

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
Факултет организационих наука

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Максима Лалића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Факултета организационих наука - Универзитета у Београду 05-01 бр. 3/79-7 од 11.09.2024. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и одбрану приступног рада и оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **Максима Лалића** по насловом:

**„Систем за предикцију ефективних и ефикасних сценарија сетве и жетве  
пољопривредних култура”.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

## **РЕФЕРАТ**

### **1. Подаци о кандидату**

#### **1.1. Биографски подаци**

Кандидат Максим Лалић рођен је 21. 12. 1994. године у Новом Саду. Основну школу започиње у Каћу, а због свог интересовања за математику и сродне области, завршава је у огледном математичком одељењу при гимназији Јован Јовановић Змај у Новом Саду. У том периоду, активан је на такмичењима из математике и физике, где је се од запажених резултата може издвојити освојено прво место на републичком такмичењу из математике 2008. године. Након тога уписује Војну гимназију у Београду и паралелно са тим учествује на такмичењима из математике и физике, као и на математичким семинарима истраживачке станице Петница. У четвртој години осваја другу награду на републичком такмичењу из математике што га ослобађа полагања пријемног испита на почетку студија.

Максим Лалић 2013. године уписује студијски програм Рачунарство и аутоматика на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду. Основне студије завршава 2017. године на модулу Примењене рачунарске науке и информатика, с просечном оценом 9,84. На

вишим годинама основних студија, доминантно се интересује за предмете из области база података и пројектовања информационих система. Након тога, Максим Лалић уписује мастер студије на студијском програму Рачунарство и аутоматика. 2018. године, Максим Лалић положио је све испите с просечном оценом 10,00 и стекао звање Мастер инжењер електротехнике и рачунарства.

Од 2018. до 2021. Максим Лалић ангажован је на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду као сарадник у настави, а потом и као асистент. Током тог периода, предаје предмете из области база података и аналитике података, а интересује се додатно и за области рударења података и машинског учења.

Од 2021. године до данас, кандидат је запослен на Институту БиоСенс као истраживач приправник. По доласку на Институт, кандидатова примарна интересовања постају области операционих истраживања и метахеуристичких оптимизационих метода. 2021. године, уписује докторске академске студије на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент. До сада је успешно положио све испите.

## 1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Научноистраживачке активности кандидата резултовале су радовима објављеним на конференцијама и у часописима, као и учешћем у научним пројектима. Током досадашњег рада, Максим Лалић је објавио више радова у часописима, као и на међународним скуповима и конференцијама.

### Радови објављени у научним часописима међународног значаја - M20

1. L. Alves, D. Gajić, P. Rangel Henriques, V. Ivančević, V. Ivković, **M. Lalić**, I. Luković, M. Joao Varanda Pereira, S. Popov, P. Correia Tavares, "C Tutor Usage in Relation to Student Achievement and Progress: A Study of Introductory Programming Courses in Portugal and Serbia", Computer Applications in Engineering Education, 2020, ISSN 1061-3773, Vol. 28, No. 5, DOI: 10.1002/cae.22278, 2020, pp. 1058-1071 **M22**

### Зборници међународних научних скупова - M30

1. L. Alves, P. Rangel Henriques, V. Ivančević, **M. Lalić**, I. Luković, M. Varanda Pereira, P. Correia Tavares, "A Comparison of Introductory Programming Courses between Portugal and Serbia", 8. International conference on applied internet and information technologies - ICAIIT, Bitola, University "St. Kliment Ohridski", 5 Oktobar, 2018, pp. 88-93, ISBN 978-9989-870-80-4 **M33**
2. **M. Lalić**, V. Ivančević, I. Luković, "Detection of Region-Specific Voting Patterns in Eurovision Song Contest", 9. International Conference on Information Science and Technology (ICIST), Kopaonik, Association for Information systems and Computer Networks, 10-13 Mart, 2019, pp. 47-52 **M33**
3. L. Alves, D. Gajić, P. Rangel Henriques, V. Ivančević, **M. Lalić**, I. Luković, M. Varanda Pereira, S. Popov, P. Correia Tavares, "Student Entrance Knowledge, Expectations, and Motivation within Introductory Programming Courses in Portugal and Serbia", 47. SEFI Conference, Budimpešta: European Society for Engineering Education, 16-19 Septembar, 2019, pp. 1354-1363, ISBN 978-2-87352-018-2 **M33**
4. **M. Lalić**, N. Obrenović, S. Brdar, I. Luković, M. Bierlaire: "Assisting Passengers on Rerouted Train Service Using Sharing Vehicle Systems", International Conference on Optimization and Decision Science ODS2022, pp 277-287, Firenca, Italija, 2022, ISBN: 978-3-031-28863-0, doi <https://doi.org/10.1007/978-3-031-28863-0> **M33**

5. N. Obrenović, **M. Lalić**, D. Stefanović, M. Panić, S. Brdar, V. Crnojević, O. Marko, "Optimised Routing of the Blueberry Cultivating Unmanned Ground Vehicle", The 17th International Symposium on Operations Research in Slovenia, Bled, Slovenia, 2023, ISBN 978-961-6165-61-7, pp. 27-30. **M33**
6. **M. Lalić**, N. Obrenović, S. Atac, S. Bortolomiol, M. Oskar, S. Brdar, V. Crnojević, I. Luković: "Multi-Objective Metaheuristic Solution Approach for the Crop Plant Scheduling Problem", The 9th International Conference on Metaheuristics and Nature Inspired Computing META'2023, pp 198-200, Marrakech, Morocco, 2023 **M33**
7. N. Obrenović, **M. Lalić**, S. Brdar, O. Marko, V. Crnojević, "Optimization Algorithms in Precision Agriculture - Selected Use Cases", Szeged Workshop on Discrete Structures - SWORDS 2023, Szeged, Hungary, 2023 **M34**

Максим Лалић је такође био члан истраживачких тимова следећих националних, билатералних или међународних пројеката:

1. „Оцењивање наставне праксе у ИТ области у Португалији и Србији засновано на техникама за анализу и истраживање података“, Билатерални пројекат Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и Фондације за науку и технологију Републике Португалије: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, Србија и Универзитет Мињо, Брага, Португалија, 2018-2019.
2. Horizon2020 пројекат “FlexiGroBots - Flexible robots for intelligent automation of precision agriculture operations”, 2021 - 2023.
3. Horizon Europe пројекат “UDENE – Urban Development Explorations using Natural Experiments”, HORIZON-EUSPA-2022-SPACE, 2024 – данас.
4. Horizon Europe пројекат “URBANE – One Health approaches to support agroecological transformation of peri-urban farming”, 2022 - данас.
5. “Алгоритми и методи за оптимизацију распореда садње култура”, Покрајински секретаријат за науку АП Војводине, Ознака пројекта: 142-451-2261/2022-01/02, 2022 - 2023.

### 1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Максим Лалић поседује формално образовање у области рачунарства и аутоматике, односно рачунарских наука, информационих система и технологија, као и вишегодишње искуство у раду у области примене информационих система и технологија и оптимизационих метода у научним и примењеним истраживачким пројектима. Својим научно истраживачким радом, објављивањем научних радова и активним учествовањем на бројним конференцијама, постигао је значајан допринос у предметној области истраживања.

Обједињујући доприносе у областима развоја софтвера и информационих система, анализе података и операционих истраживања и посебно примене техника и метода операционих истраживања и машинског учења у контексту прецизне пољопривреде, закључујемо да је кандидат Максим Лалић у потпуности квалификован и има потребно искуство за самосталан истраживачки рад на предложеној теми докторске дисертације „Систем за предикцију ефективних и ефикасних сценарија сетве и жетве пољопривредних култура“.

## 2. Предмет и циљ истраживања

Основни циљ предложеног истраживања јесте подизање ефективности и ефикасности пољопривредне производње путем систематичног, прецизног и флексибилног планирања

сетве и жетве пољопривредних култура. Ефективност производње се изражава укупним приносом након жетве, а биће унапређена жетвом усева на врхунцу њихове зрелости и избегавањем изражених скокова у производњи који могу да узрокују пропадање летине. Ефикасност производње се изражава бројем радних седмица сетве и жетве, а биће унапређена прецизним планирањем радних активности. Додатно, усклађивање распореда жетви са забележеним временским приликама омогућиће прецизније планирање и лакше спровођење радних активности пољопривредника.

Систематично и прецизно планирање сетве и жетве биће остварено у неколико главних корака. На почетку је потребно понудити прелиминарни распоред ефективне и ефикасне жетве. Прелиминарни план жетве служиће као оријентир при даљем краткорочном планирању текућих активности. Након тога потребно је понудити план сетве усклађен са прелиминарним планом жетве, тако да се очекивани моменат оптималне зрелости усева поклапа са планираним термином његове жетве. Упаривање термина сетви и жетви треба да буде засновано на процењивању акумулиране количине степени ефективних температура (СЕТ, енгл. growing degree unit, GDU) у задатом временском оквиру, на основу чега се утврђује временски оквир током ког је извесно сазревање усева [1, 2]. Након сетве је потребно континуирано пратити метеоролошке прилике и акумулацију СЕТ на парцелама. У случају када акумулирани СЕТ буду знатно виши или нижи од очекиваних, те очекивани термини сазревања усева буду ранији или каснији од планираних, потребно је спровести адаптацију жељеног распореда жетве. Новонастали распоред жетве треба да омогући ефективну и ефикасну жетву у складу са забележеним метеоролошким приликама, при чему промене уведене новим распоредом треба да буду што мање.

Истраживање предложено у приступном раду пружиће концепцијске основе за развој решења којим се наведени циљеви реализују и остварују технолошки предуслови за достизање основног циља, подизања ефективности и ефикасности пољопривредне производње. Током различитих фаза предстојећег истраживања биће предложен дизајн наменских алгоритама којима се реализују кључни кораци у планирању ефективне и ефикасне сетве и жетве. Развијени наменски алгоритми могу да буду интегрисани у јединствени систем за подршку у одлучивању кроз који би њихов рад и интеракција са корисником били координисани. Пољопривредници би водили евиденцију о својим парцелама, културама чија садња се планира, обиму радних активности које могу да буду спроведене на седмичном нивоу и количини летине која може бити адекватно транспортована, складиштена и обрађена. Пре сетве, пољопривредници систем користе за добијање плана сетве усаглашеног са прелиминарним планом жетве. Спровођење таквог плана резултује ефикасном сетвом и ствара повољне предуслове за жетву са високим приносом и без уских грла. Након сетве, пољопривредници користе систем за праћење временских прилика и усклађивање распореда жетви спрам тренутно акумулиране СЕТ на њиховим парцелама. Усклађивање плана жетве спрам забележених временских прилика омогућава пољопривредницима да у сваком моменту поседују детаљан и поуздан план својих жетвених активности, што им даље олакшава спровођење активности у време жетве.

Интегрисани систем за планирање ефективних и ефикасних распореда СЕТви и ЖЕТви усева (ИСЕТЖЕТ), чији развој је предмет предложене докторске студије, састоји се од неколико кључних компоненти. Природан редослед развоја датих компоненти поклапа се са редоследом њихове употребе током једног производног циклуса.

Процес планирања отпочиње коришћењем наменског Алгоритма Прелиминарног Планирања Жетве Усева (АППЖУ). Под претпоставком жетве сваког усева на врхунцу његове зрелости, АППЖУ нуди распореде жетви којима се избегавају скокови у производњи и минимизује количина прекомерне летине чије пропадање је извесно услед ограничења обраде и складиштења. Осим тога, прелиминарни распоред своди број седмица жетве на најмању могућу меру. Ради генерисања таквих распореда биће формулисан двокритеријумски

оптимизациони проблем, у којем су критеријуми количина прекомерне летине и број седмица жетве.

Алгоритам Процене Развоја Усева (АПРУ) биће коришћен за процену подобности развојног периода усева од момента сетве до момента његове жетве. Алгоритам ће обухватити предиктивни модел за процену будућих вредности СЕТ на парцелама. Вишедневно предвиђање температурних прилика, и последично СЕТ, важи за тежак проблем [3, 4, 5]. Из тог разлога, биће развијен предиктивни статистички модел који процене за посматрани дан доноси на основу забележених температурних просека за дати датум или датумски оквир. Додатна употребна вредност напреднијих предиктивних модела биће оцењена упоредим развојем модела рекурентне неуралне мреже (енгл. Recurrent Neural Network, RNN). Одабрани предиктивни модел биће надаље коришћен за процену периода потребног за акумулацију довољне количине СЕТ за пуно сазревање усева.

Моменти сетви усева биће одређени посредством Алгоритма Планирања Сетве Усева (АПСУ). Узевши у обзир прелиминарне датуме жетви добијене употребом АППЖУ и процене адекватности развојних периода добијене употребом АПРУ, АПСУ ће вршити планирање сетве у циљу омогућавања жетве усева на врхунцу њихове зрелости. Такво планирање сетве биће могуће на основу двокритеријумског оптимизационог проблема, у којем су критеријуми количина очекиваног крајњег приноса и број седмица сетве.

Након спровођења сетве, по потреби ће бити доступан Алгоритам Адаптивног Планирања Жетве Усева (ААПЖУ). Овај алгоритам у обзир узима познате моменте сетви усева, метеоролошке податке забележене од тада и процену метеоролошких прилика за предстојећи период, и на основу тога прерачунава оптималне термине жетви усева. Алгоритам коригује распореде жетви у циљу утврђивања распореда којим се жетва врши на врхунцу зрелости усева у складу са реализованим метеоролошким приликама. Алгоритам решава трокритеријумски оптимизациони проблем. Осим максимизације крајњег приноса који је могуће адекватно обрадити и складиштити, као и спровођења жетве у најмањем могућем броју седмица, алгоритам ће настојати да понуди распореде са најмањим могућим одступањем у односу на претходни распоред и тиме унесе стабилност у оперативно планирање. Овај алгоритам је могуће користити у било којем моменту након сетве ради добијања распореда усаглашеног са метеоролошким приликама забележеним током минулог периода.

Употреба оваквог система за подршку одлучивању позитивно би утицала на повећање приноса и смањење пропадања летине, и тиме унапредила пословање пољопривредника. Повећање ефикасности, тј. смањење броја седмица потребних за спровођење сетве и жетве могло би да има више позитивних последица. Осим што би смањило издатке, оно може позитивно да утиче и на најам и организацију радника и радних активности, као и на лакше изнајмљивање или боље дељење радних машина. Осим материјалних и мерљивих доприноса, сам процес планирања сетве и жетве био би поједностављен, уједначен, транспарентнији, прецизнији и проактивнији, чиме се олакшава планирање и спровођење радних активности.

У наставку следи листа библиографских извора који су већ коришћени током досадашњег истраживања и израде приступног рада, као и оних за које се очекује њихово коришћење током даљег истраживања:

- [1] B. Battel, "Understanding growing degree-days", Michigan State University Extension, url: [https://www.canr.msu.edu/news/understanding\\_growing\\_degree\\_days](https://www.canr.msu.edu/news/understanding_growing_degree_days), [Приступано: август 2024]
- [2] Tomislav Dvorski, "Čemu služe temperature sume u vinogradarstvu?", url: [https://pinova-meteo.com/hr\\_HR/blog/sto-su-to-i-cemu-sluze-sume-efektivnih-temperatura](https://pinova-meteo.com/hr_HR/blog/sto-su-to-i-cemu-sluze-sume-efektivnih-temperatura), [Приступано: фебруар 2024.]
- [3] J. Cifuentes, G. Marulanda, A. Bello, J. Reneses, "Air Temperature Forecasting Using Machine Learning Techniques: A Review", *Energies*, vol. 13, issue 16, 2020.

- [4] M. Holmstrom, D. Liu, C. Vo, "Machine Learning Applied to Weather Forecasting", Stanford University, 2016
- [5] L. Chen, B. Han, X. Wang, J. Zhao, W. Yang, Z. Yang, "Machine Learning Methods in Weather and Climate Applications: A Survey", *Applied Sciences*, vol. 13, no. 12019, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app132112019>
- [6] H. P. Williams, "Model Building in Mathematical Programming", 5th ed., Wiley & Sons, ISBN: 978-1-118-44333-0
- [7] T. Fox, "Global food waste not, want not", Institute of Mechanical Engineers, IME, 2013, url: <https://www.imeche.org/policy-and-press/reports/detail/global-food-waste-not-wantnot> [Пристапано: децембар 2022.]
- [8] J. Gustavsson, C. Cederberg, U. Sonesson, R. v. Otterdijk, A. Meybeck, "Global food losses and food waste", Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011, url: <https://www.fao.org/3/mb060e/mb060e00.htm> [Пристапано: август 2024.]
- [9] A. Polgár, Z. Kovács; V. E. Fodor, A. Bidló, "Environmental life-cycle assessment of arable crop production technologies compared to different harvesting work systems in short rotation energy plantations", *Acta Silvatica Et Lingaria Hungarica*, vol. 15, issue. 2, pp. 55-68, 2020, doi: 10.2478/aslh.2019.0005
- [10] U. Meier, "Growth stages of mono-and dicotyledonous plants", Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, 2nd edition, 2001.
- [11] J. Bachmann, "Scheduling vegetable planting for continuous harvest", ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service, 2008. url: <https://attra.ncat.org/publication/scheduling-vegetable-plantings-for-continuous-harvest>, [Пристапано: август 2024]
- [12] S. K. Lowder, J. Skoet, T. Raney, "The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide", *World Development*, vol. 87, pp. 16-29, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>
- [13] L. Piet, "Recent trends in the distribution of farm sizes in the EU", HAL open science, url: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01512245>, [Пристапано: август 2024]
- [14] University of Illinois Extension, "Corn", url: <https://web.extension.illinois.edu/veggies/corn.cfm>, [Пристапано: децембар 2022]
- [15] R. Tsimba, G. O. Edmeades, J. P. Millner, P. D. Kemp, "The effect of planting date on maize grain yields and yield components", *Field Crops Research*, vol. 150, pp. 135-144, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.028>
- [16] G. A. Bollero, D. G. Bullock, S. E. Hollinger, "Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area and plant development", *Agronomy Journal*, vol. 88, issue. 3, pp. 385-390, doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800030005x>
- [17] M. W. Hankinson, L. E. Lindsey, S. W. Culman, "Effect of planting date and starter fertilizer on soybean grain yield", *Crop Forage & Turfgrass Management*, vol. 1, issue. 1, doi: 10.2134/cftm2015.0178
- [18] FAO. "Good cropping practices and technologies to reduce the impact of natural hazards on maize production in Serbia", Rome, 2021.
- [19] A. D. Indriyanti, D. R. Prehanto, G. S. Permadi, C. Mashuri, T. Z. Vitadiar, "Using Fuzzy Time Series (FTS) and Linear Programming for Production Planning and Planting Pattern Scheduling Red Onion", *E3S Web of Conferences*, vol. 125, 2019, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912523007>
- [20] R. Á. R. Junqueira, R. Morabito, "Modeling and solving a sugarcane harvest front scheduling problem", *International Journal of Production Economics*, vol. 213, pp. 150-160, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.009>
- [21] H. O. Florentino, C. Irawan, A. F. Aliano, D. F. Jones, D. R. Canntane, J. J. Nervis, "A multiple objective methodology for sugarcane harvest management with varying maturation periods",

- Annals of Operations Research, vol. 267, pp. 153-177, 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2568-2>
- [22] M. Waongo, P. Laux, H. Kustmann, "Adaptation to climate change: The impacts of optimized planting dates on attainable maize yields under rainfed conditions in Burkina Faso", *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 205, pp. 23-39, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.006>
  - [23] Y. Zhang, J. M. Swaminathan, "Improved Crop Productivity Through Optimized Planting Schedules", *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 22, no. 6, 2020, doi: <https://doi.org/10.1287/msom.2020.0941>
  - [24] M. E. Cervantes-Gaxiola, E. F. Sosa-Niebla, O. M. Hernández-Calderón, J. M. PonceOrtega, J. R. Ortiz-del-Castillo, E. Rubio-Castroa, "Optimal crop allocation including market trends and water availability", *European Journal of Operational Research*, vol.285, issue. 2, pp. 728-739, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.012>
  - [25] P. Jarumaneeroj, N. Laosareewatthanakul, R. Akkerman, "A multi-objective approach to sugarcane harvest planning in Thailand: Balancing output maximization, grower equity, and supply chain efficiency", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 154, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107129>
  - [26] P. H. Kasih, A. Rusdiansyah, "Model of plant schedules for organic vegetables considering crop rotation rules to reduce pesticide usage", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 472, doi: 10.1088/1755-1315/472/1/012045
  - [27] T. Neto, M. Constantino, I. Martins, J. P. Pedroso, "A multi-objective Monte Carlo tree search for forest harvest scheduling", *European Journal of Operational Research*, vol. 282, issue. 3, pp. 1115-1126, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.09.034>
  - [28] N. Naderializadeh, K. A. Crowe, M. Rouhafza, "Solving the integrated forest harvest scheduling model using metaheuristic algorithms", *Operational Research*, vol. 22, pp.2437-2463, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s12351-020-00612-3>
  - [29] K. J. Boote, J. W. Jones, N. B. Pickering, "Potential Uses and Limitations of Crop Models", *Agronomy Journal*, vol. 88, no. 5, pp. 704-716, 1996, doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800050005x>
  - [30] S. S. Sajid, G. Hu, "Optimizing Crop Planting Schedule Considering Planting Window and Storage capacity", *Frontiers in Plant Science*, 13:762446, 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.762446>
  - [31] J. Ansarifar, F. Akhavizadegan, L. Wang, "Scheduling Planting time Through Developing an Optimization Model and Analysis of Time Series Growing Degree Units", *arXiv*, 2022, doi: <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2207.00745>
  - [32] N. Obrenović, Selin Ataç, Stefano Bortolomiol, Sanja Brdar, Oskar Marko, Vladimir Crnojević, "The Crop Plant Scheduling Problem", *International Conference on Optimization and Decision Science*, ODS 2022, Florence, Italy, 2022.
  - [33] S. Ropke, D. Pisinger, "An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows", *Transportation Science*, vol. 40, issue. 4, pp. 455-472, 2006., doi: <https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0135>
  - [34] N. Metropolis, A. W. Rosenbluth, M. N. Rosenbluth, A. H. Teller, E. Teller, "Equation of State Calculations by Fast Computing Machines", *The Journal of Chemical Physics*, vol. 21, pp. 1087-1092, 1953, doi: 10.1063/1.1699114
  - [35] S. Binder, Y. Maknoon, M. Bierlaire, "Efficient exploration of the multiple objectives of the railway timetable rescheduling problem", *17th Swiss Transport Research Conference, STRC2017, Monte Verità / Ascona, Switzerland*, 2017.
  - [36] S. T. W. Mara, R. Norcahyo, P. Jodiawan, L. Lusiantoro, A. P. Rifai, "A survey of adaptive large neighborhood search algorithms and applications", *Computers and Operations Research*, vol. 146, 2022.
  - [37] R. Lutz, "Adaptive Large Neighborhood Search", *Bachelor thesis at Ulm University*, Ulm University, 2014.

- [38] R. Turkeš, K. Sörensen, L. M. Hvattum, "Meta-analysis of metaheuristics: Quantifying the effect of adaptiveness in adaptive large neighborhood search", *European Journal of Operational Research*, vol. 292, pp. 423-442
- [39] E. Zitzler, "Evolutionary algorithms for multiobjective optimization: Methods and applications", Ph.D. dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, ETH, 1999
- [40] S. Subaedah, E. Edy, K. Mariana, "Growth, yield and sugar content of diferent varieties of sweet corn and harvest time", *International Journal of Agronomy*, vol. 2021, 2021, doi: <https://doi.org/10.1155/2021/8882140>
- [41] P. R. Thomison, R. W. Mullen, R. E. Lipps, T. Doerge, A. B. Geyer, "Corn response to harvest date as afected by plant population and hybrid", *Agronomy Journal*, vol. 103, issue. 6, pp. 1765-1772, doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.014746>
- [42] W. J. Sacks, D. Deryng, J. A. Foley, N. Ramannkuty, "Crop planting dates: an analysis of global patterns", *Global Ecology and Biogeography*, vol. 19, issue. 5, pp. 607-620
- [43] P. Miller, W. Lanier, S. Brandt, "Using growing degree days to predict plant stages", Montana State University Extension Services, MT200103AG
- [44] L. Ahmad, R. Habib Kanth, S. Parvaze, S. Sheraz Mahdi, "Growing degree days to forecast crop stages", *Experimental agrometeorology*, 2017, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69185-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69185-5_14)
- [45] Syngenta Crop Challenge in Analytics 2021, url: <https://www.ideaconnection.com/syngenta-crop-challenge/challenge.php>, [Приступано: август, 2024.]
- [46] Z. Khalilzadeh, L. Wang, "An MILP Model for Corn Planting and Harvest Scheduling Considering Storage Capacity and Growing Degree Units", *bioRxiv*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1101/2021.02.06.430062>
- [47] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, "Optimization by Simulated Annealing", *Science*, vol. 220, no. 4598, pp. 671-680, 1983
- [48] N. M. Cid-Garcia, A. G. Bravo-Lozano, Y. A. Rios-Solis, "A crop planning and realtime irrigation method based on site-specific management zones and linear programming", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 107, pp. 20-28, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.06.002>
- [49] R. A. Sarker, S. Talukdar, A. F. M. A. Haque, "Determination of optimaum crop mix for crop cultivation in Bangladesh", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 21, issue. 10, pp. 621-632, 1997, doi: [https://doi.org/10.1016/S0307-904X\(97\)00083-8](https://doi.org/10.1016/S0307-904X(97)00083-8)
- [50] J. L. De Bruin, P. Pedersen, "Soybean Seed Yield Response to Planting Date and Seeding Rate in the Upper Mid-west", *Agronomy Journal*, vol. 100, issue. 3, pp. 696-703, doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0115>
- [51] T. A. N. Hörbe, T. J. C. Amado, A. O. Ferreira, P. J. Alba, "Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil", *Precision Agriculture*, vol. 14, pp. 450-465, 2013, doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-013-9308-7>
- [52] A. Santini, E. Bartolini, M. Schneider, V. Greco de Lemos, "The crop growth planning problem in vertical farming", *European Journal of Operational Research*, vol. 294, issue. 1, pp. 377-390, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.01.034>
- [53] M. Varas, F. Basso, S. Maturana, D. Osorio, R. Pezoa, "A multi-objective approach for supporting wine grape harvest operations", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 145, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106497>
- [54] J. C. Ferrer, A. M. Cawley, S. Maturana, S. Toloza, J. Vera, "An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations", *International Journal of Production Economics*, vol. 112, issue. 2, pp. 985-999, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.020>
- [55] JP. M. Arnaout, M. Maatouk, "Optimization of quality and operational costs through improved scheduling of harvest operations", *International Transactions in Operational Research*, vol. 17, issue. 5, pp. 595-605, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2009.00740.x>

- [56] C. Bohle, S. Maturana, J. Vera, "A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling", *European Journal of Operational Research*, vol. 200, issue. 1, pp. 245-252, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.12.003>
- [57] E. Zitzler, K. Deb, L. Thiele, "Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: empirical results", *Evolutionary Computation*, vol. 8, issue. 2, pp. 173–195, 2000, doi: [10.1162/106365600568202](https://doi.org/10.1162/106365600568202)
- [58] J. Knowles, D. Crone, "The Pareto archived evolution strategy: a new baseline algorithm for Pareto multiobjective optimization", *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation*, vol. 1, pp. 98-105, doi: [10.1109/CEC.1999.781913](https://doi.org/10.1109/CEC.1999.781913)
- [59] L. Jourdan, D. Corne, D. Savić, G. Walters, "Preliminary Investigation of the 'Learnable Evolution Model' for Faster/Better Multiobjective Water Systems Design", *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization, EMO 2005*, pp. 841-855, 2005, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-31880-4\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-540-31880-4_58)
- [60] E. Barrena, D. Canca, L. C. Coelho, G. Laporte, "Single-line rail rapid transit timetabling under dynamic passenger demand", *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 70, pp. 134-150, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2014.08.013>
- [61] T. Robenek, S. S. Azadeh, Y. Maknoon, M. Bierlaire, "Hybrid cyclicity: Combining the benefits of cyclic and non-cyclic timetables", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 75, pp. 228-253, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.12.015>
- [62] D. Canca, A. De-Los-Santos, G. Laporte, J. A. Mesa, "An adaptive neighborhood search metaheuristic for the integrated railway rapid transit network design and line planning problem", *Computers & Operations Research*, vol. 78, pp. 1-14, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.08.008>
- [63] S. T. W. Mara, R. Norcahyo, P. Jodiawan, L. Lusiantoro, A. P. Rifai, "A survey of adaptive large neighborhood search algorithms and applications" *Computers & Operations Research*, vol. 146, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2022.105903>
- [64] R. Pitakaso, K. Sethanan, "Adaptive large neighborhood search for scheduling sugarcane inbound logistics equipment and machinery under a sharing infeld resource system", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 158, pp. 313-325, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.001>
- [65] N. Praseeratasang, R. Pitakaso, K. Sethanan, S. Kaewman, P. Golinska-Dawson, "Adaptive Large Neighborhood Search for a Production Planning Problem Arising in Pig Farming", *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, vol. 5, no.2, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/joitmc5020026>
- [66] J. Scholz, "Spatial Adaptive Large Neighborhood Search for Wood Supply Chain Optimization", *International Journal of Applied Geospatial Research*, vol. 6, issue 4, 2015, doi: [10.4018/ijagr.2015100102](https://doi.org/10.4018/ijagr.2015100102)
- [67] R. Masson, N. Lahrichi, L.-M. Rousseau, "A two-stage solution method for the annual dairy transportation problem", *European Journal of Operational Research*, vol. 251, issue 1, pp. 36-43, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.10.058>
- [68] A. Suppapitnarm, K. A. Sefen, G. T. Parks, P. J. Clarskson, "A simulated annealing algorithm for multi-objective optimization", *Engineering Optimization*, vol. 33, pp. 59-85, 1999, doi: <https://doi.org/10.1080/03052150008940911>
- [69] Tokgöz, Alper, and Gözde Ünal. "A RNN based time series approach for forecasting turkish electricity load." 2018 26th Signal processing and communications applications conference (SIU). IEEE, 2018. doi: [10.1109/SIU.2018.8404313](https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404313)
- [70] S.J. Taylor and B. Letham. Forecasting at scale. *The American Statistician*, 72(1):37–45, 2018. doi: [10.7287/peerj.preprints.3190v2](https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3190v2)
- [71] Medsker, Larry R., and L. C. Jain. "Recurrent neural networks." *Design and Applications*, 5 (2001): 64-67.
- [72] Hochreiter, Sepp, and Jürgen Schmidhuber. "Long short-term memory." *Neural computation* 9.8 (1997): 1735-1780. doi: [10.1162/neco.1997.9.8.1735](https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735)

[73] E-G. Talbi, "Metaheuristics: from design to implementation", John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-470-27858-1

### 3. Полазне хипотезе

Визија интегрисаног система за препознавање перспективних сценарија сетве и жетве, а који резонује на основу података о парцелама и локалним временским приликама, почива на претпоставкама, преузетим из проблемског домена. На бази досадашњег истраживања литературе и тих претпоставки, могуће је извести полазне хипотезе истраживања, чија ће валидност бити утврђена до краја предложеног истраживања.

- Х0. Процес формирања распореда сетве и жетве могуће је моделовати и квалитативно унапредити иновативним методама рачунарских наука и операционих истраживања.
  - Х1. Могуће је формулисати међусобно зависне оптимизационе проблеме прелиминарног планирања жетве, планирања сетве и адаптивног планирања жетве.
  - Х2. Корекције и модификације распореда сетви и жетви могу се формализовати у виду хеуристичких оператора суседства распореда.
  - Х3. Употребом предиктивног статистичког модела или модела машинског учења, може се дефинисати метод одређивања близу-оптималног периода раста и развоја усева.

Х0 представља најважнију и основну хипотезу истраживања будући да на њој почива развој предложених наменских алгоритама и целокупног система. Ова хипотеза захтева могућност моделовања тражених распореда скуповима типизираних варијабли одлучивања. Добијене распореде треба да буде могуће оценити у погледу њихове ефективности и ефикасности. Валидност хипотезе Х0 почива на неколико изведених хипотеза које се односе на могућности реализације наменских компоненти система.

Могућност интеграције наменских оптимизационих компоненти у јединствен систем одлучивања наглашена је у хипотези Х1. Рад ИСЕТЖЕТ захтева фундаменталну и формалну усаглашеност међурезултата наменских оптимизационих алгоритама. Прелиминарни распоред жетве креира АППЖУ, а користи АПСУ. АПСУ формира план сетве, на који се даље при свом извршавању референцира ААПЖУ.

Могућност перформантне претраге распореда у циљу проналажења ефективних и ефикасних распореда наглашена је у хипотези Х2. Корекције и модификације распореда биће вршене као секвенце елементарних модификационих корака. Дати елементарни модификациони кораци представљају основу за формирање оператора суседства који ће бити обухваћени метахеуристичким процедурама претраге.

Могућност правилног повезивања датума сетве и жетве посејаних усева наглашена је у хипотези Х3. Искуствено је познато да се временске прилике угрубо одвијају по извесним шаблонима. Процењивање близу-оптималног временског интервала потребног за сазревање усева засниваће се на примени предиктивног статистичког модела, који треба да буде способан за препознавање метеоролошких шаблона.

### 4. Научне методе истраживања

Током истраживања, предвиђена је употреба различитих научних и стручних метода и поступака за решавање конкретних изазова. Истраживање ће отпочети прегледом стања у области у циљу препознавања и анализе сличних или повезаних проблема, те уочавања карактеристика производног окружења, формулисаних модела и метода њиховог решавања.

Централно место при развоју модела распоређивања заузеће метода математичког моделовања [6]. Предвиђена је формулација три оптимизациона модела. Сваки од развијених модела треба да буде оспособљен за препознавање главних чиниоца производног система, њихово апстраховање, типизацију и доделу неопходних атрибута, а сваком атрибуту за доделу одговарајућег домена и семантике.

Претрага простора распореда сетви и жетви метахеуристичким процедурама захтева дизајнирање хеуристичких оператора одређивања суседства. Анализа проблемског домена која је неопходна у овој фази подразумева распознавање елементарних и интуитивних корака модификације распореда сетви и жетви. Након тога, потребно је дизајнирати алгоритме који емулирају те интуитивне кораке.

Перформансе рада оптимизационих процедура и предиктивних модела биће оцењене анализом података о резултатима њиховог рада, применом дескриптивне статистичке анализе, и визуализацијом података. Перформансе метахеуристичких оптимизационих процедура биће оцењене над инстанцама које ће за ту намену бити синтетисане. Добијена решења биће упоређена са решењима предложеним од стране референтних, конструкционих хеуристика. Обучавање и оцена предиктивних модела биће обављени над историјским метеоролошким подацима, обухваћеним са више парцела са територије Војводине. Временске серије са различитих парцела биће разврстане у обучавајући и тестни скуп података. Након спроведеног обучавања, предиктивни модели биће оцењени на основу метрике која ће бити наменски развијена за потребе истраживања предложеног у оквиру ове докторске дисертације.

## 5. Очекивани научни допринос

Најзначајнији допринос ове докторске дисертације биће развој међусобно компатибилних математичких модела планирања сетве и жетве, као и унапређење пољопривредне производње путем прецизног, поузданог, систематичног и транспарентног планирања производње. Доприноси овог истраживања могу се сврстати у теоријско-методолошке у области операционих истраживања, развојне доприносе у области софтверског инжењерства и вештачке интелигенције, апликативне доприносе у области прецизне пољопривреде, а употреба планираног система резултовала би и одређеним друштвеним доприносима.

Први теоријско-методолошки допринос овог истраживања односи се на дефинисање међусобно компатибилних оптимизационих модела за проблеме одређивања датума сетве и жетве пољопривредних култура са циљем повећања ефикасности и ефикасности производње при ограничењима произашлих из технолошко-логистичких лимитација у фазама након жетве. Предложени модели имају потенцијал да буду интегративне компоненте сличних наменских система и полазне тачке будућих сродних истраживања. На пример, дизајнирани модели могу бити коришћени у склопу система за међусобно условљено планирање сетве, жетве као и осталих међуфаза у производном циклусу хране. Предложени модели могу представљати и полазну основу за развој модела ужег домена примене, што могу бити модели за планирање вишеструке садње (енгл. *multiple cropping*) или модели који додатно разматрају карактеристике окружења, радне технике или специфичности у узгојном процесу култура.

Други теоријско-методолошки допринос овог истраживања представља дизајн хеуристичких процедура за креирање висококвалитетних распореда сетви и жетви. Хеуристички оператори треба да буду једноставни и интуитивно схватљиви као елементарни кораци у модификацијама распореда. Сваки од хеуристичких оператора треба да буде усмерен на промовисање једне жељене карактеристике распореда, при чему скуп жељених карактеристика треба претходно да буде утврђен. Тако дизајнирани оператори могу се поново користити у свом оригиналном или дорађеном облику као компоненте будућих алгоритама и система у овој области.

Осим теоријско-методолошких, ово истраживање треба да оствари развојне доприносе у сфери софтверског инжењерства и вештачке интелигенције. Током истраживања биће имплементиране софтверске компоненте оптимизационих модела, метахеуристичких метода и предиктивних модела. Додатно, током истраживања биће дизајниран и имплементиран систем одлучивања који оркестрира рад засебних наменских алгоритама и омогућава њихову интеракцију са корисницима. Интегрисани систем може надаље бити коришћен у целости и у свом изворном облику, а може доћи до задржавања основе система уз измене постојећих или додавање нових компоненти. Такође, биће могуће користити израђени систем као основу за развој других система сличних намена и карактеристика.

Апликативни доприноси у сфери прецизне пољопривреде одразиће се првенствено на саме пољопривреднике, кориснике будућег система. Жетвом у моменту оптималне зрелости плода и избегавањем уских грла и пропадања летине пољопривредници су у прилици да повећају своје приносе. Ефикасније планирање радних активности смањује издатке пољопривредника који изнајмљују радну снагу или радну технику. Код пољопривредника који поседују стално ангажовану радну снагу, ефикаснија алокација радних активности омогућава ангажман радника на другим текућим активностима. Употреба наменског система одлучивања доприноси систематичнијем, прецизнијем и поузданијем планирању радних активности на оперативном плану. Такво планирање позитивно утиче на квалитет организације рада, задовољство радника, као и на углед пољопривредног газдинства као послодавца.

Увођење оваквог система одлучивања у ширу употребу остварило би и друштвене доприносе. Унапређење процеса планирања при великом броју парцела олакшаће управљање великим газдинствима и пружити потпору њиховом даљем ширењу. Ефикасније, прецизније и поузданије планирање и боља алокација радних активности омогућиће бољу искористивост радне технике и створити додатни простор за њено дељење, што доноси корист не само великим газдинствима већ и пољопривредној делатности на нивоу друштва, као целине.

## **6. План истраживања и структура рада**

Предложено истраживање подељено је у шест фаза. Након почетне фазе прегледа литературе, наредне четири фазе посвећене су дизајну и развоју различитих наменских алгоритама, који ће бити интегрисани у јединствени систем одлучивања у току последње фазе истраживања. Табела 1 садржи основни план истраживања са наведеним задацима сваке фазе као и активностима које ће бити предузете.

Табела 1. План истраживања по фазама

| ФАЗА ИСТРАЖИВАЊА |                                                          | ЗАДАТАК ФАЗЕ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ПРЕДМЕТ РАДА                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ф1               | Анализа научне литературе                                | Потребно је утврдити домене и домете примене техника и метода операционих истраживања у контексту оптимизације различитих фаза унутар циклуса производње пољопривредних култура.                                                                                                                                                                                     | Потребно је прегледати одређен број научних чланака. Научни радови биће селектовани спрам њихове компатибилности у домену примене, као и у коришћеним методама. Предност при анализи треба дати радовима скоријег датума, упечатљивих резултата као и радовима који произилазе из истраживачко развојног (енг. research and development, R&D) окружења. |
| Ф2               | Развој алгорита прелиминарног планирања жетве усева      | Потребно је дефинисати оптимизациони модел фазе жетве усева при задатим оперативним ограничењима у самој фази жетве, као и при логистичким ограничењима у наредним фазама обраде и складиштења.<br><br>Потребно је развити метахеуристичку оптимизациону процедуру за дати оптимизациони проблем која ће понудити распореде жетве високе ефективности и ефикасности. | Потребно је утврдити спецификацију процеса жетве и на бази дате спецификације понудити оптимизациони модел прелиминарног планирања жетве.<br><br>Након тога треба дизајнирати метахеуристичку оптимизациону процедуру која се ослања на хеуристичке операторе суседства инспирисане елементарним мануелним корацима модификације распореда.             |
| Ф3               | Развој модела за предвиђање акумулације СЕТ на парцелама | Потребно је развити статистички предиктивни модел предстојећих температурних прилика. Употреба сложенијих модела биће размотрена упоредивши референтни модел са моделом                                                                                                                                                                                              | Потребно је имплементирати предиктивни статистички модел који предвиђања минималне и максималне дневне температуре врши на основу температурног просека за дати датум или                                                                                                                                                                               |

|    |                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                   | <p>неуронске мреже са LSTM слојем.</p> <p>Перформансе модела треба упоредити спрам успешности у предвиђању акумулиране СЕТ у току задатог временског интервала.</p>                                                                                                                                                                                                                                  | <p>датумски опсег током претходних година.</p> <p>Након тога треба искористити и прилагодити постојећу, или развити нову неуронску мрежу са LSTM слојем.</p> <p>Успешност модела биће исказана спрам наменске метрике креиране у току ове фазе која указује на поузданост модела при предвиђању акумулиране количине СЕТ за дати период.</p> |
| Ф4 | Развој алгоритма планирања сетве усева            | <p>Потребно је дефинисати оптимизациони модел фазе сетве пољопривредних култура при задатим оперативним ограничењима сетве, узевши у обзир процене приноса усева у односу на периоде њиховог раста и развоја.</p> <p>Потребно је развити метахеуристичку оптимизациону процедуру за дати оптимизациони проблем која ће омогућити тражење распореда сетви који омогућавају жетву високог приноса.</p> | <p>Током ове фазе биће формулисан оптимизациони проблем планирања сетве.</p> <p>Након тога, биће дизајнирани хеуристички оператори суседства метахеуристичке оптимизационе процедуре који су инспирисани елементарним корацима мануелне модификације распореда.</p>                                                                          |
| Ф5 | Развој алгоритма адаптивног планирања жетве усева | <p>Потребно је дефинисати трокритеријумски оптимизациони модел фазе жетве пољопривредних култура који врши корекцију полазног плана жетве у складу са забележеним температурним приликама.</p> <p>За дефинисани оптимизациони модел је</p>                                                                                                                                                           | <p>Први корак у овој фази је формулација трокритеријумског оптимизационог проблема жетве, који у разматрање узима претходни план жетве и очекиване термине сазревања усева.</p> <p>Након тога ће за формулисани модел бити дизајнирани хеуристички оператори суседства по</p>                                                                |

|    |                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                               | потребно развити метахеуристичку оптимизациону процедуру ради добијања жетвених распореда којима се, уз минималне модификације полазног распореда, очувава висок принос усева и избегавају нагли скокови у производњи.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | узору на елементарне кораке у мануелној модификацији распореда.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Ф6 | Интеграција прототипа система | Потребно је предложити архитектуру прототипа система за подршку у планирању сетви и жетви који интегрише компоненте развијене током претходних фаза. Осим наменских компоненти, систем треба да поседује базу података. Интеракција између клијента, наменских компоненти система и базе података могућа је посредством различитих процедура. Дате процедуре треба да осигуравају валидност улазних података, омогућавају приступ и управљање подацима, складиштење резултата рада наменских алгоритама, и усклађују комуникацију између различитих модула. | У овој фази биће формулисана архитектура прототипа ИСЕТЖЕТ и пројектована његова база података.<br><br>Након тога ће прототип система бити имплементиран.<br><br>У оквиру предложеног система потребно је имплементирати процедуре за валидацију корисничких уноса, периодично освежавање метеоролошких података и предиктивног модела, као и за посредовање у комуникацији између функционалности наменских модула и усклађивање формата њихових међурезултата. |

Активности по фазама истраживања биће спроведене у редоследу у којем су наведене у Табели 1, што се поклапа и са редоследом употребе наменских алгоритама у току производног циклуса. Активности по фазама биће реализоване доминантно секвенцијално, без значајнијих хронолошких преклапања између активности различитих фаза. Већина преклапања у ангажовању односи се на корективно усклађивање резултата из претходних фаза са захтевима уоченим у току актуелне фазе. Табела 2 даје приказ гантаграма планираних активности по фазама. Наведени месеци означавају човек-месеце ефективног ангажмана, а не календарске месеце, при чему је процена да сваки човек-месец може ефективно да траје око два календарска месеца. У Табели 2, црном бојом су обележена места доминантног ангажовања, док су сивом означена места потенцијалног комплементарног или корективног ангажовања у претходним фазама истраживања.

Табела 2. Хронолошки план реализације истраживања

| Фаза истраживања | Месец истраживања |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                  | 1                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| $\Phi 1$         |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $\Phi 2$         |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $\Phi 3$         |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $\Phi 4$         |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $\Phi 5$         |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| $\Phi 6$         |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

По окончању истраживачких активности по наведеним фазама, уследиће писање докторске дисертације. Планирана докторска дисертација обухватиће два теоријска поглавља. У првом поглављу биће приказане теоријске основе из области операционих истраживања, вишекритеријумског одлучивања и машинског учења, у мери потребној за разумевање текста. У другом поглављу биће дат критички преглед литературе коришћене приликом истраживања.

Свака од развојних фаза предстојећег истраживања биће засебно документована у склопу докторске дисертације. Погодљива у којима ће бити елабориране фазе  $\Phi 2$ ,  $\Phi 4$  и  $\Phi 5$  садржаће формулације математичких модела, описе хеуристичких оператора развијених у склопу алгоритама претрага решења, и резултате испитивања рада алгорита. Погодљиве које описује фазу  $\Phi 3$  садржаће увид у коришћени скуп података, разматране предиктивне методе и метрику коришћену за поређење предиктивних метода. Аспект интеграције наменских компоненти у прототип система одлучивања биће приказан у засебном поглављу, у којем ће детаљно бити елаборирана архитектура система, шема базе података, и ток интеракције са системом, заједно са током обраде корисничких захтева унутар система.

У складу са наведеним, у наставку је дат предлог структуре елабората предложене докторске дисертације:

## **1. Увод**

- 1.1. Мотивација и проблем истраживања
- 1.2. Истраживачке хипотезе
- 1.3. Циљ истраживања
- 1.4. Преглед развијеног решења
- 1.5. Доприноси и резултати истраживања
- 1.6. Преглед структуре рада

## **2. Теоријске основе**

- 2.1. Метакеуристичке оптимизационе процедуре
- 2.2. Вишекритеријумска оптимизација
- 2.3. Технике и методе машинског учења за предвиђање временских серија

## **3. Методологија истраживања**

- 3.1. Фазе истраживања
- 3.2. Методе развоја оптимизационих модела
- 3.3. Методе оцењивања развијених модела

## **4. Преглед литературе**

- 4.1. Примена метода операционих истраживања у планирању сетве и жетве
- 4.2. Примена техника машинског учења у предвиђању температурних прилика

## **5. Развој алгоритма прелиминарног планирање жетве усева**

- 5.1. Оптимизациони модел прелиминарног планирања жетве усева
- 5.2. Метакеуристичка процедура претраге прелиминарних распореда жетви
- 5.3. Анализа и оцена рада алгоритма прелиминарног планирања жетве усева

## **6. Развој модела за предвиђање СЕТ на парцелама**

- 6.1. Опис скупа података
- 6.2. Метод предвиђања акумулације СЕТ
- 6.3. Метрика поређења предиктивних модела
- 6.4. Анализа и оцена рада предиктивних модела

## **7. Развој алгоритма планирање сетве усева**

- 7.1. Оптимизациони модел планирања сетве усева
- 7.2. Метакеуристичка процедура претраге распореда сетви
- 7.3. Анализа и оцена рада алгоритма планирања сетве усева

## **8. Развој алгоритма адаптивног планирања жетве усева**

- 8.1. Оптимизациони модел адаптивног планирања жетве усева
- 8.2. Метакеуристичка процедура претраге адаптационих распореда жетви
- 8.3. Анализа и оцена рада алгоритма прелиминарног планирања жетве усева

## **9. Развој интегрисаног система одлучивања**

9.1. Архитектура интегрисаног система одлучивања

9.2. Складиштење и обрада података интегрисаног система одлучивања

9.3. Ток рада интегрисаног система одлучивања

## **10. Анализа и оцена рада интегрисаног система одлучивања**

## **11. Закључак и правци будућих истраживања**

11.1. Доприноси истраживања

11.1.1. Теоријски доприноси

11.1.2. Развојни доприноси

11.1.3. Апликативни доприноси

11.1.4. Друштвени доприноси

11.2. Правци будућих истраживања



## 7. Закључак и предлог

На основу констатација датих у овом Реферату, Комисија констатује да кандидат Максим Лалић поседује неопходна знања из области информационих система и технологија, операционих истраживања, машинског учења и софтверског инжењерства за спровођење успешног истраживања на предложеној докторској дисертацији. Комисија сматра да кандидат Максим Лалић испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема истраживања ове докторске дисертације припада ужој научној области Информациони системи, мултидисциплинарна је и актуелна. Добијени резултати допринеће унапређењу пословања пољопривредних субјеката, првенствено у подизању ефективности и ефикасности њихове производње ратарских култура.

На основу наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета организационих наука да прихвати предложену тему и одобри израду пријављене докторске дисертације. Комисија предлаже измену наслова теме предложене докторске дисертације, у односу на наслов приступног рада, тако да гласи “Систем за генерисање ефективних и ефикасних сценарија сетве и жетве пољопривредних култура”.

Комисија предлаже именовање два ментора ове докторске дисертације: 1) др Ивана Луковића, редовног професора Факултета организационих наука, Универзитета у Београду и 2) др Николу Обреновића, научног сарадника Института БиоСенс, Универзитета у Новом Саду.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

---

др Иван Луковић, редовни професор  
Факултет организационих наука  
Универзитет у Београду

---

др Ненад Аничич, редовни професор  
Факултет организационих наука  
Универзитет у Београду

---

др Гордана Савић, редовни професор  
Факултет организационих наука  
Универзитет у Београду

---

др Милош Јовановић, ванредни професор  
Факултет организационих наука  
Универзитет у Београду

---

др Никола Обреновић, научни сарадник  
Институт БиоСенс  
Универзитет у Новом Саду

Београд, 19. 9. 2024.