

Наслов: Развој софтвера за решавање спрегнутих мултифизичких проблема

Евиденциони број: ТР - 32036

Руководилац: Др Мирослав Живковић, ред. проф., Факултет инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу

Факултет инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу
Сестре Јањић 6
34000 Крагујевац
тел: +381 34 300790
факс: +381 34 300786
моб: +381 69 8288777

НИО координатор: 200107 Факултет инжењерских наука, Универзитета у Крагујевцу

НИО учесници:

1. 200308 Метрополитан универзитет у Београду
2. 200155 Факултет техничких наука у Косовској Митровици

Организације корисници-партиципанти:

1. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“
2. Бачкаинвест д.о.о.
3. Милановић Инжењеринг д.о.о.
4. ЈП Електропривреда Србије
5. ППТ-Наменска АД
6. ИЦ Инжењеринг д.о.о.

Број месеци истраживача: 139

Трајање пројекта: 48 месеци

1. Обавезе дефинисане Уговором о реализацији пројекта за 2012. годину у оквиру Програма истраживања у области технолошког развоја за период од 01.01.2012 – 31.12.2013. године

1.1. Кратак приказ предмета, садржаја и циљева истраживања (Прилог 1 Уговора).

Циљ пројекта је да се развије домаћи комерцијални софтвер PAK-Multiphysics за решавање спрегнутих мултифизичких проблема на нивоу светски познатих софтвера као што су ABAQUS, ADINA, ANSYS, NASTRAN и др. Развијен софтвер ће бити присутан на домаћем и иностраном тржишту софтвера и моћи ће успешно да се примењује у решавању практичних проблема у индустрији, као и у даљем истраживачком раду и у настави на техничким факултетима у земљи и иностранству. Развијени софтвер ће имати упуство за коришћење и велики број детаљно урађених верификационих примера који покривају све типове коначних елемената и све врсте анализа.

Мултифизички проблеми се могу дефинисати као блиска интеракција у континууму између више физичких поља која припадају различитим научним дисциплинама. Примена софтвера за решавање мултифизичких проблема постала је неопходна у више грана индустрије укључујући аутомобилску, грађевинску, авионску, електронску, телекомуникациону, фармацеутску, биомедицинску итд. Због ограничења које имају поједини програмски модули у решавању сложених спрегнутих проблема, последњих година се појавила потреба за наглим развојем верзија софтвера за мултифизичке проблеме. У складу са савременим светским трендовима и потребама наших корисника у индустрији и на универзитетима у земљи и иностранству, планиран је развој верзије софтверског система за решавање спрегнутих мултифизичких проблема, који ће се звати PAK-Multiphysics. Комплетна истраживања и предвиђене активности пројекта реализоваће се у периоду од 4 године у оквиру 7 фаза.

1. РАЗВОЈ СОФТВЕРСКИХ КОНЦЕПАТА ЗА СПРЕЗАЊЕ СОФТВЕРСКИХ МОДУЛА. Планиран је развој различитих софтверских концепата (секвенцијални и директни) за спрезање појединих софтверских модула. Секвенцијални приступ подразумева коришћење тзв. „middleware“ софтвера међу којима су најпознатији MpCCI (Mesh-based parallel Code Coupling Interface) и CTL (Component Template Library). CTL имплементација је базирана на C++ програмском језику, и представља шаблонску библиотеку као и STL (Standard Template Library). Могуће га је користити са C++ и FORTRAN кодом. Постоје два приступа секвенцијалног спрезања постојећег кода и то синхрони и асинхрони. Синхрони начин предвиђа убацивање комуникационих тачака у код, на местима где је неопходна размена података међу симулационим модулима које се извршавају. Асинхрони приступ предвиђа стандардизацију кода симулационих модула и њихово повезивање преко интерфејса. У оквиру секвенцијалног приступа предвиђено је решавање асинхроним приступом на два нивоа – слабој и јакој форми. Слаба форма предвиђа једносмерну спрегу два модула, док се јака форма односи на двосмерно спрезање. На овај начин могу бити решени и други проблеми као што је декомпозиција домена, модуларизација и паралелизација софтвера за дистрибуирану симулацију. Директни приступ подразумева развијање нових софтвера и метода решавања за сваки од спрегнутих проблема. За свако од спрегнутих физичких поља се додају одговарајуће једначине коначних елемената у једну матрицу и решавају се истовремено.

2. РЕИНЖЕЊЕРИНГ И РАЗВОЈ СОФТВЕРА У ОБЛАСТИ РАЧУНСКЕ МЕХАНИКЕ СОЛИДА. Предвиђено је прилагођавање софтверског модула за рачунску механику чврстих тела за повезивање са другим софтверским модулима, као и на додатном развоју овог модула. Предвиђен је развој материјалних модела за паметне материјале (SM - Smart Materials) као што су легуре (SMA - Shape Memory Alloys) и полимери (SMP - Shape Memory Polymers) чије се понашање може мењати и контролисати у зависности од температуре, напона и других величина. Због таквих особина ови материјали дају две врсте макро феномена: псеудоеластичност и ефекат памћења облика (SME - Shape Memory Effect). У области геомеханике извршиће се доградња порних притисака у постојеће материјалне моделе (Cam-Clay, Drucker-Prager, Hoek-Brown и др.) и њихово прилагођавање за спрезање са модулом за прорачун струјања кроз порозне средине (засићене и незасићене). У оквиру механике лома наставиће се развој и примена проширене методе коначних елемената XFEM у хидро-механичким интеракцијама.

3. РЕИНЖЕЊЕРИНГ И РАЗВОЈ СОФТВЕРА У ОБЛАСТИ РАЧУНСКЕ МЕХАНИКЕ ФЛУИДА. Предвиђено је прилагођавање софтверског модула за рачунску механику флуида за повезивање са другим софтверским модулима, као и додатни развој овог модула. Планиран је развој експлицитне верзије кода и његово спрезање са експлицитном верзијом модула за механику чврстог тела.

4. РЕИНЖЕЊЕРИНГ И РАЗВОЈ СОФТВЕРА ЗАСНОВАНОГ НА ПРОБЛЕМИМА ПОЉА. Предвиђено је прилагођавање софтверског модула за провођење топлоте и модула за струјање кроз порозне средине за повезивање са другим софтверским модулима, као и додатни развој ових и нових модула. Планирано је да се у софтверски модул за провођење топлоте имплементирају структурни елементи љуске и греде. Предвиђен је развој три нова модула и то за: магнетостатику, електростатику и ток једносмерне струје.

5. СПРЕЗАЊЕ И ПАРАЛЕЛИЗАЦИЈА ПОЈЕДИНИХ СОФТВЕРСКИХ МОДУЛА. У току реализације пројекта, предвиђено је спрезање и паралелизација развијених претходно наведених софтверских модула.

6. ИНДУСТИЈСКА ПРИМЕНА. У свим фазама развоја, софтвер РАК-Multiphysics биће тестиран и верификован на многим тест примерима који се могу наћи у литератури, као и у корисничким упућствима са примерима које имају сви познати светски софтвери из ове области. У току реализације пројекта, развијени модули софтвера РАК-Multiphysics превасходно ће се примењивати за потребе свих партиципаната пројекта, као и других потенцијалних корисника у земљи и у свету. Предвиђена је примена развијених спрегнутих софтверских модула и њихова верификација на решавању 5 реалних мултифизичких проблема за потребе партиципаната пројекта.

7. МЕНАѢМЕНТ ПРОЈЕКТА. У току целокупне реализације пројекта и развоја софтвера РАК-Multiphysics, предвиђена је и фаза која ће обухватати активности везане за технички и административни менаѢмент пројекта, дисиминацију резултата и одрживост.

Планиран је завршетак три докторске дисертације, као и почетак израде нових докторских дисертација што је од изузетног значаја за развој науке у Србији. Предвиђено је публиковање радова у водећим светским часописима, а многи други резултати пројекта биће соопштени на више међународних скупова.

1.2. Циљ истраживања у другој години (Прилог 1 Уговора).

Циљ истраживања је да се развије софтверски систем РАК-Multiphysics за решавање спрегнутих мултифизичких проблема, развијен до нивоа водећих светских софтвера у овој области. Да би се то остварило неопходно је да се реализују следеће активности: развој софтверских концепата за спрезање софтверских модула, применом STL; реинжењеринг и развој софтвера у области рачунске механике солида; реинжењеринг и развој софтвера у области рачунске механике флуида; реинжењеринг и развој софтвера заснованог на проблемима поља; спрезање и паралелизација појединих софтверских модула за механику чврстог тела, механику флуида, провођење топлоте, струјање кроз порозне средине; индустријска примена развијеног софтвера у решавању практичних проблема партиципаната.

1.3 Фазе и активности у другој години истраживања (Прилог 1 Уговора)

Фаза 1. РАЗВОЈ СОФТВЕРСКИХ КОНЦЕПАТА ЗА СПРЕЗАЊЕ СОФТВЕРСКИХ МОДУЛА

Активност 3. Синхрони секвенционални приступ применом STL

Активност 4. Асинхрони секвенционални приступ применом STL

Фаза 2. РЕИНЖЕЊЕРИНГ И РАЗВОЈ СОФТВЕРА У ОБЛАСТИ РАЧУНСКЕ МЕХАНИКЕ СОЛИДА

Активност 6. Развој материјалног модела за паметне материјале SMA

Активност 7. Развој материјалног модела за паметне материјале SMP

Активност 8. Развој и имплементација методологије за решавање проблема порних притисака у порозним медијима

Активност 10. Развој проширене методе коначних елемената XFEM у хидро-механичким интеракцијама

Фаза 3. РЕИНЖЕЊЕРИНГ И РАЗВОЈ СОФТВЕРА У ОБЛАСТИ РАЧУНСКЕ МЕХАНИКЕ ФЛУИДА

Активност 11. Развој експлицитне верзије кода

Фаза 4. РЕИНЖЕЊЕРИНГ И РАЗВОЈ СОФТВЕРА ЗАСНОВАНОГ НА ПРОБЛЕМИМА ПОЉА

Активност 15. Развој софтвера за електростатику

Активност 16. Развој софтвера за ток једносмерне струје

Фаза 5. СПРЕЗАЊЕ И ПАРАЛЕЛИЗАЦИЈА ПОЈЕДИНИХ СОФТВЕРСКИХ МОДУЛА

Активност 19. Флуид-структура интеракција

Активност 20. Структура-порни притисци интеракција

Фаза 6. ИНДУСТИЈСКА ПРИМЕНА

Активност 25. Термо-механички прорачун вагона за превоз цемента UACNS-Z

Активност 26. Термо-механички прорачун редуктора велике снаге за покретање транспортних трака на површинским коповима

Фаза 7. МЕНАЏМЕНТ ПРОЈЕКТА

Активност 30. Технички и административни менаџмент

Активност 31. Промоција резултата пројекта

Активност 32. WEB сервиси

2. Реализација обавеза дефинисаних Уговором

У другој години истраживања реализоване су све обавезе дефинисане Уговором, дате у поглављу 1. Развијени су сви предвиђени РАК модули. Развијени програмски модули и софтверски систем верификовани су и упоређени са резултатима експеримената, публикованим резултатима и резултатима других водећих софтвера у свету из ове области, као што су ABAQUS, ADINA, ANSYS, COMSOL, NASTRAN и други. Упоредо са развојем, прави се комплетна документација софтвера са свим потребним упутствима на енглеском и српском језику. Развијени и спрегнути РАК модули се успешно примењују за решавање реалних проблема у индустрији, као и за едукацију и истраживање. Корисницима софтвера се пружа потпуна подршка у обуци, одржавању и прилагођавању софтвера специјализованим захтевима.

У Табели 1 наведени су предвиђени и остварени резултати на пројекту. Очигледно је да је знатно већи број резултата остварен него што је планиран. Тренутно је на пројекту ангажовано дванаест студента докторских студија, чије су докторске дисертације директно везане за реализацију пројекта.

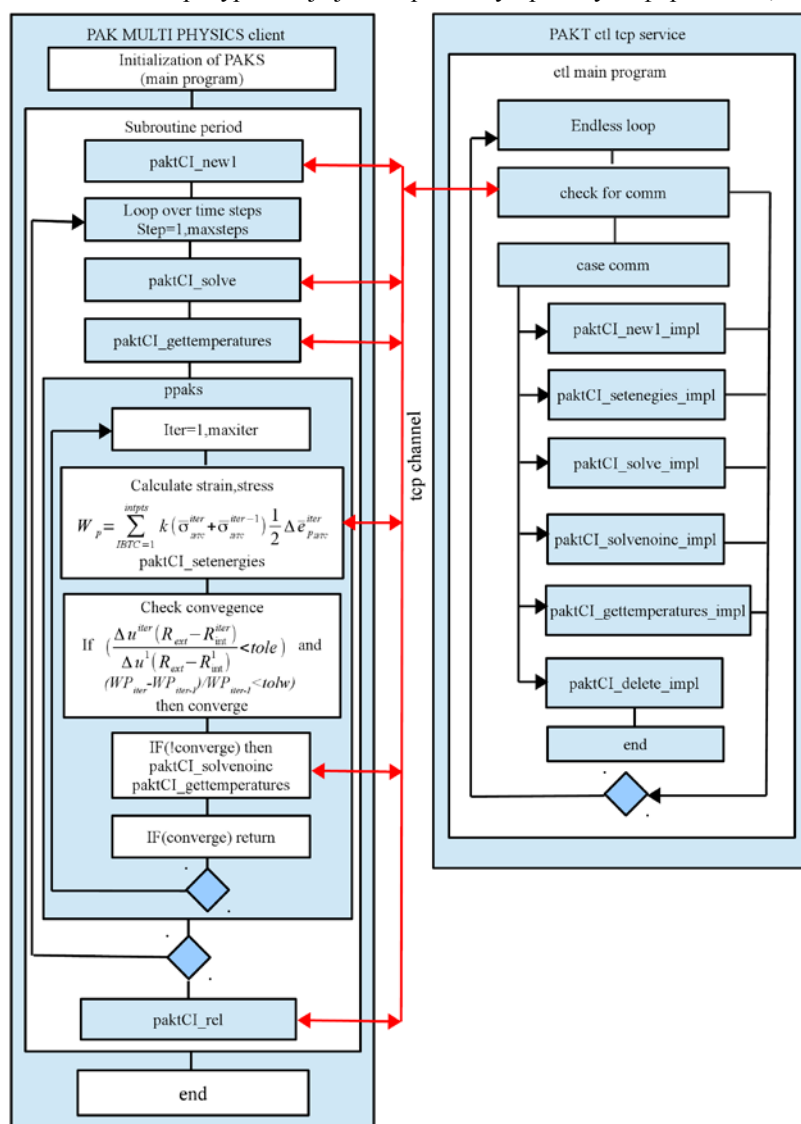
Табела 1. Предвиђени и остварени резултати у другој години истраживања

Шифра	Врста резултата	Предвиђено	Остварено
M13	Монографска студија/поглавље у књизи M11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја	-	-
M22	Рад у истакнутом међународном часопису	-	1
M23	Рад у међународном часопису	5	9
M24	Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком	-	8
M31	Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (неопходно позивно писмо)	-	2
M33	Саопштење са међународног скупа штампано у целини	5	33
M34	Саопштење са међународног скупа штампано у изводу	-	4
M42	Монографија националног значаја, монографско издање грађе, превод изворног Текста у облику монографије (само за старе језике)	-	1
M51	Рад у водећем часопису националног значаја	-	7
M52	Рад у часопису националног значаја	-	1
M53	Рад у научном часопису	-	3
M63	Саопштење са скупа националног значаја штампан у целини	1	6
M64	Саопштење са скупа националног значаја штампан у целини	-	1
M71	Одбрањена докторска дисертација	1	Пријављене 3 дисертације
M83	Прототип, нова метода, софтвер, стандардизовани или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми (уз доказ)	-	1
M85	Прототип, нова метода, софтвер, стандардизовани или атестиран инструмент, нова генска проба, микроорганизми (уз доказ)	1	6
Укупно		13	84

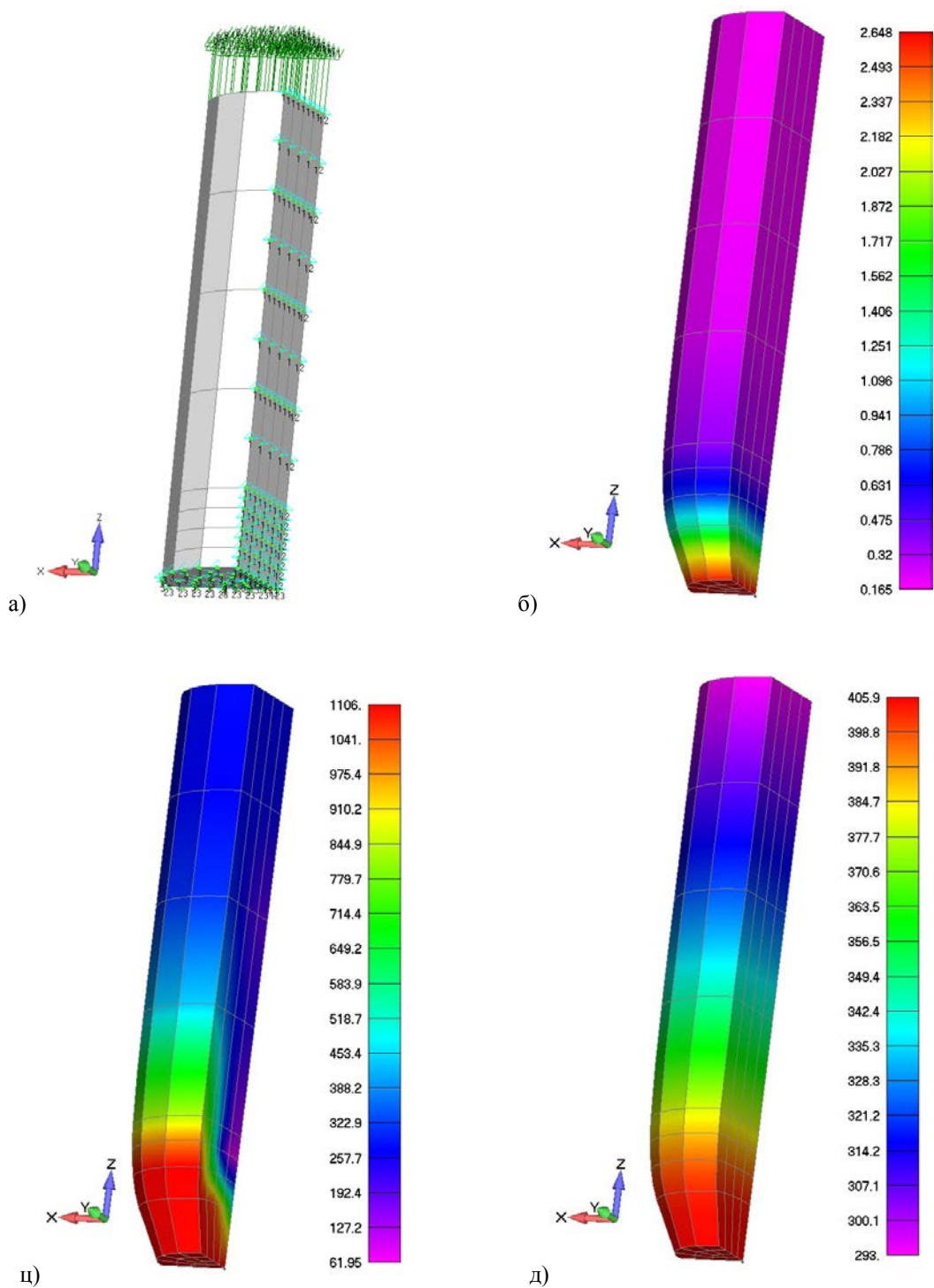
2.1 Конкретан опис резултата пројекта, по активностима и фазама, који су остварени у извештајном периоду (до 15 страница), са упоређењем са обавезама и резултатима дефинисаним Уговором:

2.1.1 Фаза 1-Развој софтверских концепата за спрезање софтверских модула

У оквиру активности 3 (синхрони приступ) и активности 4 (асинхрони приступ), урађено је спрезање два програмска модула: за провођење топлоте РАК-Т и структурну анализу РАК-S. Спрезање је извршено на 2 начина: асинхроно (код овог начина сваки од модула ради независно а резултати једног се користе као улаз другог), и синхроно коришћењем СТЛ интерфејса, слика 2.1.1.1. Модул за структурну анализу РАК-S садржи више материјалних модела који описују понашање материјала у различитим областима. Претходно развијен термо-еласто-пластичан материјални модел за мале деформације је побољшан тако да је могуће решити и проблеме великих деформација. Такође, дограђено је израчунавање енергије дисипације која је последица настанка пластичних деформација. Модул за провођење топлоте је коришћен за рачунање промене температуре услед енергије дисипације. Промена температуре узрокује промену материјалних карактеристика и додатни настанак пластичних деформација. Размена података између модула РАК-а се врши у свакој итерацији солвера за структурну анализу. Модул за провођење топлоте РАК-Т решава цео корак, за сваку нову итерацију програма за структурну анализу РАК-S, и прослеђује му резултате за поље температура. Ова комплексна повратна спрега између поља пластичних деформација доводи до брзе конвергенције решења. Примена спрегнутих програмских модула је показана на примеру кидања кружне епрувете без имперфекције, где је слабење материјала изазвано температуром која је генерисана у процесу деформисања, слика 2.1.1.2.



Слика 2.1.1.1. Алгоритам термо-механичког спрезања коришћењем СТЛ интерфејса



Слика 2.1.1.2. Кидање кружне епрувете без геометријске имперфекције (слабљење термички изазвано)

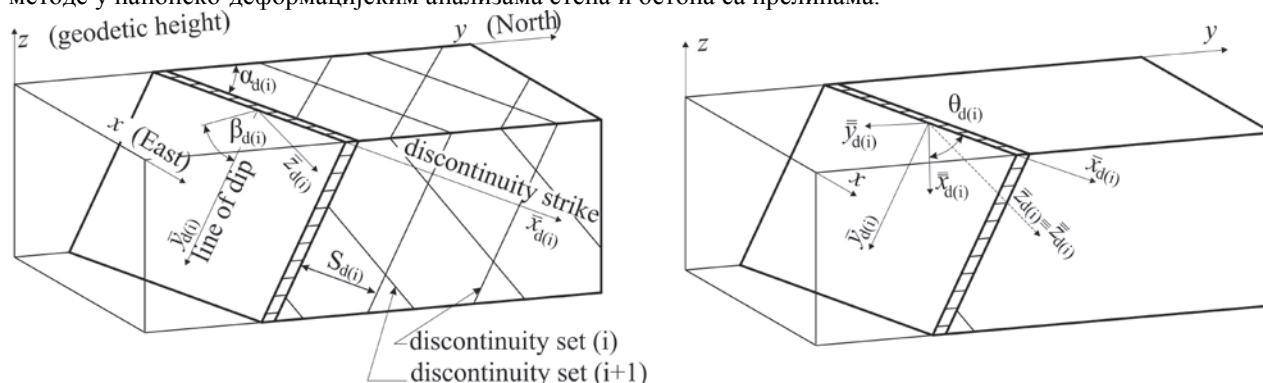
а) мрежа коначних елемената, ограничења и оптерећења, б) поље пластичне деформације, ц) поље еквивалентног напона, д) поље генерисане температуре услед деформисања

2.1.2 Фаза 2-Рейнжењеринг и развој софтвера у области рачунске механике солида

У оквиру активности 6 развијен је материјални модел који описује понашање, тзв. паметних материјала (SMA) базиран на Лагоудасовој теорији промене фазне трансформације и у процесу је даљих побољшања. Могуће је решавање проблема имплицитном интеграцијом напона на нивоу Гаусове тачке за проблеме малих и великих деформација. Све променљиве су изведене тако да зависе од ефективних вредности напона и деформација. Теорија заснована на Лагоудасовом приступу је модификована тако да је сада неопходно решавање само једне скаларне једначине водећег параметра. Критична термодинамичка сила је прилагођена тако да одговара новом

У оквиру активности 7 развијен је материјални модел који описује понашање, тзв. паметних полимерних материјала (SMP) базиран на теорији Честера-Ананда и Аруда-Бојс. Омогућено је решавање проблема имплицитном интеграцијом напона на нивоу Гаусове тачке за проблеме малих и великих деформација. Као увод у обраду таквог понашања материјала, посматране су кристалографске структуре и интеграција напона за FCC кристале (модел бабра). Све променљиве су функције ефективних вредности напона и деформација. Интеграција се врши за девијаторски и средњи напон у правцу пробног девијатора напона за сваки временски корак. Развијени модел је у процесу верификације поређењем са репрезентативним примерима из Честерове теорије и са примерима непропорционалног оптерећења заснованог на великим деформацијама.

У оквиру активности 10 анализирано је механичко понашање испуцале стенске масе коришћењем комбинације експерименталних и нумеричких техника. Развијен је нови конститутивни модел за испуцалу стенску масу заснован на неасоцијативном услову течења (слика 2.1.2.1). Конститутивне релације за анизотропну стену су развијене увођењем интеракције између сета дисконтинуитета и монолита у коме се јављају дисконтинуитети. Нумерички резултати су верификовани поређењем са експерименталним резултатима који су добијени мерењем померања монолитног блока (слика 2.1.2.2). Даља истраживања ће бити усмерена на примену XFEM методе у напонско-деформацијским анализама стена и бетона са прслинама.

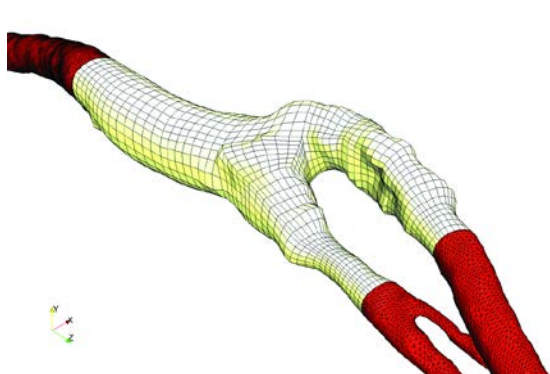


У оквиру ове активности је објављен рад M23.

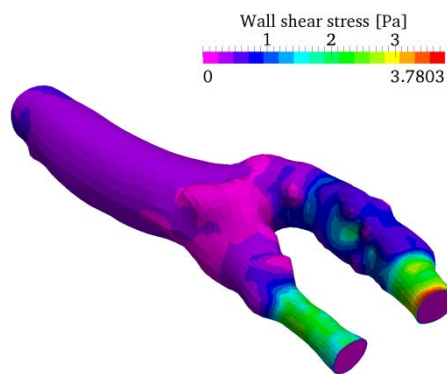
2.1.3 Фаза 3-Рейнжењеринг и развој софтвера у области рачунске механике флуида

У оквиру активности 11 развијена је експлицитна верзија кода за софтвер из области рачунске механике флуида. Софтвер је тестиран, направљено је корисничко упутство и практично је примењен при прорачуну струјања крви у крвним судовима човека. За прорачун струјања крви кроз артеријску бифуркацију човека потребно је прво генерисати модел коначних елемената на основу волуметријског модела добијеног на основу снимака са СТ скенера или магнетне резонанце, а потом се задају основни хемодинамички параметри. Геометрија артерија је врло сложена и разликује се међу пацијентима. Да би се убрзао процес генерисања модела коначних елемената, развијен је софтвер STL2FEM који на основу волуметријских модела генерише мрежу 3Д осмочворних коначних елемената. Ово значајно убрзава процес генерисања мреже коначних елемената за произвољно изабраног пацијента и омогућава велики број персонализованих прорачуна струјања кроз артерије пацијената. Резултат генерисања мреже коначних елемената софтвером STL2FEM приказан је на слици 2.1.3.1. Поље смичућег напона на зиду артерије, добијено као резултат прорачуна струјања крви за артеријску бифуркацију помоћу експлицитне верзије софтвера из области рачунске механике флуида, приказано је на слици 2.1.3.2.

У оквиру ове активности публикован је рад категорије M23, рад категорије M33, док је развијени софтвер STL2FEM пријављен као техничко решење категорије M85.



Слика 2.1.3.1. Модел коначних елемената артеријске бифуркације генерисан на основу волуметријског модела софтвером STL2FEM

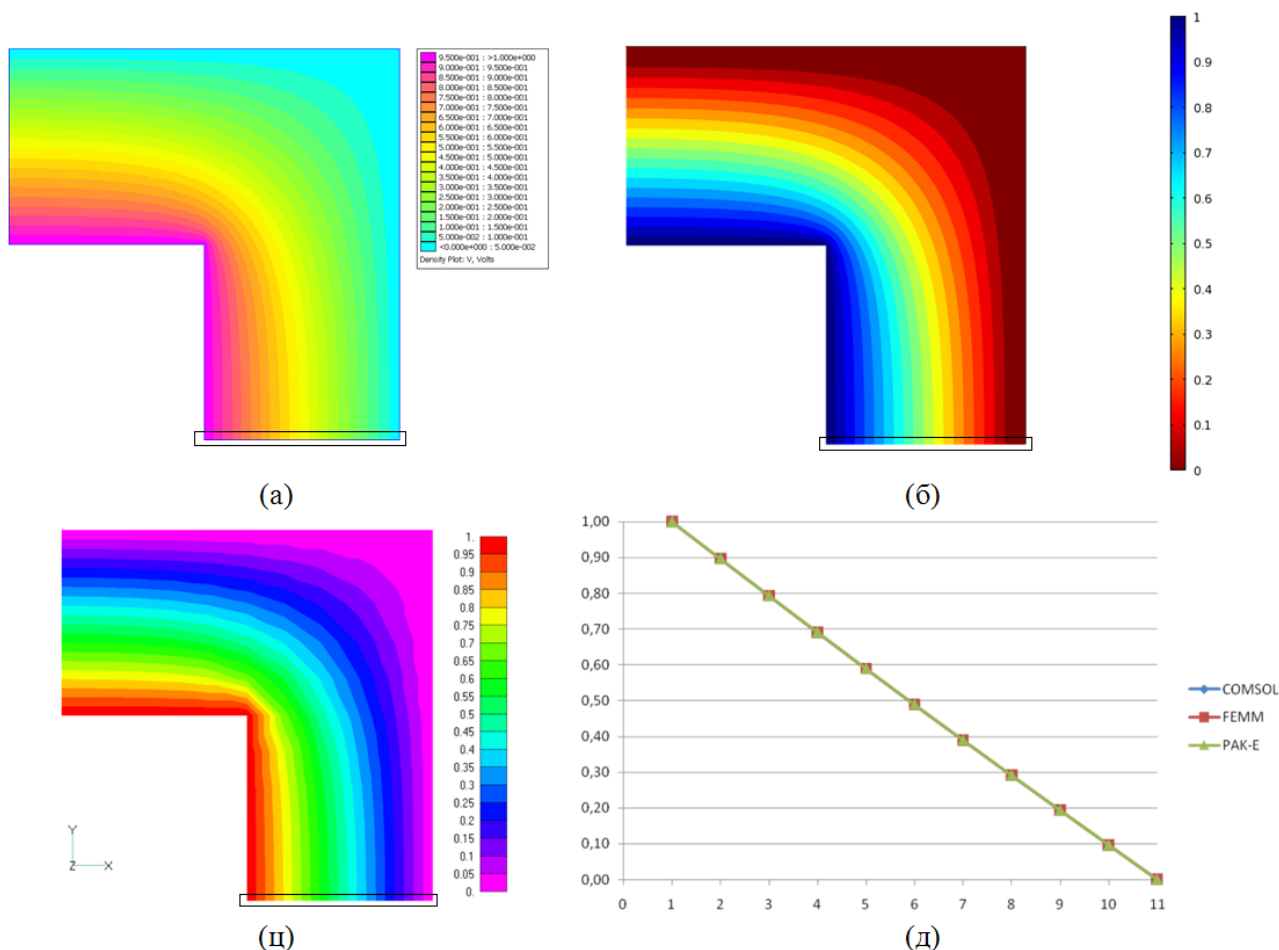


Слика 2.1.3.2. Поље смичућег напона на зиду артеријске бифуркације

2.1.4 Фаза 4-Рейнжењеринг и развој софтвера заснованог на проблемима поља

У оквиру активности 15, користећи аналогije које постоје између температурског и електростатичког поља, развијен је софтвер за прорачун електростатичког поља ПАК-Е. Софтвер се користи за одређивање величина које карактеришу електростатичко поље, као што су електрични потенцијал, напон, електрична индукција, капацитивност и електростатичка сила, применом методе коначних елемената (МКЕ) за произвољне геометрије домена и произвољне граничне услове. Развијени софтвер је писан у FORTRAN-у на основу теоријских формулација електростатике, изведених за нумеричку интеграцију применом методе коначних елемената. При развоју софтвера су имплементирани најсавременије нумеричке методе (итеративне методе решавања, паралелни солвер, 1Д, 2Д и 3Д коначни елементи и др.). Софтвер је тестиран на примерима из литературе и направљено је корисничко упутство са верификационим примерима. Развијени софтвер ПАК-Е, у поређењу са другим комерцијалним, едукативним и софтверима отвореног кода који су били доступни, има сличне могућности и даје поуздане резултате при нумеричким прорачунима. Такође, развијен је и интерфејс у водећем светском софтверу за пре- и пост- процесирање FEMAP, па се генерисање модела и приказ резултата врши овим софтвером. Поред тога, имплементиран је интерфејс у софтверу отвореног кода за пост-процесирање резултата Paraview. На сликама 2.1.4.1а, 2.1.4.1б, 2.1.4.1ц су приказана поља потенцијала одређена софтверима FEMM, COMSOL и ПАК-Е. Са слике 2.1.4.1д се види добро слагање резултата добијених софтвером ПАК-Е са софтверима COMSOL и FEMM.

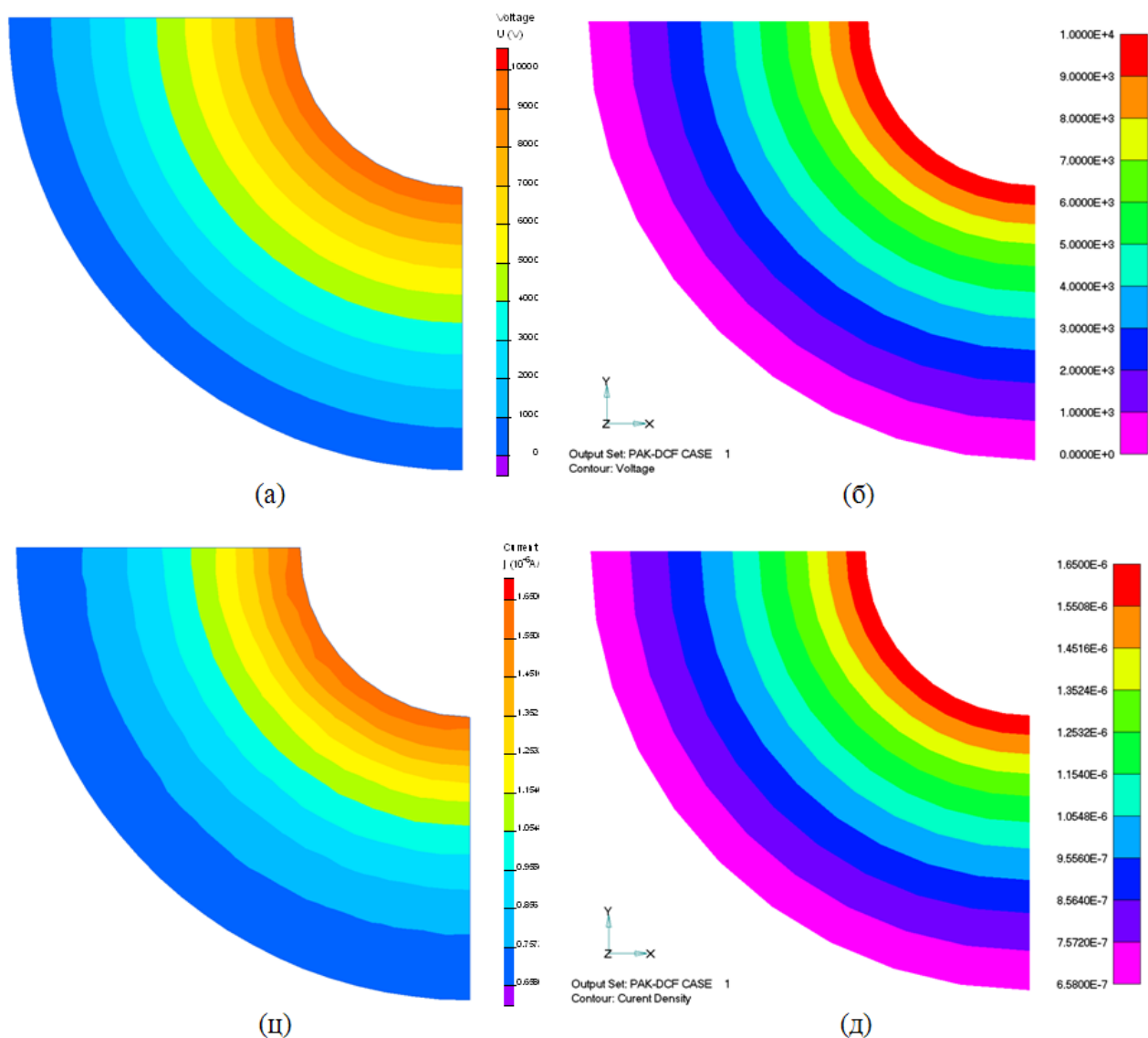
Резултати рада на овој активности презентовани су на 2 међународне конференције (M33) и пријављено је техничко решење - нови софтвер (M85).



Слика 2.1.4.1. Поље потенцијала: (а) FEMM, (б) COMSOL, (в) PAK-E и (д) упоредни приказ резултата

Проблеми протицања једносмерне струје математички су веома слични решавању проблема провођења топлоте. За ниско-фреквентне проблеме, примењује се подкуп Максвелових једначина. У оквиру активности 16, користећи аналогије које постоје између температурског и поља једносмерне струје, развијен је софтвер за прорачун протицања струје кроз проводни медијум PAK-DCF. Ова класа проблема описана је Поасоновом једначином, а посматрају се поља напона, густине електричне струје, електрични губици (Џулово грејање). Програм одређује расподелу ових величина у дефинисаним доменима при дефинисаним граничним условима. Развијени софтвер је писан у FORTRAN-у. Софтвер је тестиран на примерима из литературе и направљено је кориничко упутство са верификационим примерима. На слици 2.1.4.2 приказано је поље напона у изолацији високонапонског проводника одређено софтверима (а) QuickField и (б) PAK-DCF. На истој слици приказано је поље расподеле густине струје у изолацији високонапонског проводника одређено софтверима (в) QuickField и (д) PAK-DCF. Софтвер се може користити за анализу различитих техничких и биолошких проводних система. Развој овог софтвера представља корак ка реализацији активности предвиђене у следећој години: термомеханичко спрезање и примена на примеру моделирања радио-фреквентне аблације.

Резултати рада на овој активности презентовани су на међународној конференцији (M33).

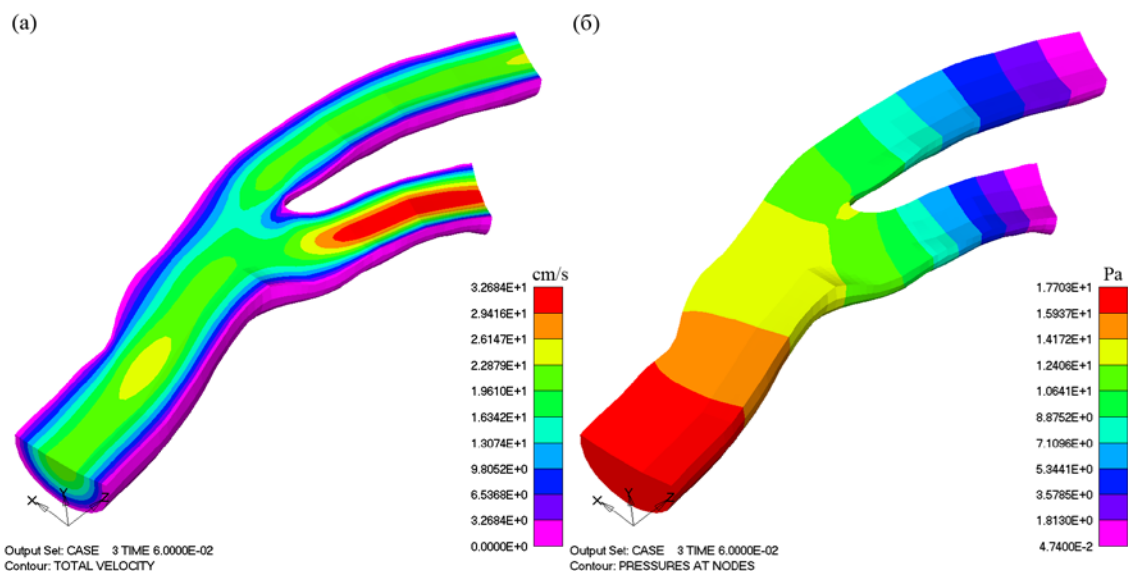


Слика 2.1.4.2. Поље напона и густине електричне струје у изолацији високонапонског проводника

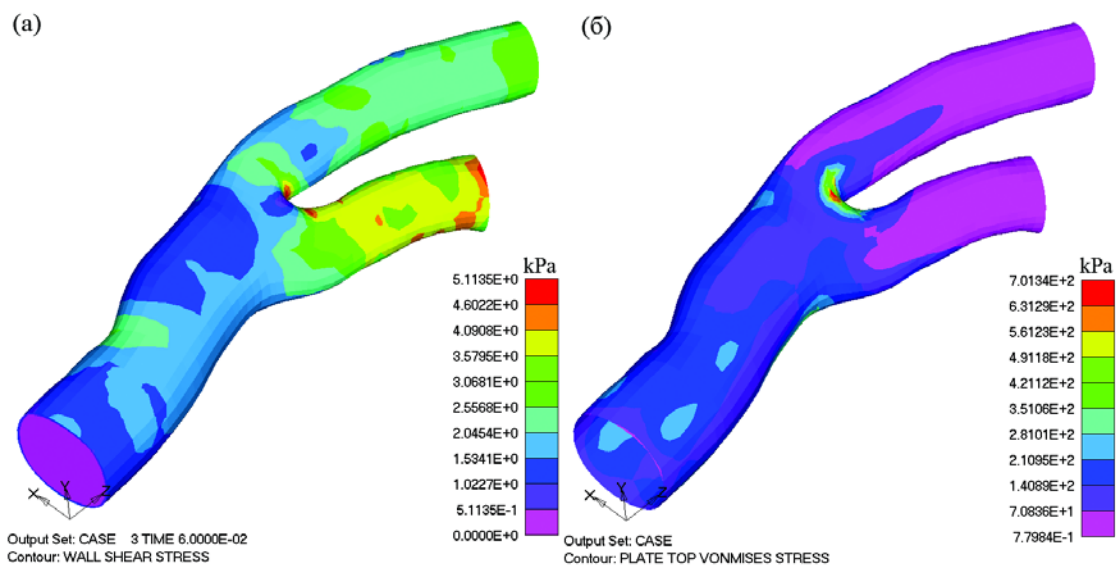
2.1.5 Фаза 5-Спрезање и паралелизација појединих софтверских модула

У оквиру активности 19 софтверски модули за рачунску механику флуида и рачунску механику солида су спрегнути и формиран је модул PAK-FS. Флуид и солид заузимају различите поддомене, па се одговарајући системи једначина постављају одвојено за сваки поддомен, уз услов да је дискретизација поддомена флуида и солида компатибилна на интерфејсу. Програм за рачунску механику флуида користи као граничне услове тренутну геометрију (површине) и брзине у чворовима који се налазе на тим површинама. Ове информације добијају се програмом за рачунску механику солида. Са друге стране, притисна оптерећења из флуидног домена се преносе на домен солида. На сликама које следе приказани су резултати симулације интеракције флуида и солида на примеру артеријске бифуркације. Поље брзина флуида у трећем кораку срчаног циклуса приказано је на слици 2.1.5.1a, док је на слици 2.1.5.1b приказано поље притиска. Поље смичућег напона на зидовима крвног суда, у трећем кораку срчаног циклуса, приказано је на слици 2.1.5.2a, док је на слици 2.1.5.2b приказано поље еквивалентног напона на зидовима артерије. Приказани нумерички резултати показују да је развијена методологија веома флексибилна и ефикасна за примењена истраживања у биомедицинском инжењерингу.

У оквиру ове активности публиковано је: рад категорије M23, 3 рада категорије M33, 1 рад категорије M52, 2 рада категорије M53 и 1 рад категорије M63.

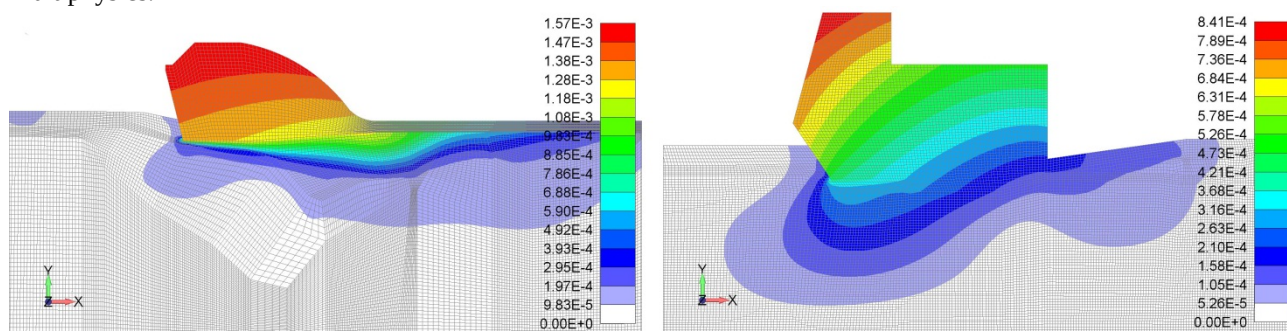


Слика 2.1.5.1. Поље брзина (а) и поље притиска (б) у кораку 3 срчаног циклуса артеријске бифуркације

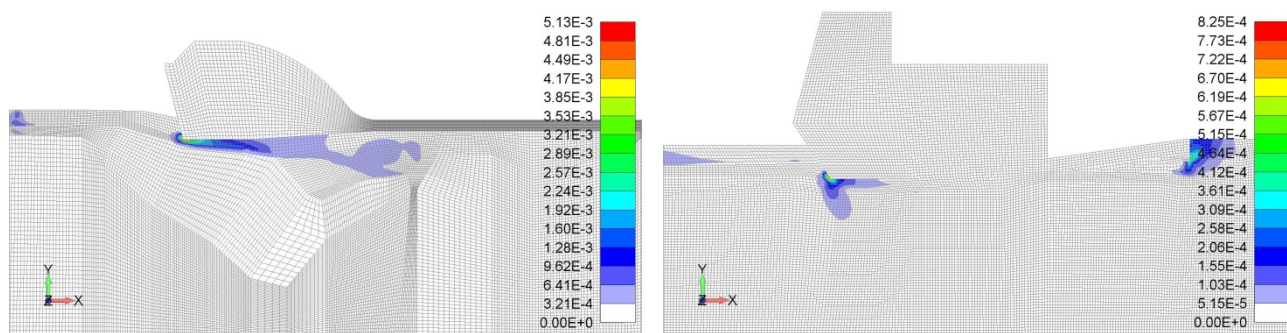


Слика 2.1.5.2. Напон смицања на зиду (а) и еквивалентни напон (б) у кораку 3 срчаног циклуса артеријске бифуркације

У оквиру активности 20, развијен је модул за анализу интеракције структура-порни притисци за различите геотехничке средине. Анализирана је стабилност шест бетонских гравитационих брана на реци Ибар, где је одређиван степен сигурности бране у односу на слом фундамента. На сликама 2.1.5.3 и 2.1.5.4 приказани су резултати, за поље померања и поље пластичне деформације, за преливни и непреливни део бране Церје. За одређивање степена сигурности конструкције коришћена је метода редуковања смичуће чврстоће, како би се пратила пропагација зона пластификације и одредиле равни потенцијалног клизања. У оквиру овог прорачуна су коришћени материјални модели геомеханике, који су развијени у оквиру софтверског система PAK-Multiphysics.

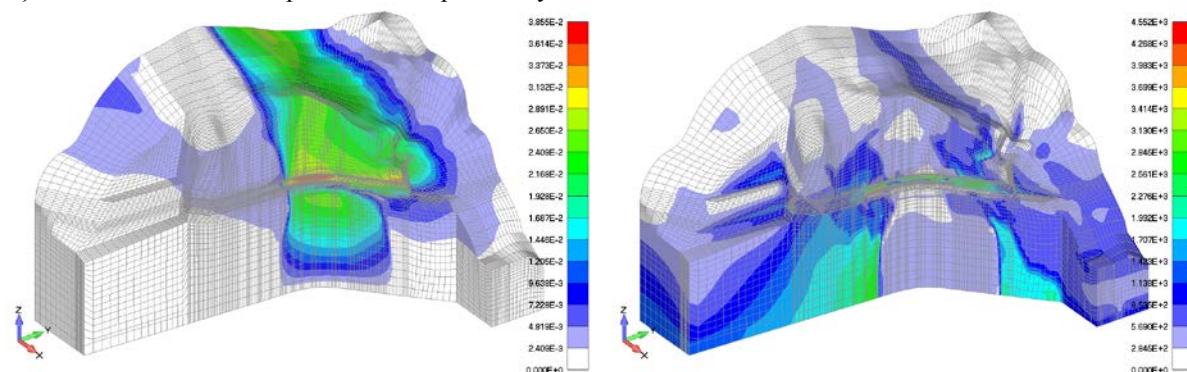


Слика 2.1.5.3. Поље укупног померања преливног и непреливног дела бране „Церје“

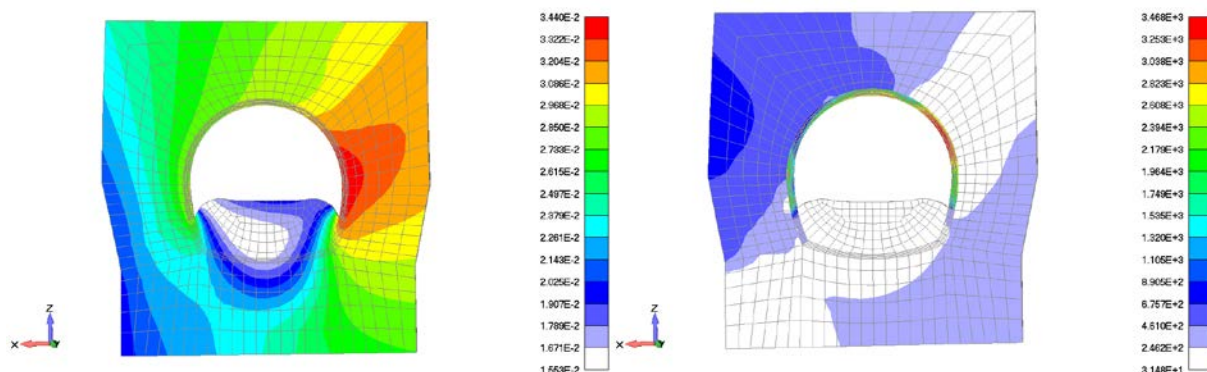


Слика 2.1.5.4. Поље пластичне деформације у преливном и непреливном делу бране „Церје“

У оквиру пројекта прорачуна тунела „Боцац“, софтверски систем PAK-Multiphysics је коришћен за анализу стабилности подградне конструкције и околне стенске масе током ископавања. На сликама 2.1.5.5 и 2.1.5.6 приказани су резултати за поље померања и поље еквивалентног напона. Симулиран је реалан процес свакодневног двофазног ископавања (коришћењем опције умирања елемената) и постављања бетонске облоге тунела (коришћењем опције рађања елемената), заједно са елементима за армирање. Истовремено су на самом тунелу вршена свакодневна мерења померања облоге (конвергенција профила), мерења напона у анкерима, мерења смичућег и нормалног напона између облоге и тла, како би се урадила калибрација модела и радила предвиђања стабилности тла при даљем напредовању чела ископа.



Слика 2.1.5.5. Поље укупног померања и поље напона за стационажу 52м



Слика 2.1.5.6. Поље укупног померања и поље напона у пресеку на 80м

2.1.6. Фаза 6-Индустријска примена

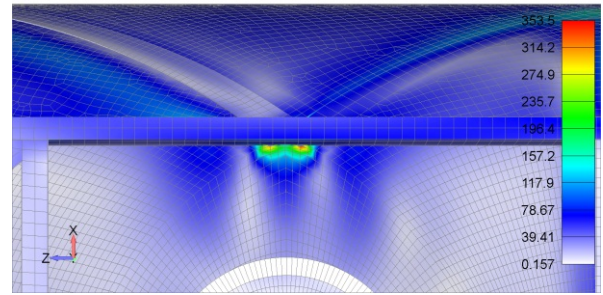
У оквиру активности 25, за потребе партиципаната извршен је термо-механички прорачун вагона за превоз цемента Uacps-z. Основни задатак термо-механичког прорачуна је идентификација узрока настајања прслина на спремнику вагона за превоз прашкастих материјала. Прорачуном провођења топлоте је одређено температурско поље које представља улаз у термо-механички прорачун. Анализом узрока настајања прслина на вагону предложена је санација насталих прслина. Поновљеном анализом реконструисаног модела потврђено је да вагон задовољава критеријуме статичке и заморне чврстоће у складу са стандардима. Резултати термо-механичког прорачуна вагона приказани су на слици 2.1.6.1.

На сличан начин софтвер PAK-Multiphysics се може успешно користити и другим гранама индустрије, као што су грађевинарство, бродоградња, ауто индустрија, авио индустрија, итд.

У оквиру ове активности предвиђен је и публикован рад категорије M33.



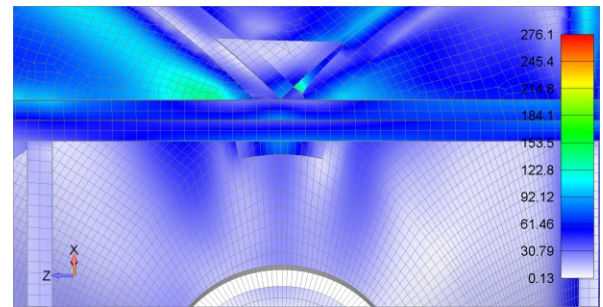
а) Прслина на спремнику вагона



б) Поље ефективног напона на месту уочених прслина



в) Место санације уочених прслина

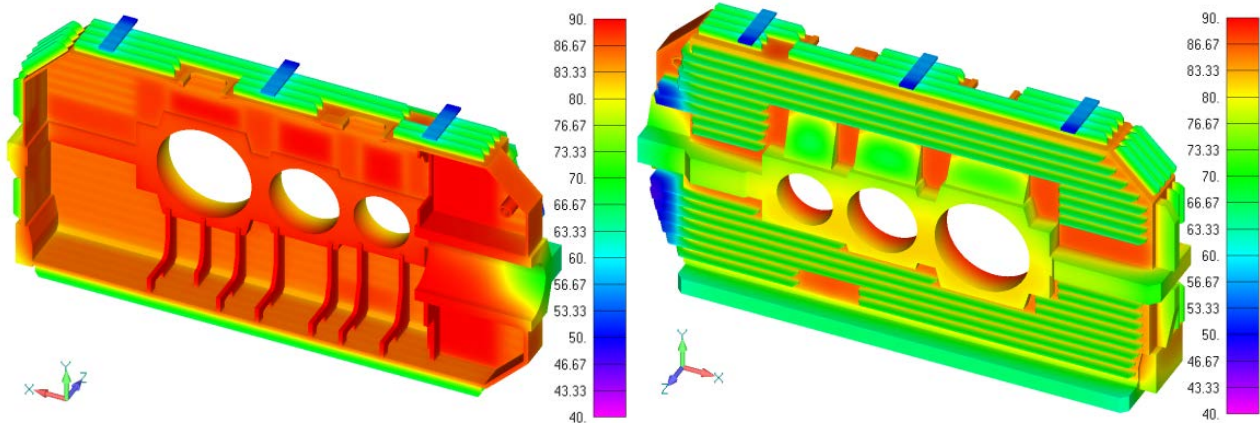


г) Поље ефективног напона на месту санације

Слика 2.1.6.1. Термо-механички прорачун вагона за превоз прашкастих материјала

У оквиру активности 26 за потребе партиципаната извршен је термички прорачун редуктора велике снаге који је предвиђен за непрекидан погон траке за транспорт угља на површинским копovima. Циљ анализе је био да се одреди потребна брзина струјања ваздуха при принудном хлађењу кућишта редуктора, при којој може да се размени генерисана количина топлоте у редуктору услед губитка снаге са околином. На основу одређене потребне брзине струјања ваздуха изабран је одговарајући вентилатор, који задовољава постављени захтев. На слици 2.1.6.2 приказано је поље температуре на унутрашњој и спољашњој површини редуктора.

У оквиру ове активности публикован рад категорије М33 и пријављено је техничко решење - нови софтвер (М85).

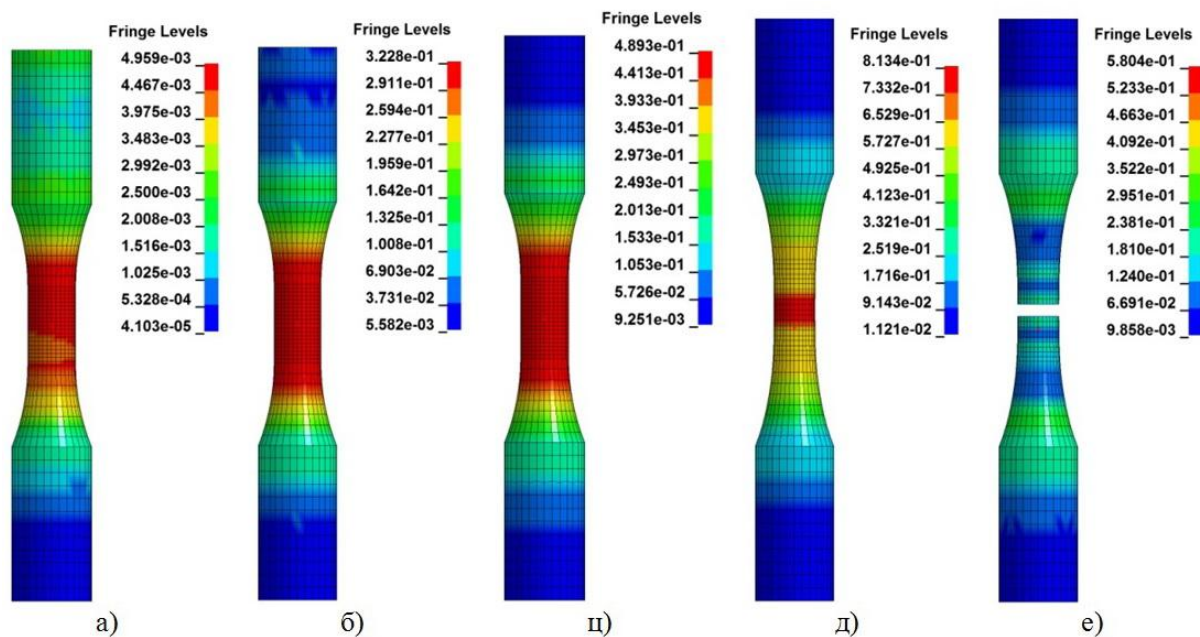


Слика 2.1.6.2. Поље температуре на унутрашњој и спољашњој површини

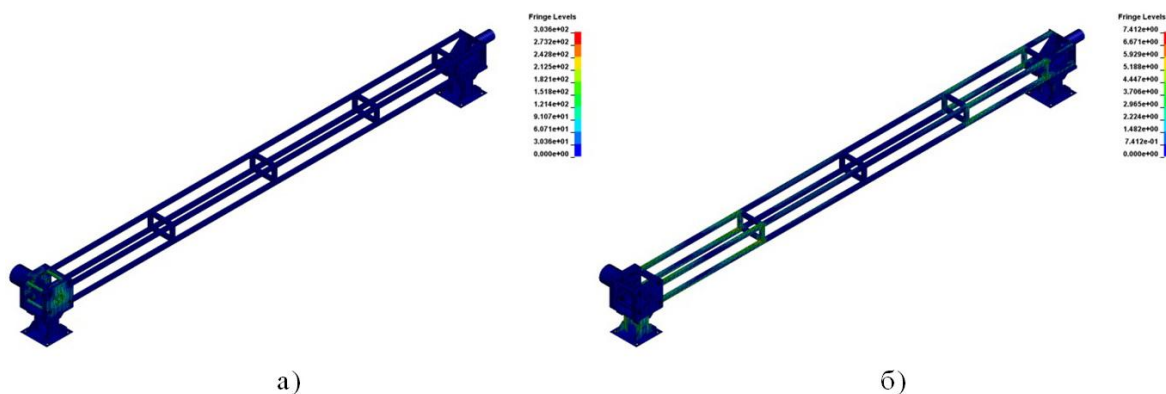
У оквиру за активности 25, извршен је развој и пројектовање уређаја за испитивање материјала при великим брзинама деформације. Резултати мерења на овом уређају се користе код одређивања параметара материјалних модела који се користе код динамичких прорачуна конструкција које су изложене ударним оптерећењима. Пројектовање је подразумевало нумеричке прорачуне и израду комплетне конструкционе документације. Нумерички прорачуни обухватају: процес затезања једног дела штапа и генерисање енергије која дефинише жељену брзину деформације (имплицитна шема интеграције); процес отпуштања генерисане енергије и праћење протирења таласа дуж подужне осе штапа, епрувете и другог слободног штапа (експлицитна шема интеграције); прорачун утицаја носеће конструкције на подлогу и окружење. На основу резултата деформација и напона у штаповима и епрувети, слика 2.1.6.2, могуће је одредити криву течења материја од којег је направљена епрувета при одређеним брзинама деформације. Прорачуном носеће конструкције у делу где се

генерише енергија, омогућен је увид у утицај конструкције за време генерисања и оптуштања енергије на подлогу и окружење, слика 2.1.6.3.

У оквиру ове активности публикован рад категорије М33 и пријављено је техничко решење - нови софтвер (М85).

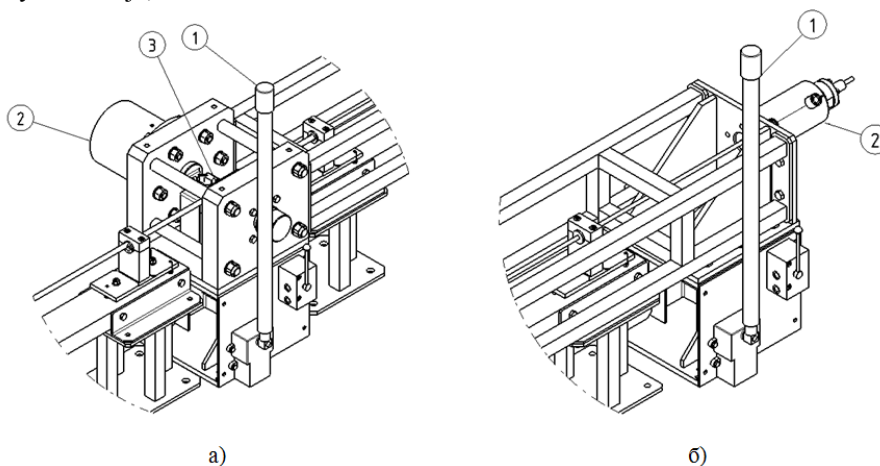


Слика 2.1.6.3 Вредности ефективног напона када се штап затеже 13mm [МПа]: а) на почетку затезања, б) на граници течења, ц) за време деформационог ојачања, д) непосредно пре лома и е) када настаје лом



Слика 2.1.6.4 Напонско поље носеће конструкције за а) квазистатичку и б) динамичку фазу оптерећења

Након извршених нумеричких прорачуна и усвојеног решења комплетног уређаја, извршена је израда комплетне конструкционе документације, слика 2.1.6.5.



Слика 2.1.6.5. Конструкциона документација: а) Подсклоп укљештења и окидања, 1-Палица ручне пумпе, 2-Хидраулични цилиндар од 500кN, 3-Укљештење и окидач, б) Подсклоп затезања, 1-Палица ручне пумпе, 2-Хидраулични цилиндар од 50кN

У сарадњи са партиципантима на пројекту, извршена је израда уређаја и његова монтажа на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, слика 2.1.6.6. Партиципанти који су учествовали у изради уређаја, а уједно и корисници резултата истраживања су: ППТ-Наменска Трстеник, ИЦ Инжењеринг Крагујевац, Милановић Инжењеринг Крагујевац.

Резултати рада на овој активности презентовани су на међународној конференцији (М33), пријављено је техничко решење – ново експериментално постројење (М83).



а)



б)

Слика 2.1.6.6. Изведена конструкција уређаја на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу

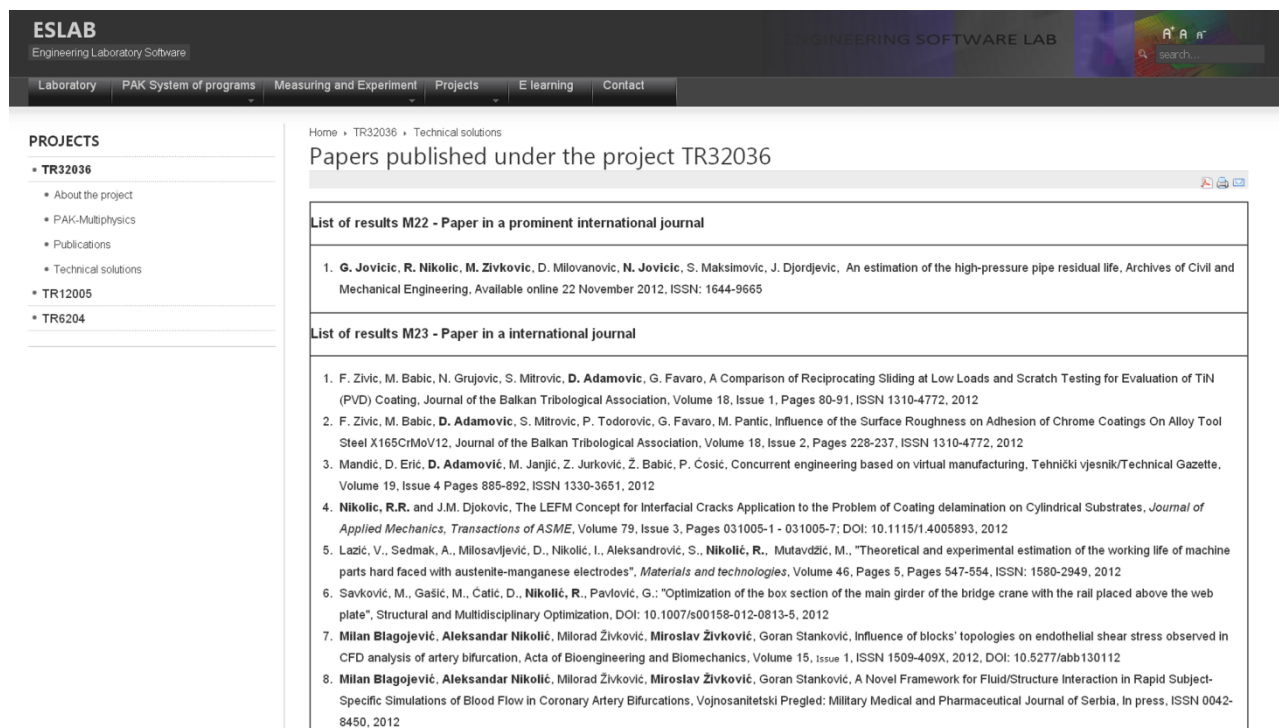
а) Решеткаста конструкција, б) Подсклоп укљештења и окидања

2.1.7 Менаџмент пројекта

Руководилац пројекта је, у оквиру активности 30, управљао техничким и административним менаџментом са циљем успостављања ефикасности и квалитета рада на пројекту. При томе се водило рачуна да сва финансијска средства буду правилно распоређена и утрошена. На састанцима који су одржавани једном месечно су учесници пројекта презентовали резултате до којих се дошло радећи на активностима дефинисаним пројектом. На овај начин вршен је надзор реализације свих активности. Учесници ангаживани на пројекту су добијали и нове месечне задатке, везане за даље активности. Поред овог начина презентовања резултата и размене информација, сви учесници пројекта су свакодневно били у контакту са руководиоцем пројекта и међусобно преко е-маила, телефонске и видео конференције.

У оквиру активности 31 вршена је промоција резултата пројекта. Промовисани су резултати свих претходно реализованих активности које су предвиђене пријавом пројекта. Применом развијеног софтверског система PAK-Multiphysics је реализовано више студија за потребе партиципаната, што је представљало наставак пројектних активности из прве године реализације пројекта. На овај начин су партиципантима презентоване нове могућности развијеног софтвера. О могућностима PAK-Multiphysics софтвера су информисани и други потенцијални корисници за које је урађено неколико студија (ASSEMA, Alstom, „Ђуро Ђаковић“ и др.).

На Web порталу Лабораторије за инжењерски софтвер Факултета инжењерских наука, постављена је секција (<http://fempak.fink.rs/projects/TR/32036/>) са релевантним информацијама везаним за пројекат (резиме, опис пројекта, фазе и активности, кључни резултати) и радови објављени као резултат извршавања активности на пројекту. У односу на садржај који је описан у претходном извештају, садржај је обогаћен листом радова (са могућношћу преузимања) који су објављени током 2012. године, документацијом реализованих техничких решења, документацијом развијених софтвера (STL2FEM, CMM2Deformation).



Слика 2.1.7. Web сервис

2.2 Преглед резултата који директно омогућују наставак реализације пројекта

Остварени резултати у другој години истраживања су детаљно изложени у претходном поглављу. Ови резултати представљају наставак пројектних активности из прве године реализације пројекта и основу за реализацију пројектних активности предвиђених за трећу годину пројекта. Као што је то био случај са првом годином истраживања, све активности предвиђене за другу годину истраживања су реализоване у потпуности. Такође, започета је реализација појединих активности предвиђених за трећу годину реализације пројекта, што представља гаранцију да ће се преостале активности успешно реализовати.

2.3 Оцена успешности реализације пројекта и утицај резултата на даље активности и завршетак целог пројекта

Преглед резултата остварених у другој години реализације пројекта су дати у поглављу 2.1. У табели 1 су приказани остварени резултати у другој години. Из табеле 1 се може видети да је остварено знатно више резултата него што је планирано у другој години истраживања. Анализом активности у другој години истраживања може се закључити да су све планиране активности реализоване у потпуности. Софтверски систем РАК-Multiphysics, је на нивоу светски познатих али вишеструко скупљих софтверских решења за решавање мултифизичких проблема, и у потпуности задовољава потребе партиципаната, што потврђује велики број студија урађених за њихове потребе. Развијени софтвер је у потпуности подржан пратећом документацијом и одржавањем. Реализатор истраживања, пружа техничку подршку корисницима софтвера, као и услуге обуке за његово коришћење.

На основу публикованих резултата који се односе на предвиђене активности у трећој години реализације пројекта може се видети да је реализација неких активности већ знатно реализована.

На основу наведеног може се закључити да постигнути резултати представљају добру основу и гаранцију за успешну реализацију активности у наставку пројекта.