

**ДГКМ**  
ДРУШТВО НА  
ГРАДЕЖНИТЕ  
КОНСТРУКТОРИ НА  
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,  
П.Фах 560, 1001 Скопје  
Северна Македонија

**MASE**  
MACEDONIAN  
ASSOCIATION OF  
STRUCTURAL  
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,  
P. Box 560, 1001 Skopje  
North Macedonia

CS - 2



mase@gf.ukim.edu.mk  
http://mase.gf.ukim.edu.mk

## ОЦЕНА НА ДОВЕРЛИВОСТ НА ГОРНИОТ СТРОЈ НА МОНТАЖНИ ПРЕТХОДНО НАПРЕГНАТИ МОСТОВИ

Дејан ГЕГОВСКИ<sup>1</sup>, Тони АРАНЃЕЛОВСКИ<sup>2</sup>, Дарко НАКОВ<sup>3</sup>, Горан МАРКОВСКИ<sup>4</sup>

### АПСТРАКТ

Имајќи предвид дека сите објекти се проектирани за одреден “животен век”, доаѓа моментот кога ќе треба да се постави прашањето дали се сеуште сигурни и употребливи? Потребата да се постави ова прашање произлегува од самиот факт што со тек на време, секој објект е изложен на надворешни влијанија и претрпува одредени геометриски и материјални деградации, механички оштетувања, зголемен интензитет на подвижен товар (тежина и фреквенција на возила), а исто така производството и контролата на материјалите тогаш било на пониско ниво.

Одговорот на ова прашање може да се открие само преку нивно истражување и оценка на доверливоста, а крајниот одговор може да биде: рушење и повторна изградба, санирање и/или зајакнување, не се потребни интервенции.

Доверливост е веројатноста дека еден систем (конструкција) ќе ги извршува функциите за кои е проектиран за време на одреден временски интервал (“животниот век”) под специфични експлоатациони услови. За да се определи индексот на доверливост на конструкцијата ( $\beta_{\text{систем}}$ ), претходно треба да се определат индексите на доверливост на ниво на конструктивен елемент ( $\beta_i$ ), а потоа преку нивна врска (во зависност од конструктивниот систем и граничната состојба) се определува на конструкцијата. Поради недостаток на средства и услови да се испитаат потребните геометриски, материјални и останати податоци за стар мост, извршена е оценка на доверливост на релативно нов мост, односно армиранобетонски претходно напрегнат греден натпатник на автопатската делница Миладиновци – Штип. За таа цел е искористен проектот на истиот, како и сите достапни извештаи за вградените материјали кои се од особена корист за моделирање на реалниот модел.

Доверливоста е разгледувана од аспект на гранична состојба на носивост (нападни моменти) користејќи ги FORM (First Order Reliability Method) и MonteCarlo симулациската техника.

На крајот од трудот, извршена е компаративна анализа помеѓу резултатите од двете методи со препорачаните минимални вредности во EN1990[1] за 1 година референтен период.

*Клучни зборови: Reliability; FORM; MonteCarlo, concrete bridges.*

<sup>1</sup> М-р Дејан Геговски, Скопје, Република Северна Македонија, [gegovskidejan@yahoo.com](mailto:gegovskidejan@yahoo.com)

<sup>2</sup> Проф. д-р Тони Аранѓеловски, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [arangelovskitoni@gf.ukim.edu.mk](mailto:arangelovskitoni@gf.ukim.edu.mk)

<sup>3</sup> Проф. д-р Дарко Наков, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [nakov@gf.ukim.edu.mk](mailto:nakov@gf.ukim.edu.mk)

<sup>4</sup> Проф. д-р Горан Марковски, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, [markovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:markovski@gf.ukim.edu.mk)

## 1. ВОВЕД

Мостовите претставуваат значителен дел од основните средства за изградба на патната и железничката транспортна инфраструктура. Имајќи го предвид фактот дека проширувањето на патните и железничките мрежи во повеќето европски земји започнало во XIX век, значаен дел од овие објекти се сè уште во употреба и се стари повеќе од 100 години. Според истражување спроведено во земјите од Северна и Централна Европа (SAMARIS, 2005), повеќето од патните мостови се изградени во периодот 1946-1965г., додека пак железничките уште порано. Така и во нашава земја, факт е дека голем дел од инфраструктурните објекти се изградени за време на поранешна СФРЈ, во периодот после Втората Светска Војна, поради што може да се констатира дека овие објекти се изградени пред 50-70 години. Како и да е, доаѓа период (можеби сега е тој период) во кој ќе треба да се запрашаеме дали овие објекти се сè уште сигурни и употребливи. Потребата да се постави ова прашање доаѓа од повеќе причини кои како најважни се издвојуваат:

- Со текот на времето секој објект е изложен на надворешни влијанија поради кои истиот претрпува одредено ниво на геометричка и материјална деградација, механички оштетувања и друго, кои директно влијаат на носивоста и употребливоста.
- Во времето кога овие објекти се проектирани, користени се други стандарди според кои меѓудругото се предвидувал и помал интензитет на подвижен товар (помала тежина и фреквенција на возила), за разлика од денес каде што е баш спротивното.
- Начинот на производство и контрола на материјалите денес е на многу повисоко ниво отколку во минатото, што исто така има важна улога.

Сепак одговорот на ова прашање може да се открие само преку нивно истражување и оценка, крајниот одговор може да биде:

- Рушење и повторна изградба
- Санирање и/или зајакнување
- Не се потребни интервенции

За да се процени во која од овие три насоки треба да се продолжи, потребни се многу информации за конструкцијата. Најпрво е потребен проектот бидејќи доколку го нема (не ретко и тоа се случува) тоа би претставувало вистински проблем и финансиски трошок. Потоа податоците од фаза на изградба, тука се мисли на геометријата (цртежи од изведена состојба), материјалите кои се вградени (преку извештаите, за секој материјал) и сè останато за да се добие вистинската слика за конструкцијата уште при пуштањето во употреба.

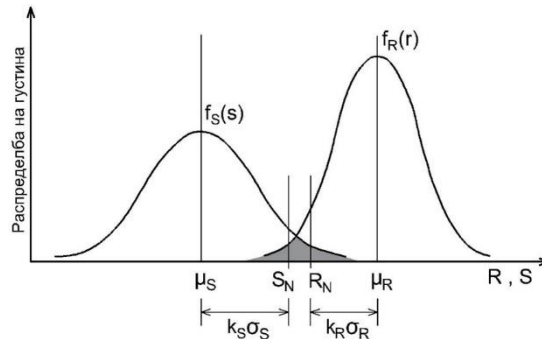
Потоа доаѓа истражувачкиот дел, преку разни деструктивни и недеструктивни методи се добиваат сите потребни информации за да се дознае реалната (моментална) состојба на конструкцијата. Со овие податоци се моделира модел од реална состојба од кои се употребуваат статичките големини, со кои се влегува во понатамошната пресметка, која се базира на веројатност и статистика. Ново е тука што за ниту една вредност не сме детерминистички сигурни, т.е. се воведуваат нови пробабилистички и полу пробабилистички методи кои навлегуваат (можеби веќе се навлезени) во секој сегмент од градежништвото.

Како финален резултат се добива “веројатност на лом” (*probability of failure*) на конструкцијата, која потоа се споредува со претходно пропишани (дозволени) вредности во Еврокодските [1] во зависност од староста и важноста на објектот. Важно е да се напомене дека оваа постапка не се извршува само за постоечки објекти, туку исто така и за новоизградени. Во еврокодските, сигурносните коефициенти при проектирање произлегуваат од индексот на доверливост, за кои исто така имаат пропишано вредности.

## 2. АНАЛИЗА НА ДОВЕРЛИВОСТА

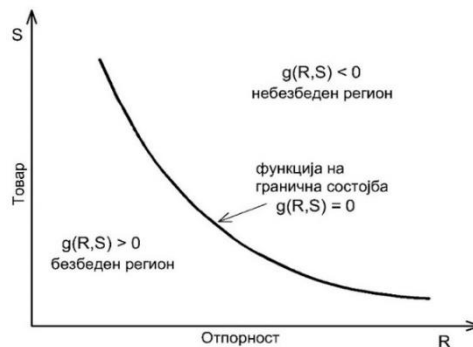
Анализата на доверливост може да се изврши за гранична состојба на носивост и гранична состојба на употребливост. Секако, секоја од граничните состојби може да се разгледува од различен аспект. Така, граничната состојба на носивост може да се разгледува како рамнотежа во системот (надворешни сили = внатрешни сили) преку која било од статичките големини (нападни моменти, трансверзални сили и аксијални сили). Ова произлегува од основната равенка

за гранична состојба со разгледувани две променливи,  $Z = R - S$ , каде што  $R$  ја претставува носивоста на конструкцијата, додека пак  $S$  натоварувањето на конструкцијата. И двете променливи се карактеризираат со нивни средни вредности  $\mu_S$  и  $\mu_R$ , стандардни девијации  $\sigma_S$  и  $\sigma_R$ , и соодветни функции за густина на распределба (*Probability density functions – PDF*)  $f_S(s)$  и  $f_R(r)$ . Површината на затемнетиот дел на слика 1 претставува веројатноста за лом.



Слика 1. Случај со две променливи, натоварување ( $S$ ) и носивост ( $R$ )

Равенката за граничната состојба (*Limit state function*) е од големо значење бидејќи таа претставува граница помеѓу безбедниот и небезбедниот регион (лом). Во зависност од тоа колку променливи се земени предвид таа може да биде линеарна (наједноставна и многу ретко) и нелинеарна.



Слика 2. Равенка на гранична состојба (*Limit state function*)

Со претпоставка дека  $R$  и  $S$  се статистички независни нормално распределени случајни променливи, исто така и  $Z$  би била променлива со нормална распределба. Нејзината средна вредност и варијанса можат многу лесно да се утврдат. Настанот на лом е  $R < S$  или  $Z < 0$ . Веројатноста на лом зависи од односот на средната вредност и стандардната девијација на  $Z$ . Овој однос е повеќе познат како *индекс на сигурност* или уште повеќе како *индекс на доверливост* и се означува со грчката буква  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1)$$

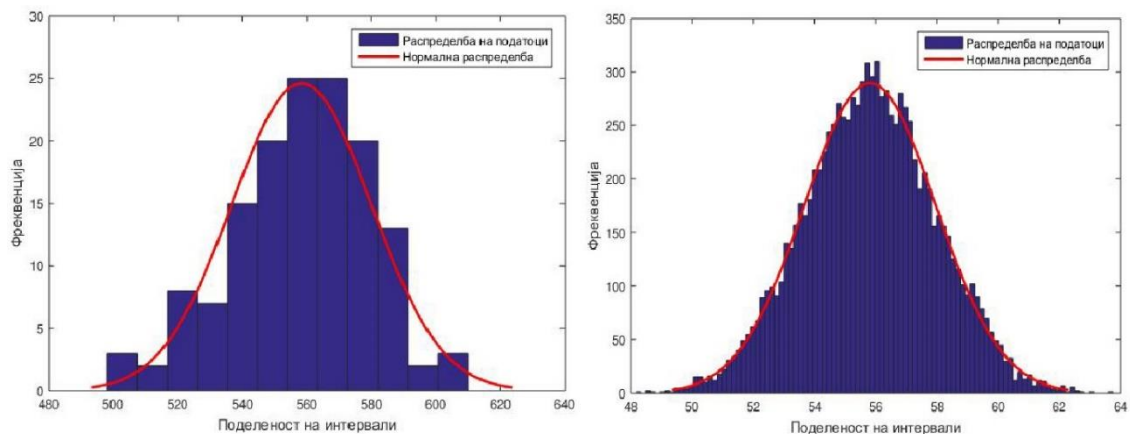
Веројатноста на лом изразена преку *индексот на доверливост* ( $\beta$ ) може да се добие со минимално преуредување на равенката (1).

$$P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (2)$$

Каде што  $\Phi$  е функција на кумулативна распределба (*Cumulative Distribution Function - CDF*) на стандардната нормална променлива, во овој случај на  $\beta$ .

Мора да се напомене дека равенките (1) и (2) даваат точни резултати за наједноставните случајви, односно кога равенката на гранична состојба е линеарна (многу редок случај) и променливите се со нормална (Гаусова) распределба. Бидејќи во реалноста скоро и да не е можен ваков случај, извршени се повеќе модификации кои ги земаат предвид нелинеарноста на равенката на гранична состојба и распределбите на густината на сите променливи. Како најнапредна и метода со која се надминати сите недостатоци е FORM методата која поради истата причина е искористена во овој труд. Поради комплексноста на пресметковниот математички апарат кој е итеративен, направен е алгоритам во програмскиот пакет *MatLab*.

За разлика од *FORM* методата, со *MonteCarlo* симулациската техника за секоја променлива се генерира вештачка популација на вредности така што променливите ќе се стекнат со истите карактеристики (средна вредност и стандардна девијација) како реалните распределби и параметрите на веројатност.



Слика 3. Реална и вештачки генерирана популација

Решавањето на равенката на граничната состојба, детерминистички за секоја вредност одделно, се нарекува симулациски круг. Со користење на повеќе симулации (симулациски кругови) се добиваат во целост карактеристиките на веројатноста на проблемот, особено кога бројот на симулациите тежнее кон бесконечност.

Во сите симулациски кругови, се запишуваат излезните податоци ( $N$ -те решенија на проблемот) во вид на матрица. Потоа се пресметуваат средната вредност и стандардната девијација на векторот, а нивниот однос е еднаков на индексот на доверливост, односно се добива истата форма како равенката (1). Голема предност на симулациските техники користејќи компјутери е тоа што се евтин начин (за разлика од лабораториските тестирања) за да се истражи проблемот со неточноста (*uncertainty*) на параметрите.

Користејќи ги овие две методи, може да се анализира само индивидуален елемент во контекст на доверливост. Кога се разгледува доверливоста на системот, важно е да се препознае дали ломот на еден елемент е проследен со лом на целата конструкција или не. Поради тоа доверливост на елемент може, но и не мора да е слика за доверливоста на целата конструкција како систем. Поради поедноставување одлучено е да постојат два екстремни видови на конструктивни елементи кои вообичаено се користат при анализа на доверливоста на конструкција како систем. Овие екстремни типови се крути и дуктилни. Крут елемент е елемент кој по доживување на лом е комплетно неносив. Спротивно на ова, дуктилен елемент е способен до некој степен да ја одржи својата носивост по доживувањето на лом. Како основна поделба за доверливост на системот, разликуваме два идеализирани типови, сериски и паралелни системи. Во *сериски систем*, лом на еден елементи од системот води до моментален лом и на целиот систем. Таков случај е случај на ланец). Кога една алка (врска) од ланецот ќе откаже, ланецот не може да носи никаков товар. Спротивно на ова, *паралелниот систем* за да доживее лом, претходно мора секој од елементите поединечно да доживее лом. Кабелот кој е затегнат со некој товар е составен од повеќе одделни жици е типичен пример за паралелна врска, а за да се скине целиот кабел, претходно треба секоја

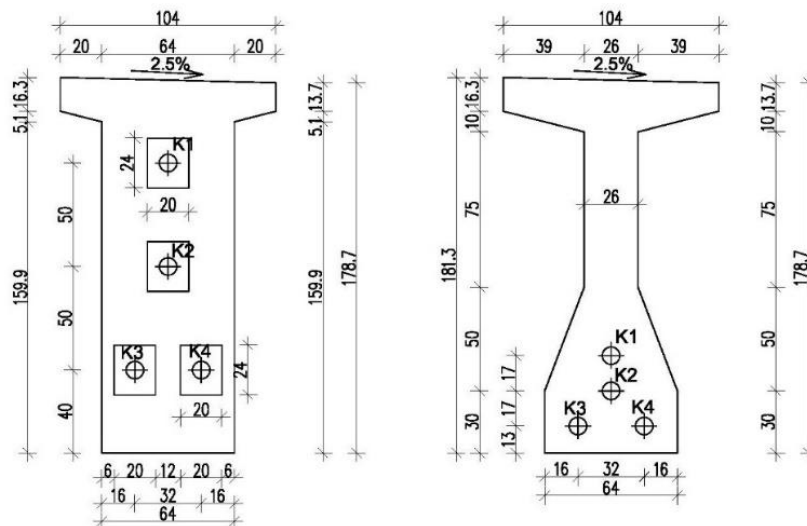
од жиците да се скине. Во реалноста, скоро ниту една конструкција не може да биде класифицирана како целосно *сериски* или *паралелен систем*.

### 3. НУМЕРИЧКА АНАЛИЗА НА ПРЕТХОДНО НАПРЕГНАТ НАТПАТНИК

Предмет на истражување во овој труд е определување на системската доверливост на претходно напрегнат греден натпатник на автопатската делница Миладиновци – Штип.

Објектот се наоѓа на клучката “Миладиновци” по рампа 1 од  $km\ 0+531.654$  до  $km\ 0+694.372$  на автопатот Миладиновци – Штип. Проектиран е и изведен како полумонтажен со пет полиња со вкупна должина (на целиот објект)  $L=162.72m$ . Станува збор за конструктивен систем – *проста греда*, со распон (на одделно поле)  $L=31.3m$ .

Горниот строј од натпатникот е составен од 4 претходно напрегнати носачи во напречен пресек и полумонтажна плоча. Носачите се со вкупна должина  $L=32.5m$  и напречен  $T$  пресек, односно несиметричен  $I$  пресек. Димензиите на напречниот пресек на крајот и средината на носачите се прикажани на слика 4. Носачите се поставени на осовинско растојание од  $3.15m$ , а коловозната плоча е со дебелина  $d_p = 7$  (армирано бетонски талпи) +  $15 = 22cm$ . Во секое поле на мостот се изведени по два крајни и два средни напречни носачи со ширина од  $40cm$  и висина  $150cm$ . Шираната на мостот е  $12.60m$ .



Слика 4. Напречен пресек на крај и на средина на главниот носач

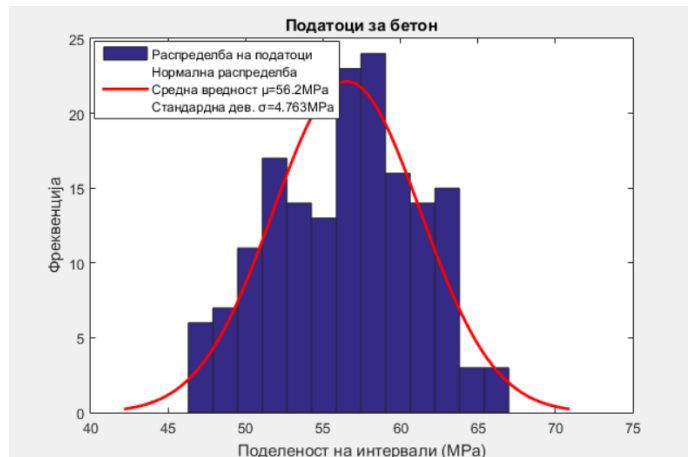
Долниот строј на објектот е составен од неопренски лежишта, два крајни столбови, четири средни столбови и темели. Столбот  $C1$  е армиранобетонски и е изведен во вид на платно со константна дебелина  $d=150cm$ , има крилни видови со променлива дебелина. Столбот  $C6$  е изведен како засипан и е составен од три поединечни столбови со променлива ширина по висина од  $220/100cm$  (контакт со темел) до  $150/150cm$  (спој со належна греда), неговите крилни видови се конзолни со дебелина  $d=50cm$ . Средните столбови ( $C2$ ,  $C3$ ,  $C4$ ,  $C5$ ) се со правоаголен напречен пресек (во вид на платна) со константна дебелина  $d=100cm$ , а на горниот крај завршуваат со належни греди.

Фундирањето на крајниот столб  $C1$  е извршено на армиранобетонска темелна плоча со една каскада со дебелина  $d=150cm$ , на засипаниот краен столб  $C6$  на две каскади со дебелина  $d=80+80=160cm$ , а на средните столбови на темели самци составени од две каскади со дебелина  $d=100+100=200cm$ .

### 3.1 Квалитет на материјалите од изведена состојба

#### Бетон

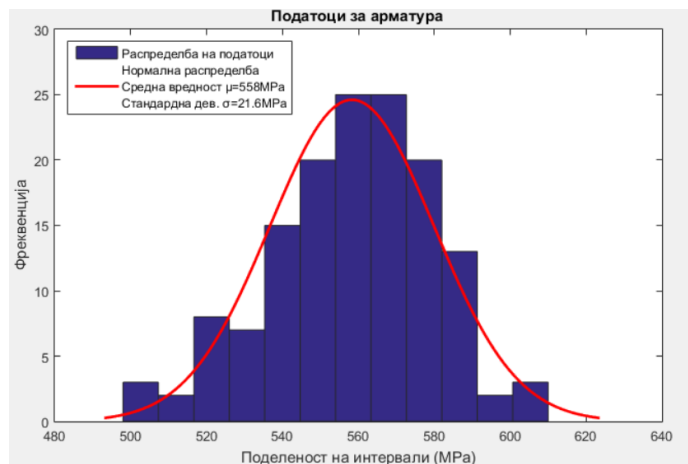
Во пресметките при проектирање, за сите конструктивни елементи од горниот строј е предвидена *МБ-45*, додека за конструктивните елементи од долниот строј е предвидена *МБ-30*. Сепак, како што е и очекувано, во реалноста материјалите вградени во конструкцијата се разликуваат од оние предвидените во проектот. Од постоечките извештаи за бетон за оваа конструкција, кои ги искористивме како статистички податоци, се изнесени на слика 5.



Слика 5. Распределба на податоци за бетон

#### Арматура

Сите конструктивни елементи како што се коловозната плоча, “меката арматура” кај главните носачи, напречните носачи, крајните и средните столбови, належните греди, крилните сидови и темелите со проектот е предвидено да се армираат со *РА 400/500-2*. Податоците од достапните извештаи за вградена арматура во конструкцијата се прикажани на слика 6.

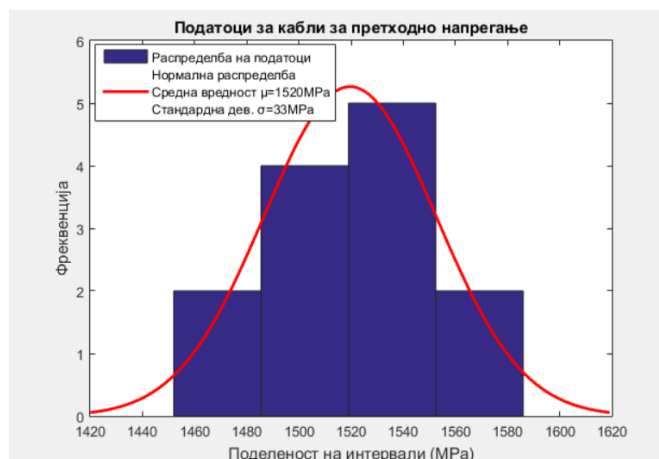


Слика 6. Распределба на податоци за арматура

#### Арматура за претходно напрегање

Високовредниот челик за претходно напрегнатите кабли кој е користен кај главните носачи е предвиден со квалитет *1670/1860 МПа*. Секој главен носач е претходно напрегнат со четири кабли тип *13С15*. Котвите се *С* продукти од *Freyssinet system* т.е *13С15 (нормална)*, па поради тоа и затегањето е извршено со опрема за *Freyssinet system С*, односно со *stressing jack* тип *K350* и хидраулична преса тип *С350F*.

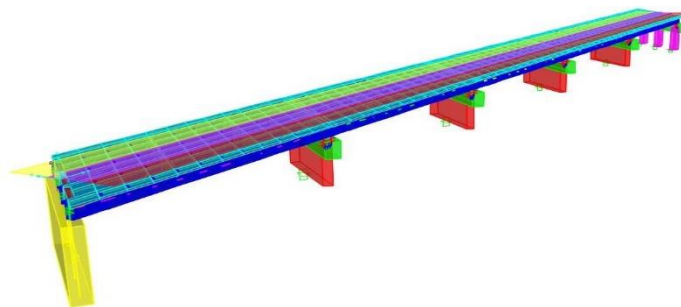
Од извештаите извадени се податоци за напрегањата при кои овој челик почнува да “тече”.



Слика 7. Распределба на податоци за кабли за претходно напрегање

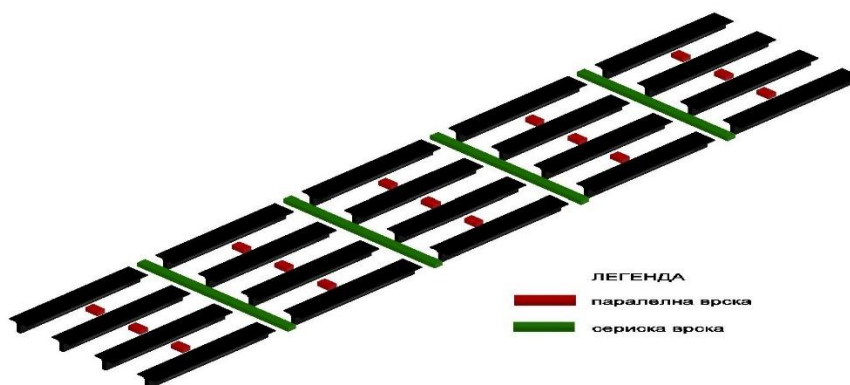
### 3.2 Модел

Поради потребата да се добие што пореална слика за состојба на натпатникот, изработен е модел на целиот натпатник (многу често кај систем проста греда се моделира само едно поле, односно и во проектот така е постапено) со реалните параметри на вградените материјали и притоа беа земени предвид напречниот наклон (2.5%) и ротацијата на столбовите во однос на надолжната оска на мостот за 50 степени. Моделот е изработен во софтверскиот програм “*CSi Bridge 21*”. За да се добие модел со реални сообраќајни натоварувања од возила, искористена е една од предностите на овој програм, а тоа е што има можност за дефинирање на возила и “сообраќајни ленти” по кои тие се движат. Дефинирани се три сообраќајни ленти (слика 8) и три типа на возила: автомобил, комбе и камион, со реални тежини по осовини (превземени од достапни податоци за реални возила). Со пуштање на повеќе анализи се добиени одредени статистички податоци за тоа колку би изнесувал подвижниот динамички товар при реални услови.



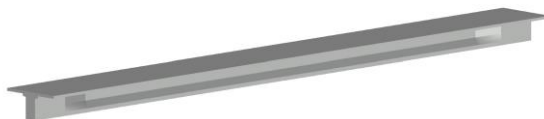
Слика 8. Дефинирани сообраќајни ленти во софтверскиот програм *CSi Bridge 21*

Во овој труд, граничната состојба на носивост ќе биде разгледана за дејство на *нападни моменти*. За потребите на анализата на доверливоста преку граничната состојба на носивост – ГСН, конструкцијата е поделена на дваесет елементи и соодветни меѓусебни врски како што е покажано на слика 9.



Слика 9. Дискретизација на конструкцијата за ГСН

Може да се забележи дека конструкцијата е дискретизирана на пет полиња, додека пак секое поле е составено од четири елементи. Всушност елементи се главните носачи со *T*-пресек и припадната површина од коловозната плоча, (види слика 10). Во овој случај (ГСН) врската помеѓу секое поле е сериска, додека пак врската помеѓу елементите на ниво на поле е паралелна.

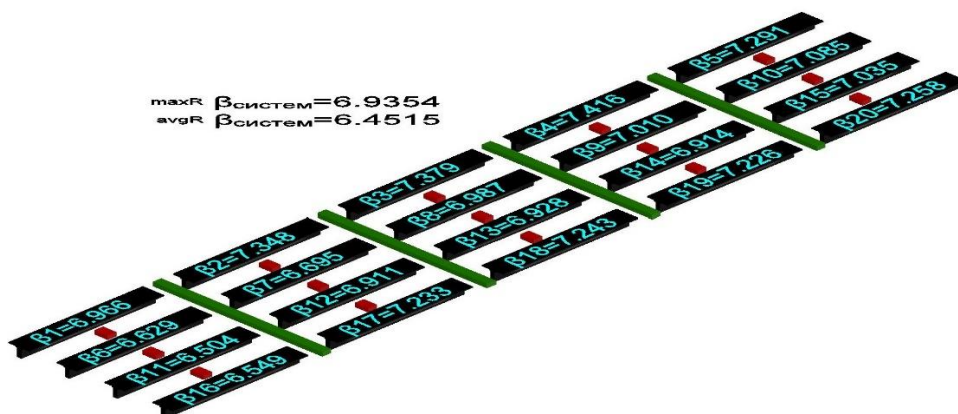


Слика 10. Елемент од дискретизираната конструкција

Добиените резултатите ќе бидат споредени со оние за референтен период од 50 години (иако разгледуваниот мост е нов – околу 4 години), со тоа што предвид ориентационо би се зеле очекуваните деградации во текот на времето (периодот од 50 години). Во *FiB80[7]* билтенот, стои дека таа деградација, односно опаѓање на индексот на доверливост може грубо да се претпостави како  $\Delta\beta=1.5$ . Секако оваа деградација зависи од степенот на одржување и спаѓа во областа на *трајноста*, која не се разгледува во овој труд.

#### 4. АНАЛИЗА НА РЕЗУЛТАТИТЕ

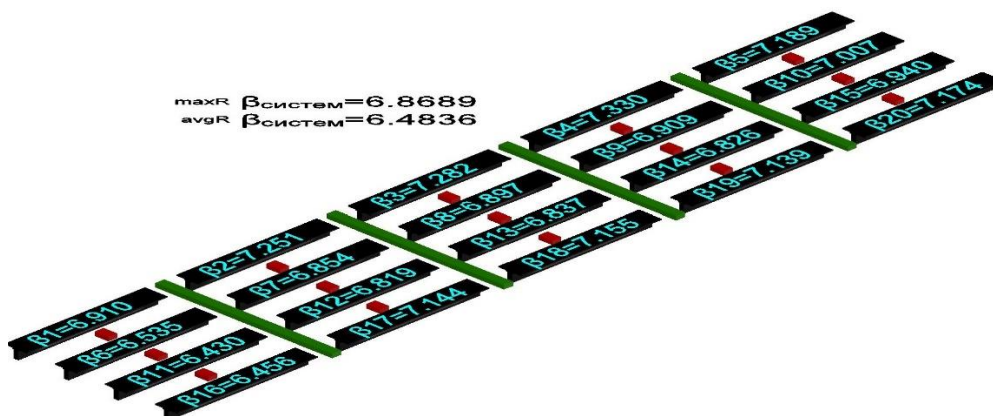
##### 4.1 FORM (First Order Reliability Method) метода



Слика 11. Резултати од *FORM* метода

Индексот на доверливост на конструкцијата во овој случај е пресметан за максимални товари предизвикани од реално можно натоварување. Свесно е работено со многу поголеми оптоварувања, сè со цел да се покријат и некои вонредни ситуации (воена состојба), во кои би поминувале екстремно тешки возила (воени возила), како пример може да се спомене преминот на воените возила на НАТО долж автопатот Катланово – Велес. Индексот на доверливост на конструкцијата изнесува  $\beta_{\text{систем}} = 6,4515$  односно веројатноста за лом е  $P_f = 5.538 \cdot 10^{-11}$ .

##### 4.2 Monte Carlo симулациска техника (Mean value)



Слика 12. Резултати од *Monte Carlo* симулациска техника



Со оваа метода, индексот на доверливост изнесува  $\beta_{систем} = 6,4836$ , т.е  $P_f = 4.479 * 10^{-11}$ .

### 4.3 Сензитивна анализа (*Sensitivity analysis*)

Со цел да се дознае влијанието на секоја од променливите врз индексот на доверливост на целата конструкција ( $\beta_{систем}$ ), извршена е сензитивна анализа. Анализата се одвива на тој начин што се повторува целата постапка за добивање на  $\beta_{систем}$ , но со таа разлика што влезните параметри на променливите (средна вредност или стандардна девијација) се зголемува за 10%, па потоа се врши процентуална споредба со реалниот  $\beta_{систем}$  добиен преку *FORM* методата. Ова се повторува за секоја од променливите.



Слика 13. Влијание на средните вредности врз  $\beta_{систем}$  кај ГСН

Каде што:

- *meanFps* е средна вредност на јакоста на затегнување при течење на каблите
- *meanDps* е средна вредност на растојанието од тежиште на кабли до горниот раб
- *meanA1* средна вредност на површината на затегнатата арматура
- *meanD1* е средна вредност на растојанието од тежиште на А1 до горниот раб
- *meanFy* е средна вредност на јакоста на затегнување при течење на арматурата
- *meanFc* е средна вредност на јакоста на притисок на бетонот
- *meanB* Е средна вредност на ширината на бетонскиот пресек во притисната зона
- *meanM* е средна вредност на вкупниот нападен момент



Слика 14. Влијание на стандардните девијации врз  $\beta_{систем}$  кај ГСН

Каде што:

- $stdFps$  е стандардна девијација на јакоста на затегнување при течење на каблите
- $stdDps$  е стандардна девијација на растојанието од тежиште на кабли до горниот раб
- $stdA1$  стандардна девијација на површината на затегнатата арматура
- $stdD1$  е стандардна девијација на растојанието од тежиште на A1 до горниот раб
- $stdFu$  е стандардна девијација на јакоста на затегнување при течење на арматурата
- $stdFc$  е стандардна девијација на јакоста на притисок на бетонот
- $stdB$  е стандардна девијација на ширината на бетонскиот пресек во притисната зона
- $stdM$  е стандардна девијација на вкупниот нападен момент

## 5. ЗАКЛУЧОК

Заклучоците од истражувањата во овој труд се следните:

- При анализа за ГСН, преку *FORM* методата, пресметаниот индекс на доверливост на конструкцијата изнесува  $\beta_{систем} = 6,452 > 4.3$  (50 год), а според *Monte Carlo* методата пресметаниот индекс на доверливост изнесува  $\beta_{систем} = 6,484$ , што претставува разлика од 0.498% во однос на *FORM* методата. Тука треба да се напомене дека индексот на доверливост не е редуциран за деградацијата  $\Delta\beta(\sim 1,5)$ .
- При сензитивна анализа за ГСН, најголемо позитивно влијание имаат средните вредности на променливите поврзани со претходното напрегање, односно јакоста на затегнување при течење во каблите  $meanFps$  (12,05%) и растојание од тежиштето на каблите до горниот раб на пресекот  $meanDps$  (17,62%), а нападниот момент има најголемо негативно влијание  $meanM$  (-8,52%). Сите стандардни девијации имаат негативно влијание, но најизразени се стандардната девијација на растојанието од тежиштето на каблите до горниот раб на пресекот  $stdDps$  (-4,02%) и стандардната девијација на нападниот момент  $stdM$  (-5,68%).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2001), *EN 1990:2002+A1*, Brussels, 2001.
- [2] Achintya H., Sankaran M., (2000) *Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design*, Department of Civil Engineering & Engineering Mechanics University of Arizona and Vanderbilt University.
- [3] Andrzej S. Nowak (1991) *Reliability of Highway Girder Bridges*, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1991)117:8(2372).
- [4] Andrzej S. Nowak, Kevin R. Collins (2000), *RELIABILITY OF STRUCTURES*, University of Michigan.
- [5] Andrzej S. Nowak, (2004), *System reliability models for bridge structures*, University of Nebraska, Lincoln.
- [6] Milan Holicky (2009), *Reliability analysis for structural design, Stellenbosh 2009*.
- [7] Fib(CEB-FIP) Bulletin80 (2016), *Partial factor methods for existing concrete structures*, Federation international du beton (fib), Decembre, 2016.