан утицај. Утицај оца легла на фенотипску варијабилност БЖП посматран је у моделима за процену генетских параметара као фиксни ефекат и показао је статистички високо значајан утицај ($p < 0,001$) када су анализирани подаци са фарме Б, Ц и АБЦ, док је код анализе података са фарме А статистички веома значајно ($p < 0,01$) утицао на варијабилност ове особине. Разлика између највеће и најмање забележене вредности за просечан БЖП по оцу легла била је 13,5 и са обзиром на велики број легала по оцу, ове разлике нису случајне и могу се користити за елиминисање нерастова из репродукције чија легла просечно имају мали БЖП. Утицај дужине трајања лактације која је претходила прашењу на варијабилност БЖП је испољио

статистички високо значајан утицај ($p < 0,001$). Линеарни регресиони коефицијенти за утицај трајања лактације која је претходила прашењу на све три анализирани фарме износили су око 0,04. Највећи просечан БЖП у анализираној популацији по класама трајања периода залучење-оплодња које је претходило прашењу су оствариле крмаче које су успешно осемењене у првих 3 дана након прашења (17,87), док је најмањи просечан БЖП забележен код крмача које су осемењене шестог дана након оплодње (15,78). Овај утицај је статистички високо значајно утицао на варијабилност БЖП.

Дуго потпоглавље послужило је за приказ генотипске варијабилности посматране особине. Она је испитивана применом различитих метода и модела тако да су резултати приказани у три одвојене целине, а на крају потпоглавља приказани су и резултати анализе повезаности БЖП у узастопним прашењима када је ова особина посматрана као засебна особина. Вредности коефицијената наследности за БЖП утврђене моделом поновљивости кретале су се од 0,047 на фарми Б до 0,105 на фарми А. Удео случајног утицаја легла у укупној варијабилности БЖП кретао се од 0,9% до 2,6%, док је удео перманентног утицаја плоткиње износио од 3,7% до 8,4%.

При третману БЖП у узастопним прашењима као засебних особина, за анализу је коришћен вишесобински модел. Вредности коефицијената наследности повећавале су се по паритетима, изузев последњег где је долазило до благог смањења вредности. Највеће разлике између херитабилитета по паритетима за првих 6 прашења при анализи података у свим сетовима података уочљиве су између првог и осталих прашења. Најниже вредности коефицијента наследности (10,33%) забележене су за први паритет на фарми А, док су на овој фарми за паритет 4 добијене и највише вредности овог параметра (22,3%). Ниже вредности коефицијента наследности добијене су на фарми Б, у односу на фарме А и Ц, као и када су обједињене све три фарме у један сет података.

У случајни део модела случајне регресије укључени су перманентни утицај плоткиње, затим, случајни утицај легла и адитивни генетски утицај. Случајни утицаји у овом типу моделу постављени су као случајне регресије на Лежандрове полиноми различитог реда од линеарног (LG1), преко квадратног (LG2) до кубног реда (LG3). Ортогонални Лежандрови полиноми различитог степена су постављени као коваријабле случајних регресија за моделирање фенотипске путање (крива паритета за БЖП) и одступање адитивног и других случајних утицаја од ове путање. Улога вредности сваког члана (енгл. *Eigenvalues*) је да покажу и одреде важност сваког реда укључених Лежандрових полинома при анализи генетске варијабилности особине БЖП у леглу крмача. Према *Eigenvalues* вредностима добијеним у овом истраживању, Лежандрови полиноми другог реда (LG2) су довољни да се објасни генетска варијабилност за анализирану особину БЖП током времена. Само мали додати проценат варијабилности објашњен је вишим члановима полиномима трећег реда (LG3) на свим анализираним фармама. На сету података о резултатима плодности оствареним на фарми А, нулти члан полинома је објаснио 93,46% варијабилности са Лежандровим полиномом првог реда (LG1), а 94,19% варијабилности са полиномом другог реда (LG2). Употреба полинома трећег реда (LG3) оправдана је само код анализе обједињених података са све три фарме истовремено, јер само при анализи овог сета података случајно регресијским моделом дошло је до повећања процента објашњења нултим чланом полинома трећег реда. Најниже вредности коефицијента наследности за особину БЖП забележене су за други паритет на фарми Ц (4,33%), а на фарми Б за први паритет су добијене највише вредности овог параметра (12,6%). У односу на херитабилитете утврђене на основу анализе података са фарме А, ниже вредности коефицијента наследности процењене су на фармама Б и Ц, као и када су обједињене све три фарме у један сет података. Најмање разлике између вредности

херитабилитета по паритетима за посматрану особину биле су између трећег, четвртог и петог паритета на свим анализираним фармама, као што је био случај и код анализе вишеособинским моделом.

Генетске корелације, утврђене вишеособинским моделом, између првог и другог паритета кретале су се од 0,818 до 0,902, док су између каснијих паритета биле потпуне. Ово указује да корелације између паритета у овом истраживању нису потпуне и да је оправдана употреба вишеособинског модела за процену компоненти варијансе за БЖП од првог до шестог паритета. Процењене генетске корелације добијене применом модела случајне регресије иако су биле нешто ниже, имале су сличну тенденцију раста по паритетима као и добијене при употреби вишеособинског модела.

У оквиру трећег потпоглавља приказани су резултати анализе протока гена (енгл. *Gene Flow*) између животиња на анализираним фармама. У анализираном периоду (2008-2020. година) највећи проток гена утврђен је између фарми Б и Ц. Удео гена са фарме Б на фарми Ц износио је 78%. Исто тако, забележен је велики проценат (65%) кретања гена са фарме Б ка фарми А. Ово се објашњава тиме што фарма Б практично представља нуклеус фарму компаније и у свом саставу има центар за вештачко осемењавање са кога се дистрибуира семе нераста ка осталим стадима. Најмањи проценат кретања гена, односно приплодних крмача и нераста је био са фарме Ц ка фармама А и Б (0,20%). Процент гена који потичу са других фарми на фарми Б је био 0,20% са фарме Ц и 10,0% са фарме А. Овако мали проценти кретања гена са фарми А и Ц је последица чињенице да су то фарме комерцијалног типа које преваходно производе високоплодне назимице Ф1 генерације и прасад за тов, а не приплодне животиње.

Коришћење методе Степена повезаности (енгл. *Connectedness rating*) за мерење повезаности између фарми је веома важно за ефикасну процену приплодне вредности када се она спроводи на више фарми истовремено, што је приказано у четвртом потпоглављу. Повезаност између фарми (А, Б и Ц) била је висока (0,976-1,000) што у потпуности омогућава генетску евалуацију и поређење животиња са свих фарми укључених у анализу, са високом поузданошћу.

У петом потпоглављу приказани су резултати анализе поузданости процене приплодне вредности. Најмања просечна поузданост процењених приплодних вредности била је на фарми Б, просечно 0,710. На анализираним фармама поузданост се кретала у интервалу од 0,710 до 0,822. Фарма А је имала већу просечну поузданост процењене приплодне вредности у односу на фарме Б и Ц. У овом истраживању заједничка евалуација све три фарме истовремено утицала је на повећање поузданости процењене приплодне вредности преко повећаног броја индивидуа у педигреу и записа о фенотиповима. Приликом заједничке евалуације дошло је до повећања просечне поузданости процењене приплодне вредности, која је износила 0,846.

Закључак. Докторанд је сумирајући резултате својих истраживања изнео већи број закључака који у потпуности произилазе из добијених резултата, и приказао их је груписане према сегментима спроведених истраживања.

Утврђено је да је број живорођене прасади (БЖП) на фарми А просечно износио 16,18, на фарми Б 14,01 и на фарми Ц 16,88. Популациони просечни број живорођене прасади на све три анализиране фарме износио је 16,06. Систематским делом модела објашњено је 27% укупне варијабилности за особину БЖП на фарми А, затим 22% на фарми Б, 20% на фарми Ц и 26% при анализи све три фарме заједно. Статистички значајно варирање у вредностима просечног БЖП је уочено између свих генотипова на анализираним фармама. Интервал варирања између генотипова био је од 12,74 до 17,38. Генотипови ВЈ^хЛ и Л^хВЈ имали су већи број живорођене прасади у односу на чисте расе Л и ВЈ, што је и очекивано због испољавања хетерозис ефекта. Просечан

БЖП се повећавао до трећег паритета, док је старост при прашењу унутар сваког паритета варијала. Због широког распона могућих узраста при прашењу у оквиру паритета, оправдано је да се ова два утицаја комбинују и посматрају у моделима као регресијски утицај старости при прашењу угнежђен у оквиру паритета. Квадратни регресијски утицај старости при прашењу угнежђен у оквиру паритета је статистички високо значајно утицао ($p < 0,001$) на број живорођене прасади при анализи фарме А, Ц, и АБЦ, док при анализи фарме Б није испољио статистички значајан утицај. Утицај оца легла на фенотипску варијабилност БЖП био је статистички високо значајан ($p < 0,001$) када су анализирани фарме Б, Ц и АБЦ, док је код анализе фарме А статистички веома значајно ($p < 0,01$) утицао на варијабилност ове особине. Утврђена разлика између највеће и најмање забележене вредности за просечан БЖП по оцу легла била је 13,5. Линеарни регресијски утицај трајања лактације која је претходила прашењу је испољио статистички високо значајан утицај ($p < 0,001$) на варирање БЖП у леглу крмача при анализи свих сетова података. Продужење лактације за 1 дан довело је до повећања од 0,04 живорођене прасади по леглу.

Када је реч о генетској варијабилности БЖП докторанд на основу добијених резултата истраживања изводи већи број закључака. Коефицијент наследности процењен моделом поновљивости на фарми А износио је 10%, 4,7% на фарми Б, фарми Ц 8,1%, док је при анализи све три фарме заједно (АБЦ) био 9,5%. Утицајем перманентне околине плоткиње објашњено је од 3,7 до 8,4% варијабилности у анализираним сетовима података. Удео случајног утицаја легла у укупној варијабилности БЖП кретао се у интервалу од 0,9 до 2,6%. Процењени коефицијенти херитабилитета вишеособинским моделом при анализи првих шест прашења на фарми А кретали су се у интервалу од 10,33 до 21,98%, на фарми Б од 13,72 до 20,85%, фарми Ц од 12,49 до 18,38%, и при анализи све три фарме заједно од 17,23 до 21,61%. Случајним утицајем легла било је објашњено, у зависности од редоследа прашења, од 1,00 до 8,7% варијабилности БЖП. Вредности коефицијената наследности процењене моделом случајне регресије за првих шест прашења су се кретале на фарми А од 7,6 до 11,8%, на фарми Б од 4,5 до 12,6%, на фарми Ц од 4,3 до 12,4% и при анализи све три фарме заједно од 8,9 до 13,4%. Случајним утицајем перманентне околине плоткиње било је објашњено, у зависности од паритета (1-6), од 7,6 до 18,7% варијабилности БЖП. Процењени херитабилитети случајно регресијским моделом за особину БЖП били су нижи у односу на вишеособински модел, али приближнији резултатима добијеним применом модела поновљивости. Највише вредности забележене су при употреби вишеособинског модела, али је укључивањем перманентног утицаја плоткиње у један од коришћених вишеособинских модела дошло до приближавања добијених вредности херитабилитета вредностима добијеним при анализи случајно регресијским моделом. Коефицијенти генетских корелација између БЖП у првих шест прашења, када је ова особина посматрана као посебна кроз паритете, вишеособинским моделом кретали су се у интервалу од 0,491 до 0,996, а фенотипске корелације од 0,105 до 0,235. Процењене генетске корелације случајно регресијским моделом кретале су се од -0,573 до 0,996 за особину БЖП посматрану по прашењима од првог до шестог, док су се фенотипске корелације кретале од -0,032 до 0,256. *Eigenvalues* вредности су показале да нулти члан Лежандрових полинома чини између 74,5 и 94,5% објашњења адитивне генетске варијабилности за БЖП. Ово значи да је од око 5,5 до 25,5% укупне варијабилности објашњено индивидуалном генетском кривом крмаче са Лежандровим полиномима различитог реда. Овај проценат генетске варијабилности би могао бити коришћен за селекцију на основу „криве производње” за особине величине легла. Требало би додатно истражити могућност селекције на „постојаност” величине легла применом случајно регресијског модела, односно да се спроводи селекција на смањење

варијације између паритета крмача (нпр. повећање величине легла у паритетима са мањим БЖП) и да се утиче на смањење опадања величине легла при крају производне криве крмаче.

У анализираном периоду (2008-2020. године) између свих фарми укључених у анализу је било размене генетског приплодног материјала. Највећи проток гена утврђен је између фарми Б и Ц. Удео гена са фарме Б, пронађен на фарми Ц износио је 78%. Исто тако, забележен је велики проценат (65%) кретања гена са фарме Б ка фарми А. Повезаност између фарми (А, Б и Ц), одређена методом *Степен повезаности*, указује на високу повезаност између фарми (0,976-1,000), што омогућава генетску евалуацију свих укључених фарми истовремено са високом поузданошћу. На анализираним фармама поузданост процене приплодне вредности (r^2) се кретала у интервалу од 0,710 до 0,822 за особину БЖП у леглу крмача. Након спајања података са фарми А, Б и Ц у један сет података дошло је до повећања просечне поузданости процене приплодне вредности. Ово указује на то да се заједничком анализом посматраних фарми може повећати поузданост процене приплодне вредности за БЖП, чиме би се постигли већи ефекти селекције.

У форми коначног закључка докторанд наводи да на основу приказаних резултата у овом истраживању утврђено је да се применом *BLUP-AM* методе може проценити приплодна вредност са великом поузданошћу на фармама свиња у Србији. Познато је да ова метода осигурава брз генетски напредак при практичној примени, што показују и резултати овог истраживања. Добијене закључке да је *случајно регресијски модел* прилагођенији и бољи за процену генетских параметара за лонгитудиналне особине величине легла крмача у односу на модел *поновљивости* и *вишеособински модел* треба тестирати на широј популацији крмача у Републици Србији. На овај начин би се додатно испитале предности случајно регресијског модела.

Литература. У дисертацији је на правилан начин цитирано 135 литературних извора, претежно новијег датума, који одговарају проучаваној проблематици.

Прилози. Ово поглавље садржи додатне 22 табеле са подацима који доприносе бољем разумевању приказаних резултата спроведених анализа у оквиру дисертације.

5. ОСТВАРЕНИ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Резултати истраживања ове дисертације пружају значајан допринос познавању варијабилности величине легла свиња при прашењу, мерену бројем живорођене прасади, под утицајем генетских и фактора околине. При изради дисертације докторанд је применио различите методске поступке у оквиру којих је користио више модела како би детерминисао утицаје који доводе до варирања посматране особине у циљу што прецизније процене компоненти варијансе и стварања предуслова за тачнију и потпунију процену приплодне вредности свиња. Потврђено је да је реч о нисконаследној особини и да постоје одређене разлике у погледу вредности коефицијената наследности утврђених различитим методским поступцима, као и у погледу њихове тачности. Врло детаљно и прецизно су образложени разлози утврђених разлика у резултатима у овом погледу. Добијени резултати указују на одређене предности примене модела случајне регресије за квантитативно генетску анализу лонгитудиналних података. Предност овог модела огледа се у чињеници да његова примена не зависи од претпоставке да су корелације између величине легла у различитим паритетима потпуне у односу на модел поновљивости. Такође, применом овог модела је могуће одредити проценат генетске варијабилности одговоран за „криву производње” крмаче. Овај проценат генетске варијабилности би могао да буде искоришћен за селекцију на основу „криве производње” за особине величине легла,

односно, за спровођење селекције у правцу смањења варијација између паритета крмача и да се утиче на смањење опадања величине легла при крају производне криве крмаче.

Од посебног значаја је расветљавање важности постојања генетске везе између животиња на различитим фармама у циљу повећања тачности процене генетских (ко)варијанси особина и процене приплодне вредности. Наведено је битно јер су ефекти селекције директно пропорционални тачности процене приплодне вредности, односно тачности процене компоненти варијанси. Приказани резултати у овој дисертацији о фенотипској и генетској варијабилности броја живорођене прасади у леглу крмача омогућиће, са једне стране боље познавање ове особине у квантитативно генетском смислу, а са друге прецизније дефинисање одгајивачких циљева, као и критеријума селекције за њихово постизање, а све са циљем генетског унапређења ове економски важне особине свиња. Потребно је нагласити да је докторанд овим радом приказао могућности и сврсисходност примене савремених метода за процену компоненти варијансе особина величине легла крмача, на основу којих би се развила примена савремених селекцијских метода и поступака.

6. ОБЈАВЉЕНИ И САОПШТЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Stojiljković, N., Radojković, D., Luković, Z., Gogić, M., Radović, Č., Popovac, M., Škorput, D. (2022). Case Study on Increasing Breeding Value Estimation Reliability of Reproductive Traits in Serbian Highly Prolific Large White and Landrace Sows. *Animals* 2022, 12 (19), 2688.

<https://doi.org/10.3390/ani12192688>

7. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе докторске дисертације под насловом: "**Примена модела случајне регресије за квантитативно-генетску анализу броја живорођене прасади у леглу крмача**", кандидата Ненада Стојиљковића, мастер инжењера пољопривреде, Комисија сматра да је дисертација урађена према одобреној Пријави теме и да представља оригинално и самостално научно дело у области селекције свиња.

Докторанд је на адекватан начин проучио резултате истраживања других аутора, дефинисао предмет и програм својих истраживања, поставио циљ и основне хипотезе, применио адекватне математичко-статистичке методе и моделе за анализу, спровео потребна процењивања, дискутовао добијене резултате и донео правилне закључке. Тема докторске дисертације, као и добијени резултати, представљају значајан допринос зоотехничкој науци и пракси, како са становишта истраживања, тако и са становишта унапређења поступка селекције и оплемењивања свиња на основу особина величине легла.

Допринос ове дисертације огледа се у чињеници да је веома детаљно разрађена проблематика процене компоненти (ко)варијансе за особине величине легла крмача. Она је спроведена применом више савремених метода и већег броја модела у оквиру њих, а истраживањем су били обухваћени генотипови свиња који су најзаступљенији у популацији свиња која се гаји код нас. Образложене су разлике у погледу добијених вредности и индиковане су предности примене модела случајне регресије у ову сврху. Посебно су значајни приказани резултати који говоре о значају и доприносу генетских веза између животиња са различитих фарми у погледу повећања поузданости процене приплодне вредности свиња. Приказани резултати у овој дисертацији о фенотипској и генетској варијабилности броја живорођене прасади у леглу крмача омогућиће, са

једне стране боље познавање ове особине у квантитативно генетском смислу, а са друге прецизније дефинисање одгајивачких циљева, као и критеријума селекције за њихово постизање, а све са циљем генетског унапређења ове економски важне особине свиња.

На основу свега изнетог, Комисија предлаже Наставно-научном већу Пољопривредног факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата Ненада Стојиљковића, мастер инжењера пољопривреде, под насловом **"Примена модела случајне регресије за квантитативно-генетску анализу броја живорођене прасади у леглу крмача"** и одобри докторанду јавну одбрану.

Београд-Земун
Датум: 30.04.2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Младен Поповац, доцент, председник Комисије
Универзитет у Београду - Пољопривредни факултет
УНО: Опште сточарство и оплемењивање домаћих и гајених животиња

др Дубравко Шкорпут, доцент, члан Комисије
Универзитет у Загребу - Агрономски факултет
УНО: Сточарство

др Владо Вуковић, редовни професор, члан Комисије
Универзитет "Св. Кирил и Методиј" у Скопљу -
Факултет за пољопривредне науке и храну
УНО: Генетика и оплемењивање домаћих животиња

др Чедомир Радовић, научни саветник, члан Комисије
Институт за сточарство - Земун
УНД: Свињарство

др Марија Гогих, научни сарадник, члан Комисије
Институт за сточарство - Земун
УНД: Свињарство

ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације под насловом "**Примена модела случајне регресије за квантитативно-генетску анализу броја живорођене прасади у леглу крмача**", кандидата Ненада Стојиљковића, мастер инжењера пољопривреде, констатујем да утврђено подударање текста износи 11%. Овај степен подударности последица је цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, посебно из публикованог рада са SCI листе, који је обавезан за оцену и одбрану докторске дисертације и који мора бити из истраживања обухваћених докторском дисертацијом, што је у складу са чланом 9. Правилника.

На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујем да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

У Београду, 30.04.2024. године

Ментор

др Драган Радојковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Пољопривредни факултет
УНО: Опште сточарство и оплемењивање домаћих и гајених животиња