



**РЕПУБЛИКА СРПСКА
ВЛАДА**

**МИНИСТАРСТВО ЗА НАУЧНОТЕХНОЛОШКИ РАЗВОЈ И ВИСОКО
ОБРАЗОВАЊЕ**

Трг Републике Српске 1, Бања Лука; Тел: 051/338-731; факс: 051/338-856;
www.vladars.rs; e-mail: mnv@mnv.vladars.rs

ПРИЛОГ 2.

КОНКУРС ЗА СУФИНАНСИРАЊЕ НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКИХ ПРОЈЕКТА

ОБРАЗАЦ ПРОЈЕКТНОГ ПРИЈЕДЛОГА

Попуњава подносилац захтјева

1. ОПШТИ ПОДАЦИ

Назив пројекта:	Развој модела и алгоритама вјештачке интелигенције за рјешавање тешких проблема комбинаторне оптимизације
Име и презиме координатора пројекта:	Марко Ђукановић
Институција носилац истраживања: (пун назив и сједиште)	Природно-математички факултет, Универзитет у Бањој Луци

2. ПОДАЦИ О ПРОЈЕКТУ

Област истраживања којој припада пројекат: <u>Природне науке</u> Инжењерство и технологија Медицинске и здравствене науке Пољопривредне науке Друштвене науке Хуманистичке науке
Врста истраживања: <u>Основна</u>

Примијењена

Развојна

Мултидисциплинарна

Шифра научног поља истраживања (Правилник о научним и умјетничким областима, пољима и ужим областима „Службени гласник РС“, бр. 22/09 и 27/10):

- 1.1.0 Математика
- **1.2.0 Рачунарске и информационе науке**
- 1.3.0 Физичке науке
- 1.4.0 Хемијске науке
- 1.5.0 Наука о Земљи и повезане науке о животној средини
- 1.6.0 Биолошке науке
- 1.7.0 Остале природне науке
- 2.1.0 Грађевинарство и архитектура
- 2.2.0 Електротехника, електроника и информационо инжењерство
- 2.3.0 Машинско инжењерство
- 2.4.0 Хемијско инжењерство
- 2.5.0 Материјали
- 2.6.0 Медицинско инжењерство
- 2.7.0 Инжењерство животне средине
- 2.8.0 Биотехнологија животне средине
- 2.9.0 Индустријска биотехнологија
- 2.10.0 Нанотехнологија
- 2.11.0 Остала инжењерства и технологије
- 3.1.0 Основна медицина
- 3.2.0 Клиничка медицина
- 3.3.0 Здравствене науке
- 3.4.0 Медицинска биотехнологија
- 3.5.0 Остале медицинске науке
- 4.1.0 Пољопривредне биљне науке, шумарство и рибарство
- 4.2.0 Наука о животињама и млијеку
- 4.3.0 Ветеринарска наука
- 4.4.0 Пољопривредна биотехнологија
- 4.5.0 Остале пољопривредне науке
- 5.1.0 Психологија
- 5.2.0 Економија и пословање
- 5.3.0 Педагошке науке
- 5.4.0 Социологија
- 5.5.0 Право
- 5.6.0 Политичке науке
- 5.7.0 Друштвено економска географија
- 5.8.0 Медији и комуникације
- 5.9.0 Остале друштвене науке
- 6.1.0 Историја и археологија
- 6.2.0 Језици и књижевност
- 6.3.0 Филозофија, етика и религија
- 6.4.0 Умјетност (умјетност, историја умјетности, умјетност извођења, музика)
- 6.5.0 Остале хуманистичке науке

Шифра друштвено економског циља истраживања (заокружити):

- **13.1 ИР у области природних наука**
- 13.2 ИР у области инжењерства и технологије
- 13.3 ИР у области медицинских и здравствених наука

- 13.4 ИР у области пољопривредних наука
- 13.5 ИР у области друштвених наука
- 13.6 ИР у области хуманистичких наука

3. ОПИС ПРОЈЕКТА ЗА КОЈА СЕ ТРАЖЕ СРЕДСТВА ГРАНТА

У овој секцији образложите пројектне циљеве и начин на који желите да их постићете, а обавезно наведите сљедеће елементе:

- (1) Опишите позадину приједлога пројекта у смислу тренутног стања у одређеној научној области, односно изразите у литератури које ће бити коришћене вашим доприносом – користите харвардски стил цитирања „(Аутор, година издања)“, а на крају ове секције наведите коришћену библиографију;
- (2) Детаљно опишите научну методологију коју ћете користити у реализацији пројектних активности (дефиницију једног или два метода и зашто их користите);
- (3) Дефинишите хипотезе које ћете разрадити током пројекта.

Увод

Проблем комбинаторне оптимизације настоји одредити најбоље могуће рјешење из пребројивог скупа могућности. Класични примјери оваквих проблема су проблем трговачког путника, проблем минималног доминирајућег скупа графа, проблем бојења графа са минималним бројем боја итд. Генерално посматрајући, проблеми комбинаторне оптимизације су тешки за рјешавање, јер не постоји ефикасан (полиномијалан) алгоритам за њихово рјешавање. Код оваквих проблема долази до тзв. комбинаторне експлозије (величине простора претраге) са порастом величине улазних података. Због тога, литература нуди велик спектар апроксимативних метода за рјешавање проблема оваквог типа. Међу њима најпопуларније су тзв. мета-хеуристичке методе. *Мета-хеуристичке методе* (Talbi, 2009) су (апроксимационе) полиномијалне алгоритамске технике чија је улога добијање квалитетних рјешења за рачунарски захтјевне проблеме (тзв. класа NP-тешких проблема) у реалном временском оквиру уз разуман утрошак меморијских ресурса. Већина оваквих техника користи интелигентне механизме претраживања простора претраге у сврху усмјеравања дјеловања алгоритма на регионе са потенцијално бољим рјешењима. Суштинска разлика сваке од њих је у начину вршења интенсификације (експлоатација) и диверсификације (експлорација) простора претраге чије се улоге балансирају одређеним моделима кроз алгоритам. Неке од најпопуларнијих мета-хеуристичких приступа су алгоритми мрављих колонија, генетски алгоритми, алгоритам итеративног локалног претраживања, метода промјенљивих околина, GRASP алгоритма (Talbi, 2009) и многи други. У претходних 40-ак година, како су присутне у литератури, мета-хеуристике су нашле огромну практичну примјену у готово свим областима рачунарства од проблема креирања распореда, па све до система за управљање базама података (Alotaibi, 2021) и роботике, штедећи људске и/или материјална ресурсе које се мјере у милијардама еура, од логистике па до процеса производње.

Почетком овог миленијума, јавља се потреба за даљњим побољшавањем стандардних мета-хеуристичких приступа. Природан ток развоја нових метода је био наћи синергију између више мета-хеуристике у једну комбиновану, чиме се формира читава класа нових алгоритама, названи *хибридни* оптимизациони методи. Хибридне оптимизационе методе (Blum et al., 2011) су посљедњу деценију постале кључне када је у питању рјешавање разних проблема дискретне оптимизације, те су у великом броју рјешаваних проблема превазишле резултате до тада доминантних класичних мета-хеуристичких алгоритама са почетка XXI вијека. Када је у питању дизајн хибридних алгоритама, у литератури се најчешће среће хибридизација мета-хеуристичких приступа у егзактне алгоритме попут методе гранања и одсијецања, као и пажљиво комбиновање два (или више) мета-хеуристичка алгоритама у један посебан метод (Djukanović et al., 2022).

Литература и потенцијални недостаци

У наставку се фокусирамо на детаље неколико начина конструкције хибрида присутних у литератури.

1. **Инкорпорација (егзактних) оптимизационих рјешавача генералне употребе у хеуристички**

алгоритам. Егзактни рјешавачи попут CPLEX-а и Gurobi-ја (Garcia-López et al., 2017) као *black-box* рјешавачи, су због своје генерализације постали важан ресурс у конструкцији ефикасних хибридних техника. Један од таквих је популарни *Construct-Merge-Solve-Adapt* (CMSA) фрејмворк, дизајниран у (Blum et al., 2016) који је постао један од доминантно кориштених хибрида посљедњих година (Djukanović et al., 2023). Овај алгоритам у свакој итерацији спаја више (случајно или семи-случајно) генерисаних рјешења генеришићи један под-проблем, који се потом рјешава егзактним оптимизационим рјешавачем. На основу добијеног рјешења, алгоритам учи (адаптира се) како изградити бољу подинстанцу у наредној итерацији која се изнова рјешава рјешавачем у нади да ће се тренутно најбоље рјешење поправити. Модели евапорације кориштени у алгоритму мрављих колонија служе глобалној одлуци препознавања најбољих компоненти које учествују у изградњи добрих под-инстанци. У посљедње вријеме, доста корака је направљено у смјеру подизања ефикасности базног CMSA разматрајући сваку од његове (4) основне компоненте, засебно. Тако је, нпр. *Construct* фаза обogaћена (хибридизована) алгоритмом локалне претраге (Johnson et al., 1998), гдје је дизајниран нови state-of-the-art хибрид CMSA+LS (Djukanović et al., 2023); даље, иста *Construct* фаза која користи више генератора рјешења је обogaћена (хибридизирана) са учењем поткрепљивањем (енг. reinforcement learning) у тзв. Multiconstructor CMSA (Rosati et al., 2024). Адаптибилна варијанта CMSA, тзв. *Self-adapted* CMSA је предложена у (Akbaý et al. 2022) изводећи процес у фази *Adapt* на потпуно другачији начин, чиме је добијен знатно робустнији CMSA.

Потенцијални „превиди“ везано за методологију CMSA у литератури на основу којих треба тражити шансу за конструкцију бољег хибрида су:

- Фаза *Merge* до сада није детаљније испитана. Наиме, *Merge* фаза по принципу користи унију компоненти сваког од рјешења у процесу генерисања подинстанце. Међутим, унија компонентни често може бити превише слободна код процеса стапања рјешења, потенцијално изазивајући појачану диверсификацију у самом алгоритму, а тиме смањујући шансу за проналаском квалитетног локалног оптимума.
- Фаза *Solve* до сада није детаљније испитана. Она се углавном односила на апликацију егзактних *black-box* рјешавача на генерисане под-инстанце. Примјена рјешавача може довести до дивергенције перформанси алгоритма (или потенцијално слабог рјешења које интегрисани рјешавач враћа) ако величина под-инстанце није добро контролисана, а њен квалитет генерално лош.

Ови изазови указују да је потребно радити даље на побољшавању саомог CMSA хибрида у сврху добијања још ефикасније алгоритма.

2. Било-када хибридни алгоритми.

Међу најатрактивнијим хибридима у литератури вјештачке интелигенције су тзв. *anytime* (било-када) алгоритми (Zilberstein, 1996). Ови алгоритми имају примјену у роботизи, интелигентним системима итд. (Li et al., 2021). Посједују својство да у случају прекида алгоритма (услед истека времена или недостатка меморије) враћају квалитетно (задовољавајуће) рјешење у готово свим таквим ситуацијама. Додатно, егзактни типови ових алгоритма градуално побољшавају квалитет и гаранцију рјешења (прималних и дуалних граница) кроз итерације, те на крају осигуравају налазак и потврђивање оптималности рјешења (што није генерално својство класичних мета-хеуристика), уз претпоставку да располажемо са довољно ресурса. Постоје двије класе оваквих алгоритама, једна је базирана на претрази бима (Kumar et al. 2013), док је друга базирана на стратегији са најбољи-први приступом (енг. best-first), а међу њима конкретно A^* претраге (Djukanović et al., 2021). Што се тиче *anytime* алгоритама базираних на претрази бима, Beam stack search (Zhou and Hansen, 2005) је један од најбољих, дизајниран на идеји интеграције алгоритма враћања уназад (енг. backtracking) унутар саме претраге бима, осигуравајући комплетност алгоритма. Што се тиче A^* -заснованих *anytime* алгоритама, state-of-the-art резултате на одређеним проблемима, као што су проблеми распоређивања послова на машинама или роботско планирање пута, је достигло неколико таквих алгоритама – Anytime Pack Search дизајниран у (Vadlamudi et al., 2016), Anytime Column Search (ACS) дизајниран у

(Vadlamudi et al., 2012) и хибрид A^*+ACS (Djukanović et al., 2020), међу осталима. Потоњи алгоритам је дохватио state-of-the-art резултате за неколико стандарних типова инстанци на проблему налаaska најдужега заједничког подниза са произвољним бројем ниски у улазу, једног од најпознатијих проблема у области биоинформатике и компјутерских наука уопште, рјешаван кроз претходних 50 година разним алгоритамским парадигмама. Идеја ACS алгоритма се састоји у интезивирању посјеђивања чворова према већој дубини (ниво-по-ниво) гдје у сваком кораку посјеђујемо (и процесуирамо – енг. *expand*) оне који највише обећавају у датом нивоу, и тако рекурзивно док не дођемо до крајњег нивоа, чиме се генерише један комплетан пут (рјешење). Наредна итерација креће од првог нивоа одозго у којем постоји непроцесуиран чвор. Идеја A^*+ACS хибрида се састоји у наизмјеничном извршавању једне главне ACS итерације и $d>0$ (параметар алгоритма) класичних A^* итерација у оквиру истог графа претраге. ACS итерација је усмјерена побољшању најбољег допустивог рјешења, док су итерације A^* усмјерене побољшавању дуалних (горњих) граница у алгоритму, тј. конвергенцији ка доказивању оптималности. Синергија ове двије алгоритамске технике је обезбјеђена подешавањем интерних параметара алгоритма као што су број узатошно извршених A^* итерација прије извршавања итерације ACS алгоритма и величине разматране колоне, преко неких од алата попут *irace*-а (López-Ibáñez et al., 2016).

Потенцијални изазови овако дизајнираних хибрида су следећи:

- Начин синергије и комбиновања A^* технике са другим (мета-хеуристичких) алгоритмама није потпуно истражен у литератури. Најчешћи начин надовезивања техника у један anytime хибрид је техника замијене извођења A^* итерација неком мета-хеуристичком кренувши са неистраженим чвором који највише обећава у односу све остале такве чворове (сходно некој хеуристици, тј. процјени).
- Лоша процјена чвора на ком се преузима дјеловање мета-хеуристике у оваквим хибридима може резултовати вјероватним лутањем алгоритма у под-простору лошег квалитета уз додатак да се итерација извршава до самог краја (по дизајну A^*+ACS , као и већине других хибрида). Вријеме извршења итерације може да буде интезивно, чиме долазимо до двоструког негативног ефекта по перформансе самог алгоритма.

Према томе, овакви изазови нас наводе на закључак да је могућности конструкције ефикаснијих anytime алгоритма реална разматрајући горепоменуте изазове. Неки од начина како да се ово и реализује су дати на наставку описа пројекта.

3. Инкорпорација модела неуронских мрежа у мета-хеуристички приступ

Неуронске мреже (NN) су популарни модели учења у области машинског учења (Müller et al., 1995). Представљају методу у АИ која учи да обрађује податке на начин који је инспириран људским мозгом. Овај начин учења користи међусобно повезане чворове (неуроне) у слојевитим структурама који симулира људски мозак. Базична неуронска мрежа је представљен *слојевитим* графом (енг. *layered graph*), гдје је први ниво, назван улазни слој, одређен за тзв. улазне чворове (неуроне) који примају податке, док завршни ниво одговара излазним чворовима (енг. *output layer*), која одговара вриједности датог улазног вектора, научен у процесу учења. Између ова два слоја налазе се тзв. скривени слојеви (енг. *hidden layer*). Између свака два сусједна слоја се налазе гране са тежинама које повезују поједине чворове (неуроне) датих слојева. Тежине обично означавају количину преноса информације из једног чвора у други.

За NN је, на основу улазних података (енг. *input data*, тј. *feature vectors*), те скупа излазних варијабли (енг. *target variables*) потребно научити мрежу (подесити погодне тежине), тако да она има добро крајње предиктивно својство, тј. способна је да предвиди добру излазну вриједност и за податке ван тренираног скупа података. Алгоритам којим се тренира NN у позадини је оптимизационе природе, и базиран је на процесу смањивања грешке (MSE, (log)loss, итд.) кроз вријеме. Стандардни алгоритми који раде на подешавају тежине у NN

су *back propagation* (Cilimkovic, 2015), у коме се користи стохастички градијентни алгоритам спушта (енг. stochastic gradient descent), видјети у (Bottou et al., 2012). Једном научена мрежа може постати врло јак модел у рјешавању разних типова есенцијалних проблема, као што су проблеми класификације, компјутерске визије, откривање значења текста, итд. (Khan et al., 2018). У данашњој ери суперкомпјутера, процес тренирања неуронских мрежа од неколико милиона тежина (параметара) је постао изводив, па тако рецимо познати алгоритам Гуглове претраге је управо заснован на тренираној NN огромне димензије која се повремено и ре-тренира на бази нових података (Serrano et al. 2020). Тек недавно, дошло се на идеју да се класични мета-хеуристички алгоритми инкорпорирају заједно са машинским учењем, конкретно разним типовима NN. У литератури су већ показане бенефиције дизајнирања таквих хибрида, па су тако у (Ramírez Sánchez et al., 2023) аутори побољшали рад алгоритма мрављих колонија инкорпорирањем информација из трениране графовске NN (Zhou et al. 2020, Sun et al., 2022) у процес одлучивања самог алгоритма мрављих колонија. У основи, графовска NN је научена да препозна патерне у подацима, тј. помогла је навигирању претраге алгоритма фреквентније у обећавајуће под-регионе. У (Sartori and Blum, 2022), NN је специјално тренирана за један проблем максимизације утицаја на социјалним мрежама, гдје су информације из ове мреже (која враћа вјероватноћу са којом одређени чвор припада оптималном рјешењу) значајно допринијеле побољшању претраге класичног генетског алгоритма те се овај хибридни AI алгоритам показао за бољу опцију него гледајући оба приступа, појединачно.

У оквиру овог пројекта, идеја је да се настави са proof-of-the-concept дизајнирања и тренирања NN за разне проблеме оптимизације (попут, рецимо, стринговних проблема из поља биоинформатике), те њихове успјешне инкорпорације у класичне, већ доказане мета-хеуристичке алгоритме у циљу унапређења њихових перформанси.

Предложена методологија развоја нових хибрида

1. Размајтрање нових Merge техника у CMSA. Предлажемо нове механизме стапања рјешења у једну подинстанцу на бази сличности између рјешења, која би разматрала неке стандардне мјере у литератури. Неке од мјера/метрика сличности су: Хамингова удаљеност, Еуклидова удаљеност или неке егзотичније попут Жакардове сличности (Niwattanakul et al., 2013), али и комбинација више мјера у једну. На бази скора сличности тенутне подистанце (састављене од неких рјешења), доносили би одлуке да ли разматрана рјешења треба да стопимо у подинстанцу или не респектирајући неку threshold вриједност (као параметар алгоритма).
2. Разматрање нових Solve техника за CMSA. Стандардни *black-box* рјешавачи у зависности од проблема којег рјешавају могу показати врло лоше *anytime* својство (тј. достављање доброг рјешења у заданом времену) те лошу адаптивност. Према томе, њихова замјена са погоднијим класичним мета-хеуристичким алгоритмима попут доказаног *метода промјенљивих околина* или *метода итеративне локалне претраге* (Lourenço et al., 2003) који у највећем броју случаја осигуравају довољно добро рјешење чак и за кратке временске интервале (Mladenović and Hansen, 1997) има смисла да буде разматрано. Овакве технике, дакле, показују значајно боља *anytime* својства за разлику од класичних, комерцијалних (егзактних) *black-box* рјешавача чиме има смисла надати се поправци перформанси самог CMSA.
3. Развој нових A* хибрида. Осим претраге бима и ACS алгоритма, који су ефикасно хибридувани са A* претрагом (Horn et al., 2019), идеја је разматрати друге алгоритме (не обавезно инкременталног) претраживања у комбинацији са A*. Неке од алгоритама претраживања који ће бити испитани су *Uniform Cost* претрага (Felner, 2011), или Monte-Carlo претрага бима (Cazenave, 2012) од којих је потоња посебно занимљива са методолошког аспекта.
4. Начин комбиновања A* претраге са другим методама. Како смо и претходно навели, најчешће се комбиновање метода свело на одабир тачке (чвора, који одговара неким (парцијалним)

рјешењима) у графу претраге која тренутно највише обећава, ондносно посједује најбољу процјену цијене. Ако процјена није довољно добра, алгоритам ће претраживати у наредној итерацији по необећавајућем под-простору претраге. Овдје предлагемо разматрање алтернативних механизма одабира тачака хибридизације, попут тачака најближих циљним чворовима или тачака које сходно вишеструком критеријуму евалуације дају бољи просјечни ранг од других таквих тачака. Надаље, да би се што прије спријечило лутање алгоритма, почетна тачка (чвор) би се евалуирала извршавањем неколико (временски незахтјевних) симулација и у зависности од добијених резултата доносила би се одлука да ли ту тачку разматрати као тачка комбинације дате методе са A^* или је одбацити.

5. Хибридизација мејџа-хеурисџика са неуронским мрежама. Класичне неуронске мреже које се намећу као прва опција за разматрање су *Feed-forward NN (FFNN)*. Прије свега, круцијално је одредити конкретна својства (енг. *features*) на основу којих ће неуронска мрежа да научи добре информације о проблему. Када су у питању стринговни проблеми, својсва која се препознавају као битна су: ентропија појављивања карактера у стрингу (локална информација), девијација појављивања карактера у сваком од стрингова, просјечно појављивање карактера над свим улазним стринговима (глобална информација) итд. Када су у питању графовски проблеми (конкретно, социјалне мреже), нека од својстава која се намећу као битна су: максимални степен чвора у графу (глобално својство), просјечан степен чворова, радијус графа (глобално својство), степен централности чвора, централност затворења чвора (Zhang and Luo, 2017) итд. Када се тренира једна FFNN, тренинг подаци се пуштају кроз мрежу и на бази добијених – често усредњених -- резултата (фитнес функција), неки од класичних мета-хеурисџичких алгоритама (Kaveh and Mesgari, 2023) се могу укључити за подешавање тежина саме мреже. Тај процес траје све док се не испуни неки од постављених критеријума који провјеравају степен преприлагођавања мреже (на посебним тзв. валидационим инстанцама) у односу на нове најбоље тежине прилагођене за тренинг податаке. Након што је мрежа подешена, тј. обучена да открије битне информације о простору претраге разматраног проблема, она се потом инкорпорира у сами мета-хеурисџички приступ у нади да ће појачати доношење квалитетнијих одлука у процесу рада алгоритма. FFNN су једноставне за кориштење и прилагођавање, па је то разлог зашто их и прво предлагемо као методологију изучавања у овом пројекту. Слабост FFNN је да прилагођавање мрежа већих димензија може да буде временски захтјевно. Други тип мрежа које можемо тренирати када су у питању графовски проблеми су Супарничке неуронске мреже (енг. *adversarial networks*) објашњене у (Creswell et al., 2018). За упоштен случај, тренирати се могу већ поменуте графовске NN, које имају велик степен генерализације и врло често су погодне за разне типове проблема. Главна слабост ових мрежа је пре-прилагођавање.

На основу претходно предложених идеја на којима ћемо градити методологију овог пројекта, долазимо до постављених хипотеза.

Хипотезе и очекивања

1. **Перформансе базичног CMSA хибрида су значајно побољшане.** Преположеним методологијама нових *Merge* и *Solve* фаза, базични CMSA хибрид показује боља својства конвергенције те налаз боља крајња рјешења.
2. **Нови *anytime* A^* хибриди су конструисани.** Нови метод за одабир добрих тачака у хибридизацији се показује као значајан у добијању оваквих хибрида бољих перформанси.
3. **Креиране су архитектуре неуронских мрежа, научене за разне типове проблема.** Оне у хибридизацији са мета-хеурисџичким приступима на датим проблемима значајно доприносе доношењу бољих одлука у процесу претраге.
4. **Дизајнирани хибриди дају *state-of-the-art* резултате** на различитим типовима проблема, што у практичном смислу има додатну уштеду ресурса и времена, те доприноси бољим закључцима када су у питању интер-дисциплинарна истраживања која захтјевају примјену оваквог типа методологије (алгоритама) у истраживањима (рецимо, биолозима у биоинформатици код анализе сличности генома).

Неки проблеми комбинаторне оптимизације који ће се рјешавати новодизајнираним хибридика

У циљу је да се ефикасност новоконструисаних хибридних алгоритама покаже по могућности на неколико разних практичних проблема комбинаторне оптимизације као што су:

- **Секвенцијални тип проблема** – рецимо верзија проблема најдужег заједничког подниза као што је *problem најдужег заједничког квадратог стринга* (Djukanovic et al., 2019) који има примјене у биоинформатици у откривању интерналних сличности између ДНА, РНА и протеинских секвенци).
- **Графовски тип проблема на социјалним мрежама**, као што је *target set selection problem*, или прецизније његова тежинска варијанта (Raghavan and Zhang, 2015), којег одликује недостатак софистицираних мета-хеуристичких алгоритама за његово рјешавање.
- **Доминацијски проблеми**, конкретно *k-strong Roman domination problem* (Liu et al., 2020), који има примјену у осигуравању мрежа од вишеструких, истовремених напада. Овај проблем одликује такође недостатак ефикасних хеуристичких метода за његово рјешавање.

3.1. Библиографија радова искључиво везаних за тему пројекта (литература која је коришћена при писању приједлога пројекта)

- [1] Blum, C., Puchinger, J., Raidl, G. R., & Roli, A. (2011). Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey. *Applied soft computing*, 11(6), 4135-4151.
- [2] Talbi, E. G. (2009). Metaheuristics: from design to implementation. John Wiley & Sons.
- [3] Zilberstein, S. (1996). Using anytime algorithms in intelligent systems. *AI magazine*, 17(3), 73-73.
- [4] Alotaibi, Y. (2021). A new database intrusion detection approach based on hybrid meta-heuristics. *CMC-Comput. Mater. Contin*, 66, 1879-1895.
- [5] Garcia-López, J. M., Ilchenko, K., & Nazarenko, O. (2017). Optimization lab sessions: major features and applications of IBM CPLEX. In *Optimization and Decision Support Systems for Supply Chains* (pp. 139-150). Springer International Publishing.
- [6] Blum, C., Pinacho, P., López-Ibáñez, M., & Lozano, J. A. (2016). Construct, merge, solve & adapt a new general algorithm for combinatorial optimization. *Computers & Operations Research*, 68, 75-88.
- [7] **Djukanović**, M., Kartelj, A., & Blum, C. (2023). Self-adaptive CMSA for solving the multidimensional multi-way number partitioning problem. *Expert Systems with Applications*, 120762.
- [8] Johnson, D. S., Papadimitriou, C. H., & Yannakakis, M. (1988). How easy is local search?. *Journal of computer and system sciences*, 37(1), 79-100.
- [9] Rosati, R. M., Bouamama, S., & Blum, C. (2024). Multi-constructor CMSA for the maximum disjoint dominating sets problem. *Computers & Operations Research*, 161, 106450.
- [10] Akbay, M. A., López Serrano, A., & Blum, C. (2022). A self-adaptive variant of CMSA: application to the minimum positive influence dominating set problem. *International Journal of Computational Intelligence*

Systems, 15(1), 44.

- [11] Li, J., Chen, Z., Harabor, D., Stuckey, P. J., & Koenig, S. (2021). Anytime multi-agent path finding via large neighborhood search. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence 2021* (pp. 4127-4135). Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI).
- [12] Kumar, A., Vembu, S., Menon, A. K., & Elkan, C. (2013). Beam search algorithms for multilabel learning. *Machine learning*, 92, 65-89.
- [13] Zhou, R., & Hansen, E. A. (2005, June). Beam-Stack Search: Integrating Backtracking with Beam Search. In *ICAPS* (pp. 90-98).
- [14] **Djukanovic**, M., Berger, C., Raidl, G. R., & Blum, C. (2021). An A* search algorithm for the constrained longest common subsequence problem. *Information Processing Letters*, 166, 106041.
- [15] Vadlamudi, S. G., Aine, S., & Chakrabarti, P. P. (2016). Anytime pack search. *Natural Computing*, 15, 395-414.
- [16] Vadlamudi, S. G., Gaurav, P., Aine, S., & Chakrabarti, P. P. (2012). Anytime column search. In *AI 2012: Advances in Artificial Intelligence: 25th Australasian Joint Conference, Sydney, Australia, December 4-7, 2012. Proceedings 25* (pp. 254-265). Springer Berlin Heidelberg.
- [17] **Djukanovic**, M., Raidl, G. R., & Blum, C. (2020). Finding longest common subsequences: New anytime A* search results. *Applied Soft Computing*, 95, 106499.
- [18] López-Ibáñez, M., Dubois-Lacoste, J., Cáceres, L. P., Birattari, M., & Stützle, T. (2016). The irace package: Iterated racing for automatic algorithm configuration. *Operations Research Perspectives*, 3, 43-58.
- [19] Mladenović, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers & operations research*, 24(11), 1097-1100.
- [20] Müller, B., Reinhardt, J., & Strickland, M. T. (1995). *Neural networks: an introduction*. Springer Science & Business Media.
- [21] Cilimkovic, M. (2015). Neural networks and back propagation algorithm. *Institute of Technology Blanchardstown, Blanchardstown Road North Dublin*, 15(1).
- [22] Bottou, L. (2012). Stochastic gradient descent tricks. In *Neural Networks: Tricks of the Trade: Second Edition* (pp. 421-436). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [23] Serrano, W. (2018). Neural networks in big data and Web search. *Data*, 4(1), 7.
- [24] Khan, S., Rahmani, H., Shah, S. A. A., Bennamoun, M., Medioni, G., & Dickinson, S. (2018). *A guide to convolutional neural networks for computer vision* (Vol. 8, No. 1, pp. 1-207). San Rafael: Morgan & Claypool Publishers.
- [25] Bourouis, S., Band, S. S., Mosavi, A., Agrawal, S., & Hamdi, M. (2022). Meta-heuristic algorithm-tuned neural network for breast cancer diagnosis using ultrasound images. *Frontiers in Oncology*, 12, 834028.
- [26] Kaveh, M., & Mesgari, M. S. (2023). Application of meta-heuristic algorithms for training neural networks and deep learning architectures: A comprehensive review. *Neural Processing Letters*, 55(4), 4519-4622.
- [27] Ramírez Sánchez, J. E., Chacón Sartori, C., & Blum, C. (2023, July). Q-Learning Ant Colony Optimization supported by Deep Learning for Target Set Selection. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference* (pp. 357-366).
- [28] Zhou, J., Cui, G., Hu, S., Zhang, Z., Yang, C., Liu, Z., ... & Sun, M. (2020). Graph neural networks: A review of methods and applications. *AI open*, 1, 57-81.
- [29] Sartori, C. C., & Blum, C. (2022, September). Boosting a Genetic Algorithm with Graph Neural Networks for Multi-Hop Influence Maximization in Social Networks. In *2022 17th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)* (pp. 363-371). IEEE.
- [30] Niwattanakul, S., Singthongchai, J., Naenudorn, E., & Wanapu, S. (2013, March). Using of Jaccard coefficient for keywords similarity. In *Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists* (Vol. 1, No. 6, pp. 380-384).
- [31] Lourenço, H. R., Martin, O. C., & Stützle, T. (2003). Iterated local search. In *Handbook of metaheuristics* (pp. 320-353). Boston, MA: Springer US.
- [32] Horn, M., Raidl, G., & Blum, C. (2019). Job sequencing with one common and multiple secondary resources: An A*/Beam Search based anytime algorithm. *Artificial Intelligence*, 277, 103173.
- [33] Felner, A. (2011). Position paper: Dijkstra's algorithm versus uniform cost search or a case against

- dijkstra's algorithm. In *Proceedings of the International Symposium on Combinatorial Search* (Vol. 2, No. 1, pp. 47-51).
- [34] Cazenave, T. (2012). Monte carlo beam search. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in games*, 4(1), 68-72.
- [35] Sun, Y., Wang, S., Shen, Y., Li, X., Ernst, A. T., & Kirley, M. (2022). Boosting ant colony optimization via solution prediction and machine learning. *Computers & Operations Research*, 143, 105769.
- [36] Creswell, A., White, T., Dumoulin, V., Arulkumaran, K., Sengupta, B., & Bharath, A. A. (2018). Generative adversarial networks: An overview. *IEEE signal processing magazine*, 35(1), 53-65.
- [37] Zhang, J., & Luo, Y. (2017, March). Degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality in social network. In *2017 2nd international conference on modelling, simulation and applied mathematics (MSAM2017)* (pp. 300-303). Atlantis press.
- [38] Djukanovic, M., Raidl, G. R., & Blum, C. (2020). A heuristic approach for solving the longest common square subsequence problem. In *Computer Aided Systems Theory–EUROCAST 2019: 17th International Conference, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, February 17–22, 2019, Revised Selected Papers, Part I 17* (pp. 429-437). Springer International Publishing.
- [39] Raghavan, S., & Zhang, R. (2015). Weighted target set selection on social networks. *The Robert H. smith school of business and institute for systems research. University of Maryland Maryland, USA, Tech. Rep.*
- [40] Liu, Z., Li, X., & Khojandi, A. (2020). On the k-Strong Roman Domination Problem. *Discrete Applied Mathematics*, 285, 227-241.
- [41] Djukanović, M., Kartelj, A., Matić, D., Grbić, M., Blum, C., & Raidl, G. R. (2022). Graph search and variable neighborhood search for finding constrained longest common subsequences in artificial and real gene sequences. *Applied Soft Computing*, 122, 108844.

4. ОПИС АКТИВНОСТИ

Наведите следеће елементе:

- (1) Активности које ће бити реализоване током суфинансирања пројекта
- (2) Који је временски оквир потребан за реализацију пројекта

Активности које ће се реализовати током пројекта, у блиско хорнолошком поретку, су дате у наставку.

1. **Активности везане за имплементацију алгоритама (писања софтвера).** Дизајн и имплементација алгоритама, тестирање алгоритама, те статистичка обрада резултата су укључене у ову активност. План реализације ових активности је 4 мјесеца.
2. **Активности везане за одлазак на конференцију.** Писање проширеног апстракта, одлазак на међународну конференцију са сврхом дисеминације садржаја и евалуације кориштене методологије у истраживању добијањем повратних информација.
3. **Активности на писању рада за међународну конференцију.** Одлазак на међународну конференцију (из вјештачке интелигенције или машинског учења) са излагањем те објављивањем рада у зборнику конференције. Једана од потенцијалних конференција је *Интернационална конференција из примијењене интелигенције*, која се одржава у Србији. План реализације ових активности је 3 мјесеца.
4. **Организовање семинара** на Природно-математичком факултету са предавачем по позиву.
5. **Одлазак на семинаре**

-- Одсјека за информатику, Природно-математичког факултета, Универзитета у Новом Саду
 -- Одсјека за рачунарство, Математичког факултета, Универзитета у Београду,
 што укључује активности које су планиране искључиво за младе истраживаче.

6. Припрема рада и **слање рада у међународни часопис** са СЦИ листе. План реализације ових активности је 4 мјесеца.

Остале активности укључују:

- **Рад на завршним тезама** младих истраживача.
- **Координисање рада у међународном научном окружењу.**
- **Активности на јачању сарадње са партнерским институцијама** кроз организовање међусобних посјета, похађања заједничких семинара итд. Двије међународне институције директно подржавају овај пројекат – Универзитет примјењених наука (CUAS), из Филаха (Аустрија), те Институт за логику и израчунавање, ТУ Беч (Аустрија).

Процијењено вријеме трајања пројекта је 12 мјесеци.

5. ЦИЉЕВИ ПРОЈЕКТА

Наведите који су главни циљеви који желите остварити реализацијом пројекта (разлој збој којеј њроводите пројекат, односно дујорочни стратешки циљ чијем ће остварењу дојринијети). Наведени циљ треба бити јасно ојисан и њостављен у везу са резултатима и активностима за које се тражи суфинансирање.

Основни циљеви овог пројекта обухватају:

1. **Дизајнирање нових модела и алгоритама и публиковање радова.** Дизајнирани алгоритми ће бити публиковани у (барем) једној међународној конференцији као и (барем) једном часопису са СЦИ листе. На овај начин би се АИ заједница обогатила са новим state-of-the-art алгоритмима, потенцијално примјењивим на више различитих типова практичних релевантних проблема.
2. **Јачање тренутних и упостављање нових међународних сарадњи.** Дугорочни стратешки циљ пројекта је повезивање нашег малог тима на Факултету са значајним људима у области АИ, чиме би се повећала наша видљивост, а и већа препознатљивост самог Универзитета у Бањој Луци на међународној сцени. Планирано је да се дио активности реализује у међународном окружењу са неком од партнерских институција, као што су ТУ Беч, Универзитет примјењених наука (CUAS) из Филаха, или Математички факултет Универзитета у Београду (за конкретна имена научника, погледати референце Djukanović et al. у главном опису пројекта), али и потенцијално новим водећим научницима из ове области.
3. **Побољшање инфраструктуре.** У оквиру пројекта планирана је набавка дијела опреме за рачунарку лабораторију од које би имали користи и студенти а и запослени.
4. **Трансфер знања.** Редовно организовање семинара ради што лакшег ширења знања међу учесницима.
5. **Развој компетенција.** Обучавање и укључивање младих истраживача у научно-истраживачки рад, те унапређење њихових компетенција (попут критичког размишљања, вјештина излагања исл).
6. **Јачање академске заједнице.** Напредовање младих истраживача у њиховим академским каријерама, чиме се јача и бројност и квалитет академске заједнице.

6. ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ ПРОЈЕКТА

(специфична и мјерљива промјена која ће бити остварена током реализације пројекта и која ће моћи бити доказана)

научни и прегледни рад (чланак) објављен у часопису који је доступан међународној и домаћој јавности

научна монографија

поглавље у монографији

саопштење или рад објављен у зборнику са научног скупа

уводно предавање на научном скупу

предавање по позиву са међународног или домаћег научног скупа штампано у цјелини или у изводу

саопштење са међународног или домаћег научног скупа штампано у цјелини или у изводу

објављена научна критика или полемика

рецензија

менторство магистарске тезе и докторске дисертације

с магистарски и докторски рад

лексикон

енциклопедија

картографска публикација

нова сорта

патент

техничко рјешење

нове методе

нови материјали

нови технолошки поступак

7. ПОВЕЗАНОСТ И УПОРИШТЕ У ЈАВНИМ ПОЛИТИКАМА И ДРУШТВЕНИ ЗНАЧАЈ ПРОЈЕКТА

Начин на који је пројекат укључен или наслоњен на јавне политике¹

Овај пројекат се директно наслања на:

- Истраживачке активности у оквиру Катедре за информатичке и рачунарске науке (укључујући и рачунарску лабораторију) Природно-математичког факултета, Универзитета у Бањој Луци.
- Сарадњу са Институтом за Логику и израчунавање, ТУ у Бечу, са којим је већ покренута сарадња у оквиру активности на билатералном пројекту назива „Теоријски и алгоритамски аспекти рјешавања проблема Римске доминације“ који је почео са реализацијом 01/01/2023 и трајаће до краја 2024. Сарадња ће обухватити похађање заједничких семинара те могуће доласке истраживача једна институције на другу по позиву ради подржавања заједничких истраживачких активности.
- Јачање сарадње са партнерским Математичким факултетом, Универзитета у Београду, на којем је

¹ На који начин доприноси реализацији одређене активности и које ефекте ће имати по заједницу

	<p>запослен један од младих истраживача овог пројекта. У ту сврху, план је позвати га као предавача на семинару Катедре за рачунарке и информатичке науке, поред планираних, заједничких активности везаних за научни рад.</p> <p>Према томе, овај пројекат представља наставак досадашњих успјешних истраживачких активности које су извођене унутар чланова тима али и интернационалне сарадње. Додатно, планиране активности подржавају основне принципе Универзитета у Бањој Луци који се тичу јачања међународне сарадње и интернационализације Универзитета. Такође, реализација пројектних активности би допринијела јачању заједнице окупљене око вјештачке интелигенције, комбинаторне оптимизације, и/или машинског учења на овим проторима чиме би се створио здрав амбијент за потенцијално формирање формалних група (друштава) окупљених око сличних интереса и на тај начин лакше промовисао овај тип науке.</p>
<p>Услуга, односно јавно добро које ће остати заједници након завршетка пројекта; да ли ће добробити за заједницу који настану из тог пројекта бити трајни и на који начин</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сви радови који су објављени везано за овај пројекат ће бити доступни у складу са отвореним приступом часописа/конференцијских зборника, док ће препринт/драфт верзије радова бити потпуно доступне преко јавних репозиторијума као што су ArXiv, или SSRN или јавних страница истраживача, те ће сви заинтересовани моћи лако да им и приступе. 2. Сви кодови (или барем извршне верзије, тј. binaries) дизајнираних алгоритама ће бити јавно доступни преко јавних репозиторијума на GitHub платформи, те ће се као такви моћи и јавно користити, без икакве накнаде, коме год и кад год је потребно. 3. Наредовања младих истраживача у њиховим каријерама. Млади истраживачи ће бити подржани у њиховим академским напредовањима кроз активности овог пројекта попут одлазака на семинаре те одлазака на научне конференције. Сходно томе, биће им трасиран пут ка ефикаснијем и ефективнијем завршетку њихових (мастер или докторских) теза, чиме директно унапређујемо научну заједницу али и читаво друштво. 4. Унапређење рачунарске опреме за истраживање. Дио планираних средстава на пројекту укључује опремање и унапређење инфраструктуре за истраживање, што би убрзало процес експериментирања а тиме и повећало шансу за дизајнирањем што ефикаснијег алгорита. Поред истраживача, и студенти могу користити ове ресурсе за истраживања у оквиру пројектних задатака појединих курсева или у оквиру рада на њиховим дипломским или мастер тезама.

	<p>5. Побољшавање квалитета образовања. Кроз организовање семинара те научноистраживачког рада, млади истраживачи ће имати могућност да буду дио колектива у којем се истраживање ради по највећим свјетским стандардима у циљу континуалног подизања квалитета истраживања код нас. На тај начин, стимулативно дејство околине ће резултирати унапређењем компетенција младих истраживача, што за пост-ефект има и унапређен квалитет образовања у цјелокупној заједници.</p> <p>Добробити за заједницу који настају из овог пројекта су такође трајне, јер објављени радови/алгоритми остају лако доступни у свијету дигиталне технике ако за то постоји потреба. Додатно, развој младих истраживача и њихових компетенција има значајан ефект на наредне генерације студената, али и друштва.</p>
--	---

8. ЕТИЧКИ АСПЕКТ ПРОЈЕКТА

<p>Етичка димензија циљева, методологија и утицаја пројекта Описати детаљно идентификоване етичке аспекте у смислу:</p> <ul style="list-style-type: none"> - циљева пројекта (нпр. уколико пројекат укључује истраживање осјетљивих група попут дјеце – да ли су узети у обзир етички аспекти и слично), - методологије попут клиничких студија које подразумијевају претходно одобрење етичког комитета и јасне процедуре, заштите података и слично), - могућег утицаја активности (попут могуће штете по околину и слично) 	<p>Сви етички кодекси истраживања у оквиру овог пројекта су испоштовани. Истраживања ће се спроводити поштујући све академске принципе и прописе. Истраживања ће укључивати употребу постојећих алата и ресурса доступних из литературе или јавних репозиторијума попут РупИ .</p> <p>Пројекат не укључује истраживања осјетљивих група попут дјеце, клиничких студија, не наноси штету по околину итд.</p>
<p>Да ли је истраживање претходно одобрено од стране етичког комитета (уколико постоји)</p>	<p>Не постоји нити једна активност у склопу планираних пројектних активности која захтјева одобрење етичког комитета.</p>

9. ОТВОРЕНИ ПРИСТУП

<p>Да ли ће подаци и резултати пројекта бити јавно доступни?</p>	<p>У истраживањима ће се користити јавно доступни подаци (инстанце проблема), дакле изазова са заштитом података и етичким питањима практично нема. Уколико у сврху експериментисања буде постојала потреба за кориштењем наших, генерисаних података, транспарентност ће бити обезбјеђена као једна од најбитнијих карактеристика у науци.</p>
---	---

<p>Уколико ће подаци и резултати бити јавно доступни, опишите како и наведите путем којег репозиторијума података и/или радова ће бити доступни? (Нпр. Zenodo, ArXiv, институционални репозиторијум и сл)</p>	<p>Резултати овог пројекта, дакле објављени радови, ће као препринт/драфт верзије бити окачени на неком од јавних, дигиталних репозиторијума као што је Arxiv или SSRN.</p> <p>Сви кодови (или барем извршне верзије, тј. binaries) везано за алгоритме ће бити доступни преко јавног репозиторијума, чији ће хиперлинк бити инкорпориран у сами садржај рада, како је обично и пракса у нашим досадашњим радовима. Транспарентност игра кључну улогу у науци да би наука евоулирала што брже и тиме постигла пуни потенцијал од којих цјелокупно човјечанство треба да црпи успутну корист.</p>
---	--

10. КОРИСНИЦИ ПРОЈЕКТА

<p>Број људи који ће имати користи од пројекта²</p>	<p>Директну корист од резултата овог пројекта би имали:</p> <ol style="list-style-type: none"> Сви главни истраживачи на пројекту, којима ће ово бити додатна прилика да ојачају своју међунационалну сарадњу са радним групама из поља комбинаторне оптимизације и вјештачке интелигенције. На тај начин, отвориће се врата за пријаву интернационалних пројеката на неке од Европских грантова попут Marie Skłodowska-Curie Actions, Erasmus+, Horizon Grants, Cost акција и многих других, за чију је сврху (обично) неопходно основати конзорцијум од неколико истраживачких институција окупљених око истог пројекта и пројектних активности. Млади истраживачи (укупно 3) на овом пројекту, од којих су два студента докторских студија, те један студент мастер студија. Сваком од њих би било омогућено да одлази на мастер и докторске семинаре на факултетима на којима су уписани (путем финансирања трошкова из пројектног буџета), гдје би на тај начин могли да имају лакшу комуникацију са својим менторима у вези својих завршних радова, прецизније планирају даље научне активности исл. Студенти СП Математика и информатика на ПМФ-у. Преко научног семинара Катедре за рачунарске и информатичке науке, студентима ће бити пружена могућност да похађају предавања у оквиру Семинара чиме би били у току са најновијим знањима и достигнућима у пољу комбинаторне оптимизације, те вјештачке интелигенције уопштено. <p>Индиректно, резултати пројекта би служили и:</p> <ol style="list-style-type: none"> Научницима АИ заједнице којима су
--	--

² Ко ће директно или индиректно имати користи од пројекта? Описати прецизно по врсти и броју корисника, узраст, групацију којој припадају и објаснити на који начин пројекат дотиче њихове посебне интересе и како су укључени у реализацију пројекта.

	<p>новоконструисани хибридни методи потребни за поређење са властитим методама, те за развој нових метода изграђених на бази конструисаних алгоритамских фрејмворка. Велика је заједница научника који се баве хибридним техникама; постоји неколико значајних радних група које развијају нове хибидне технике у АИ. Неке од њих су: (i) група окупљена око <i>Гинтера Раигла</i> са ТУ у Бечу; (ii) група окупљена око <i>Кристијана Блума</i> са Института за вјештачку интелигенцију Аутономног Универзитета у Барселони; (iii) група окупљена око <i>Марка Дорига</i> са Универзитета у Бриселу, као примјер неких од њих. Свака од ових група садржи барем 5-15 чланова (PhD студената, PostDoc истраживача, те стално и екстерно запосених професора). Са професором Г. Раидлом и К. Блумом имамо вишегодишњу сарадњу, што је потврђено заједничким објављивањем десетак радова у часописима највишег ранга. Додатно, прије годину дана смо започели пројекат билатералне сарадње са ТУ у Бечу и проф. Раидлом, што намјеравамо додатно ојачати активностима у оквиру овог пројекта кроз међупартнерско дјеловање (одлазак на семинаре исл.).</p> <p>2. Научницима из интердисциплинарних области, као +што су нпр. биолози, којима су овакви алгоритму од значаја за проналажење сличности између група молекула, откривања понашања и функције протеина, затим кластеровања протерина у групе по неким заданим критеријумима, итд. Конструисани алгоритми би могли служити као <i>black-box</i> алат за добијање скорова сличности за групу молекула, на основу којих би биолози даље радили анализе и потврђивали/одбацивали хипотезе.</p> <p>3. Особама из привреде, јер се овакве технике примјењују на тешке проблеме из реалног домена те на тај начин се предложени алгоритми и њихови резултати могу искористити у сврху уштеде ресурса (новца, времена, исл) у одређеној области попут проблема рутирања возила, расподеле радника на одређене машине у сврху максимизације производње итд.</p>
Усмјереност пројекта на циљне групе и остале добробити пројекта ³	Пројекат би по својој природи требао бити усмјерен према мулти-дисциплинарним научним заједницама, али и разним областима индустрије у зависности од ефекта

³ Усмјереност пројекта на циљне групе и остале добробити пројекта (заштита животне средине, превенција здравља, промоција родне равноправности и једнаких могућности, потребе особа са инвалидитетом, права мањина, културно насљеђе, иновације у неком процесу и сл).

	<p>результата и проблемима на којим се развијене технике буду пимјењивале. Додатно, пројекат ће свакако подржати трансфер знања, па ће студенти и млади истраживачи кроз организоване семинаре бити у току са тренутним развојем моредне науке као и принципима добре праксе када је у питању одржавање високог стандарда у академији.</p> <p>Добробити пројекта:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Публикације. Области вјештачке интелигенције,, комбинаторне оптимизације и операционих истраживања ће кроз публикације у водећим научним часописима или у зборницима међународних конференција бити обogaћене са новим ефикасним алгоритмима потенцијално примјењивих на широк спектар практичних проблема. • Унапређење међународне сарадње. Кроз реализацију пројекта планирано је радити у међународном окружењу са неким од истраживача са партнерске институције, у циљу јачања већ изграђене сарадње. На тај начин, стварају се услови за аплицирање на велике ЕУ фондове, што би требао да буде наредни корак који се планира у блиској будућности.
--	---

11. ОДРЖИВОСТ

Објасните начин на који ће бити осигурана одрживост пројектних резултата и циљева након завршетка пројекта. Овдје можете навести употребе активности, развијене стратегије, план комуникације и сл. Обратите пажњу на финансијску одрживост, институционалну одрживост, одрживост на нивоу политике.

Ефикасност дизајнираних хибридних техника, те њихова реална употреба ће бити верификовани кроз процес рецензије у релевантним часописим/конференцијама а који припадају области комбинаторне оптимизације, операционих истраживања или машинског учења. Такви радови, који гурају ове области напријед према новим сазнањима, ће бити доступни јавности као и имплементирани софтвер и инстанце за могућу ширу употребу.

Додатно, дизајнирани хибриди ће се моћи прилагодити и (надајући се успјешно) примијенити на неке друге проблеме, гдје је идеја да мастер студенти (или чак студенти основног студија завршних година) кроз разумијевање имплементације, дају приједлоге за модификацију кода чинећи га потенцијално ефикаснијим, те на бази тога напишу дијелове својих завршних радова/теза. Ове активности би биле бесплатне, а доприносиле би цјелокупном друштву трансфером активног, рубног знања ове области потенцијално новом стручном кадру.

Резултати пројекта су самоодрживи јер референце самих учесника пројекта ће бити ојачане, а тиме видљивост и компетенција самог Универзитета у Бањој Луци. Ово повлачи повећање конкурентности самих истраживача на свјетској научној сцени, повећавајући шансу за повезивање са свјетски познатим научницима са много већих универзитета, чиме би био трасиран пут ка учешћу у заједничким међународним пројектима, са милионским буџетима од чега би могли имати

вишеструку корист као заједница. Даље, наши млади истраживачи ће овим пројектом моћи да виде добре праксе процеса озбиљног научног истраживања у интер-институционалном окружењу, чиме ће и њихове компетенције бити повећане, те додатно ће бити инкорпорирани у друге интернационалне пројекте, попут планираних билатералних сарадњи а Словенијом (тренутно на евалуацији), или новом билатералом са Аустријом планирана за крај 2024.

Дакле, овај пројекат промовише мултидисциплинарност и међународну сарадњу између више институција, уклапајући се у научне стратегије Универзитета у Бањој Луци а и Министарства за наунотехнолошки развој и високо образовање.

12. БУЏЕТ ПРОЈЕКТА

Р.Б.	ИЗВОР ФИНАНСИРАЊА	ИЗНОС
1.	Властита средства	3,000.00 КМ
2.	Средства гранта	9954.1 КМ
3.	Средства међународних организација, донатора...	--
4.	Средства локалне заједнице	--
5.	Средства институција на нивоу БиХ (нпр. МЦП)	--
6.	Средства из осталих извора	--
	УКУПНО	12,954.10 КМ

13. ИНТЕРНО ПРАЋЕЊЕ ПРОЈЕКТА

Опишите начин на који ћете њроводити интерно ѡраћење активности и евалуацију резултат ѡројекта, те ко ће ѡроводити исте.

Интерно праћење активности и евалуација пројекта ће се вршити преко:

1. Заједничких састанака пројектног тима који ће се одржавати у регуларним временским интервалима (нпр. 2 пута мјесечно).
2. Свакодневне комуникације која ће се одржавати путем формираних заједничких група за све чланове (преко вибер, гоогле меет-а или сличних платформи.).
3. Преко стандардних активности везаних за писање радова те планирања слања радова на конференције/часописе које укључују кориштење алата за верзионисање (Гит), заједничког chat-а, или коментара који се инкорпорирају унутар радних верзија радова.
4. Преко излагања на Семинару Катедре за рачунарске и информатичке науке на ПМФУ, гдје ће се радити интерна припрема и евалуација садржаја рада и презентације прије одласка на конференције.

14. ПОДАЦИ О КООРДИНАТОРУ И ВОДЕЋИМ ЧЛАНОВИМА ПРОЈЕКТНОГ ТИМА

1. Научноистраживачка компетентност координатора пројекта (чл. 16. став 2. Правилника)

а) Број објављених радова на Web of Science, Scopus, SCIndex (M24 или M51), CPCI-S/CPCI-SSH листама у последњих пет година
Навести називе радова, часопис и годину објаве и разврстати по горе наведеним категоријама.

Објављени на Web of Science:

1. Self-Adaptive Cmsa for Solving the Multidimensional Multi-Way Number Partitioning Problem. Expert Systems with Applications, 2023 (IF: **8.5**)
2. RILS-ROLS: Robust Symbolic Regression via Iterated Local Search and Ordinary Least Squares. Journal of Big Data, 2023 (IF: **10.1**)
3. Variable Neighborhood Search for Weighted Total Domination Problem and Its Application in Social Network Information Spreading. Applied Soft Computing, 2023 (IF: **8.7**)
4. Graph search and variable neighborhood search for finding constrained longest common subsequences in artificial and real gene sequences. Applied Soft Computing, 2022 (IF: **6.725**)
5. New mixed-integer linear programming model for solving the multidimensional multi-way number partitioning problem. Comp. Appl. Math. , 2022 (IF: **2.998**)
6. Solving the Longest Common Subsequence Problem Concerning Non-Uniform Distributions of Letters in Input Strings. Mathematics, 2021 (IF: **2.258**)

	<p>7. Solving longest common subsequence problems via a transformation to the maximum clique problem. Computers & Operations Research, 2021 (IF: 4.008)</p> <p>8. An A* search algorithm for the constrained longest common subsequence problem. Information Processing Letters, 2020 (IF: 0.677)</p> <p>9. Finding Longest Common Subsequences: New anytime A* search results. Applied Soft Computing, 2020 (IF: 5.472)</p> <p>10. Anytime algorithms for the longest common palindromic subsequence problem, Computers & Operations Research, 2020 (IF: 3.424)</p>
<p>б) Број објављених радова у националним часописима прве категорије у посљедњих пет година Навести називе радова, часопис и годину објаве</p>	<p>1. Can greedy-like heuristics be useful for solving the Weighted Orthogonal Art Gallery Problem under regular grid discretization?, International Journal of Electrical Engineering and Computing, 2021</p>
<p>в) Број радова у националним часописима (друга и трећа категорија) и зборницима и монографијама у посљедњих пет година Навести називе радова, часопис/зборник и годину објаве Навести назив монографије и годину објаве</p>	<p>1. Variable neighborhood search for solving the k-domination problem, In Proceedings of the Companion Conference on Genetic and Evolutionary Computation, 2023</p> <p>2. Integrating Top-level Constraints into a Symbolic Regression Search Algorithm, In 2023 Second Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICAAI), 2023</p> <p>3. Application of A* to the Generalized Constrained Longest Common Subsequence Problem with Many Pattern Strings. In International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2022</p> <p>4. Identification of protein complexes by overlapping community detection algorithms: A comparative study. In Proceedings of 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2022</p> <p>5. Statistical analysis of correlation between weather parameters and new COVID-19 cases: a case study of Bosnia and Herzegovina, In Proceedings of 15th International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2021</p> <p>6. Clustering of European countries and</p>

	<p>territories based on cumulative relative number of COVID 19 patients in 2020, In Proceedings of 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2021</p> <p>7. On Solving a Generalized Constrained Longest Common Subsequence Problem, In Optimization and Applications OPTIMA 2020, 2020</p> <p>8. On the Use of Decision Diagrams for Finding Repetition-Free Longest Common Subsequences, In Optimization and Applications. OPTIMA 2020, 2020</p> <p>9. A Heuristic Approach for Solving the Longest Common Square Subsequence Problem, In Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2019. EUROCAST 2019, 2019</p> <p>10. A Beam Search for the Longest Common Subsequence Problem Guided by a Novel Approximate Expected Length Calculation, In Machine Learning, Optimization, and Data Science. LOD 2019, 2019</p> <p>11. Exact and Heuristic Approaches for the Longest Common Palindromic Subsequence Problem, In Learning and Intelligent Optimization. LION 12 2018, 2018</p>
2. Научноистраживачка компетентност водећих чланова пројектног тима (чл. 16. став 3. Правилника)	
<p>а) Број објављених радова на Web of Science, Scopus, SCIndex (M24 или M51), CPCI-S/CPCI-SSH листама у последњих пет година</p> <p>Навести име аутора (члана пројектног тима), назив рада, часопис и годину објаве и разврстати по горе наведеним категоријама.</p>	<p><u>Web of Science:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grbic, Several Roman domination graph invariants on Kneser graphs, Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science, 2023 (IF: 0.7) 2. M. Grbic, Graph search and variable neighborhood search for finding constrained longest common subsequences in artificial and real gene sequences, Applied Soft Computing, 2022 (IF: 6.725) 3. M. Grbić, <i>The roman domination number of some special classes of graphs-convex polytopes</i>, Applicable Analysis and Discrete Mathematics, 2021, (IF: 1.238) 4. M. Grbić, <i>Solving the Longest Common Subsequence Problem Concerning Non-Uniform Distributions of Letters in Input Strings</i>. Mathematics, 2021. (IF : 2.258) 5. M. Grbić, <i>A three-phase method for</i>

	<p><i>identifying functionally related protein groups in weighted PPI networks</i>, Computational Biology and Chemistry, 2020. (IF: 3.1)</p> <p>6. M. Grbić, <i>Variable neighborhood search for partitioning sparse biological networks into the maximum edge-weighted k -plexes</i>. IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics (IF:4.5), 2020</p> <p>-----</p> <p>7. D. Matić, <i>An Integrated Intelligent CAD/CAPP Platform: Part II – Operation Sequencing Based on Genetic Algorithm</i>, Tehnički vjesnik, 2022 (IF: 0.864)</p> <p>8. D. Matić, <i>Graph search and variable neighborhood search for finding constrained longest common subsequences in artificial and real gene sequences</i>, Applied Soft Computing, 2022 (IF:6.725)</p> <p>9. D. Matić, <i>New mixed-integer linear programming model for solving the multidimensional multi-way number partitioning problem</i>. Comp. Appl. Math, 2022, (IF: 2.998)</p> <p>10. D. Matić, <i>The Roman Domination Number of Some Special Classes of Graphs</i>, 1-20, Applicable Analysis and Discrete Mathematics, 2021 (IF: 1.414)</p> <p>11. D. Matić, <i>A three-phase method for identifying functionally related protein groups in weighted PPI networks</i>, Computational Biology and Chemistry, 2020, (IF: 3.1)</p> <p>12. D. Matić, <i>Weakly convex and convex domination numbers for generalized Petersen and flower snark graphs</i>, Revista de la Unión Matemática Argentina (IF: 0.522), 2020</p> <p>13. D. Matić, <i>Variable neighborhood search for partitioning sparse biological networks into the maximum edge-weighted k-plexes</i>, IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 2020, (IF:4.5)</p> <p>-----</p> <p>14. D. Čvokić, <i>Behavioral and Metabolic Risk Factors for Noncommunicable Diseases among Population in the Republic of Srpska (Bosnia and Herzegovina)</i>. <i>Healthcare</i>, 2023, (IF: 3.160)</p> <p>15. D. Čvokić, <i>A VNS solution approach for (r p) hub-centroid problem under the price war</i>. Journal of Global Optimization, 2022, (IF: 1.8)</p> <p>16. D. Čvokić, <i>A leader-follower single allocation hub location under fixed markups</i>. Filomat, 2020, (IF. 0.8)</p>
--	--

	<p>17. D. Čvokić, A single allocation hub location and pricing problem, <i>Comp. Appl. Math.</i>, 2020, (IF: 2.6)</p> <p><u>M24 или M51:</u></p> <p>18. M. Grbić, Supportness of the protein complex standards in PPI networks, <i>Journal of Information and Telecommunication</i>, 2022</p> <p>19. D. Matić, Supportness of the protein complex standards in PPI networks, <i>Journal of Information and Telecommunication</i>, 2022</p> <p>20. D. Čvokić, Cutting testing costs by the pooling design. <i>MTC</i>, 2020</p>
(б) Број објављених радова у националним часописима прве категорије у посљедњих пет година Навести име аутора (члан пројектног тима) називе радова, часопис и годину објаве	<p>1. M. Grbić, Can greedy-like heuristics be useful for solving the Weighted Orthogonal Art Gallery Problem under regular grid discretization?, <i>International Journal of Electrical Engineering and Computing</i>, 2021</p> <p>2. M. Grbić, <i>Conditional Random Fields-based Aproach to Classification: Application to Life Sciences</i>, IPSI BgD Transactions on Internet Research (TIR), Special issue - "ICT Research at the University of Belgrade and at its Foreign Guests", 2019</p> <p>3. M. Grbić, <i>A three-phase mapreduce-based algorithm for searching biomedical document databases</i>, <i>International Journal of Electrical Engineering and Computing</i>, 2019</p> <p>-----</p> <p>4. D. Matić, Can greedy-like heuristics be useful for solving the Weighted Orthogonal Art Gallery Problem under regular grid discretization?, <i>International Journal of Electrical Engineering and Computing</i>, 2021</p>
в) Број радова у националним часописима (друге и треће категорије), зборницима и монографијама у посљедњих пет година Навести име аутора (члан пројектног тима), називе радова, часопис/зборник и годину објаве Навести име аутора (члан пројектног тима), назив монографије и годину објаве	<p>1. M. Grbić, Partitioning Weighted Metabolic Networks into Maximally Balanced Connected Partitions, 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2020</p> <p>2. M. Grbić, How well are known protein complexes supported in PPI networks?, International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2020</p> <p>3. M. Grbić, Clustering of European countries and territories based on cumulative relative number of COVID 19 patients in 2020, In 2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2021</p> <p>4. M. Grbić, Statistical analysis of correlation between weather parameters and new COVID-19 cases: a case study of Bosnia and</p>

	<p>Herzegovina, In 2021 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2021</p> <p>5. M. Grbić, Identification of protein complexes by overlapping community detection algorithms: A comparative study, In 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2022</p> <p>6. M. Grbić, On similarity of PPI subnetworks induced by important proteins: A case study, In 2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2023</p> <p>-----</p> <p>7. D. Matić, Partitioning Weighted Metabolic Networks into Maximally Balanced Connected Partitions, 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2020</p> <p>8. D. Matić, How well are known protein complexes supported in PPI networks?, International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2020</p> <p>9. D. Matić, Clustering of European countries and territories based on cumulative relative number of COVID 19 patients in 2020, In 2021 20th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2021</p> <p>10. D. Matić, Statistical analysis of correlation between weather parameters and new COVID-19 cases: a case study of Bosnia and Herzegovina, In 2021 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA), 2021</p> <p>11. D. Matić, Identification of protein complexes by overlapping community detection algorithms: A comparative study, In 21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2022</p> <p>12. D. Matić, On similarity of PPI subnetworks induced by important proteins: A case study, In 2023 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), 2023</p> <p>-----</p> <p>13. D. Čvokić, PIM COD - Платформа за праћење и оптимизацију инвестиционог процеса у грађевинарству, Зборник радова / 50. Симпозијум о операционим истраживањима SYM-OP-IS 2023, 2023,</p> <p>14. D. Čvokić D.D., The Competitive Hub Location Under the Price War. Mathematical Optimization Theory and Operations Research MOTOR 2019, 2019</p>
--	--

3. Број младих истраживача укључених у пројекат (млади истраживач је студент 2. циклуса високог образовања млађи од 25 година или студент 3. циклуса високог образовања (докторанд) млађи од 35 година укључен у реализацију пројекта, чл. 4. став 2. Правилника)	3
4. Називи међународних научноистраживачких пројеката у којима су учествовали чланови пројектног тима	1. <i>Теоријски и алгоритамски аспекти за рјешавање проблема Римске доминације.</i> бр. пројекта 1259074, координатор – Марко Ђукановић, финансијер; Министарство цивилних послова БиХ, 01/2023-12/2024 (у оквиру билатералне сарадње са Аустријом, партнер институција: <i>Институт за логику и израчунавање</i> , TU Беч)
5. Списак међународних партнера	TU Wien, Универзитет примјењених наука (CUAS) из Филаха (<i>партнери овој пројекта</i>), оба из Аустрије

15. РЕСУРСИ

Попуните табелу на бази биланса усјеха ваше организације (наведите вриједности у КМ)

Година	Укупни приход	Укупни расходи	Финансијски резултат
Претходна година 2022.	68.734.123	67.701.782	1.032.341
Година прије претходне 2021.	62.680.520	59.556.305	3.124.215

Координатор пројекта

Руководилац НИ организације

М.П.

Мјесто и датум: _____