



## КАТЕДРА ЗА ТЕХНИЧКУ МЕХАНИКУ И ТЕОРИЈУ КОНСТРУКЦИЈА

### ЛИСТА ИСТРАЖИВАЧКИХ ТЕМА У ОКВИРУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА LIST OF RESEARCH TOPICS AT THE DOCTORAL STUDIES

#### 1. НЕЛИНЕАРНА АНАЛИЗА ОКВИРНИХ КОНСТРУКЦИЈА

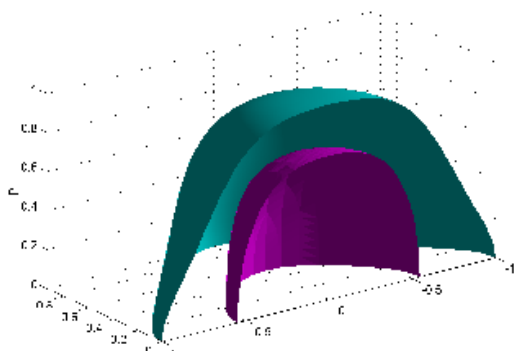
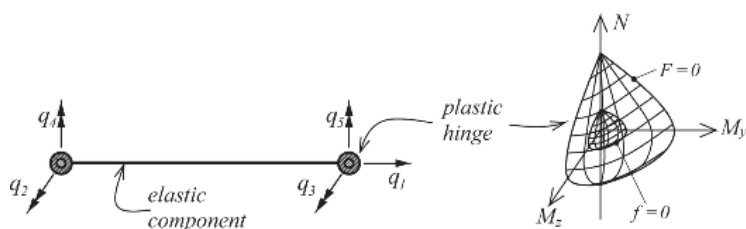
#### 1. NONLINEAR DAMAGE ANALYSIS OF FRAME STRUCTURES

В.Проф. др Светлана М. Костић Assoc.Prof. dr Svetlana M. Kostić

Рад у оквиру теме „Нелинеарна анализа оквирних конструкција“, са једне стране, је фокусиран на развијање нових, напредних, 3Д гредних коначних елемената којима се узимају у обзир материјалне нелинеарности, геометријске нелинеарности, ефекат прерасподеле пластичних зона и други. Са друге стране, рад у оквиру ове теме је посвећен и побољшању већ постојећих коначних елемената развијањем и имплементацијом напреднијих алгоритама који се користе код одређивања стања елемента.

Један развијени елемент је ГП елемент који припада групи елемената резултантне пластичности. Елемент поседује добар баланс између тачности и компјутерске цене прорачуна и има значајне могућности за описивање реалног локалног и глобалног понашања рамова при монотоним и цикличном оптерећењу. Код овог елемента, концепт материјалног модела генерализоване пластичности је проширен и примењен на релације између сила у пресеку и деформације елемента и користи се за

описивање хистерезисног понашања пластичних зглобова који се могу формирати на крајевима елемента. Циљ рада би било проширење формулације додавањем параметара механике оштећења.



ГП елемент концентрисане пластичности

Гранична површ и површ течења

## 2. ВИСКОЕЛАСТИЧНА АНАЛИЗА СПРЕГНУТИХ КОНСТРУКЦИЈА

### 2. VISCO-PLASTIC ANALYSIS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES

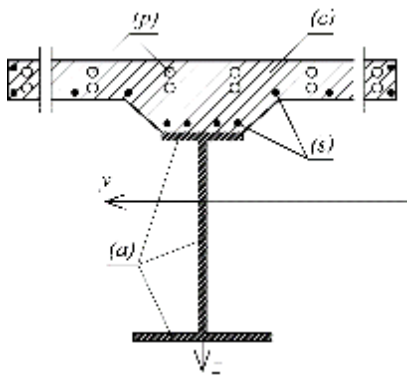
**В.Проф. др Светлана М. Костић**

**Assoc.Prof. dr Svetlana M. Kostić**

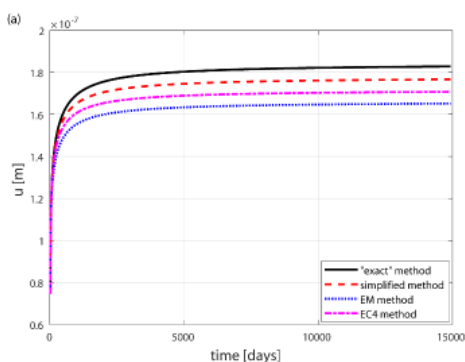
Понашање спрегнутих греда од челика и бетона је изразито нелинеарно због нелинеарног понашања сваке компоненте: челичног носача, бетонске плоче и спојних средстава (можданика). Стога је анализа спрегнутих конструкција сложена и захтева нелинеарну анализу и коришћење одговарајућег компјутерског програма.

Код ових конструкција, веома је значајно узети у обзир вискозне ефекте који настају као последица вискозних деформација бетона (течења и скупљања). Истраживање у оквиру теме “Вискоеластична анализа спрегнутих конструкција” усмерено је на развој нових нумеричких модела за прорачун вискозних ефеката и њихово поређење са постојећим моделима. При томе се користи нови приступ решавања проблема применом математичке теорије оператора. Тачније, применом линеарних интегралних оператора, могуће је добити тачно решење проблема, без увођења додатних математичких апроксимација и поједностављења, изузев неизоставних апроксимација у вези реолошких карактеристика саставних материјала. Добијено решење је опште и може се користити за било коју функцију течења као и код елемената променљивог попречног пресека.

Рад у будућности би обухватио проширење формулације на област виско-пластичних деформација код спрегнутих конструкција од челика и бетона. Такође, други правац истраживања би био усмерен на развијање модела за прорачун спрегнутих греда код којих се уместо челичног носача користе носачи од ФРП материјала који има изражена вискоеластична својства.



Попречни пресек спрегнуте греде од челика и бетона



Промена померања током времена – поређење резултата добијених применом различитих метода прорачуна

Предмет на докторским студијама:

Теорија спрегнутих конструкција:

<https://www.grf.bg.ac.rs/studije/ptb?pid=1086>

### 3. АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЈА ПРИМЕНОМ МЕХАНИКЕ ЛОМА И МЕХАНИКЕ ОШТЕЋЕЊА

#### 3. STRUCTURAL ANALYSIS USING FRACTURE AND DAMAGE MECHANICS

Проф. др Драгослав Шумарац

Prof.dr Dragoslav Šumarac



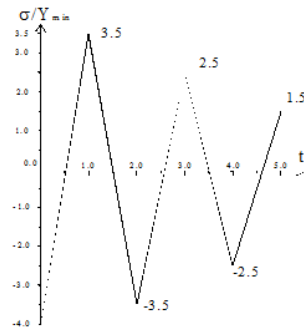
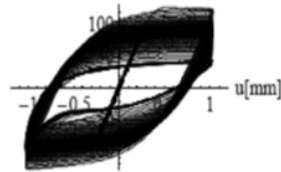
Предмет на докторским студијама: Механика лома (Fracture Mechanics)

### 4. ЕЛАСТО-ПЛАСТИЧНА АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЈА ПРИ ЦИКЛИЧНОМ ОПТЕРЕЂЕЊУ

#### 4. ELASTO-PLASTIC ANALYSIS OF STRUCTURES UNDER CYCLIC LOADING

Проф. др Драгослав Шумарац

Prof.dr Dragoslav Šumarac



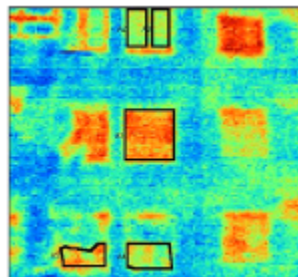
Предмет на докторским студијама: Теорија пластичности (Theory of Plasticity)

### 5. ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНА СРПСКА КУЋА СА НУЛТОМ ПОТРОШЊОМ ЕНЕРГИЈЕ

#### 5. ENERGY-EFFICIENT SERBIAN HOUSE WITH ZERO ENERGY CONSUMPTION

Проф. др Драгослав Шумарац

Prof.dr Dragoslav Šumarac



Предмет на докторским студијама: Виши курс енергетске ефикасности и сертификације зграда

## 6. МЕТОДА ДИНАМИЧКЕ КРУТОСТИ

### 6. VIBRATION OF PLATES AND SHELLS USING DYNAMIC STIFFNESS METHOD

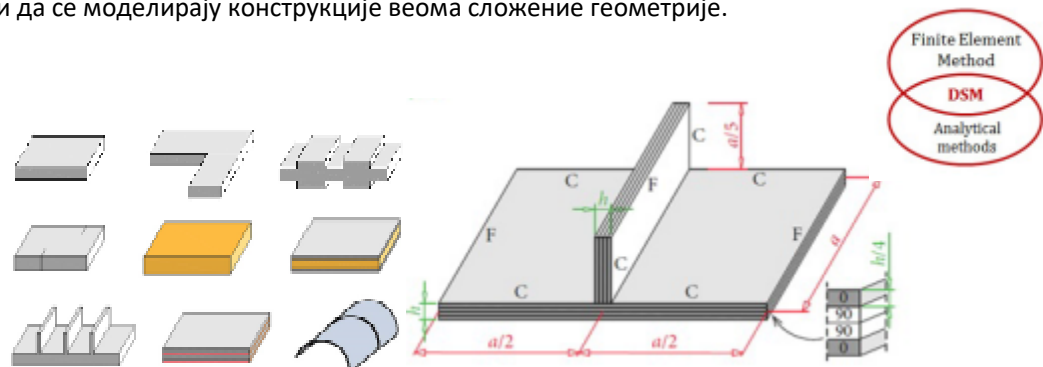
**В. проф. др Марија Нефовска-Даниловић**    **Assoc.Prof. dr Marija Nefovska-Danilović**

Поред нискофреквентних динамичких побуда као што су земљотрес или ветар, инжењерске конструкције могу бити изложене и дејству побуде средњег и високог фреквентног састава које се могу јавити код ударних оптерећења, експлозије, или у акустици. У оваквим случајевима примена методе коначних елемената постаје неефикасна јер захтева решавање веома великог броја једначина, што доводи до повећања времена потребног за прорачун, при чему се често добијају резултати мање тачности. Због тога се **метода динамичке крутости** данас све чешће користи као алтернатива методи коначних елемената при одређивању динамичког одговора великог броја проблема у инжењерској пракси. У литератури се ова метода назива и метода спектралних елемената.

Основни елемент методе динамичке крутости представља динамичка матрица крутости *континуалног* односно *спектралног* елемента формулисано за одговарајући динамички проблем, одређена на основу аналитичког решења једначина кретања у **фреквентном домену**. На тај начин, број континуалних елемената потребних за дискретизацију не зависи од фреквенције, већ само од промене геометријских и/или материјалних карактеристика конструкције. Са друге стране, поступак формирања глобалне динамичке матрице крутости је веома сличан одговарајућем поступку у методи коначних елемената, што методу динамичке крутости чини веома ефикасном методом високе тачности приликом решавања великог броја проблема вибрација.

Главна активност истраживача у оквиру ове истраживачке теме до сада била је усмерена на формулацију различитих типова континуалних елемената и одговарајућих динамичких матрица крутости дводимензионалних проблема (правоугаоне и кружне плоче, кружне цилиндричне љуске), као и њихову примену у анализи вибрација изотропних, ортотропних једнослојних, сендвич, композитних ламинатних система плоча и љуски заснованих на различитим теоријама и претпоставкама. У оквиру истраживања развијен је објектно орјентисан рачунарски програм ФРЕЕВИБ у Пајтону. У програм су имплементирани сви до сада развијени континуални елементи изотропних и ортотропних правоугаоних плоча чиме је омогућена анализа слободних вибрација система плоча (плоче под углом, плоче са укрућењима, плоче са скоковитом променом дебљине и сл.) са произвољним граничним условима.

Изазов у даљем развоју ове методе представља комбиновање различитих типова континуалних елемената (нпр. плоча - љуска), као и њено комбиновање са методом коначних елемената кроз формулацију тзв. **супер елемената**, у циљу превазилажења недостатака, који се углавном огледају у немогућности да се моделирају конструкције веома сложене геометрије.



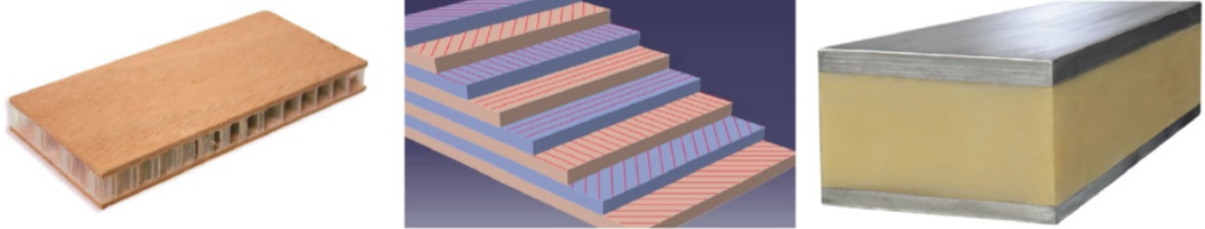
## 7. НУМЕРИЧКА АНАЛИЗА КОМПОЗИТНИХ МАТЕРИЈАЛА

### 7. FINITE ELEMENT LIMIT AND BUCKLING ANALYSIS OF LAMINATED COMPOSITE, SANDWICH AND CROSS-LAMINATED TIMBER PANELS

Доц. др Мирослав Марјановић

Assist.Prof. dr Miroslav Marjanović

Ламинатни композити привлаче све већу пажњу у различитим инжењерским дисциплинама, играјући важну улогу у прорачуну и конструисању авиона, ветрењача, бродова, аутомобила, као и у друге сврхе у машинству и грађевинарству. Композитне конструкције су израђене од материјала који имају одличне особине у погледу отпорности на замор и корозију, као и високе односе крутост-тежина и чврстоћа-тежина. Примери ових материјала су матрице са угљеничним или стакленим влакнима, као и влакнима ојачани полимери (FRP).



Многи јединствени феномени који се јављају услед хетерогености композитних конструкција захтевају примену сложених и прецизних прорачунских модела. Кинематика оваквих конструкција одликује се спрезањем између савијања, истезања и смицања, док се на нивоу једног слоја (ламине) јављају концентрације смичућих напона у зони материјалних и геометријских дисконтинуитета. Они често резултују различитим видовима оштећења, као што је деламинација или оштећење матрице.

Уколико се захтева јако прецизно одређивање напонско-деформацијског стања композита, препоручује се примена сложених теорија плоча и љуски. Одређивање локалних регија настајања оштећења почиње од прецизног одређивања просторног стања напона и деформације на нивоу ламине. Слојевите теорије омогућавају одређивање континуалних смичућих напона на границама слојева, као и тачнији приказ кривљења попречних пресека. Велики изазов представља одређивање фундаменталних динамичких карактеристика композита, као што су сопствене фреквенције и облици осциловања.

Основна истраживања везана су за развој ефикасних прорачунских модела заснованих на различитим теоријама ламинатних плоча и љуски, који су у стању да опишу просторно стање напона ламинатне конструкције. Посебан фокус је на Редијевој Општој ламинатној теорији плоча, која представља основу за развој напредних слојевитих коначних елемената. Геометријска нелинеарност се узима у прорачун на основу вон Кáрмáн-ових претпоставки. На основу теоријских разматрања развија се оригинални софтвер у Matlab-у и Python-у, са имплементацијом у GiD Pre/Post Processor. У наредном периоду, фокус истраживања биће усмерен ка имплементацији модела оштећења ламине (intralaminar damage), као и оштећења између слојева (interlaminar damage).

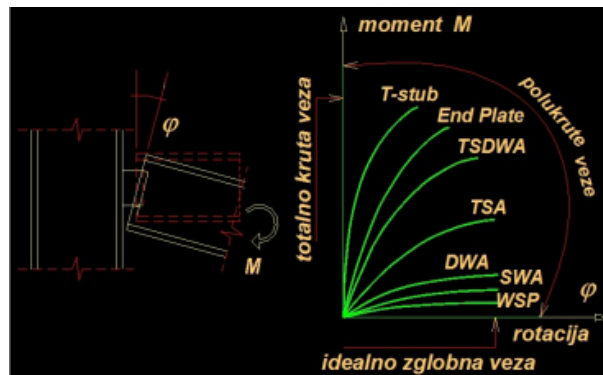
Теоријске основе наведене истраживачке теме обухваћене су предметом **Теорија композитних носача** на Докторским академским студијама Грађевинског факултета у Београду.

## 8. СЕИЗМИЧКА АНАЛИЗА ЧЕЛИЧНИХ РАМОВА СА ПОЛУКРУТИМ И ВИСКОЗНИМ ВЕЗАМА

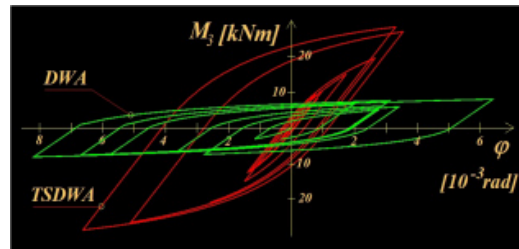
### 8. SEISMIC ANALYSIS OF STEEL FRAMES WITH SEMI-RIGID AND VISCOUS CONNECTIONS

В. Проф. др Ратко Салатић    Assoc.Prof. dr Ratko Salatić

**Резиме:** За моделирање одговора челичних рамова у сеизмичкој анализи неопходно је применити материјално-геометријску нелинеарну анализу челичних рамова са полукрутим, ексцентричним и вискозним везама греда-стуб. Обе нелинеарности, геометријска нелинеарност структуре и материјална нелинеарност веза, су разматране симултано. Флексибилност крајева греде моделирана је помоћу ротационих опруга на њеним крајевима са нелинеарном релацијом момент-ротација дефинисаном помоћу три-параметарског модела. Ексцентричност везе представљена је кратким бесконачно крутим елементима. Вискозно пригушење у вези пропорционално је брзини промене угла релативне ротације моделирано је помоћу ротационих вискозних пригушивача. За такав модел греде изведена је комплексна флексиона матрица крутости елемента. Параметарском анализом треба дефинисати зависности утицаја флексибилности везе, ексцентричности везе, вискозног пригушења и теорије другог реда на сеизмички одговор конструкције.



Понашање полукрутих веза код челичних конструкција



Динамичко оптерећење: Хистерезисни одговор везе



Експериментална испитивања полукрутих веза (Carlo A. Castiglioni and Luis Calado)