Стручни критички осврт

Предраг Д. Мрђа, *Повећање ефикасности испитивања мотора СУС применом динамичких метода* (рад је писан латиницом: *Povećanje efikasnosti ispitivanja motora SUS primenom dinamičkih metoda*). Докторска дисертација. Београд: Машински факултет Универзитета у Београду, 2020, текст на штампаним странама 1–193 с додатком, прегледом ознака и библиографијом (стр. 194–221) и биографијом (ментор проф. др Ненад Миљић; комисија: Н. Миљић, С. Поповић, Д. Кнежевић, Ј. Дорић — Факултет техничких наука у Новом Саду, Р. Пешић). Отворени приступ: НаРДуС.

I Предмет, грађа и мерило

Дисертација узима за предмет једну познату тешкоћу испитивања мотора са унутрашњим сагоревањем: калибрација управљања модерним, вишедимензионалним погонским системом тражи испитивање огромног броја стационарних радних режима, а стационарно испитивање је споро јер сваки режим захтева време стабилизације. Рад предлаже да се део тог терета премести на брзо динамичко испитивање: спором, нагибном (рампастом) променом једног управљачког параметра — методом коју рад назива спором динамичком нагибном променом, СДН (у литератури Slow Dynamic Slope) — прикупља се приближна слика стационарног одзива, која се затим користи као предзнање за паметније постављен план накнадних квазистационарних испитивања. Предмет је исказан јасно већ у уводу: „Predmet ove disertacije je istraživanje u oblasti dinamičkog ispitivanja motora“ (стр. 7), уз дисциплиновано уведену терминологију, где је страни назив дат заједно с изворном скраћеницом и домаћим еквивалентом — рампа ниског градијента „po zakonu rampe niskog gradijenta se u literaturi naziva SDS (eng.: Slow Dynamic“ (стр. 7). Тежиште рада је, дакле, методолошко — поступак испитивања и обраде података — а не сама физика сагоревања, што је важно при мерењу свих замерки које следе.

Пре свега осталог ваља изрећи мерило, изричито и без изузетка. Рукопис је предат почетком јуна 2020. године (тема је пријављена 10.06.2019, сагласност Већа научних области техничких наука дата је 30.04.2020, комисија за оцену и одбрану именована је 04.06.2020, а реферат комисије поднет 03.07.2020). Рад се овде мери искључиво према литератури, стандардима, прописима и знању који су постојали и били доступни пре тог тренутка. Ништа што је настало касније није мерило: ни доцнија издања стандарда за јединице, метрологију или библиографско навођење, ни ревизије кодова за испитивање мотора. То правило важи и за списак литературе

овог осврта — свака његова јединица објављена је пре тог рока, изузев саме дисертације, реферата комисије и оних чињеница које се временом не мењају (уз назнаку издања).

Наводи из дисертације преузети су дословно, у писму рада (латиница), у наводницима, с бројем стране према штампаној пагинацији; цео текст рада био је основа за сравњивање, а спорне једначине, слике и табеле разматране су на самим странама рада, јер механичко извлачење текста ломи математички запис, индексе и грчка слова. Где год се тврдња рада могла сравнити с изворним прописом, стандардом или литературом, то је и учињено према изворима у верзији важећој пре рока.

Још једно треба рећи на почетку, јер одређује како се чита методолошки слој рада. Метода СДН није стандардизована процедура него истраживачки поступак; за брзину промене управљачког параметра, кашњење мерног склопа и поређење са стационарним мерењем не постоји формални писани стандард. Отуда се примедбе те врсте овде не заодевају у речи „по стандарду струке“, него се воде као научни аргумент из саме грађе рада: управо зато што метода није кодификована, терет документовања филтрирања, динамике мерења и поновљивости пада на аутора.

II Шта рад доноси

Осврт је дужан да почне оним што дисертација јесте, јер је то и највећи део онога што она вреди.

Прво, рад доноси употребљиву методолошку замисао, експериментално потврђену: да се кратким динамичким испитивањем добије стационарна апроксимација која се, продужавањем трајања теста, монотоно приближава стационарној карактеристици — „sa povećanjem trajanja dinamičkog testa, srednje linije ovojnice približavaju liniji stacionarnog ispitivanja“ (стр. 110). Тврдња је доследно приказана кроз више мерених величина и оба начина припреме система, и представља језгро практичног дела рада.

Друго, ту методу прати стваран инжењерски допринос без кога не би била изводљива. Развијена је посредничка NI LabVIEW апликација која повезује софтвер за аутоматизацију пробног стола (AVL CAMEO) и контролер моторске кочнице „koji izvorno nema podršku i interfejs za AVL CAMEO“ (стр. 83), чиме је контролисана нагибна побуда постала остварива на серијском мотору. У истом реду је и промишљено решавање једне критичне тачке динамичког мерења — синхронизације: ток момента „poslužio je kao referentni signal za određivanje fazne korekcije“ (стр. 120) индицираног средњег притиска, уз приказ осетљивости на кашњење.

Треће, рад је зрело постављен у односу на моделирање: разлагање сложеног система на једноставније подмоделе образложено је конкретним предностима — „Svaki pojedinačni matematički model MISO je jednostavniji od sveobuhvatnog“ (стр. 24) — што кроз цео рад одржава јасноћу и проверљивост.

Четврто, и можда најзанимљивије, рад једну своју границу претвара у допринос. Пошто СДН не даје употребљиве области за величине спорог одзива (температуру издувних гасова), то исто предзнање се користи за формирање приближно оптималног редоследа радних режима, чиме се скраћује укупно време испитивања. Методолошка досетка те врсте — да се „неуспех“ методе на једном пољу окрене у користан резултат на другом — редак је квалитет.

Пето, и то ваља рећи поштено: где год су се тврдње рада могле проверити, у највећем делу су се показале поузданим. Бројчани резултати сагласни су с табелама и сликама на које се текст позива, физичка тумачења одступања су кохерентна, а научни апарат је изразито уредан (в. одељак IX). Уз то, носећи резултати нису остали само у тези — објављени су у рецензираним радовима у часопису *Thermal Science* (категорије М22 и М23), што је истовремено и испуњење формалног услова за одбрану. Ова поузданост основе није споредна околност: она омогућава да се о раду расправља овако детаљно.

III Циљ, хипотезе и метод

Циљ рада изложен је описно, као пројектни задатак, а не као скуп нумерисаних, оповргљивих хипотеза; реч „хипотеза“ у тексту се не појављује. Тамо где други радови постављају тврдњу која може да не прође, овде стоји најава: „biće pokazano da postoje određene oblasti radnog polja motora unutar kojih bi bilo poželjno povećati gustinu kvazistacionarnih ispitivanja“ (стр. 7). Изостанак засебног, нумерисаног одељка с проверљивим хипотезама отежава недвосмислену проверу у ком је степену циљ потврђен, и то ваља навести. Замерку, међутим, треба одмерити: за њу нема писаног стандарда који би прописивао форму хипотезе у самом раду, па се води као аргумент научног метода, а не као повреда правила; уз то је у складу с устаљеном домаћом праксом у машинству, где се допринос дефинише и верификује преко научних доприноса и објављених радова — што реферат комисије и чини (три доприноса, верификована у радовима М22/М23). Циљ је, најзад, операционализован: статистиком модела у осмом и кумулативним отклоном температуре у деветом поглављу.

Метод је, у ономе што рад стварно ради, доследно спроведен и покрива распон од аналитичких одзива поједностављених модела, преко сопствене апликације за задавање динамичке побуде и обимног стационарног испитивања као референце (испитано је 248 стационарних режима, а референтни модели формирани су на 132

режима), до апроксимативних модела (функције радијалне основе и Гаусовог процеса), функције услова за издвајање области, алгоритма за додавање тачака и оптимизације редоследа режима. Треба поштено рећи и да део онога што четврто поглавље приказује (централни композитни и оптимални планови, Соболова секвенца, возни циклуси, вишеструке хармонијске и хармонијске побуде променљиве фреквенце) јесте преглед туђих метода, а не поступак примењен у сопственом огледу — што је примерено насловном опису тог поглавља и није замерка.

IV Оглед, мерни склоп и услови испитивања

Оглед је спроведен на једном мотору (турбопрехрањени дизел-мотор запремине око 1,4 L) и на једном пробном столу, са серијском електронском управљачком јединицом. Ту је и основно ограничење експерименталне основе, које рад не прикрива него изричито наводи: због серијске управљачке јединице „jedini upravljački parametar koji je bio dostupan“ (стр. 75) био је жељени ниво оптерећења, док је симултано варирање више параметара наведено као правац будућег рада. Мерна опрема је исцрпно документована (табеле 5.1–5.3 и Додатак А), а мерни склоп је везан за важеће стандарде — својење снаге по ISO 15550, очитавање дијагностичких параметара по SAE J1979, комуникација по MODBUS протоколу.

Две методске замерке у овом делу стоје, обе одмерене. Прва: температура горива није кондиционирана, што је потенцијалан извор расипања чији износ није бројчано исказан; ограничење је, међутим, поштено наведено, гравиметријско мерење масеног протока горива не зависи од температуре горива, а мотор се термички стабилизује преко расхладне течности и уља. Друга, начелнија: рад изричито наводи да „tačna prenosna funkcija senzora nisu poznati“ (стр. 75) — али се та реченица односи на серијске сензоре очитаване преко дијагностичког интерфејса (информативни канал на стационарним режимима), док су за критичне брзе величине коришћени наменски, брзи пиезорезистивни сензори притиска и калибрисани уређаји за индицирање. Носеће ограничење остаје да динамика наменског мерног склопа (временске константе, кашњења) није бројчано окарактерисана, већ квалитативно, као „relativno brzi“; добро емпиријско поклапање брзих величина са стационарним резултатима то посредно поткрепљује, али не замењује.

Изнад тога стоји метролошко питање које се провлачи кроз цео резултатски слој: у раду нема буџета мерне несигурности ни његовог простирања кроз модел. Меродаван писани оквир је овде изричит. Водич за исказивање мерне несигурности тражи да се уз резултат мерења наведе његова комбинована стандардна несигурност — „the units of y and u_c(y) should always be given“ (JCGM 100:2008, GUM, т. 7.2.1) — а међународни речник метрологије поновљивост дефинише преко расипања

поновљених мерења под истим условима (JCGM 200:2012, VIM, т. 2.21). Приказивање голих процентних одступања без исказане несигурности и расипања одступа од тог оквира. Ваља, ради правичности, додати да је исказивање тачности само преко класе опреме било уобичајено у домаћим техничким дисертацијама тог времена; уобичајено, међутим, није исто што и доказано.

V Модели, планови испитивања и обрада података

Методолошки апарат обраде је богат и, у највећем делу, коректно постављен. Полиномски, сплајн и апроксимативни сплајн модели, вештачке неуронске мреже, функције радијалне основе и функције Гаусовог процеса приказани су прегледно, а разлагање на MISO подмоделе доследно образложено. За сопствени план узорковања изабрана је Халтонова секвенца за две димензије, уз три образложена разлога — методолошки зрело и транспарентно. Издвајање области за додавање тачака ослоњено је на функцију услова изведену из другог извода одзива и на Lolimot подмоделе, а сопствени алгоритам (Делонијева триангулација, тежишта троуглова, критеријум максимизације минималне удаљености) јасно је описан дијаграмом тока. Дидактички једнодимензионални пример уверљиво показује носећу идеју — да додавање тачака у области високе закривљености даје најбољу апроксимацију — пре преласка на дводимензионалан случај.

Три замерке овом слоју су методске и вреди их изложити одмерено.

Прва, и најозбиљнија: поређење модела на редукованим плановима не почива на новим мерењима у тачкама плана него на евалуацији самог референтног модела у тим тачкама — „Podaci dobijeni evaluacijom referentnih modela, koriste se za generisanje novih“ (стр. 135). Поступак је самореферентан: мери се реконструкција глатке, бешумне површи, а не одзив стварног, зашумљеног мотора, чиме је аргумент против претераног прилагођавања ослабљен, јер управо мерни шум раздваја добар модел од прилагођеног. Меродаван оквир је овде изричит: оцена грешке уопштавања тражи независан скуп за проверу — „the test set is used for assessment of the generalization error of the final chosen model“ (T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning*, 2. изд., 2009, гл. 7), уз признање истих аутора да су подаци често оскудни, па је оцена на истом моделу делом нужда, не немар. Замерку, међутим, ваља сузити: референтни модели формирани су на 132 стварно измерена режима „referentni modeli su formirani na osnovu 132 stacionarno ispitana radna režima“ (стр. 135), поглавље се изричито представља као доказ концепта, а не као метролошка валидација, и то сам рад каже — „ne može da se formira univerzalni“ рецепт (стр. 148), а на крају поглавља ограничава домет на „analizi referentnih stacionarnih modela“ (стр. 158). Валидација под реалним мерним шумом остаје ван обима и ту би добила највише.

Друга: кључни квантитативни закључак — да план од 45 тачака (30+15) даје ужу расподелу релативних разлика од плана од 60 Халтонових тачака, уз мање тачака „U ovom slučaju je broj tačaka potencijalnog stacionarnog ispitivanja 25% manji od“ основног (стр. 156), при чему „model koji je formiran na osnovu 60 tačaka Haltonove sekvence ima veće“ расипање (стр. 156) — ослоњен је на ширину хистограма, док сопствени показатељ std PRESS иде обрнуто. Праве противречности нема, јер су то две различите мере: std PRESS је грешка на сопственом узорку и структурно зависи од броја тачака, а расподела релативних разлика мери одступање од референтног модела на целом домену конвексног омотача — управо оно што је релевантно за универзални дијаграм. Закључак би, ипак, добио на снази уз изричит сумарни показатељ ширине расподеле.

Трећа: удео радног поља за додавање тачака инжењерски је изабран — „iskustveno određen kao kompromis između minimalne distance između“ тачака (стр. 147) — и није праћен анализом осетљивости резултата на тај праг (промена 30% → 20% у једном потпоглављу је намерна и образложена, дакле није недоследност). Слично, закључци о поклапању области СДН и стационарних резултата изведени су визуелним поређењем изо-контура, без бројчане мере преклапања. Као демонстрација концепта то је прихватљиво и физички доследно, али би увођење квантитативне мере (нпр. однос пресека и уније површина) и анализа осетљивости на праг и на избор филтра — аутор сам наводи да „Izgled krivih na ovom dijagramu u velikoj meri zavisi od načina filtriranja“ (стр. 105) — учврстили носеће закључке. Иста примедба погађа и генетски алгоритам: величина популације, број итерација, праг заустављања и број понављања нису бројчано дати, па тачна репродукција није могућа — иако је алгоритам преузет из објављеног кода, проблем је мали (45 тачака), а приказана монотоност и брзина указују да је подешавање адекватно за сврху. Секвенцијално, итеративно проширивање плана иначе је призната DoE стратегија (D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 9. изд., 2017; G. E. P. Box, J. S. Hunter, W. G. Hunter, *Statistics for Experimenters*, 2. изд., 2005), па се приступ не дисквалификује сам по себи — тражи се само да буде поткрепљен и документован.

VI Резултати и тврдња о повећању ефикасности

Резултатски слој је, у ономе што тврди, диференциран и физички кохерентан. Метода даје употребљиве стационарне апроксимације — а самим тим и области за додавање тачака — само за величине брзог одзива: закључак је изричито ограничен, „mogu pouzdano formirati samo za veličine koje karakteriše relativno brz dinamički odziv“ (стр. 181), без преувеличавања домета. Разлике међу мереним величинама доследно се приписују термичкој инерцији, па се за динамичку припрему изводи јасан суд:

„Zaključuje se da eksperimenti sa dinamičkom pripremom sistema nisu povoljni za određivanje stacionarne aproksimacije veličina koje karakteriše spor odziv“ (стр. 132). То је носећи, употребљив методолошки резултат.

Одступања СДН апроксимације од стационарних резултата, међутим, дата су као детерминистичке вредности — за температуру на улазу турбине при стационарној припреми „maksimalna odstupanja najdužeg testa (S600) su u granicama od“ око −10% до +8% (стр. 132), при динамичкој припреми „Maksimalna odstupanja su veća (−16%)“ (стр. 132), а за притисак иза компресора „najzastupljenije odstupanje oko 2%“ (стр. 133) — без исказаног расипања, поновљивости и мерне несигурности референтног скупа. То је најозбиљнија, и правилно формулисана, замерка резултатима, једина која додирује саму тезу: пошто оцене типа „veoma precizni“ наспрам „nepovoljno“ почивају на разликама реда неколико процената, без исказане несигурности не може се поуздано разлучити систематска разлика од шума. Замерку појачава то што сви резултати почивају на једној серији — „svi rezultati ispitivanja sa SDN formirani na osnovu samo jedne serije rezultata“ (стр. 182). Ово, међутим, аутор сам изричито наводи као ограничење и правац будуће провере, што слабост претвара у поштено декларисано ограничење обима, а не у прикривени пропуст; циљ седмог поглавља био је, уз то, квалитативно-квантитативан приказ области доброг и слабог поклапања, а не пун метролошки биланс сваког режима.

Централна тврдња из наслова — повећање ефикасности — заслужује посебну пажњу, јер је њена бројчана основица илустративна, а не измерена. Уштеда (непуна два сата наспрам полазних пет сати и двадесет минута) изведена је из конструисаног примера, што рад изричито и назива — „primer koji ukazuje na potencijalnu uštedu vremena“ (стр. 181) — а вредности означава као претпостављене, „Neka je neophodno prosečno vreme stabilizacije procenjeno na optimističnih“ четири минута (стр. 182), закључујући да је „a to vreme je značajno kraće od početnih 5:20 h“ (стр. 182). Претпоставке су на СДН страни повољне (нпр. три минута стабилизације наспрам пет до десет минута наведених у поглављу о реализацији теста), а еквивалентност квалитета редукованог плана с пуним планом почива на статистици осмог поглавља, не на упоредном back-to-back огледу на истом мотору. Тврдња о ефикасности тиме остаје потенцијална, поштено означена као таква, али не и измерена.

Оптимизација редоследа режима (девето поглавље) даје најопипљивије бројчано упориште тезе: постављањем проблема отворене путање трговачког путника и решавањем генетским алгоритмом, средњи отклон температуре издувних гасова по радном режиму спушта се са „oko 140 °C“ (стр. 177) при насумичном редоследу — односно „34 °C“ (стр. 177) уз критеријум минималне удаљености у простору обртаја и момента — на вредности које су се „kretale u granicama od 20.5 °C do 9.2 °C“ (стр. 178) за СДН моделе, веома близу идеалних „otklona temperature izduvnih gasova iznosi 7.7 °C po radnom režimu“ (стр. 177) из познатог стационарног решења, уз занемарљиву

цену рачунања, „brzina izvršavanja GA, od svega 6 sekundi“ (стр. 179). И овде је, међутим, ефикасност исказана преко посредника (отклон температуре у степенима), а не преко измереног времена стабилизације; веза је физички оправдана, јер је критеријум стабилизације у раду дефинисан управо променом најинертнијег параметра — „kriterijum stabilizacije radnog režima je određen veličinom promene najinertnijeg parametra“ (стр. 164) — па је отклон смислен сурогат, али би непосредно мерење времена ојачало доказ.

Најзад, уопштивост. Емпиријска демонстрација почива на једном мотору, једном столу, дводимензионалном пољу и неколико величина, док наслов и доприноси говоре о „моторима СУС“ уопште. Методологија је по конструкцији независна од конкретног мотора и вишедимензионална, па је приказани случај студија случаја, а не граница методе; рад то и ограничава изричито (в. „ne može da se formira univerzalni“, стр. 148). Обим валидације, дакле, треба навести као обим, а не као доказану универзалност — што рад, у закључку, углавном и чини.

VII Приказ литературе, стандарда и технике

Преглед стања области је свеобухватан и, што је редак квалитет, ослоњен на изворне текстове, а не на посредно навођење. Покривени су темељни радови из свих грана на које се рад ослања — испитивање мотора, планирање експеримента и површине одзива, идентификација система, неуронске мреже и Гаусови процеси, квази-насумичне секвенце, комбинаторна оптимизација — уз здрав слој класичних дела и изразито актуелну новију литературу.

Приметније слабости овог слоја лаке су тежине и претежно се тичу уводног, мотивационог и прегледног дела, не носеће аргументације. У уводу постоји неколико техничко-историјских непрецизности: Дизелов циклус означен је као патентиран 1890, „patentirao je kružni termodinamički ciklus na osnovu koga“ (стр. 1), док је патент DRP 67207 пријављен 1892. и признат 1893; прве калифорнијске регулативе из 1966. приписане су телу под именом које је уведено тек 1967 — „kada je Odbor za vazdušne resurse Kalifornije doneo odluku o dozvoljenim emisijama ugljovodonika i ugljen-monoksida“ (стр. 1) — иако су година, држава и садржина прописа тачне, а стандарде донео претходни орган; податак о Норвешкој — „Norveška koja beleži prodaju od 47% novih, isključivo električnih, vozila u 2017. godini“ (стр. 2) — није тачан (удео потпуно електричних био је око 20,8%, свих прикључних око 39,2%). Реч је о споредним контекстуалним подацима који не додирују методолошку тезу, али би их у монографском издању требало исправити и поткрепити независним изворима.

У прегледу туђих метода комбинаторне оптимизације има и стварних, али по резултате безопасних непрецизности: алгоритам „Zamena parova ruta ili 2-OPT algoritam“ (стр. 170) поистовећен је с Lin–Kernighan методом, за који рад каже да је то „algoritam po svojim autoima [178, 179]“ (стр. 170), иако су то различити поступци (2-opt потиче од Croes-a, 1958; Lin–Kernighan је варијабилно-дубински метод, 1973); дефиниција перфектног поклапања дата је непрецизно, преко услова колинеарности и без захтева за минималном тежином, „Perfektno poklapanje predstavlja povezivanje parova tačaka populacije“ (стр. 169). Обе се тичу помоћних алгоритама (Кристофидес, 2-opt/LK) који у раду нису примењени — примењени решавач је генетски алгоритам — па не погађају резултате, али их треба исправити. Из истог реда је и процена трајања исцрпне претраге: „eksponencijalno vreme izvršavanja je procenjeno na oko 8.16“ · 10^34 година (стр. 167) не следи из сопствених улаза рада (из наведеног броја пермутација и процесора који постиже „Na procesoru koji može da postigne oko 45“ · 10^9 инструкција у секунди (стр. 167) добија се ред 10^37 година); реч је о илустрацији реда величине чија поента (практична неизводљивост) остаје иста, али вредност треба ускладити с уласцима. Најзад, ситна библиографска непрецизност: кориговани информациони критеријум приписан је изворном Акаикеовом раду, „vrednost Akaikeovog (Hirotugu Akaike) informacionog kriterijuma (AICc) [156]“ (стр. 140), који уводи некориговани AIC, док корекција за мале узорке потиче из каснијих радова (Sugiura, 1978; Hurvich и Tsai, 1989) — за коју би требало навести засебан извор.

Тамо где стандард постоји, рад га поштује: свођење снаге по ISO 15550 наведено је на месту стварне употребе. Пошто, међутим, за саму СДН методу формалног писаног стандарда нема, приговори о филтрирању, кашњењу и поновљивости (в. одељке IV–VI) овде се и не воде као повреда стандарда, него као научни аргумент — што је, при мерењу тог слоја, једини исправан регистар.

VIII Једначине, слике, табеле и језик

Овај слој носи највећи број приговора, али су готово сви формалне и козметичке природе и — што ваља рећи одмах — ниједан не мења ниједну приказану криву, бројчани резултат ни закључак; где грешка постоји, исправна величина по правилу стоји на другом месту у раду.

У једначинама има стварних, али локализованих омашки у нотацији и индексима: у дефиниционој једначини релативне разлике температуре именилац је словном грешком означен недефинисаном величином (индекс 2 уместо 1); у изразу за отклон линеарног система стоји неуведен индекс (0 уместо 1), а у граничном прелазу изостао је симбол прираштаја, док је крајњи резултат коректан; у корекционом фактору средње линије изостале су унутрашње апсолутне заграде у имениоцу, што би, ако би се градијенти читали са знаком, водило сингуларитету — али из пратећег

текста („apsolutne vrednosti gradijenata“) и из унутрашње конзистентности следи да се читају као магнитуде; у линеарном делу хибридне функције трећи коефицијент означен је двапут истим симболом, док текст изричито тражи три параметра — „tako da su tri parametra modela rezervisani za ovu polinomsku aproksimaciju“ (стр. 140); у дефиницији оператора „drugog gradijenta“ средња једнакост није строг векторски идентитет него радна дефиниција мере закривљености; у компактном запису полиномске регресије доња граница суме изоставља константни члан. Уз то, Ојлеров образац у помоћном кораку носи очиту штампарску грешку (косинус уместо синуса у другом члану), а знак суме стоји уместо интеграла — обоје без последица по извођење. Хи-квадрат расподела означена је латиничним „X²“ уместо грчким χ^2, а мера крос-валидације PRESS изједначена је с ознаком „U literaturi se još označava sa P 2 i predstavlja meru krosvalidacije modela za“ (стр. 29), што је непрецизно (P^2 је изведена нормализована мера, аналогна R^2, а не сам PRESS), уз то без извора; коваријансна матрица означена је симболом оператора очекивања, а поједностављени опис „za apsolutno poklapanje rezltat je 1, a za potpuno različite vektore rezultat je“ 0 (стр. 37) заправо описује нормализовану (косинусну) сличност.

У табелама има јединичних омашки: запремина мотора исписана је у mm^3 уместо cm^3; колона максималне брзине носи јединицу m/s уместо km/h; за једну деоницу возног циклуса изостала је децимала (уписано „692“ уместо 0,692 km, што потврђује збир деоница), а у прилогу је једно одступање исписано с две децималне тачке. У свим тим случајевима исправна вредност или контекст (идентификација мотора, укупан збир, калибрациони лист) стоје на другом месту, па се грешка не преноси даље.

На сликама и у натписима такође има формалних недостатака: натпис једне слике недовршен је — „redosled izvršavanja prema.“ (стр. 179) — а колорна скала на њој нема означену јединицу; на неколико дијаграма релативне разлике опсег бојене легенде не обухвата све приказане контуре, па се такве вредности читају само из бројчано означених изолинија; у једној легенди две различите криве носе истоветан натпис; у другој је дијакритик приказан као упитник услед грешке кодирања; исто мерно место (притисак и температура иза компресора) на неким натписима названо је усисним колектором, што одудара од једнозначне дефиниције у табели ознака; постоји и погрешан унакрсни позив на слику (упућује се на универзалну мапу уместо на дијаграм редоследа). Све су то грешке приказа, не садржаја.

Најзад, језик. Стручна терминологија је на једном месту непрецизна: скраћеница LMS (Least Mean Square, алгоритам Vidrou-Hof) преведена је истом синтагмом „metoda najmanjih kvadrata“ која се у истом поглављу користи и за класичне најмање квадрате, па би засебан српски термин уклонио могућу забуну. Име Halton на два места је погрешно исписано — „generisanih posredstvom Holtonove sekvence“ (стр. 137) — а недоследно су транскрибована и друга страна имена (Sobol, Galois). Кроз

рад је приметан и број словних грешака у куцању, од којих једна и у наслову поглавља — „3. Matematički modeli u prcesu“ (стр. 23) — те примери попут „Onsnovne funkcije Фi ne moraju biti istog tipa za sve sabirke“ (стр. 25), „kalibracije kompleksinh pogonskih sistema“ (стр. 16) и удвојене речи „U tabeli 7.1 je data je lista univerzalnih dijagrama“ (стр. 123). Оне не мењају значење ни резултате, али нарушавају уредност рукописа и отклањају се редактуром; норма транскрипције и правописа овде је Правопис српскога језика Матице српске (2010), а норма писања величина и јединица SI брошура BIPM-a (9. изд., 2019) и ISO 80000-1:2009 (величина у италику, размак између броја и јединице, грчки симболи).

IX Научни апарат

Научни апарат је, супротно овом последњем слоју форме, место на коме је рад био изразито брижљив. Библиографија садржи 189 јединица без прескока, свих 219 позивања у тексту упућује на постојећу јединицу, ниједна јединица није остала нецитирана и ниједно позивање није висеће — што је најповољнији могући исход усклађености апарата и библиографије. Нумерација 112 слика и 27 табела потпуно је доследна и усаглашена са списковима, темељна дела цитирана су из изворног текста без посредног навођења, а литература је актуелна (значајан удео из последњих пет година пре предаје) уз солидан слој класичних радова; мерна инсталација је потпуно документована.

Утврђени недостаци апарата формални су и малог обима: у садржају је страна почетка библиографије наведена као 200 уместо 201; четири часописне јединице су непотпуне (две без назива часописа, две без бројева страна); скраћеница ZEV развијена је као „Zero Electric Vehicle“ (уобичајено: Zero Emission Vehicle), а у једној јединици распон страна је опадајући; постоји и приближан дупликат (иста књига као целина и као поглавље). Интернет извори немају датум приступа; по IEEE стилу, у коме је рад доследно сложен, датум приступа није обавезан — водич изричито допушта online референцу „(no accessed date)“ (IEEE Reference Guide, 11.12.2018) — али по међународној норми за библиографско навођење коју домаћа пракса за докторске радове узима као меродавну (ISO 690:2010) његов изостанак, уз изостанак године код једне јединице, јесте формални недостатак. Сирови подаци и изворни код нису депоновани — што је за докторат из 2020. у домаћем контексту било уобичајено и није било формални услов, а кључни резултати су објављени у радовима [25] и [26]. Поновну употребу тих радова рад је уредно назначио — „javno objavljen i dostupan u radovima [25, 26]“ (стр. 8) — чиме је испуњен, а не прекршен, услов из Правилника о докторским студијама Универзитета у Београду (члан 30, објављен рад пре одбране).

X Однос рада и реферата комисије

Реферат комисије оцењује да је кандидат „потврдио и проширио постојећа знања“ у области динамичког испитивања мотора СУС и да дисертација представља оригиналан научни допринос. Тај део оцене одговара стању у тексту: методолошки оквир је добро постављен, а три доприноса која реферат наводи (анализа стационарних апроксимација из СДН у поглављима 6–7; модел идентификације области за додавање тачака у поглављу 8; метода редоследа режима у поглављу 9) стварно се локализују у раду и верификовани су у објављеним радовима М22/М23. Треба, ради тачности, приметити да реферат исправно не тврди да су „потврђене хипотезе“ — рад их и нема — што је у складу с текстом.

Оно што стоји као ситна неусаглашеност јесте да описне бројке из реферата почивају на другачијој основи бројања него што непосредно пребројавање даје. У реферату стоји да је дисертација „изложена је на укупно 223 стране“ и да „садржи 91 нумеричких израза, 112 слика и дијаграмских приказа, 27 табела и 188 коришћених референтних литературних извора“; број слика и табела поклапа се тачно, али је број нумерисаних једначина у ствари знатно већи — појам „нумерички израз“ није дефинисан — број библиографских јединица је сто осамдесет девет наспрам наведених сто осамдесет осам, а обим у страницама зависи од основе бројања. Реч је о формалним разликама у бројању, а не о недостатку самог рада; напомињу се јер је уредан однос рада и његовог службеног приказа део целине о којој осврт суди.

XI Шта остаје

Кад се све сабере, добија се оцена коју вреди изрећи у једном комаду, без ублажавања и без претеривања.

Дисертација Предрага Мрђе солидан је и добро изведен експериментално-методолошки рад који методологији испитивања мотора СУС доноси заокружену целину: поступак прикупљања приближне стационарне слике брзим динамичким испитивањем спором нагибном променом управљачког параметра, оригиналну корекцију средње линије овојнице, инжењерски допринос без кога метода не би била изводљива (апликација за задавање динамичке побуде на серијском мотору), модел за идентификацију области у које треба додати стационарне тачке и методу за приближно оптималан редослед режима. Емпиријски слој рада, тамо где се могао проверити, у највећем делу држи; научни апарат је изразито уредан; а рад одликује ретка научна поштеност — сам, у закључку, наводи ограничења сваког налаза и не продаје више него што је показао.

Слабости су, по оцени овог осврта, четвороструке, и ниједна не руши носеће тезе. Прва и најтежа је статистичка: сви резултати СДН почивају на једној серији мерења, без иједног понављања и без исказане мерне несигурности, па се за фине разлике

(реда неколико процената) не може поуздано разлучити систематски ефекат од шума — што управо погађа оцене типа „veoma precizni“ наспрам „nepovoljno“. Друга је основица главне тврдње из наслова: повећање ефикасности изведено је из изричито означеног илустративног примера с повољним претпоставкама, а не из измереног упоредног огледа на истом мотору. Трећа је самореферентно поређење модела на глаткој, бешумној референтној површи, које остаје на нивоу доказа концепта, без валидације под реалним мерним шумом. Четврта је обим уопштавања: бројчани налази с једног мотора, једног параметра и дела радног поља износе се под насловом који говори о „моторима СУС“ уопште. Уз то стоји слој формалних недостатака — омашке у једначинама, јединицама, натписима слика и словне грешке, те непотпуне ставке апарата — који је малог значаја, али бројан.

Изнад свега стоји једна правилност, иста коју показује и најбоља пракса жанра: провере чињеница и сопствена ограничења изведени су брижљивије од завршних, амбициознијих формулација, а највећи део онога што треба поправити већ је негде у раду тачно наведено — само на другом месту или недоследно спроведено.

Пет измена биле би, по оцени овог осврта, најплодније у евентуалном монографском издању или наставку истраживања. Прво, поновити СДН секвенце на истом режиму и приложити буџет мерне несигурности и његово простирање, како би одступања добила статистичку тежину (JCGM 100:2008; JCGM 200:2012). Друго, тврдњу о повећању ефикасности поткрепити стварним упоредним (back-to-back) огледом на истом мотору, уместо конструисаним примером. Треће, поређење редукованих планова поновити на независним мерењима под реалним шумом, а не само на евалуацији референтног модела (Hastie, Tibshirani, Friedman, 2009), уз бројчану меру преклапања области и анализу осетљивости на праг и на избор филтра. Четврто, потпуно специфицирати генетски алгоритам (величина популације, број итерација, праг заустављања, расипање решења) ради поновљивости. Пето, исправити формални слој — једначине, јединице, натписе слика, транскрипцију имена и словне грешке — и употпунити апарат (непотпуне часописне јединице, датуми приступа, година код јединице [1]).

Уз ту врсту редакције — која у највећем делу не тражи ново истраживање него доследно спровођење и метролошко заокруживање онога што је рад већ започео — ова дисертација остаје вредан и употребљив допринос методологији испитивања мотора СУС, чија би замисао имала шта да каже и струци и стручном читаоцу изван уже теме.

Литература

Предмет осврта

Мрђа, Предраг Д., *Повећање ефикасности испитивања мотора СУС применом динамичких метода* [докторска дисертација]. Машински факултет Универзитета у Београду, 2020. (НаРДуС, https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/20709.)

Реферат Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Предрага Д. Мрђе, Машински факултет Универзитета у Београду, 03.07.2020.

Метрологија, величине и научни апарат

JCGM 100:2008, *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections)*. Sèvres: BIPM/JCGM, 2008.

JCGM 200:2012, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*, 3rd ed. Sèvres: BIPM/JCGM, 2012.

BIPM, *The International System of Units (SI)*, 9th ed. Sèvres: BIPM, 2019.

ISO 80000-1:2009, *Quantities and units — Part 1: General*. Geneva: ISO, 2009.

ISO 690:2010, *Information and documentation — Guidelines for bibliographic references and citations to information resources*, 3rd ed. Geneva: ISO, 2010.

IEEE, *IEEE Reference Guide*, V 11.12.2018. IEEE, 2018.

ISO 15550:2002, *Internal combustion engines — Determination and method for the measurement of engine power — General requirements*. Geneva: ISO, 2002.

Планирање огледа, моделирање и оцена модела

Montgomery, D. C., *Design and Analysis of Experiments*, 9th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017.

Box, G. E. P.; Hunter, J. S.; Hunter, W. G., *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*, 2nd ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005.

Myers, R. H.; Montgomery, D. C.; Anderson-Cook, C. M., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 4th ed. Hoboken: Wiley, 2016.

Hastie, T.; Tibshirani, R.; Friedman, J., *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, 2nd ed. New York: Springer, 2009.

Martyr, A. J.; Plint, M. A., *Engine Testing: The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities*, 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann/Elsevier, 2012.

Röpke, K. (ур.), *Design of Experiments (DoE) in Engine Development*, Vol. V. Renningen: expert-Verlag, 2011.

Формални оквир докторских студија (важећи јуна 2020) и језичка норма

Правилник о докторским студијама на Универзитету у Београду, „Гласник Универзитета у Београду“ бр. 191/2016 и 212/2019.

Упутство о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду. Београд: Универзитет у Београду, 2019 („Гласник УБ“ бр. 212/2019).

Пешикан, М.; Јерковић, Ј.; Пижурица, М., *Правопис српскога језика* (измењено и допуњено издање). Нови Сад: Матица српска, 2010.

Раније објављени радови кандидата (део резултата дисертације)

Miljić, N.; Popović, S.; Mrđa, P.; Kitanović, M., „Slow Dynamic Slope method in IC engine benchmarking“, *Thermal Science*, 22(3):1271–1283, 2018.

Mrđa, P.; Miljić, N.; Popović, S.; Kitanović, M., „Continuous Slow Dynamic Slope Approach for Stationary Base Internal Combustion Engine Mapping“, *Thermal Science*, 24(1):147–158, 2020.