

Ѓорги КОКАЛАНОВ<sup>1</sup>, Кирил ГРАМАТИКОВ<sup>2</sup>, Тони АРАНЃЕЛОВСКИ<sup>3</sup>

## **НУМЕРИЧКИ АНАЛИЗАИ НА АРМИРАНО БЕТОНСКИ КРСТАТИ ПЛОЧИ АРМИРАНИ СО ЗАВАРЕНИ АРМАТУРНИ МРЕЖИ**

### РЕЗИМЕ

За потребите на "Дојран Стил", Нов Дојран, изработена е студија за проценка на граничната носивост на армирано бетонски крстати плочи армирани со заварена арматура со стандарден и нестандарден вар. Целта на студијата е да се определи ефектите од употребата на арматурни мрежи со нестандарден вар врз носивоста на армирано бетонските крстато армирани плочи. Студијата опфаќа теоретски и експериментални испитувања извршени на Градежниот факултет во Скопје. Врз основа на резултатите добиени од експерименталните истражувања изработен е нумерички модел на конструкцијата. Со цел да се добијат реални резултати за проценка на граничната носивост на плочите усвоени спроведена е нелинеарна анализата на моделите.

КЉУЧНИ ЗБОРОВИ: Нелинеарна анализа, метод на конечни елементи,

Англиски

---

<sup>1</sup> Професор, д-р, Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј, Скопје, Р. Македонија, [kokalanov@gf.ukim.edu.mk](mailto:kokalanov@gf.ukim.edu.mk)

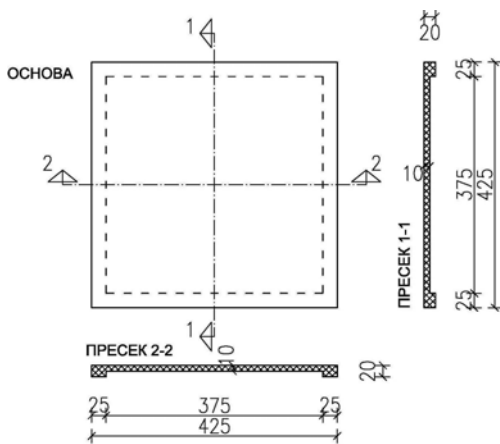
<sup>2</sup> Професор, д-р, Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј, Скопје, Р. Македонија, [gramatikov@gf.ukim.edu.mk](mailto:gramatikov@gf.ukim.edu.mk)

<sup>3</sup> Асистент. М-р, Градежен факултет, Универзитет Св. Кирил и Методиј, Скопје, Р. Македонија, [arangelovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:arangelovski@gf.ukim.edu.mk)

## 1. ОПИС НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИСТРАЖУВАЊА

За потребите на експерименталните истражувања составена е програма на испитување во која е усвоена геометрија и број на армирано бетонските крстато армирани плочи:

1. Армирано бетонска крстато армирана плоча со дебелина  $d_p=10\text{cm}$  и распон  $4\times 4\text{m}$ , 3 модели од кои еден модел е армиран со заварена арматурна мрежа со стандарден вар и два модели кои се армирани со заварена арматурна мрежа со нестандартен вар
2. Армирано бетонска крстато армирана плоча со дебелина  $d_p=12\text{cm}$  и распон  $5\times 5\text{m}$ , 3 модели од кои еден модел е армиран со заварена арматурна мрежа со стандарден вар и два модели кои се армирани со заварена арматурна мрежа со нестандартен вар



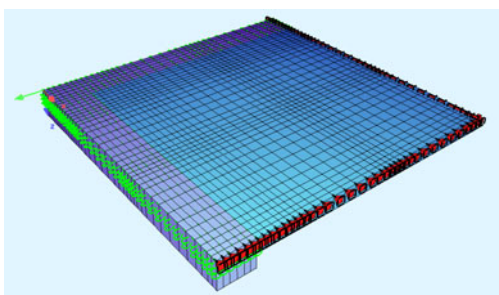
Армирано бетонските плочи на краевите ќе налегнуваат монолитно на армирано бетонски греди со димензии на попречниот пресек ширина/висина  $b/h=25/20\text{cm}$ .

За да се обезбеди рмномерно налегање на плочите тие се поставени врз слој од песок со дебелина од 3 см.

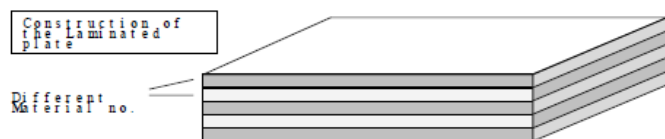
Слика 1. Диспозиција на модлеот

## 2. НУМЕРИЧКИ МОДЕЛ

Поради симетричноста на конструкцијата и оптеретувањата, анализирана е една четвртина од плочата, Сл.1.



Слика 2 Математички модел



Слика 3 Слојест модел на плочата

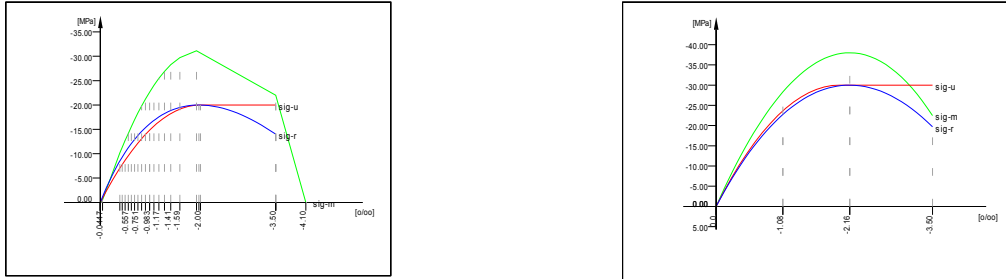
Во нумеричкиот модел се користени следните типови на конечни елементи:

- Plate – 4 node isoparametric element
- Spring

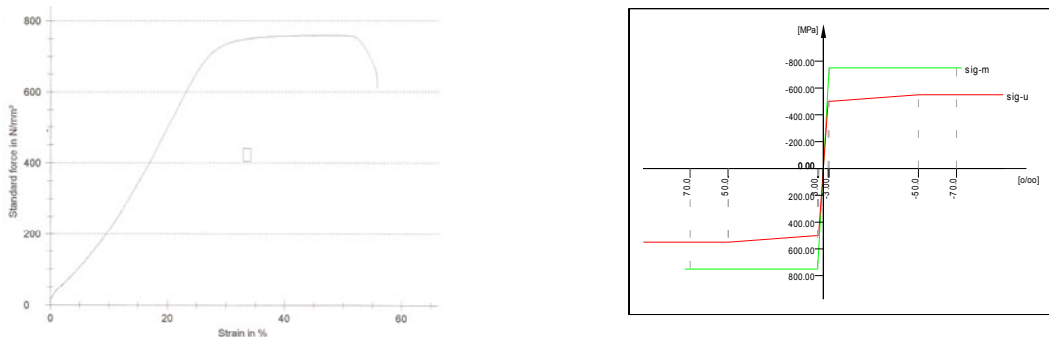
За плочестите елементи е користен “LAYER” (слојест) модел, Слика 3. Пресекот на плочата е моделиран со 20 бетонски слоја. Арматурата е моделирана со посебни слоеви, како рамномерно распределена.

### 3. МАТЕРИЈАЛИ

Конститутивните модели на бетонот и челикот се опеделени према лабораториските испитувања.



Слика 4 Конститутивни модели на бетонот – експериментален и лабораториски

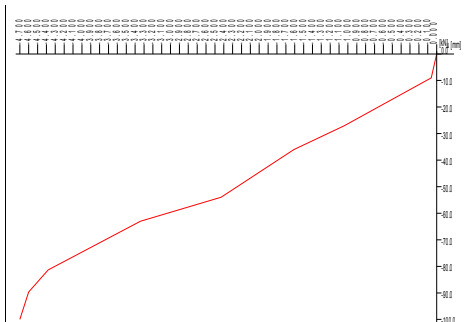


Слика 5 Конститутивни модели на челикот – експериментален и лабораториски

### 4. ОСЛОНУВАЊЕ

Плочата е конструирана како слободно ослонета. За да се обезбеди рамномерно налегање, ослонувањето на плочата е извршено на слој од песок. Под влијание на товарите песокот се збива, што допринесува за дополнителни деформации на плочата. За да се симулира овој ефект, ослонувањето на плочата е извршено преку нелинеарни федери (Springs). Нелинеарноста на федерите се јавува во два случаји:

1. Издигнување на аглите на плочата – федерот се одлепува. Во математичкиот модел овие федери се исклучени од анализата
2. Нелинеарна зависност P-Δ (сила поместување) кое е резултат на збивањето на песокот. Ова зависност е дефинирана според мерените слегања на точките во средина на ослонците.



F [kN/m <sup>2</sup> ]	U [mm]
9	0.06
27	1.04
36	1.61
54	2.43
63	3.34
81.33	4.38
89.7	4.6

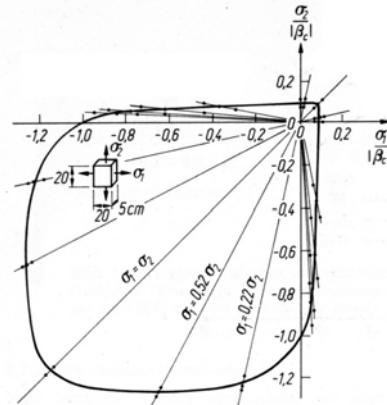
## 5. ОПТЕРЕТУВАЊЕ

- Сопствена тежина
- Фаза 1-6. Фазите на оптеретувања се дадени во прилог

## 6. АНАЛИЗА

Во анализата се третирани следните нелинеарни ефекти:

- Нелинеарноста во бетонот е земена према **Kupfer-Hilsdorf-Rüsch**



Слика 6 Крива на гранична носивост на бетонот според *Kupfer-Hilsdorf-Rüsch*

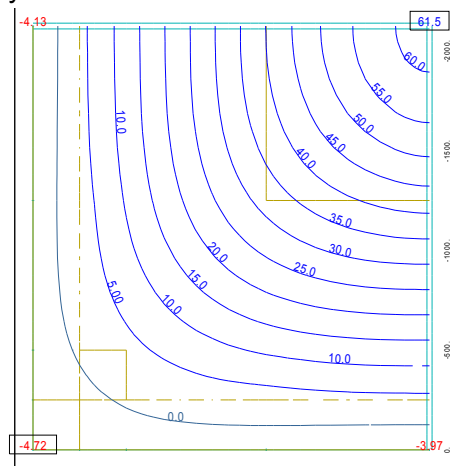
- Појава и развој на пукнатините
- Челикот е третиран како билинеарен

Вкупниот момент на инерција на слоестите елементи е добиен како сума на моментите на инерција на поедините слоеви и “Steiner-part” од индивидуалните слоеви.

## 7. РЕЗУЛТАТИ

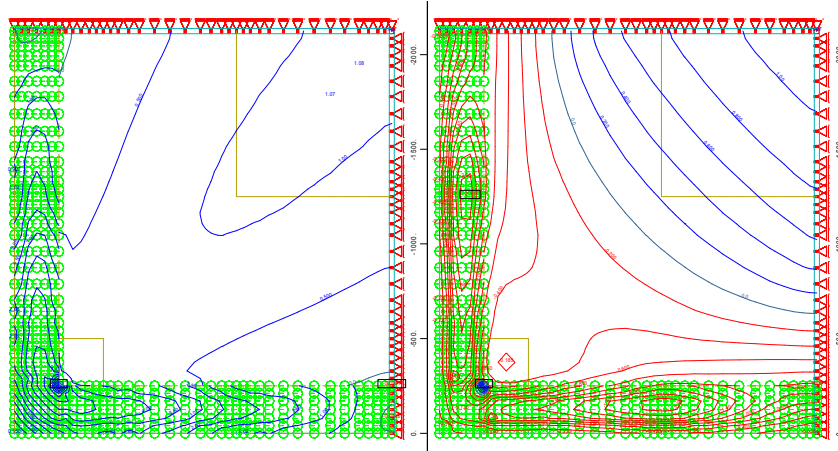
Во продолжение се прикажани некој од резултати добиени со нелинеарните анализи.

- Деформации - поместувања

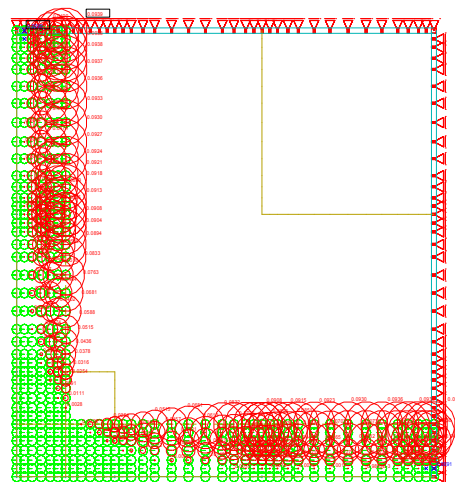


Слика 7 Поместувања во плочата во моментот на лом

- Статички големини



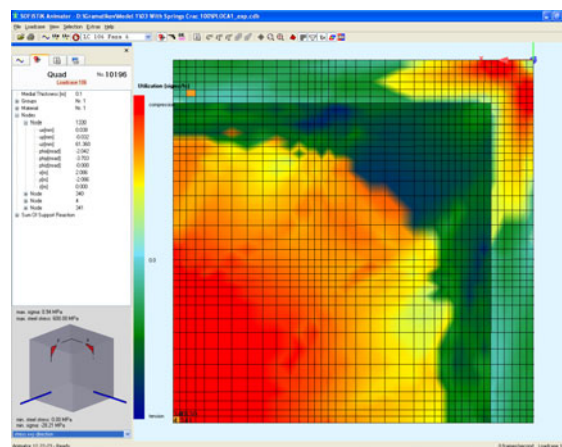
Слика 8 Распределба на главните моменти



Слика 9 Сили во ослонците

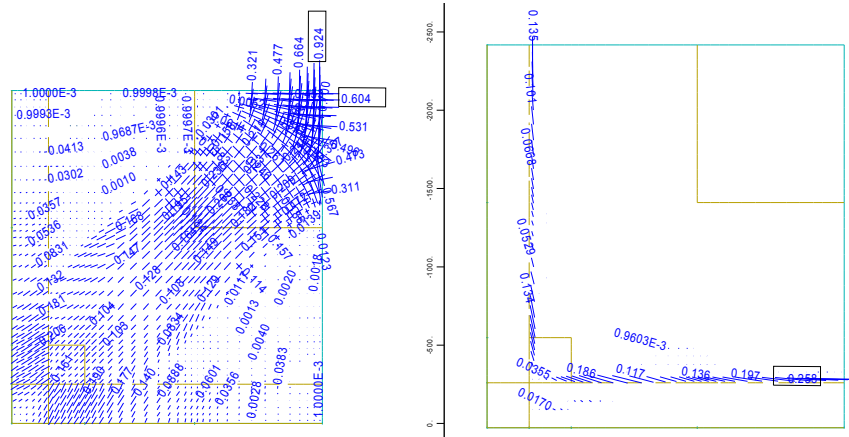
Усвоениот математички модел за симулација на ослонувањето овозможува појава само на сили на притисок. Во точките каде плочата се издига силите се нула.

- Напрегања



Слика 10 Главни напрегања

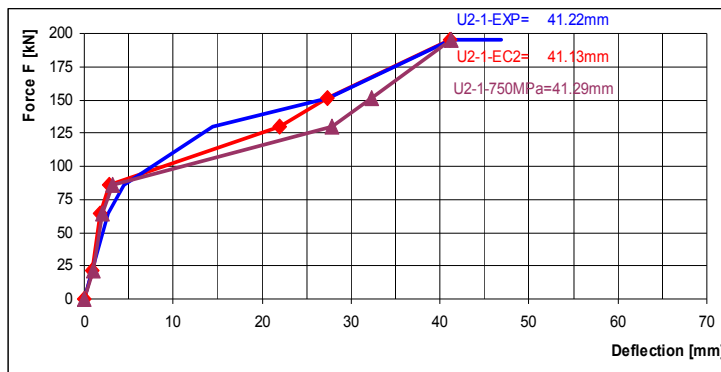
- Прснатини



Слика 11 Распределба на прснатините

## 8. СПОРЕДБА НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Извршените споредби помеѓу експерименталните и нумеричките резултати покажуваат многу добро совпаѓање, што е потврда за коректноста на математичкиот модел



Exp – експериментални  
 EC2 – Конститутивен модел според EC  
 750MPa – Конститутивен модел според лабораториските тестови

Слика 12 Споредба на експерименталните и нумеричките резултати.

## 9. ЗАКЉУЧОК

Со овие истражувања се добиени релевантни податоци за влијанието на заварените арматурни мрежи со нестандарден вар на однесувањето на армирано бетонските крстато армирани плочи. Утврдените гранични носивости на конструктивните армирано бетонски елементи армирани со мрежи со нестандарден вар не покажуваат намалување на нивната гранична носивост, односно ја задоволуваат сигурност предвидена со важечките национални стандарди. Примерите анализирани со стандарден вар (мрежаста арматура) покажуваат подобро прилепување на арматурата за бетонот од примерите анализирани со нестандарден вар (поединечни прачки). Јакоста на затегнување (Tensile strength for Tension Stiffening) кај мрежастата арматура со стандарден вар е за околу 10% поголема (3.9/3.5MPa) од мрежите со нестандарден вар.