

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: 200155 Факултет техничких наука у Косовској Митровици

Организације корисници-партиципанти:

1. ИЦ Инжењеринг д.о.о.
2. Институт за водопривреду „Јарослав Черни“
3. Про Раил д.о.о.
4. Милановић Инжењеринг д.о.о.
5. ППТ-Наменска АД
6. ЈП Електропривреда Србије
7. ГОША Фабрика шинских возила д.о.о.
8. АТБ Север д.о.о.

Број месеци истраживача: 156

Трајање пројекта: 60 месеци

1. Обавезе дефинисане Анексом II Уговора о реализацији пројекта ТР32036 за 2014. годину у оквиру Програма истраживања у области технолошког развоја за период од 01.01.2014 – 31.12.2014. 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 упуштима 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 сопштени на више међународних скупова.

1.2. Циљ истраживања у четвртој 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, директног приступа; реинжењеринг и развој софтвера у области рачунске механике солида; реинжењеринг и развој софтвера у области рачунске механике флуида; спрезање и паралелизација појединих софтверских модула, спрезање струјања флуида-пренос масе; индустријска примена развијеног софтвера у решавању практичних проблема партиципаната.

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

Фаза 1. РАЗВОЈ СОФТВЕРСКИХ КОНЦЕПАТА ЗА СПРЕЗАЊЕ СОФТВЕРСКИХ МОДУЛА

Активност 5. Директни приступ

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

Активност 9. Адаптација и развој методе дискретних елемената

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

Активност 12. Спрезање СПХ дискретизационе методе са методом коначних елемената

Фаза 5. СПРЕЗАЊЕ И ПАРАЛЕЛИЗАЦИЈА ПОЈЕДИНИХ СОФТВЕРСКИХ МОДУЛА

Активност 21. Спрезање струјања флуида-пренос масе

Фаза 6. ИНДУСТИЈСКА ПРИМЕНА

Активност 29. Анализа спрезања струјања флуида, порних притисака и механике тла за брану „Првонек“

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 четвртој 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 2.1 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 тринаест студента докторских студија, чије су докторске дисертације директно везане за реализацију пројекта. У току четврте године истраживања три докторанта су успешно одбранила своје докторске дисертације.

Табела 2.1. Предвиђени и остварени резултати у четвртој години истраживања

<i>Шифра</i>	Врста резултата	Предвиђено	Остварено
M13	Монографска студија/поглавље у књизи M11 или рад у тематском зборнику водећег међународног значаја		1
M21	Рад у врхунском међународном часопису	1	5
M22	Рад у истакнутом међународном часопису		4
M23	Рад у међународном часопису		5
M24	Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком		7
M25	Рад у међународном часопису који није на СЦИ ЛИСТИ		1
M33	Саопштење са међународног скупа штампано у целини	5	38
M51	Рад у водећем часопису националног значаја		1
M52	Рад у часопису националног значаја		1
M53	Рад у научном часопису		1
M71	Одбрађена докторска дисертација		3
M91	Реализовани патент, сој, сорта, или раса, архитектонско, грађевинско или урбанистичко ауторскодело на међународном нивоу		1
Укупно		6	68

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:

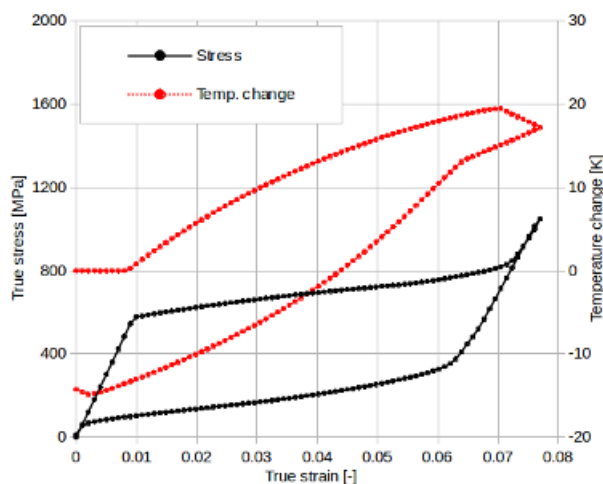
2.1.1 Фаза 1-Развој софтверских концепата за спрезање софтверских модула

У оквиру активности 5 (Директни приступ) развијен је и унапређен концепт за спрезање домена са некомпатибилним мрежама. Након анализе актуелних радова, усвојена је као основа Локализовани Лагранжеови множиоци - ЛЛМ (Localized Lagrange Multipliers - LLM) који су коришћени за ову врсту спрезања.

У претходном периоду започет је развој модула за решавање контактних проблема коришћењем методе локализованих Лагранжеових множилаца. Ова метода се користи за спрезање просторних домена који су у контакту, а који могу бити солид - солид или солид - флуид. Неке од предности ове методе су: знатно мањи број степени слободе глобалних чворова, нема редуваности, сваки домен се решава одвојено те је модуларност знатно већа него код других метода, могућност спрезања домена који имају различиту просторну дискретизацију. Имплементација је подељена у две фазе:

1. Припрема модула за спрезање што обухвата реинжињеринг постојећих компоненти и креирање контактних интерфејса компоненти, као и интерфејс за ажурирање граничних услова. Ова фаза је завршена у 2014. години.
2. Развијање модула за спрезање коришћењем локализованих Лагранжеових множилаца. Ова фаза ће бити реализована у току наредне године пројекта.

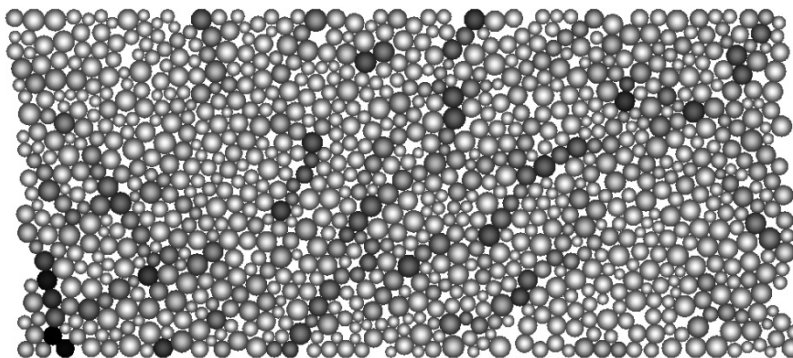
Резултати постојећег концепта су презентовани на међународној конференцији SolMech 2014, у Пољској у периоду од 01.09. до 05.09.2014. године. Резултати постигнути на примени термо-механичке спреге су презентовани на примеру материјала са својством памћења облика на слици 2.1.1.1..



Слика 2.1.1.1. Зависност напон-деформација и промена температуре - деформација за брзину деформација 10^{-3} s^{-1}

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

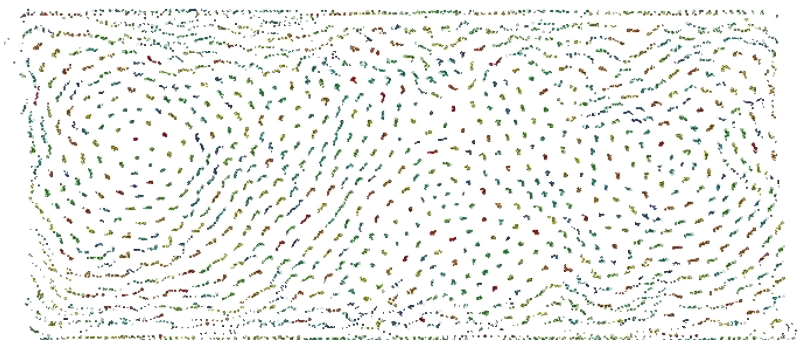
У оквиру активности 9 (Адаптација и развој методе дискретних елемената) проучавано је понашање грануларних материјала, првенствено преноса оптерећења путем тзв. "ланаца сила", као и анализа "трака смицања" које настају приликом колапса грануларног материјала.



Слика 2.1.2.1. Ланци сила у грануларном материјалу

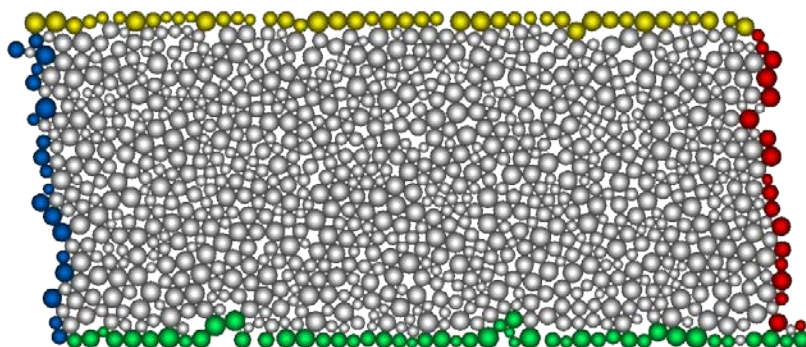
Ланци сила представљају низове грануларних честица на које се у датом тренутку преноси највећи део оптерећења које делује на грануларни материјал, док остале честице имају само потпорну улогу. Ланци сила настају услед нехомогености грануларног материјала што је последица различитих величина честица и начина њиховог паковања. Током деформације долази до промене у структури грануларног материјала тако да се одређени ланци губе док се нови стварају. Изглед моделираног грануларног материјала са ланцима сила приказан је на слици 2.1.2.1.

Приликом деформација грануларног материјала услед нехомогености узроковане расподелом ланаца сила одређени делови материјала имају знатно мању смичућу чврстоћу тако да дуж тих уских делова долази до колапса грануларног материјала. У овим "тракама смицања" грануларни материјал се понаша као флуид са великим Рејнолдсовим бројем (грануларне честице формирају вртлоге који убрзо након настанка нестају док се истовремено формирају нови вртлози), док се остатак грануларног материјала понаша као чврсто тело са малим деформацијама. Формирање вртлога у траци смицања представљено је на слици 2.1.2.2.



Слика 2.1.2.2. Формирање вртлога у траци смицања грануларног материјала

Такође, проучаване су дилатације грануларног материјала при смицању као и релаксације након престанка деловања задатог померања. За моделирање понашања грануларног материјала у овим примерима коришћена је DEM метода. Да би се задали оптерећења и ограничења на грануларне честице у DEM методи потребно је одредити гранични на који та оптерећења и ограничења делују, слика 2.1.2.3.



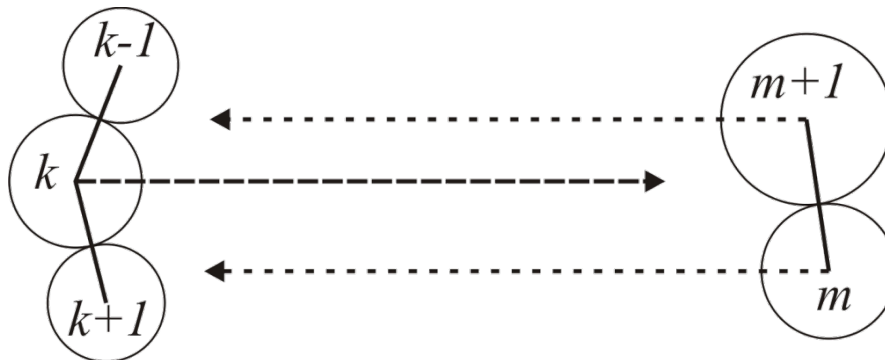
Слика 2.1.2.3. Гранични слој у грануларном материјалу

За одређивање граничног слоја развијене су две методе, метода упоређивања углова и метода одређивања одступања углова, слика 2.1.2.4



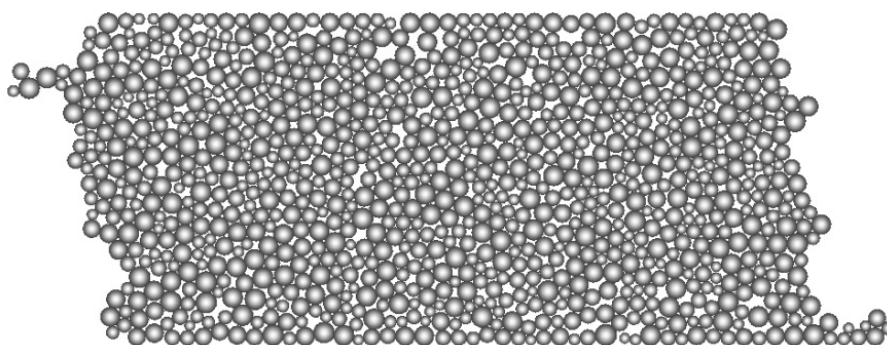
Слика 2.1.2.4. Идентификација наредне граничне честице а) упоређивањем углова б) упоређивањем одступања углова

Да би се спречило прекомерно деформисање модела, на странама модела потребно је адекватно моделирати деловање материјала изузетог из модела, што се у механици флуида често врши задавањем периодичних граничних услова који преносе делове материјала са краја на почетак модела и обрнуто. У случају моделирања DEM методом, овај принцип није могуће применити јер су честице грануларног материјала различитог произвољног полупречника и неправилног распореда, тако да за пребацивање честице на други крај модела не постоји празнина која би одговарала датој честици. Уместо класичних периодичних услова, у DEM методи могуће је применити “слабе периодичне граничне услове” који преносе само силе са краја на крај модела али не и саме честице, слика 2.1.2.5.



Слика 2.1.2.5. Честице које учествују у рачунању силе за слаби периодични гранични услов

Развијене су методе за решавање проблема који настаје када се нека честица или скуп честица одвоји од остатка грануларног материјала, слика 2.1.2.6.



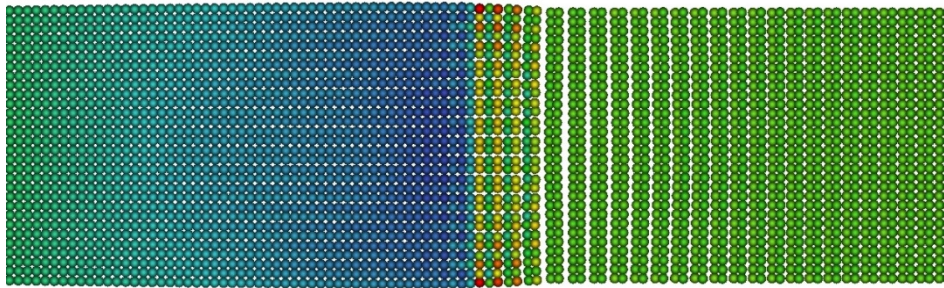
Слика 2.1.2.6. Процес одвајања честица од материјала

Симулација смицања и настанка вртолга омогућена је задавањем сила или задавањем брзина честицама у граничном слоју. Методе за претпроцесирање улазних датотека су проширене могућностима наставка прорачуна након прекида а методе за постпроцесирање резултата прорачуна су модификоване у циљу приказивања неопходних информација значајних за анализу претходно наведених проблема.

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

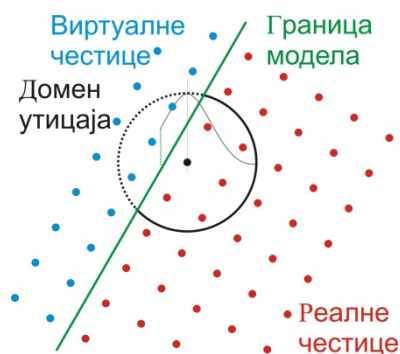
У оквиру активности 12 (Спрезање SPH дискретизационе методе са методом коначних елемената) врши се проширивање функционалности програмског пакета PAK-Multiphysics на основу захтева за моделирање материјала који нису погодни за представљање методом коначних елемената неком другом методом и укључивање тако добијених резултата у прорачун који се врши методом коначних елемената. Пример таквих материјала су грануларни материјали, који се често јављају у многим гранама привреде, као што су прехранбена индустрија (шећер, брашно, пшеница, итд), рударство (угаљ, креч и друге руде), грађевинарство (песак, шљунак).

Безмрежни карактер SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics - SPH) методе чини да она буде погоднија за моделирање материјала који су изложени великим деформацијама (као што су грануларни материјали) али неки њени недостаци (као што је нестабилност при истезању) могу да доведу до нетачних решења и не физичког понашања модела..



Слика 2.1.3.1. SPH појава нестабилност када је модел оптерећен на затезање

Овај проблем је чисто нумеричког карактера и произилази из карактеристика SPH методе. Такође у SPH методи проблематично је дефинисање границе модела јер граничне честице са једне стране имају суседе а са друге немају, што такође доводи до нумеричких проблема тако да би се тај проблем решио уведене су такозване виртуалне честице.

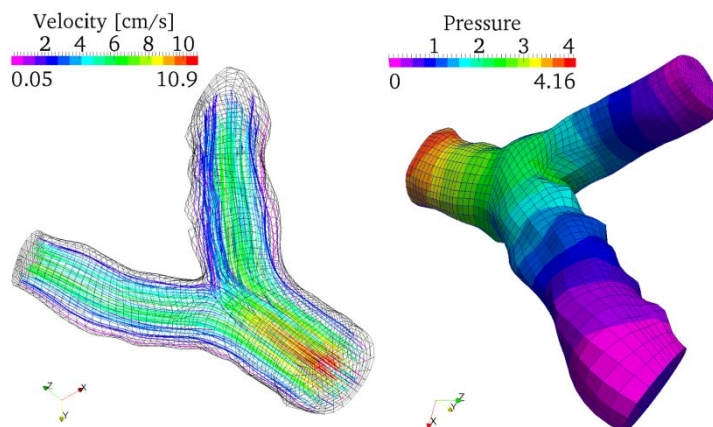


Слика 2.1.3.2. Граница СПХ модела

За моделирање грануларног материјала у SPH методи изабран је Drucker-Prager материјални модел за који су изведене неопходне једначине за примену у SPH методи чија ће имплементација и верификација бити предмет рада у наредном периоду.

2.1.4 Фаза 5-Спрезање и паралелизација појединих софтверских модула

У оквиру активности 21, Спрезање струјања флуида-пренос масе, анализирана је улога смицајног напона у дијагнози и прогнозирању развоја плака на рачвама (бифуркацијама) коронарних артерија. Развијена је нова техника компјутерског моделирања за потребе кардиоваскуларних хемодинамичких симулација узимајући у обзир интеракцију између домена флуида (крв) и домена структуре (артеријског зида). Генерисана су два нумеричка модела која представљају бифуркацију коронарне артерије случајно изабраног пацијента коришћењем МСЦТ коронарографије и ултразвучног мерења брзине струјања крви. Симулација је извршена коришћењем софтвера PAK-Multiphysics.



Слика 2.1.4.1. Расподела брзина и поље притиска на моделу коронарне бифуркације

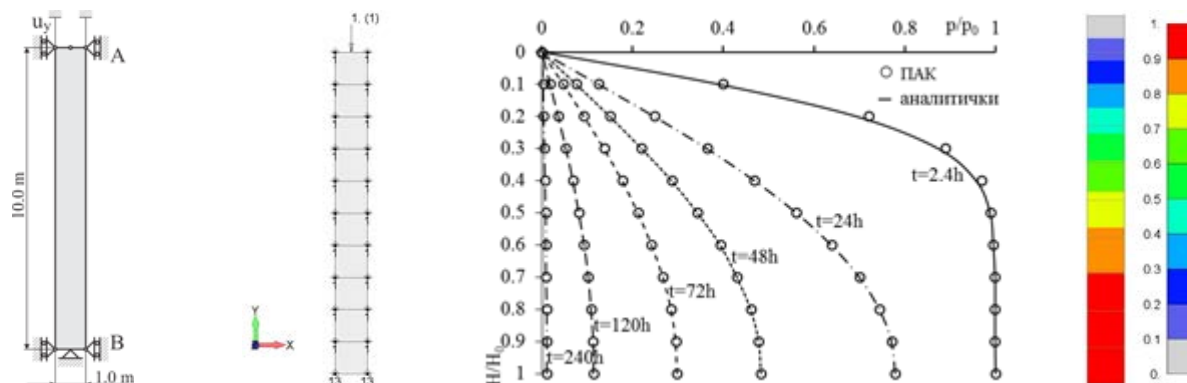
2.1.5 Фаза 6-Индустријска примена

У оквиру активности 29 за потребе партиципаната извршена је анализа спрезања струјања флуида, порних притисака и механике тла за брану "Првонек". У оквиру ове активности си развијени и имплементирани алгоритми за интеграцију напона више материјалних модела за симулацију механичког понашања различитих типова тла. За интеграцију напона је коришћена метода инкременталне пластичности заједно са методом водећег параметра. Поред познатих материјалних модела за које су развијени и имплементирани алгоритми, развијен је и имплементиран алгоритам за интеграцију напона грануларних материјала применом аналитичког услова Максимовића. Развијени алгоритми су лако разумљиви и једноставни за имплементацију у програму за нумеричку анализу.

Извршено је спрезање једначина чврсте и течне фазе са циљем анализирања интеракције ових фаза под дејством статичких и динамичких оптерећења. Ово је постигнуто применом u-p-U формулације, која је прилагођена и имплементирана у програм PAK-Multiphysics.

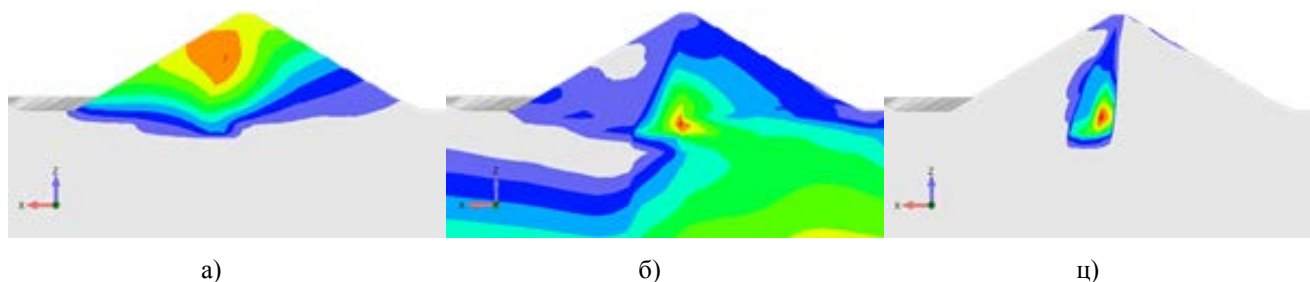
Верификација алгоритма за решавање спрегнутих проблема порозних засићених медија имплементираног у програм ПАК је спроведена на примеру нумеричке симулације вертикалне консолидације тла. За случај линеарно еластичног изотропног материјала изведено је аналитичко решење које је искоришћено за верификацију нумеричког решења датог проблема и приказано је на слици 2.1.5.1.

Извршена је анализа и систематизација критеријума за анализу стабилности насутих брана. За приказане материјалне моделе детаљно је обрађена метода редуковања смичуће чврстоће и њена примена у нумеричкој анализи одређивања степена сигурности насутих брана.



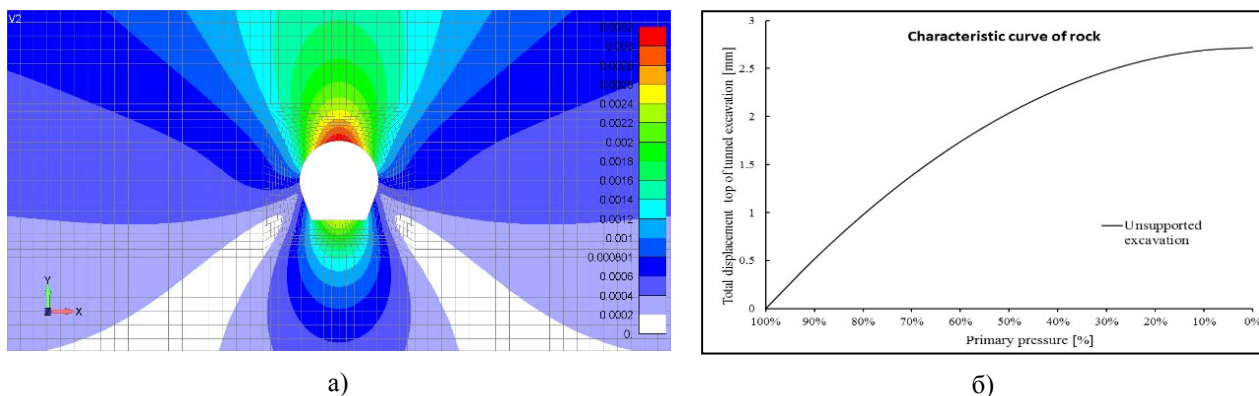
Слика 2.1.5.1. Модел за анализу вертикалне консолидације и расподела порних притисака у моделу

Развијени алгоритми материјалних модела као и алгоритам за анализу спрегнутог проблема чврстоће и струјања кроз порозну средину су примењени у анализи стабилности насуте бране Првонек. Резултати ове анализе су приказани на слици 2.1.5.2.



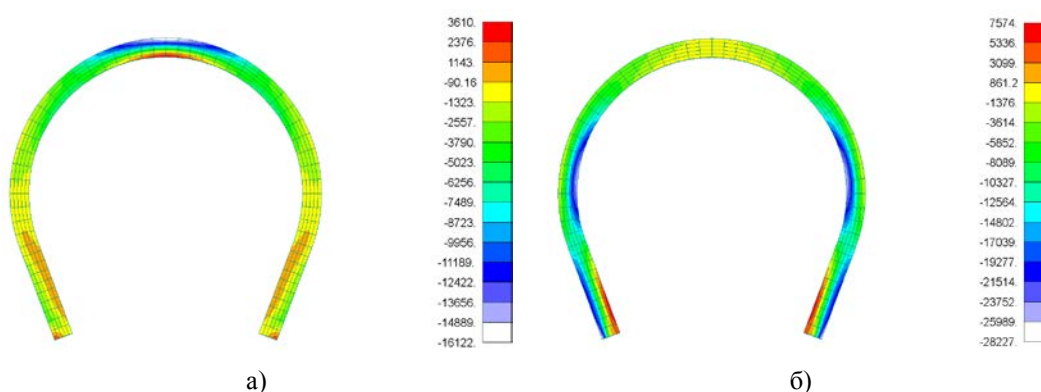
Слика 2.1.5.2. а) Поље померања, б) хоризонталног напона и ц) пластичне деформације у пресеку 11

Поред студије о анализи стабилности бране Првонек, у оквиру ове активности је објављен један рад на међународној конференцији везан за анализу стабилности тунела ("Stress-strain analysis and global stability of tunnel excavation"). Рад је резултат примене развијеног програма PAK-Multiphysics у анализи стабилности тунела „Дабарско поље“. У оквиру овог рада је спроведена анализа чврстоће и филтрациона анализа на основу којих су усвојени елементи за подграђивање ископа на местима где је то било непходно (слика 2.1.5.3).



Слика 2.1.5.3. а) Поље укупног померања и б) карактеристична крива откопавања тунела

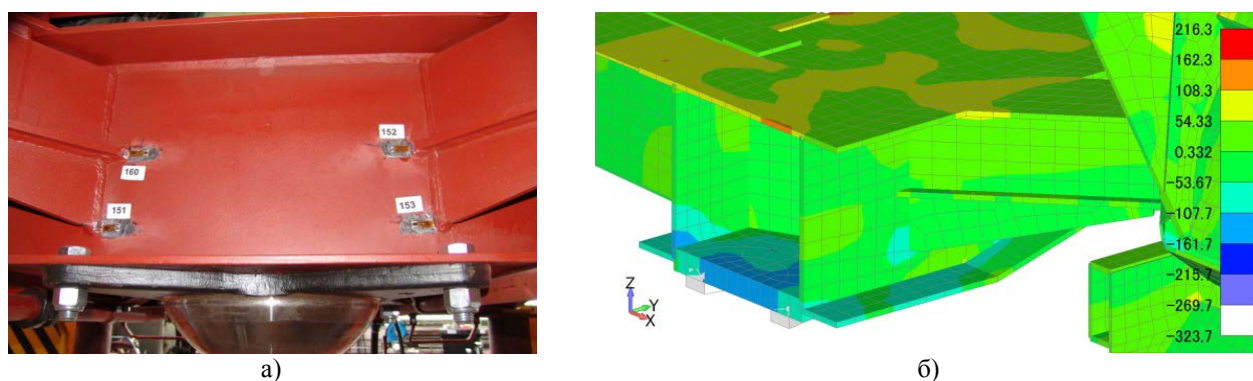
На местима где је било непходно коришћење елемената за подграђивање, усвојена је примарна бетонска облога, а у неким случајевима су коришћени и анкери као и цевни кишобран. Чврстоћа ових елемената је накнадно анализирана (слика 2.1.5.4).



Слика 2.1.5.4. а) Хоризонтални и б) вертикални напон у облози тунела

За потврду партиципанта у области вагонске индустрије урађена је експериментална и нумеричка упоредна анализа чврстоће вагона за превоз растреситих материјала у складу са ТСИ стандардом и нормом ЕН 12663:2000. Циљ ове анализе је био да се покаже слагање вредности напона које су измерене мерним тракама и вредности добијене нумеричким прорачуном. На основу резултата и њиховог доброг поклапања може се закључити да се развијени софтвер може поуздано користити за структурну анализу конструкција. Према томе, употреба развијеног софтвера убрзава поступак тестирања нових производа. Овим се постижу велике уштеде приликом стварања нових прототипова у циљу да се што пре почне са процесом масовне производње. То даље доводи до значајно ниже цене производа

Резултати МКЕ анализе и положај одговарајућих мерних трака, за један од случајева оптерећења, приказани су на слици 2.1.5.5. Док су у Табели 2.1.5.1. дати упоредни резултати добијени мерним тракама и одговарајући нормални напони добијени МКЕ анализом. Разлика између резултата добијених мерним тракама и МКЕ анализом је мања од 5% што је прихватљиво.

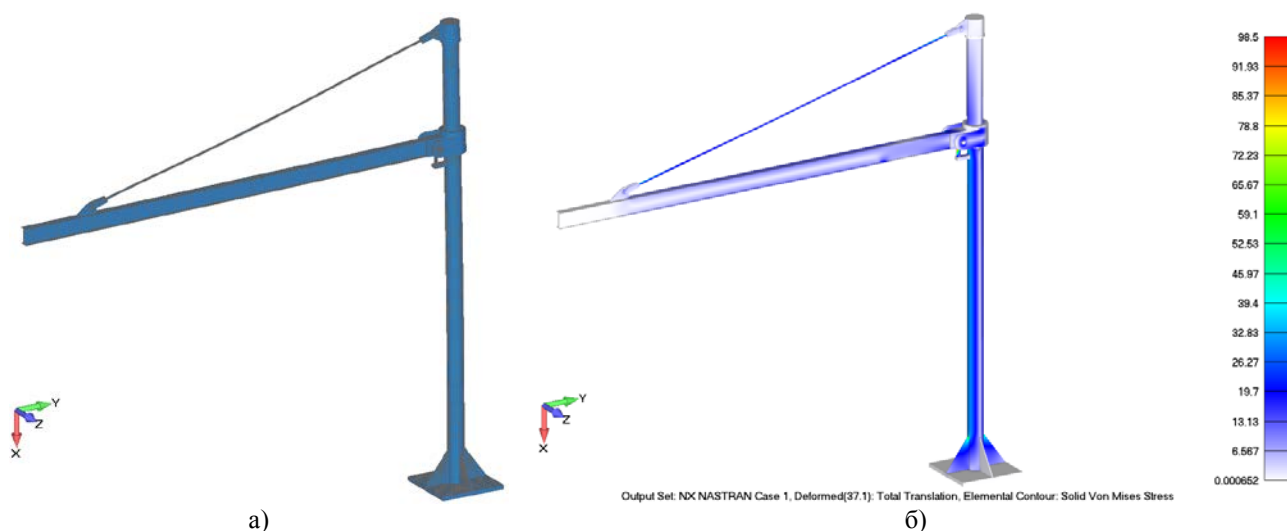


Слика 2.1.5.5. а) Положај мерних трака 157, 158 и 159; б) Поље нормалног напона у x-правцу

Табела 2.1.5.1. Упоредни резултати добијени мерним тракама и резултати добијени МКЕ анализом за случај подужног оптерећења када притисна сила делује у нивоу квачила; $F=2000\text{kN}$

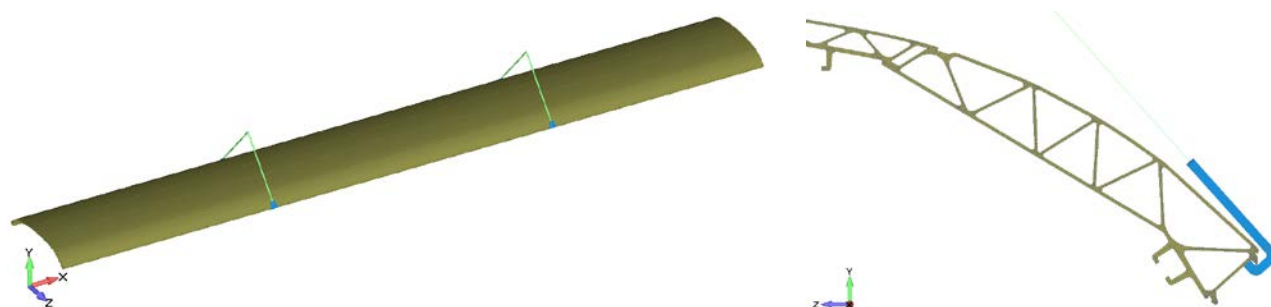
Број мерне траке	Напон [MPa]		Разлика у %
	Мерна трака	МКЕ анализа	
157	-31	-30.9	0.3
158	-322	-312.6	2.9
159	-248	-258.7	4.1

За потребе партиципанта Милановић Инжењеринг д.о.о. урађена је анализа дизалице. МКЕ модел дизалице је приказан на слици 2.1.5.6а. Дизалица је анализирана за подизање терета: 100kg; 200kg; 300kg; 400kg и 500kg. Крак силе при подизању терета 100kg је 3900mm, за 200kg је 2890mm, за 300kg је 1880mm. Крак силе при подизању терета од 400kg и 500kg је 870mm. Анализом је урађена потврда чврстоће конструкције услед терета који преноси. Поље еквивалентног напона при подизању терета од 500kg је приказано на слици 2.1.5.6б.

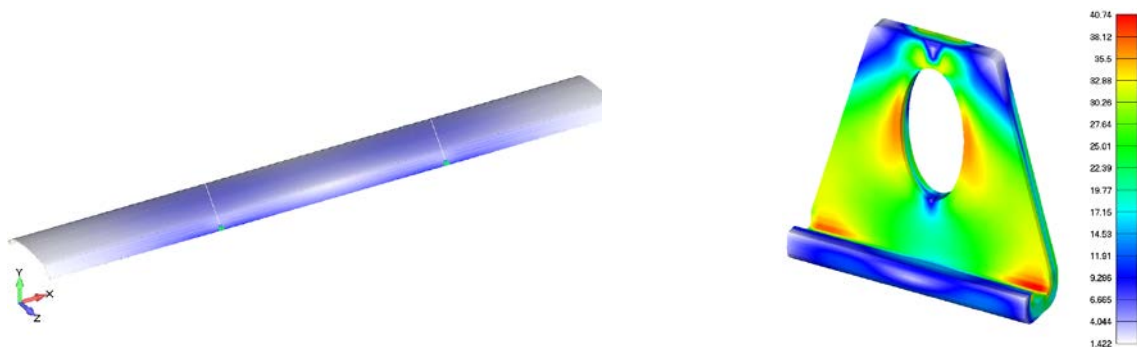


Слика 2.1.5.6. Дизалица а) МКЕ модел; б) поље еквивалентног напона при подизању 500kg

За потребе партиципанта Милановић Инжењеринг д.о.о. урађена је анализа кукица за подизање крова вагона. МКЕ модел кукица и крова је приказан на слици 2.1.5.7. При транспорту кров је хоризонталан. Кров тежине 1285kg се подиже са 4 кукице помоћу ужета које може бити под углом 48° , 55° или 56° у односу на хоризонталу. Анализа је урађена за најнеповољнији случај када је уже под углом од 48° . Анализом је урађена потврда чврстоће кукица у складу са стандардом DIN13155. Поље еквивалентног напона на крову и кукицама је приказано на слици 2.1.5.8.



Слика 2.1.5.7. МКЕ модел крова и кукица за подизање

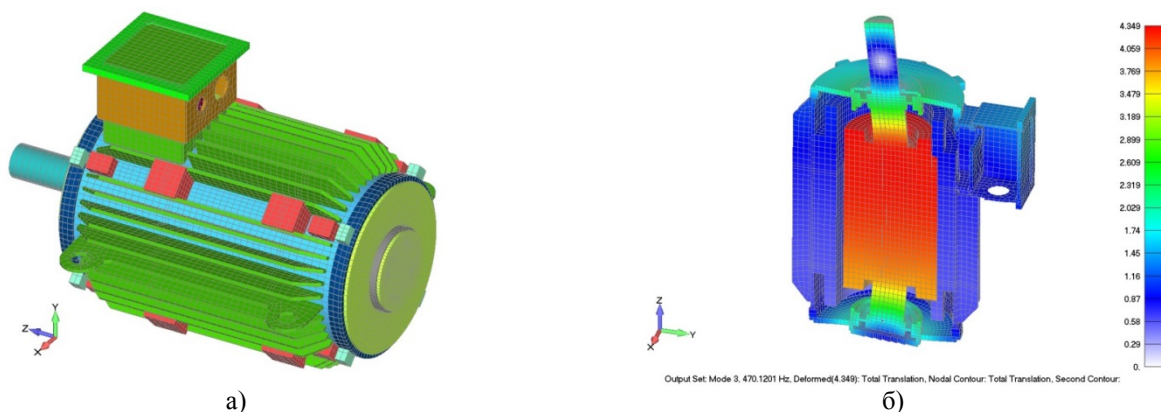


Слика 2.1.5.8. Поље еквивалентног напона

За потребе партиципанта Север Суботица урађена је анализа електромора типа 2.ZKV 180 L-6 NPP. МКЕ модел електромотора је приказан на слици 2.1.5.9а). Анализом је урађена потврда чврстоће конструкције услед сеизмичких оптерећења за пројектовани земљотрес (ПЗ) и максимални пројектовани земљотрес (МПЗ). За симулацију сеизмичких оптерећења на конструкцију задато убрзање је приказано у табели 2.1.5.2. Такође, урађена је модална анализа електромотора. Трећи мод осциловања електромотора је приказан на слици 2.1.5.9б).

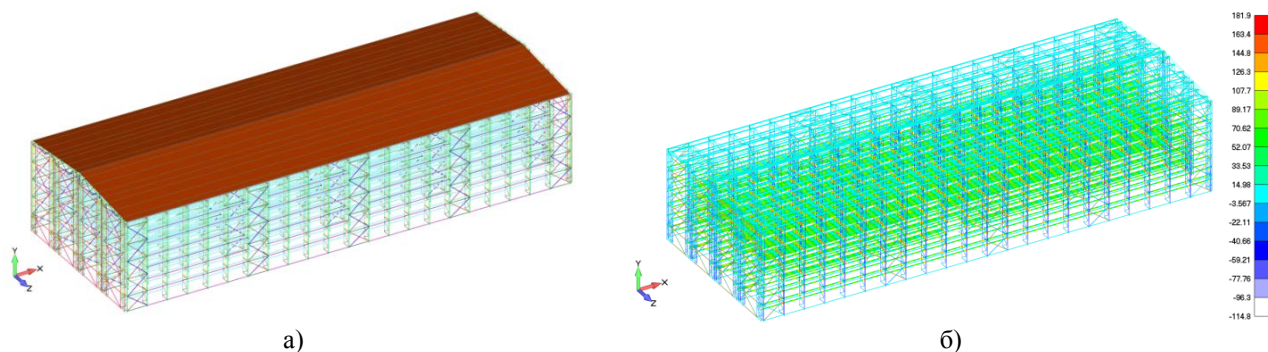
Табела 2.1.5.2. Вредности убрзања сеизмичког оптерећења

	a_x [m/s ²]	a_y [m/s ²]	a_z [m/s ²]
Пројектовани земљотрес	32.3	45.1	30.3
Максимални пројектовани земљотрес	64	64	70.5



Слика 2.1.5.9. Електромотор 2.ZKV 180 L-6 NPP: а) МКЕ модел; б) трећи мод (савијање ротора око Х осе)

За потребе партиципанта ИЦ Инжењеринг д.о.о. урађена је анализа самоносећег складишта. МКЕ модел складишта са кровом је приказан на слици 2.1.5.10а. За моделирање складишта коришћени су гредни коначни елементи, а кров је моделиран коначним елементима љуске. Анализиран је утицај корисног терета и снега. Анализом је урађена потврда чврстоће складишта. Поље еквивалентног напона на гредним елементима је приказано на слици 2.1.5.10б).



Слика 2.1.5.10. Самоносеће складиште а) МКЕ модел; б) поље еквивалентног напона

У оквиру набавке капиталне опреме из кредита у току 2014. године завршена је обука за статичка и динамичка испитивања на сервохидрауличком мерном уређају SHIMADZU.

Након испоруке и комплетне инсталације сервохидрауличког мерног уређаја SHIMADZU и самосталном израдом уређаја за испитивање материјала при великим брзинама деформације, познатим под називом Хопкинсонов штап, у потпуности је комплетирана опрема Центра за инжењерски софтвер и динамичка испитивања на Факултету инжењерских наука, слика 2.1.5.11.

Центар за инжењерски софтвер и динамичка испитивања учесницима пројекта пружа могућности да убудуће своја већ стечена знања употпуне експерименталним испитивањима, као и да резултате експерименталних испитивања користе као поуздане улазне карактеристике материјала при прорачунима.



а)



б)



в)

Слика 2.1.5.11. Центар за инжењерски софтвер и динамичка испитивања на Факултету инжењерских наука

а) Сервохидраулички мерни уређај SHIMADZU, б) Уређај за испитивање материјала при великим брзинама деформације - Хопкинсонов штап, в) Узорци припремљени за испитивања

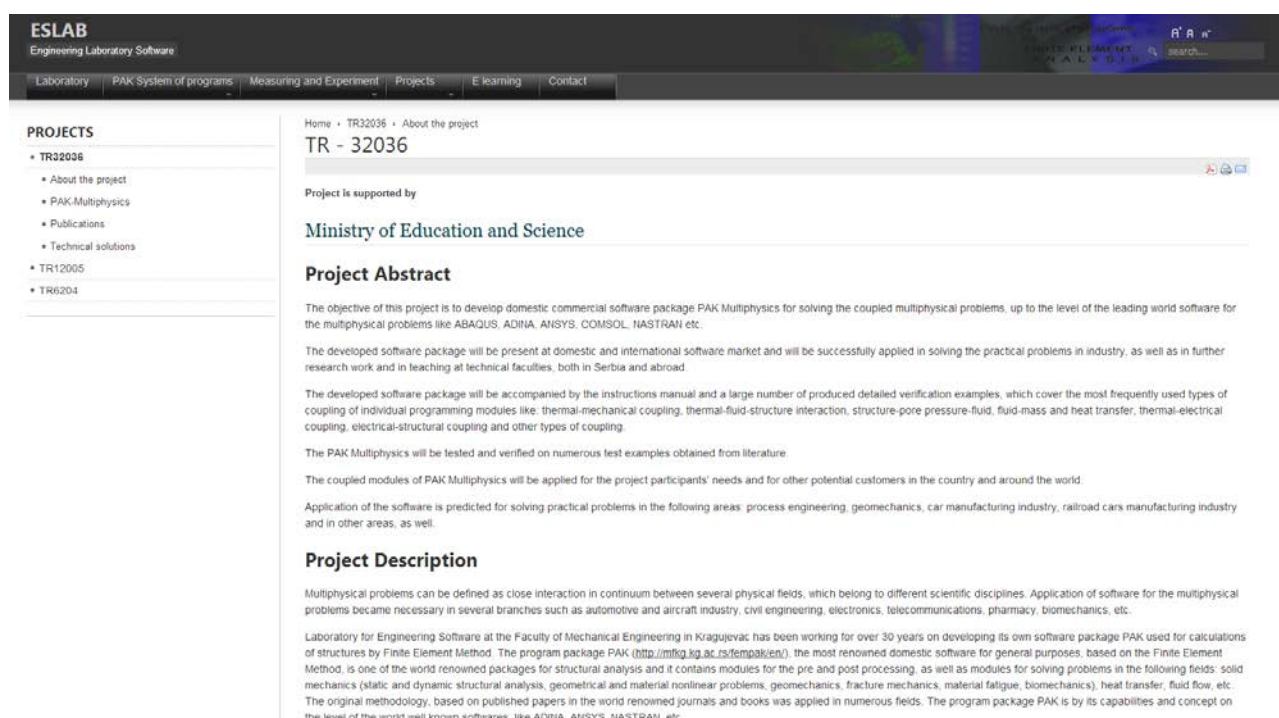
2.1.6 Менаџмент пројекта

У оквиру активности 30., са циљем успостављања ефикасности и квалитета рада на пројекту техничким и административним менаџментом управљао је руководилац пројекта, водећи рачуна да сва финансијска средства буду правилно утрошена. На састанцима, који су се одржавали редовно, учесници пројекта су презентовали резултате до којих се дошло радећи на активностима дефинисаним пројектом. На овај начин вршен је надзор свих активности. На поменутим састанцима учесници су добијали и нове задатке, везане за даље активности на

пројекту. 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. За потребе партиципаната урађено је више студија у којима су презентоване могућности програмског система PAK-Multiphysics. На овај начин су партиципантима презентоване нове могућности развијеног софтвера. О могућностима програмског система информисани су и други потенцијални корисници за које је урађено више студија.

На Web порталу Лабораторије за инжењерски софтвер Факултета инжењерских наука, постављена је секција (<http://femprak.fink.rs/projects/TR/32036/>) са релевантним информацијама везаним за пројекат (резиме, опис пројекта, фазе и активности, кључни резултати), радови објављени као резултат реализовања активности на пројекту (са могућношћу преузимања) и документацијом реализованих техничких решења. Секције сајта се редовно ажурирају актуелним информацијама.



Слика 2.1.6. Web сервис

2.2 Преглед резултата који директно омогућују наставак реализације пројекта

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

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

Преглед резултата остварених у четвртој години реализације пројекта су дати у поглављу 2.1. У табели 2.1 су приказани остварени резултати у четвртој години. Из табеле 2.1 се може видети да је остварено знатно више резултата него што је планирано у четвртој години истраживања. Анализом активности у четвртој години истраживања може се закључити да су све планиране активности реализоване у потпуности. Софтверски систем PAK-Multiphysics, је у многим областима 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 петој години реализације пројекта може се видети да су неке активности већ у фази реализације. На основу наведеног може се закључити да постигнути резултати представљају добру основу и гаранцију за успешну реализацију активности у наставку пројекта.