

Универзитет у Београду  
Архитектонски факултет

Мр Радојко М. Обрадовић дипл. грађ. инж.

**Експериментално-теоријска анализа  
примене бала сламе у конструкцијама**  
докторска дисертација

Београду, 2014. године



Универзитет у Београду  
Архитектонски факултет

Мр Радојко М. Обрадовић дипл. грађ. инж.

**Експериментално-теоријска анализа  
примене бала сламе у конструкцијама**  
докторска дисертација

Београду, 2014. године

***Ментор:***

проф. др Милан Глишић дипл.инж.арх.

Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

***Чланови комисије:***

проф. др Владан Ђокић дипл.инж.арх.

Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

проф. др Милан Глишић дипл.инж.арх.

Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

проф др Сузана Копривица дипл. грађ. инж.

Универзитета Унион Никола Тесла у Београду, Грађевински факултет

***Датум одбране:***

# ***Експериментално-теоријска анализа примене бала сламе у конструкцијама***

## ***Резиме***

У овом раду је анализирано је понашање појединачних немалтерисаних и малтерисаних бала сламе и немалтерисаних и малтерисаних зидова од бала сламе. Анализирана је могућност примене бала сламе за израду носећих зидова приземних објеката. На основу спроведеног експеримента утврђен је модул еластичности за немалтерисане бале сламе од око 400 kPa, а за малтерисане бале сламе од 1580 kPa. За бале сламе одређена је запреминска тежина од 1.18 kN/m<sup>3</sup>. Испитиване су и реолошке карактеристике зидова и дефинисани су модели понашања, као и величине тренутних и временских деформација. При испитивању на пожар једнострано малтерисани зид после два сата под дејством пламена није имао видних оштећења и нису биле битно промењене конструктивне карактеристике. Анализом доступне литературе дошло се до нивоа заштите од буке, као и нивоа топлотне заштите. Економска анализа показала је значајне финансијске погодности при градњи сламом. На основу спроведене експериментално-теоријске анализе доказано је да бале сламе задовољавају све потребне критеријуме, као и да се могу примењивати за израду носећих зидова у конструкцијама.

Кључне речи: бале сламе, конструкција, течење, противпожарна отпорност, економска оправданост

***Научна област: техничко-технолошке науке***

***УДК број: 631.572:624(043.3)***

# ***The Experimental and Theoretical Analysis of Straw Bale Construction***

## ***Summary***

The paper has analysed the behavior of individual unplastered and plastered straw bales, and unplastered and plastered straw bale walls. The use of straw bales in building load-bearing walls for one-storey structures has been analysed. Based on the experiment carried out within this study, the module of elasticity for unplastered straw bales was determined to be 400 kPa, and for the plastered straw bales 1580 kPa. For the straw bales the density of 1.18 kN/m<sup>3</sup> was established. Creep-tests have been carried out, and the models of behavior defined, as well as the values of initial compression and creep. During the fire test, the wall plastered on one side only showed no visible damage after two-hour exposure, nor did structural features change. The available literature provided for noise and thermal protection levels. The economic analysis, which was part of the paper, underlined significant financial advantages of straw bale building. Based on the experimental and theoretical analysis, straw bales meet all necessary criteria and can be used in load-bearing buildings.

Key words: straw bales, structure, creep, fire resistance, economic feasibility.

***Research Area: Technical and Technological Sciences***

***UDK number: 631.572:624(043.3)***

# Садржај

Резиме .....	9
1. Увод.....	10
1.1. Историјат примене .....	12
1.2. Полазне основе .....	13
1.3. Уобичајена пракса.....	18
1.4. Садржај по поглављима.....	20
Прилог 1.1. ....	22
2. Резултати досадашњих истраживања .....	24
2.1. Увод.....	24
2.2. Методе грађења .....	28
2.3. Конструкције од бала сламе .....	30
2.3.1. Карактеристике појединачних бала сламе .....	31
2.3.2. Карактеристике зидова од бала сламе .....	33
2.4. Закључци досадашњих истраживања.....	34
3. Карактеристике бала сламе .....	36
3.1. Увод.....	36
3.2. Избор истраживања.....	37
3.3. Одређивање димензија бала сламе и запреминске тежине .....	38
3.3.1. Одређивање димензија бала сламе .....	38
3.3.2. Закључци .....	44
3.4. Утврђивање модула еластичности бала сламе и веза напона и деформација .....	44
3.4.1. Утврђивање модула еластичности бала сламе и веза напона и деформација при експлатационим оптерећењима у теренским условима..	45
3.4.1.2.1. Узорак 1 (немалтерисана бала сламе) .....	47
3.4.1.2.2. Узорак 2 (немалтерисана бала сламе) .....	48
3.4.1.2.3. Узорак 3 (немалтерисана бала сламе) .....	49
3.4.1.2.4. Узорак 4 (малтерисана бала сламе) .....	50
3.4.1.2.5. Узорак 5 (малтерисана бала сламе) .....	51
3.4.1.2.6. Узорак 6 (малтерисана бала сламе) .....	52
3.4.2. Утврђивање модула еластичности бала сламе и веза напона и деформација у лабораторијским условима .....	54
3.4.2.1.1. Узорак 1 (немалтерисана бала сламе) .....	56
3.4.2.1.2. Узорак 2 (немалтерисана бала сламе) .....	58
3.4.2.1.3. Узорак 3 (немалтерисана бала сламе) .....	60
3.4.2.1.4. Узорак 4 (немалтерисана бала сламе) .....	62
3.4.2.1.5. Узорак 5 (малтерисана бала сламе) .....	64
3.4.2.1.6. Узорак 6 (малтерисана бала сламе) .....	66

3.4.2.1.7. Узорак 7 (малтерисана бала сламе) .....	68
3.4.2.1.8. Узорак 8 (малтерисана бала сламе) .....	70
3.5. Прилог .....	82
4. Испитивање реолошких својстава немалтерисаних и малтерисаних зидова од бала сламе.....	85
4.1. Припрема модела .....	86
4.2. Резултати.....	89
4.3. Резултати експеримента .....	92
4.4. Закључци.....	92
4.4. Прилог: Припрема зида за испитивање .....	94
5. Заштита од буке, топлотна заштита и заштита од пожара.....	98
5.1. Увод.....	98
5.2. Заштита од буке.....	98
5.3. Термичке карактеристике.....	101
5.4. Противпожарна отпорност .....	104
5.4.1. Спроведени експеримент.....	106
5.4.2. Закључци .....	108
5.4.3. Прилог: Испитивање противпожарне отпорности.....	109
6. Утицај на животну средину, трајност и економска оправданост.....	123
6.1. Увод.....	123
6.2. Утицај на животну средину.....	123
6.3. Трајност.....	124
6.4. Економска оправданост .....	126
7. Моделовање Fuzzy логичког система за избор оптималног грађевинског материјала..	130
7.1. Основне поставке fuzzy логике и fuzzy логичких система .....	133
7.2. Fuzzy логички систем за избор грађевинског материјала .....	143
7.2.1. Анализа проблема .....	145
7.2.2. Дефинисање лингвистичких вредности .....	147
7.2.3. Избор функција припадности.....	152
7.2.4. Формирање базе правила.....	157
7.2.5. Избор метода закључивања и дефазификације .....	163
7.2.6. Примена fuzzy модела.....	172
8. Пропис за објекте од бала сламе .....	177
8.1. Приказ и анализа извода из California Building Code for Straw Bale .....	178
8.1.1. Увод.....	178
8.1.2. Материјал и карактеристике .....	180
8.1.3. Конструкциони детаљи.....	181
9. Закључци и препоруке за даља истраживања .....	184
10. Литература:.....	190



## *Резиме*

У овом раду је анализирано је понашање појединачних немалтерисаних и малтерисаних бала сламе и немалтерисаних и малтерисаних зидова од бала сламе. Анализирана је могућност примене бала сламе за израду носећих зидова приземних објеката. На основу спроведеног експеримента утврђен је модул еластичности за немалтерисане бале сламе од око 400 kPa, а за малтерисане бале сламе од 1580 kPa. За бале сламе одређена је запреминска тежина од 1.18 kN/m<sup>3</sup>. Испитиване су и реолошке карактеристике зидова и дефинисани су модели понашања, као и величине тренутних и временских деформација. При испитивању на пожар једнострано малтерисани зид после два сата под дејством пламена није имао видних оштећења и нису биле битно промењене конструктивне карактеристике. Анализом доступне литературе дошло се до нивоа заштите од буке, као и нивоа топлотне заштите. Економска анализа показала је значајне финансијске погодности при градњи сламом. На основу спроведене експериментално-теоријске анализе доказано је да бале сламе задовољавају све потребне критеријуме, као и да се могу примењивати за израду носећих зидова у конструкцијама.

Кључне речи: бале сламе, конструкција, течење, противпожарна отпорност, економска оправданост.

The paper has analysed the behavior of individual unplastered and plastered straw bales, and unplastered and plastered straw bale walls. The use of straw bales in building load-bearing walls for one-storey structures has been analysed. Based on the experiment carried out within this study, the module of elasticity for unplastered straw bales was determined to be 400 kPa, and for the plastered straw bales 1580 kPa. For the straw bales the density of 1.18 kN/m<sup>3</sup> was established. Creep-tests have been carried out, and the models of behavior defined, as well as the values of initial compression and creep. During the fire test, the wall plastered on one side only showed no visible damage after two-hour exposure, nor did structural features change. The available literature provided for noise and thermal protection levels. The economic analysis, which was part of the paper, underlined significant financial advantages of straw bale building. Based on the experimental and theoretical analysis, straw bales meet all necessary criteria and can be used in load-bearing buildings.

Key words: straw bales, structure, creep, fire resistance, economic feasibility.

## ***1. Увод***

Данашње време остаће у историји упамћено по значајном напретку у области науке и по развоју технологије и иновацијама. Револуционарни проналасци у области информатике и телекомуникација и развој транспортних средстава омогућили су глобално повезивање, лак приступ информацијама и путовање у све делове света.

Све то допринело је убрзаном економском развоју и порасту глобалног друштвеног богатства. Са друге стране значајно су се повећале разлике између развијених и неразвијених земаља, такође се повећао јаз између богатих и сиромашних у свим земљама појединачно.

У исто време савремено друштво је убрзано потиснуло бројна генерацијама таложена знања и традицију. Као да развој искључује традицију и искуство. Ово време остаће упамћено по бројним контрадикторностима и искључивостима, на различитим нивоима и у практично свим областима живота.

Цена убрзаног развоја и напретка је и црпљење сировина и ресурса, као и загађење и неповратно уништавање животне средине. Бројне биљне и животињске врсте изумиру, а истражене резерве већине сировина и фосилних горива ближе се крају. Озонски омотач је све тањи....

У свест људи, истина споро, продире чињеница да долази време када ћемо морати да се упркос даљем развоју науке вратимо и старим знањима и заборављеним материјалима и технологијама.

Овај рад има управо за циљ да реafirмише један од материјала који је некада био у употреби, а који је потиснут пред налетом савремених и нових метеријала, реч је о балираној слами.

Увод у овај рад почиње кратким виђењем тренутне ситуације у свету. И управо је задатак науке да тражи одговоре на бројна питања која су важна данас, а која ће бити важна и у будућности. Путеви науке су различити. Често резултати истраживања не морају имати конкретну и тренутну употребну вредност, али много чешће наука има задатак да отвори врата која су затворена и која нема ко други да отвори.

Овај рад управо анализира могућност примене алтернативног материјала, бале сламе у конструкцијама као грађевинског материјала.

Слама је цеваста стабљика биљке која повезује корен и клас, за разлику од сена који представља целу биљку без корена и које се користи као сточна храна због нутритивне вредности класа. Слама је једногодишњи обновљив природни производ, продукт фотосинтезе и остатак након жетве. Постоји много различитих типова сламе: пшенична, јечмена, ражана, пиринчана, конопљина...

Слама је нузпроизвод у процесу производње жита, нема нутритивну вредност и користи се као простирка за животиње, заорава се или спаљује.

За употребу у пољопривреди користи се тако што се након жетве и одсецања класа и након сушења, балира машинама за балирање, а након тога складишти.

На различите начине примењивала се хиљадама година, најчешће помешана са блатом, као природна арматура, али и самостално за покривање кровова, за зидове испуне и изолацију.

Тако је било некада. Слама се данас тешко доводи у везу са грађењем. Можда и зато што је слама типичан материјал, за који сви унапред знају да није погодан за практичну примену:

„Некада давно на ободу шуме расла су три прасета. Били су браћа и расли су у истом обору. Једнога дана дошло је време да се осамостале и заснују свако свој дом. Како су били везани одлучише да саграде куће у суседству. Иако браћа, веома су се разликовали. Најстарији брат је био марљив, вредан и mudar, а његова браћа су у свему била сушта супротност. Разлика у нарави определила је и начине на који су себи градили куће. Најстарији је изградио кућу од цигала, средњи од дрвета, најмлађи од сламе.“

*„... Једнога дана наиђе зли вук и одува кућу од сламе...“*

Позната бајка одражава поглед савременог света на објекте од сламе. Могу се лако и брзо направити, не обезбеђују трајност и сигурност и тешко да могу да задовоље потребне критеријуме савременог становања.

Наког више година проучавања могућности примене бала сламе у грађевинарству и упознавања са њеним карактеристикама, један од истраживача у

шали је рекао да је могуће поставити само јадан услов за градњу објеката од бала сламе: „Не дајте да вам свиње граде куће од сламе!“

Циљ овог рада је да анализира могућност примене бала сламе као грађевинског материјала, да утврди њене погодности и недостатке и да дефинише услове под којима је бале сламе могуће користити.

## ***1.1. Историјат примене***

Бале сламе ушле су у примену након изума машина за балирање, у САД негде око 1850. године. Двадесетак година касније почела је серијска производња и продаја машина, а након тога је железница усвојила прописе којим се дозвољава транспорт искључиво балиране сламе. Почетак примене сламе, везан је за технолошки напредак и иновацију, а управо је даљи технолошки напредак означио и крај примене балиране сламе за изградњу објеката.

Крајем осамнаестог века у Небраски, области са мало дрвета и глене, у то време уобичајених материјала за градњу, креће градња објеката од бала сламе, тако да се често систем градње са носећим зидовима од бала сламе назива небраска метода.

Почетком прошлог века појављују се и прва упутства у САД за градњу објеката од балиране сламе, и то су на неки начин биле претече прописа за градњу.

Градња балама сламе била је веома раширена до пред Други светски рат, када су рат, пораст популације и пораст употребе цемента довели до потпуног престанка коришћења бала сламе за градњу.

У Европи, постоји документација на тему градње балама сламе из 1921. године, када у грађени стамбени објекти у Француској, а касније и у Данској.

Као и у САД и у Европи је у време око Другог светског рата потпуно престала градња објеката од бала сламе.

Поновно интересовање за овај начин градње почиње пре двадесетак година. Крећу истраживања на неколико универзитета широм света, али је читав процес и проблематика везана за примену овог материјала још увек недовољно истражена и представља изазов за научнике. Разлози за поновну примену бала сламе у

грађевинарству су прагматични. Пораст броја становника у свету, све мање резерве фосилних горива, висока цена енергије и грађевинског материјала вратила нас је у размишљања и подсетила је научнике и истраживаче на све оно из нашег окружења што је некада било у употреби, а онда неоправдано заборављено.

У Србији постоји неколико објеката од бала сламе, грађених као плод ентузијаста и без примене посебних прописа и стандарда.

## ***1.2. Полазне основе***

За увођење неког материјала у грађевинску праксу неопходно је детаљно анализирати особине, утврдити понашање и дефинисати оквире у којима се гарантује безбедност употребе у мери у којој је то могуће када је реч о специфичностима појединог материјала, у конкретном случају балиране сламе.

Овај рад је први корак ка систематизацији карактеристика материјала и услова за његову примену. Кроз пресек до сада спроведених истраживања у свету и на основу истраживања која су саставни део овог рада утврдиће се неке од важних карактеристика бала сламе као грађевинског материјала и предложиће се даљи ток истраживања којим је крајњи циљ дефинисање стандарда и увођење овог материјала у редовну грађевинску праксу.

Након десет година проучавања могућности примене алтернативних грађевинских материјала у конструкцијама, могуће је рећи да је најмање реч о екстраваганцији, а далеко више о могућим бројним практичним применама, економским предностима, али и значајном смањењу штетних утицаја на животну околину.

Глобална промена климе у великој мери проузрокована је штетном емисијом гасова, пре свега CO<sub>2</sub>. Анализом различитих фактора који имају утицај на животну средину, утврђено је да око 50% штетних гасова који се емитују у атмосферу долази из грађевинске индустрије и транспорта везаног за грађевинску индустрију.

Расположиве количине сламе у свету су практично неограничене. У САД као највећем светском произвођачу хране, годишње се произведе око 1.4 милијарде m<sup>3</sup> сламе. А у Србији је прошле године на засејаних 500.000 хектара произведено око 20

милиона  $m^3$  сламе (пре десет година та количина је била два пута већа). На први поглед јасно је да је реч о екстремно великим количинама сламе. При томе се једна трећина користи у сточарству, једна трећина заоравала и тако земља аерира и додатно обогаћује хранљивим органским материјама. Једна трећина сламе остаје неискоришћена и у Србији се спаљује.

Велики број земаља у свету законом је забранио спаљивање сламе која остаје на пољима након жетве. Загађује се околина и не користи се огроман потенцијал. Раније су се и те количине заоравале, али је утврђено да се ремети равнотежа органских материја у земљи и производи додатна штета.

Да резимирамо, сваке године у Србији остане неискоришћено око 7 до 8 милиона  $m^3$  сламе, чијим се спаљивањем емитује огромна количина  $CO_2$ . Када би се та слама искористила у градњи објеката било би могуће изградити 100.000 кућа површине  $150 m^2$ .

То је додатан мотив да се настави са истраживањем примене овог материјала.

Не мање важно је и да је, као што је раније напоменуто, слама природан материјал, остатак након жетве пшенице и производи се након једногодишњег циклуса, за разлику од дрвета које може да се користи тек након 20 до 30 година.

Пораст цене енергије, све више у калкулације уводи и количину енергије потребну за производњу јединице мере грађевинског материјала.

За једну тону бетона потребно је 5.800.000 BTU (British Thermal Unit,  $BTU=1055,055 J$ ), а за производњу једне тоне сламе 112.500 BTU. При том при производњи сламе нема никаквог отпада.

Полазне основе и претходна истраживања указују на велике потенцијалне бала сламе у грађевинарству и указују на бројне погодности примене овог материјала.

Комерцијална примена подразумева дефинисање одређених услова које бале сламе морају да задовоље, а затим и познавање свих потребних карактеристика да би објекти могли да се граде у складу са важећим прописима.

У току спроведених истраживања нису пронађена релевантна истраживања у нашој земљи. Било је неколико радова, који су третирали ову област, а изграђено је и

неколико објеката. Објекте су градили ентузијастички и нису пропраћене одговарајућим испитивањима и проверама.

Сламу је могуће на различите начине примењивати у конструкцијам. Бале сламе могу бити носећи елемент конструкције. Могуће је носећу конструкцију изградити од бетона, челика или дрвета, а од бала сламе могу се изградити зидови испуне. Или је могуће сламу користити као звучну или термичку изолацију. У последње време експериментише се и са панелима од сламе.

У овом раду анализираће се само примена балиране пшеничне сламе. Као и конструкције у којима су носећи зидови израђени од балиране сламе.

Овај тип објеката на најбољи начин користи све потенцијале балиране сламе и уједно је најмање истражен.

Делови рада могу се применити и за случајеве рамовских конструкцијама са зидовима испуне од бала сламе.

Бале сламе могу бити различитих облика и величина, од огромних округлих пречника 1 до 2 метра и четвртастих 1,2x1,2x2,4 метра до практичнијих двојичних и тројичних четвртастих бала димензија 0,4x0,5x1,0 метара.

У овом раду анализираће се примена двојичних бала, које су најмање, најлакше за руковање и најчешће примењиване.

Двојичне бале варирају у маси, али просечно су тешке од 15 до 20 кг, приближних димензије су 0,35x0,46x0,89 метара. У конструкцијске сврхе бале се користе тако да је најдужа димензија паралелна са зидом. Бале се положе равно са најкраћом димензијом вертикално, али у неким случајевима бале се ређају и са најкраћом димензијом управно на ивицу (насатично). Овако су зидови тањи, унутрашњи простор је већи, потребно је мање бала за градњу, мање дрвета за подлогу, али су и лошије карактеристике зидова.

Да би материјал био у примени потребно је доказати његове карактеристике и доказати карактеристике склопова од тог материјала, а затим извршити испитивања и на готовом објекту.

У Европској унији примењују се Европски стандарди, а директивом Савета ЕУ прописано је да производи намењени грађевинарству морају да задовоље захтеве систематизоване у шест категорија:

1. Механичка чврстоћа и стабилност
2. Заштита од пожара
3. Хигијена, здравље и заштита средине
4. Сигурност употребе
5. Заштита од буке
6. Уштеда енергије и топлотна заштита.

У овом раду у наредним поглављима биће изложене карактеристике бала сламе по овим категоријама.

Као што је већ напоменуто, нема сличних истраживања на ову тему и приликом спровођења овог истраживања примењене су специфичне методе, делом према нашим прописима, али за друге материјале, а делом и према прописима других земаља.

Испитивање свих ових карактеристика било би веома обимно. За већину од њих не постоје стандардна процедура, а примена процедуре за неки други материјал резултираће и неадекватним резултатима.

Приступило се проучавању доступне светске литературе и праксе, а део истраживања је спроведен и при изради овог рада.

При изради овог рада анкетирани су велики број стручњака из различитих струка у покушају да се сазнају претходни ставови о градњи објеката од бала сламе и да се упознамо са највећим страховима.

Већина на прво место поставља питање механичких карактеристика, понашање током времена и противпожарну отпорност, што у сваком случају указује на највеће резерве за примену овог материјала и дефинише правац наредних истраживања.



Анализирајући балу сламе, а и конструкцију зида, потребно је одговорити на питање механичких карактеристика. Испитивањем утврдити граничне чврстоће, модул еластичности, утврдити понашање при радном оптерећењу.

Јасно је да бале сламе морају да имају мале чврстоће и мале модуле еластичности, а сходно томе и велику деформабилност. Због удобног коришћења, трајности и употребљивости морају се утврдити реолошка својства бала и зидова од сламе.

За малтерисане зидове морају се утврдити карактеристике зидова, као и услови успостављања споја слама малтер и квалитет те везе.

За зидове важно је утврдити максималне висине зидова, као и максималне размаке између ослонаца за зид.

Бале сламе по својој конструкцији имају различита понашања у различитим правцима, па је и то предмет истраживања.

Одговори на ова и многа друга питања дају одговор на питање понашања објеката од бала сламе.

Претходна анализе показују да бале сламе имају карактеристике које омогућавају њихову примену у конструкцијама.

Омалтерисани зидови у зависности од степена остварене везе слама-облога добијају значајно повећање носивости. Такође, омалтерисани зидови показују и отпорност према хоризонталним и динамичким оптерећењима.

Зидови од сламе показују и карактеристике којима се може обезбедити и трајност и употребљивост.

Полази се од претпоставке да се сорте пшенице које се користе у Србији користе и у осталим деловима света, односно да је слама одговарајућег квалитета и да је могуће користити је као конструктивни материјал.

Истраживањем ће се утврдити потребни стандарди за бале сламе (запреминска тежина), којим се може обезбедити максимална носивост.

Претпоставља се да слама има велику противпожарну отпорност и да нису потребне никакве додатне облоге да би се обезбедио потребан ниво заштите.

Полази се од претпоставке да звучна и термичка отпорност зидова, без додатних трошкова, може да задовољи све одговарајуће прописе.

Узимајући у обзир да се слама углавном спаљује и да је има на читавој територији Србије, као и да је веома јефтина, претпоставља се да ће анализа доказати и економску оправданост у конструкцијама.

Експерименталним методама, статичким испитивањем утврдиће се модул еластичности бала сламе. Статичко испитивање подразумева испитивање при мирном оптерећењу и спровешће се на конструкцији у приподној величини. На основу добијених резултата мерења, применом познатих теорија одредиће се све потребне карактеристике зидова.

Применом теорије еластичности анализираће се утицаји у зидовима од бала сламе и дефинисаће се дефомабилност зидова.

### ***1.3. Уобичајена пракса***

Када је реч о уобичајеној пракси важно је напоменути, управо због релативно мало времена које је протекло од реафирмације овог материјала и непостојања прописа и стандарда, тешко да се може говорити и о уобичајеној пракси на начин на који смо навикли при примени других материјала.

Сваки објекат и свако градилиште има поједине специфичности и покушава да неке конструктивне детаље да реше на свој начин.

Уобичајено је да се бале сламе постављају тако да је дужа ивица бале паралелна са зидом (постављање бале на основу). Бале се зидају у суво, са преклопом од половине бале. На овај начин обезбеђује се правилан распоред спојница. Због решавања проблема са влагом, најјефикасније је постављање бала на дрвени рам, који је анкерима везан за темељ, а анкери пролазе и кроз први ред бала сламе.

Зид се уобичајено завршава дрвеним рамом који омогућава равномерно преношење оптерећења са крова на зид од бала сламе и олакшава везу кровне конструкције.

Због великих слегања, о чему ће касније бити детаљано речи, погодно је извршити преднапрезање зида од бала сламе, за 3 до 4 % од висине зида. Преднапрезање и укрућене зида могуће је вршити на више начина (траке, жица, арматура...).

На крају овог поглавља приказане су типичне конструкције немалтерисаног и малтерисаног зида од бала сламе (Прилог 1.1.).

Зидови од бала сламе обострано се малтеришу различитим врастама малтера. Малтер је мешавина агрегата, везива и воде. Агрегат је песак. А везиво је различито у зависности од локалних услова и жеље градитеља.

Најчешћи су кречно-цементни малтери и о њима се највише зна. Овај малтер је трајан, има релативно велику чврстоћу (која директно зависи од количине креча), али има и негативне ефекте на животну средину, због процеса производње цемента (Wilson, 1993). Тешко је у данашње време направити објекат који је у потпуности без негативних ефеката по животну средину. Тако да је у случају ове врсте објеката минимизирано и са минималним негативним ефектима по животну средину да је практично без значаја у односу на било који други савремени објекат.

Употреба цементних малтера показала се као лоша због паронепропусности, а влага је највећи непријатељ бала сламе (Pritchett 2003). Влага је практично једини непријатељ објеката од балиране сламе. И то искључиво „заробљена“ влага и зато никако не треба употребљавати цементне малтере.

Из еколошких разлога често се користе земљани малтери. Успешно се користе вековима, али се у данашње време примају са резервом (заборавља се да су и данас бројне сеоске куће широм Србије и споља и унутра малтерисане управо овим малтером). Земљани малтери справљају се на лицу места, при чему се користи локална земља, богата глином, песак и вода. Сечена слама или остаци од сламе, додају се овој мешавини да би се побољшала еластичност. А у Енглеској се често користи коњска длака из истог разлога.

Експерименти који су пратили израду овог рада показали су да земљани малтери имају и највеће пријањање на зидове од балиране сламе. Процес сушења појединих слојева је у случају ових малтера био бржи и било је могуће за краће време завршити читаву операцију малтерисања. У случају примене погодне боје земље

погодност је да се зидови практично никада не морају бојити, него је малтер истовремено и завршна обрада зида.

Земљани малтери су мање чврстоће и захтевају трајно одржавање.

У овом раду примењиваће се кречно цементни малтер и неће се посебно анализирати његове карактеристике, већ ће се применити постојећа знања.

### ***1.4. Садржај по поглављима***

У другом поглављу приказан је преглед постојеће литературе и истраживања спроведена на немалтерисаним и малтерисаним балама од сламе, као и на намалтерисаним и малтерисаним зидовима од бала сламе. Истраживања су ограниченог броја и тешко упоредива због различитих услова у којима су спровођена, али дају одређене универзалне закључке и дају смернице за даљи рад.

У трећем поглављу приказана су истраживања и анализе којима је дефинисана пре свега запреминска тежина бала сламе, димензије бала сламе, а након тога модули еластичности бала сламе и напонско-деформацијске везе.

У четвртном поглављу анализирана су реолошка својства немалтерисаног и малтерисаног зида од бала сламе, при радном оптерећењу. Реолошких анализа, иако веома значајних за овај материјал практично да нема у пракси.

У петом поглављу приказан је пресек особина бала сламе, пре свега термичких карактеристика и отпорности на звук, на основу података из литературе. Спроведено је испитивање противпожарне отпорности малтерисаног и немалтерисаног зида и дат је приказ резултата.

У шестом поглављу приказана је економска анализа оправданости примене бала сламе у конструкцијама и анализирана је утицај на животну средину, као и трајност објеката од балиране сламе.

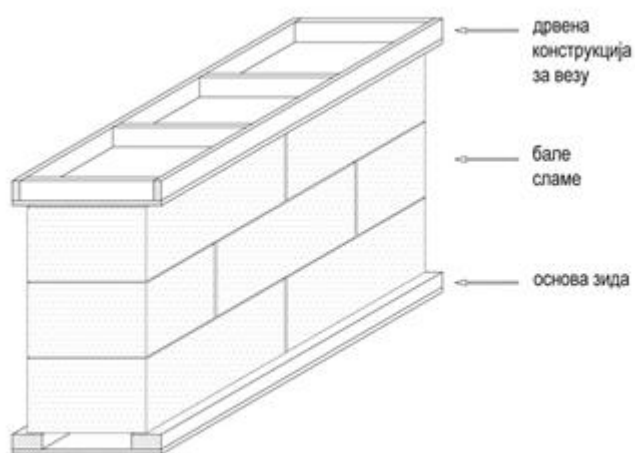
У седмом поглављу приказано је моделирање Fuzzy логичког система за избор најпогоднијег материјала при градњи објекта.

У осмом поглављу дат је приказ анализе прописа за објекте од бала сламе, као смерница за будуће прописе у нашој земљи.

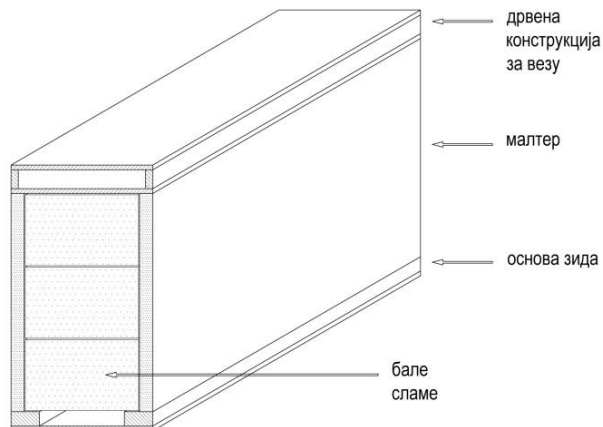
У деветом поглављу дати су закључци истраживања, закључци експериментално-теоријске анализе, као и препоруке за правце даљих истраживања.

На крају је приложен списак релевантне литературе коришћене при овом истраживању.

## ***Прилог 1.1.***



### ***1.1. Конструкција немалтерисаног зида од бала сламе***



### ***1.2. Конструкција малтерисаног зида од бала сламе***



***1.3. Бала сламе положена на основу***



***1.4. Бала сламе положена на бок***

## ***2. Резултати досадашњих истраживања***

### ***2.1. Увод***

У овом поглављу анализираће се резултати неких од до сада спроведених истраживања појединачних бала сламе и зидова од бала сламе при вертикалном централном оптерећењу.

У овој области је веома мало истраживања и то додатно отежава даљи напредак у примени бала сламе у изградњи објеката, као и усвајање закључака на бази претходних истраживања и искустава. Истраживачи најчешће приказују само поједине резултате и ретко се дешава да се објави потпуни ток експеримента, а то онда резултате чини додатно тешко упоредивим.

Са друге стране материјал и сам приступ градњи овим материјалом подразумева велику слободу и немогућност постизања потпуно прецизних димензија, а ни потпуно прецизан доказ стабилности, колико год да то није у духу инжењерства. Тако да онда и сама истраживања треба да буду више смерница за процењивање и оцену него што треба очекивати конкретне вредности за поједине карактеристике. Наравно, мисли се на анализу понашања бала сламе које се ни на који начин не третирају посебно, него се добијају као резултат балирања на пољима након жетве. Постизање уједначених карактеристика је могуће додатним обрадама, али се на тај начин повећава и цена. У овом раду, истичемо још једном, од посебног су значаја необрађене и ни на који начин посебно третиране бале сламе, као и градња објеката код којих су носећи елементи од бала сламе.

Глобални изазови утицали су да се у већини развијених земаља покрену бројна истраживања којима ће се променити уобичајена пракса и живота, а и грађења. Неједнакост између развијених и неразвијених земаља је све већа, а такође и све је већа разлика у расподели дохода у развијеним земљама. У САД 10 процената становника располаже са 70 процената друштвеног богатства, а у ЕУ 10 процената становника располаже са 60 процената друштвеног богатства. Све већа неједнакост, убрзан пораст броја становника, све мање сировина и све већа цена енергије захтевају промене навика и повратак пребрзо заборављеним навикама, материјалима и пракси. Опште



прихваћена је жеља да се у будићности живи у еколошки одрживом окружењу, јер смо све мање пред избором, а све више се суочавамо са неминовношћу.

А савремена грађевинска индустрија почиње да користи алтернативне материјале, али све чешће и алтернативне методе грађења ((Lerner et al. 2000) и како се примећује, све више се враћамо традицији, знањима и искуству које се неговало и предносило са генерације на генерацију хиљадама година да би онда било заборављено за свега неколико деценија. И сада покушавамо да поново научимо све оно што смо дозволили да пребрзо заборавимо.

Истражијући алтернативне методе и материјале уочено је, пре свега у развијеним земљама, све више објеката од материјала које је до пре неколико година били тешко замислити примењене у грађевинарству, а све је више и објеката од рециклираних материјала. Разлози су бројни, од потребе за различитошћу, до све више економских разлога који условљавају примену алтернатива. Обновљивих ресурса је све мање, цена енергије расте, тако да су дешавања природна и очекивана.

Познати инжењер и тероретичар изјавио је једном приликом, да би понекад и помислио да је смислио нешто ново, али је увек било питање времена када ће у прошлости наћи објекат изграђен на основу исте идеје.

Данас, савремени трендови често подразумевају пре свега алтернативан приступ и не уводе нове материјале, чак ни нове технике, него пре свега модернизују и реafirмишу стара знања, некада примењиване материјале и заборављену праксу.

Поновно увођење бала сламе у грађевинарство, пример је модернизације старе технике грађења. Уз то грађењем у савременим условима неопходно је дефинисати карактеристике материјала и конструктивних целина. У давна времена градитељи су својим животима гарантовали безбедност значајних објеката, а за мање важне било је довољно на бази површних доказа гарантовати стабилност.

Данас је за добијање дозвола и регулисање питања осигурања потребна свеобухватна анализа и разумевање понашања конструкције. Основно питање је у којој мери је неопходно и могуће прописима дефинисати, а у којој мери је могуће оставити слободу инжењеру при пројектовању и гарантовању стабилности и сигурности одређеног објекта. Код бала сламе и сличних материјала неопходно је да се остави

далеко већа слобода конструктору при креирању објекта, а пропис би морао да дефинише само оквир за пројектовање и изградњу.

Када је реч о грађењу сламом тренутно у Србији не постоји никаква регулатива која би прописала било који детаљ у вези са грађењем и не постоје истраживања, тако да су у претходним истраживањима проучавани резултати испитивања из других земаља.

На жалост и поред великог броја изведених објеката широм света и поред тренда да се све више гради, свега неколико земаља има прописе којим се дефинише градња оваквих објеката.

То представља проблем при добијању свих могућих сагласности и дозвола и у многим случајевима онемогућава градњу. Некритичка примена прописа који важе за друге материјале доводи градитеље у немогућу ситуацију или до те мере поскупљује градњу или поништава предности материјала да обесмишљава читав поступак.

Већ је било речи, да је уобичајено да се куће од бала сламе граде тако што се прво сложе бале сламе, а затим зид малтерише неком врстом малтера. Анализиран је велики број пројеката и уочена је разноликост по начину зидања, начину остваривања везе малтера и бала сламе, као и састава и структуре самих малтера, а и конструктивних детаља и веза са фундаментима и кровном конструкцијом, па је релативно тешко говорити о унифицирању правила и закључака.

Бројне технике изградње се примењују, а бале сламе су такав материјал да практично свако градилиште и градитељ уводи неке своје специфичности. Грађење балама сламе, о чему је већ било речи, подразумева потпуно нов приступ грађењу и слобода је чак пожељна при употреби овог материја.

Иако слобода и разноврсност обогаћују градитељску праксу, с друге стране резултирају бројним недостацима по питању стандардизације поступака и конструкцијских решења и чине доступне податке и истраживања тешко упоредивим.

У земљама у којима не постоје прописи уобичајено је да се испитивањем конструкције утврде њена стабилност и носивост и након тога добију све потребне дозволе. Ово је једино могуће решење, али треба истаћи да захтева додатно време и да је поступак испитивања захтеван и скуп. На жалост највећи број и ових испитивања

због различитих конструкција и детаља онемогућава генерализацију и сходну примену у другим случајевима.

Иначе у већини земаља, парадоксално је да често процес издавања дозвола кошта више од изградње објекта. То је случај и у Србији. Прописи и правила која се примењују не препознају обновљиве ресурсе и цену градње, тако да се у централним градским зонама великих градова трошкови локације, дозвола и прикључака могу бити и до сто пута већи од трошкова градње балама сламе.

Проблем различитих детаља и саме конструкције се мора решити усвајањем свеобухватнијих прописа, јер се тако и стварају услови за масовнију примену.

У овом поглављу направиће се преглед истраживања и резултата истраживања за бале сламе, као и за малтерисане и немалтерисане зидове од сламе.

Да би бале сламе могле да се примењују потребно је спровести бројна истраживања појединачних бала сламе, и то за различите степене збијености и различите оријентације бала сламе (бала се може полагати тако да се ослања највећом површином, стандардни положај или да се поставља на бок, насатично), а такође анализирати и понашање зидова од бала сламе немалтерисаних и малтерисаних различитим врстама малтера. И појединачне бале и зидови од бала сламе морају бити анализирани за утицаје различитих типова сталних и повремених оптерећења.

Као што је више пута напоменуто, пошто још увек не постоји серијска производња оваквих објеката, најчешће се и бале сламе набављају на њивам, што значи да је за неке од важних карактеристика (димензије и збијеност) најодговорнији руковалац машине за балирање. У случају масовније производње, проблем је лако решив уз минималну дораду машина за балирање.

Непостојање стандарних бала, непостојање прописа и непостојање усаглашених процедура за испитивање појединих карактеристика резултирају великим одступањима у добијеним резултатима.

У наставку су наведени само извори који су у својим радовима дефинисали услове испитивања, тако да постоји висок степен поузданости добијених резултата и могућност процене употребљивости добијених резултата.

У наредним поглављима дати су прикази спроведених испитивања у оквиру овог рада, а указаће се на проблеме са којима се суочио аутор овог рада, а који су веома слични са проблемима других истраживача.

## ***2.2 Методе грађења***

Постоји велики број фотографија, блогова, упутстава и приручника који мање или више детаљно објашњавају различита искуства у грађењу објеката од бала сламе и препоручују поједине конструктивне детаље носећих зидова и елемената конструкције, као код King (1996), King (2006), Lerner (2000), Magwood and Mack (2000), Magwood (2005). Такође, бројни су часописи и периодична издања која преносе искуства, често аматера, али који такође, могу бити корисна грађа за анализе понашања објеката од бала сламе. У грађевинској пракси често су управо примери „добре праксе“ драгоцени приликом увођења нових технологија и дефинисања стандарда. Све то је добра припрема за почетак проучавања и примену бала сламе у градњи, али ипак, само добра припрема. Потребно је много више од тога да би се изградио објекат и да би исти задовољио све потребне услове.

Аутори не ретко имају контрадикторна искуства и значајна одступања у добијеним резултатима, али уз квалитетну анализу, када су поступци детаљно образложени, истраживања могу послужити за отклањање проблема са којим се срећемо у пракси.

У сваком случају, генерално опште прихваћен је модел зида описан у уводном поглављу. Поред горе наведене литературе, при истраживању објеката од бала сламе од велике користи били су и бројни чланци који су указали на значај појединих конструктивних детаља и омогућили сагледавање проблематике која је допринела и овом истраживању, а представља помоћи при процени праваца будућих истраживања.

У радовима које су објавили Black and Mannik (1997) предлажу могуће различите технике за побољшање веза унутрашњег и спољашњег слоја малтера за бале сламе како би се побољшале карактеристике зида, пошто је састав зида такав да се без садејства малтера и сламе не могу очекивати значајније чврстоће. Каснија

истраживања других аутора, као и испитивања и неки нумерички модели, потврдили су у великој мери исправност њихових претпоставки.

Употребом материјала као што су бамбус, дрвени кочићи, или постављањем ојачања арматурним шипкама, тако што се постављају вертикално, на спољашњој и унутрашњој страни бала, а онда њиховим повезивањем кроз бале сламе, обезбеђује додатна чврстоћа и стабилност зидова (Bolles, 1998).

Аутор овог рада током спровођења експеримената, који ће детаљно бити обрађени у наредним поглављима, суочио се са проблемом приањања малтера за бале сламе. Жичана мрежа или нека од других мрежа помажу бољем успостављању везе, али се јавља проблем причвршћивања саме мреже, јер показало се да је тај спој пресудан за квалитет везе. Бројни аутори предлажу различите врсте везе, од дрвених клинова до посебних врста ексера. Међутим, као најефикаснија показала се примена „бркова“, слично као код успостављања везе фасадног за носећи зид, што је уобичајено у грађевинској пракси у Србији (комад жице које лако пролази кроз зид од сламе и лако се затеже). Ово решење, веома једноставно, које ствара практично идеалну везу нигде у литератури није наведено. Такође, показало се да постављањем вертикалних дрвених летви са обе стране зида, а на размаку једнаком дужини бале, битно олакшава читав процес и даје додатну крутост зиду. И управо су ти детаљи доказ различитост градитељске праксе о којој је већ било речи. Испитивања чији су резултати приказани у наредним поглављима говоре у прилог овоме.

Magwood and Mack (2000), такође и Mag (1998) предлажу као најефикаснију везу зида са подлогом и кровом, дрвени рам који омогућавају равномерно прихватање оптерећења са крова и преношење на темељ. Такође, саветују и коришћење жица којим се горњи дрвени рам спаја са темељом и тиме прихватају силе од ветра. При испитивању механичких карактеристика један од проблема са којима смо били суочени је димензија пресе за наношење оптерећења. Практично ниједан од познатих материјала се не испитује на узорку величине бале сламе. Тако да је било потребно обезбедити преношење силе на читав узорак, што је постигнуто применом челичних плоча и челичних профила.

Поједини аутори проучавали су могућност примене „супер“ збијених бала сламе (Stephens, 2000). Сви други аутори анализирали су стандардне бале сламе које су

уобичајене на пољима широм света и које ни на који начин нису посебно третиране. Пре свега због ниске цене, јер свака додатна обрада увећава цену. Ово је наравно оправдано за индивидуалне објекте мале спратност, али остаје могућност да се уз побољшање карактеристика бала сламе и незнато повећање цене значајно прошири могућност примене. Као закључак спроведених експеримената је и да су бале након завршених експериманата имале још боље карактеристике него пре почетка испитивања, тако да оптерећење само побољшава карактеристике материјала.

Мора се напоменути да су сви ови аутори приказали позитивне стране техника које заговарају, али због специфичности коју свака од техника има употребна вредност ових истраживања је ограничена.

Овај рад анализира могућности примене бала сламе у грађевинарству и морао се ограничити само на поједине аспекте анализе. Тако да је направљена и селекција приказа постојећих истраживања, само на истраживања која третирају исту област истраживања којим се бави и овај рад.

Анализирана су истраживања која се односе на утврђивање носивости и модула еластичности појединачних немалтерисаних и малтерисаних бала сламе, као и приказ понашања малтерисаних и немалтерисаних зидова о бала сламе.

### ***2.3 Конструкције од бала сламе***

И поред покушаја са различитим попречним пресецима зида и различитим техникама зидања, широм света преовладала је метода зидања слагањем бала сламе на основу, са преклопом на половину, затим постављање мрежице преко зида и након тога обострано малтерисање зида. Било је покушаја да се континуитет редова бала сламе постиже слојем малтера. Али, применом таквог поступка нису постигнути никакви значајни позитивни ефекти, а слој малтера је само умањивао позитивне карактеристике материјала.

Приказани резултати истраживања односе се на такав тип конструкције и попречног пресека зида.

### ***2.3.1 Карактеристике појединачних бала сламе***

#### ***2.3.1.1. Карактеристике немалтерисаних бала сламе***

Бројна истраживања усмерена су на утврђивање карактеристика појединачних бала сламе. Иако мање чврстоће и лошијих карактеристика од малтера, у маси зида преовлађује слама и њен утицај на понашање целог зида је веома значајан.

За утврђивање механичких карактеристика бала сламе, посебно је важно утврдити везу напона и деформација. Прва свеобухватна истраживања спровео је Vou-Ali (1993), који је анализирао тројичне пшеничне бале сламе и утврђивао граничну носивост. Као и већина аутора касније, анализе је спровео на балама постављеним на основу и насатично.

Важан закључак до кога је дошао је да су бале сламе постављене на основу повећавале збијеност током експеримента и да је са повећањем оптерећења и збијености растао и модул еластичности. А бале постављене насатично током испитивања и пораста оптерећења показивале су исту крутост.

Појединачне бале постављене на основу оперећене до максимум 579 kPa, без лома су сабијане до половине своје првобитне висине. Измерени модул еластичности износио је 538 до 1455 kPa и повећавао се при порасту оптерећења. А Поасонов коефицијент износио је 0,30.

Појединачне бале постављене насатично биле су оптерећене са 145 kPa и при порасту оптерећења, као што се могло очекивати, нагло би попуштале услед пуцања жица којима су везиване. Измерен је модул еластичности од 670 kPa.

Такође, важна је чињеница да су бале сламе постављене на основу под пуним оптерећењем биле сабијене до половине своје висине. Након уклањања опрећења у року од једног дана враћале су се у првобитни положај, то јест деформација је била потпуно еластична.

Поједини аутори анализирали су напонско деформацијско понашање бала од пшенице, овса, и јечма (нпр. Watts,1995). Према објављеним резултатима, модул еластичности које је варирао од 0.083 МПа до 0.237 МПа. Уочљиво је да су добијене вредности модула еластичности значајно ниже него код Vou-Ali (1993), могуће због

различитог нова напона при коме су вршена испитивања, а о чему нема прецизних информација.

Без обзира на разлике у добијеним резултатима, сва испитивања су показала пораст модула еластичности при порасту оптерећења.

Исти ефекат уочили смо и при извођењу експеримента који је приказан у овом раду.

Утврђене су значајне варијације модула еластичности између бала истих и различитих врсте сламе. Густина бале има већи утицај на чврстоћу бале од типа сламе. Константно излагање великој влази смањује модул еластичности, што је очекивана појава и доказује чињеницу да је влага једини непријатељ бала сламе.

Zhang (2000) је вршио експерименте на балама постављеним на основу и насатично. Измерио је модуле еластичности за бале постављене на основу од 310 kPa и за бале постављене насатично од 460 kPa.

Најважнији закључак из доступних истраживања је да постоје велика одступања у карактеристикама малтерисаних бала сламе и о томе мора водити рачуна код изградње објеката, што је и логичан закључак, о чему је и раније било речи.

### *2.3.1.2. Карактеристике малтерисаних бала сламе*

Бројне радове је објавио Zhang (2000). Анализирао је двојичане пшеничне бале сламе постављене на основу и насатично, малтерисане и немалтерисане. Посебно је анализирао ток сила кроз малтерисани зид, а оптерећење је аплицирао директно кроз језгро од сламе; директно кроз језгро од сламе, уз посебно ојачане зидове при дну и кроз језгро од сламе и малтер. Анализирао је примену цементног и земљаног малтера. За малтере се не наводе карактеристике мешавине, као ни време очвршћавања. Након уклањања оптерећења, увек се дешавала одложена повратна деформација.

Woods (2005) је анализирао малтерисане и немалтерисане бале сламе. Испитивао је бале малтерисане кречно цементним малтером, али није изнео податке о саставу мешавине, времену протеклом од малтерисања до експеримента, као ни о дебљини слоја малтера. Примењивао је исти режим оптерећења и за малтерисане и за



немалтерисане бале сламе. За немалтерисане бале сламе измерио је модул еластичности од 300 kPa, а за малтерисане бале сламе 455 kPa.

### ***2.3.2. Карактеристике зидова од бала сламе***

#### ***2.3.2.1. Карактеристике немалтерисаних зидова од бала сламе***

Вои-Али (1993) је спровео бројан испитивање на зидовима од тројичаних пшеничних бала сламе постављених на основу. Испитивао је зидове димензија 366x244 cm, које је оптерећивао центричним вертикалним оптерећењем од 70.3 kN или 19.2 kN/m. Бале су биле постављене без додатног набијања, које се у пракси обавезно ради код овог типа градње. И није није било никаквих додатних веза у зидовима, које се уобичајено постављају. Бале су спојене можданицима, без података о положају и броју. А деформације нису мерене прецизним инструментима. При граничном оптерећењу од 19.2 kN/m измерене су деформације од 17.5 до 19.8 cm.

#### ***2.3.2.2. Карактеристике малтерисаних зидова од бала сламе***

Бројни аутори, попут King (2006), Dick and Britton (2002), и King (1996) покушали су да поставе теоријске основе за понашање малтерисаних зидова од бала сламе при центричном притиску. Закључак је да се малтерисани зид од бала сламе теоријски понаша као сендвич панел. Језгро од сламе, као релативно меко и два слоја малтера, значајно веће крутости, у садејству прихватају укупно оптерећење. Такво теоријско понашање је могуће само ако дрвени рам на врху и конструкција темеља на дну зида омогућавају преношење оптерећења са крова и на малтер и на сламу, а конструкција темеља таква да прихвата силе из малтера и сламе. Дрвени рам и основа морају бири шири од бале да би се оптерећење пренело на малтер. Под оптерећењем, слама и малтер имају једнаке деформације. При томе мора се обратити пажња да се избегну локални дефекти на спојевима малтера и дрвеног рама, како на врху зида, тако и на споју зида са основом.

Други аутори, Faine and Zhang (2000, 2001, 2002), Mar (2003), Walker (2004) анализирали су понашање зидова под утицајем центричног притиска. Покушавали су

да утврде граничне капацитете носивости зидова. Резултати се значајно разликују, што је последица различитих експерименталних поступака, различитих диспозиција зидова и различитих карактеристика малтера.

Стога је резултате тешко упоређивати, али је за све експерименте заједничко да су добијене експерименталне вредности граничних носивости мање од теоријских вредности, која је рачуната тако што се површине слојева (малтера и сламе) помноже са њиховим носивостима.

Претпоставља се да су разлози за овакве појаве и закључке у постојању конструктивних имерфекција, а није искључена ни могућност да је прихваћено теоријско понашање погрешно.

Под оптерећењем зида од бала сламе, релативно крути слојеви малтера преузимају највећи део терета, а језгро од сламе сагласно својој крутости, значајно мање (постоји аналогија са понашањем армираног бетона). Слама, иако са мањом носивошћу има значајну улогу, у спречавању извијања танког слоја малтера.

Још увек нема сагласности по овом питању, тако да је то једна од важних тема будућих истраживања.

## ***2.4. Закључци досадашњих истраживања***

Испитивања на пшеничним балама сламе постављеним на основу, показала су да бале имају модуле еластичности од 0.05 МПа до 0.7 МПа при малим оптерећењима и од скоро 2.5 МПа на вишим оптерећења.

Бале сламе постављене насатично показују готово линеаран однос напон-деформација уз измерени модул еластичности од 0.08 до 0.67 МПа.

Поасонов коефицијент за бале сламе износи око 0.30 у подужном правцу и око 0.11 у попречном правцу.

Бале са већом густином имају већи модул еластичности и имају веће граничне носивости. Механичке карактеристике бала сламе су веома променљиве.

Конструкције од бала сламе имају перспективу, а будућа истраживања треба спроводити по стандардизованим поступцима, да би резултати били упоредиви и тако имали највећу практичну корист.

### ***3. Карактеристике бала сламе***

#### ***3.1. Увод***

У току претходних истраживања проблематике градње балама пшеничне сламе, која су саставни део истраживања приказаних у овом раду, између осталог су анализирани и резултати испитивања бала сламе спровођени на више универзитета у неколико земаља.

Нису пронађена радови са објављеним резултатима истраживања бала сламе у Србији, а било је чак тешко доћи и до података о димензији бала пшеничне сламе.

Како је циљ овог рада утврђивање могућности увођења у праксу бала сламе потребно је истраживањима утврдити карактеристике на основу којих ће се касније донети закључци. Једно од основних истраживања је утврдити носивост, деформабилност и модул еластичности материјала, бала сламе.

Први проблем представљало је утврђивање процедура по којима ће се спроводити испитивање појединих карактеристика. Процедуре се стандардизују у циљу добијања карактеристичних вредности предметних испитивања, упоредивости резултата, али и отклањања системских грешака које могу да наступе при спровођењу експеримента, а чиме се угрожава ваљаност добијених резултата.

Аутор овог рада суочио се са чињеницом да у свега неколико земаља постоје прописи, а да чак ни у тим земљама не постоје стандардне процедуре спровођења испитивања.

Прописи постоје у неколико савезних држава САД, али су креирани на начин својствен тој земљи. Неки од америчких прописа су описног карактера, табеларно дефинишу односе дебљине и висине зида и друге карактеристике зидова. Прорачуни су поједностављени за све стандардне типове објеката, али постоји могућност битних модификација и у том случају је неопходно да лиценцирани инжењер прорачуном докаже стабилност. Фондурања стамбених објеката од бала сламе у САД често је на дрвеним шиповима, мале дужине. Преко шипова се постављају дрвене наглавне греде, а на њих зидови и подна конструкција.

Јасно је да су оваква пракса и овакав приступ за сада тешко замислив код нас, а онда и неке процедуре које доводе до таквих прописа не могу бити примењене.

Различити поступци испитивања чине тешко упоредивим резултате доступних истраживања.

### ***3.2. Избор истраживања***

У Србији се овај материјал не користи, тако да не постоје ни испитивања. Материјал, осим у неколико случајева није коришћен за градњу и није било могуће наћи референтне податке о балама сламе, осим у радовима који се баве пшеницом као пољопривредном културом, али се они пре свега односе на површине под пшеницом, сорте пшенице и висину приноса.

Бале сламе у објектима могуће је користити на различите начине, као и што постоје различите врсте бала. У овом раду анализира се примена бала пшеничне сламе за израду носећих зидова конструкције.

Анализира се понашање пшеничних двојичаних бала постављених на основу (бала се полаже на највећу површину, а најдужа ивица је паралелна ивици зида).

Циљ је да се утврди могућност примене стандардних бала сламе. Оне се после жетве добијају балирањем сламе на пољима и ни на који начин нису посебно третиране. Иначе, те бале се користе у сточарству као простирка.

Постоји могућност префабрикације сламе и производња панела са тачно дефинисаном збијеношћу, тачним димензијама, прецизно дефинисаним карактеристикама жица за везивање. Карактеристике таквих панела су далеко боље него бала сламе, али то није предмет истраживања у овом раду. Та истраживања остају за неко друго време када ће се слама масовно користити.

Стандардне бале треба примењивати водећи рачуна о духу самог материјала. Бале су нестандардних димензија, различите тежине и готово бесплатне и процес грађења мора бити прилагођен томе.

Бале сламе су велики блокови за зидање, а сваки блок је различитих димензија. При том једна бала сламе кошта сто динара и идеја је да се зида са локалном сламом, па нема ни трошкова транспорта.

Управо дух материјала утицао је да се истраживања спроведу изван лабораторије и без прецизних инструмената за мерење (почетна истраживања и других аутора спровођена су применом сличног приступа). Утврђивањем основних карактеристика, а касније и могућом применом, након стандардизације поступака могуће је наставити истраживања на основу којих ће се дефинисати прописи.

Након тога спроведена су истраживања и у лабораторијским условима и резултати су приказани у наставку, као и упоређење резултата по једној и по другој методи.

У првом кораку изабраће се бале за испитивање. Одредиће се њихове просечне димензије, затим маса и запреминска тежина, као и карактеристике немалтерисаних и малтерисаних бала сламе. На појединачним малтерисаним и немалтерисаним балама оптерећеним у границама еластичности одредиће се модул еластичности.

### ***3.3. Одређивање димензија бала сламе и запреминске тежине***

Бале сламе су изузетно јефтине. Оне су нузпроизвод који остаје након жетве пшенице. Није неопходно, али је пожељно да се користи слама из непосредне близине градилишта. Мањи су трошкови транспорта, нема додатног загађења животне средине, а важно је и због складиштења и чувања. За кућу од 100 м<sup>2</sup>, потребно је 70 м<sup>3</sup> сламе у балама.

#### ***3.3.1. Одређивање димензија бала сламе***

За потребе овог истраживања набављена је балирана пшенична слама на пољима у Земуну. Након жетве 2012. године укупно је обезбеђено 30 бала сламе. У зависности од врсте машине за балирање сусрели смо се на неколико различитих

диманзија бала сламе, што наравно за практичну примену нема никаквог значаја. Изабране су најмање и најчешће коришћене бале сламе оквирних димензија 0.4x0.5x1.0 метар.

Највећи, можда једини непријатељ бала сламе је вода. Пољопривредници најчешће сладиште бале сламе на отвореном, сложене у пирамиду, свесно жртвујући први слој положен на земљу и ободне бале сламе, које ће бити оштећене утицајем влаге и воде.

Слама намењена истраживању је чувана у великом, добро изолованом и сувом складишту. Није била изложена светлу, температура је варирала у границама од 15 до 20 С и влажност ваздуха је била константна.

У току самог процеса балирања, унапред упознати са могућим проблемима, скренули смо пажњу на квалитет жица и канапа за везивање бала. У нашим условима најчешће се користе најјефтинији канапи, који не ретко пуцају под сопственом тежином бала.

На самом пољу било је јасно да је код нас пракса да се слама при балирању минимално сабија, вероватно због лакшег сушења и чувања.

Интервенисано је и подигнут је ниво збијености, али је и даље далеко од максимално могућег капацитета машина за балирање.

Бале које смо обезбедили су двојичне и коришћене је квалитетан канап. У свету се користе жица или полипропиленска ужад. Утицај веза је важан за понашање под оптерећењем.

Бале су ускладиштене, подигнуте од земље и измерене су њихове димензије. Технологија производње и начин функционисања машине за балирање остављају могућност руковоцу машине да бале буду различите димензије и степен збијености. У свету је уобичајено да се просечна димензија одређује на узорку од више бала.

Влажност бала највећа је након жетве, а онда се сушењем смањује.

У случајевима када је мерена количина влаге у балама показало се да након неколико месеци складиштења бале сламе садрже мање од 10% влаге. Препоручује се да садржај владе не прелази 20%.

Бале су обележене и спроведена су три мерења маса бала, спроведена у размацама од по четири месеца.

Прописи који важе у Калифорнији прописују да се димензије одређују на репрезентативном узорку од бала које се користе за зидање. Пошто се овде радило са само 30 бала сламе мерене су све бале сламе.

У наредне две табеле приказане су измерене геометријске вредности и резултати три спроведена мерења маса бала и на крају су приказане добијене просечне вредности.



	ШИРИНА b (cm)	ВИСИНА h (cm)	ДУЖИНА l (cm)	I МЕРЕЊЕ m (kg)	II МЕРЕЊЕ m (kg)	III МЕРЕЊЕ m (kg)
1	89	48	38	17.30	16.60	16.50
2	100	45	36	19.10	18.30	18.20
3	86	46	36	17.20	16.20	16.00
4	85	46	35	16.00	15.40	15.40
5	92	47	35	18.20	17.10	17.00
6	87	48	37	15.50	17.30	17.30
7	88	47	36	17.30	16.70	16.60
8	92	46	36	17.50	17.00	17.00
9	89	45	37	17.40	16.70	16.70
10	90	44	35	16.20	15.60	15.50
11	88	49	35	17.50	17.00	16.90
12	89	45	36	17.00	16.20	16.20
13	91	44	37	17.10	16.70	16.60
14	84	46	35	16.30	15.30	15.20
15	85	44	36	16.00	15.10	15.10

**3.3.1.1. Димензије и масе бала сламе**

	ШИРИНА b (cm)	ВИСИНА h (cm)	ДУЖИНА l (cm)	I МЕРЕЊЕ m (kg)	II МЕРЕЊЕ m (kg)	III МЕРЕЊЕ m (kg)
16	89	46	36	17.20	16.60	16.50
17	95	48	35	18.50	17.90	17.90
18	85	46	36	16.40	15.90	15.80
19	87	45	37	16.70	16.40	16.30
20	94	46	37	18.30	18.00	17.90
21	93	47	38	18.80	18.60	18.60
22	86	44	34	14.70	14.50	14.40
23	86	46	36	16.20	16.00	16.00
24	87	48	35	16.70	16.50	16.40
25	88	46	35	16.10	15.90	15.90
26	89	47	38	18.10	17.90	17.80
27	88	46	37	17.10	16.80	16.80
28	90	44	36	16.60	16.10	16.00
29	89	47	34	16.20	15.90	15.90
30	89	45	36	17.00	16.30	16.20

**3.3.1.2. Димензије и масе бала сламе**



### ***3.3.1.3. Мерење димензија бала сламе***

На основу спроведених мерења на узорку од 30 бала сламе утврђена је просечна димензија бале сламе  $0.36 \times 0.46 \times 0.89$  метара и просечна тежина од 16.5 кг по бали. Запреминска тежина балиране сламе на испитиваном узорку износила је  $1.18 \text{ kN/m}^3$ .

Димензије бала пшеничне сламе које су коришћене за експеримент по димензијама одговарају стандардима. А густина бала, односно степен збијености одговараја степену који се препоручује за коришћење у градњи објеката (за градњу се препоручују бале сламе збијене тако да им је запреминска маса већа од  $100 \text{ kg/m}^2$ )

### ***3.3.2. Закључци***

Димензије бала сламе одговарају уобичајеним димензијама.

Запреминске тежине анализираних бала сламе испуњавају потребне услове за примену у носећим зидовима приземних стамбених објеката.

Збијеност може представљати проблем, јер се у Србији традиционално слама балира тако да су бале у врло растреситом стању.

Посебна пажња мора се посветити везама. Често се корити канап који пуца под тежином бала. Квалитет везе важан је за чврстоћу зида.

Уз мале корекције бале сламе одговарају уобичајеним стандарним вредностима по питању димензије и запреминске тежине.

Важно је приметити, да чак и ако су бале сламе мање збијености могу ће их је уз додатно збијање применити за зидање, али у том случају везе треба накнадно дотегнути.

### ***3.4. Утврђивање модула еластичности бала сламе и везе напона и деформација***

Након што је констатовано да запреминске тежине испуњавају претпостављене критеријуме за примену у носећим зидовима, приступило се одређивању модул еластичности.

Читава идеја примене бала сламе у грађевинарству је увођење нестандартне методологије и дефинисање оквирних критеријума и правила која ће омогућити градњу. Нестандардне карактеристике појединачних бала, нестандартне димензије и приучена радна снага, морале би да буду карактеристике примене овог материјала и зато се приступило испитивању модула еластичности приручним методама, а онда је испитивање спроведено и у лабораторијским условима Института за испитивање материјала ИМС, па је на крају извршено упоређивање ових података.

За испитивања на терену није утврђивана гранична носивост.

### ***3.4.1. Утврђивање модула еластичности бала сламе и веза напона и деформација при експлатационим оптерећењима у теренским условима***

Сва испитивања за утврђивање модула еластичности спроведена су за оптерећења за које се претпоставља да су у зони еластичног понашања материјала.

Анализе резултата претходних истраживања указују да бале запреминске тежине (степен збијености) од око  $1.1 \text{ kN/m}^3$  имају граничне носивости неколико пута веће од радног оптерећења.

Ако испитивањем утврђени однос напона и деформација одговара односима напона и деформација добијеним у неким ранијим испитивањима, у делу који одговара нивоу аплицираних оптерећења, сматраће се да је почетни услов испуњен.

Ако након уклањања оптерећења деформација буде еластична, сматраће се да је почетни услов испуњен.

Ако се резултати испитивања буду различити од почетних претпоставки, онда почетни услови нису испуњени и однос напона и деформација, модул еластичности и гранична носивост морају бити одређени применом другачијих метода.

У наредним истраживањима која ће уследити након овог рада спровешће се и лабораторијска испитивања како би се утврдиле граничне носивости и понашања бала сламе у функцији више различитих фактора.

#### ***3.4.1.2. Припрема узорака за испитивање и испитивања***

Пре самог испитивања изабрано је шест бала чије су димензије уз минималне корекције доведене до просечних.

Пошто поједине сламке увек излазе из бочних равни, „тримовањем“ је постигнута равност површина. Нагон тога дрвеним маљом је извршено финално дотеривање површина.

Бале сламе су малтерисане продужним малтером са минималном количином цемента и комплетан поступак ће у наредном поглављу бити детаљно описан.

Припремљене су дрвена подлога и дрвена конструкција на коју је аплицирано оптерећење.

У индивидуалним стамбеним објектима стандардних спратних висина од 2.8 метара (око осам редова бала), и уобичајених распона и диспозиција носећих зидова укупно стално оптерећење од процењено је на око 4 kN/m, а покретно оптерећење (снег и ветар) процењено је на око 2 kN/m.

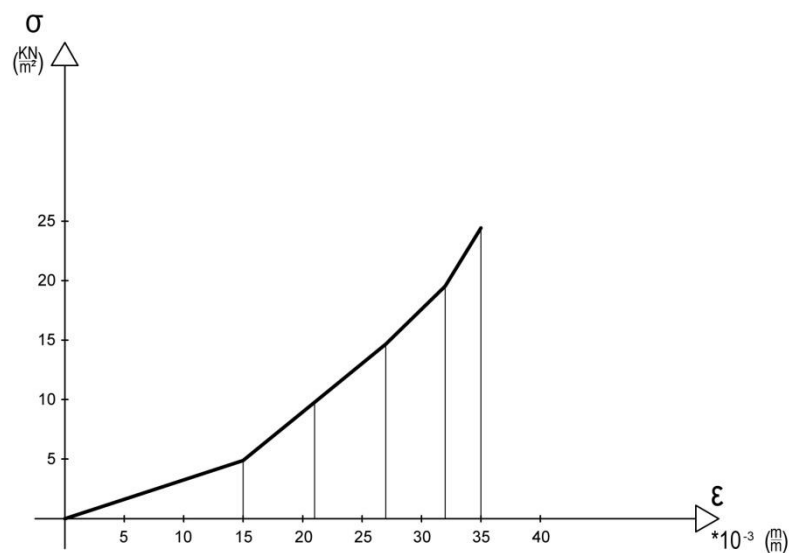
У овој анализи аплицирано је на малтерисане и немалтерисане бале сламе укупно оптерећење од 11.2 kN/m и мерене су деформације. Оптерећење су претстављали цакови цемента и додавана су по два цака у једном кораку (по 100 кг, на балу дужине 0.89 метара).

Оптерећење је наносено са кораком од 1.12 kN/m, а онда на основу познатих теоријских веза (Брчић 1989) одређиван је модул елестичности.

У наставку су приказани диспозиција и добијени резултати, као и анализа добијених резултата. А извршено је и упоређење резултата са испитивањима која су спровели неки од истраживача.

**3.4.1.2.1. Узорак 1 (немалтерисана бала сламе)**

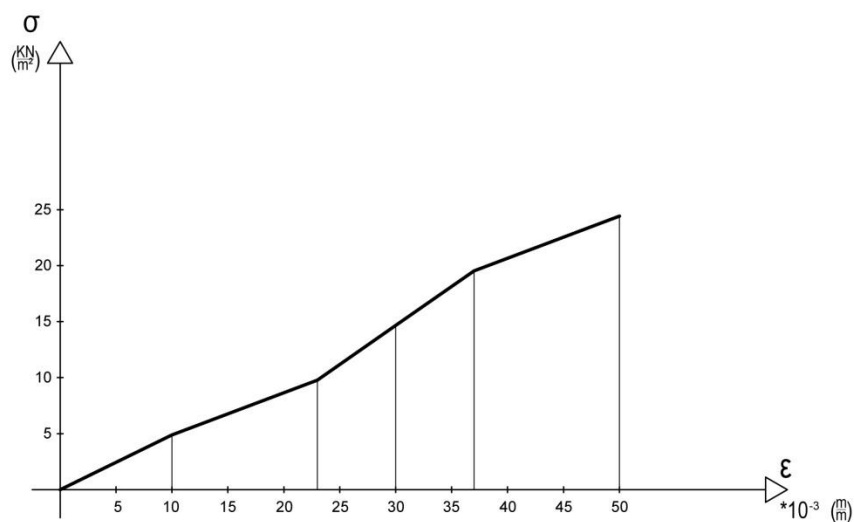
0,36x0,46x0,89 m



P (KN)	σ (KN/m <sup>2</sup> )	Δl (m)	ε (m/m)
2	4.89	0.005	0.015
4	9.78	0.008	0.021
6	14.66	0.01	0.027
8	19.54	0.011	0.032
10	24.42	0.012	0.035

**3.4.1.2.2. Узорак 2 (немалтерисана бала сламе)**

0,36x0,46x0,89 m

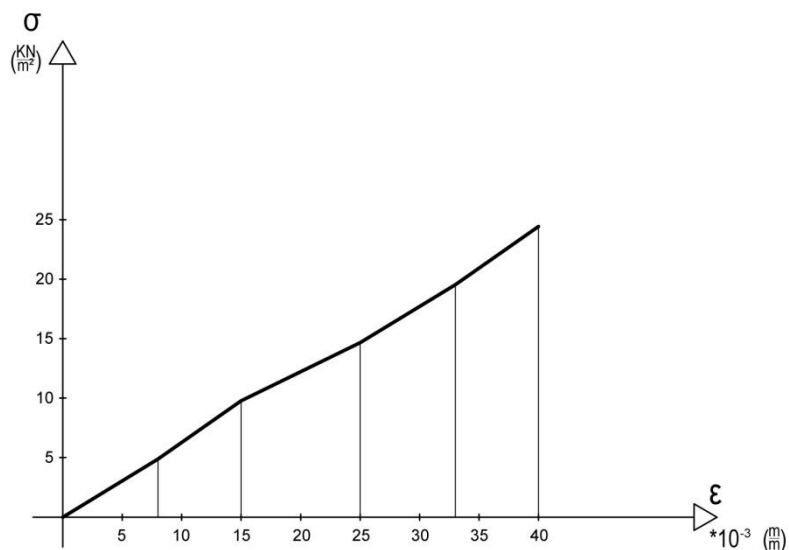


P (KN)	σ (KN/m <sup>2</sup> )	Δl (m)	ε (mm/mm)
2	4.89	0.004	0.010
4	9.78	0.008	0.023
6	14.66	0.011	0.030
8	19.54	0.013	0.037
10	24.42	0.018	0.050



**3.4.1.2.3. Узорак 3 (немалтерисана бала сламе)**

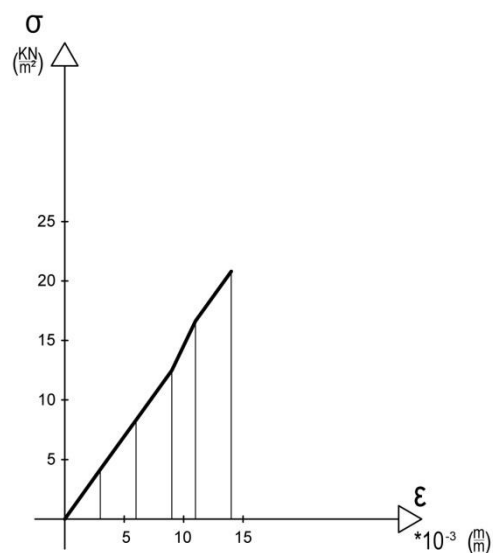
0,36x0,46x0,89 m



P (KN)	σ (KN/m <sup>2</sup> )	Δl (m)	ε (mm/mm)
2	4.89	0.003	0.08
4	9.78	0.005	0.015
6	14.66	0.009	0.025
8	19.54	0.012	0.033
10	24.42	0.014	0.040

**3.4.1.2.4. Узорак 4 (малтерисана бала сламе)**

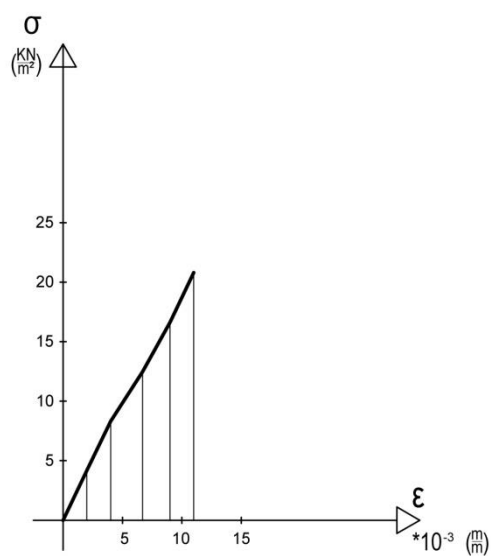
0,36x0,54x0,89 m



P (KN)	σ (KN/m <sup>2</sup> )	Δl (m)	ε (mm/mm)
2	4.16	0.001	0.003
4	8.32	0.002	0.006
6	12.48	0.003	0.009
8	16.64	0.004	0.011
10	20.80	0.005	0.014

**3.4.1.2.5. Узорак 5 (малтерисана бала сламе)**

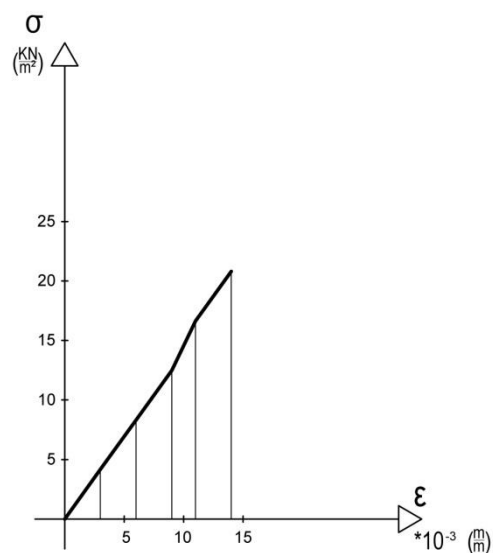
0,36x0,54x0,89 m



P (KN)	σ (KN/m <sup>2</sup> )	Δl (m)	ε (mm/mm)
2	4.16	0.018	0.002
4	8.32	0.016	0.004
6	12.48	0.0024	0.0067
8	16.64	0.0032	0.009
10	20.8	0.004	0.011

**3.4.1.2.6. Узорак 6 (малтерисана бала сламе)**

0,36x0,54x0,89 m



P (KN)	σ (KN/m <sup>2</sup> )	Δl (m)	ε (mm/mm)
2	4.16	0.001	0.003
4	8.32	0.002	0.006
6	12.48	0.003	0.009
8	16.64	0.004	0.011
10	20.80	0.005	0.014

### **3.4.1.3. Анализа резултата испитивања**

На основу спроведених испитивања, констатовано је да:

Односи напона и деформација до нивоа оптерећења које је аплицирано у истраживању, приближно одговара односима које су приликом испитивања добили други истраживачи.

Након уклањања оптерећења узорак се у року од једног дана вратио у првобитни положај.

Пошто су почетни услови испуњени и аплицирано оптерећење проузрокује напоне и деформације који су у зони еластичног понашања материјала, применом познатих једначина одређени су модули еластичности.

За немалтерисане бале сламе израчунат је модул еластичности који се кретао у границама од 488 до 698 кРа.

За малтерисане бале сламе израчунат је модул еластичности од 1486 до 1890 кРа.

### **3.4.1.4. Закључак**

Уз све резерве које се могу оставити због приближних метода мерења деформација, може се констатовати да је за радна оптерећења измерен модул еластичности, за немалтерисане бале сламе у просеку од око 600 кРа, а за малтерисане бале сламе у просеку од 1650 кРа.

Ове вредности у одговарају просечним вредностима измереним у анализираним истраживањима других истраживача..

Уочено је да при повећању оптерећења расте и модул еластичности.

У прилогу 3.5. су приказани дијаграми напона и деформација из испитивања које је спровео Воу-Али (1993) на немалтерисаним балама сламе. Уочава се одређени степен корелације и уочљиве су високе граничне носивости добијене при испитивања.

### ***3.4.2. Утврђивање модула еластичности бала сламе и веза напона и деформација у лабораторијским условима***

Након испитивања спроведених на терену у циљу упоређивања података извршена су и испитивања у лабораторијским условима.

Коришћене су малтерисане и немалтерисане бале (по четири) припремљене и третиране на идентичан начин као и у случају експеримента на терену.

Анализе резултата претходних истраживања указују да бале запреминске тежине (степен збијености) од око  $1.1 \text{ kN/m}^3$  имају граничне носивости неколико пута веће од радног оптерећења.

Експеримент је обухватио испитивање чврстоће при притиску узорка са симултаним мерењем сабијања узорка.

Испитиване су по четири немалтерисане и малтерисане бале сламе пшеничне сламе положене на основу везане двожичаним везама.

Експеримент је изведен на хидрауличној преси Controls која има аутоматску контролну јединицу Automax 5. Ова јединица има два канала која може одвојено контролисати. На једном каналу максимални капацитет, односно сила износи 4000 kN, а на другом каналу је максимална сила 150 kN. За испитивање је коришћен канал са силом 150 kN. Тачност наношења силе је у класи 1, односно 1% од задате силе. Према последњим калибрацијама ова вредност је и мања, односно износи 0,25% посматрајући читав опсег.

Брзина наношења силе се контролише аутоматским задавањем на почетку испитивања. За обе врсте испитивања коришћена је брзина наношења силе од 100 N у секунди.

Приликом експеримента коришћена је мерна ћелија са пуним брицстоновим мостом и 4 индуктивна угибомера која имају тачност 0,01 мм и капацитет мерења од 10 цм. Мерење сабијања вршено је на четири тачке по узорку.

За аквизицију података коришћена је опрема Spider 8 и софтвер развијен у Институту ИМС од стране представника Лабораторије за испитивање конструкција. Уређај са софтвером је у могућности да бележи податке у бази, фреквенцијом 100 Hz.

У овом случају због веома мале брзине наношења оптерећења коришћена је фреквенција од 50 до 100 Hz. Као контрола наношења силе коришћена је мерна ћелија капацитета од 50 kN и са тачношћу од 1% на целом опсегу, што је омогућено пуним брицтоновим мостом. Сва мерења се добијају у виду базе података, која се једноставно преноси у Excel формат и касније се лако обрађује.

У наставку је су приложене табеле са резултатима за сваки од осам узорака, као и одговарајући дијаграми. Приказан је само део мерених вредности, јер је укупан број вредности далеко већи.

У наставку су такође приложене фотографије снимљене у току спровођења експеримента.

**3.4.2.1. Табеле са имереним вредностима током експеримента на немалтерисаним и малтерисаним балама сламе**

**3.4.2.1.1. Узорак 1 (немалтерисана бала сламе)**

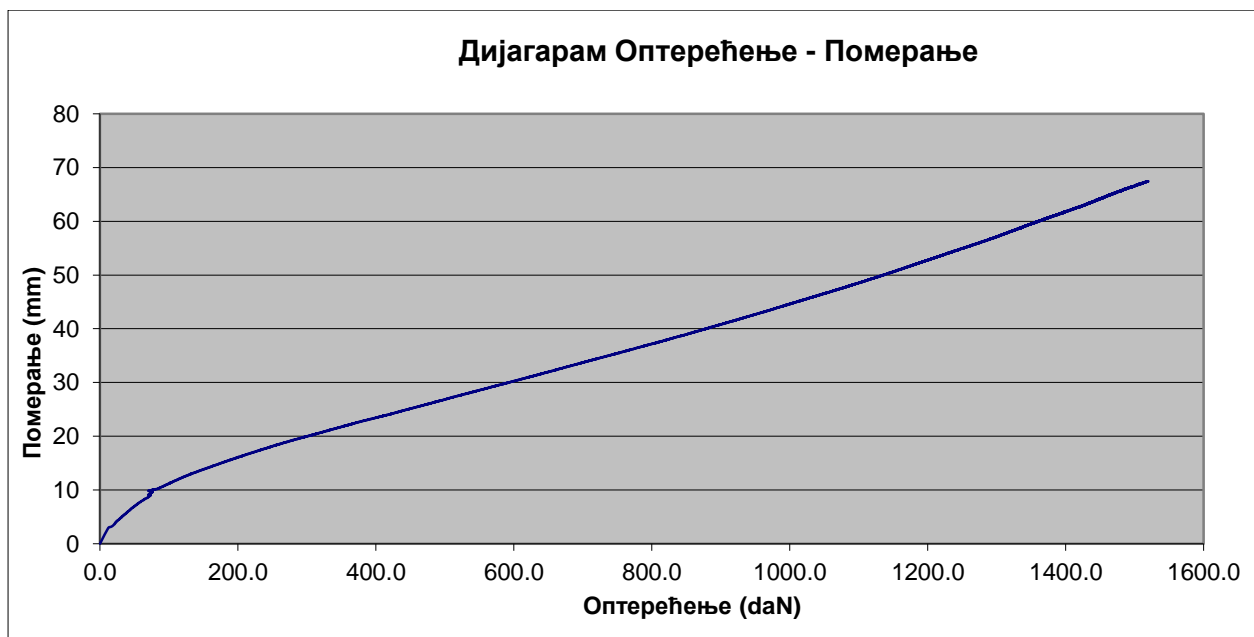
Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угиб <sub>ср</sub>
mm	mm	mm	mm	daN	mm
0	0	0	0	0	0
-8,31875	-6,8375	-11,3063	-12,6813	74,86505	9,785938
-8,83125	-7,20625	-11,85	-13,3625	85,12146	10,3125
-10,6563	-8,88125	-14,2	-15,9063	121,1257	12,41094
-12,1688	-10,2125	-15,975	-17,9125	155,848	14,06719
-13,4563	-11,3188	-17,4438	-19,5938	185,9531	15,45313
-14,575	-12,3063	-18,7313	-21,05	214,3314	16,66563
-15,5938	-13,1813	-19,925	-22,3938	241,3585	17,77344
-16,5563	-13,9938	-21,0563	-23,6813	268,3855	18,82188
-17,4688	-14,7688	-22,1313	-24,8938	295,4511	19,81563
-18,3063	-15,5	-23,175	-26,0688	322,4395	20,7625
-19,1313	-16,1938	-24,2125	-27,2438	348,1152	21,69531
-19,9063	-16,8563	-25,2688	-28,4188	374,0226	22,6125
-20,6375	-17,4875	-26,3063	-29,5625	402,594	23,49844
-21,3563	-18,1	-27,325	-30,6875	428,7112	24,36719
-22,05	-18,6938	-28,3188	-31,7875	453,0702	25,2125
-22,725	-19,2625	-29,3063	-32,8875	477,4291	26,04531
-23,3938	-19,8188	-30,3063	-33,9875	500,5061	26,87656
-24,05	-20,3688	-31,3	-35,1063	524,865	27,70625
-24,7125	-20,9125	-32,3188	-36,2313	549,224	28,54375
-25,3438	-21,4563	-33,3125	-37,3313	573,583	29,36094
-25,9625	-21,975	-34,3063	-38,4375	597,942	30,17031
-26,5875	-22,4938	-35,3125	-39,5438	621,0189	30,98438
-27,2	-23,0063	-36,3438	-40,6625	645,3779	31,80313
-27,8063	-23,5063	-37,3875	-41,825	668,4548	32,63125
-28,4063	-24	-38,45	-42,9688	692,8138	33,45625
-28,9813	-24,4813	-39,4875	-44,0938	715,8907	34,26094
-29,5563	-24,9563	-40,5	-45,1938	738,9676	35,05156
-30,1125	-25,425	-41,5125	-46,2938	762,0445	35,83594
-30,6563	-25,8688	-42,5125	-47,375	783,8394	36,60313
-31,1813	-26,3125	-43,4938	-48,4313	805,6343	37,35469

-31,6813	-26,7438	-44,475	-49,4813	826,1471	38,09531
-32,1875	-27,1625	-45,4125	-50,5063	846,6599	38,81719
-32,6688	-27,5625	-46,375	-51,5313	865,8907	39,53438
-33,15	-27,9563	-47,3313	-52,525	883,8394	40,24063
-33,6188	-28,3438	-48,25	-53,5	904,3522	40,92813
-34,0688	-28,7188	-49,1563	-54,4563	921,0189	41,6
-34,5063	-29,075	-50,0563	-55,4	938,9676	42,25938
-34,9	-29,4125	-50,9563	-56,3375	955,6343	42,90156
-35,325	-29,7563	-51,7875	-57,2313	972,3009	43,525
-35,7188	-30,0813	-52,6375	-58,1375	988,9676	44,14375
-36,1	-30,3813	-53,4688	-59,0125	1003,07	44,74063
-36,4563	-30,6813	-54,2813	-59,8688	1018,455	45,32188
-36,8125	-30,9813	-55,0688	-60,6875	1032,557	45,8875
-37,1688	-31,275	-55,8438	-61,5188	1046,66	46,45156
-37,5188	-31,5625	-56,625	-62,3313	1062,045	47,00938
-37,8625	-31,85	-57,4	-63,1438	1076,147	47,56406
-38,2063	-32,1313	-58,1625	-63,9688	1088,968	48,11719
-38,4688	-32,4125	-58,925	-64,7625	1103,07	48,64219
-38,8063	-32,7063	-59,6875	-65,5375	1115,891	49,18438
-39,15	-32,975	-60,4063	-66,3	1128,711	49,70781
-39,475	-33,2438	-61,1375	-67,0563	1140,25	50,22813
-39,8	-33,5125	-61,8438	-67,8125	1153,07	50,74219
-40,125	-33,775	-62,55	-68,5438	1164,609	51,24844
-40,4375	-34,0313	-63,2375	-69,2563	1176,147	51,74063
-40,7438	-34,2875	-63,9188	-69,9563	1187,686	52,22656
-41,0438	-34,5375	-64,5875	-70,675	1197,942	52,71094
-41,3438	-34,7813	-65,2563	-71,35	1209,48	53,18281
-41,6375	-35,025	-65,8938	-72,0063	1219,737	53,64063
-41,9188	-35,2625	-66,525	-72,65	1229,993	54,08906
-42,2063	-35,5	-67,15	-73,2938	1240,25	54,5375
-42,4813	-35,7313	-67,7563	-73,9125	1250,506	54,97031
-42,7625	-35,9563	-68,3688	-74,55	1260,762	55,40938
-43,0313	-36,1875	-68,975	-75,1688	1271,019	55,84063



-43,3063	-36,4125	-69,575	-75,7875	1281,275	56,27031
-43,5688	-36,6375	-70,1688	-76,4	1290,25	56,69375
-43,8313	-36,8563	-70,75	-76,9938	1299,224	57,10781
-44,0813	-37,0688	-71,3313	-77,5875	1308,198	57,51719
-44,3375	-37,275	-71,8938	-78,1563	1317,173	57,91563
-44,575	-37,4813	-72,4313	-78,7063	1323,583	58,29844
-44,8125	-37,6875	-72,9625	-79,25	1332,557	58,67813
-45,0438	-37,8875	-73,475	-79,7688	1338,968	59,04375
-45,275	-38,075	-73,9625	-80,2688	1347,942	59,39531
-45,5	-38,2688	-74,45	-80,7563	1354,352	59,74375
-45,7188	-38,4563	-74,925	-81,2438	1362,045	60,08594
-45,9375	-38,6375	-75,4	-81,725	1368,455	60,425
-46,15	-38,8188	-75,8625	-82,2063	1377,429	60,75938
-46,3625	-39	-76,3188	-82,6688	1383,839	61,0875
-46,5688	-39,175	-76,7938	-83,1688	1392,814	61,42656
-46,7813	-39,3563	-77,2563	-83,6438	1399,224	61,75938
-46,9875	-39,5313	-77,7063	-84,1	1405,634	62,08125
-47,1875	-39,6938	-78,1563	-84,5688	1413,327	62,40156

-47,4	-39,875	-78,6125	-85,0313	1421,019	62,72969
-47,6063	-40,075	-79,0563	-85,4875	1427,429	63,05625
-47,8188	-40,25	-79,4813	-85,925	1432,557	63,36875
-48,0313	-40,4375	-79,9	-86,35	1440,25	63,67969
-48,25	-40,625	-80,3063	-86,7563	1445,378	63,98438
-48,4625	-40,8188	-80,7063	-87,1625	1451,788	64,2875
-48,675	-41,0063	-81,0875	-87,5563	1456,916	64,58125
-48,8813	-41,1938	-81,475	-87,9375	1464,609	64,87188
-49,0875	-41,375	-81,8438	-88,3188	1469,737	65,15625
-49,2875	-41,5563	-82,2125	-88,6875	1474,865	65,43594
-49,5	-41,7438	-82,5938	-89,0625	1481,275	65,725
-49,6875	-41,9063	-82,9438	-89,425	1485,121	65,99063
-49,875	-42,075	-83,3125	-89,8	1492,814	66,26563
-50,0625	-42,2375	-83,675	-90,1625	1497,942	66,53438
-50,25	-42,4125	-84,0313	-90,525	1504,352	66,80469
-50,425	-42,5625	-84,375	-90,8813	1509,48	67,06094
-50,6063	-42,725	-84,725	-91,2313	1515,891	67,32188



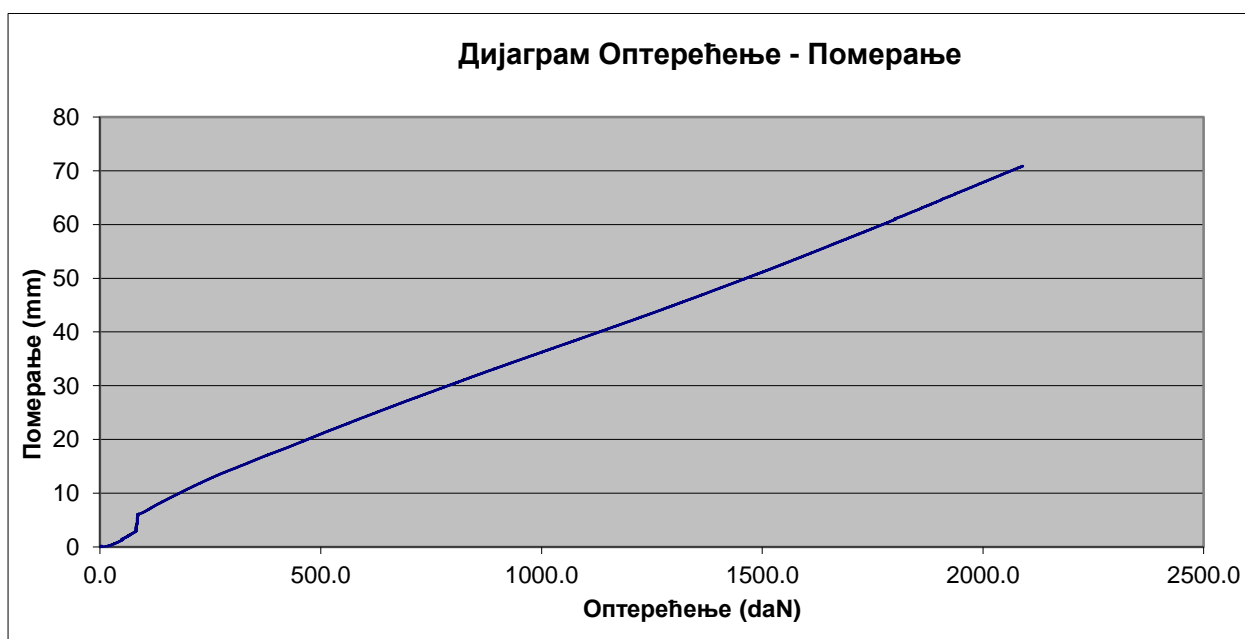
**3.4.2.1.2. Узорак 2 (немалтерисана бала сламе)**

Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угиб <sub>ср</sub>
mm	mm	mm	mm	daN	mm
-0,044	-0,088	0,006	0,006	0	-0,042
-0,7	-0,681	-0,65	-0,631	34,531	0,670667
-1,412	-1,4	-1,463	-1,45	50,747	1,420667
-1,563	-1,55	-1,669	-1,669	53,45	1,594
-1,787	-1,775	-1,988	-2,019	60,206	1,860333
-2,088	-2,069	-2,431	-2,55	68,314	2,235667
-2,469	-2,444	-2,981	-3,219	77,497	2,710667
-3,094	-2,85	-3,55	-4,206	81,343	3,383333
-4,05	-3,281	-4,056	-5,612	83,907	4,314333
-4,787	-4,238	-5,181	-6,687	83,907	5,237333
-5,281	-5,713	-6,969	-7,419	87,753	6,137667
-6,162	-6,744	-8,3	-8,762	115,958	7,222667
-7,125	-7,756	-9,588	-10,206	140,424	8,362333
-8,106	-8,838	-10,863	-11,575	168,202	9,506333
-9,081	-9,925	-12,094	-12,888	195,341	10,63133
-10,069	-11,038	-13,244	-14,094	223,72	11,73367
-11,056	-12,169	-14,306	-15,194	252,098	12,80633
-12,044	-13,306	-15,325	-16,219	280,94	13,85633
-13,006	-14,431	-16,3	-17,213	312,368	14,88333
-13,944	-15,531	-17,244	-18,181	342,639	15,88533
-14,881	-16,613	-18,169	-19,125	372,368	16,873
-15,775	-17,675	-19,081	-20,063	403,797	17,83767
-16,675	-18,719	-19,975	-20,969	433,907	18,78767
-17,544	-19,75	-20,863	-21,875	462,112	19,723
-18,419	-20,763	-21,725	-22,75	489,035	20,644
-19,275	-21,769	-22,556	-23,594	517,24	21,546
-20,106	-22,75	-23,375	-24,425	544,163	22,427
-20,944	-23,719	-24,181	-25,263	572,368	23,30867
-21,763	-24,675	-24,963	-26,069	599,291	24,169
-22,556	-25,606	-25,731	-26,85	624,933	25,004
-23,344	-26,525	-26,506	-27,631	651,856	25,83333
-24,106	-27,419	-26,688	-28,4	677,497	26,64167
-24,863	-28,3	-26,706	-29,163	704,42	27,442
-25,606	-29,156	-26,719	-29,919	730,061	28,227
-26,325	-30	-26,725	-30,663	755,702	28,996
-27,038	-30,838	-26,731	-31,4	780,061	29,75867

-27,738	-31,669	-26,738	-32,125	805,702	30,51067
-28,444	-32,488	-26,744	-32,856	830,061	31,26267
-29,15	-33,3	-26,75	-33,575	855,702	32,00833
-29,856	-34,106	-26,756	-34,294	880,061	32,752
-30,556	-34,906	-26,763	-35,006	905,702	33,48933
-31,244	-35,7	-26,775	-35,713	930,061	34,219
-31,919	-36,481	-26,788	-36,425	955,702	34,94167
-32,588	-37,256	-35,619	-37,131	980,061	35,65833
-33,256	-38,031	-36,156	-37,838	1005,702	36,375
-33,925	-38,806	-36,831	-38,544	1030,061	37,09167
-34,6	-39,581	-31,738	-39,244	1055,702	37,80833
-35,263	-40,35	-38,319	-39,95	1080,061	38,521
-35,931	-41,113	-38,938	-40,656	1104,42	39,23333
-36,594	-41,881	-39,681	-41,356	1128,779	39,94367
-37,263	-42,65	-39,944	-42,063	1153,138	40,65867
-37,931	-43,425	-41,075	-42,763	1177,497	41,373
-38,606	-44,2	-41,081	-43,469	1201,856	42,09167
-39,288	-44,975	-41,081	-44,169	1227,497	42,81067
-39,95	-45,75	-41,081	-44,875	1251,856	43,525
-40,606	-46,538	-41,081	-45,588	1274,933	44,244
-41,294	-47,325	-44,538	-46,3	1299,291	44,973
-42,013	-48,119	-44,6	-47,019	1323,65	45,717
-42,706	-48,919	-44,606	-47,738	1349,291	46,45433
-43,431	-49,719	-46,55	-48,469	1373,65	47,20633
-44,156	-50,525	-46,55	-49,2	1398,009	47,96033
-44,894	-51,338	-46,556	-49,938	1422,368	48,72333
-45,619	-52,156	-46,556	-50,675	1446,727	49,48333
-46,356	-52,975	-46,556	-51,425	1471,086	50,252
-47,1	-53,813	-50,144	-52,156	1496,727	51,023
-47,85	-54,644	-50,131	-52,906	1521,086	51,8
-48,606	-55,488	-50,131	-53,663	1545,445	52,58567
-49,369	-56,338	-50,131	-54,425	1569,804	53,37733
-50,131	-57,194	-50,131	-55,194	1595,445	54,173
-50,9	-58,05	-50,131	-55,975	1619,804	54,975
-51,675	-58,913	-50,131	-56,756	1644,163	55,78133
-52,469	-59,781	-50,131	-57,544	1668,522	56,598
-53,263	-60,656	-50,131	-58,338	1694,163	57,419
-54,063	-61,544	-56,519	-59,138	1719,804	58,24833

-54,863	-62,425	-56,525	-59,944	1745,445	59,07733
-55,663	-63,306	-56,525	-60,75	1769,804	59,90633
-56,463	-64,194	-56,525	-61,563	1794,163	60,74
-57,481	-65,094	-56,525	-62,381	1819,804	61,652
-58,288	-66	-56,525	-63,206	1844,163	62,498
-59,125	-66,906	-56,525	-64,031	1869,804	63,354
-59,963	-67,819	-56,525	-64,869	1895,445	64,217
-60,794	-68,731	-56,525	-65,706	1919,804	65,077
-61,631	-69,65	-56,525	-66,55	1944,163	65,94367
-62,463	-70,569	-56,525	-67,394	1969,804	66,80867
-63,338	-71,488	-65,331	-68,238	1995,445	67,688

-64,163	-72,4	-66,069	-69,088	2021,086	68,55033
-65,006	-73,319	-66,456	-69,938	2046,727	69,421
-65,844	-74,231	-66,456	-70,788	2071,086	70,28767
-66,469	-74,913	-66,456	-71,406	2045,445	70,92933
-66,494	-74,95	-66,456	-71,438	1999,291	70,96067
-30,025	-33,388	-31,756	-34,2	-2,632	32,53767
-28,469	-30,95	-29,663	-32,681	-2,632	30,7
-28,013	-30,344	-29,119	-32,169	-2,632	30,17533
-27,75	-29,994	-28,819	-31,906	-1,316	29,88333
-27,569	-29,75	-28,613	-31,725	-1,316	29,68133
-27,438	-29,575	-28,456	-31,588	-1,316	29,53367



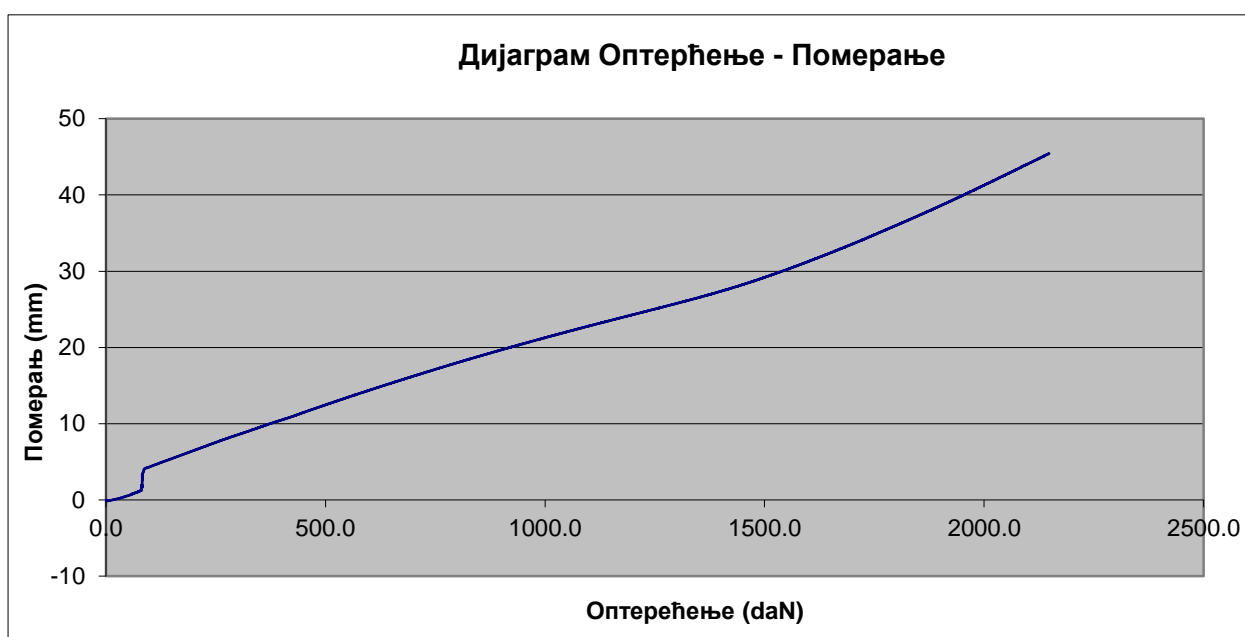
**3.4.2.1.3. Узорак 3 (немалтерисана бала сламе)**

Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угибр
mm	mm	mm	mm	daN	mm
-0,287	-0,219	-0,506	-0,556	41,323	0,392
-0,787	-0,625	-0,9	-1,062	61,593	0,8435
-1,006	-0,825	-1,1	-1,3	72,335	1,05775
-1,275	-1,213	-1,444	-1,544	81,309	1,369
-1,506	-1,863	-2,131	-1,813	81,309	1,82825
-1,944	-2,588	-2,894	-2,319	82,591	2,43625
-2,756	-3,263	-3,537	-3,188	83,873	3,186
-3,794	-3,913	-4,206	-4,369	87,719	4,0705
-4,625	-4,713	-5,113	-5,344	127,997	4,94875
-5,363	-5,544	-5,988	-6,175	166,886	5,7675
-6,069	-6,319	-6,787	-6,95	202,134	6,53125
-6,725	-7,031	-7,544	-7,7	235,917	7,25
-7,344	-7,7	-8,269	-8,419	268,35	7,933
-7,931	-8,331	-8,962	-9,119	302,481	8,58575
-8,488	-8,931	-9,644	-9,794	334,566	9,21425
-9,019	-9,513	-10,3	-10,444	364,296	9,819
-9,531	-10,075	-10,938	-11,081	395,338	10,40625
-10,025	-10,619	-11,556	-11,7	426,181	10,975
-10,506	-11,115	-12,169	-12,306	453,104	11,53275
-10,975	-11,675	-12,769	-12,9	480,027	12,07975
-11,438	-12,181	-13,344	-13,475	506,95	12,6095
-11,894	-12,688	-13,913	-14,038	533,873	13,13325
-12,344	-13,188	-14,475	-14,6	560,796	13,65175
-12,781	-13,675	-15,025	-15,144	587,719	14,15625
-13,213	-14,156	-15,563	-15,681	613,36	14,65325
-13,638	-14,625	-16,088	-16,206	639,001	15,13925
-14,05	-15,088	-16,6	-16,719	665,924	15,61425
-14,456	-15,544	-17,1	-17,213	691,565	16,07825
-14,863	-15,988	-17,588	-17,713	717,206	16,538
-15,256	-16,431	-18,069	-18,194	742,848	16,9875
-15,644	-16,863	-18,544	-18,675	767,206	17,4315
-16,031	-17,294	-19,013	-19,144	792,848	17,8705
-16,413	-17,719	-19,469	-19,606	818,489	18,30175
-16,794	-18,138	-19,919	-20,063	842,848	18,7285
-17,163	-18,556	-20,356	-20,506	867,206	19,14525
-17,531	-18,969	-20,794	-20,944	892,848	19,5595

-17,894	-19,375	-21,219	-21,369	918,489	19,96425
-18,25	-19,781	-21,644	-21,794	942,848	20,36725
-18,606	-20,175	-22,063	-22,213	967,206	20,76425
-18,963	-20,575	-22,469	-22,625	992,848	21,158
-19,313	-20,963	-22,875	-23,038	1017,206	21,54725
-19,656	-21,356	-23,275	-23,444	1042,848	21,93275
-20,006	-21,738	-23,669	-23,838	1067,206	22,31275
-20,344	-22,119	-24,056	-24,238	1091,565	22,68925
-20,681	-22,5	-24,444	-24,625	1115,924	23,0625
-21,019	-22,875	-24,825	-25,013	1141,565	23,433
-21,356	-23,25	-25,2	-25,394	1165,924	23,8
-21,688	-23,619	-25,569	-25,769	1190,283	24,16125
-22,019	-23,994	-25,944	-26,144	1215,924	24,52525
-22,35	-24,363	-26,306	-26,513	1240,283	24,883
-22,681	-24,731	-26,675	-26,881	1263,36	25,242
-23,013	-25,106	-27,038	-27,25	1289,001	25,60175
-23,35	-25,481	-27,406	-27,625	1312,078	25,9655
-23,688	-25,856	-27,775	-27,994	1336,437	26,32825
-24,025	-26,238	-28,15	-28,375	1359,514	26,697
-24,375	-26,619	-28,531	-28,763	1382,591	27,072
-24,725	-27,013	-28,919	-29,15	1405,668	27,45175
-25,088	-27,413	-29,313	-29,556	1427,463	27,8425
-25,463	-27,825	-29,725	-29,975	1450,54	28,247
-25,85	-28,256	-30,144	-30,4	1472,335	28,6625
-26,244	-28,7	-30,575	-30,844	1495,412	29,09075
-26,65	-29,15	-31,013	-31,294	1517,206	29,52675
-27,075	-29,619	-31,475	-31,756	1539,001	29,98125
-27,513	-30,1	-31,944	-32,238	1560,796	30,44875
-27,956	-30,6	-32,431	-32,731	1583,873	30,9295
-28,419	-31,113	-32,925	-33,231	1606,95	31,422
-28,894	-31,638	-33,425	-33,75	1628,745	31,92675
-29,381	-32,169	-33,938	-34,281	1651,822	32,44225
-29,881	-32,719	-34,463	-34,819	1674,899	32,9705
-30,394	-33,281	-34,994	-35,363	1696,694	33,508
-30,913	-33,856	-35,538	-35,919	1721,053	34,0565
-31,444	-34,438	-36,094	-36,488	1742,848	34,616
-31,975	-35,025	-36,663	-37,069	1765,924	35,183
-32,519	-35,619	-37,231	-37,656	1789,001	35,75625

-33,075	-36,225	-37,813	-38,256	1813,36	36,34225
-33,644	-36,838	-38,394	-38,869	1836,437	36,93625
-34,219	-37,463	-38,988	-39,488	1859,514	37,5395
-34,806	-38,1	-39,588	-40,113	1883,873	38,15175
-35,4	-38,744	-40,188	-40,731	1906,95	38,76575
-36,006	-39,4	-40,794	-41,369	1930,027	39,39225
-36,613	-40,05	-41,406	-42,006	1954,386	40,01875
-37,225	-40,713	-42,019	-42,656	1977,463	40,65325
-37,856	-41,388	-42,65	-43,313	2000,54	41,30175
-38,494	-42,063	-43,281	-43,981	2023,617	41,95475
-39,138	-42,75	-43,925	-44,656	2047,976	42,61725
-39,788	-43,444	-44,569	-45,338	2072,335	43,28475

-40,45	-44,15	-45,219	-46,019	2095,412	43,9595
-41,131	-44,869	-45,875	-46,713	2121,053	44,647
-41,813	-45,588	-46,538	-47,406	2144,13	45,33625
-9,887	-10,006	-9,694	-10,556	-2,632	10,03575
-9,294	-9,313	-8,869	-9,75	-2,632	9,3065
-8,956	-8,925	-8,544	-9,438	-2,632	8,96575
-8,781	-8,731	-8,331	-9,225	-1,316	8,767
-8,656	-8,588	-8,175	-9,069	-2,632	8,622
-8,563	-8,481	-8,056	-8,944	-1,316	8,511
-8,488	-8,4	-7,956	-8,85	-1,316	8,4235
-8,419	-8,325	-7,881	-8,769	-1,316	8,3485
-8,369	-8,269	-7,813	-8,7	-1,316	8,28775



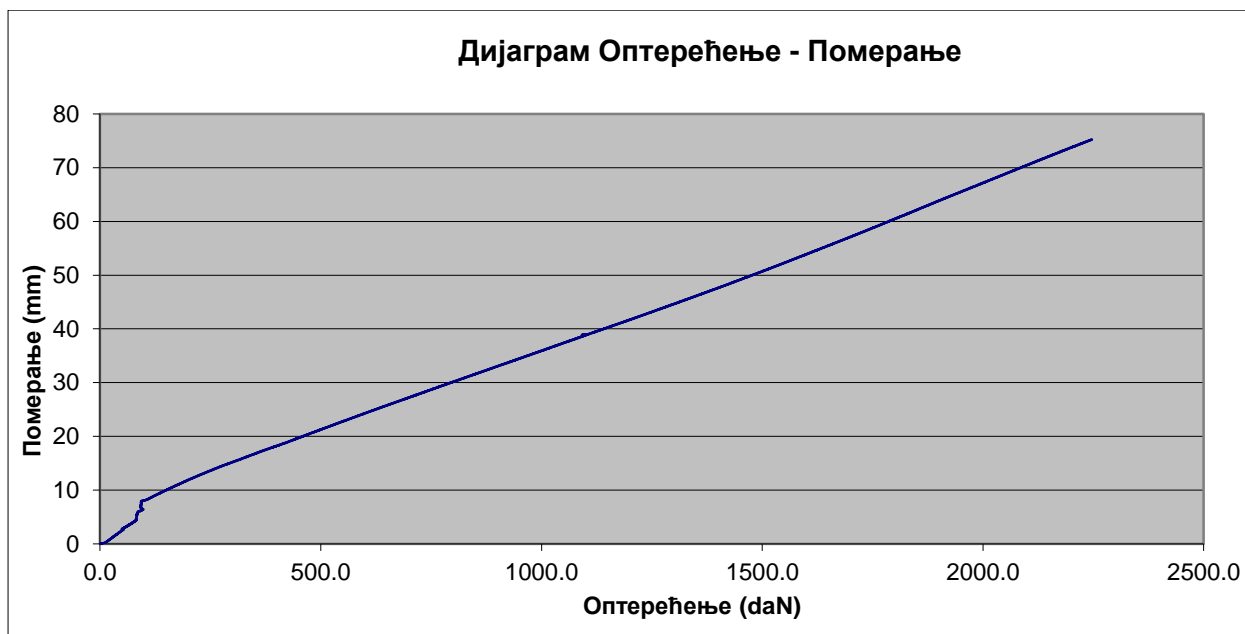
**3.4.2.1.4. Узорак 4 (немалтерисана бала сламе)**

Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угибср
mm	mm	mm	mm	daN	mm
-1,088	-1,263	-1,481	-1,956	31,863	1,447
-1,931	-2,394	-2,9	-3,637	50,782	2,7155
-2,088	-2,594	-3,138	-3,919	54,836	2,93475
-2,331	-2,888	-3,487	-4,344	61,593	3,2625
-2,675	-3,294	-3,931	-4,887	69,701	3,69675
-3,088	-3,763	-4,488	-5,575	80,027	4,2285
-3,813	-4,269	-4,981	-6,475	82,591	4,8845
-4,844	-4,844	-5,45	-7,594	85,155	5,683
-5,681	-5,725	-6,294	-8,587	94,13	6,57175
-6,15	-7,45	-7,787	-9,15	92,848	7,63425
-6,888	-8,8	-9,144	-10,113	118,489	8,73625
-7,825	-9,938	-10,263	-11,225	146,053	9,81275
-8,763	-11,081	-11,381	-12,3	173,755	10,88125
-9,669	-12,131	-12,506	-13,388	200,782	11,9235
-10,556	-13,119	-13,625	-14,475	230,512	12,94375
-11,438	-14,056	-14,719	-15,538	260,242	13,93775
-12,306	-14,969	-15,781	-16,575	289,624	14,90775
-13,175	-15,869	-16,788	-17,569	321,053	15,85025
-14,031	-16,763	-17,775	-18,544	352,134	16,77825
-14,869	-17,644	-18,738	-19,488	381,053	17,68475
-15,694	-18,506	-19,669	-20,419	412,481	18,572
-16,506	-19,369	-20,575	-21,319	441,565	19,44225
-17,313	-20,231	-21,463	-22,2	468,489	20,30175
-18,106	-21,075	-22,338	-23,069	496,694	21,147
-18,881	-21,913	-23,181	-23,913	523,617	21,972
-19,65	-22,75	-24,013	-24,738	550,54	22,78775
-20,4	-23,575	-24,825	-25,544	577,463	23,586
-21,15	-24,394	-25,625	-26,331	603,104	24,375
-21,888	-25,206	-26,4	-27,113	628,745	25,15175
-22,619	-26,013	-27,169	-27,875	654,386	25,919
-23,338	-26,813	-27,925	-28,631	681,309	26,67675
-24,044	-27,594	-28,669	-29,375	705,668	27,4205
-24,738	-28,375	-29,4	-30,106	731,309	28,15475
-25,438	-29,156	-30,119	-30,831	756,95	28,886
-26,125	-29,925	-30,838	-31,55	781,309	29,6095
-26,806	-30,694	-31,544	-32,256	806,95	30,325

-27,488	-31,463	-32,25	-32,963	831,309	31,041
-28,169	-32,225	-32,944	-33,663	855,668	31,75025
-28,85	-32,994	-33,638	-34,356	880,027	32,4595
-29,525	-33,763	-34,331	-35,044	904,386	33,16575
-30,2	-34,525	-35,019	-35,725	928,745	33,86725
-30,881	-35,288	-35,7	-36,413	953,104	34,5705
-31,563	-36,063	-36,381	-37,088	977,463	35,27375
-32,25	-36,831	-37,063	-37,769	1001,822	35,97825
-32,938	-37,606	-37,738	-38,45	1026,181	36,683
-33,625	-38,381	-38,419	-39,131	1050,54	37,389
-34,319	-39,156	-39,094	-39,813	1074,899	38,0955
-35,013	-39,931	-39,775	-40,5	1099,258	38,80475
-35,706	-40,713	-40,456	-41,188	1123,617	39,51575
-36,406	-41,494	-41,144	-41,881	1149,258	40,23125
-37,106	-42,275	-41,831	-42,581	1173,617	40,94825
-37,813	-43,063	-42,525	-43,281	1199,258	41,6705
-38,519	-43,85	-43,225	-43,994	1223,617	42,397
-39,238	-44,65	-43,925	-44,713	1249,258	43,1315
-39,956	-45,463	-44,638	-45,431	1273,617	43,872
-40,688	-46,275	-45,35	-46,156	1299,258	44,61725
-41,431	-47,094	-46,063	-46,888	1324,899	45,369
-42,181	-47,925	-46,781	-47,625	1350,54	46,128
-42,938	-48,763	-47,506	-48,375	1376,181	46,8955
-43,706	-49,613	-48,238	-49,119	1401,822	47,669
-44,481	-50,475	-48,975	-49,875	1427,463	48,4515
-45,263	-51,338	-49,713	-50,631	1453,104	49,23625
-46,056	-52,213	-50,456	-51,4	1478,745	50,03125
-46,856	-53,094	-51,206	-52,175	1504,386	50,83275
-47,656	-53,988	-51,963	-52,95	1528,745	51,63925
-48,475	-54,888	-52,731	-53,738	1555,668	52,458
-49,3	-55,794	-53,506	-54,531	1581,309	53,28275
-50,131	-56,713	-54,275	-55,325	1606,95	54,111
-50,956	-57,638	-55,056	-56,131	1632,591	54,94525
-51,794	-58,569	-55,85	-56,938	1659,514	55,78775
-52,65	-59,506	-56,644	-57,75	1685,155	56,6375
-53,5	-60,45	-57,444	-58,575	1710,796	57,49225
-54,363	-61,4	-58,244	-59,394	1737,719	58,35025
-55,225	-62,356	-59,056	-60,219	1763,36	59,214

-56,088	-63,313	-59,881	-61,05	1789,001	60,083
-56,95	-64,281	-60,7	-61,894	1814,642	60,95625
-57,831	-65,25	-61,531	-62,731	1841,565	61,83575
-58,706	-66,225	-62,363	-63,575	1867,206	62,71725
-59,575	-67,206	-63,194	-64,419	1891,565	63,5985
-60,456	-68,181	-64,031	-65,263	1918,489	64,48275
-61,325	-69,156	-64,875	-66,106	1945,412	65,3655
-62,194	-70,131	-65,713	-66,95	1972,335	66,247
-63,05	-71,075	-66,55	-67,794	1997,976	67,11725
-63,956	-72,044	-67,388	-68,631	2024,899	68,00475
-64,825	-73,006	-68,219	-69,469	2051,822	68,89775
-65,688	-73,963	-69,063	-70,306	2077,463	69,755
-66,544	-74,913	-69,894	-71,138	2104,386	70,62225

-67,4	-75,863	-70,731	-71,975	2130,027	71,49225
-68,25	-76,806	-71,569	-72,806	2156,95	72,35775
-69,094	-77,744	-72,406	-73,638	2182,591	73,2205
-69,931	-78,669	-73,238	-74,463	2209,514	74,07525
-70,769	-79,588	-74,063	-75,281	2236,437	74,92525
-71,163	-80,038	-74,419	-75,619	2180,027	75,30975
-31,631	-36,475	-34,363	-34,663	-1,316	34,283
-28,725	-32,538	-31,494	-32,538	-5,263	31,32375
-28,144	-31,863	-30,931	-32,013	-3,947	30,73775
-27,825	-31,494	-30,625	-31,725	-5,263	30,41725
-27,769	-31,244	-30,406	-31,506	-5,263	30,23125
-27,631	-31,075	-30,231	-31,331	-5,263	30,067
-27,513	-30,938	-30,113	-31,219	-5,263	29,94575



**3.4.2.1.5. Узорак 5 (малтерисана бала сламе)**

Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угибср
mm	mm	mm	mm	daN	mm
-0,469	-0,55	-0,319	-0,281	60,206	0,40475
-0,581	-0,694	-0,487	-0,419	73,65	0,54525
-0,875	-0,856	-0,781	-0,825	81,343	0,83425
-1,425	-1,388	-1,331	-1,394	81,343	1,3845
-2,169	-2,206	-2,125	-2,119	82,625	2,15475
-3,606	-3,95	-4,206	-3,794	169,591	3,889
-3,95	-4,238	-4,994	-4,494	235,882	4,419
-4,113	-4,444	-5,581	-4,875	298,083	4,75325
-4,356	-4,688	-6,094	-5,175	395,226	5,07825
-4,45	-4,763	-6,187	-5,25	432,625	5,1625
-4,537	-4,831	-6,262	-5,319	464,676	5,23725
-4,706	-4,962	-6,4	-5,437	527,497	5,37625
-4,781	-5,025	-6,462	-5,488	558,266	5,439
-4,856	-5,088	-6,519	-5,537	589,035	5,5
-5	-5,206	-6,631	-5,644	650,574	5,62025
-5,056	-5,262	-6,687	-5,694	680,061	5,67475
-5,169	-5,369	-6,794	-5,8	741,599	5,783
-5,219	-5,419	-6,85	-5,85	771,086	5,8345
-5,325	-5,525	-6,956	-5,956	832,625	5,9405
-5,369	-5,575	-7,006	-6,006	862,112	5,989
-5,463	-5,675	-7,113	-6,106	923,65	6,08925
-5,506	-5,725	-7,162	-6,156	954,42	6,13725
-5,594	-5,819	-7,269	-6,256	1014,676	6,2345
-5,644	-5,869	-7,319	-6,306	1046,727	6,2845
-5,725	-5,969	-7,419	-6,4	1106,984	6,37825
-5,769	-6,019	-7,469	-6,45	1136,471	6,42675
-5,856	-6,113	-7,569	-6,55	1199,291	6,522
-5,894	-6,163	-7,612	-6,594	1228,779	6,56575
-5,975	-6,256	-7,712	-6,694	1290,317	6,65925
-6,013	-6,3	-7,762	-6,738	1321,086	6,70325
-6,094	-6,394	-7,856	-6,831	1381,343	6,79375
-6,175	-6,488	-7,956	-6,925	1445,445	6,886
-6,212	-6,531	-8	-6,975	1474,933	6,9295
-6,294	-6,625	-8,1	-7,069	1536,471	7,022
-6,369	-6,713	-8,188	-7,156	1596,727	7,1065
-6,406	-6,756	-8,237	-7,206	1626,215	7,15125

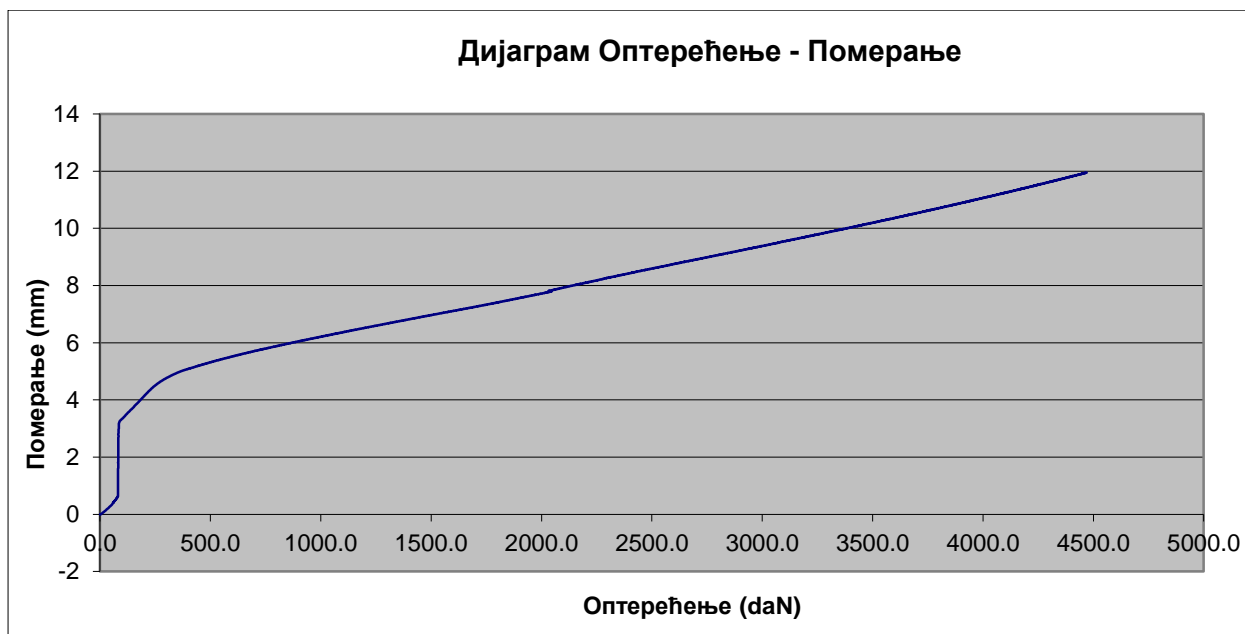
-6,481	-6,844	-8,331	-7,3	1689,035	7,239
-6,525	-6,894	-8,381	-7,344	1718,522	7,286
-6,606	-6,988	-8,481	-7,444	1780,061	7,37975
-6,644	-7,031	-8,531	-7,494	1809,548	7,425
-6,731	-7,125	-8,631	-7,594	1872,368	7,52025
-6,775	-7,175	-8,681	-7,644	1901,856	7,56875
-6,863	-7,275	-8,781	-7,738	1964,676	7,66425
-6,9	-7,325	-8,825	-7,787	1991,599	7,70925
-6,988	-7,438	-8,988	-7,894	2039,035	7,827
-7,037	-7,5	-9,063	-7,95	2076,215	7,8875
-7,087	-7,556	-9,125	-8	2106,984	7,942
-7,175	-7,662	-9,244	-8,106	2168,522	8,04675
-7,219	-7,712	-9,3	-8,156	2199,291	8,09675
-7,312	-7,819	-9,419	-8,262	2262,112	8,203
-7,4	-7,925	-9,525	-8,381	2322,368	8,30775
-7,481	-8,025	-9,637	-8,481	2385,189	8,406
-7,525	-8,075	-9,7	-8,525	2412,112	8,45625
-7,613	-8,181	-9,819	-8,631	2477,497	8,561
-7,65	-8,231	-9,869	-8,675	2508,266	8,60625
-7,731	-8,337	-9,981	-8,763	2568,522	8,703
-7,775	-8,387	-10,031	-8,825	2601,856	8,7545
-7,863	-8,494	-10,144	-8,912	2662,112	8,85325
-7,944	-8,6	-10,256	-9,006	2726,215	8,9515
-7,988	-8,65	-10,306	-9,05	2755,702	8,9985
-8,069	-8,756	-10,419	-9,138	2818,522	9,0955
-8,113	-8,806	-10,475	-9,187	2849,291	9,14525
-8,2	-8,919	-10,581	-9,275	2912,112	9,24375
-8,238	-8,969	-10,631	-9,319	2939,035	9,28925
-8,319	-9,069	-10,738	-9,406	2999,291	9,383
-8,363	-9,125	-10,794	-9,456	3032,625	9,4345
-8,444	-9,231	-10,9	-9,562	3089,035	9,53425
-8,488	-9,288	-10,956	-9,613	3124,933	9,58625
-8,575	-9,394	-11,063	-9,7	3183,907	9,683
-8,619	-9,456	-11,125	-9,75	3219,804	9,7375
-8,706	-9,563	-11,231	-9,844	3280,061	9,836
-8,75	-9,625	-11,288	-9,894	3312,112	9,88925
-8,838	-9,731	-11,4	-9,987	3373,65	9,989
-8,875	-9,787	-11,45	-10,031	3400,574	10,03575



## Карактеристике бала сламе

-8,969	-9,906	-11,563	-10,125	3465,958	10,14075
-9,012	-9,962	-11,625	-10,169	3498,009	10,192
-9,1	-10,075	-11,738	-10,269	3559,548	10,2955
-9,144	-10,138	-11,794	-10,313	3590,317	10,34725
-9,238	-10,256	-11,906	-10,406	3651,856	10,4515
-9,281	-10,313	-11,963	-10,456	3680,061	10,50325
-9,369	-10,431	-12,088	-10,556	3744,163	10,611
-9,419	-10,494	-12,144	-10,606	3776,215	10,66575
-9,513	-10,619	-12,263	-10,706	3837,753	10,77525
-9,556	-10,675	-12,325	-10,756	3869,804	10,828
-9,65	-10,794	-12,438	-10,85	3926,215	10,933
-9,694	-10,856	-12,5	-10,906	3956,984	10,989
-9,787	-10,975	-12,619	-11,006	4019,804	11,09675

-9,831	-11,038	-12,675	-11,05	4045,445	11,1485
-9,925	-11,163	-12,8	-11,156	4106,984	11,261
-9,975	-11,225	-12,863	-11,206	4139,035	11,31725
-10,075	-11,356	-12,994	-11,319	4203,138	11,436
-10,119	-11,419	-13,056	-11,369	4233,907	11,49075
-10,219	-11,544	-13,188	-11,481	4290,317	11,608
-10,269	-11,613	-13,25	-11,538	4322,368	11,6675
-10,369	-11,744	-13,381	-11,65	4386,471	11,786
-10,419	-11,806	-13,45	-11,706	4417,24	11,84525
-1,55	-1,875	-2,269	-1,862	-5,263	1,889
-1,4	-1,694	-2,1	-1,738	-3,947	1,733
-1,369	-1,656	-2,025	-1,675	-3,947	1,68125



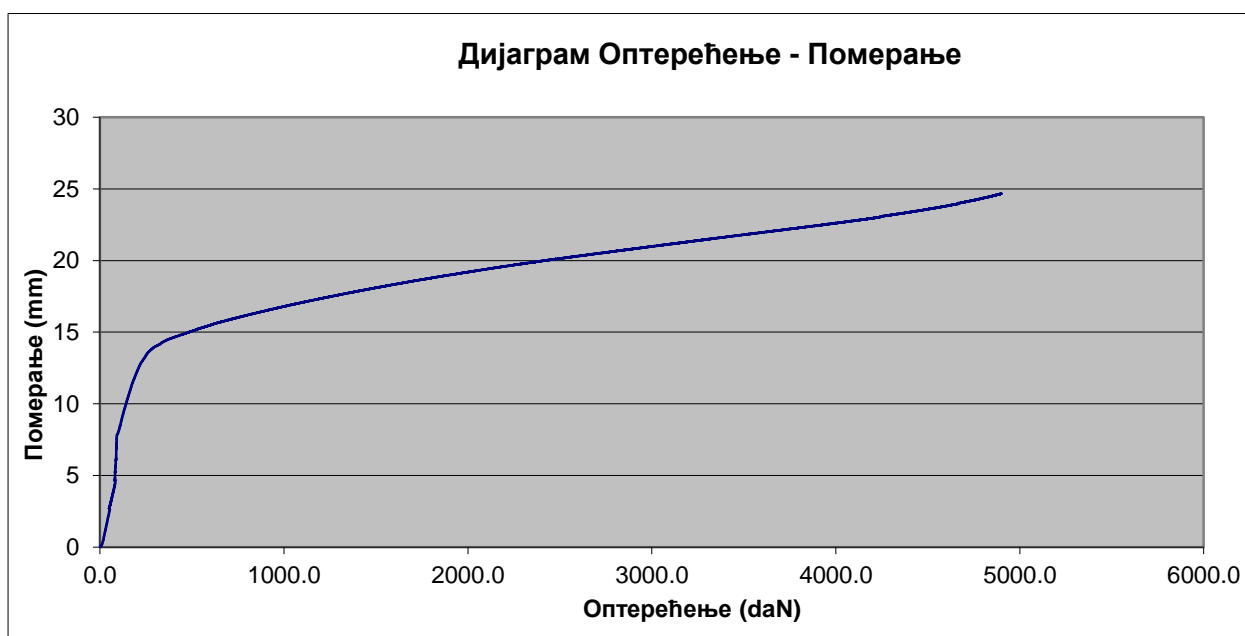
**3.4.2.1.6. Узорак 6 (малтерисана бала сламе)**

Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угибср
mm	mm	mm	mm	daN	mm
-1,825	-1,625	-2,806	-3,369	49,253	2,40625
-2,388	-2,25	-3,544	-4,163	57,361	3,08625
-3,113	-3,119	-4,512	-5,144	73,578	3,972
-4,594	-4,119	-5,575	-6,856	82,76	5,286
-6,225	-6,225	-7,612	-8,669	89,17	7,18275
-7,988	-8,631	-10,263	-10,731	127,632	9,40325
-10,125	-10,569	-12,588	-13,3	181,686	11,6455
-11,256	-12,306	-15,613	-15,719	272,226	13,7235
-12,063	-13,25	-16,906	-16,844	430,196	14,76575
-12,406	-13,581	-17,256	-17,169	507,119	15,103
-12,631	-13,781	-17,481	-17,431	559,683	15,331
-12,844	-13,969	-17,688	-17,65	610,965	15,53775
-13,031	-14,131	-17,888	-17,863	660,965	15,72825
-13,194	-14,288	-18,063	-18,031	709,683	15,894
-13,356	-14,438	-18,225	-18,194	758,401	16,05325
-13,525	-14,588	-18,388	-18,344	807,119	16,21125
-13,681	-14,738	-18,544	-18,494	855,837	16,36425
-13,838	-14,875	-18,7	-18,631	904,555	16,511
-13,988	-15,013	-18,85	-18,775	953,273	16,6565
-14,138	-15,15	-18,994	-18,919	1003,273	16,80025
-14,281	-15,288	-19,138	-19,056	1050,709	16,94075
-14,419	-15,413	-19,281	-19,194	1099,426	17,07675
-14,544	-15,538	-19,425	-19,331	1148,144	17,2095
-14,65	-15,663	-19,569	-19,481	1198,144	17,34075
-14,763	-15,781	-19,706	-19,619	1246,862	17,46725
-14,875	-15,894	-19,844	-19,756	1295,58	17,59225
-14,988	-16,013	-19,981	-19,894	1344,298	17,719
-15,106	-16,125	-20,113	-20,019	1393,016	17,84075
-15,219	-16,238	-20,238	-20,15	1441,734	17,96125
-15,313	-16,344	-20,363	-20,281	1490,452	18,07525
-15,419	-16,456	-20,488	-20,413	1540,452	18,194
-15,519	-16,563	-20,613	-20,544	1589,17	18,30975
-15,625	-16,669	-20,731	-20,663	1637,888	18,422
-15,725	-16,775	-20,844	-20,781	1685,324	18,53125
-15,819	-16,875	-20,956	-20,9	1735,324	18,6375
-15,919	-16,975	-21,069	-21,025	1784,042	18,747

-16,013	-17,075	-21,175	-21,138	1832,76	18,85025
-16,1	-17,175	-21,281	-21,256	1881,478	18,953
-16,194	-17,275	-21,388	-21,356	1930,196	19,05325
-16,288	-17,369	-21,494	-21,469	1981,478	19,155
-16,369	-17,469	-21,594	-21,581	2030,196	19,25325
-16,463	-17,563	-21,694	-21,688	2077,632	19,352
-16,563	-17,663	-21,794	-21,8	2128,914	19,455
-16,65	-17,75	-21,888	-21,9	2176,35	19,547
-16,731	-17,844	-21,981	-22,006	2223,785	19,6405
-16,819	-17,938	-22,075	-22,106	2275,067	19,7345
-16,9	-18,025	-22,169	-22,2	2322,503	19,8235
-16,981	-18,113	-22,256	-22,3	2372,503	19,9125
-17,069	-18,2	-22,344	-22,394	2422,503	20,00175
-17,15	-18,294	-22,431	-22,488	2472,503	20,09075
-17,225	-18,375	-22,513	-22,581	2518,657	20,1735
-17,306	-18,463	-22,6	-22,669	2568,657	20,2595
-17,381	-18,544	-22,681	-22,756	2616,093	20,3405
-17,469	-18,631	-22,769	-22,85	2668,657	20,42975
-17,538	-18,713	-22,85	-22,931	2713,529	20,508
-17,619	-18,8	-22,931	-23,025	2767,375	20,59375
-17,7	-18,888	-23,013	-23,106	2813,529	20,67675
-17,775	-18,969	-23,1	-23,194	2866,093	20,7595
-17,85	-19,05	-23,181	-23,281	2913,529	20,8405
-17,931	-19,131	-23,256	-23,363	2962,247	20,92025
-18,013	-19,219	-23,344	-23,45	3013,529	21,0065
-18,088	-19,3	-23,425	-23,531	3060,965	21,086
-18,156	-19,388	-23,506	-23,619	3112,247	21,16725
-18,238	-19,469	-23,588	-23,7	3159,683	21,24875
-18,313	-19,55	-23,669	-23,788	3212,247	21,33
-18,388	-19,631	-23,75	-23,869	3258,401	21,4095
-18,469	-19,719	-23,831	-23,956	3309,683	21,49375
-18,544	-19,8	-23,913	-24,038	3357,119	21,57375
-18,625	-19,881	-23,994	-24,125	3408,401	21,65625
-18,7	-19,963	-24,081	-24,213	3463,529	21,73925
-18,781	-20,05	-24,169	-24,3	3512,247	21,825
-18,85	-20,131	-24,25	-24,381	3560,965	21,903
-18,919	-20,206	-24,331	-24,463	3612,247	21,97975
-18,994	-20,288	-24,419	-24,544	3662,247	22,06125

-19,063	-20,369	-24,5	-24,625	3709,683	22,13925
-19,138	-20,45	-24,581	-24,713	3757,119	22,2205
-19,206	-20,531	-24,663	-24,794	3808,401	22,2985
-19,275	-20,606	-24,744	-24,881	3859,683	22,3765
-19,35	-20,694	-24,831	-24,963	3908,401	22,4595
-19,419	-20,769	-24,913	-25,044	3955,837	22,53625
-19,494	-20,85	-24,994	-25,125	4001,991	22,61575
-19,569	-20,931	-25,081	-25,213	4051,991	22,6985
-19,638	-21,013	-25,163	-25,3	4098,144	22,7785
-19,719	-21,1	-25,256	-25,388	4150,709	22,86575
-19,8	-21,188	-25,344	-25,481	4200,709	22,95325
-20,05	-21,281	-25,438	-25,575	4249,426	23,086
-20,131	-21,369	-25,531	-25,669	4295,58	23,175
-20,219	-21,463	-25,631	-25,769	4346,862	23,2705

-20,3	-21,556	-25,725	-25,863	4391,734	23,361
-20,388	-21,656	-25,825	-25,956	4440,452	23,45625
-20,488	-21,756	-25,925	-26,063	4487,888	23,558
-20,575	-21,863	-26,031	-26,163	4532,76	23,658
-20,675	-21,975	-26,144	-26,275	4584,042	23,76725
-20,788	-22,088	-26,263	-26,394	4631,478	23,88325
-21,006	-22,2	-26,381	-26,513	4678,914	24,025
-21,113	-22,325	-26,506	-26,631	4726,35	24,14375
-21,231	-22,456	-26,638	-26,763	4772,503	24,272
-21,356	-22,588	-26,775	-26,9	4818,657	24,40475
-21,488	-22,731	-26,919	-27,044	4862,247	24,5455
-10,35	-11,138	-14,019	-14,269	-5,263	12,444
-10,288	-11,075	-13,881	-14,1	-3,947	12,336



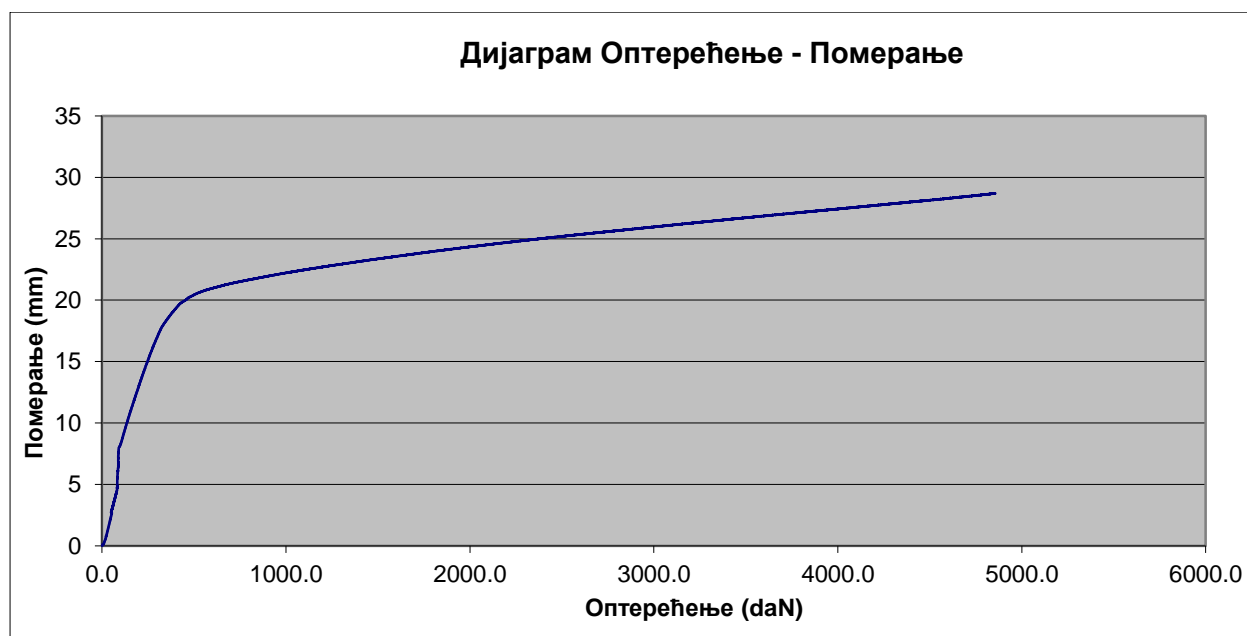
**3.4.2.1.7. Узорак 7 (малтерисана бала сламе)**

Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угибср
mm	mm	mm	mm	daN	mm
-2,219	-2,35	-2,294	-2,563	47,866	2,3565
-2,869	-3,2	-3,119	-3,35	57,326	3,1345
-3,606	-4,212	-4,081	-4,263	73,542	4,0405
-5	-5,362	-5,188	-5,913	82,794	5,36575
-6,681	-7,337	-6,981	-7,881	87,922	7,22
-8,262	-10,081	-9,719	-9,756	123,819	9,4545
-10,344	-12,4	-12,125	-12,106	172,003	11,74375
-12,538	-14,806	-14,556	-14,481	224,893	14,09525
-14,763	-17,25	-16,956	-16,819	284,662	16,447
-16,744	-19,863	-19,363	-18,694	365,434	18,666
-18,275	-22,3	-21,256	-19,663	493,05	20,3735
-19,15	-23,406	-21,844	-20,163	643,05	21,14075
-19,4	-23,763	-22,038	-20,363	710,999	21,391
-19,563	-23,975	-22,175	-20,519	764,845	21,558
-19,713	-24,163	-22,294	-20,663	816,127	21,70825
-19,856	-24,35	-22,406	-20,794	866,127	21,8515
-20	-24,538	-22,525	-20,938	917,409	22,00025
-20,138	-24,7	-22,638	-21,075	967,409	22,13775
-20,269	-24,856	-22,75	-21,213	1018,691	22,272
-20,394	-24,994	-22,856	-21,35	1069,973	22,3985
-20,513	-25,119	-22,963	-21,488	1119,973	22,52075
-20,631	-25,244	-23,069	-21,613	1169,973	22,63925
-20,744	-25,363	-23,169	-21,744	1219,973	22,755
-20,863	-25,481	-23,269	-21,869	1271,255	22,8705
-20,975	-25,594	-23,369	-21,981	1321,255	22,97975
-21,081	-25,725	-23,463	-22,094	1371,255	23,09075
-21,194	-25,856	-23,556	-22,206	1422,537	23,203
-21,3	-25,969	-23,656	-22,319	1472,537	23,311
-21,4	-26,081	-23,75	-22,425	1522,537	23,414
-21,5	-26,188	-23,838	-22,531	1572,537	23,51425
-21,594	-26,294	-23,931	-22,644	1623,819	23,61575
-21,694	-26,394	-24,025	-22,75	1672,537	23,71575
-21,794	-26,5	-24,119	-22,863	1722,537	23,819
-21,888	-26,606	-24,213	-22,975	1773,819	23,9205
-21,981	-26,7	-24,3	-23,075	1822,537	24,014
-22,075	-26,8	-24,388	-23,181	1873,819	24,111

-22,163	-26,894	-24,475	-23,275	1922,537	24,20175
-22,256	-26,988	-24,563	-23,375	1973,819	24,2955
-22,344	-27,081	-24,644	-23,469	2023,819	24,3845
-22,431	-27,175	-24,731	-23,569	2072,537	24,4765
-22,519	-27,263	-24,813	-23,656	2121,255	24,56275
-22,6	-27,356	-24,894	-23,75	2173,819	24,65
-22,688	-27,444	-24,975	-23,838	2222,537	24,73625
-22,769	-27,531	-25,063	-23,925	2272,537	24,822
-22,85	-27,619	-25,138	-24,013	2319,973	24,905
-22,938	-27,706	-25,219	-24,094	2371,255	24,98925
-23,019	-27,788	-25,294	-24,181	2421,255	25,0705
-23,1	-27,875	-25,369	-24,256	2469,973	25,15
-23,181	-27,956	-25,444	-24,338	2518,691	25,22975
-23,256	-28,038	-25,513	-24,413	2566,127	25,305
-23,331	-28,119	-25,588	-24,488	2617,409	25,3815
-23,413	-28,2	-25,663	-24,563	2667,409	25,45975
-23,488	-28,281	-25,738	-24,631	2714,845	25,5345
-23,569	-28,363	-25,813	-24,706	2766,127	25,61275
-23,644	-28,444	-25,881	-24,781	2816,127	25,6875
-23,713	-28,519	-25,956	-24,85	2862,281	25,7595
-23,794	-28,6	-26,025	-24,925	2914,845	25,836
-23,869	-28,681	-26,1	-25	2964,845	25,9125
-23,938	-28,763	-26,175	-25,075	3013,563	25,98775
-24,019	-28,844	-26,25	-25,15	3066,127	26,06575
-24,1	-28,925	-26,325	-25,225	3113,563	26,14375
-24,175	-29,006	-26,4	-25,3	3166,127	26,22025
-24,244	-29,088	-26,475	-25,369	3216,127	26,294
-24,319	-29,163	-26,544	-25,444	3263,563	26,3675
-24,381	-29,244	-26,619	-25,513	3313,563	26,43925
-24,45	-29,319	-26,694	-25,588	3359,717	26,51275
-24,525	-29,394	-26,763	-25,656	3408,435	26,5845
-24,588	-29,475	-26,844	-25,731	3460,999	26,6595
-24,65	-29,55	-26,913	-25,8	3507,152	26,72825
-24,738	-29,625	-26,988	-25,875	3559,717	26,8065
-24,781	-29,7	-27,056	-25,944	3604,588	26,87025
-24,838	-29,781	-27,131	-26,013	3654,588	26,94075
-24,9	-29,856	-27,2	-26,088	3704,588	27,011
-24,95	-29,931	-27,269	-26,15	3749,46	27,075

-25,025	-30,013	-27,344	-26,231	3802,024	27,15325
-25,069	-30,081	-27,413	-26,294	3846,896	27,21425
-25,131	-30,156	-27,481	-26,369	3896,896	27,28425
-25,188	-30,238	-27,556	-26,438	3946,896	27,355
-25,238	-30,306	-27,619	-26,506	3994,332	27,41725
-25,313	-30,4	-27,7	-26,588	4048,178	27,50025
-25,363	-30,481	-27,775	-26,663	4100,742	27,5705
-25,419	-30,556	-27,844	-26,731	4144,332	27,6375
-25,475	-30,638	-27,919	-26,8	4196,896	27,708
-25,538	-30,706	-27,981	-26,869	4239,204	27,7735
-25,6	-30,788	-28,056	-26,944	4293,05	27,847
-25,65	-30,863	-28,125	-27,006	4334,076	27,911
-25,713	-30,944	-28,2	-27,081	4386,64	27,9845

-25,763	-31,019	-28,263	-27,15	4430,229	28,04875
-25,819	-31,094	-28,338	-27,219	4477,665	28,1175
-25,881	-31,188	-28,419	-27,3	4536,64	28,197
-25,931	-31,263	-28,488	-27,375	4585,358	28,26425
-26,013	-31,344	-28,563	-27,444	4630,229	28,341
-26,069	-31,425	-28,631	-27,519	4675,101	28,411
-26,131	-31,513	-28,713	-27,594	4728,947	28,48775
-26,188	-31,594	-28,788	-27,669	4773,819	28,55975
-26,244	-31,681	-28,869	-27,75	4819,973	28,636
-15,525	-19,031	-16,35	-15,225	-6,579	16,53275
-15,169	-18,4	-15,863	-14,963	-6,579	16,09875
-15,094	-18,275	-15,65	-14,806	-5,263	15,95625



**3.4.2.1.8. Узорак 8 (малтерисана бала сламе)**

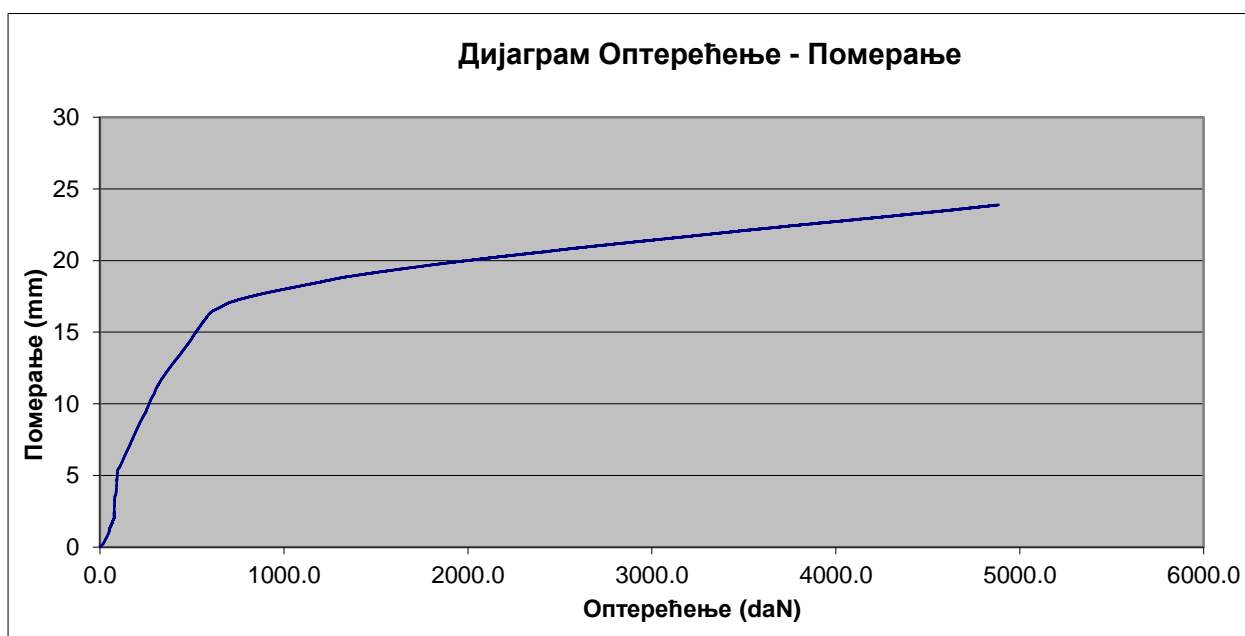
Угиб 1	Угиб 2	Угиб 3	Угиб 4	Сила	Угибср
mm	mm	mm	mm	daN	mm
-1,35	-2,312	-1,381	-0,637	57,183	1,42
-2,169	-3,312	-1,875	-0,938	76,102	2,0735
-2,856	-4,906	-3,431	-1,65	80,156	3,21075
-5,106	-6,419	-4,706	-3,319	93,185	4,8875
-7,775	-8,644	-6,081	-4,694	149,488	6,7985
-9,919	-11,181	-7,594	-5,619	212,589	8,57825
-11,394	-13,606	-9,4	-6,481	273,4	10,22025
-12,3	-15,825	-11,65	-7,469	339,616	11,811
-12,869	-17,981	-13,863	-8,187	421,353	13,225
-13,3	-19,813	-15,731	-8,738	490,621	14,3955
-13,681	-21,444	-17,381	-9,212	544,467	15,4295
-14,019	-22,919	-18,913	-9,65	602,159	16,37525
-14,306	-23,881	-19,781	-9,956	688,057	16,981
-14,45	-24,269	-20,256	-10,156	757,287	17,28275
-14,55	-24,494	-20,531	-10,288	812,416	17,46575
-14,644	-24,694	-20,756	-10,406	863,698	17,625
-14,731	-24,888	-20,956	-10,513	913,698	17,772
-14,819	-25,063	-21,131	-10,606	964,98	17,90475
-14,9	-25,231	-21,3	-10,706	1014,98	18,03425
-14,981	-25,4	-21,456	-10,8	1064,98	18,15925
-15,069	-25,563	-21,606	-10,894	1113,698	18,283
-15,163	-25,731	-21,763	-10,994	1162,416	18,41275
-15,256	-25,894	-21,906	-11,088	1211,134	18,536
-15,363	-26,063	-22,063	-11,194	1263,698	18,67075
-15,45	-26,225	-22,238	-11,3	1312,416	18,80325
-15,538	-26,35	-22,356	-11,388	1364,98	18,908
-15,613	-26,469	-22,463	-11,475	1413,698	19,005
-15,688	-26,588	-22,563	-11,563	1464,98	19,1005
-15,763	-26,7	-22,663	-11,644	1514,98	19,1925
-15,838	-26,813	-22,763	-11,731	1567,544	19,28625
-15,9	-26,919	-22,863	-11,819	1617,544	19,37525
-15,975	-27,025	-22,956	-11,9	1667,544	19,464
-16,031	-27,125	-23,05	-11,981	1716,262	19,54675
-16,088	-27,231	-23,15	-12,063	1767,544	19,633
-16,144	-27,338	-23,244	-12,144	1816,262	19,7175
-16,2	-27,438	-23,331	-12,225	1868,826	19,7985

-16,256	-27,538	-23,419	-12,3	1918,826	19,87825
-16,306	-27,631	-23,5	-12,375	1967,544	19,953
-16,35	-27,725	-23,581	-12,45	2013,698	20,0265
-16,419	-27,819	-23,663	-12,525	2067,544	20,1065
-16,481	-27,913	-23,744	-12,6	2118,826	20,1845
-16,531	-28,006	-23,819	-12,669	2167,544	20,25625
-16,581	-28,1	-23,9	-12,738	2218,826	20,32975
-16,638	-28,188	-23,975	-12,813	2268,826	20,4035
-16,694	-28,275	-24,044	-12,875	2317,544	20,472
-16,75	-28,363	-24,119	-12,95	2368,826	20,5455
-16,8	-28,45	-24,188	-13,019	2418,826	20,61425
-16,869	-28,538	-24,263	-13,094	2467,544	20,691
-16,931	-28,631	-24,344	-13,175	2518,826	20,77025
-16,981	-28,719	-24,419	-13,25	2568,826	20,84225
-17,038	-28,806	-24,488	-13,319	2617,544	20,91275
-17,088	-28,888	-24,556	-13,381	2666,262	20,97825
-17,144	-28,975	-24,625	-13,45	2717,544	21,0485
-17,188	-29,056	-24,694	-13,519	2768,826	21,11425
-17,238	-29,138	-24,763	-13,588	2817,544	21,18175
-17,281	-29,225	-24,831	-13,656	2870,108	21,24825
-17,338	-29,306	-24,9	-13,725	2918,826	21,31725
-17,381	-29,388	-24,969	-13,788	2968,826	21,3815
-17,431	-29,475	-25,038	-13,856	3020,108	21,45
-17,481	-29,556	-25,106	-13,925	3072,672	21,517
-17,525	-29,638	-25,175	-13,994	3120,108	21,583
-17,569	-29,719	-25,244	-14,056	3171,39	21,647
-17,625	-29,806	-25,313	-14,125	3223,954	21,71725
-17,681	-29,881	-25,375	-14,194	3271,39	21,78275
-17,731	-29,963	-25,45	-14,263	3322,672	21,85175
-17,781	-30,044	-25,513	-14,331	3370,108	21,91725
-17,838	-30,125	-25,581	-14,4	3421,39	21,986
-17,894	-30,206	-25,65	-14,469	3472,672	22,05475
-17,944	-30,281	-25,713	-14,531	3518,826	22,11725
-17,988	-30,363	-25,781	-14,594	3570,108	22,1815
-18,038	-30,438	-25,844	-14,656	3620,108	22,244
-18,081	-30,506	-25,906	-14,719	3663,698	22,303
-18,131	-30,588	-25,975	-14,781	3718,826	22,36875
-18,175	-30,663	-26,044	-14,85	3768,826	22,433

## Карактеристике бала сламе

-18,225	-30,738	-26,106	-14,913	3813,698	22,4955
-18,269	-30,813	-26,175	-14,975	3864,98	22,558
-18,313	-30,888	-26,238	-15,038	3912,416	22,61925
-18,35	-30,956	-26,306	-15,1	3962,416	22,678
-18,394	-31,038	-26,369	-15,163	4014,98	22,741
-18,431	-31,113	-26,438	-15,225	4063,698	22,80175
-18,481	-31,188	-26,5	-15,294	4111,134	22,86575
-18,519	-31,256	-26,569	-15,35	4156,005	22,9235
-18,563	-31,338	-26,638	-15,419	4213,698	22,9895
-18,606	-31,406	-26,706	-15,481	4257,287	23,04975
-18,644	-31,488	-26,775	-15,55	4311,134	23,11425
-18,688	-31,563	-26,844	-15,613	4354,723	23,177
-18,731	-31,638	-26,906	-15,675	4408,57	23,2375
-18,781	-31,713	-26,969	-15,738	4453,441	23,30025

-18,819	-31,788	-27,038	-15,8	4503,441	23,36125
-18,856	-31,863	-27,1	-15,863	4547,031	23,4205
-18,9	-31,944	-27,175	-15,931	4599,595	23,4875
-18,944	-32,019	-27,238	-15,994	4645,749	23,54875
-18,994	-32,106	-27,313	-16,063	4697,031	23,619
-19,038	-32,188	-27,381	-16,131	4745,749	23,6845
-19,081	-32,269	-27,45	-16,206	4791,903	23,7515
-19,125	-32,344	-27,519	-16,275	4832,928	23,81575
-11,113	-19,894	-15,156	-6,175	-9,211	13,0845
-10,694	-19,1	-14,613	-5,962	-7,895	12,59225
-10,638	-18,975	-14,463	-5,875	-6,579	12,48775
-10,594	-18,875	-14,381	-5,844	-6,579	12,4235
-10,556	-18,806	-14,331	-5,825	-6,579	12,3795



**3.4.2.2. Фотографије експеримента спроведеног у лабораторији Института ИМС**



**3.4.2.2.1. Припрема узорка за експеримент**





***3.4.2.2. Припрема узорка за експеримент***



***3.4.2.2.3. Припрема узорка за експеримент***



***3.4.2.2.4. Припрема узорка за експеримент***



#### *3.4.2.2.5. Спровођење експеримента*



***3.4.2.2.6. Узорци након експеримента***





**3.4.2.2.8. Опрема за експеримент**

### **3.4.2.3. Анализа резултата испитивања**

На основу спроведених испитивања, констатовано је да:

Испитивање је спроведено у лабораторији Института ИМС, на по четири малтерисане и немалтерисане двожичане пшеничне бале сламе постављене на основу. Начин на који су бале припремљене објашњен је детаљно у претходним поглављима.

Бале нису испитиване до лома зато што су при веома високим оптерећењима реализоване велике деформације које су излазиле из опсега мерних инструмената и опреме са којом Институт ИМС располаже. Резултати су меродавни за одређивање модула еластичности. При порасту оптерећења бале се сабијају, повећава се њихова запреминска тежина и са порастом оптерећења добија се бала бољих карактеристика, једино је неопходно дотегнути везе. На дијаграмима сила-померање очигледан је линеаран однос ова два параметра.

Немалтерисане бале су имале знатна померања. Прим максималном аплицираном оптерећењу померања су износила од 50 до 70 мм (око 18% висине). Истраживачи који су располагали опремом која је могла да мери већа померања, аплицирали су оптерећење до граничних вредности и лом се дешавао практично пуцањем веза при деформацијама које су износиле до половине висине бале. Утврдили су да модул еластичности расте са повећањем оптерећења.

У овом експерименту на немалтерисаним балама сламе аплицирано је оптерећење од око 20 kN, што је далеко изнад максималног оптерећења приземних објеката од бала сламе који су анализирани.

На четири испитиване бале сламе, једна је сматрана контролном и служила је за баждарење опреме, измерен је просечан модул еластичности од 400 kPa.

Ове вредности на нивоу вредности других истраживача, а као што је и очекивано нешто су ниже него у случају приближне методе која је примењена у градилишним условима.

Након уклањања оптерећења узорак се у великој мери вратио у првобитни положај што доказује да су деформације у еластичној зони. Други истраживачи који су



алицирали већа оптерећења забележили су да је био потребан око један дан за враћање узорка у првобитни положај.

Испитивања су такође спроведена и на четири малтерисане бале сламе. Једна бала је била контролна.

Аплицирана су значајно већа оптерећења и као што је очекивано резултат су значајно мање деформације.

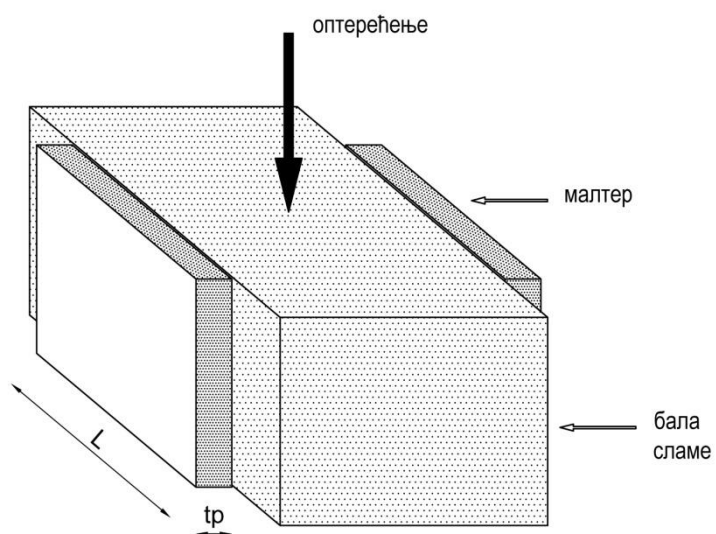
Максималне аплициране силе су око 50 kN, а деформације које су се дешавале су до 28 мм.

Утицај малтера је очигледан . Узорак се понаша као сендвич, састављен од два слоја малтера и сламе у средини. Сила је пренета на цео узорак.

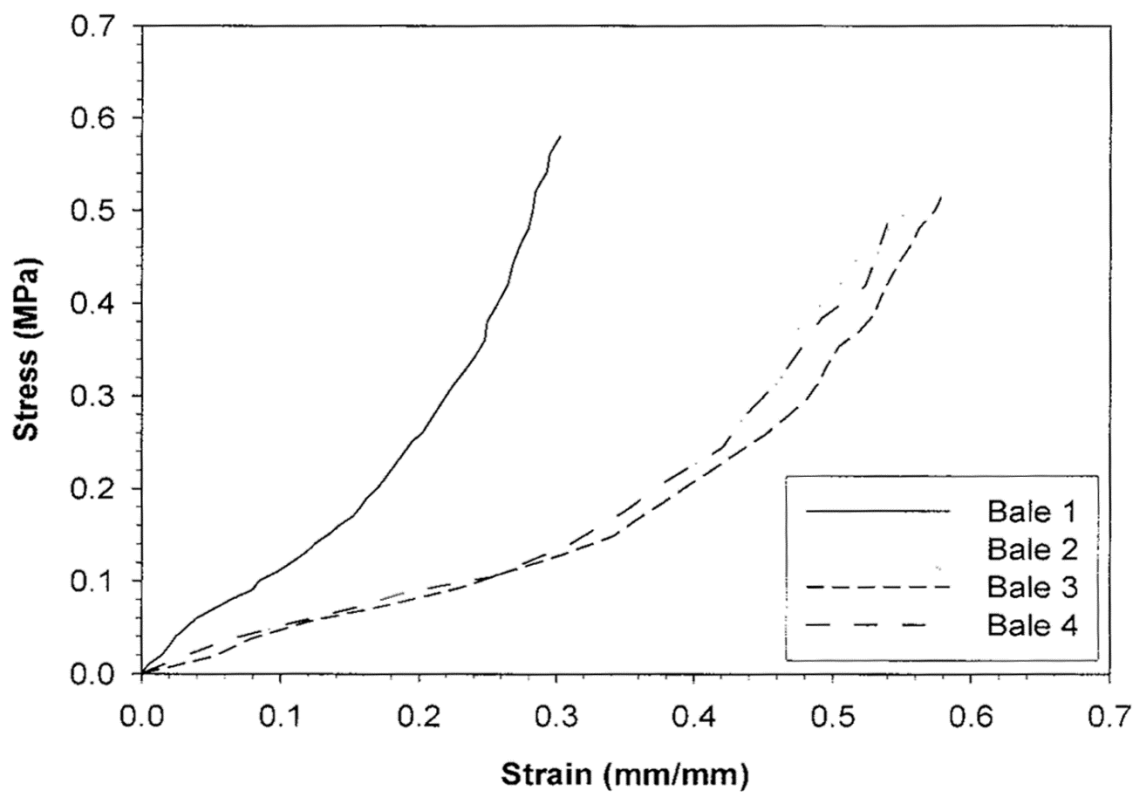
Измерене су вредности модула еластичности од око 1580 kPa, што је четири пута више него у случају немалтерисаних бала сламе. Ове вредности су у нивоу резултата који су добили и други истраживачи.

Могуће је експериментисати са модификовањем веза којима се везују бале сламе, а оно што се може констатовати је да добијене вредности у потпуности задовољавају потребе примене малтерисаних бала сламе за израду зидова приземних објеката.

### 3.5. Прилог



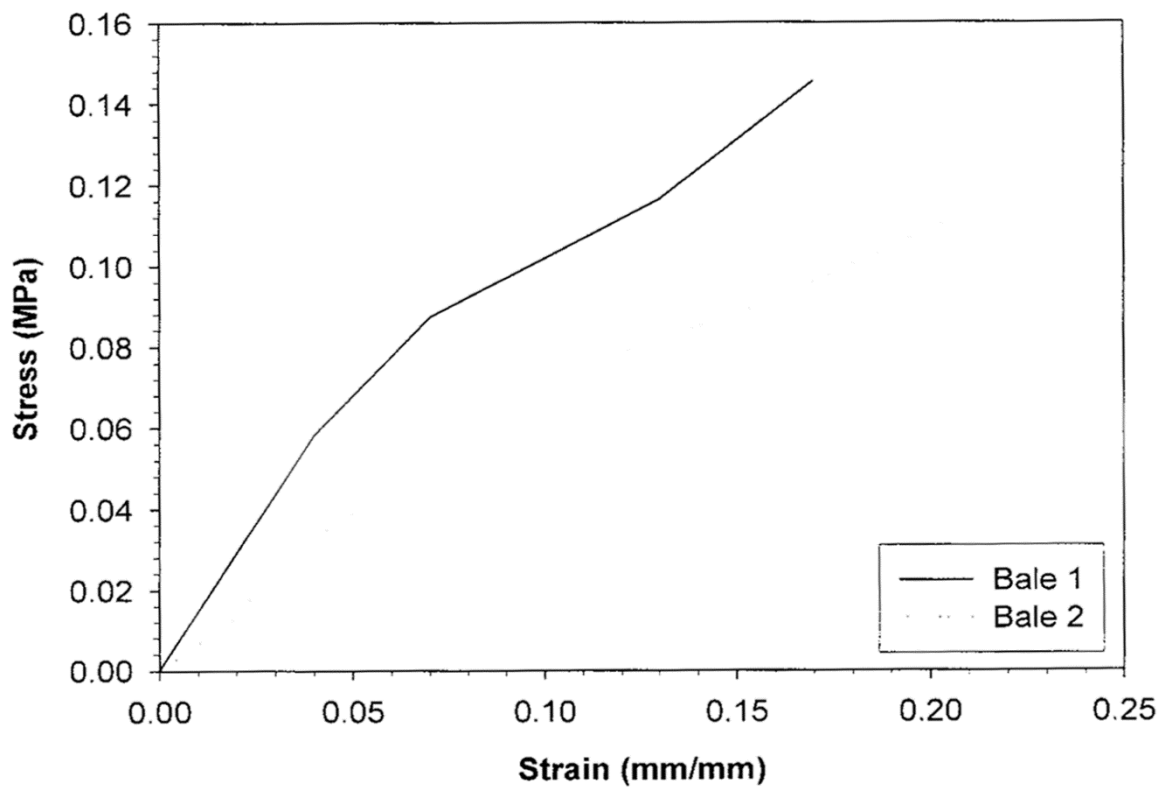
#### 3.5.1. Диспозиција наношења оптерећења на немалтерисану балу сламе



### 3.5.2. Однос напона и деформација

*немалтерисане бале сламе постављене на основу*

*(Вои-Али, 1993)*



### **3.5.3. Однос напона и деформација**

**немалтерисане бале сламе постављене на бок**

**(Bou-Ali, 1993)**

#### ***4. Испитивање реолошких својстава немалтерисаних и малтерисаних зидова од бала сламе***

У претходном поглављу на основу резултата експеримента израчунати су модули елатичности немалтерисаних и малтерисаних бала сламе. Како модули имају мале вредности, под радним оптерећењем деформације ће бити значајне.

За стање употребљивости ова чињеница је од и изузетног значаја и зато се мора посебно анализирати.

Поново истичемо да је реч и балама сламе које се ни на који начин посебно не третирају. Приликом спровођења експеримента којим је анализирано понашање бала сламе под вертикалним оптерећењем, уочено је да се за случај бале положене на основу оптерећење вертикалним центричним опетерећењем при порасту нивоа оптерећења долази до сабијања бале сламе. Поједини истраживачи су балу под оптерећењем „превезивали“ и тиме добијали супер збијену балу са значајно бољим карактеристикама. Та могућност постоји и ако би сам процес био јефтин, било би могуће значајно побољшати карактеристике.

Раније је утврђен однос напона и деформација за радна оптерећења и утврђено је да је до високих нивоа напона деформација еластична. Значајно је напоменути да са повећањем оптерећења повећава модул еластичности и повећава се збијеност, што су и спроведени експерименти о којима је било речи у трећем поглављу такође потврдили.

Због свих карактеристика бала сламе, могу се очекивати и прираштаји деформација под дејством константног оптерећења током времена.

Резултати ће битно утицати на закључке о могућем коришћењу бала сламе за израду објеката, а такође утицаће и на технологију грађења и редослед и динамику операција на градилишту.

Овај аспект понашања бала сламе је веома мало истражен и анализиран. У овом раду због значаја наведене појаве и могућег утицаја на конструкцију спроведен је експеримент да би се анализирала ова појава.

У овом раду на четири модела анализираће се понашање зида од бала сламе при променама оптерећења и мериће се промене деформација у времену при константном оптерећењу.

На два узорка немалтерисаних зидова од бала сламе анализираће се деформације под дејством сталног и повремениг оптерећења, аплицираног тако да симулира реално стање на објекту. На једном узорку немалтерисаног зида укупно оптерећење ће бити аплицирано у једном кораку. Малтерисани зид ће бити бити припремљен на исти начин као три немалтерисана зида, затим ће бити аплицирано стално оптерећење, а зид ће бити малтерисан након седам дана. Након сушења малтера биће аплицирано само покретно оптерећење.

#### ***4.1. Припрема модела***

Анализа је спроведена на четири полу зида, један малтерисана и три немалтерисана. Није било услова да се направи модел целог зида, а претпоставка је да ће се на основу понашања оваквог модела донети адекватни закључци, на основу којих ће се касније моћи спроводити даља истраживања.

Немалтерисане бале сламе припремљене су на раније описан начин.

Немалтерисани зид, тачније полу зид (зид висине четири бале, 140 цм), формиран је тако што су бале постављене на дрвену подлогу. Прво су за подлогу фиксирана два метална анкера пречника 12 мм и висине 40 цм. На сличан начин се остварује и уобичајена веза бала сламе за темеље. Након тога поређано је укупно четири реда бала сламе. Редови нису посебно спајани можданицима, што је уобичајена пракса при зидању балама сламе. И бале нису додатно сабијане, што је уобичајено приликом зидања балама сламе.

Након тога, пошто поједине сламке излазе из равни бале (иначе препоручује се да је за бале сламе погодне за грађење појединачне сламке буди минималне дужине од 15 цм), тримером је уређена површина бале. Потом су бале дрвеним маљем додатно поравнате површине бала сламе.

На такав начин су припремљена сва четири модела полу зида.

На основу анализе оптерећења, као и претходном поглављу, испитивање је рађено под претпоставком да је сопствена тежина зида  $1.16 \text{ kN/m}$ , оптерећење од крова  $3.48 \text{ kN/m}$ , а покретно оптерећење  $2.32 \text{ kN/m}$ . Аплицирано је оптерећење од  $1 \text{ kN}$ , након 14 дана је аплицирано додатно оптерећење од  $3 \text{ kN}$  (кровна конструкција), па је након 28 дана аплицирано оптерећење од  $2 \text{ kN}$  (покретно оптерећење). Покретно оптерећење деловало је 7 дана, након чега је уклоњено. На овакав начин су оптерећена два зида.

Трећи зид је оптерећен у једном кораку укупним оптерећењем од  $6 \text{ kN}$  и мерене су деформације. Оптерећење су представљали цакови цемента који су постављани у пару ( $100 \text{ kg}$ ) у броју који је зависио од нивоа аплицираног оптерећења.

На овај начин симулирано је реално понашање. Зидање, припрема за постављање кровне конструкције, а у неком тренутку деловање снега.

Резултати се мерени након аплицирања оптерећења, а онда у интервалима од једног дана. Мерење је вршено без примене прецизних инструмената. Овај начин испитивања усвојен је пре свега због самог материјала и будуће примене. Ако је реч о балама сламе код којих свака има различиту димензију и када ће се и примена односно извођење спроводити у условима који су у великој мери либерални, онда је реч и о резултатима који не морају по сваку цену да буду потпуно прецизни.

Сва испитивања су спроведена у затвореном простору при приближно константној температури и не битно променљивој влажности ваздуха.

За анализу понашања малтерисаног зида коришћен је модел, припремљен као и сви остали и оптерећен укупним оптерећењем. А након тога је малтерисан (седам дана касније).

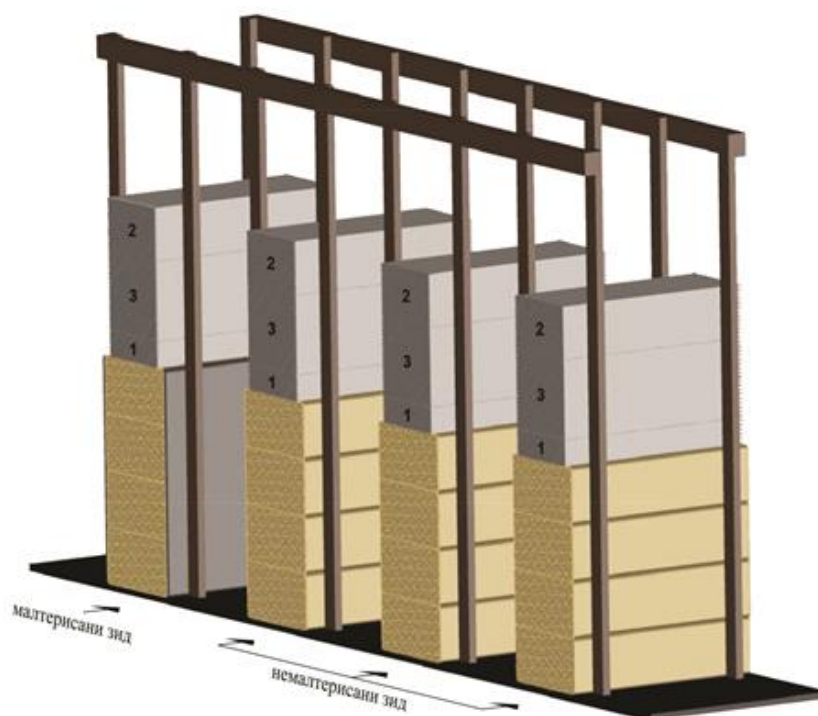
Пре тога на зид је постављена рабиц мрежа. Уочено је да је веома важно добро причврстити рабиц мрежу за бале сламе. О томе је већ било речи, причвршћена је жицом која је пролазила кроз масу зида (две до три жице по  $\text{m}^2$ ). У препорукама за зидање није пронађено да је слично решење негде примењено.

Зид је малтерисан продужним малтером у три слоја, цемент : креч : песак = 1 :4:12. У кречни малтер додата је минимална количина цемента у циљу повећања чврстоће малтера. У овом раду није посебно анализирана чврстоћа малтера.

За будућа истраживања важно је проверити чврстоће зидова за различите врсте малтера, проверити на који начин се остварује најбоље садејство малтера и сламе и утврдити оптималне дебљине малтера.

Први слој малтера је пажљиво утискиван да би се остварила што боља веза малтер-слама. Након првог слоја, после три дана наношен је други слој и након три дана финални слој. Малтер је у просеку био дебљине 4 цм и зид је остављен да се суши 14 дана.

Након тога аплицирано је оптерећење од 2 кN. У наставку су приказане изнерене вредности.



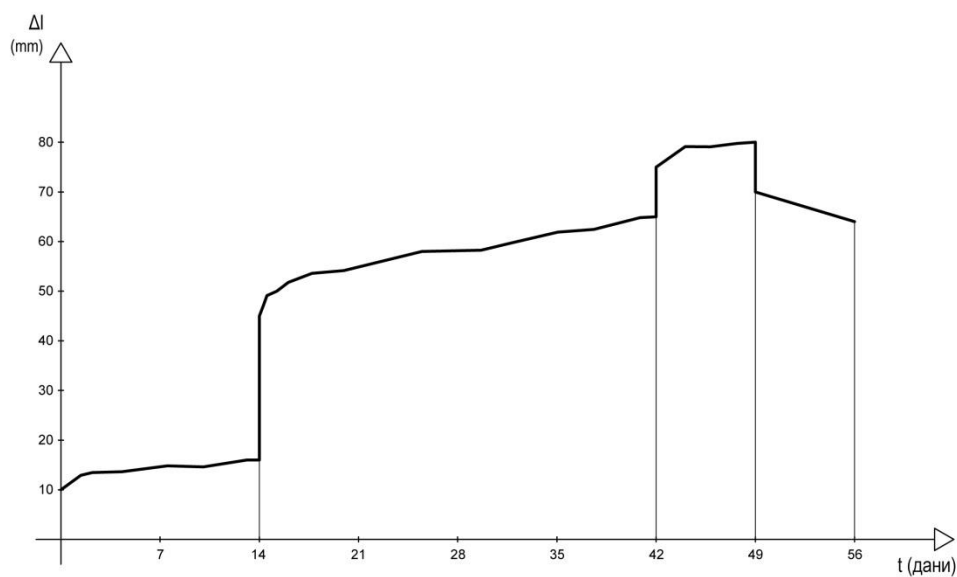
#### **4.1.1. Диспозиција оптерећења**



## 4.2. Резултати

### 4.2.1 Модел 1

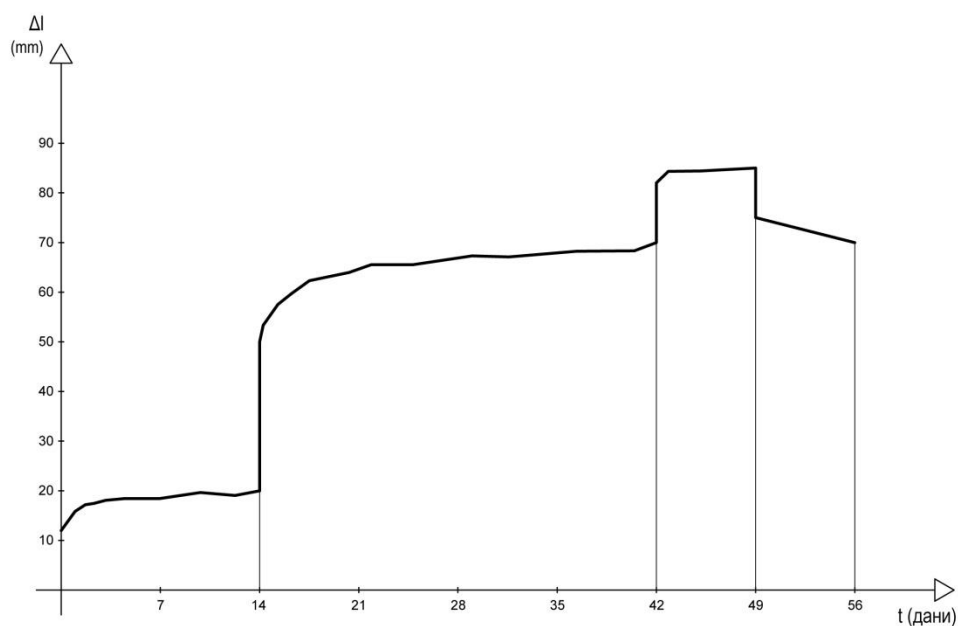
#### Немалтерисан зид ( $h=1.40\text{ m}$ )



ВРЕМЕ (дани)	ОПТЕРЕЋЕЊЕ (KN)	$\Delta l$ (mm)
0	1	10
14	1	16
14	4	45
42	4	65
42	6	75
49	6	80
49	4	70
56	4	64

#### 4.2.2. Модел 2

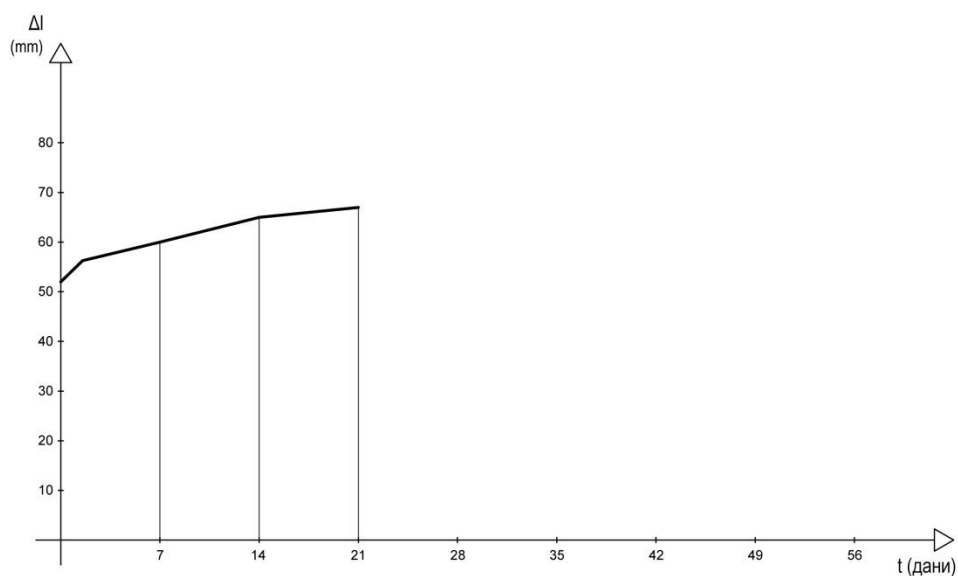
##### Немалтерисан зид ( $h=1.40\text{ m}$ )



ВРЕМЕ (дани)	ОПТЕРЕЋЕЊЕ (KN)	$\Delta l$ (mm)
0	1	12
14	1	20
14	4	50
42	4	70
42	6	82
49	6	85
49	4	75
56	4	70

### 4.2.3. Модел 3

#### Немалтерисан зид ( $h=1.40\text{ m}$ )



ВРЕМЕ (дани)	ОПТЕРЕЋЕЊЕ (KN)	Δl (mm)
0	6	52
7	6	60
14	6	65
21	6	67

### ***4.3. Резултати експеримента***

На моделу 1 и 2, немалтерисаним зидовима од бала сламе након наношења оптерећења измерена је почетна деформације (резултати имају одступања, али су разлике незнатне). Под дејством константног оптерећења дешавале су се временске деформације, највеће у прва два до три дана након наношења оптерећења, а након тога су прираштаји били све мањи. И то се понављало при сваком наношењу оптерећења (тренутна или практично тренутна деформација, па временска деформација). Временске деформације су имале прираштај од 0.4 до 0.7 мм/дан. Након уклањања покретног оптерећења у року од неколико дана укупна деформација је била повратна. Деформација је након сваког додатог оптерећења била мања, што потврђује раније налазе да са порастом оптерећења расте и модул еластичности.

Модел 3, немалтерисани зид, оптерећен је у једном кораку укупним оптерећењем. Највећа је била тренутна деформација. И овде су се кроз време при константном оптерећењу повећавале деформације и већ након 14 дана су практично заустављене. Укупне временске деформације су у овом случају биле далеко мање него када је оптерећење наношено у фазама.

Модел 4, малтерисани зид оптерећен је сталним оптерећењем пре малтерисања, па је након 7 дана малтерисан, а покретно оптерећење је нането накнадно. У овом случају деформације су се одиграле пре малтерисања и накнадне деформације на малтерисаном зиду од покретног оптерећења су биле минималне.

### ***4.4. Закључци***

Резултати спроведеног експеримента у потпуности одговарају очекиваним резултатима: под оптерећењем су се остварила велика слегања.

Збијеност бала има најважнију улогу на величину слегања. Потребно је приликом зидања бале додатно сабијати. Или ако постоји јефтинији начин могуће је претходним сабијењем бала значајно побољшати карактеристике и као резултат побољшаних карактеристика смањити слегања.

Преднапрезање зида, пре израде крова, за 3 до 4% његове висине значајно ће смањити слегања уз обавезно дотезање веза. Ефекат збијања може се остварити преднапрезањем, без значајног повећања трошкова, уз постизање позитивних ефеката и значајно смањење накнадних слегања.

Ако се на немалтерисаном зиду остваре деформације, каснија оптерећење на немалтерисаном зиду не проузрокују деформације које могу да угрозе употребљивост објекта. Овај закључак је изузетно важан и усмерава да се организацијом извођења радова могу неутралисати сви штетни ефекти и тиме отклонити проблем слегања у периоду коришћења објекта или дела објекта од балиране сламе.

#### ***4.4. Прилог: Припрема зида за испитивање***



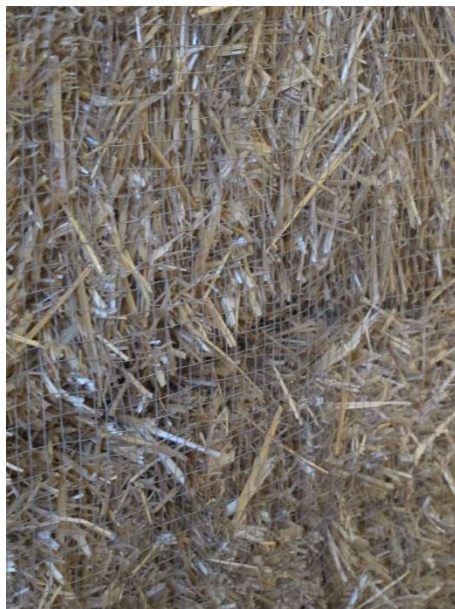
##### ***4.4.1. Немалтерисани зид од бала сламе***



##### ***4.4.2. Немалтерисани зид од бала сламе***



***4.4.3. Сабијање површине зида дрвеним маљем***



***4.4.4. Немалтерисан зид са постављеном жичаном мрежом***



***4.4.5. Наношење првог слоја малтера***



***4.4.6. Зид пред наношење другог слоја малтера***





***4.4.7. Зид са нанетим другим слојем малтера***



***4.4.8. Малтерисан зид од бала сламе***

## ***5. Заштита од буке, топлотна заштита и заштита од пожара***

### ***5.1. Увод***

Да би се материјал сматрао погодним за употребу у грађевинарству неопходно је дати одговоре и на ниво заштите од буке који се обезбеђује применом конкретног материјала; количине енергије која се његовом применом штеде, односно ниво топлотне заштите који се обезбеђује, као и отпорност материјала на пожар.

Слама је специфичан материјан. За разлику од свих других материјала, период обнављања је годину дана, дрвета неколико деценија, а производња бројних грађевинских материјала оставља трајне последице на животну средину. Бала сламе је такође један од ретких материјала који је истовремено и носећи елемент и изолација.

У овом раду анализирана су раније спроведена истраживања термичке карактеристике и испитивања заштите од буке, па су преузети добијени резултати других истраживача.

Спроведено је истраживање на отпорност на пожар и резултати истраживања су приказани у наставку.

### ***5.2. Заштита од буке***

Бука постаје све већи проблем. И поред прописа који се примењују све чешће се дешава да у објектима за становање станари имају озбиљне и најчешће тешко решиве проблеме проузроковане буком.

Делом је то и због бројних специфичности које је потребно решити материјалима који су звучни изолатори или звучни апсорбери.

Управо због значаја проблема посветићемо већу пажњу проблему простирања звука и заштити од буке.

Према дефиницији звук је механички поремећај притиска у виду лонгитудиналног таласа који се простире кроз елеастичну средину. Људско чуло слуха је у стању да региструје осцилације учесталости од 20 до 20000 Hz.

Као заштита од звука у објектима се користи звучна изолација, која мора да реши често контрадикторне захтеве, јер поједини утицајни фактори са једне стране утичу на побољшање звучне изолације, а са друге стране погоршавају звучну изолацију.

Да би се истакле све погодности сламе навешћемо неке од услова који марају да важе да би се постигла одговарајућа звучна изолација.

Када је реч о апсорпцији звука треба примењивати материјале који имају порозност између 40 и 90% и при томе је битно да је реч о отвореној порозности. А када је у питању звучна изолација, ефикасност зависи од више фактора, али су испитивања показала да је најважније да материјал има мали модул еластичности.

Важно је истаћи да различити материјали и различито реагују у односу на фреквенцију звука, па примера ради неки материјал представља одличну звучну изолацију за ниске фреквенције, а далеко мању за више и обрнуто.

Да бисмо истакли практична истраживања спроведена у Данској истаћићемо основне принципе звучне изолације:

*Принцип масе*, подразумева да ће сваком звучном поремећају биће теже да изазове подрхтавање препреке која има већу масу. Проблем је што значајно повећање масе не повећава у великој мери звучну изолацију (дуплирање масе зида, уз све пратеће ефекте, побољшава звучну изолацију за око 6 dB.) Код најчешће коришћених зидова од гипс картона, дуплирањем слојева гипс картона даје ефекат од 5 dB.

*Принцип ваздушног џепа*, подразумева да се стварањем ваздушног џепа између два слоја преграде уз минималну везу та два слоја побољшава се звучна изолација.

*Принцип апсорпције*, подразумева да се уметањем материјала са високим степеном апсорпције део звука се губи унутар самог материјала.

*Принцип провођења звука*, подразумева да треба онемогућити провођење звука кроз зидове, под и плафон.

Из претходног се јасно уочава да зидови од бала сламе испуњавају све потребне услове и за изолацију и за апсорпцију.

У Институту за испитивање материјала у Данској спроведена су истраживања везана за звук и то су једина таква истраживања која смо до сада успели да пронађемо. Резултати показују да зид од сламе остварује редукацију звука од 52 до 55 dB у зависности од фреквенције и услова испитивања.

Према спроведеним испитивањима изолациона моћ веома масивних зидова је око 60 dB.

А у табели је приказан ниво буке коју срећемо у свакодневном животу:

Авион у непосредној околини	120 dB
Пнеуматски чекић	100 dB
Железница у непосредној близини	90 dB
Густ улични саобраћај	70 dB
Шапутање	20 dB

Треба напоменути да тако висок ниво редукације задовољава све најстроже критеријуме.

Према подацима до којих смо дошли, велики број телевизијских и музичких студија изолован је панелима од сламе. Нису спровођења мерења, али у свим случајевима корисници су истицали све похвале на ниво звучне заштите.

Слично је и са објектима за становање. Мерења нису вршена али у власници као једну од битних карактеристика својих објеката истичи изузетно висок ниво звучне изолације.

### 5.3. Термичке карактеристике

Термичка проводљивост, изражена кроз коефицијент термичке проводљивости  $\lambda$  (W/m<sup>°K</sup>), материјала огледа се у његовом пропуштању стационарног топлотног протока услед разлике температура на два граничних површинама.

У овом раду нису спровођена испитивања термичких карактеристика, али су у оквиру истраживања карактеристика бала пшеничане сламе анализирана истраживања спроведена на Хемиском факултету у Загребу као и истраживања и резултати које је добио Mc Cabe (1994.).

Применом различитих метода испитивања добијена је вредност коефицијента термичке проводљивости  $\lambda$  у вредностима 0,032 и 00,35 W/m<sup>°K</sup>. Mc Cabe је спроводи испитивање на тројичним и двојичним балама сламе димензија 59 x 40 x 105 цм и 46 x 36 x 92 цм. Уочено је да је термичка проводљивост у директној вези са густином бала сламе, али и да зависи од оријентације влакана. Даља истраживања која би утврдила тачне зависности у функцији правца влакана нису спровођена, јер су резултати показали да су сви потребни критеријуми далеко бољи него код других грађевинских материјала.

Поређење коефицијента термичке проводљивости сламе и неких од уобичајених грађевинских материјала приказано је у табели:

Материјал	$\lambda$ W/mK
Бакар	380
Алуминијум	204
Челик	58
Гранит	3,5
Бетон	2

Стакло	0,81
Опека	0,80
Шупља опека	0,55
Лаки бетон	0,34
Буква, храст	0,20
Јела, бор	0,14
Плита	0,043
Минерална вуна	0,040
Балирана слама	0,032-0.35
Ваздух	0,027

У поређењу са другим грађевинским материјалима уочљива је супериорност балиране сламе као термоизолационог материјала.

Истраживања спроведена у Хрватској, под нешто другачијим условима него у случају истраживања које је спровео Mc Cabe, дефинисале су нешто веће вредности коефицијента термичке проводљивости, око  $0.042 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ .

Као што је раније било речи, особине бала сламе у великој мери зависе од густине. Истраживања спроведена у Хрватској имала су као примарни задатак успостављање везе коефицијента термичке проводљивости и густине бала сламе. Резултати су приказани у табели:

Густина ( $\text{kg/m}^3$ )	Коеф терм проводљивости $\text{W/mK}$
82	0,0486
95	0,0482

113	0,0416
125	0,0414
138	0,0412

Разлика у резултатима у највећој мери је резултат различитим примењених методологија, али у сваком случају показује да су карактеристике сламе као термичког изолатора одговарају свим потребним захтевима и једнаке су или боље по карактеристикама најчешће коришћене термичке изолације, минералне вуне.

Термичка карактеристика зида или неког елемента изражава се као отпор пропуштању топлоте ( $\frac{1}{\Lambda}$ ):

$$\Lambda = \frac{\lambda}{a} \text{ (W/m}^2\text{°K)}$$

У случају обострано малтерисаног зида од сламе коефицијент је 0,12 W/m<sup>2</sup>°K, што задовољава услове који важе за пасивне куће.

Треба истаћи и да због димензије зидова (у зависности од димензије бала и начина зидања) од око 50 сантиметара у току дана апсорбоваће топлоту, а у току ноћи дешавање се обрнути процес и емитоваће се топлота. Ова особина ствара велике погодности и лети и зими.

Када анализирамо термичке карактеристике у погодности у вези са тим, треба истаћи да се приликом зидања и након нашошења оптерећења од кровне конструкције бале сламе додатно компримује у тиме се уз већу збијеност постиже бољи термички коефицијент. Велико трење између бала задржава их на месту без потребе за везивним средствима, а посебно је значајно да овакви зидови немају видљиве ни хоризонталне ни вертикалне спојнице. Зидови су компактни и нема хладних мостова, што је још једна значајна предност у односу на друге материјале, јер не захтева додатне трошкове.

У пракси је решен и проблем отвора и пробоја. Код свих других конструкција то су потенцијално слаба места. У случају зидања балама сламе све празнине се попуњавају растреситом сламом, која остаје након зидања и након малтерисања нема никаквих проблема са губицима топлоте.

#### ***5.4. Противпожарна отпорност***

Отпорност на дејство пожара представља способност материјала да се супротстави краткорочном дејству високих температура које се развијају у условима пожара (Мурављов (1995)). Ова отпорност значајна је и као отпорност на запаљивост, односно сагоривости, али и спрега материјал - конструкција. Наиме за безбедно коришћење објеката важно је колико ће конструкција захваћена пожаром моћи да испуњава своју конструктивну улогу.

У случају објеката од сламе, отпорност на дејство пожара је једно од првих питања које захтева одговор. За сада се граде углавном индивидуални стамбени објекти у највећем броју случајева приземни. Објекти се у неким земљама граде на темељима од дрвених шипова, у неким дугим подручјима на практично класичним темељима. Након израде темеља постављају се зидови од сламе, малтерисани продужним или земљаним малтерима, а на зидове се ослања дрвена кровна конструкција.

Прописи за овај тип објеката не постоје. Али је реална дилема какве противпожарне прописе треба применити... Објекти су приземни, намењени породичном становању, са дрвеном кровном конструкцијом...

Противпожарни прописи обезбеђују два услова, време довољно за безбедну евакуацију станара и време потребно за долазак ватрогасних служби.

Јасно је да ће први критеријум код индивидуалних приземних стамбених објеката бити лако задовољен, али је питање како и по којој цену задовољити други критеријум...



У истраживањима спроведеним у оквиру овог рада, срачунато је да би примена класичних тракастих армирано-бетонских темеља коштала готово исто као и конструкција остатка објекта, као што у већини земаља грађевинске дозволе коштају више од цене изградње објекта.

Приликом испитивања материјала на дејство пожара уводи се категорија стандардног пожара, дефинисаног висином температуре у функцији времена. У почетку температура нагло расте (ниво температуре од 900 С развија се за око 30 минута), а потом је прираштај температуре знатно спорији и после 6 сати од настанка пожара износиће 1200 С. Испитивања се спроводе у посебним коморама која обезбеђују потребне услове.

Испитивања дрвета су позната и тањи елементи од дрвета при пожару сагоре за 10 до 15 минута, али дебљи ако се температура значајно не повећа и ако не постоји довод ваздуха, престају да горе. У оваквим случајевима на површини дрвета се формира релативно крут слој од сагорелог материјала, док средишњи део остаје нетакнут. Ако температура расте и ако постоји довод ваздуха после 1 сата пожар ће захватити целу масу материјала дрво ће изгубити конструктивна својства и не само да дрво постаје сагорив материјал, него ће и ширити пожар.

Испитивања спроведена у САД показала су да су бале сламе отпорније од дрвета на пожар. Разлог је велика густина сламе, која онемогућава доток кисеоника доји би омогућавао горење.

Испитивања показују да у зависности од тога да ли су зидови малтерисани или не и у зависности од врсте малтера имају отпорност према пожару од два до три сата. Испитивања спроведена у Тексасу на немалтерисаном зиду од пшеничне балиране сламе утврдила су индекс ширења пожара 10, а индекс настанка дима 350 ( у складу са америчким прописима). По важећим правилницима захтевао се максимални индекс ширења пожара 25 и максимални коефицијент настанка дима 450.

Испитивања у Новом Мексику спроведена по ASTM E-119 спроведена на двојичним пшеничним балама сламе потврдила су да је намалтерисани зид имао отпорност на пожар од 30 минута, а малтррисани зид од више од два сата.

### ***5.4.1. Спроведени експеримент***

У оквиру овог рада, спроведено је испитивање отпорности на пожар малтерисаног зида од двојичних пшеничних бала сламе.

Бале сламе су припремљене на идентичан начин као и код претходно спроведених експеримената, а зид је озидан и малтерисан у три слоја продужним малтером у свему према претходно наведеном.

Напомињемо да испитивање није спроведено у складу са домаћим прописима и у лабораторији. Испитивање је спроведено у реалним условима и резултати су приказани у наставку.

Зид на којем је анализиран утицај пожара био је малтерисан само са једне стране и био је ширине једне бале и висине четири бале. Количина кисоника је у зиду далеко већа него у случају реалног зида објекта. А бале нису додатно сабијане како се то иначе ради. И једано и друго одступање је на страни сигурности и на оваквом узорку услови погодују развијању и ширењу пожара.

Закључци и препоруке биће смерница за даља истраживања на овом пољу.

Испитивање је спроведено у затвореном простору. Пожар је симулиран гориоником, којим је на узорак аплицирана варта на врло малој површини (круг пречника око 10 цм). Коришћена је мешавина гаса пропан-бутан, који по подацима противпожарних служби развија температура на горионику од 1900 °С. Температура је мерена термометром са сондом, који је могао да мери температуру од 600 °С.

Пошто се није радило у лабораторијским условима резултате треба узети са резервом. Са сигурношћу се може тврдити да су обезбеђени услови стандардног пожара и да је узорак пропремљен тако да су резултати на страни сигурности.

#### ***5.4.1.1. Ток експеримента***

Ватра је запаљена и горионик је фиксиран на 10 цм од зида. У кратком временском интервалу, мање од 1 минута пламен је подешен на максимум.

Температуре су мерене са задње стране зида, а фотографским апаратом су снимана сва карактеристична дешавања. Вођен је записник са тачним временом свих интересантних детаља у току експеримента.

Након 5' од почетка експеримента уз јак прасак одлетело је неколико „печата“ у непосредној близини места на коме је аплициран пламен. Одломиле су се само завршни слојеви малтера дељине не веће од 2 мм. Неки делови су одлетели и више од два метра. Касније је уочени да су на тим местима сламке долазиле до завршног слоја мелтера. Загревањем и ширењем десили су се дефекти.

Висока температура је захватила зону не значајно ширу од зоне дејства пламена и та зона се временом лагано ширила.

Прве пукотине у малтери на ивици узорка показале су се после 40' од почетка експеримента, веома танке и уочљиве пре свега због контраста пламена и зида.

После једног сата уочена је само на месту аплицирања пламена блага промена геометрије (појавио се једва приметан клобук).

У наредних сат времена, укупно два сата од почетка експеримента), ништа битно се није дешавало. „Клобук“ је постао већи, али на површини малтера није било разарања. Ширина зоне малтера који је под дејством пламена имао већу температуру се незнатно проширила од почетка експеримента. При крају другог сата почео је да се осећа благи мирис дима, али без икаквих видних манифестације.

После два сата од почетка експеримента температура малтера на 25 до 30 цм од дејства пламена је била благо повишена, без икаквих проблема могуће је на слоју малтера држати руку. Са задње стране промена температуре је била 4°C.

Пошто није било видних промена, разбијен је површински слој малтера после 140' од почетка експеримента. Испод површинског слоја малтера који се добро држао за жичану мрежу, унутрашњи слој је био разграђен и видело се да на споју две бале постоји слој нагореле сламе. Пошто је узорак био мале ширине, а бале нису набијане постојао је доток ваздуха уз спојнице. Није се могао развити пожар, само је слама нагорела.

Након прављена отвора пламен је и даље деловао. Ватра се развијала у слами, али без ширења пожара. Када је после десетак минута пламен угашен, угасила се и ватра у слами.

У зони пожара ослабила је веза жичане мреже и малтера. Релативно лако је уклоњена, али је слама оштећана само у зони у којој је пламен аплицира.

*У Прилогу на крају рада приказан је експеримент спроведен у Институту ИМС, који је детаљно објашњен и којим је доказана противпожарна отпорност од 120 минута. При чему је експеримент прекинут иако је узорак испуњавао све потребне услове.*

#### **5.4.2. Закључци**

Експеримент није изведен у лабораторијским условима, али посматрано збирно сви ефекти су производеле утицаје веће него код стандардног пожара.

Зид од сламе је након два сата имао оштећења, али она ни по обиму ни по интензитету нису угрожавала укупни стабилност зида.

Капацитет апсорпције зида од сламе је веома велики. После два сата температура се није ширила кроз добар проводник какав је малтер, него је била апсорбована од зида.

На задњој страни зида температура се за два сата незнатно променила.

Изузетно је важна веза малтера и сламе и важну улогу одиграла је жичана мрежа. При малтерисању треба посебну пажњу обратити на обраду зидова од сламе и не дозволити да сламке уносе ватру у масу зида. Посебна пажња мора бити посвећена обради зидова око отвора и око инсталација да се онемогући улазак ватре у масу зида.

Експериментом је доказана изузетно велика противпожарна отпорност зидова од бала сламе.

Ови закључци су потврђени експериментом спроведеним у лабораторији Института ИМС у складу са прописима који важе у Републици Србији.

### ***5.4.3. Прилог: Испитивање противпожарне отпорности***



***5.4.3.1. Зид припремљен за испитивање***



***5.4.3.2. Дејство пламена на зид***



**5.4.3.3. 5', делови завршног слоја малтера отпадају**



**5.4.3.4. 5', део завршног слоја који је отпао**



*5.4.3.5. 5', део завршног слоја који је отпао*



*5.4.3.6. 20', нема видних промена*



**5.4.3.7. 30', нема видних промена**



**5.4.3.8. 40', појављују се пукотине на крају зида**





*5.4.3.9. 60', приметно је да се јавља „клубук“*



*5.4.3.10. 80'*



***5.4.3.11. 100', „клобук“ се повећава***



***5.4.3.12. 110', на 20 ст од пламена зид незнатно топлији***



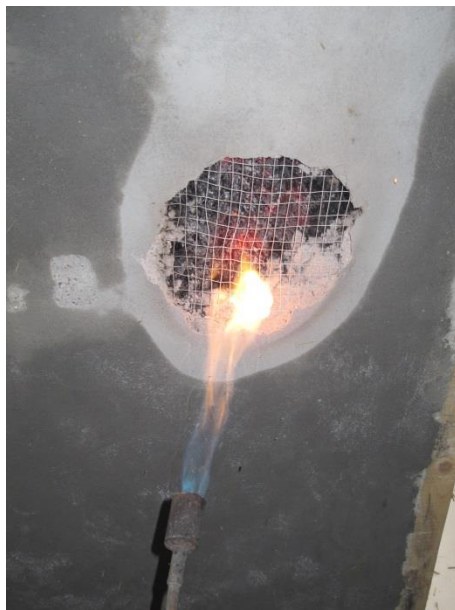
**5.4.3.13. 120'**



**5.4.3.14. 140', разбијен површински слој**



**5.4.3.15. Пламен делује, пожар се не развија**



**5.4.3.16. 150'**



*5.4.3.17. 150', крај експеримента*



*5.4.3.18. Повећан отвор*



***5.4.3.19. Унутрашњи слојеви малтера разграђени***



**5.4.3.20. Узорак након експеримента**



***5.4.3.21. Узорак након експеримента***





**5.4.3.22. Веза слама-малтер**



*5.4.3.23. Веза слама-малтер*

## ***6. Утицај на животну средину, трајност и економска оправданост***

### ***6.1. Увод***

У овом поглављу биће речи о неколико важних аспеката за примену материјала у грађевинарству: утицају на животну средину, трајности и економској оправданости.

За сваки од материјала који се користи у грађевинарству од изузетне важности је сваки од ових аспеката примене у свакој од фаза од иницијалне идеје до завршетка експлоатације конкретног објеката.

Посебно ће бити речи о сваком од ових аспеката у случају бала сламе, да би се на свеобухватан начин размотриле предности и недостаци при примени овог материјала при изградњи објеката.

### ***6.2. Утицај на животну средину***

Савремени начин живота и пораст популације имају значајне негативне ефекте на животну средину. Емисија CO<sub>2</sub> који директно утиче на стварање ефекта стаклене баште, а тиме се додатно појачавају негативни ефекти на животну средину, у највећој је мери резултат рада грађевинске индустрије и транспорта везаног за грађевинску индустрију (око 50% укупне емисије).

Уз све до сада наведене погодности које има градња балираном сламом у односу на модерне начине градње, утицај на животну средину је посебно значајан.

Слама је једногодишњи обновљив производ. Након узимања потребних количина сламе за сточарство и након заоравања, на пољима остаје трећина сламе коју је могуће користити у грађевинској индустрији. У овом раду анализирана је примена у нашим крајевима најраспрострањеније пшеничне сламе, али готово сви закључци важе и за сламу од јечма, ражи, пиринча.

За производњу једног кубног метра бетона потребно је око 5.800.000 ВТУ, а за исту количину сламе педесет пута мање примарне енергије.

Зидови се малтеришу земљаним малтерима или продужним малтером са минималним количином цемента, што такође резултира уштедом примарне енергије.

Због одличних топлотних карактеристика уштеде у енергији у току експлоатационог периода су и до 85%.

Бале сламе су као материјал потпуно у духу принципа очувања животне средине. Минимална енергија је потребна за производњу, штеди се енергија током експлоатационог периода и природно је разградива када се заврши период коришћења објекта.

Са аспекта заштите животне средине је практично јединствен грађевински материјал. Настаје као нузпроизвод у производњи житарица. Није потребна никаква додатна енергија осим енергије која ја потребна за поступак балирања. И управо је овај аспект био посебно значајан приликом избора овог материјала и саме методе која је предмет истраживања. Наиме, балирана слама која је анализирана у овом раду није ни на који начин посебно третирана нити је дорађивана и зато је количина енергије која се користи за њену производњу минимална могућа. Мања него код било ког другог грађевинског материјала.

У току експлоатације објекта нема никаквог утицаја на животну средину. Нема никаквих штетних испарења, емисије или било каквог другог утицаја на животну средину.

А након завршетка експлоатационог века грађевине слама је потпуно биоразградива тако да је и по томе потпуно јединствен материјал.

### ***6.3. Трајност***

Треба нагласити да се зидови од сламе малтеришу кречним малтером или малтером од блата, тако да су паропропусни и представљају идеалну средину за

нормалан живот. За разлику од сена, слама не изазива поленске алергије. Слама нема никакава отровна испарења, попут фирмалдехида, као што је случај са бројним модерним материјалима.

Субјективни осећај у кућама од сламе је посебна погодност. Изузетна топлотна и звучна изолација, ваздух без штетних испарења, природни материјал (слама, блато или креч, дрво) , тако да се стварају далеко боље услови за живот него у објектима од данас уобичајених материјала.

Као у причи о злом вуку, постоје бројни страхови у вези са градњом и трајношћу кућа од сламе.

Слама садржи веома мало хранљивим материја и за разлику од дрвета не привлачи инсекте. Оптерећена сталним опетерећењем веома је збијена, тако да није погодна за кретање глодара, па није примећено да у експлоатацији то представља било какав проблем.

Постоји страх да се због примене пестицида у слами задржавају штетне материје. Међутим, ниво пертицида који се задржава у слами је далеко мањи него у зрну, а са друге стране третирање пестицидима је у раним фазама живота биљке, тако да се до жетве они задржавају у слами у минималним количинама.

Највећи непријатељ сламе је влага. Гљивице се појављују при влажности већој од 20% суве масе. Конструктивним мерама зидови од сламе се штите од атмосферске влаге, при зидању балама води се рачуна да буду довољно суве, а малтерише се само са материјалима који омогућавају дисање зида, тако да ни у том случају нема опасности од влаге.

Постоји неколико објеката у Француској који нису малтерисани, а у експлоатацији су дуже од тридесет година. Најстарији објекти од сламе у функцији су око сто година, иако су грађени на далеко нижем нивоу познавања карактеристика материјала и на њима нису уочени никакви недостаци, након толико дугог временског периода експлоатације.

Основно питање је везано за предрасуде које постоје на овим просторима везане за материјале који се примењују у градњи, као и за трајност објеката. Вероватно су резултат историјског наслеђа, а у новије време последица неразвијеног тржишта и неразвијеног тржишта капитала. У прошлост се сматрало да објеката за становање мора да буде од чврстог материјала, по могућности од камена или бар добрим делом од камена, да би пружио уточиште и заштиту од непријатеља, а да би у највећој мери опстао и након паљевина и пожара. У новије време услед неразвијених могућности за улагање вишка финансијских средстава најсигурнија инвестиција је улагање у објекат за становање. И то показују статистички подаци и анализе.

У развијеном свету, са потпуно другачијом пореском политиком где се имовина опорезује са значајним пореским стопама, а са друге стране са бројним могућностима за инвестирање вишкова финансијских средстава приступ објекту за становање је потпуно другачији. Тиме се и на другачији начин посматра и трајност објекта и не очекује се да ће већина објеката трајати стотинама година. Нарочито не савремени објекти, са савременим инсталацијама код којих са протоком времена значајно расту трошкови одржавања објекта.

У случају објеката од балиране сламе нема никакве бојазни по питању трајности. Трошкови у току експлоатације су безначајни. А објекти од балиране сламе у нормалним условима експлоатације без икаквих проблема могу да трају и до сто година, што задовољава и најстроже услове који се могу поставити.

#### ***6.4. Економска оправданост***

Посебан допринос овог рада је могућа практична примена добијених резултата и увођење новог материјала у грађевинску праксу.

Расположивим количинама је већ било речи. У Србији последњих година, након жетве пшенице на пољима остаје више од 20 милиона кубних метара сламе. Трећина се користи као простирка у сточарству, трећина се заорава, трећина остаје на пољима и најчешће се спаљује и тиме се додатно загађује животна средина.

Реч је о око 7 милиона кубних метара сламе или око око 1 милион тона сламе, која је у највећој мери погодба за балирање и употребу у грађевинарству. Од те количине балиране сламе могуће је изградити више од 100.000 стамбених објеката површине веће од 100 м<sup>2</sup>.

Анализирајући економску оправданост и уштеде које је могуће остварити градњом кућа од сламе, посматран је пројект типичне четворособне куће површине 100 м<sup>2</sup>, намењене за становање четворочланој породици.

Трошкови земљишта, пројекта и дозвола исти су за кућу од бала сламе и класичне куће.

У већини развијених земаља постоје субвенције за градњу објеката који штеде енергију и користе рециклиране или обновљиве материјале. У Србији то за сада није случај, тако да се анализа ради са пуним тржишном ценама.

Пракса је показала да је за објекте од бала сламе најприкладнији темељ на дрвеним шиповима, али такви темељи, за сада не би могли да добију грађевинску дозволу и за сад би били тешко прихваћени у нашој средини. Упоредо са овим радом и спроведеним истраживањима урађене су и анализе и предлози за измене и допуне законске регулативе које ће омогућити најоптималније могућности за примену, као и израду конструктивних детаља за ову врсту објеката.

Објекти од сламе су значајно лакши од класичних објеката (слама има 25 пута мању запреминску тежину од бетона), али због ширине зида и услова ослањања (мора се омогућити садејство сламе и малтера) потребна је већа ширина темеља него што конструктивни услови налажу.

Пшеница је култура која успева у свим деловима Србије, тако да се куће могу градити од сламе из непосредне близине градилишта и трошкови транспорта не утичу на цену бале сламе.

Ове године је цена била око сто динара по бали, а за веће количине је могла да се обезбеди и по нижој цени (у цену је урачунат и транспорт од поља до објекта). За анализирани објекат је било потребно 350 бала сламе што је 35.000 динара. Да је

објекат грађен од блокова, за изградњу би требало 2500 блокова, што је 100.000 динара.

Бала сламе је и блок и изолација, тако да нема потребе за додатном изолацијом.

Због специфичности материјала, за само зидање могуће је поступак спровести са једним обученим мајстором и неколико неквалификованих радника, па је у томе значајна уштеда на трошковима рада.

У случају градње када су носећи зидови од сламе нема бетонских елемената и нема неопходних технолошких застоја.

Објекат од 100 м<sup>2</sup>, могуће је завршити за три до четири недеље, што може да се мери једино са брзином градње монтажних објеката.

Уштеда на трошковима зидања, изолације, на бетонским елементима и на трошковима радне снаге је око 550.000 динара.

Ако је цена стандардне градње овог типа објекта око 30.000 динара/м<sup>2</sup>, онда је укупна остварена уштеда рачуната на најконзервативнији могући начин 20%. Уз правилан приступ и одговарајуће прописе у току градње је могуће остварити уштеду од 40 до 50% у односу на градњу класичног објекта.

Објекти од сламе задовољавају критеријуме пасивне куће и уз адекватну столарију у Великој Британије је на објектима од сламе прорачуната потрошња енергије од 8 kWh/m<sup>2</sup>. У Београду је у стамбеним зградама грађеним у прошлости потрошња енергије око 100 kWh/m<sup>2</sup> или више, а у добро пројектованим зградама око 65 kWh/m<sup>2</sup>.

Трошкови грејања и хлађења су око 80 евра на годињем нивоу, а за класичну по савременим прописима пројектовану кући 1000 евра.

За животни век од 30 година и објекат од 100 м<sup>2</sup> (не рачунајући цену земљишта и прикључака) уштеда у случају објекта од сламе у односу на конвенционалну индивидуалну стамбену градњу износе од 32 до 42.000 евра (или од 50 до 70%).

У анализи нису третирани трошкови камата, јер кућу од сламе је могуће направити са минималним средствима, а за класичну градњу је неопходно добити



одговарајуће кредите за градњу и тако са додатним трошковима отплате и сервисирања кредита повећати укупне трошкове градње..

Економска анализа иако упрошћења доказује супериорност објеката од бала сламе у односу на класичне објект.

По свим аспектима показује се супериорност објеката од балиране сламе. У наставку је приказан и посебан модел на основу кога је могуће у датим околностима изабрати најприкладнији материјал за изградњу објекта узимајући у обзир и објективне, али и субјективне захтеве будућег корисника објекта. Наиме, ако се објекат од сламе гради у централним зонама радова, трошкови локације, прикључака и дозвола могу да буду и више од сто пута скупљи од самог објекта, тако да је оправдано поставити питање смисла употребе сламе у датом случају. Мисли се на општу оправданост, а наравно да инвеститор не мора увек да буде вођен економским и рационалним разлозима.

## ***7. Моделовање Fuzzy логичког система за избор оптималног грађевинског материјала***

Овај рад анализира могућности примене бала сламе за изградњу објеката. У појединим поглављима анализирана су досадашња искуства, као и одређене групе особина како би се доказало да је примена овог материјала могућа. Од посебног је значаја дефинисати у којим случајевима је балирана слама по свим аспектима оптималан грађевински материјал у датом случају, узимајући у обзир све аспекте примене материјала и посматрајући објекат током читавог експлоатационог периода.

Изградња објекта је инжењерски проблем, али није добро посматрати га само кроз ту призму. Са аспекта инвеститора веома је важна економска димензија, односно како доћи до објекта који ће у свим својим фазама у датим околностима пружати максимум.

Када се доноси одлука о градњи објекта основно је питање од ког материјала га градити. Након израде идејног решења или идејног пројекта могуће је урадити економске анализе и утврдити оптимално решење, али је питање да ли се нека од одлука може донети и на самом почетку процеса и тиме направити додатну уштеду и у времену и у финансијама.

Тим питањем се бавимо већ дуго, покушавајући да сам процес максимално оптимизијемо. Посебно када је реч о објектима од балиране сламе. Инжењерски доказ је једна димензија овог проблема и њиме се доказује применљивост и могућност изградње и експлоатације ових објеката. Са економског аспекта далеко је значајније да ли и у којим случајевима примена балиране сламе рационална и оправдана. А то је могуће утврдити само свеобухватном анализом и проценом свих аспеката у току читавог „животног века“ објекта. Ако се у обзир узму сви елементи који карактеришу процес пројектовања, изградње и експлоатације могуће је дефинисати различите случајеве који одређују који материјал је најрационалније применити.

Процес изградње и експлоатације грађевинског објекта може се поделити у три фазе: фазу припреме, фазу изградње и фазу експлоатације. Свака од ових фаза подразумева доношења одређених одлука и критеријума на основу којих се одлука доноси. Од корисника објекта зависи колико му је која фаза важна и колики утицај има сваки појединачни елемент на коначну одлуку. Крајњи циљ је да се изабере оптималан материјал којим ће се објекат градити.

У припремној фази важно је водити рачуна о трошковима локације, трошковима инфраструктурне опремљености, утицају на животну средину и угрожености материјала. У зависности од избора места на коме се објекат гради зависе трошкови локације, који варирају од екстремно високих на ексклузивним локацијама, до екстремно малих на неким периферним локацијама. Други значајан елемент су трошкови комуналног опремања који могу бити веома високи или екстремно ниски. Јефтина локација може имати удаљену инфраструктуру што може значајно да утиче на крајњу цену. Трећи фактор је утицај на животну средину. Од корисника зависи колики је његов осећај за потребу бриге о животној средини и о месту на коме ће се градити, односно какве ће последице на средину имати објекат. Четврти фактор припремне фазе је могућа угроженост материјала, односно од ког материјала ће се градити и на који начин у припремама за градњу материјал може бити угрожен.

Поступак градње карактерише неколико битних елемената: брзина градње, потреба за стручном радном снагом, доступност материјала и трошкови градње. Брзина градње може бити од значаја градитељу кроз време потребно за реализацију процеса и период до усељавања у објекат. Потреба за стручном радном снагом утиче на много фактора, од цене до избора технологије којом ће се градити. Доступност материјала утиче и на тип градње и на избор пројекта, док трошкови градње могу бити пресудни при одлучивању.

Прве две фазе трају обично неколико година, а период експлоатације за грађевинске објекте некада се мери и вековима. Појединим градитељима посебну важност има утицај на животну средину објекта. Други вазан фактор је квалитет живота у објекту који се користи, односно да ли је од природних материјала, да ли има штетних испарења, какав је ниво заштите од буђи, звучна изолација и др.

Трошкови експлоатације су важан фактор, јер могу значајно променити економску исплативост објекта и драстично повећати трошкове из прве две фазе. Четврти фактор је трајност објекта која је од изузетног значаја, пошто утиче на дужину коришћења објекта.

Неки од поменутих параметара се могу квантификовати, а неки су квалитативног карактера и директно зависе од субјективних преференција власника и корисника објекта који се гради.

У циљу симулације експертског процеса процене изградње и експлоатације грађевинског објекта током којег се врши избор грађевинског материјала пројектова је модуларни fuzzy логички систем са јединственом базом знања помоћу које се доноси одлука о приоритетима грађевинског материјала. Модуларни fuzzy логички систем састоји се из четири модула, при чему прва три модула симулирају процес избора грађевинског материјала у фази припреме, фази изградње и фази експлоатације. Четврти модул акумулира одлуке донете у претходне три фазе и као излаз предлаже кориснику различите преференције за грађевинске материјале. Корисник бира материјал са највећим степеном преференције. За опис критеријума по фазама (модулима) коришћени су fuzzy скупови и fuzzy логика.

Fuzzy скупови и fuzzy логика су коришћени пошто представљају погодан математички апарат за третирање неизвесности и неодређености. Поред тога, широко примењују у процесима подршке доношењу различитих одлука. Посебно је значајно њихово место у превођењу различитих врста неодређености, неизвесности, непрецизности и др. у поље одређености, извесности и прецизности, где се различитим математичким операцијама општи ставови преводе у бројчане вредности. Другим речима, они омогућавају превођење потпуно неструктурираног скупа хеуристичких тврђења изражених речима у алгоритам, заснован на научним принципима [57]. У наредном делу овог поглавља биће представљене основне поставке fuzzy логике и fuzzy логичких система.

## **7.1. Основне поставке fuzzy логике и fuzzy логичких система**

Fuzzy логика се најчешће користи за моделовање сложених система у којима је применом других метода тешко утврдити међузависности које постоје између појединих променљивих. Модели засновани на fuzzy логици састоје се од “**If - Then**” (“**Ако - Онда**”) правила. “**If – Then**” правила међусобно су повезана изразом “**Else**” (“**или**”). Пример алгоритма апроксимативног резоновања представља следећи скуп правила:

**If** Вредност **X** Велика

**Then** Вредност **Y** Мала

Else

**If** Вредност **X** Средња

**Then** Вредност **Y** Средња

Else

**If** Вредност **X** Мала

**Then** Вредност **Y** Велика

Као што видимо из ових једноставних правила вредност излазне променљиве **Y** условљена је вредношћу улазне променљиве **X**. Улазна променљива **X** назива се fuzzy променљивом. До вредности fuzzy променљиве долази се мерењем, посматрањем, и веома често субјективном проценом заснованом на искуству и интуицији.

**Ако** део представља улазно стање (енглески називи разних аутора су: *condition*, *antecedent part* или *premise*). Овде fuzzy пропозиција представља премису.

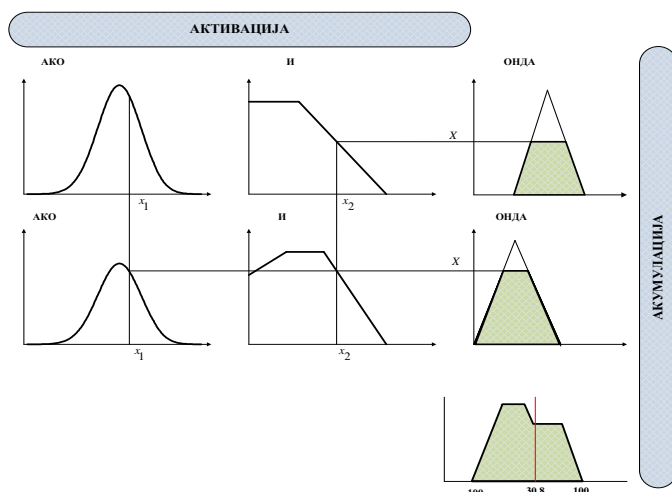
**Онда** део је излазно стање (енглески називи разних аутора су *conclulsion ili consecvent prt*). Fuzzy пропозиција у овом делу представља закључак. Он може да буде у сложеном облику и тада систем има више излазних променљивих.

Већи број правила у којим се речима описује решење неког проблема представља *базу правила или експертска правила*. Због лакшег разумевања правила се пишу у погодном редоследу, мада он суштински није битан. Правила су повезана везником *Или*, који се често не наводи. Поред везника *Или* правила могу да буду повезана и везником *И*.

Апроксимативно резоновање је форма fuzzy логике која садржи скуп правила резоновања чије су премисе fuzzy пропозиције. Према Lotfi Zadeh-у апроксимативно резоновање је облик резоновања које нуди много природнији оквир за људско резоновање од традиционалне двовредносне логике [33].

У реалности најчешће су улазне вредности представљене бројем, при чему се и излазна вредност добија у бројчаном облику. Са друге стране, у fuzzy систему дати систем се описује вербално (квалитативно) преко продукционих правила. Због тога се најпре применом fuzzy логичких операција конвертују (фазификују) бројчане вредности. Након тога их механизам апроксимативног резоновања обрађује у fuzzy систему кроз фазе агрегације, активације и акумулације [33, 36]. Бројчана излазна вредност добија се процесом дефазификације. На слици 7.1 приказан је процес апроксимативног резоновања.

*Агрегација* је фаза у којој се придружују одређене вредности функције припадности измереној бројчаној вредности, односно то је процес којим се утврђује са којим степеном поверења (нивоом истинитости) нека улазна бројчана вредност припада датом fuzzy скупу. Агрегација је еквивалентна фазификацији у случају када постоји само један улаз [33]. На слици 7.1 ова фаза је представљена вертикалном линијом која пресеца улазне fuzzy скупове. На сваком скупу се види са колико истинитости важи свако правило (осенчени део троугла).



Слика 1: Графички приказ процеса апроксимативног резонуања

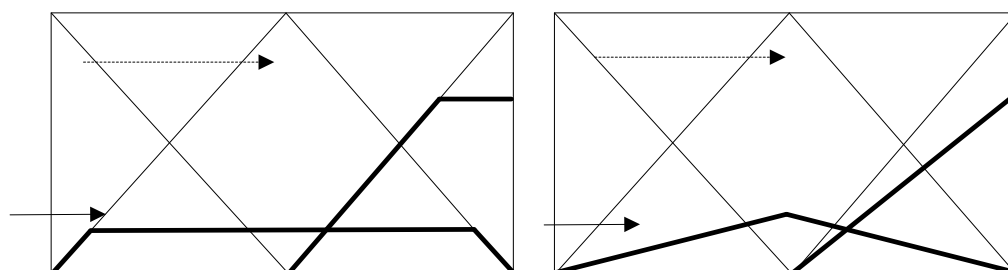
Ако се  $n$  паралелних правила тумаче се помоћу везника „или“, слика 7.1, она могу да се прикажу помоћу fuzzy релације:

$$R = \bigcup_{k=1}^n R_k \quad (1)$$

Функција припадности ове релације приказује се као:

$$\mu_R(x, y) = \bigvee_k \mu_{R_k}(x, y) = \max_k \mu_{R_k}(x, y) = \max_k(\min(\mu_{R_1}(x), \mu_{R_2}(y))) \quad (1)$$

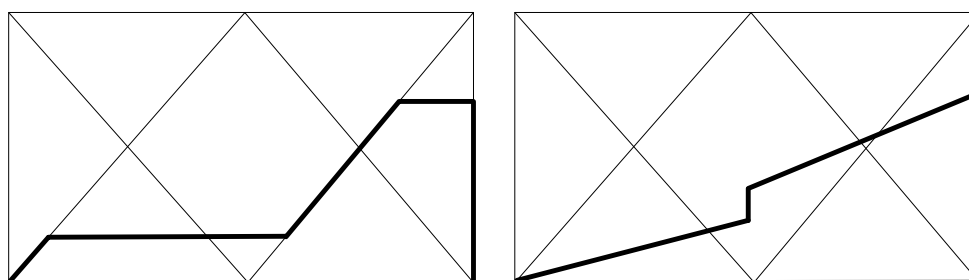
Активација је дедукција конклузије односно закључак који се изводи у **Онда** делу правила. На слици 7.2 осенчени део троугла приказује активирани део fuzzy скупа у излазу. На слици 7.2 приказане су графичке интерпретације две методе активације код методе директног закључивања (Mamdani метод).



Слика 2: Фаза активације (МИН – одсецање, ПРОД – скалирање)

Као што се види на слици 7.2 метода МИН врши одсецање, док метода ПРОД (продукт) врши скалирање - пропорционално смањење. Јасно се види да су активирани само два правила, јер су подебљаном линијом означени само активирани делови троугластих fuzzy скупова. Код те врсте закључивања у обзир се узимају само истините премисе [57]. Потребно је нагласити да су код Mamdani методе у улазу и излазу fuzzy скупови [35]. То је битно због тога што се често користи и друга метода односно Takagi-Sugeno-Kang метода. Она се не разликује битно од осталих метода директног закључивања, али постоји велика разлика у структури fuzzy правила. Разлика је у томе што се у закључку уместо fuzzy скупа налази линеарна функција између улаза и излаза. Најчешће коришћени случај је када су линеарни коефицијенти једнаки нули и тада се добије тип функције припадности познат као синглтон [64].

*Акумулација.* У процесу акумулације све активирани конклузије се акумулирају. Акумулација се најчешће реализује кроз две методе: МАКС и СУМ. Све активирани конклузије се акумулирају на различите начине, а приказана је графичка интерпретација две методе: МАКС и СУМ. На слици 7.3 лево приказана је метода МАКС, по којој се коначни облик добијен као унија два fuzzy скупа са слике 7.2 лево. На слици 7.3 десно приказана је графичка интерпретација акумулације по методи СУМ. Контуре коначног облика се добију као алгебарска сума контуре на слици 7.2 десно. Ако је сума већа од један, онда се она нормира на вредност један.



**Слика 3:** Фаза акумулације (МАКС – унија, СУМ – сума)



Када се наводи тип механизма апроксимативног резоновања, онда се каже да је коришћена метода МИН –МАКС или ПРОД - СУМ.

Алгебарска интерпретација МИН –МАКС и ПРОД – СУМ метода биће приказана на следећем примеру fuzzy правила:

- 1: If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$  Then  $z$  is  $C_1$
- 2: If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$  Then  $z$  is  $C_2$

Ако fuzzy скуп  $C'$  дефинишемо као картезијански производ скупова  $A' \times B'$  добијамо:

$$\begin{aligned} C' &= (A' \times B') \circ [(A_1 \times B_1 \rightarrow C_1) \vee (A_2 \times B_2 \rightarrow C_2)] \\ &= [(A' \times B') \circ (A_1 \times B_1 \rightarrow C_1)] \vee [(A' \times B') \circ (A_2 \times B_2 \rightarrow C_2)] \\ &= \{ [A' \circ (A_1 \rightarrow C_1)] \wedge [B' \circ (B_1 \rightarrow C_1)] \} \vee \{ [A' \circ (A_2 \rightarrow C_2)] \wedge [B' \circ (B_2 \rightarrow C_2)] \} \end{aligned}$$

Према МИН –МАКС методи fuzzy скуп  $C'$  добијамо као:

$$C' = [(A' \wedge B') \circ (A_1 \wedge B_1 \rightarrow C_1)] \vee [(A' \wedge B') \circ (A_2 \wedge B_2 \rightarrow C_2)] \quad (3)$$

Уз задовољење претходно дефинисаног услова акумулација према МИН – МАКС методи добија се као:

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(z) &= \left\{ \bigvee_{x,y} \left[ [\mu_{A'}(x_0) \wedge \mu_{B'}(y_0)] \wedge [\mu_{A_1}(x) \wedge \mu_{B_1}(y) \wedge \mu_{C_1}(z)] \right] \right\} \vee \\ &\quad \left\{ \bigvee_{x,y} \left[ [\mu_{A'}(x_0) \wedge \mu_{B'}(y_0)] \wedge [\mu_{A_2}(x) \wedge \mu_{B_2}(y) \wedge \mu_{C_2}(z)] \right] \right\} \\ &= \left\{ \left[ \bigvee_x [\mu_{A'}(x_0) \wedge \mu_{A_1}(x)] \right] \wedge \left[ \bigvee_y [\mu_{B'}(y_0) \wedge \mu_{B_1}(y)] \right] \wedge \mu_{C_1}(z) \right\} \vee \\ &\quad \left\{ \left[ \bigvee_x [\mu_{A'}(x_0) \wedge \mu_{A_2}(x)] \right] \wedge \left[ \bigvee_y [\mu_{B'}(y_0) \wedge \mu_{B_2}(y)] \right] \wedge \mu_{C_2}(z) \right\} \\ &= [\mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \wedge \mu_{C_1}(z)] \vee [\mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \wedge \mu_{C_2}(z)] \end{aligned}$$

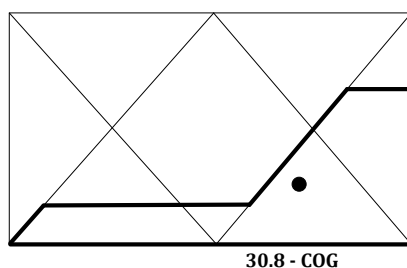
Према ПРОД – СУМ методи fuzzy скуп  $C'$  добијамо као:

$$C' = \{ [A' \circ (A_1 \rightarrow C_1)] \wedge [B' \circ (B_1 \rightarrow C_1)] \} \vee \{ [A' \circ (A_2 \rightarrow C_2)] \wedge [B' \circ (B_2 \rightarrow C_2)] \} \quad (4)$$

Уз задовољење претходно дефинисаног услова акумулација према ПРОД – СУМ методи добија се као:

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(z) &= \left\{ \bigvee_{x,y} \left[ \mu_{A'}(x_0) \cdot (\mu_{A_1}(x) \cdot \mu_{C_1}(z)) \right] \wedge \left[ \mu_{B'}(y_0) \cdot (\mu_{B_1}(y) \cdot \mu_{C_1}(z)) \right] \right\} \vee \\ &\quad \left\{ \bigvee_{x,y} \left[ \mu_{A'}(x_0) \cdot (\mu_{A_2}(x) \cdot \mu_{C_2}(z)) \right] \wedge \left[ \mu_{B'}(y_0) \cdot (\mu_{B_2}(y) \cdot \mu_{C_2}(z)) \right] \right\} \\ &= \left\{ \left[ \mu_{A_1}(x_0) \mu_{C_1}(z) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \mu_{C_1}(z) \right] \vee \left[ \mu_{A_2}(x_0) \mu_{C_2}(z) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \mu_{C_2}(z) \right] \right\} \\ &= \left\{ \left[ \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \right] \mu_{C_1}(z) \right\} \vee \left\{ \left[ \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \right] \mu_{C_2}(z) \right\} \end{aligned}$$

*Дефазификација.* Резултујући fuzzy скуп мора да буде конвертован у реални број. Та операција се зове дефазификација. На слици 7.4 у доњем десном углу видимо подебљану пуну линију која представља број 30.8 на скали од -100 до 100. Резултујући fuzzy скуп је дефазификован у реалан број 30.8.



**Слика 4:** Фаза дефазификације

Fuzzy системе можемо генерално поделити у две велике групе: Mamdani (енгл. Mamdani) и Sugeno или Takagi-Sugeno (енгл. Takagi & Sugeno), а тако и методе дефазификације[47]. У наредном делу следи опис метода дефазификације које су коришћене и у овом истраживању.

Метода тежишта - У литератури се среће још и под називом „центар гравитације“. На енглеском језику ова дефазификациона метода се назива „Centre of Gravity“ – COG, а још и „Centroid of Area“ - COA. У случају дискретног интервала поверења резултат дефазификације се рачуна према:

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x_i) \square x_i}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad (5)$$

где  $\mu(x_i)$  представља fuzzy скуп добијен након фазе акумулације,  $n$  представља број нивоа дискретизације наведеног fuzzy скупа по  $x$ ,  $x_i$  је  $i$ -та дискретна вредност, а  $\mu(x_i)$  фазификована вредност  $x_i$ .

У случају континуалног интервала поверења уместо сумирања врши се интеграљење према:

$$l_{ki} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} \mu_{l_{ki}}(x) \cdot x \, dx}{\int_{x_1}^{x_2} \mu_{l_{ki}}(x) \cdot dx} \quad (6)$$

У случају да fuzzy број има функцију припадности која је описана као:

$$\mu_{C'}(z) = \begin{cases} (z-1)/3 & 1 \leq z < 3 \\ 2/3 & 3 \leq z < 5 \\ (7-z)/3 & 5 \leq z \leq 6 \\ 1/3 & 6 \leq z \leq 8 \\ (9-z)/3 & 8 \leq z < 9 \end{cases} \quad (7)$$

Дефазификација методом центра гравитације (интеграљењем) врши се:

$$\begin{aligned} z &= \frac{\int_1^3 \frac{z-1}{3} z \, dz + \int_3^5 \frac{2}{3} z \, dz + \int_5^6 \frac{7-z}{3} z \, dz + \int_6^8 \frac{1}{3} z \, dz + \int_8^9 \frac{9-z}{3} z \, dz}{\int_1^3 \frac{z-1}{3} dz + \int_3^5 \frac{2}{3} dz + \int_5^6 \frac{7-z}{3} dz + \int_6^8 \frac{1}{3} dz + \int_8^9 \frac{9-z}{3} dz} \\ &= \frac{28/18 + 16/3 + 49/18 + 28/6 + 25/18}{2/3 + 4/3 + 1/2 + 2/3 + 1/6} = 4.7 \end{aligned}$$

Ова метода има веома широку примену. Најозбиљнији недостатак методе COG је велико трајање израчунавања [30].

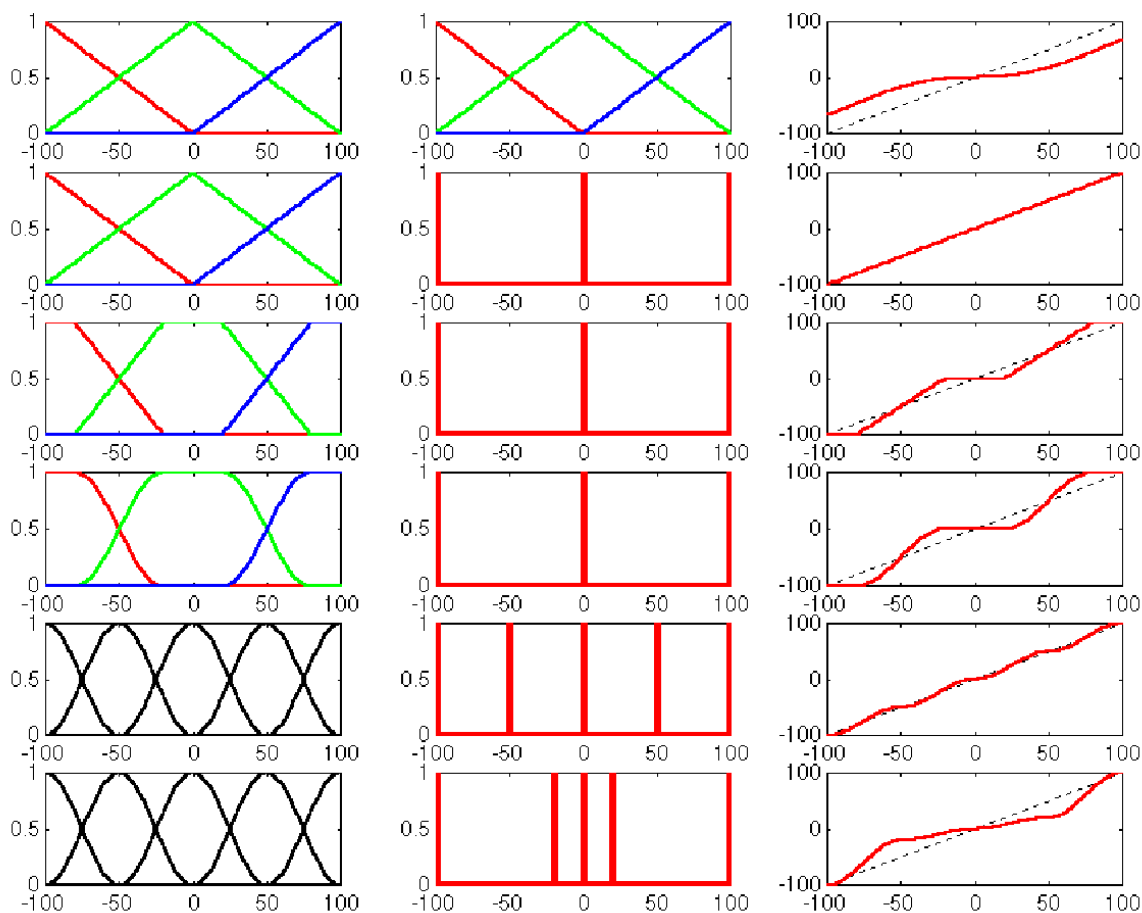
Без улажења у детаље, навешћемо називе још неких често коришћених дефазификационих метода које могу да се нађу у литератури [30,31]: половљење простора (енгл. Bisector of area - BOA), средња вредност максимума (енгл. Mean of maxima - MOM), Највећи максимум на левој страни (енгл. Leftmost maximum - LOM),

највећи максимум на десној страни (енгл. Rightmost maximum - ROM), метода центра сума, метода висина и метода тежинског усредњавања (енгл. Weighted average - WTAV). Претходне методе дефазификације су карактеристичне за тип Mamdani fuzzy система, а за Sugeno fuzzy контролере се користи још и метода тежинске суме (енгл. Weighted sum-WTSUM).

Потребно је имати на уму и то да математички дефазификација представља пресликавање (мапирање) вектора (вредности лингвистичке променљиве) у реалан број. Због тога имамо редукцију информације, јер то пресликавање није јединствено, пошто се различите вредности лингвистичке променљиве могу пресликати у исти дефазификовани реални број. Стога је потребно бити веома обазрив приликом избора методе дефазификације пошто не постоји метода која је оптимална за све случајеве.

*Анализа улазно-излазног пресликавања.* Ова анализа урађена је да би се видело какав утицај дају избор функција припадности и њихов распоред, на облик излаза, односно скупа могућих решења [35]. Зависност једног излаза од једног улаза може се нацртати као граф функције. Анализа графа помаже при одабиру функција припадности и формирању правила. Облик криве на графу се може контролисати до извесног степена манипулацијом функцијама припадности. Да би се то анализирано и појаснило, користиће се случај fuzzy система с једним улазом и једним излазом.

На слици 7.5 посматра се шест различитих случајева. Прва колона представља улаз, друга колона представља излаз, а трећа колона представља графички приказ скупа могућих решења, односно улазно-излазно пресликавање.



Слика 5: Графичка анализа улазно - излазног пресликавања

Резултат зависи од избора параметара, који су у овом случају следећи:

- за активацију је узета операција продукт због тога што је континуирана,
- за акумулацију је узета операција "маx", јер она кореспондира с унијом скупова и
- за дефазификацију је узет метод центра гравитације, пошто је континуиран, недвосмислен и он дегенерира у COGS у случају да је излаз синглтон.

Посматраћемо први ред на слици 7.5. Приказани су троугласти облици функција припадности fuzzy скупова и у премиси и у закључку ( у АКО - делу и у ОНДА – делу). Они као резултат дају таласаст график. Незнатан проблем с тим системом представља чињеница да он не може користити пун излазни опсег. Значи, није могуће управљати излазом 100 %.

Посматрањем другог реда уочавамо да су троугласти облици функција припадности fuzzy скупова у премиси, док је у закључку синглтон излаз. Синглтон излаз, као што се види на скупу могућих решења, елиминише проблем са излазним опсегом, односно график је линеаран.

Посматра се трећи ред. Трапезоидални, односно равни улазни fuzzy скуп продукује равни плато, што значи да систем у том делу не реагује тј. остаје инертан. Повећањем ширине средњег дела функције припадности fuzzy скупа добије се шири плато око референтне вредности. Мањи преклопи између суседних fuzzy скупова резултује у излазу стрмије косине.

Посматрањем четвртог реда уочава се да, ако оштри углови проузрокују проблеме, онда се могу уклонити увођењем нелинеарних улазних fuzzy скупова. У наведеном примеру приказане су звонасте функције припадности улазне променљиве.

На слици 7.5 у петом реду, даље се може видети да додавањем више нелинеарних fuzzy скупова који покривају улазни интервал поверења, пресликавање постаје испупченије. Са друге стране, види се у шестом реду да је са више fuzzy скупова једноставније развући референтни плато померањем синглтона ближе средини.

Из ове анализе може да се уочи да је један од великих проблема при изради fuzzy система, подешавање параметара fuzzy правила у сврху добијања жељеног излаза. Тешко је дефинисати општу процедуру помоћу које се подешавање може извести. Методе подешавања су различите и зависе од природе проблема.

Други велики проблем, а који се иначе у процесу израде fuzzy система појављује пре проблема подешавања, јесте да не постоји стандардна и систематична метода за трансформацију експертског знања или искуства у експертска fuzzy правила. Такође, не постоји ни општа процедура за избор оптималног броја правила, пошто многи фактори утичу на такву одлуку. Мора се узети у обзир да је тешко наћи експерта који поседује систематско знање, пошто је оно чешће некомплетно и епизодично [64].

Модели засновани на fuzzy логици најчешће захтевају више итерација. У првом кораку се дефинише скуп правила и одговарајуће функције припадности. По

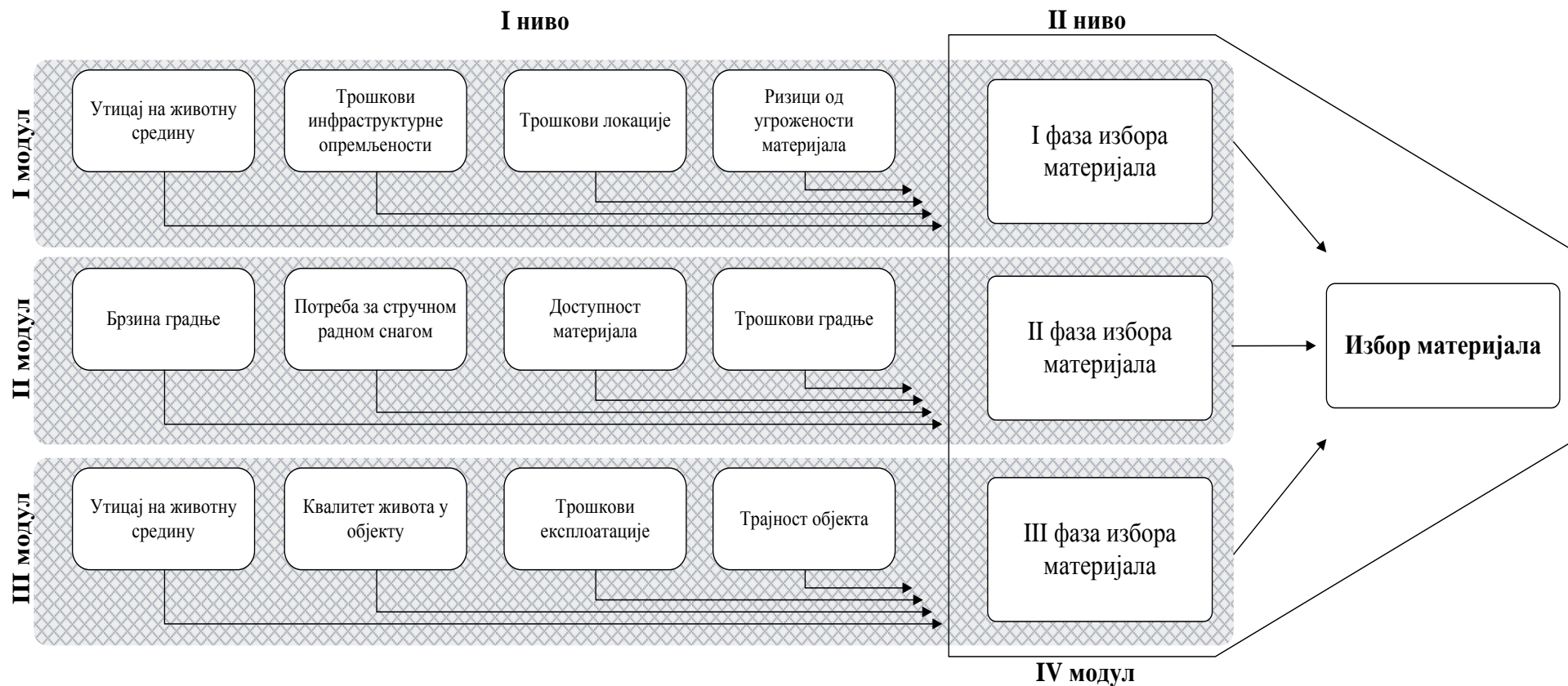
сагледавању добијених резултата врши се, уколико је то потребно, корекција појединих правила и/или функција припадности. Потом се модификованим правилима и/или функцијама припадности модел поново тестира.

## ***7.2. Fuzzy логички систем за избор грађевинског материјала***

На основу описаног концепта створене су основе да се дати систем међузависности улазних критеријума моделује као сложени fuzzy систем за избор грађевинског материјала (Слика 7.6). Основни концепт модела састоји се из четири модула који су хијерархијски организовани на два нивоа, слика 7.6. Излазна величина у моделу представља меру приоритета материјала при чему сваком од посматраних материјала (слама, дрво, опека и бетон-челик) додељује одређену вредност критеријумске функције, на основу чега корисник система бира материјал за градњу.

Сложени fuzzy систем је замишљен тако да фактори који су излазни на једном (нижем) нивоу (I ниво), представљају улазе на вишем нивоу (II ниво). На слици 7.6 види се да на први модул првог нивоа (I фаза избора материјала) утичу фактори: Утицај на животну средину, Трошкови инфраструктурне опремљености, Трошкови локације и Ризици од угрожености материјала. Слично је и са факторима II модула и III модула првог нивоа.

На други модул првог нивоа (II фаза избора материјала) утичу фактори: Брзина градње, Потреба за стручном радном снагом, Доступност материјала и промелива Трошкови градње, док на трећи модул првог нивоа (III фаза избора материјала) утичу фактори: Утицај на животну средину, Квалитет живота у објекту, Трошкови експлоатације и промелива Трајност објекта. На модул другог нивоа Избор материјала (II ниво) утичу фактори: I фаза избора материјала, II фаза избора материјала и III фаза избора материјала.



Слика 6: Приказ општег модела fuzzy система за избор грађевинског материјала



Моделовање fuzzy логичког система за избор грађевинског материјала извршено је кроз неколико фаза које су сличне фазама општег моделовања: дизајн система, оптимизација и примена. У fuzzy логици фазе моделовања система обухватају:

- Анализа проблема,
- Дефинисање лингвистичких вредности,
- Избор функција припадности,
- Формирање базе правила,
- Избор метода закључивања и дефазификације,
- Примена fuzzy модела.

У наредном делу рада fuzzy модел за избор грађевинског материјала биће детаљно објашњен кроз наведене фазе.

### ***7.2.1. Анализа проблема***

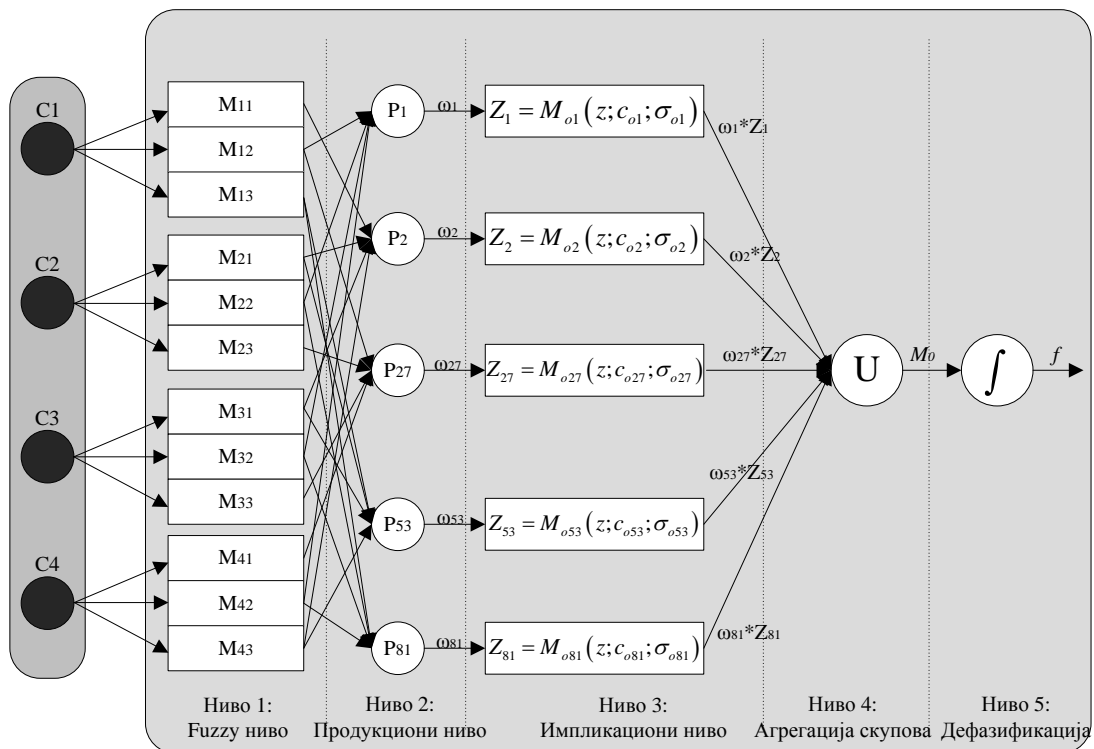
Моделовање fuzzy логичког система започиње детаљном анализом проблема како би се одредио број променљивих и њихова међузависност. Уколико је проблем комплексан, погодно је систем поделити на више мањих модула, одредити циљ и намену сваког подсистема, затим начин повезивања модула, па онда приоритете.

Пошто се овде ради о комплексном моделу који се реализује кроз три фазе при чему свака фаза садржи по четири критеријума моделовање оваквог система подељено је на три подсистема (модула). Подела на модуле извршена је због чињенице да човек приликом пројектовања сложених система добро манипулише са максимално седам променљивих [50]. Тиме је проблем сведен на три подсистема који у свом саставу имају по четири променљиве.

Fuzzy логички систем за избор грађевинског материјала састоји се од три модула првог нивоа и једног модула другог нивоа. Сви модули првог нивоа имају по четири улазне променљиве и једну излазну променљиву (слика 7.7), док модул другог нивоа има три улазне и четири излазне променљиве (слика 7.7). Улазне променљиве

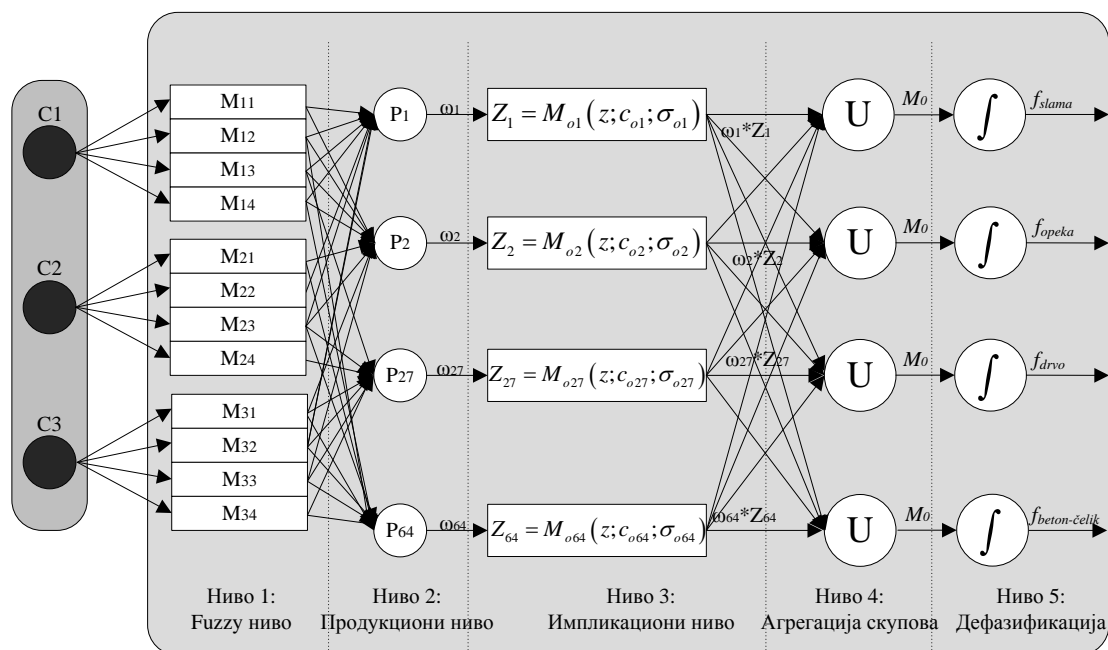
модула првог нивоа представљају критеријуми на основу којих се у оквиру I, II и III фазе врши избор материјала.

На слици 7.7 приказан је fuzzy систем првог нивоа са четири улазне fuzzy променљиве и једном излазном променљивом. Свака улазна променљива описана је са три лингвистичке варијабле, док је излазна променљива описана са четири лингвистичке варијабле.



Слика 7: Приказ општег модела fuzzy система првог нивоа (I модул, II модул и III модул)

На слици 7.8 приказан је fuzzy систем другог нивоа са три улазне fuzzy променљиве и четири излазне променљиве. Свака улазна променљива описана је са четири лингвистичке варијабле, док су излазне променљиве описане са три лингвистичке варијабле.



Слика 8: Приказ општег модела fuzzy система другог нивоа (IV модул)

### 7.2.2. Дефинисање лингвистичких вредности

Лингвистичка променљива, као што се и назире из њеног назива, узима вредности из језика. Те вредности могу да буду речи или реченице говорног језика или вештачки синтетизовани изрази. Лингвистичке променљиве су представљене помоћу fuzzy скупова. Сваки модул првог нивоа (I модул, II модул и III модул) састоји од четири улазне лингвистичке променљиве:

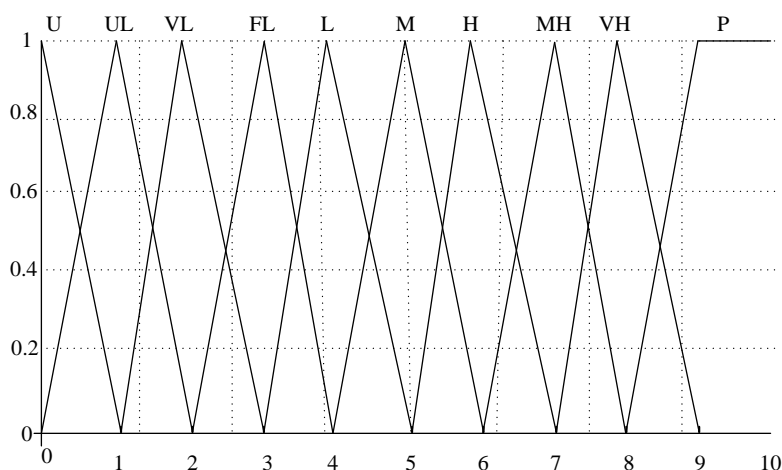
- I модул (I фаза избора материјала) чине улазне лингвистичке променљиве Утицај на животну средину, Трошкови инфраструктурне опремљености, Трошкови локације и променљива Ризици од угрожености материјала;
- II модул (II фаза избора материјала) чине улазне лингвистичке променљиве Брзина градње, Потреба за стручном радном снагом, Доступност материјала и променљива Трошкови градње;

- III модул (III фаза избора материјала) чине улазне лингвистичке променљиве Утицај на животну средину, Квалитет живота у објекту, Трошкови експлоатације и променљива Трајност објекта.

Модул другог нивоа Избор материјала чине три улазне лингвистичке променљиве које уједно представљају излазне променљиве сваког од модула првог нивоа. Четири излазне променљиве модула другог нивоа представљају грађевинске материјале који се бирају (слама, дрво, опека и бетон-челик).

Вредности улазних променљивих описане су скупом лингвистичких дескриптора  $S = \{l_1, l_2, \dots, l_i\}, i \in H = \{0, \dots, T\}$ , где је  $T$  укупан број лингвистичких дескриптора. Лингвистичке варијабле су представљене троугластим fuzzy бројем који је дефинисан као  $(\alpha, \beta, \gamma)$ , где  $\beta$  представљају вредност у којој функција припадности fuzzy броја има максималну вредност тј. вредност 1.0. Вредности  $\alpha$  и  $\beta$  представљају леву и десну дистрибуцију функције припадности од вредности у којој функција припадности достиже максималну вредност.

Број лингвистичких дескриптора, слика 7.9, је  $T = 10$ : „небитно“ (unessential – U), „небитно мало“ (unessential low – UL), „врло мало“ (very low – VL), „прилично мало“ (fairly low – FL), „мало“ (low – L), „средње“ (medium – M), „велико“ (high – H), „средње велико“ (medium high – MH), „врло велико“ (very high – VH) и „савршено“ (perfect – P).



Слика 9: Графички приказ лингвистичких дескриптора

Дакле, скуп  $S$  лингвистичких дескриптора представљен је као:

$$S = \{l_1 = U, l_2 = UL, l_3 = VL, l_4 = FL, l_5 = L, l_6 = M, l_7 = H, l_8 = MH, l_9 = VH, l_{10} = P\} \quad (3.110)$$

Функције припадности fuzzy лингвистичких дескриптора  $l_{ki}$  ( $i = \overline{1, T}, k = \overline{1, T}, T = 9$ ) дефинишу се као:

$$\mu_{l_U} = \begin{cases} 0, & 0 < x \\ 1-x & 0 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{l_{UL}} = \begin{cases} x, & 0 \leq x \leq 1 \\ 2-x, & 1 \leq x \leq 2 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{l_{VL}} = \begin{cases} x-1, & 1 \leq x \leq 2 \\ 3-x, & 2 \leq x \leq 3 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_{l_{FL}} = \begin{cases} x-2, & 2 \leq x \leq 3 \\ 4-x, & 3 \leq x \leq 4 \end{cases} \quad (11)$$

$$\mu_{l_L} = \begin{cases} x-3, & 3 \leq x \leq 4 \\ 5-x, & 4 \leq x \leq 5 \end{cases} \quad (12)$$

$$\mu_{l_M} = \begin{cases} x-4, & 4 \leq x \leq 5 \\ 6-x, & 5 \leq x \leq 6 \end{cases} \quad (13)$$

$$\mu_{l_H} = \begin{cases} x-5, & 5 \leq x \leq 6 \\ 7-x, & 6 \leq x \leq 7 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_{l_{MH}} = \begin{cases} x-6, & 6 \leq x \leq 7 \\ 8-x, & 7 \leq x \leq 8 \end{cases} \quad (15)$$

$$\mu_{l_{VH}} = \begin{cases} x-7, & 7 \leq x \leq 8 \\ 9-x, & 8 \leq x \leq 9 \end{cases} \quad (16)$$

$$\mu_{l_P} = \begin{cases} x-8, & 8 \leq x \leq 9 \\ 1, & x > 9 \end{cases} \quad (17)$$

Након добијања лингвистичких вредности улазних променљивих врши се дефазификација fuzzy бројева за сваки посматрани критеријум. Дефазификација лингвистичких дескриптора врши се применом израза (53).

$$g_{\alpha,\beta}(\tilde{l}) = [\beta \sqcap f_{\alpha}(l_{k_1}) + (1-\beta) \sqcap f_{\alpha}(l_{k_3})], \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (18)$$

где је  $f_{\alpha}(l_{k_3}) = l_{k_3} - (l_{k_3} - l_{k_2}) \sqcap \alpha$  десна граница интервала поверења fuzzy броја  $\tilde{l}$ , док  $f_{\alpha}(l_{k_1}) = (l_{k_2} - l_{k_1}) \sqcap \alpha + l_{k_1}$  представља леву границу интервала поверења fuzzy броја  $\tilde{l}$ . Вредност  $\alpha$ , ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) представља преференцију доносиоца одлуке, док вредност  $\beta$ , ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) представља песимистички индекс доносиоца одлуке.

У овом истраживању опсег интервала поверења за сваку улазну променљиву је нормиран као бројчани интервал од 1 до 10. Након одређивања интервала поверења улазних променљивих потребно одредити број и тип функција припадности. Већи број функција припадности утиче на повећање броја правила што може отежати подешавање система, зато се препоручује, у складу са природом променљиве, да се почне са најмањим бројем функција припадности. Смањење броја функција припадности не сме да утиче на квалитет описа променљиве. Полазећи од наведених поставки дефинисано је да у моделу свака улазна променљива првог нивоа има по три функције припадности, док излазне променљиве првог нивоа имају по четири функције припадности.

Као што смо већ нагласили, улазне променљиве другог нивоа представљају уједно излазне променљиве првог нивоа. Из тога произишли да је свака улазна променљива другог нивоа описана са по четири функције припадности. Свака од четири излазне променљиве другог нивоа описана је са по три функције припадности.

Улазне променљиве и излазна променљива првог модула првог нивоа описане су следећим лингвистичким изразима - fuzzy скуповима:

- Улазна променљива Утицај на животну средину описана је преко лингвистичких израза Мали утицај на ЖС, Средњи утицај на ЖС и Велики утицај на ЖС;

- Улазна променљива Трошкови инфраструктурне опремљености описана је преко лингвистичких израза Мали трошкови ИО, Средњи трошкови ИО и Велики трошкови ИО;
- Улазна променљива Трошкови локације описана је преко лингвистичких израза Мали трошкови локације, Средњи трошкови локације и Велики трошкови локације;
- Улазна променљива Ризици од угрожености материјала описана је преко лингвистичких израза Мали ризици од УМ, Средњи ризици од УМ и Велики ризици од УМ.
- Излазна променљива *I фаза избора материјала* описана је преко лингвистичких израза *Слама, Дрво, Опека, и Бетон-челик.*

Улазне променљиве и излазна променљива другог модула првог нивоа описане су следећим лингвистичким изразима - fuzzy скуповима:

- Улазна променљива Брзина градње описана преко лингвистичких израза Мала брзина грање, Средња брзина грање и Велика брзина грање ;
- Улазна променљива Потреба за стручном радном снагом описана је преко лингвистичких израза Мала потреба за СРС, Средња потреба за СРС и Велика потреба за СРС;
- Улазна променљива Доступност материјала описана је преко лингвистичких израза Мала доступност, Средња доступност и Велика доступност;
- Улазна променљива *Трошкови градње* описана је преко лингвистичких израза *Мали трошкови, Средњи трошкови и Велики трошкови;*
- Излазна променљива *II фаза избора материјала* описана је преко лингвистичких израза *Слама, Дрво, Опека, и Бетон-челик.*

Улазне променљиве и излазна променљива трећег модула првог нивоа описане су следећим лингвистичким изразима - fuzzy скуповима:

- Улазна променљива Утицај на животну средину описана је преко лингвистичких израза Мали утицај на ЖС, Средњи утицај на ЖС и Велики утицај на ЖС;

- Улазна променљива Квалитет живота у објекту описана је преко лингвистичких израза Слаб квалитет ЖуО, Средњи квалитет ЖуО и Дobar квалитет ЖуО;
- Улазна променљива Трошкови експлоатације описана је преко лингвистичких израза Мали трошкови експлоатације, Средњи трошкови експлоатације и Велики трошкови експлоатације;
- Улазна променљива Трајност објекта описана је преко лингвистичких израза Мала трајност објекта, Средња трајност објекта и Велика трајност објекта;
- Излазна променљива *III фаза избора материјала* описана је преко лингвистичких израза *Слама, Дрво, Опека, и Бетон-челик.*

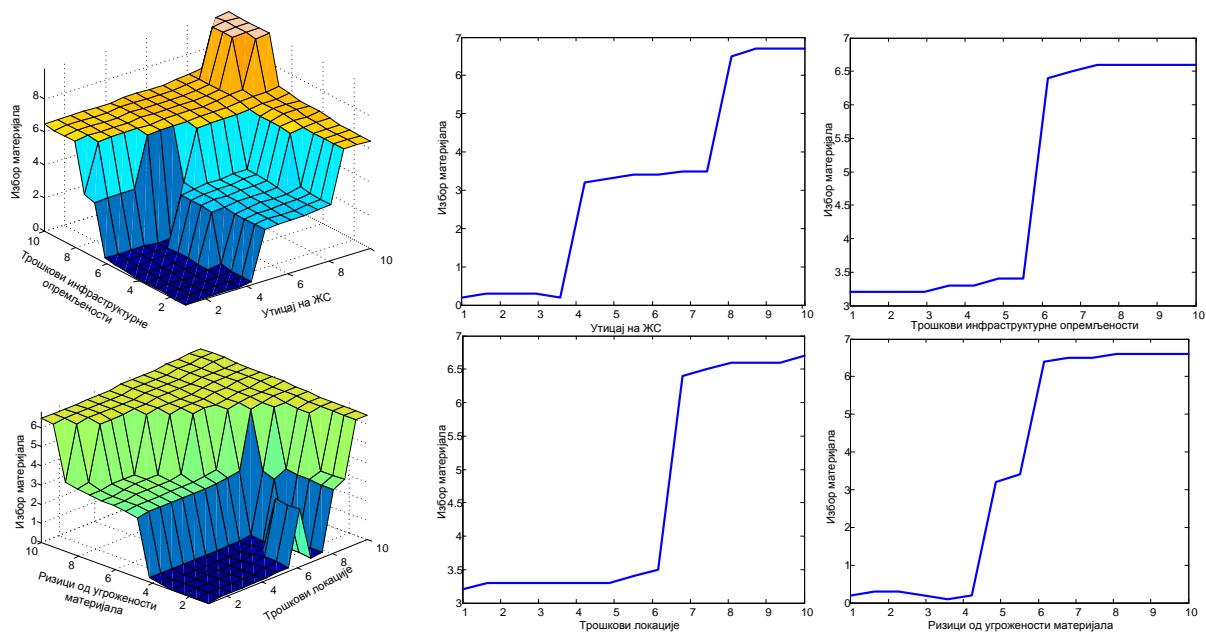
Пошто лингвистичке променљиве излазних променљивих модула првог нивоа представљају улазне променљиве модула другог нивоа нећемо их наводити, пошто су у претходном делу објашњене. Излазне променљиве модула другог нивоа представљају грађевинске материјале који се бирају и описане су лингвистичким изразима - fuzzy скуповима *Мало, Средње и Велико.*

Већи број лингвистичких варијабли није био потребан пошто се ради о организационом систему, који нема захтеве за енормном прецизношћу као fuzzy системи код аутоматског управљања. Са три односно четири лингвистичке вредности постигнута је задовољавајућа прецизност система и постепеност приликом промена излазних вредности. Са друге стране, тиме је и број правила максимизиран на 81.

### ***7.2.3. Избор функција припадности***

Избор функција припадности и њиховог распона на интервалу поверења је веома битна фаза. У почетној фази пројектовања система као функције припадности изабране су троугаоне функције. Међутим њиховим подешавањем није омогућена довољна прецизност и осетљивост система. На слици 7.10 приказана је осетљивост првог модула првог нивоа са троугаоним функцијама припадности.

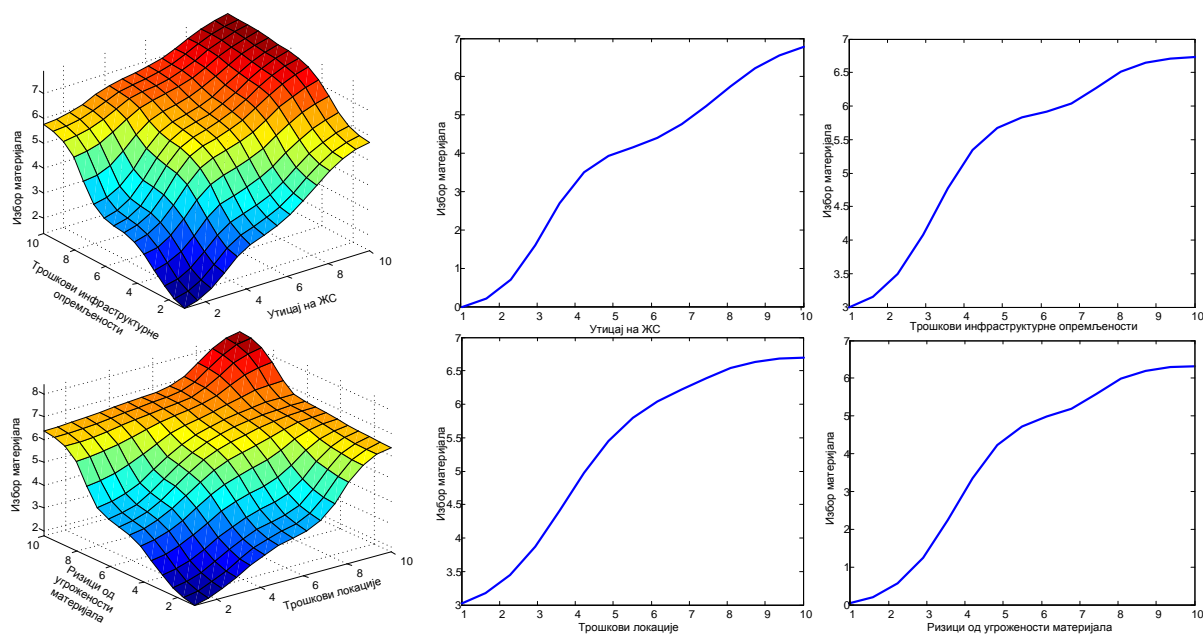




Слика 10: Осетљивост првог модула првог нивоа са троугаоним функцијама припадности

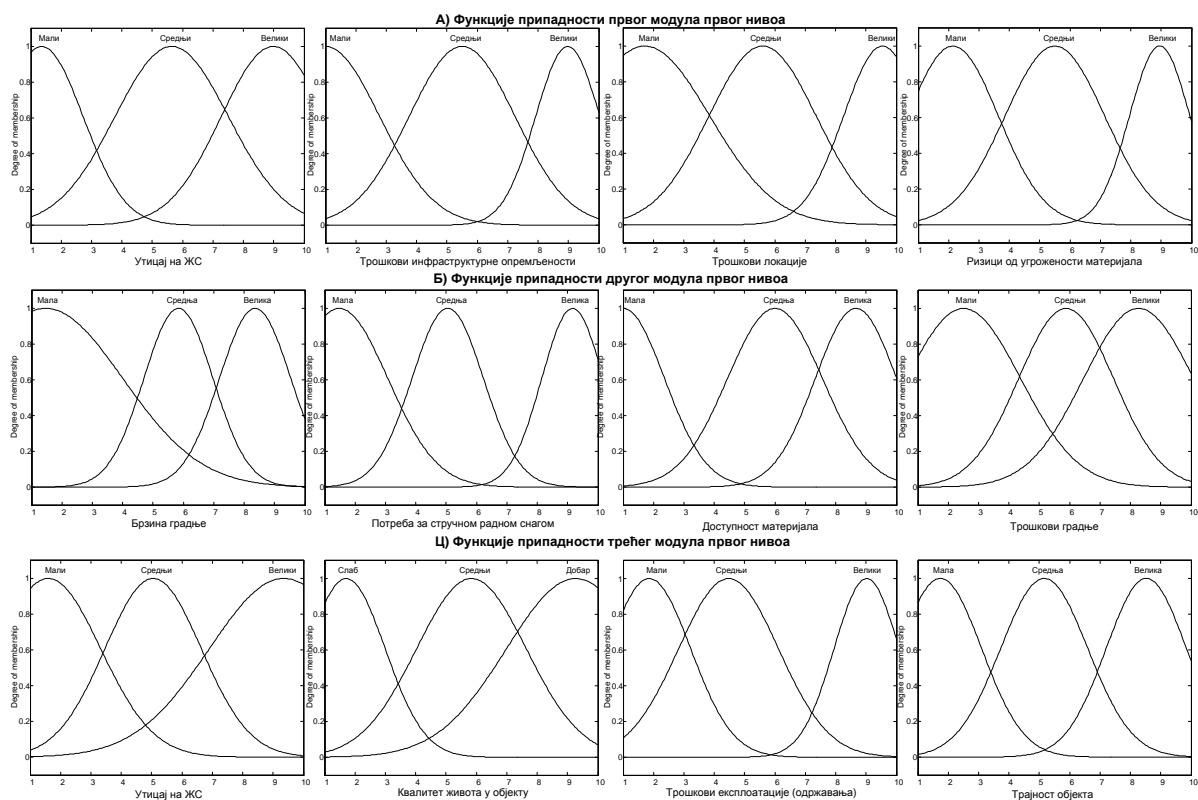
На слици 7.10 уочавамо делове интервала поверења излазне променљиве (равни делови дијаграма) на којима је fuzzy модел неосетљив и потпуно инертан. Поред тога, идентификовани су делови интервала поверења у којима fuzzy за мале промене улазних вредности даје велике промене излаза (стрми делови дијаграма).

У наредној фази подешавања система у fuzzy систему коришћене су гаусове криве. Гаусове функције омогућиле су добар опис улазних и излазних променљивих модула првог и другог нивоа и обезбедиле су задовољавајућу осетљивост система. Осетљивост првог модула првог нивоа са гаусовим функцијама припадности приказана је на слици 7.11. Анализа осетљивости другог и трећег модула првог нивоа приказана је на слици П1 (Прилог 1).

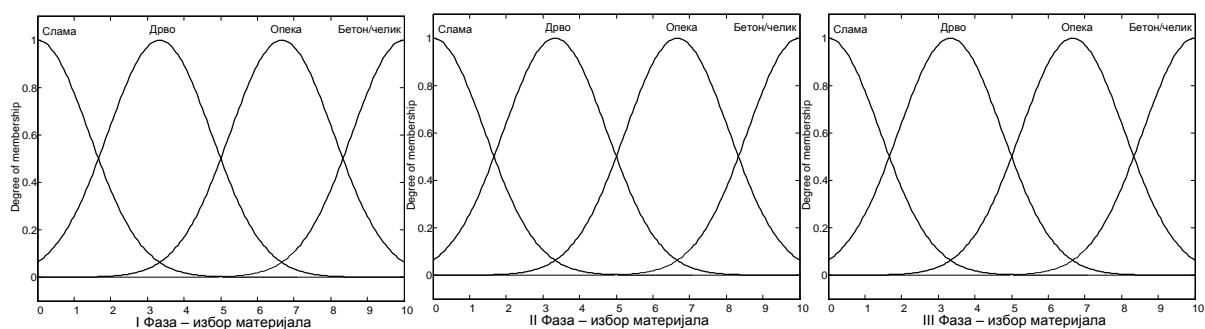


Слика 11: Осетљивост првог модула првог нивоа са гаусовим функцијама припадности

На слици 7.11 уочавамо да је систем на свим деловима интервала поверења осетљив и да гаусове функције обезбеђују задовољавајућу постепеност излаза. На слици 7.12 и 7.13 приказане су функције припадности улазних и излазних променљивих модула првог нивоа.



Слика 12: Функције припадности улазних променљивих модула првог нивоа



Слика 13: Функције припадности улазних променљивих модула другог нивоа

У табели 7.2 приказани су параметри функција припадности улазних и излазних променљивих модула првог нивоа. Први број представља леву и десну дистрибуцију (дисперзију) гаусове криве дуж апсцисе, а други број представља вредност у којој гаусова функција има вредност на апсцисној оси 1.

Табела 1: *Параметри функција припадности модула првог нивоа*

Функција припадности (ФП)	ФП 1	ФП 2	ФП 3	ФП 3
<b>Први модул првог нивоа</b>				
Утицај на ЖС	[1.368 1.357]	[1.872 5.64]	[1.715 8.983]	-
Трошкови ИО	[1.789 1]	[1.75 5.5]	[1.062 8.979]	-
Трошкови локације	[2.151 1.715]	[1.773 5.595]	[1.287 9.547]	-
Ризици од УМ	[1.503 2.143]	[1.648 5.5]	[0.999 8.952]	-
I фаза	[1.416 0]	[1.416 3.333]	[1.416 6.667]	[1.416 10]
<b>Други модул првог нивоа</b>				
Брзина градње	[2.555 1.455]	[1.143 5.836]	[1.179 8.362]	-
Потреба за СРС	[1.607 1.476]	[1.181 5.05]	[1.018 9.163]	-
Доступност	[1.365 1]	[1.566 6]	[1.341 8.666]	-
Трошкови градње	[1.888 2.503]	[1.566 5.881]	[1.818 8.269]	-
II фаза	[1.416 0]	[1.416 3.333]	[1.416 6.667]	[1.416 10]
<b>Трећи модул првог нивоа</b>				
Утицај на ЖС	[1.729 1.595]	[1.589 5.05]	[2.453 9.352]	-
Квалитет живота у	[1.287 1.711]	[1.809 5.835]	[2.275 9.262]	-
Трошкови	[1.368 1.857]	[1.647 4.47]	[1.078 9.019]	-
Трајност објекта	[1.365 1.738]	[1.44 5.161]	[1.325 8.524]	-
II фаза	[1.416 0]	[1.416 3.333]	[1.416 6.667]	[1.416 10]

Параметри функција припадности излазне променљиве првог нивоа приказани су у табели 7.2. Пошто се ради о fuzzy логичком систему Sugeno типа функције припадности описане су константом која је јединствена за једну карактеристичну тачку интервала поверења, док за остале тачке интервала износи нула.

Табела 2: *Параметри функција припадности модула другог нивоа*

Функција припадности (ФП)	ФП 1	ФП 2	ФП 3
Слама	25	65	100
Дрво	35	65	100
Опека	35	65	100
Бетон-челик	25	65	100

#### **7.2.4. Формирање базе правила**

Као спона између улаза и излаза модула fuzzy система користе се лингвистичка правила. Знање експерта о процесу може се изразити помоћу одређеног броја лингвистичких правила која се састоје од речи говорног или вештачког језика. Када се ради о сложеним системима, један од великих проблема јесте да не постоји стандардна и систематична метода за трансформацију инжењерског знања или искуства у fuzzy правила [1]. Такође не постоји ни општа процедура за избор оптималног броја правила, пошто многи фактори утичу на такву одлуку, а то је веома важно за брзину рада система [2].

Познавалац проблема своје знање преноси у fuzzy логички систем (ФЛС) преко продукционих правила. На почетку је битно да за сваку комбинацију улазних вредности лингвистичких варијабли, експерт предложи одговарајуће излазне вредности. Као што смо већ нагласили, за сваки модул постоје четири улазне лингвистичке променљиве ( $n = 4$ ), које су описане са по три лингвистичке вредности - функције припадности ( $M = 3$ ) и могу да се комбинују у бази са укупно  $M^n = 3^4 = 81$  правила. То би значило да би у нашем моделу сваки модул првог нивоа имао по 81 правило (укупно 243 правила), док би модул другог нивоа имао  $M^n = 3^3 = 27$  правила. Овако велики број правила подразумевао би готово сигурну појаву неконзистентности у неком од правила, а тиме би било онемогућено подешавање система. Зато је за израду базе правила и редукацију броја правила коришћен нов приступ у изради базе правила ФЛС - метода агрегације тежина премиса правила (АТПП) [3].

У литератури постоје бројне методе за израду базе правила ФЛС-а из познатог скупа нумеричких података. Ове методе обрађене су у [37, 58, 70]. Међутим, израда базе правила ФЛС заснованог на искуству и интуицији представља доста сложенији процес. Како би израдио базу правила, аналитичар је принуђен да одржава дугу комуникацију са великим бројем експерата из области коју истражује. Карактеристике овакве базе правила зависе од броја и квалитета експерата, али и од способности аналитичара да формулише њихову стратегију одлучивања. Због специфичности модела за избор грађевинског материјала за израду базе правила коришћена је АТПП метода. Математичка формулација АТПП методе приказана је у наредном делу рада.

Основу ФЛС-а представљају улазно-излазне променљиве које се могу приказати као уређени парови:

$$\left(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}; y^{(1)}\right), \left(x_1^{(1)}, \dots, x_n^{(2)}; y^{(2)}\right), \dots, \left(x_1^{(p)}, \dots, x_n^{(q)}; y^{(d)}\right) \quad (19)$$

где  $x_1^{(p)}, \dots, x_n^{(q)}$  представљају функције припадности улазних променљивих  $X_1, \dots, X_n$ , а  $y^{(1)}, y^{(2)}$  и  $y^{(d)}$  представљају функције припадности излазне променљиве  $Y$ .

База правила представља везу између улазних ( $X_i$ ) и излазне ( $Y$ ) променљивих ФЛС-а. Fuzzy логички систем користи базу правила (применом улазно-излазног пресликавања fuzzy скупова) за добијање излазних вредности

$$f : (X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow Y \quad (20)$$

*Корак 1: Одређивање тежинских коефицијената улазних променљивих ФЛС-а.* Означимо са  $X_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) скуп улазних променљивих ФЛС-а и са  $x_i^{(i)}$ ,  $i=1,\dots,m$ , функције припадности улазне променљиве ФЛС-а (где  $m$  представља број функција припадности). Означимо са  $Y$  излазну променљиву ФЛС-а и са  $y^{(i)}$ ,  $i=1,\dots,d$ , функције припадности излазне променљиве ФЛС-а (где  $d$  представља укупан број функција припадности).

Тежински коефицијент ( $g_{X_i}$ ) улазне променљиве  $X_i$  добија се формирањем матрице  $w$  у којој су приказане агрегације одлука експерата  $E_g$  ( $g=1,2,\dots,k$ ) који су

учествовали у истраживању. Матрица  $W$  добија се након поређења у паровима критеријума. Сваки ред матрице  $W$  представља агрегацију одлука појединачног експерта који је учествовао у истраживању.

$$W = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ E_1 & \left( \begin{matrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ E_2 & \begin{matrix} w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ E_k & \begin{matrix} w_{k1} & w_{k2} & \dots & w_{kn} \end{matrix} \end{matrix} \right) \end{matrix} \quad (21)$$

Тежински коефицијенати добијају се применом аритметичких операција које су објашњене у наредном делу. Сумирање вредности по редовима матрице  $W$  врши се применом израза

$$Xw_k = \sum_{k=1}^m w_{kn} = \left( \sum_{k=1}^m w_{kn}^l(r), \sum_{k=1}^m w_{kn}^u(r) \right), k = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

Нормализација сумираних вредности по редовима врши се применом израза

$$g_{x_i} = \frac{Xw_n}{\sum_{k=1}^n Xw_k} = \left( \frac{\sum_{k=1}^m w_{kn}^l(r)}{\sum_{k=1}^m \sum_{n=1}^b w_{kn}^l(r)}, \frac{\sum_{k=1}^m w_{kn}^u(r)}{\sum_{k=1}^m \sum_{n=1}^b w_{kn}^u(r)} \right), k = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

Дефазификација лингвистичких дескриптора врши се применом израза:

$$g_{\alpha, \beta}(L) = [\beta \square f_{\alpha}(l_1) + (1-\beta) \square f_{\alpha}(l_3)], 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (24)$$

где је  $f_{\alpha}(l_3) = l_3 - (l_3 - l_2) \square \alpha$  функција која представља леву дистрибуцију интервала поверења fuzzy броја  $L$  док је  $f_{\alpha}(l_1) = (l_2 - l_1) \square \alpha + l_1$  функција која представља десну дистрибуцију интервала поверења fuzzy броја  $L$ . Вредност  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) представља степен уверености доносиоца одлуке у истинитост датог тврђења, док вредност  $\beta$  ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) представља песимистички индекс доносиоца одлуке. Степен

неизвесности је највећи када је вредност  $\alpha = 0$ , док са друге стране вредност  $\beta = 0$  представља оптимистички индекс доносиоца одлуке.

У место приказаног поступка, у оквиру првог корака, могуће је користити и неке друге методе за одређивање тежина критеријума. Велики број тих метода може се пронаћи у [51, 52, 53].

*Корак 2: Одређивању врсте (типа) и броја функција припадности улазно-излазних променљивих ФЛС-а.* Након добијања тежинских коефицијената улазних променљивих ФЛС-а ( $g_{x_i}$ ,  $i=1, \dots, n$ , где  $n$  представља број улазних променљивих) приступа се одређивању врсте и броја функција припадности улазних ( $X_i$ ) и излазне ( $Y$ ) променљиве. За све улазне/излазне променљиве ФЛС-а, поред типа функција припадности, потребно је одредити и број функција припадности. Већи број функција припадности захтева повећање броја правила у бази. Међутим, већи број правила отежава подешавање система. Зато се препоручује да се, у складу са природом променљивих, почне са најмањим бројем функција припадности. Међутим, смањење броја функција припадности не сме да има за последицу непотпун опис улазне променљиве.

Након дефинисања врсте и броја функција припадности улазних ( $X_i$ ) и излазне ( $Y$ ) променљиве приступа се одређивању интервала поверења функција припадности

$$x_1^{(1)}, x_1^{(2)}, \dots, x_1^{(i)} \in [x_1^-, x_1^+]; x_2^{(1)}, x_2^{(2)}, \dots, x_2^{(j)} \in [x_2^-, x_2^+]; \dots, x_m^{(1)}, x_m^{(2)}, \dots, x_m^{(k)} \in [x_m^-, x_m^+] \quad (25)$$

$$y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(i)} \in [y^-, y^+] \quad (26)$$

*Корак 3. Одређивање тежинских коефицијената функција припадности улазних променљивих.* Означимо са  $w_{x_i}^{(i)}$ ,  $i=1, \dots, m$ , (где  $m$  представља укупан број функција припадности улазне променљиве  $X_i$ ) тежинске коефицијенте функција припадности улазних променљивих уз услов да је

$$\sum_{j=1}^m w_{x_i}^{(j)} = g_{x_i} \quad (27)$$



Најчешће се  $w_{x_i}^{(i)}$  одређује на основу субјективне процене експерта који моделира ФЛС. Међутим, поред субјективне процене  $w_{x_i}^{(i)}$  може да се одреди и групним одлучивањем и агрегацијом одлука експерата. Расподела тежинских коефицијената функција припадности треба да у што већој мери одсликава реалност. Она може бити равномерна и неравномерна.

*Корак 4. Генерисање почетне ("непотпуне") базе правила са максималним бројем комбинација улазно-излазних парова.  $N$  улазних ( $X_i$ ) променљивих и излазна променљива ( $Y$ ), су описане са различитим бројем функција припадности. Полазећи од тога потребно је одредити максималан број правила тј. максималан број комбинација ( $c$ ) којима могу да се комбинују функције припадности. Почетна база правила садржи само премисе ("иф" део правила) односно комбинације свих функција припадности улазних променљивих ФЛС-а ( $x_i^{(i)}$ ). Конклузије правила ("тхен" део правила) биће дефинисане у наредном кораку. Почетна ("непотпуна") база правила  $R$  приказује се у матричној форми*

$$R = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ \begin{matrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_c \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_1^{(1)} & x_2^{(1)} & \dots & x_n^{(1)} \\ x_1^{(2)} & x_2^{(1)} & \dots & x_n^{(2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_1^{(m)} & x_2^{(m)} & \dots & x_n^{(m)} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (28)$$

Укупан број правила зависи од броја функција припадности улазних променљивих и рачуна се према изразу:

$$B_p = \prod_{i=1}^n k_{x_i} \quad (29)$$

где  $B_p$  представља број правила, а  $k_{x_i}$  представља број функција припадности за сваку улазну променљиву ( $X_i$ ).

*Корак 5. Генерисање "потпуне" базе правила - Додељивање одговарајућих конклузија ( $y_i^{(i)}$ ) премисама  $x_i^{(i)}$ . Генерисање "потпуне" базе правила отпочети*

конструисањем матрице  $R'$  у којој се комбинације улазних парова (израз 1) замењују тежинским коефицијентима ( $w_{x_i}^{(i)}$ )

$$R' = \begin{pmatrix} w_{x_1}^{(1)} & w_{x_2}^{(1)} & w_{x_3}^{(1)} & \dots & w_{x_n}^{(1)} \\ w_{x_1}^{(2)} & w_{x_2}^{(2)} & w_{x_3}^{(2)} & \dots & w_{x_n}^{(2)} \\ w_{x_1}^{(3)} & w_{x_2}^{(3)} & w_{x_3}^{(3)} & \dots & w_{x_n}^{(3)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{x_1}^{(m)} & w_{x_2}^{(m)} & w_{x_3}^{(m)} & \dots & w_{x_n}^{(m)} \end{pmatrix} \quad (30)$$

Након конструсања матрице  $R'$  сумирају се елементи матрице по редовима

$$w_y = \sum_{i=1}^n w_{x_i}^{(i)} \square y^+, y^+ \in [y^-, y^+] \quad (31)$$

где  $y^+$  представља горњу границу интервала поверења  $[y^-, y^+]$  излазне променљиве  $Y$ .

Даље је потребно одредити степен припадности реалног броја (црисп валуе)  $w_y$  функцији припадности ( $y^{(i)}$ ) излазне променљиве  $Y$

$$y^{(i)} = \max(w_y \cap \mu_{y^{(i)}}) \quad (32)$$

*Корак 6. Оптимизација броја правила (елиминисање сувишних правила).*  
Приликом генерисања базе правила потребно је да се сваком пару функција припадности ( $x_i^{(i)}$ ) улазних променљивих ( $X_i$ ) придружи одговарајућа функција припадности ( $y^{(i)}$ ) излазне променљиве ( $Y$ ). Након конструисања базе правила приступа се елиминисању сувишних правила која непотребно оптерећују систем. Елиминисање сувишних правила врши се у случајевима када постоје два или више правила која имају сличне или исте комбинације функција припадности улазних/излазних променљивих. У оваквим ситуацијама оставља се оно правило чији је збир тежинских коефицијената функција припадности (садржаних у правилу) највећи:

$$R = \max\left(\sum w_{x_R}^{(i)}\right), i = 1, 2, \dots, n \quad (33)$$

где  $w_{x_r}^{(i)}$  представља тежински коефицијент функција припадности које су садржане у правилу  $R$ .

Након примене АТПП методе редукован је коначан број правила на првом нивоу модела са 243 на 122 правила, што по модулу износи око 40 правила. Елиминисано је 121 непродуктивно правило. На другом нивоу редукован је број правила са 27 на 17.

Пример четири правила I модула првог нивоа гласи:

**IF** (Утицај на животну средину is Средњи) **AND** (Трошкови инфраструктурне опремљености is Велики) **AND** (Трошкови локације is Мали трошкови) **AND** (Ризици од угрожености материјала is Велики) **THEN** (Избор материјала is Опека)

**IF** (Утицај на животну средину is Мали) **AND** (Трошкови инфраструктурне опремљености is Мали) **AND** (Трошкови локације is Велики) **AND** (Ризици од угрожености материјала is Средњи) **THEN** (Избор материјала is Дрво)

**IF** (Утицај на животну средину is Мали) **AND** (Трошкови инфраструктурне опремљености is Мали) **AND** (Трошкови локације is Средњи) **AND** (Ризици од угрожености материјала is Мали) **THEN** (Избор материјала is Слама)

**IF** (Утицај на животну средину is Велики) **AND** (Трошкови инфраструктурне опремљености is Средњи) **AND** (Трошкови локације is Средњи) **AND** (Ризици од угрожености материјала is Средњи) **THEN** (Избор материјала is Бетон/челик)

Уносом бројчаних вредности у fuzzy системе активирају само одређена правила која у својим премисама садрже функције које пресеца фазификована вредност која је унета у ФЛС.

### **7.2.5. Избор метода закључивања и дефазификације**

Најчешће се користе *МИН-МАКС* и *ПРОД-СУМ* методе директног закључивања код Mamdani типа ФЛС-а. У почетној фази развоја система коришћен је *ПРОД-СУМ* метод директног закључивања. Овај метод је уобичајен избор у случају

када није битно да се управља читавим интервалом поверења излазне променљиве. Међутим, у великом броју симулација модела показало се да је *ПРОД-СУМ* метод у овом случају неподесан. Један од основних захтева било је постизање задовољавајуће осетљивости система. То значи да при одређеним малим променама улаза, излаз из fuzzy система мора да има такође мале промене вредности, што применом методе *ПРОД-СУМ* није било могуће постићи.

Подешавањима није могао да се добије жељени облик излазне критеријумске функције ФЛС-а. Када би се то и постигло, то би вредело само за одређене вредности улазних променљивих. Изменом параметара критеријумска функција би изгледала још мање прихватљива, а самим тим систем би био још мање осетљив. На неким местима где треба да се добије пад вредности функције, добијао би се раст. Зато је изабран метод *МИН-МАКС*, као најпогоднији, од могућих које нуди програмски пакет Matlab. Избором методе *МИН-МАКС* и подешавањем функција припадности решења су добила прихватљив облик, који је и усвојен.

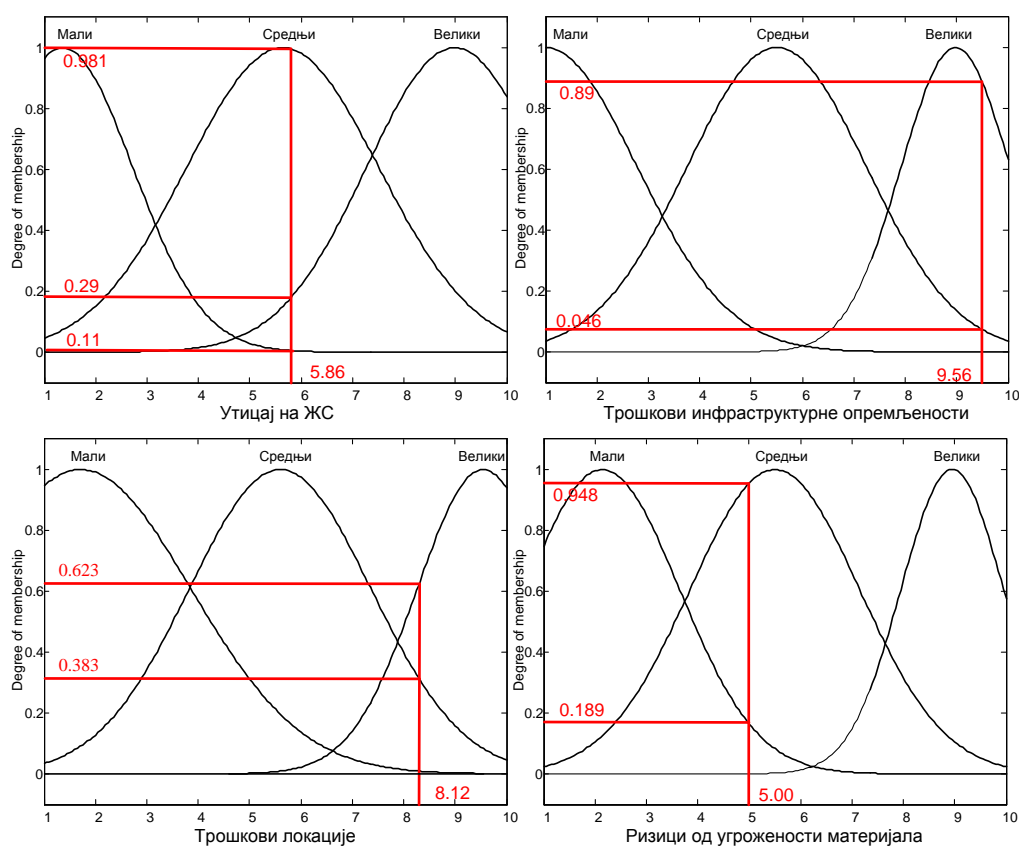
Основна разлика између метода *МИН-МАКС* и *ПРОД-СУМ* састоји се у томе што се у фази активације fuzzy правила по методи *МИН-МАКС* врши одсецање, односно узимају се у обзир само активирани делови fuzzy скупова, док се по методи *ПРОД-СУМ* врши скалирање – пропорционално смањење. Као што је објашњено у претходном делу рада активирани конклузије се по методи *МАКС* акумулирају као унија два fuzzy скупа, док се контуре акумулације по методи *СУМ* добију као алгебарска сума. Ако је сума већа од један онда се она нормира на један.

Поступак закључивања се, у fuzzy модулима одвија тако што се на самом почетку вредности улазних променљивих фазификују. У оквиру процеса фазификације, функције припадности дефинисане за улазне променљиве примењују се на стварну вредност улазне променљиве, са циљем да се одреди степен припадности за премису сваког од правила из базе. Поступак фазификације улазних вредности fuzzy модула биће објашњен на примеру првог модула првог нивоа.

Узећемо пример да је улазна променљива првог модула првог нивоа *Утицај на животну средину* описана лингвистичким дескриптором VH (Very high), *Трошкови*

инфраструктурне опремљености описана лингвистичким дескриптором Р (Perfect), Трошкови локације описани лингвистичким дескриптором МН (Medium High) и Ризици од угрожености материјала описани лингвистичким дескриптором М (Medium), експертски систем, након добијања ових вредности, врши анализу у складу са претходно дефинисаним графицима, који представљају функције припадности појединих променљивих (Слика 7.14). Свака променљива се састоји од три fuzzy скупа и сврха фазификације је да се свакој улазној променљивој одреди коме fuzzy скупу "припада", као и да ту припадност исказе бројчаном вредношћу у домену [0.1].

Фазификацијом вредности Утицај на животну средину добијају се вредности припадности променљивој Утицај на животну средину које су приказане на слици 7.14.



Слика 14: Фазификација улазних променљивих првог модула првог нивоа

Фазификација улазних променљивих другог и трећег модула првог нивоа и fuzzy модула другог нивоа врши се на исти начин, па нећемо детаљније да улазимо у објашњење фазификације улазних променљивих осталих fuzzy модула.

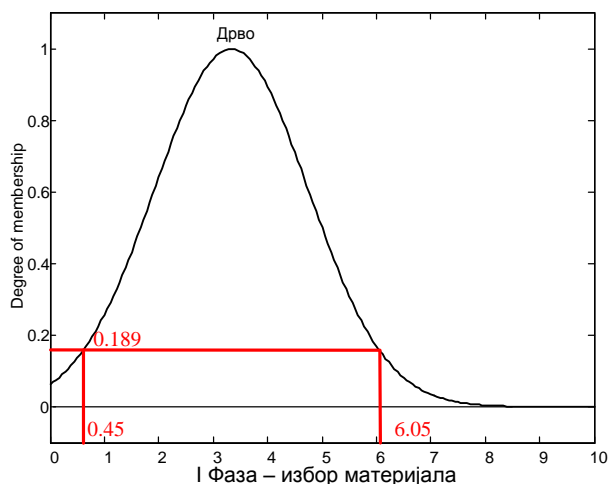
Након фазификације улазних вредности следи анализа вредности и њихово упоређивање са скуповима премиса правила из базе правила. У поменутом примеру анализом је утврђено да су активирана правила 2, 8, 10 и 13. Свако правило даје свој међурезултат који се може представити одговарајућим fuzzy скупом.

Правило број 2 је прво које се извршава: "**IF** (Утицај на животну средину is **Средњи**) ^ (Трошкови инфраструктурне опремљености is **Велики**) ^ (Трошкови локације is **Мали трошкови**) ^ (Ризици од угрожености материјала is **Мали**) **THEN** (Избор материјала is **Дрво**). На слици 7.14 уочава се да се дефазификацијом лингвистичког дескриптора Н (High) добија реалан број 5.86, којем је у оквиру fuzzy скупа Средњи Утицај на животну средину одговара вредност 0.981. Такође, са слике 7.14 уочава се да:

- ако су *Трошкови инфраструктурне опремљености* представљени лингвистичким дескриптором Р (Perfect), дефазификацијом лингвистичког дескриптора добија се вредност 9.56, којој у оквиру fuzzy скупа *Велика Стручност* одговара вредност 0.89 ,
- ако су *Трошкови локације* представљени лингвистичким дескриптором МН (Medium High), дефазификацијом лингвистичког дескриптора добија се вредност 8.12, којој у оквиру fuzzy скупа *Средњи Трошкови локације* одговара вредност 0.383,
- ако су *Ризици од угрожености материјала* представљени лингвистичким дескриптором М (Medium), дефазификацијом лингвистичког дескриптора добија се вредност 5.00, којој у оквиру fuzzy скупа *Мали Ризици од угрожености материјала* одговара вредност 0.189.

Пошто се између антецедената правила користи оператор "и" (^), да би сва четири услова била задовољена узима се мања вредност односно пресек fuzzy скупова,

а то је у овом примеру 0.189. Тако добијена вредност се преноси на fuzzy скуп који представља закључак. У конкретном примеру fuzzy скуп *Дрво* је могући одговор. Тако добијен међурезултат је графички приказан на слици 7.15.

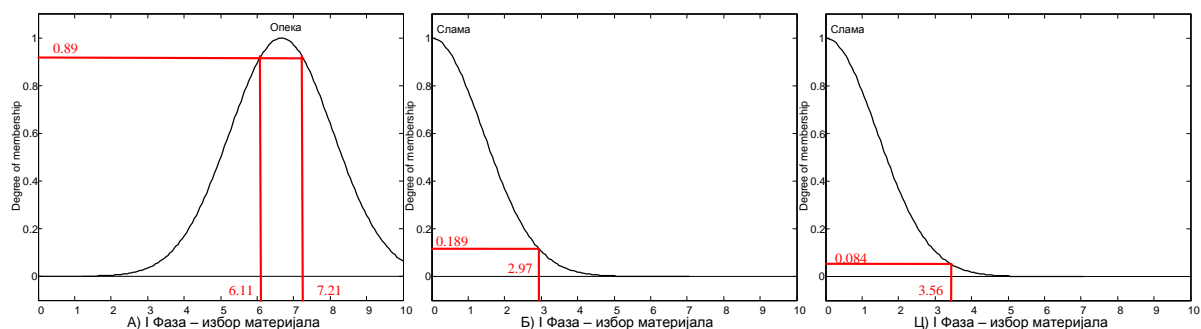


**Слика 15:** Графички приказ међурезултата након извршавања правила број 2

Друго по реду се извршава правило под редним бројем 8: "IF Утицај на животну средину is **Средњи** ^ Трошкови инфраструктурне опремљености is **Велики** ^ Трошкови локације is **Мали** ^ Ризици од угрожености материјала is **Средњи** THEN Избор материјала is **Опека**". Међурезултат након извршавања овог правила дат је fuzzy скупом на слици 7.16а.

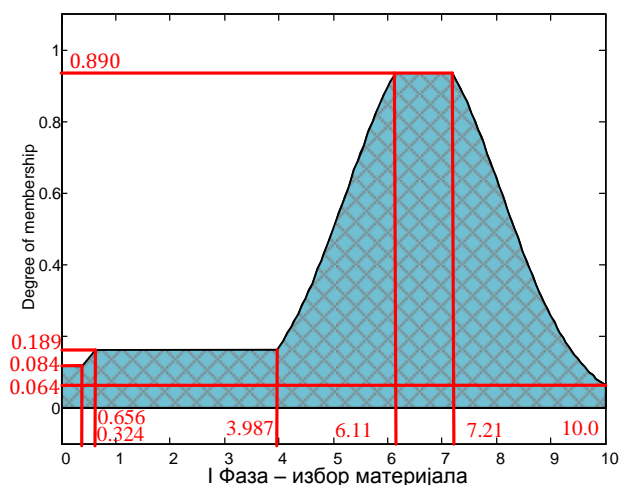
Треће по реду се извршава правило под редним бројем 10: "IF Утицај на животну средину is **Средњи** ^ Трошкови инфраструктурне опремљености is **Велики** ^ Трошкови локације is **Мали** ^ Ризици од угрожености материјала is **Мали** THEN Избор материјала is **Слама**". Међурезултат након извршавања овог правила дат је fuzzy скупом на слици 7.16б.

Четврто по реду се извршава правило под редним бројем 13. Ово правило гласи "IF Утицај на животну средину is **Мало** ^ Трошкови инфраструктурне опремљености is **Средњи** ^ Трошкови локације is **Мали** ^ Ризици од угрожености материјала is **Мали** THEN Избор материјала is **Слама**". Међурезултат након извршавања овог правила дат је fuzzy скупом на слици 7.16ц.



Слика 16: Графички приказ међурезултата након извршавања правила 8, 10 и 13

На међурезултате примењује се операција уније fuzzy скупова и том приликом се добија резултујући fuzzy скуп који је уједно и резултат закључивања првом модулу првог нивоа. Када применимо операцију уније скупова на fuzzy скупове са слике 7.16 добијамо резултујући fuzzy скуп који је приказан на слици 7.17.



Слика 17: Графички приказ резултујућег fuzzy скупа

За методу дефазификације изабрана је метода центра гравитације, као уобичајена и погодна за израду овог fuzzy система, јер осигурава потребну континуираност и постепеност излаза. Применом наведене методе дефазификације добијамо коначну вредност критеријумске функције првог модула првог нивоа:

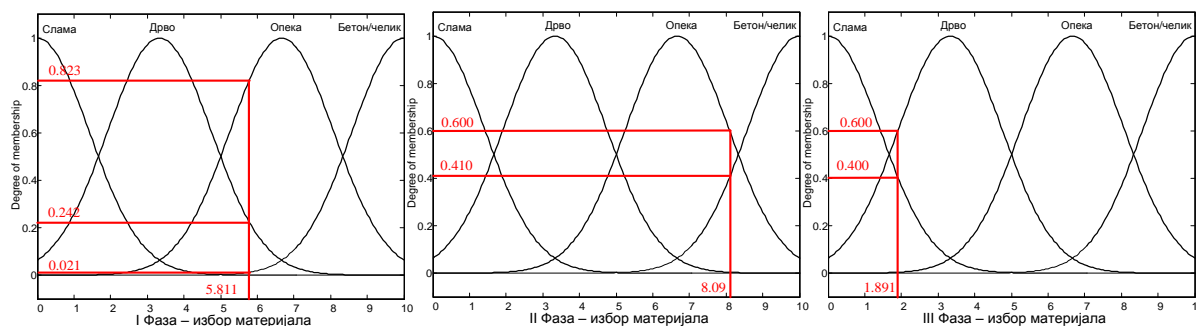


$$u = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} = \frac{0.084 \cdot 0.324 + 0.189 \cdot 0.656 + 0.189 \cdot 3.987 + 0.890 \cdot 6.11 + 0.890 \cdot 7.21 + 0.064 \cdot 10}{0.084 + 0.189 + 0.189 + 0.890 + 0.890 + 0.064}$$

$$u = 5.811$$

На исти начин добијају се резултујући fuzzy скупови преостала два модула првог нивоа. За разлику од модула првог нивоа који садрже ФЛС типа Mamdani, fuzzy модул другог нивоа развијен је као Sugeno тип ФЛС-а. Пошто се ради о специфичном ФЛС-у и резултујућем модулу у којем се врши коначан избор грађевинског материјала, у наредном делу биће приказан процес фазификације улазних вредности модула другог нивоа и избор материјала за градњу.

Вредности добијене дефазификацијом резултујућих fuzzy скупова модула првог нивоа представљају улазне податке који треба да се фазификују у модулу другог нивоа. Фазификација улазних података модула другог нивоа приказан је на слици 7.18.



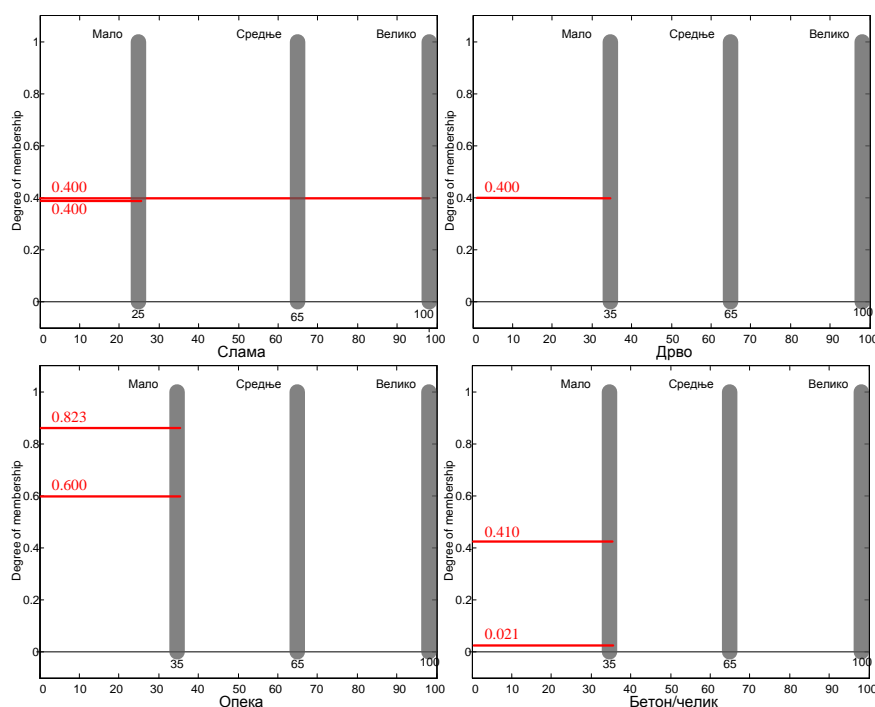
Слика 18: Фазификација улазних променљивих модула другог нивоа - резултујући ФЛС

Након фазификације улазних вредности, као и у претходном примеру, следи анализа вредности и њихово упоређивање са скуповима премиса правила из базе правила. Анализом је утврђено да су активирана правила 1, 12 и 17. Свако правило даје свој међурезултат који се може представити одговарајућим fuzzy скупом.

Прво по реду се извршава правило под редним бројем 1: "IF I фаза is *Слама* ^ II фаза is *Слама* ^ III фаза is *Слама* THEN Слама is *Врло велико*". Међурезултат након извршавања овог правила дат је fuzzy скупом на слици 7.19а.

Друго по реду се извршава правило под редним бројем 10: "IF I фаза is *Бетон/челик* ^ II фаза is *Опека* ^ III фаза is *Слама* THEN Слама is *Мало* ^ Опека is *Мало* ^ Бетон/челик is *Мало*". Међурезултат након извршавања овог правила дат је fuzzy скупом на слици 7.19б.

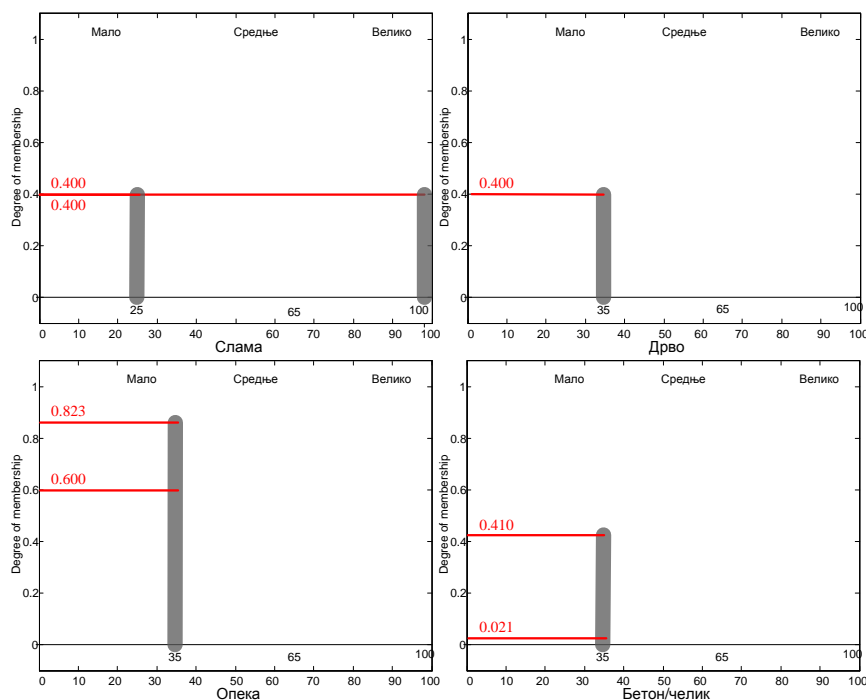
Треће по реду се извршава правило под редним бројем 13. Ово правило гласи "IF I фаза is *Опека* ^ II фаза is *Бетон/челик* ^ III фаза is *Дрво* THEN Дрво is *Мало* ^ Опека is *Мало* ^ Бетон/челик is *Мало*". Међурезултат након извршавања овог правила дат је fuzzy скупом на слици 7.19ц.



Слика 19: Графички приказ међурезултата након извршавања правила 1, 12 и 17

На међурезултате примењује се операција уније fuzzy скупова и том приликом се добија резултујући fuzzy скуп који је уједно и резултат закључивања модулу другог

нивоа. Када применимо операцију уније скупова на fuzzy скупове са слике 7.16 добијамо резултујући fuzzy скуп који је приказан на слици 7.19.



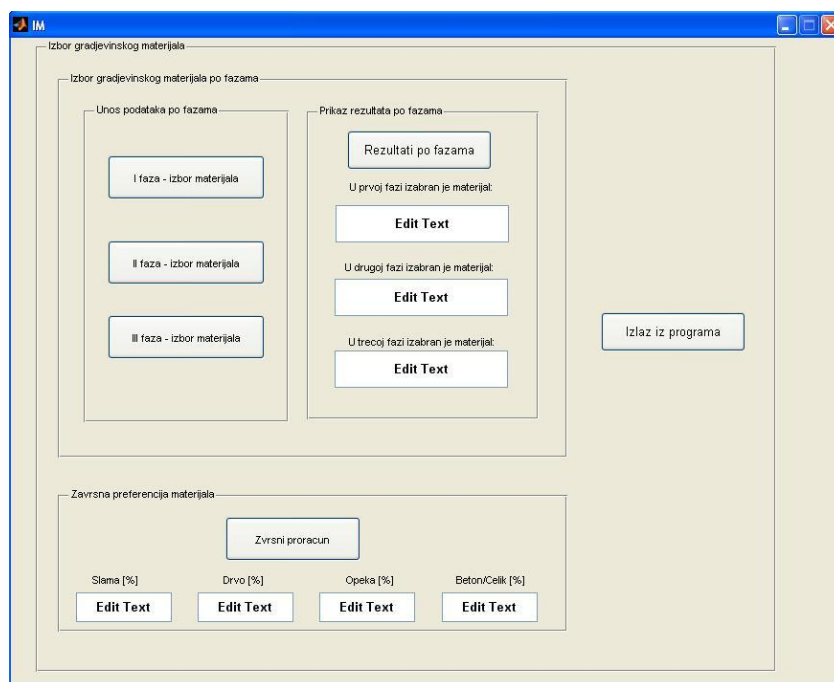
Слика 20: Графички приказ резултујућих fuzzy скупова по материјалим

За методу дефазификације, као и у модулима првог нивоа, изабрана је метода центра гравитације, јер осигурава потребну континуираност и постепеност излаза. Применом наведене методе дефазификације добијамо коначне вредности преференција према грађевинским материјалима. У наведеном примру бира се грађевински материјал Опека пошто има највећи индекс спреференције који износи

$$Опека = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} = \frac{0.823 \cdot 35 + 0.600 \cdot 35}{0.35 + 0.35} = 71.15 \%$$

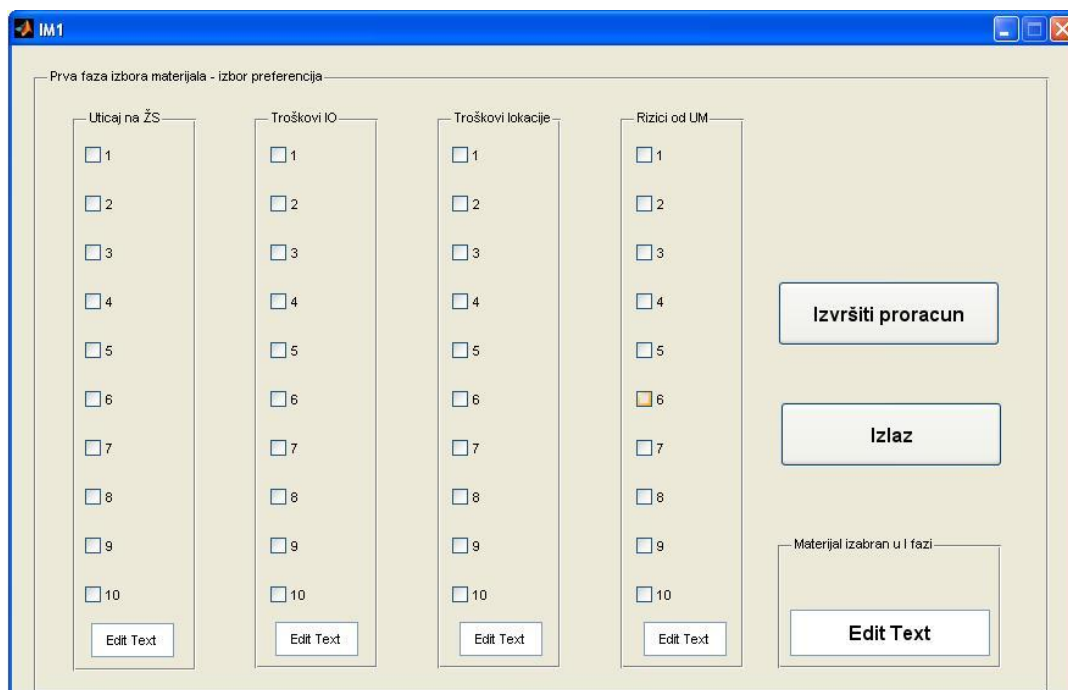
### 7.2.6. Примена fuzzy модела

Овај корак је логична фаза у животном циклусу модела. Модел треба применити и по потреби опет извршити одређене корекције, измене или побољшања. За приказани модел развијен је корисничка форма у програмском пакету Matlab. Уношењем "ИМ" у командну линију програмског пакета Matlab покреће се кориснички програм за избор грађевинског материјала (Слика 7.21).



Слика 21: Кориснички програм за избор грађевинског материјала

Активирањем програмског тастера *I фаза - избор материјала* покреће се fuzzy модул првог нивоа и унесе се вредности критеријума првог модула. Вредности критеријума су нормиране на интервал 1 - 10. Корисник за сваки критеријум бира одређену бројчану вредност коју софтвер додељује одговарајућем улазном критеријуму критеријуму ФЛС-а (Слика 7.22).



Слика 22: Унос података у први модул првог нивоа

Притиском на програмски тастер *Извршити прорачун* добијамо предлог грађевинског материјала који је изабран у I фази избора материјала. Избор материјала врши се на основу пресека fuzzy скупова у првом модулу првог нивоа:

```
a=evalin('base','ulaz1');
```

```
b=evalin('base','ulaz2');
```

```
c=evalin('base','ulaz3');
```

```
d=evalin('base','ulaz4');
```

```
e=readfis('Ifaza.fis');
```

```
f1=evalfis([a b c d],e);
```

```
assignin('base','f1',f1),
```

```
if f1<=1.3
```

```
set(handles.edit1,'String','Slama'); %just for checking
```

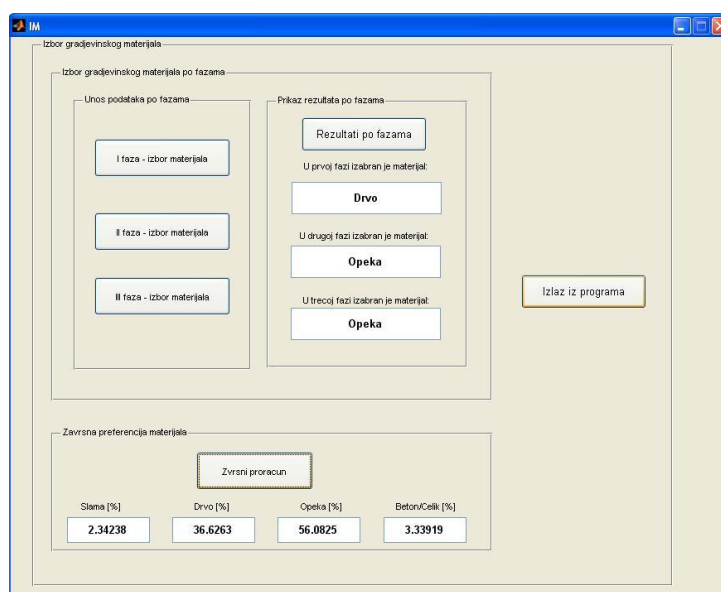
```
assignin('base','ulaz12','Slama');
```

```
elseif and(f1>1.3,f1<=2)
    set(handles.edit1,'String','Slama ili Drvo');
    assignin('base','ulaz12','Slama ili Drvo');
elseif and(f1>2, f1<=4.4)
    set(handles.edit1,'String','Drvo');
    assignin('base','ulaz12','Drvo');
elseif and(f1>4.4, f1<=5.5)
    set(handles.edit1,'String','Drvo ili Opeka');
    assignin('base','ulaz12','Drvo ili Opeka')
elseif and(f1>5.5, f1<=7.5)
    set(handles.edit1,'String','Opeka');
    assignin('base','ulaz12','Opeka');
elseif and(f1>7.5, f1<=8.5)
    set(handles.edit1,'String','Opeka ili Beton/Celik');
    assignin('base','ulaz12','Opeka ili Beton/Celik');
elseif f1>8.5
    set(handles.edit1,'String','Beton/Celik');
    assignin('base','ulaz12','Beton/Celik');
end
```

Након дефинисања грађевинског материјала у I фази покретањем програмског тастера *II фаза - избор материјала* и *III фаза - избор материјала* покрећу се други и трећи fuzzy модул првог нивоа и уносе се вредности критеријума модула. Вредности критеријума су, као и код првог модула, нормиране на интервал 1 - 10. Корисник за сваки критеријум бира одређену бројчану вредност коју софтвер додељује

одговарајућем улазном критеријуму критеријуму ФЛС-а. Притиском на програмски тастер *Извршити прорачун* добијамо предлог грађевинског материјала за II и III фазу избора материјала.

Након одређивања грађевинских материјала по фазама притиском на програмски тастер *Завршни прорачун* покреће се fuzzy модул другог нивоа и преузима податке који су добијени за I, II и III фазу избора материјала. Након извршења fuzzy модула другог нивоа добијају се коначне преференције по материјалима, слика 7.23.

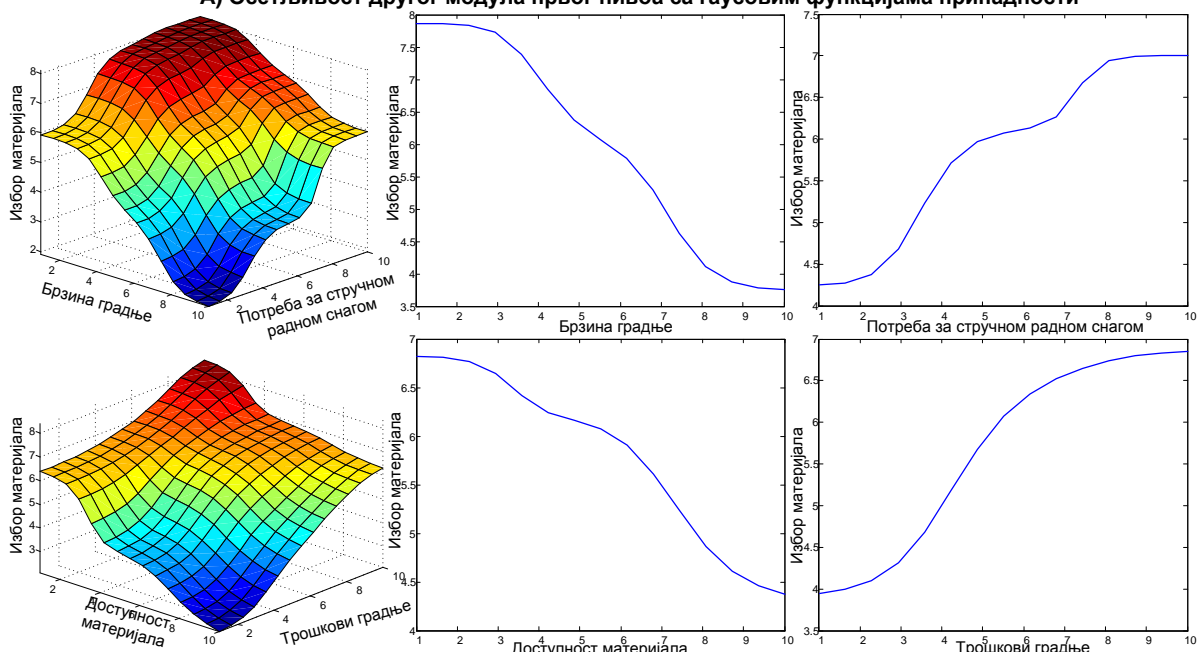


Слика 23: Коначне преференције по материјалима

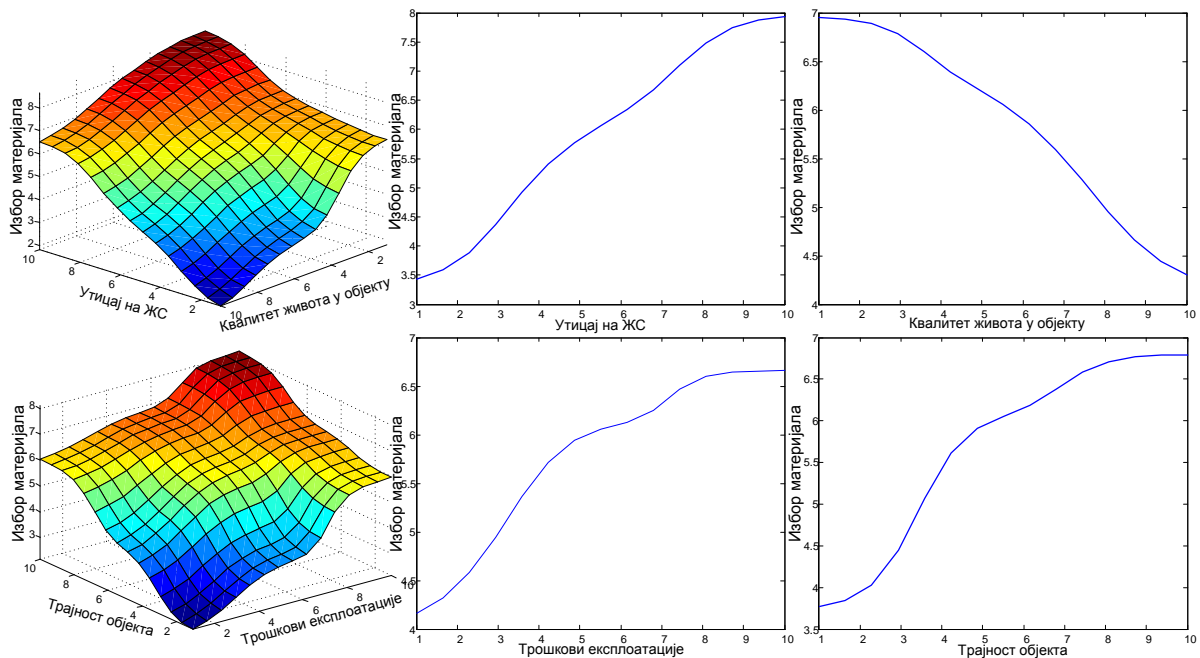
Овим моделом проширује се теоријски оквир знања из области избора грађевинског материјала. Постојећи проблем се разматра новом методологијом, чиме се ствара основа за даљу теоријску, али и практичну надоградњу. Такође, приказаним моделом истичу се критеријуми који у досадашњим моделима нису разматрани, а од значаја су за ову проблематику. Увођењем нових критеријума и њиховим приказом у моделу, указује се на потребу њиховог разматрања у даљим анализама ове и сличне проблематике.

**Прилог 1**

**А) Осетљивост другог модула првог нивоа са гаусовим функцијама припадности**



**Б) Осетљивост трећег модула првог нивоа са гаусовим функцијама припадности**



**Слика П1. Осетљивост другог и трећег модула првог нивоа**



## ***8. Пропис за објекте од бала сламе***

Досадашња истраживања, укључујући и истраживања у оквиру овог рада указује на бројне могућности примене бала сламе у конструкцијама. Да би се омогућила масовна градња неопходно је усвојити прописе и тиме стандардизовати процедуре и конструктивне детаље. Као што је већ више пута наглашено у случају балиране сламе, узимајући у обзир специфичности материјала, пре се може говорити о оквирима у којима се морају налазити поједине димензије или особине конструкције, него што је реч о тачном и прецизном прорачуну. Такав приступ налаже сам материјал и услови у којима се користи. Реч је о балираној слами која се примењује без икакве додатне обраде. Користи се директно након балирања са њива које су биле засејане пшеницом (или неком другом житарицом).

Прописи дефинишу минималне услове који се морају задовољити и чијим се поштовањем гарантује сигурност и безбедност објеката. Свака додатна обрада балиране сламе води ка побољшању карактеристика, али и поскупљује производњу. И то је у реду и оправдано када се ради о великим и објектима са значајним распонима и са више етажа.

Ако се ради о објектима за становање, по правилу приземним, идеја је да се примени најјефтинији могући материјал и да се уз минималне торшкове постигне максимални могући ефекат уз пуну гаранцију стабилности и безбедности употребе.

Надамо се да ће и овај рад дати допринос наставку истраживања у овој области и да ће на крају резултирати усвајањем прописа за објекте од бала сламе.

Грађење балама сламе се примењују у великом броју земаља, али пошто је прошло мало времена од поновног увођења у праксу овог материјала највише је текстова о практичним искуствима, а далеко мање систематизованих и планских истраживања, а прописи постоје у свега неколико земаља. У САД постоје прописи за бале сламе у неколико савезних држава и неколико градова.

Свакако да су за градњу, када су у питању прописи, најједноставнији случајеви у којима је носећа конструкција од неког другог материјала (бетон, челик, дрво..). Тада се стабилност доказује за читаву конструкцију, а бале сламе треба да задовоље далеко

мање захтевне услове за зидове испуне. Слично је и за примену панела од сламе или других префабрикованих елемената.

Прорачун и доказ стабилности за конструкције са носећим зидовима од бала сламе далеко је комплекснији проблем, а мора се истаћи да објекти од бала сламе своје највеће предности испољавају управо у случајевима када су бале сламе носећа конструкција.. Што се домаћих прописа тиче, они не познају сламу као грађевински материјал, а покушаји било какве аналогије и сходне примене прописа за неки други материјал нису могући. Увођење, вертикалних и хоризонталних серклажа или неких других укрућења у потпуности би поништило предности овог материјала.

И у већини земаља дошло се до закључка да сваки материјал захтева посебне прописе који ће уважавати особености материјала, а у потпуности обезбеђивати све параметре безбедности и сигурности.

У оквиру истраживања спроведеног у овом раду анализирано је више прописа за ове типове објеката, а биће приказан California Building Code for Straw Bale, пре свега да би се приказало у којој мери су за објекте од бала сламе прописи описни и оквирни, односно да је приступ суштински другачији у односу на друге материјале.

Пропис дефинише шта се може сматрати сламом, услове које морају задовољити бале сламе да би биле погодне за градњу, конструктивне детаље и указује на шта треба посебно обратити пажњу. Да не би било дилеме приликом избора бала и материјала, неопходно је дефинисати шта се сматра сламом, пошто постоје и неки други материјали који личе на сламу, али нису погодни за примену у изградњи објеката.

## ***8.1. Приказ и анализа извода из California Building Code for Straw Bale***

### ***8.1.1. Увод***

Америчке савезне државе имају бројне прописе који важе искључиво на територији државе. У Калифорнији је на основу Закона о државним грађевинским

стандардима, формирана Комисија за грађевинске стандарде. Задатак комисије је да анализира постојеће стандарде, прати њихову примену и по потреби предлаже њихово ревидирање, укидање или усвајање потпуно нових стандарда за поједине области.

Није чест случај у упоредно правној пракси да постоје оваква тела, која се континуирано баве регулативом и предлажу стандарде за поједине области. У већини земаља, укључујући и Србију, нема сличног тела, тако да се стандарди ретко мењају и најчешће се до промена долази не због потреба струке и праксе, него на захтев неке од међународних организација у којима је држава или чланица или намерава да постане чланица, па постоји неопходност усаглашавања регулативе.

Комисија је тако утврдила неодложну потребу да се у Калифорнији крене са изградњом јефтиних и енергетски ефикасних стамбених објеката, зато што су услед несташице дрвета погодног за градњу значајно порасли трошкови градње традиционалних објеката. Конкретан случај указује на широке надлежности комисије и могућност и потребу да се иде у сусрет решавању проблема са којима се становници државе суочавају.

Такође, комисија је констатовала да постоје велики и неискоришћени ресурси сламе, као и да је држава законом забранила спаљивање сламе на пољима. Пшенична сламе је једногодишње обновљив извор целулозе који се може користити као енергетски ефикасна замена за класичне објекте са скелетном носећом конструкцијом.

Постојећи услови који важе за класичне објекте веома су захтевни и тешко примењиви за алтернативне материјале, па је потребно креирати нове прописе.

Због могућности јефитине градње креирају се посебни прописи за градњу балама сламе. И пропис се односи само на градњу појединачних приземних објеката од бала сламе.

Стручна комисија је препознала могућност увођења у употребу новог материјала, а такође је препознала специфичности материјала и неопходност креирања посебног прописа да би се све позитивне карактеристике материјала могле искористити.

Пропис је усвојила савезна држава, али у неопходност да сваки град појединачно утврди смернице за сваки град или област. Због посебности примене бала сламе, дефинисан је пропис на нивоу државе, али је дефинисана и потреба да свака област или град, узимајући у обзир локалне карактеристике утврде посебна правила која ће на њиховим територијама важити и тиме додатно гарантовати стабилност и безбедност за употребу објеката од балиране сламе.

### ***8.1.2. Материјал и карактеристике***

Пропис дефинише шта се сматра сламом и услове које мора да задовоље бале сламе.

Слама се дефинише као сува стабљика житарица која остаје пошто се уклони клас.

Прописом се дефинише да се под балама подразумевају четвртасти компримовани блокови од пшеничне сламе увезани канапом или жицом.

Бала постављена на основу значи да је страна са највећом површином хоризонтална, а најдужа страна бале паралелна са ивицом зида. Бала постављена насатично (на бок) значи да је страна са највећим попречним пресеком вертикална, а најдужа димнзија овог попречног пресека је хоризонтална и паралелна са ивицом зида.

Прописом се дефинишу смернице за избор квалитетних бала:

Бале морају бити паралелопипедног облика.

Бале које се користе за зидове морају бити приближно једнаких димензија да би се омогућила правилна дистрибуција сила и морају бити увезане или жицом за балирање или полипропиленским ужадима. Бале са покиданим или олабављеним везовима не смеју се користити, осим ако се покидане или олабављене везе не замене новим и тиме постигне првобитна компактност бале.

Процент влаге у балама у време градње не сме прећи 20% укупне тежине бале. Процент влажности утврђује се применом одговарајућем инструмента за мерење влаге и који се посебно користе за сламу или сено и имају довољно дугачку сонду која

може да досегне до центра бале, при чему се утврђује просечан садржај влаге у пет случајно одабраних бала од свих бала које ће се користити.

Бале у носећим зидовима морају имају минималну суву густину  $116.7 \text{ kN/m}^3$ . Прорачуната сува густина одређује се тако што се укупна тежина бале умањи за тежину садржаја влаге.

За посебне конструкције користе се бале затезане жичаним везама, које су затегнуте истом силом затезања.

Бале различитог типа сламе укључујући пшеничне, пиринчане, јечмене, овсене, ражане и сличне, могу се примењивати само ако задовољавају услове дефинисане прописом у смислу густине, облика, влаге и квалитета веза.

### **8.1.3. Конструкциони детаљи**

Сматра се да зидови од бала сламе малтерисани земљаним и кречним малтерима имају исту отпорност на пожар као и дрвена конструкција са истом завршном обрадом зидова.

Минимална прописана дебљина зидова од бала сламе је 33 сантиметра.

Објекти са носећим зидовима од сламе не смеју имати више од једног спрата, а однос висине према дебљини мора да задовољи услов  $h : d = 5.6 : 1$  (максимална висина зида дебљине 58.42 цм је 327.15 цм), при чему се рачуна само дебљина сламе без матера.

За носеће зидове максимална дозвољена дужина зидова између ослонаца мора да задовољи услов односа дужине према дебљини зида  $l : d = 15.7 : 1$  (максимална дужина зида дебљине 58.42 цм је 914.4 цм).

Дозвољено вертикално оптерећење (стално и покретно), на врху носећег зида од сламе не сме бити веће од  $19.53 \text{ kN/m}^2$  (испитивања приказана у овом раду показују далеко већу носивост од ове).

Конструкције од бала сламе морају се пројектовати да могу да поднесу све прописана вертикална и хоризонтална оптерећења.

Димензије темеља морају бити прилагођене дебљини зида од бала и величини сталног и покретног оптерећења крова и зидова. Минимална ширина основе мора бити једнака ширина зида који подупире.

За укрућење зидова користе се вертикалне шипке минималног пречника од 12 мм требало би да буду постављене у темеље на минималној дубини од 17 цм, и морају да излазе изван коте темеља за минимум 30.48 цм. Ове вертикалне шипке пружају се кроз средину зида од бала и између њих не сме бити размак већи од 60.9 цм. Вертикална шипка не сме бити удаљена од ивице зида или отвора за више од 30.48 цм.

Зидови од бала и конструкције на врхи зида на које се ослања кровна конструкција морају бити везани за темељ неком од познатих методама и тако се мора обезбедити прихватање силе од ветра усмерене вертикално навише. Мора бити минимум две анкерне тачке по зиду, за везу са темељом, тако да удаљене једна од друге тачке не буде веће од 60.96 цм при чему је максимална удаљеност од сваког краја зида не већа од 91.44.

Код носећих зидова од сламе стално оптерећење кровне конструкције и плафона произвешће вертикалну деформацију зидова. Без обзира који се систем за везу споја крова за темељом, пре завршне обраде зидова шрафови, ужад или каблови, морају се дотегнути, да би се компензовала слегања.

Хидроизолација мора се поставити између врха темеља и дна зида од бала сламе да влага не би могла да продре кроз темељ и тако дође у контакт са доњим делом бале.

За неносеће зидове бале се могу постављати на основу или насатично. Бале у носеће зидове морају се постављати на основу, при чему свака бала поставља се са преклопом на половину. Преклапање не сме бити мање од 30.48 цм. Отвори између крајева бала, мањи од 15.24 цм морају се попунити растреситом сламом, тако што се она добро набије у отворе.

Први ред бала поставља се тако што се оне натакну на вертикалне темељне анкере. Када се поређа четври ред онда се вертикална шипка (можданик) пробије кроз четири реда бала, по две у сваку балу и то тако да не пролазе кроз спојнице (поступак пиновања). Распоред можданика требало би да је приближан распореду темељних анкера. При сваком наредном реду два можданика довољно дугачка да продру кроз ти

реда испод тог набију се у сваку балу. И овај метод примењује се до врха зида. Код зидова од седам или осам редова пиновање петог реда се може прескочити.

Само бале пуне дужине могу се коористити на крајевима носећих зидова.

Сви отвори у носећим зидовима од бала сламе морају се поставити на удаљености не мањој од једне пуне дужине бале од сваког спољног угла осим ако изузетак од овог правила не одобри лиценцирани инжењер или архитекта. Оптерећење које зид или кров производи преноси се на темељ путем слепог штока или преко дрвене греде. Дрвена греда мора бити најмање два пута дужа од ширине отвора и мора прелазити најмање по 60.96 цм са сваке стране отвора.

Сви зидови изложени атмосферским утицајима морају бити заштићени од утицаја влаге. На горње две трећине вертикалних спољних површина не смеју се користити паронепропусне изолације, да би се дозволило да зидови дишу.

Посебна заштита од влаге мора да постоји на свим прозорским даскама.

Ако их не штити кров врхови зида такође морају такође бити заштићени. Ову заштиту чини водоотпорна брана, тер папир, полиетиленске траке или нека друга изолација а који се постављају тако да спрече да вода уђе у зидове око прозора или са врха зида.

Спољне и унутрашње зидове треба заштити од механичких оштећења, пожара, животиња, дуготрајног дејства воде.

Зидови од бала у купатилима морају се посебно заштитити, узимајући у обзир осетљивост сламе на влагу.

Пропис је описног карактера и даје смернице за пројектовање и изградњу, као и за изради конструктивних детаља који су изузетно важни код објекта од бала смале. Инжењеру увек остаје могућност да уз додатне доказе стабилности пројектује или изгради објекат другачијих димензија.

## ***9. Закључци и препоруке за даља истраживања***

Основни циљ овог рада је да на основу експериментално-теоријске анализе утврди могућност примене бала сламе у конструкцијама, тако што ће се анализирати сви аспекти битни за примену материјала у грађевинарству, укључујући и економске аспекте примене.

У оквиру овог рада анализирана је примена бала пшеничне сламе за израду носећих зидова конструкције при чему се бале полажу на основу. Анализирано је понашање при утицају вертикалног центрчног оптерећења. Анализирана је примена стандардних бала сламе, које се иначе користе у сточарству и које ни на који начин нису посебно третиране и дорађиване.

Полазне претпоставке биле су да се бале сламе користе у свету за израду носећих зидова објеката и да домаће сорте пшенице дају сламу сличног квалитета који би се могла користити у конструкцијама. Постоје истраживања и свету, дају одговоре само на нека питања, бројни проблеми чекају решења, а истраживања нису систематизована тако да су тешко употребљива.

Претходна истраживања укључила су анализу до сада спроведених испитивања и указала су на даље правце рада. Прикупљена је обимна библиографска грађа, а аутор је обишао и неколико објеката који се граде од сламе. Уочен је озбиљан недостатак прописа и стандардизованих поступака који у практичној примени резултирају великом слободом градитеља и потребу за иновативношћу. Слобода и иновативност су пожељни, али у случају грађења објеката производе резултат неизвесног квалитета.

Да би се одговорило на основно питање којим се овај рад бави потребно је утврдити карактеристике материјала. Пошто се материјал о коме је реч у Србији користи искључиво у сточарству није било могуће доћи до почетних података, чак ни о тачним димезијама бала сламе. Једина писани трагови и истраживања која су пронађена тичу се количине и квалитета сламе као пољопривредног производа.

Материјал је могуће применити у конструкцији ако задовољава услове механичке чврстоће и стабилности, заштите од пожара, хигијене, здравља и заштите средине, сигурности употребе, заштите од буке и уштеде енергије и топлотне заштите



(директива Савета ЕУ). Материјал не мора да задовољи све услове, али мора да постоји начин да се техничким мерама испуни захтеви који нису задовољени или се садовољавају уз примену другог материјала.

Након претходних истраживања у склопу овог рада одлучено је да се експерименталним путем утврде димензије бала, запреминска тежина, модул елестичности, напонско деформацијска веза за бале сламе под радним вертикалним центричним оптерећењем, начини повезивања бала сламе и услови побољшања везе сламе и малтера, реолошке особине малтерисаних и немалтерисаних зидова од бала сламе и противпожарна отпорност. Изведени су експерименти за утврђивање модула еластичности и противпожарне отпорности и то у градилишним и лабораторијским условима. Овакав приступ је усвојен због специфичности бала сламе као материјала и жеље да се примењује уз велику слободу, где се не може стандардизовати ни димензија, а ни карактеристике. Тако да се усвајају методе којима се гарантује стабилност и сигурност уз минималне захтеве који се морају задовољити, када је реч о приземним објектима.

На основу обиласка неколико објеката изграђених од бала сламе и анализе тржишних услова направљена је оцена по питању сигурности употребе, хигијене, здравља, уштеда енергије и економске оправданости.

А на основу теоријских анализа и радова других аутора анализирана је заштита од буке и топлотна заштита.

На основу истраживања чији су ток и резултати приказани у претходном делу текста могуће је закључити следеће:

Бале пшеничне сламе које су изабране за овај експеримент одговарају по димензијама уобичајеним балама сламе које се користе и у другим земљама.

Квалитет веза може представљати проблем и зато се морају користити квалитетне везе, по могућности полипропиленске или жичане. Везе морају бити затегнуте и бале са лабавим везама не могу се користити у конструкцијама.

Запреминске тежине бала које су коришћене у овом истраживању износе око 1.2 kN/m<sup>2</sup> и испуњавају услов минималне запреминске тежине до ког су дошли други

истраживачи. Технологија балирања оставља велику слободу руковооцу машине да одреди степен збијености бала и о томе се мора посебно водити рачуна приликом припреме бала за коришћење.

У оквиру овог рада није посебно мерена количина влаге у балама, али је поступак складиштења бала и неколико узастопних мерање потврдио смањење и на крају стабилизацију процента влаге. За употребу у конструкцијама препоручује се проценат влаге у балама око 10% ( могу се пронаће и препоруке да влажност не буде већа од 20%). За зидове од бала сламе најважније је да су обе стране зида паропропусне и у том случају нису забележени проблеми проузроковани влагом.

При утицају радног оптерећења утврђен је модул еластичности за бале сламе око 400 kPa, а за малтерисане бале сламе око 1580 kPa. Модул еластичности се повећава са повећањем оптерећења. Након уклањања оптерећења у року од једног дана бале су се враћале у првобитан положај (деформација је била идеално еластична). Постоје велика одступања у резултатима код различитих истраживача, као узрок нестандардизованог поступка. Вредности добијене у овом истраживању у складу су са вредностима које су добили други истраживачи и у потпуности испуњавају захтеване услове за примену у грађевинарству.

Зидови од бала сламе приликом припреме за малтерисање морају се додатно сабијати и тиме се смањују слегања и додатно побољшавају остале карактеристике. Пре зидања зидови се морају „тримовати“ и равни зида се морају учинити што правилнијим. За побољшање везе малтера и сламе зидови се могу обложити мрежама. Идеално пријањање је могуће обезбедити жицама које пролазе кроз зид и чијим затезањем мреже налажу на сламу. Утврђено је да се постављањем верикалних дрвених летви са обе стране зида на размаку од дужине једне бале повећава стабилност зида, олакшава причвршћивање мрежа и олакшава малтерисање. Морају се користити малтери са великом паропропусношћу. А најбоље пријањање се имали земљани, па кречни и продужни малтер. Није рађена анализа квалитета малтера, али је проверавана веза малтера и сламе. Утицај дебљине малтера на чврстоћи зида је такође важан, али ово истраживање се није бавило том проблематиком.

Анализирано је понашање оптерећеног зида кроз време. Констатовано је да је су након наношења оптерећења зидови имали највеће деформације непосредно након наношења оптерећења и у наредна два дана. Након тога деформације су настављале да расту али са све мањим прираштајем. Након уклањања оптерећења зидови су се враћали у првобитан положај. Закључено је да се збијањем бала смањују деформације и тренутне и временске. Ако се зидови од бала сламе додатно сабију (претходно напрегну) за 3 до 4% накнадне деформације се минимизирају. Технолошки процес мора уважавати ову карактеристику и зидове треба малтерисати тек након реализованих деформација.

Истраживањем је доказано да зид од сламе стандардне дебљине редукује ниво буке за 52 до 55 dB (пнеуматски чекић у непосредној близини производи буку од 100 dB). Слама испуњава све теоријске услове за одличан звучни изолатор и звучни апсорбер (велика отворена порозност и мали модул еластичности).

За бале сламе је утврђен коефицијент термичке проводљивости у границама од 0.032 до 0.35 W/mK (за минералну вуну 0.040 W/mK). Утврђено је да коефицијент термичке проводљивости зависи од степена збијеност и влажности бала, али та одступања нису значајна у односу на горе утврђену вредност. По термичким карактеристикама обострано малтерисани зидови од бала сламе испуњавају услове који важе за пасивне куће. На основу спроведених мерења у зависности од типа и конструкције осталих елемената објекта куће од бала сламе годишње се отваре уштеде у енергији за грејање и хлађење од 75 до 85 % у односу на класичне објекте.

Спроведеним експериментом доказана је отпорност на дејство пожара од минимум 2 сата. У условима обострано малтерисаног и добро збијеног зида од бала сламе пожар не представља опасност за ове типове објеката. Уочено је да зид мора бити добро малтерисан и да сламке не смеју излазити изван равни сламе. Сламке које су током малтерисања зашле у завршни слој малтера стварају могућност за увлачење пламена у масу зида.

Слама је природан једногодишње обновљив нузпроизвод након жетве пшенице. За производњу 1 m<sup>3</sup> сламе потребно је око 60 пута мање енергије него за производњу

исте количине бетона. Након завршетка употребног века слама је природно разградива, тако да нема никаквог штетног утицаја на животну средину.

Објекти од сламе имају век трајања од најмање сто година. Једини проблем је заштити их од влаге, што се решава техничким детаљима. Слама је сличног састава као дрво и нема никаквих штетних испарења, тако да не представља никакву опасност за здравље људи. Слама су стабљике без класа и корена и нема никакве састојке нутритивне вредности, тако да није храна за глодаре, па нема ни те опасности.

Количине сламе су готово неограничене. У Србији сваке године на пољима остане око 7 милиона м<sup>3</sup> сламе. Цена сламе је ниска. Рад на изградњи објеката захтева једног стручњака и неколико приучених помоћника. Према анализама у оквиру овог рада при градњи објекта од сламе могуће је уштедети од 20 до 50 % финансијских средстава у односу на градњу класичног објекта, а ако се посматра експлоатациони век објекта од 30 година на објекту од сламе финансијске уштеде су од 50 до 70 %.

На основу спроведених експериментално-теоријских истраживања може се закључити да бале сламе испуњавају све услове за примену у конструкцијама.

У оквиру рада развијена је и посебна методологија којом је могуће у почетној фази одлучивања о изградњи објекта, а на основу субјективних и објективних критеријума донети одлуку о избору оптималног материјала.

Да би примена бала сламе била могућа морају се донети прописи за градњу балама сламе који ће дефинисати врсту и спратност објекта, као и све конструктивне појединости на основу којих је могуће пројектовати и градити уз задовољене свих услова безбедности.

Неопходно је наставити истраживања и дефинисати стандарде испитивања за утврђивање свих потребних карактеристика.

На основу спроведених истраживања могуће је дефинисати и отворена питања на која се морају дати одговори и предложити даље правце истраживања:

Неопходно је наставити истраживања и утврдити понашање при граничној ностивости малтерисаних и немалтерисаних бала сламе и зидова од њих. Показало се

да су теоријске чврстоће веће од чврстоћа добијених експерименталним путем и неопходно је даљим истраживањем утврдити разлоге за то.

Потребна су испитивања за остале типове оптерећења.

Неопходно је утврдити везу између дебљине малтера и дебљине сламе у зиду са носивошћу зида. Такође при већим оптерећењима могуће је избочавање слоја малтера, па је неопходно утврдити оптималне односе.

Земљани малтери су мало у примени и драгоцене би била истраживања која би дефинисала њихове карактеристике.

Истраживања која би утврдила понашања целих зидова и дефинисала њихове максималне димензије и односе страна помогла би у примени бала сламе и као носећој зидова, а нарочито у конструкцијама у којим су зидови испуне.

Отворено је питање примене бала сламе за изградњу вишеспратних објеката.

Бале сламе су материјал који има своје карактеристике и специфичности, па би даља истраживања конструктивних детаља у духу материјала значајно помогла у примени бала сламе у конструкцијам.

На почетку овог вишегодишњег рада није се могло ни наслутити какве ће све путеве отворити ово истраживање и до каквих ће све сазнања довести. Материјал који нам је пред очима крије у себи огромне потенцијале и неограничене могућности што су спроведене анализе и доказале.

## ***10. Литература:***

[1] Алексић, М., Митровић, С.: Структура и пројектовање fuzzy контролера, Зборник Факултета за поморство у Котору бр. 21, (2005).

[2] Алексић, М.: Модел за оперативно планирање у системима одржавања применом fuzzy логике, магистарски рад, Војнотехничка академија, Београд, (2002).

[3] Божанић, Д. и Памучар, Д. (2014). Израда базе правила фуззу логичког система за подршку одлучивању агрегацијом тежина премиса правила. Техника, 1, 129-138.

[4] Брчић В. (1978.), „Динамика конструкција“, Грађевинска књига Београд.

[5] Брчић В. (1989.), „Отпорност материјала“, Грађевинска књига Београд.

[6] Вукотић Р. (1984.), „Испитивање конструкција“, Грађевински факултет у Београду.

[7] Гојковић М. (1989.), „Дрвене конструкције“, Научна књига Београд.

[8] Мурављов М. (2007.), Грађевински материјали, Грађевинска књига Београд.

[9] Петровић Б. (1989.), „Одабрана поглавља из земљотресног грађевинарства“, Грађевинска књига Београд.

[10] Радосављевић Ж., Бајић Д. (1989.), „Армирани бетон 3“, Грађевинска књига Београд.

[11] Стевановић С. (1989.), „Фундирање I“, Научна књига Београд.

[12] Хајдин Н. (1989.), „Теорија површинских носача“, Грађевински факултет у Београду.

[13] Arbour, E. (2000). “Design Dead Load of a Straw Bale Wall,” *Thesis Project*, Department of Civil Engineering, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.

[14] Arkin, D., and Donahue, K. (2001). "Preliminary Report on the Out-of-Plane Testing of an 8 foot by 8 foot Straw Bale/PISE Wall Panel," in *First International Conference on Ecological Building Structure*, San Rafael, California.

[15] Ash, C., and Aschheim, M. (2003). "In-Plane Cyclic Tests of Plastered Straw Bale Wall Assemblies." *Research Report*, Ecological Building Network, Sausalito, California.

[16] Black, G., and Mannik, H. (1997). "Spar and Membrane Structure," *The Last Straw Journal*".

[17] Bilello, J., Carter, R., (1999). "Missile Perforation Threshold Speeds for Straw Bale Wall Construction with a Stucco Finish," The Wind Engineering Research Centre, Texas Tech University.

[18] Blum, B. (2002). "Load Carrying Behavior of On Edge Straw Bale Walls," University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.

[19] Bolles, R. (1998). "Straw Bale Exterior Pinning Report", *Research Report*, Sustainability International, Poway, California.

[20] Bou-Ali, G. (1993). "Straw Bales and Straw Bale Wall Systems," *M.Sc. Thesis*, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, University of Arizona, Tucson, Arizona.

[21] Boynton, J. (1999). "Straw-Bale Bending and Cement Plaster/Straw Bale Bond Testing," Architectural Engineering Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California.

[22] California Building Code for Strawbale.

[23] Carrick, J., and Glassford, J. (1998). "Compressive, Transverse and Racking Tests of Load-Bearing Walls," *Research Report*, Building Research Centre, University of New South Wales, Australia.

[24] Dick, K.J., and Britton, M.G. (2002). "Design Approach for Load-Bearing Strawbale Walls," *CSAE Annual Conference*, Saskatoon, Saskatchewan, July 2002.

[25] Donahue, K. (2003). "Testing of Straw Bale Walls with Out of Plane Loads" *Research Report*, Ecological Building Network, Sausalito, California.

[26] Dreger, D. (2002). "Compression Resistance of a Stuccoed Straw Bale Wall," *Undergraduate Thesis*, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.

[27] Faine, M., and Zhang, J.Q. (2002). "A Pilot Study Examining and Comparing the Load Bearing Capacity and Behaviour of an Earth Rendered Straw Bale Wall to Cement Rendered Straw Bale Wall," *International Straw Bale Building Conference*, Wagga Wagga, Australia.

[28] Faine, M., and Zhang, J. (2000). "A Pilot Study Examining the Strength, Compressibility, and Serviceability of Rendered Straw Bale Walls for Two Storey Load Bearing Construction," *First International Conference on Ecological Building Structure*, San Rafael, California.

[29] Field, K., Woods, J., Fedrigo, C. (2005). "Structural Testing of Straw Bales in Axial Compression," *Undergraduate Presentation*, University of Colorado at Boulder, Colorado.

[30] Godjevac, J.: A Method for the Design of Neuro-Fuzzy Controllers: An Application in robot learning", These No. 1602. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland, (1997).

[31] Godjevac, J.: Comparison between PID and fuzzy control, Internal Report R93.36I Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland, (1993).

[32] Grandsaert, M. (1999). "A Compression Test of Plastered Straw-Bale Walls," *M.Sc. Thesis*, University of Colorado at Boulder, Boulder, Colorado.

[33] Herrera, F.: Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, pp. 27-46, (2008).

[34] House of Straw: Straw Bale Constructions Comes of Age; U.S. Departments of Energy Publication, (1995).

[35] Jantzen, J.: Design of Fuzzy Controllers", Tech. report No98-864, Technical University of Denmark, Department of Automation, (1998).



[36] Kandel, A., Chew, G., Schneider, M.: Designing Fuzzy Inference Procedures, The second World Congress on Expert Systems, Lisbon,(1994).

[37] Kao, C.H., & Chen, S.M. (2000). A new method to generate fuzzy rules from training data containing noise for handling classification problems. Proc. 5th Conference Artificial Intelligence and Applications, Taipei, Taiwan, R.O.C., 323–331.

[38] Kaushik, H.B., Rai, D.C., Jain, S.K. (2007). "Stress-Strain Characteristics of Clay Brick Masonry under Uniaxial Compression," *Journal of Materials in Civil Engineering*.

[39] King, B. (2006). *Design of Straw Bale Buildings*, Green Building Press, San Rafael, California.

[40] King, B. (1996). *Buildings of Earth and Straw*. Green Building Press, San Rafael, California.

[41] Lerner, K., and Donahue, K. (2003). "Structural Testing of Plasters for Straw Bale Construction," *Research Report*, Ecological Building Network, Sausalito, California.

[42] Lerner, K., Theis, B., and Smith, D. (2000). "Straw-Bale," *Alternative Construction: Contemporary Natural Building Materials*, L. Elizabeth, and C. Adams, eds., John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.

[43] MacDougall, C., Vardy, S., Magwood, C. (2008). Effect of Mesh and Bale Orientation on the Strength of Straw Bale Walls. Research Report, External Research Program, Canada Housing and Mortgage Corporation.

[44] Magwood, C., Mack, P., Therrien, T. (2005). *More Straw Bale Building: How to Plan, Design and Build with Straw*. New Society Publishers, Gabriola Island, B.C.

[45] Magwood, C., and Walker, C. (2001). *Straw Bale Details*. New Society Publishers, Gabriola Island, B.C.

[46] Magwood, C., and Mack, P. (2000). *Straw Bale Building: How to Plan, Design and Build with Straw*, New Society Publishers, Gabriola Island, B.C.

[47] Mamdani, E.H., Assilian, S.: Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, Proceedings of the Institute of Electrical Engineers 121, pp 1585-1588, 1974.

[48] Mar, D. (2003). "Bearing Test of Plastered Straw Bales." *Research Report*, Ecological Building Network, Sausalito, California.

[49] Mar, D. (1998.), "Full Scale Straw Bale Vault Test," Research Report, Skillful Means Architecture and Construction, Berkeley, California.

[50] Miller, G.A.: The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information, *Psychological Review*, 1956, 63, str. 81–97

[51] Милићевић, Р. М. и Жупац Ж. Г. (2012). Објективни приступ одређивању тежина критеријума. *Војнотехнички гласник*, 1, 39-56.

[52] Милићевић, Р. М. и Жупац Ж. Г. (2012). Субјективни приступ одређивању тежина критеријума. *Војнотехнички гласник*, 2, 48-70.

[53] Милићевић, М. и Миленков М. (2014). Одређивање тежина критеријума применом рангирања. *Војнотехнички гласник*, 1, 141-166.

[54] Nichols, J., Raap, S. (2000). "Straw Bale Shear Wall Lateral Load Test," *First International Conference on Ecological Building Structure*. San Rafael, California.

[55] Обрадовић Р. дипл.грађ.инж.,(2013), Одржавање објеката у складу са Законом о планирању и изградњи, Зборник радова осмог научно-стручног међународног саветовања Савеза грађевинских инжењера Србије, Борско језеро 2013.

[56] Obradovic R. (2014), *The Rheological Properties of Straw Bale Walls*, International Conference Material, Methods and Technologies 2014., Bulgaria.

[57] Памућар, Д., Воžанић, Д., & Ђоровић, В. (2011), *Fuzzy logic in decision making process in the Armed Forces of Serbia*. Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing

[58] Ravi, V., Reddy, P.J., & Zimmermann H.J. (2001), Fuzzy rule base generation for classification and its minimization via modified threshold accepting. *Fuzzy Sets and System*, 120 (2), 271–279.

[59] Riley, D., MacRae, G., Ramirez, J.C. (1998), "Strength Testing of Stucco and Plaster Veneered Straw-Bale Walls," *The Last Straw Journal*.

[60] Smith, C., and MacDougall, C. (2008), "An Investigation of Bond Strength in StrawBale Construction," *2008 International Conference on Flax and Other Bast Plants*, Saskatoon, Saskatchewan.

[61] Stepnuk, L. (2002), "Resistance to Shear in Stuccoed Straw Bale Walls," *Undergraduate Thesis*, University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba.

[62] Stone, N., (2003), "Thermal Performance of Straw Bale Wall Systems," *Research Report*, Ecological Building Network, Sausalito, California.

[63] Straube, B. (2006), "Moisture," *Design of Straw Bale Buildings*, Green Building Press, San Rafael, California.

[64] Sugeno, M.: Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey, *Fuzzy Automata and Decision Processes*, pp 89102, North-Holland, New York, (1977).

[65] Vardy, S., "Structural Behaviour of Plastered Straw Bale Assemblies Under Concentric and Eccentric Loading", *Queens University, Kingston, Ontario, Canada*, (2009).

[66] Vardy, S., and MacDougall, C. (2007), "Compressive Response of Plastered Straw Bale Wall Panels." *International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Coventry, UK, June 2007*.

[67] Vardy, S., and MacDougall, C. (2006), "Compressive Testing and Analysis of Plastered Straw Bales." *Journal of Green Building* 1.

[68] Vardy, S., Tipping, T., and MacDougall, C. (2005), "Compressive Testing and Analysis of a Typical Straw Wall Plaster." *Proc. of Engineering Sustainability 2005 Conference, Pittsburgh, U.S.A., April 2005*.

[69] Walker, P. (2004), "Compression Load Testing Straw Bale Walls," *Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath, U.K.*

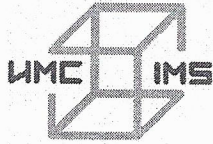
[70] Wang L.X., & Mendel J.M. (1992), Generating fuzzy rules by learning from examples. *IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics*, 22 (6), 1414– 1427.

[71] Watts, K., Wilkie, K., Thompson, K., and Corson, J. (1995), "Thermal and Mechanical Properties of Straw Bales As They Relate To a Straw House," *Rep. No.95-209*, Canadian Society for Agricultural Engineering, Ottawa, Ontario.

[72] White, N., and Iwanicha, C. (1997), “Lateral Testing of a Stucco-Covered Straw-BaleWall,” Architectural Engineering Department, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California

[73] Zhang, J. (2000), “Load-Carrying Characteristics of a Single Straw Bale UnderCompression,” *International Straw Bale Building Conference*, Wagga Wagga, Australia.

*Прилог: Извештај о испитивању*



УМЕТУТ УМС АД  
БЕОГРАД

Institut za ispitivanje materijala a.d. Beograd  
Centralna laboratorija za ispitivanje materijala  
Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu od požara  
Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43  
tel: (011) 26 50 322 fax: (011) 3692 772, 3692 782  
www.institutims.rs

# IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU


## GFT – xxxx-OPŽ

**Predmet ispitivanja:** Otpornost prema požaru modela zida formiranog od bala slame. Zid je sa spoljašnje strane omalterisan, a sa unutrašnje obložen gipskartonskim pločama.

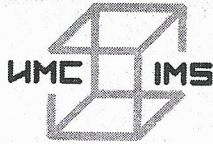
**Naručilac:** Radojko Obradović

**Zahtev/Ponuda/Ugovor:** -

**Sadržaj:** Ukupno 8 (osam) strana, od čega 4 strane u prilogima.

**Izveštaj odobrio:** Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu od požara  
Rukovodilac  
  
Slaviša Bogunović, dipl.inž.arh.

Beograd



## 1. OPŠTI PODACI

### 1.1 Predmet ispitivanja

Predmet ispitivanja je otpornost prema požaru modela zida formiranog od bala slame. Zid je sa spoljašnje (neizložene) strane omalterisan produžnim malterom na rabić pletivu, a sa unutrašnje strane obložen dvostrukim gipskartonskim pločama. Dimenzije uzorka 700 mm x 700 mm, debljine 550 mm.

Ispitivanje je sprovedeno kao razvojno, u cilju istraživanja i nema komercijalni značaj.

#### Opis uzoraka:

Uzorak se sastoji od dve bale slame koje su postavljene na podlogu od čamovih dasaka. Za daske su fiksirana dva metalna ankera prečnika 12 mm i visine 40 cm. Na tako postavljene ankere su nabijene bale slame. Sa jedne strane tako formiranog uzorka je postavljena rabić mreža koja je za slamu fiksirana žicom (žica je provlačena kroz ceo zid, 2-3 žice po m<sup>2</sup> zida). Uzorak je preko rabić mreže omalterisan produžnim malterom debljine 4 cm.

Tako formiran uzorak je dostavljen u Institut i ugrađen u zid ispitne peći sazidan od gasbetonskih blokova debljine 250 mm. Uzorak je ugrađen tako da je omalterisana strana postavljena sa spoljašnje, neizložene, strane. Sa izložene strane na uzorak su postavljene dve gipskartonske ploče. Ploče su za uzorak fiksirane građevinskim lepkom.

**Napomena:** Svi tehnički podaci o konstrukciji i sastavu uzorka definisani su u raspoloživoj tehničkoj dokumentaciji koju je dostavio Naručilac (Prilog 4.3 ovoga Izveštaja, koji sadrži 1(jednu) stranu), i nisu predmet kontrole u Institutu.

### 1.2 Metod ispitivanja i ocena rezultata ispitivanja

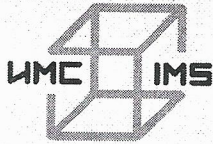
Ispitivanje je sprovedeno kao razvojno, tako što su korišteni osnovni principi standarda SRPS U.J1.090. Najznačajnije odstupanje od standarda je u pogledu dimenzija uzorka. S tim u vezi rezultati ispitivanja se mogu uzeti samo uslovno.

Opšti uslovi ispitivanja i standardni razvoj požara u ispitnoj peći definisani su standardom SRPS ISO 834 (1994).

### 1.3 Merna i regulaciona oprema

Osnovni elementi ispitnog uređaja su:

- standardna ispitna peć sa akvizicionim sistemom
- termoparovi Cu-CuNi
- termoparovi NiCr-Ni.



## 2. REZULTATI ISPITIVANJA

Početak ispitivanja: 12:00 h.  
Završetak ispitivanja: 14:13 h.

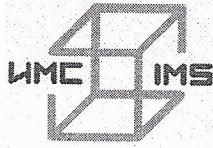
U tabeli je dat opis toka ispitivanja.

Grafički prikaz vremenskih promena temperature dat je u Prilogu 4.1.  
Foto-snimci toka ispitivanja dati su u Prilogu 4.2.

Vreme[min]	Rezultati zapažanja i merenja:
00 min	Početak ispitivanja. Srednja početna temperatura uzorka: $t_0 = 8,9 \text{ }^\circ\text{C}$ .
60 min	Bez promena.
90 min	Bez promena.
133 min	U dogovoru sa Naručiocem ispitivanje prekinuto. Termoizolaciona svojstva su očuvana - temperature merene na neizloženoj strani uzorka su ispod dopuštenih granica (porast temperature u proseku manji od $140 \text{ }^\circ\text{C}$ u odnosu na početnu temperaturu i na pojedinim mestima manji od $180 \text{ }^\circ\text{C}$ u odnosu na početnu temperaturu) i iznose: - srednja temperatura: $t_{SR} = 35,8 \text{ }^\circ\text{C}$ - maksimalna temperatura: $t_{MAX} = 46,1 \text{ }^\circ\text{C}$ Zaključak: Uzorak je očuvao stabilnost, integritet i termoizolacionu sposobnost u deklarisanom vremenu otpornosti prema požaru od 120 minuta. Završetak ispitivanja.

Za sve vreme trajanja ispitivanja nadpritisak u ispitnoj peći kretao se u dopuštenim granicama i iznosio je:  $\Delta p = 10 \pm 2 \text{ Pa}$ .





ИНСТИТУТ УМЦ АД  
БЕОГРАД

**Institut za ispitivanje materijala a.d. Beograd**  
**Centralna laboratorija za ispitivanje materijala**  
**Laboratorija za toplotnu tehniku i zaštitu od požara**

Beograd, Bulevar vojvode Mišića 43  
tel: (011) 26 50 322 fax: (011) 3692 772, 3692 782  
www.institutims.rs

### 3. NALAZ

Na osnovu rezultata razvojnog ispitivanja izvršenog u skladu sa osnovnim principima standardu SRPS U.J1.090 u ispitnoj peći sa standardnim razvojem požara prema SRPS ISO 834

**OTPORNOST PREMA POŽARU**  
**MODELA ZIDA OD SLAME**  
**OMALTERISAN PRODUŽNIM MALTEROM SA NEIZLOŽENE STRANE**  
**I OBLOŽEN SA DVE GIPS-KARTONSKE PLOČE SA IZLOŽENE STARNE**  
**dimenzija: 700 mm x 700 mm, debljine 550 mm,**

**IZNOSI: 120 minuta (2,0 h).**

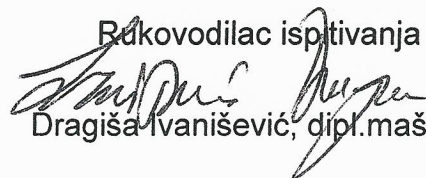
**Napomena:** Dimenzije ispitano uzorka značajno odstupaju od standardom zahtevanih tako da se ocena može uzeti samo uslovno.

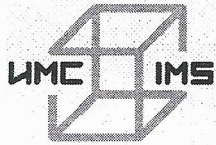
#### Napomene:

- 1) Izveštaj se ne sme umnožavati, izuzev u celini, bez odobrenja Laboratorije za ispitivanje materijala.
- 2) Kopija ovog izveštaja nije zvaničan dokument.
- 3) Ovaj izveštaj važi samo kao celina, sa originalom pečata.
- 4) Prema članovima 9 i 11 Pravilnika o obaveznom atestiranju elemenata tipskih građevinskih konstrukcija na otpornost prema požaru i o uslovima koje moraju ispunjavati organizacije udruženog rada ovlašćene za atestiranje tih proizvoda (SI list SFRJ broj 24/90), vreme važenja ovoga izveštaja je 6 (šest) godina od datuma izdavanja, uz obaveznu kontrolu saobraznosti, tj. ispitivanje otpornosti prema požaru na (najmanje) jednom uzorku na svaka 24 meseca.
- 5) Izloženi rezultati odnose se isključivo na ispitani uzorak. Ne preuzima se nikakva odgovornost u pogledu verodostojnosti uzorkovanja, osim u slučaju kada je ono obavljeno pod našom direktnom kontrolom.

Beograd

Rukovodilac ispitivanja

  
Dragiša Ivanišević, dipl.maš.inž.

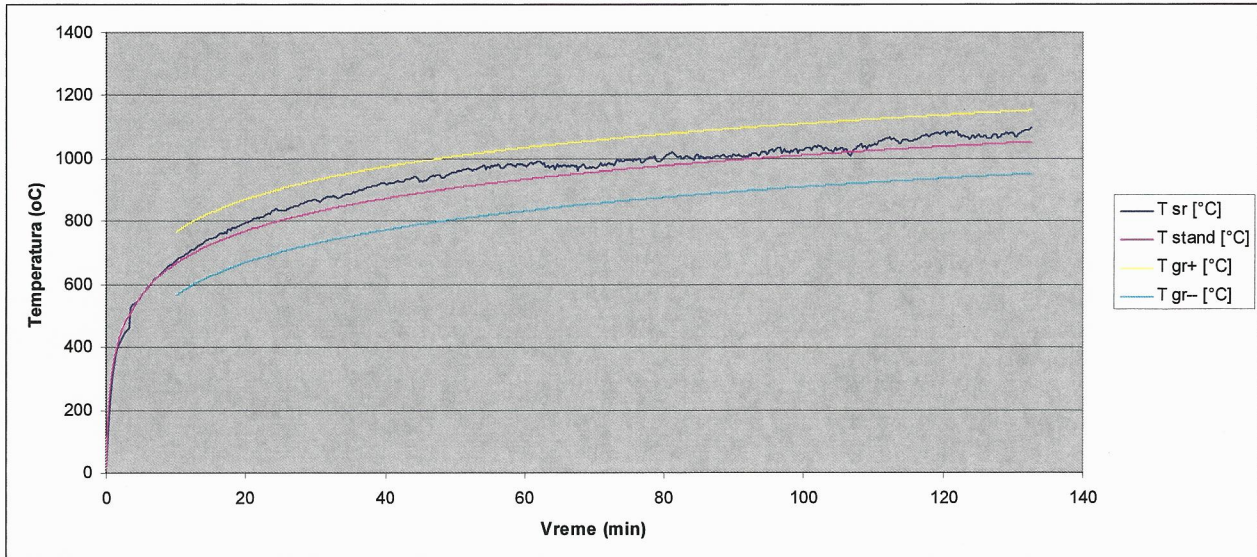


**INSTITUT IMS AD  
BEOGRAD**

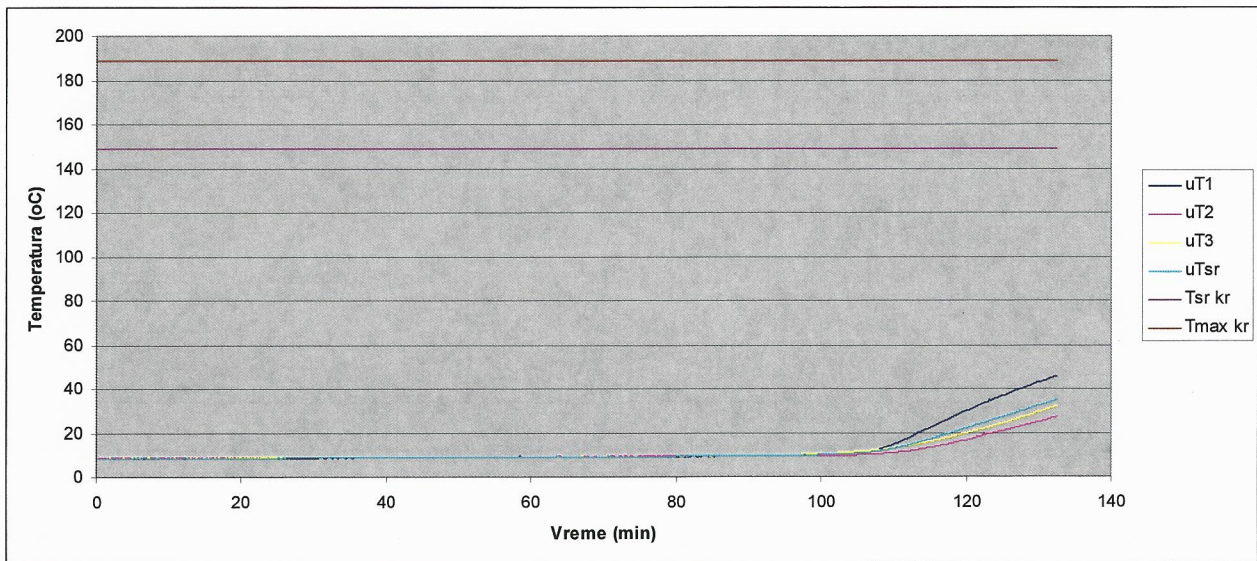
**4. PRILOZI**

- |            |   |                   |
|------------|---|-------------------|
| <b>4.1</b> | <b>Dijagrami vremenskih promena temperatura</b> | strana: 1 (jedna) |
| <b>4.2</b> | <b>Foto snimci toka ispitivanja</b>             | strana: 1 (jedna) |
| <b>4.3</b> | <b>Tehnički opis i skice uzorka</b>             | strana: 1 (jedna) |

#### 4.1 Dijagrami vremenskih promena temperatura



Slika 1 - Vremenska promena porasta temperature u ispitnoj peći u odnosu na početnu temperaturu



Slika 2 - Vremenske promene temperatura na neizloženoj površini uzorka

## 4.2 Foto snimci toka ispitivanja



Snimak 1 – Ugradnja uzorka – pogled iz peći



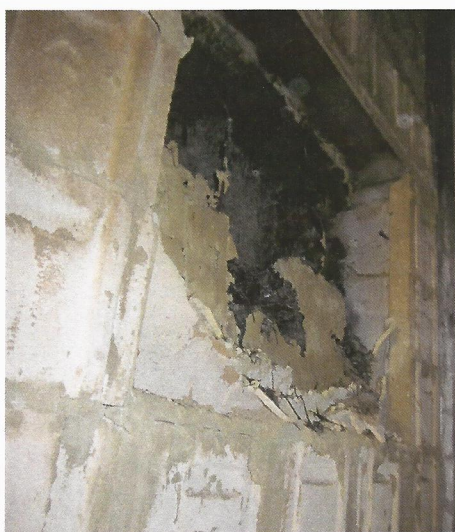
Snimak 2 – Uzorak pre početka ispitivanja



Snimak 3 – Početak ispitivanja



Snimak 4 – Kraj ispitivanja



Snimak 5 – Izložena strana posle ispitivanja



Snimak 6 – Izložena strana posle ispitivanja

*Прилог: Биографија Радојка Обрадовића*

## **Биографија**

Мр Радојко Обрадовић, дипломирани грађевински инжењер, рођен је 27.6.1966. године у Земуну. Основну и средњу школу завршио је у Земуну и Београду.

Дипломирао је на Грађевинском факултету Универзитета у Београду 1993. године, са просечном оценом 8,89 и оценом на дипломском раду 10. Последипломске студије је завршио на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, а магистарску тезу под насловом „Анализа утицаја повећаног саобраћајног оптерећења на мостове система континуалног носача“ одбранио је 2010. године.

Од 1993. до 1995. године запослен је у ХК „Енергопројект“ Београд, где је радио на пословима пројектовања, реконструкција, санација и надзора на великом броју објеката.

У истом периоду ангажован је као хонорарни сарадник у настави на Грађевинском факултету у Београду на предмету Бетонски мостови.

Од 1995. до 2001. запослен на Архитектонском факултету у Београду на Катедри за Статику конструкција. Учествовао у настави у више предмета на катедри. У периоду од 1995. до 1997. секретар Катедре за статику конструкција.

Посебно изучавао конструкције и конструктивне системе, примену нових материјала у конструкцијама, промене у конструкцијама током експлоатације и проблеме одржавања објеката.

Боравио више година у Русији и Турској, радећи на пословима пројектовања, извођења и надзора великог броја објеката.

У професионалној каријери пројектовао и извео више од 250 различитих објеката (брана, мостова, пословних и стамбених објеката, антенских стубова...).

Обављао функције заменика председника Републичке ревизионе комисије и заменика председника Републичке комисије за лиценце.

Четири пута биран за народног посланика у Народној скупштини Републике Србије (2004; 2007; 2008; 2012) и три пута биран за потпредседика Народне скупштине. У Народној скупштини обављао дужност председника Одбора за урбанизам и грађевину, председника Одбора за привреду, заменика председника Одбора за финансије и Одбора за уставна питања.

Био је члан Комисије за планове Скупштине града Београда.

Аутор више закона који су усвојени. Аутор је Закона о Државној ревизорској институцији и заслужан за успостављање система ревизије у Србији.

Усавршавао се у Међународном монетарном фонду, Светској банци и у Joint Vienna Institute.

Завршио је обуку, положио испите и сертификовани је државни ревизор.

Члан је Инжењерске коморе Србије, Управног одбора Инжењерске коморе Србије и Комисије за законе и друге прописе Инжењерске коморе.

Говори енглески и руски језик.

***Прилози:***

*Прилог 1: Изјава о ауторству*

*Прилог 2: Изјава о истоветности штампане и  
електронске верзије докторског рада*

*Прилог 3: Изјава о коришћењу*

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а Радојко Обрадовић  
број индекса \_\_\_\_\_

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО - ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА  
ПРИМЕНЕ БАЈА СЛАМЕ У КОНСТРУКЦИЈАМА“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, ДЕЦЕМБАР 2014.

Радојко Обрадовић



Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Радојко Обрадовић

Број индекса \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_

Наслов рада „ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО-ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА  
ПРИМЕНЕ БАЈТА СОТМЕ У КОНСТРУКЦИЈАМА“

Ментор проф. др Милош Ђојић дипл. инж. арх

Потписани/а Радојко Обрадовић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, ДЕЦЕМБАР 2014.



Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО - ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА  
ПРИМЕНЕ БАЈА СЛАМЕ У КОНСТРУКЦИЈАМА ”

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, ЈЕЦЕМБАР 2014.

ТРОС

1. Ауторство - Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.