

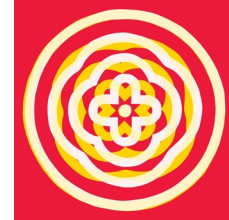
ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П. Фах 560, 1000 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1000 Skopje
North Macedonia

CM-12



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

СПОРЕДБА НА ЦЕЛОСНО И ДЕЛУМНО БЕТОНИРАНИ СПРЕГНАТИ СТОЛБОВИ ПО ЕВРОКОД 4

Ангелко СТОЈАНОВСКИ¹, Тони АРАНЃЕЛОВСКИ², Денис ПОПОВСКИ², Дарко
НАКОВ²

АПСТРАКТ

Трудот дава осврт на анализа на целосно и делумно бетонирани пресеци од спрегнати столбови со компаративна анализа на добиените резултати. Целата на овој труд е да се изврши анализа на целосно бетонирани спрегнати столбови со јадро од челичен профил и дополнителна мека арматура и делумно бетонирани столбови од челичен профил и дополнителна мека арматура. Притоа во анализата се земени исти и слични пресеци да се види колку е исплатливоста во носивост на аксијални сили и биаксијално свиткување за споредување на целосно спрегнати столбови со делумно спрегнати столбови.

Целата анализа се одвива по Еврокод 4 и со теориски претпоставки се воведува во анализата и се пресметува биаксијално свиткување и смолкнување на попречните пресеци на двата типа на спрегнати столбови. Анализираниите пресеци се примери од праксата товарени со реални товари. Материјалите на спрегнатите столбови се крути челични профили со класи на челик S235 – S460, марки на бетон C20/25 – C50/60, квалитет на мека арматура S460 и B500 со проценти на армирање од 1-6% и претпоставено пожарено сценарио со пожарна отпорност од R30 – R240. Направени се комбинации од пресметки за различни марки на бетон, различни квалитети на челик и арматура за различни пресеци со проценти на армирање, како и комбинации за соодноси на моменти и споредби на пресеци.

Од дадените статички влијанија се определува попречниот пресек за комбиниран притисок и биаксијално дејство и се определуваат интеракциони N–M дијаграми по двете оски со прикажани проценти на армирање во вид на конечен излез кој ќе може да се употребува во идни упростени пресметки. Од споредбата се добиени резултати и заклучоци со кое може да се увидат разликите на спрегнати столбови од целосно и делумно спрегнати пресеци.

Клучни зборови: Спрегнати столбови; Целосно спрегнати столбови; Делумно спрегнати столбови; Дијаграми на интеракција; Еврокод 4

¹ Страбаг АГ Придружница Страбаг АГ Скопје, Скопје, Република Северна Македонија,

² Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија,

1. ВОВЕД

Спрегнатите столбови се дел од спрегнатиот конструктивен систем. Спрегнатиот конструктивен систем може да биде чисто спрегнат конструктивен систем (сите носиви елементи во него се спрегнати) и мешан конструктивен систем од армиранобетонски или челични рамки каде се јавува по некој спрегнат дел од целата конструкција. Имаат голема примена во високоградбата кај спрегнати конструктивни системи и кај новоградби и кај стари објекти кои се пренаменуваат или санираат од оправдани причини како носивост, трајност и употребливост на објектот. Најчесто се употребуваат за санации на стари објекти, но се употребуваат и кај нови објекти каде пресеците се ограничени со архитектура, висока катна висина, голема катност и огромни товари. Спрегнатите столбови имаат улога да извршат трансфер на влијанија кои доаѓаат од меѓукатните спрегнати или армиранобетонски или челични конструкции кои товарите ги пренесуваат на гредни носачи кои може да бидат од спрегнат, армиранобетонски или челичен пресек, а гредите товарите ги пренесуваат на столбовите кои ги пренесуваат влијанијата преку темелите во почвата.

Спрегнатите столбови се вертикални елементи, но можат да бидат и коси за специфични објекти како трибини. Спрегнатите столбови се товарени на сили на притисок, свиткување по една или по две оски, трансферзални сили од гредите кои предизвикуваат коси главни напрегања на смолкнување, сили на затегање нема во најголем случај на овие столбови, но може да се и меродавни како што се конструкции од далекуводни столбови, антенски столбови, решеткасти столбови и спрегови. Во некои конструкции како решеткасти столбови се изложени и на торзија доколку е меродавна. Во однос на попречниот пресек може да бидат со константен попречен пресек по системска должина, кај столбовите тоа е висината и ваков тип е поедноставен и за проектирање и за изведба и се широко применува. Но, има и спрегнати столбови со променлив попречен пресек по висина на столбот, но се посложени за пресметка и за изведба, нивната употреба е ограничена и се применливи кај столбови од мостови, антенски столбови, пилони од висечки мостови и антенски кули.

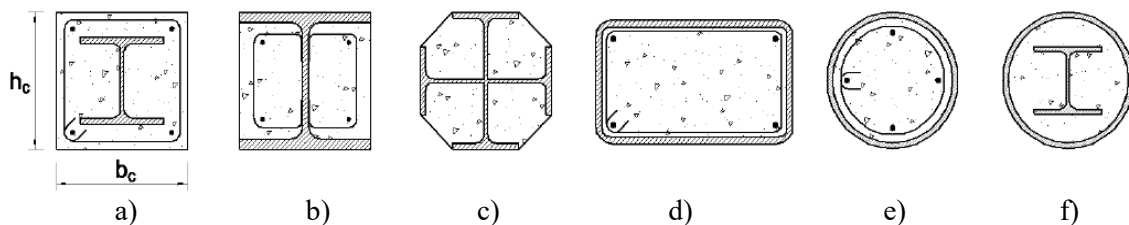
2. ТИПОВИ НА СПРЕГНАТИ СТОЛБОВИ

Според упростениот метод на анализа од EN1994-1-1 за анализа се претставени типични попречни пресеци на најприменувани спрегнати столбови, и ги анализира врз основа како се остварува врската на спрегање помеѓу челикот и бетонот.

2.1. Поделба според начинот на спрегање

Спрегањето кај столбовите и елементите изложени на притисок може да се оствари преку:

- целосно облагање на челичниот профил со бетон (Слика 1 под а).
- делумно облагање на челичниот профил со бетон (Слика 1 под b,c).
- кутијаст или кружен челичен профил испонет со бетон (Слика 1 под d,e).
- кутијаст/кружен пресек исполнет со бетон и челично јадро (Слика 1 под f).



Сл. 1. Типични попречни пресеци на спрегнати столбови според Еврокод 4

2.2. Опис на попречни пресеци на спрегнати столбови

Според попречниот пресек во основа може да бидат поделени на неколку типа. Спрегнати столбови со целосно обложување на челичниот профил со бетон, дополнително додадена и конструктивна арматура. Тие се најекономични и имаат добра пожарна отпорност. Се изведуваат

од I профили, вкрстени два I профили или профил од заварени лимови – лимен носач за столб, 2U профили заварени за ребрата или комбинација на профили од таблица со заварени лимови.

Спрегнати столбови со делумно облагање на челичниот профил со бетон, се изведуваат на тој начин што се добетонирува делот ограничен со двата појаси и реброто, дополнително се става арматура за армирање. Се применуваат за заштита на челични столбови или за укрутување. Имаат помала пожарна отпорност од целосно спрегнатите столбови.

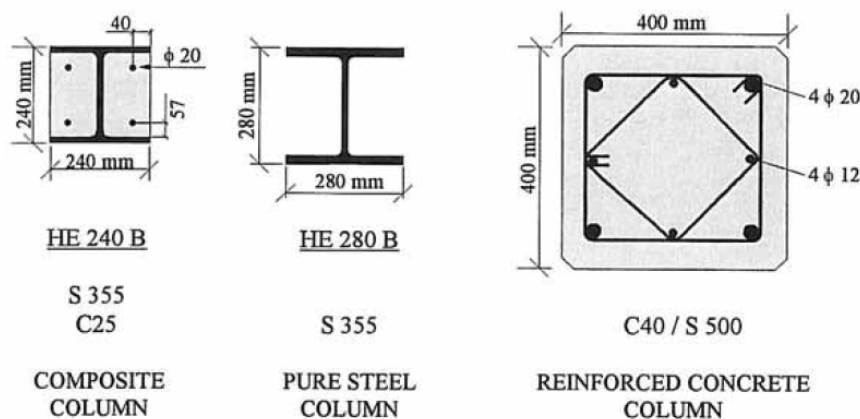
Спрегнати столбови од цестасти челични профили: кутијести или кружни исполнети со бетон, со дополнителна конструктивна арматура, се едноставни за изведба, но имаат слаба пожарна отпорност. Се користат за послабо товарени елементи.

Спрегнати столбови од цестасти челични профили: кутијести или кружни исполнети со бетон со челично јадро, се применуваат за многу товарени столбови и имаат подобра пожарна отпорност од спрегнати столбови од цестасти профили исполнети со бетон.

3. СПОРЕДБА НА СТОЛБОВИ ОД КОНСТРУКТИВНО ИНЖЕНЕРСТВО

3.1. Споредба на спрегнати столбови со бетонски, армиранобетонски и челичен столб за исто оптоварување

Спрегнатите столбови имаат носив капацитет на товари двапати поголем во однос на челичен пресек и армирано бетонски столб. За аплицирана аксијална сила спрегнатиот столб има намалени димензии во однос на челичен столб за иста сила, и покажува подобра пожарна отпорност, која се зголемува со додавање арматурни шипки како заштита на бетонот од одвојување од челичниот профил.



Сл. 2. Споредба на столбови од различни материјали за исто оптоварување од аксијална сила на притисок од 3 000 kN и должина од 4 m

На Слика 2 е претставена споредба на анализа на спрегнат столб со армиранобетонски и челичен столб, за ист пресек, и покажува дека спрегнатиот столб има многу поголема носивост на аксијален притисок, моменти на свиткување и крутост.

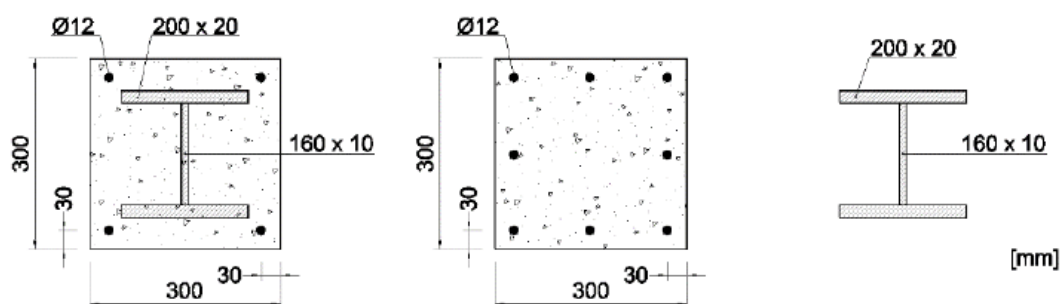
Во Табела 1 е претставена споредбата во процентуална искористеност на аксијален притисок, носивост од моменти на свиткување и крутост за главна оска на свиткување (y-y) и послаба оска на свиткување (z-z) за секој тип на попречен пресек на столбови од Слика 2.

Табела 1. Споредба на отпорност на аксијален притисок, моменти на свиткување и крутост за спрегнат, АБ и челичен столб за различни влијанија со ист попречен пресек

Попречен пресек	Аксијална отпорност	Отпорност на свиткување			Флексибилна крутост		
		уу оска	zz оска		уу оска	zz оска	
Спрегнат	100%	100%	64% уу	100%	100%	70% уу	100%
Армирано Бетонски	42%	30%	100% уу	46%	49%	100% уу	72%
Челичен	66%	77%	52% уу	62%	65%	39% уу	38%

3.2. Споредба на спрегнати столбови со бетонски, армиранобетонски и челичен столб за различни оптоварувања

На Слика 3 прикажани се слични попречени пресеци од различните материјали, каде спрегнатиот пресек комбиниран од димензиите на челичниот и армирано бетонскиот попречен пресек, поседува поголема крутост, а со тоа и поповолно однесување при граничните состојби на носивост и употребливост.



Сл.3. Споредба на столбови од различни материјали за различни влијанија

Како заклучок од Табела 1 и Слика 2 и 3 може да се утврди дека спрегнатите столбови се многу поекономични во однос на останатите столбови. Имаат помал попречен пресек за исти влијанија, покажуваат подобра пожарна отпорност во однос на другите столбови и се поедноставни за изведба.

4. МАТЕРИЈАЛИ, КВАЛИТЕТ НА МАТЕРИЈАЛИ И МАРКИ НА БЕТОН

4.1. Конструктивен челик

За спрегнатите столбови се употребува конструктивен челик согласно Eurocode 3. За вообичаените челични марки номиналните вредности на јачината, односно квалитет на челик е S235, S275, S355 и S460 и се дадени Табела 2. Тие важат за дебелина на материјалот не поголема од 40 mm. За повисоки дебелини на материјалот јакосните карактеристики мора да се намалат според Еврокод 3.

Табела 2. Номинални вредности на јакост f_y и модули на еластичност за обични типови на конструктивен челик според Еврокод 4 за дебелини на материјал не поголем од 40 mm

Квалитет на челик за профили со дебелини $t \leq 40$ mm				
Квалитет на челик (EN 3)	S235	S275	S355	S460
f_y (N/mm ²)	235	275	355	460
f_u (N/mm ²)	360	430	490	550
E_a (kN/mm ²)	210	210	210	210

4.2. Конструктивен челик

За јакоста на бетон се дефинирани различни марки на бетон согласно Eurocode 2 за карактеристичната јакост на коцка $(f_{ck})_{cu}$, после 28 дена. Во Табелата 3 се прикажани карактеристиките на различни квалитети на бетон, каде се класифицирани како C25/30 при што 25 е јакост на цилиндар, а 30 е јакост на коцка. Препорачани по Eurocode 4 се марки од C20/25 до C50/60.

Табела 3. Карактеристични марки на бетон согласно Eurocode 2

Марки на бетон (EN 4)	C 20/25	C 25/30	C 30/37	C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60
f_{ck} (N/mm ²)	20	25	30	35	40	45	50
f_{cm} (N/mm ²)	28	33	38	43	48	53	58
f_{ctm} (N/mm ²)	2.21	2.56	2.9	3.21	3.51	3.8	4.07
E_{cm} (kN/mm ²)	29962	31476	32837	34077	35220	36283	37278

4.3. Мека арматура

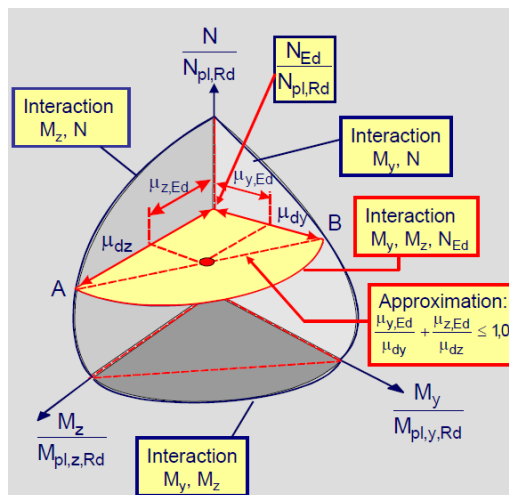
Eurocode 4 препорачува да се користат истите квалитети на арматура како и за армиранобетонски столбови согласно Eurocode 2. Најчесто применувани квалитети на арматура по Eurocode 2 кај спрегнати столбови се: S220, S420 и S500, се прикажани во Табела 4. Препорачано е да се употребува ребраста арматура, може и B500. Модул на еластичност $E_s=200$ kN/mm² за S220, S420 и S500.

5. ПРОЕКТИРАЊЕ И АНАЛИЗА НА СПРЕГНАТИ СТОЛБОВИ ПО EUROCODE 4 СО УПРОСТЕН МЕТОД И ДИЈАГРАМИ НА ИНТЕРАКЦИЈА

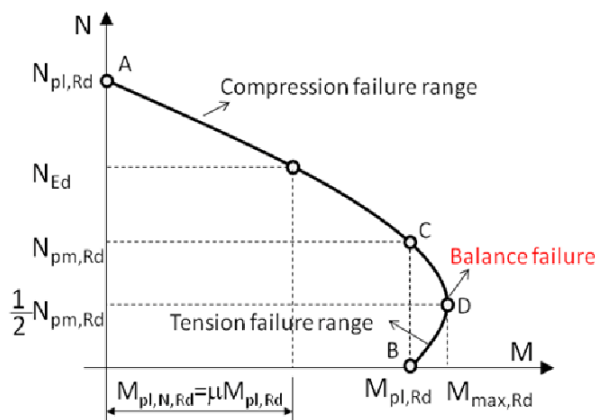
Начинот на проектирање и анализа на спрегнати столбови се одвива на тој начин што за дадени статички влијанија се поаѓа од почетни претпоставки согласно упростениот метод на анализа по Еврокод 4 и се усвојува тип на попречен пресек според архитектонско решение или каков смета да е најрационален проектантот таков, во „Рав. (1)“ е прикажана емпириска формула за определување на прелиминарни диманзии за идеализиран дијаметар по Lie & Kodur (1996) за кружни спрегнати столбови и истата може да се примени и за квадратни и правоаголни пресеци со помал сооднос на страните не поголем од 15%.

$$\phi_{\text{прелим.}} = D = \left[\frac{t_{\text{fire}} * (L_e - 1000)}{0.08 * (f_{ck} + 20)} * \sqrt{N_{Ed}} \right]^{0.4}, t_{\text{fire}} = 60 \text{ min} \quad (1)$$

Проектирање и анализа со упростениот метод се базира на пресметковна упростена анализа преку исполнување на услови за ограничување на упростениот метод и тоа: коефициент на учество на челичен пресек, релативна виткост, процент на крута арматура и мека арматура во прачки. Се анализира носивост на аксијално притиснати елементи и носивост на елементи изложени на притисок од едноаксијално свиткување или биаксијално свиткување и се определува отпорност од аксијален притисок. Со упростениот метод по Eurocode 4, можно е да се да се пресметаат рачно четири или пет точки (А, С, D, В и Е) од интеракционата крива прикажана на Слика 5. Се проверуваат отпорности по соодветни оски на пресекот и се добиваат точки од интеракционата крива по соодветни оски за интеракциони дијаграми по соодветната оска, притоа исполнувајќи со усвоениот пресек отпорност на аксијален притисок и комбинирано биаксијално свиткување и се врши верификација на носивиот капацитет од комбинирани дејства прикажани на Слика 4.



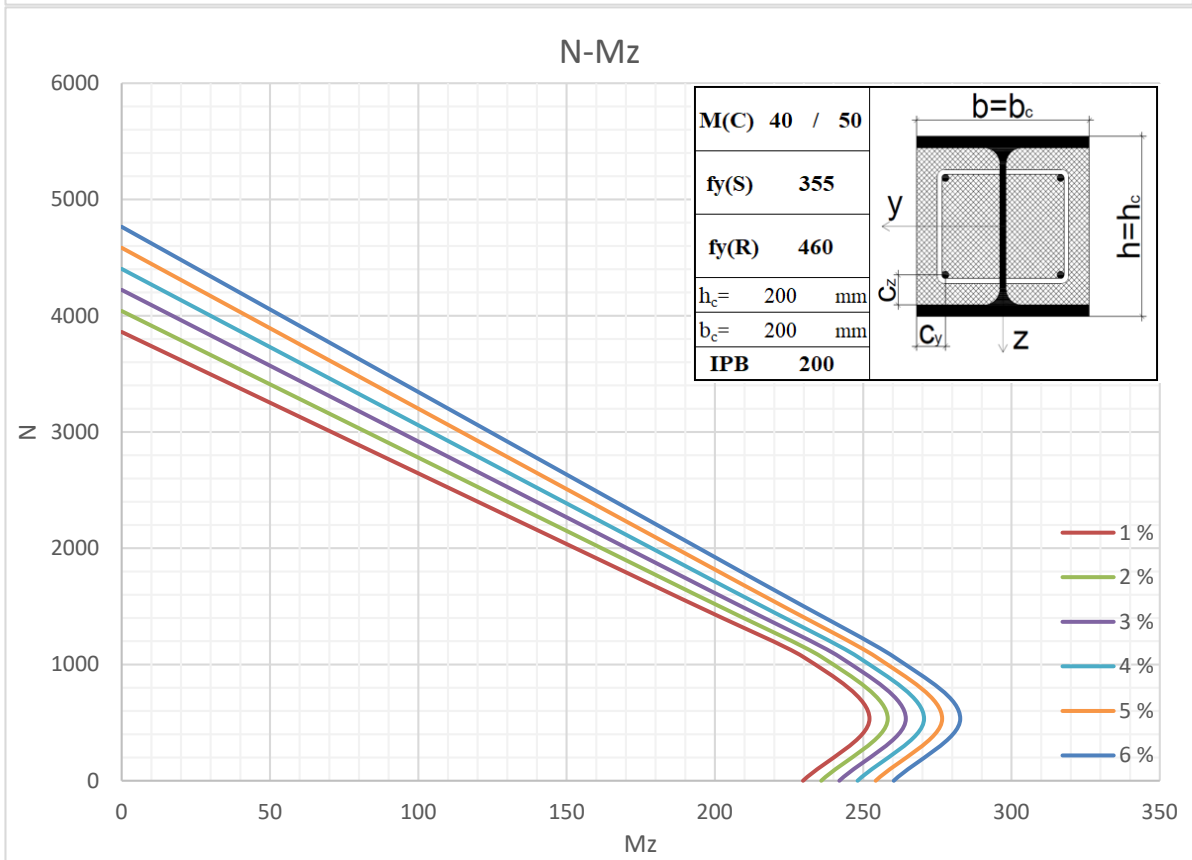
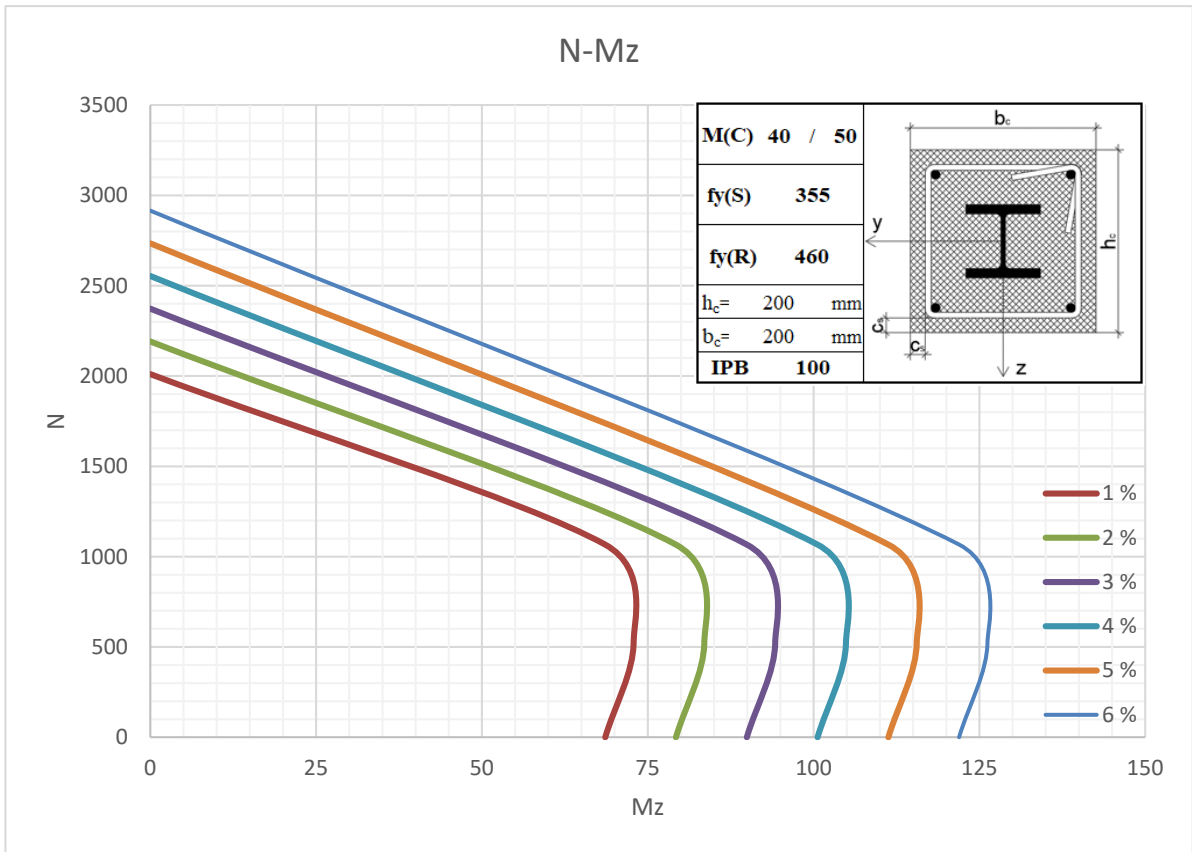
Сл.4. 3D приказ на комбинирано дејство на аксијален притисок и биаксијално свиткување - тензор на напрегање



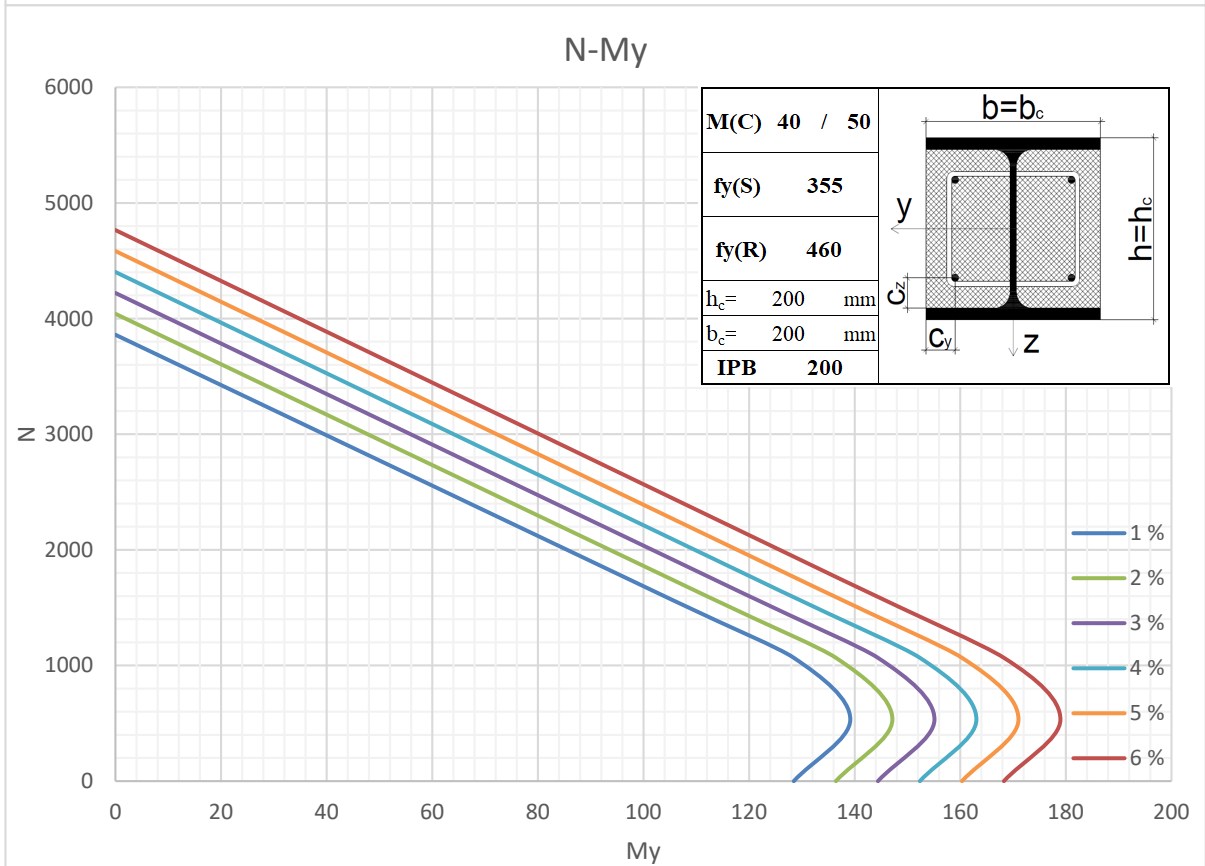
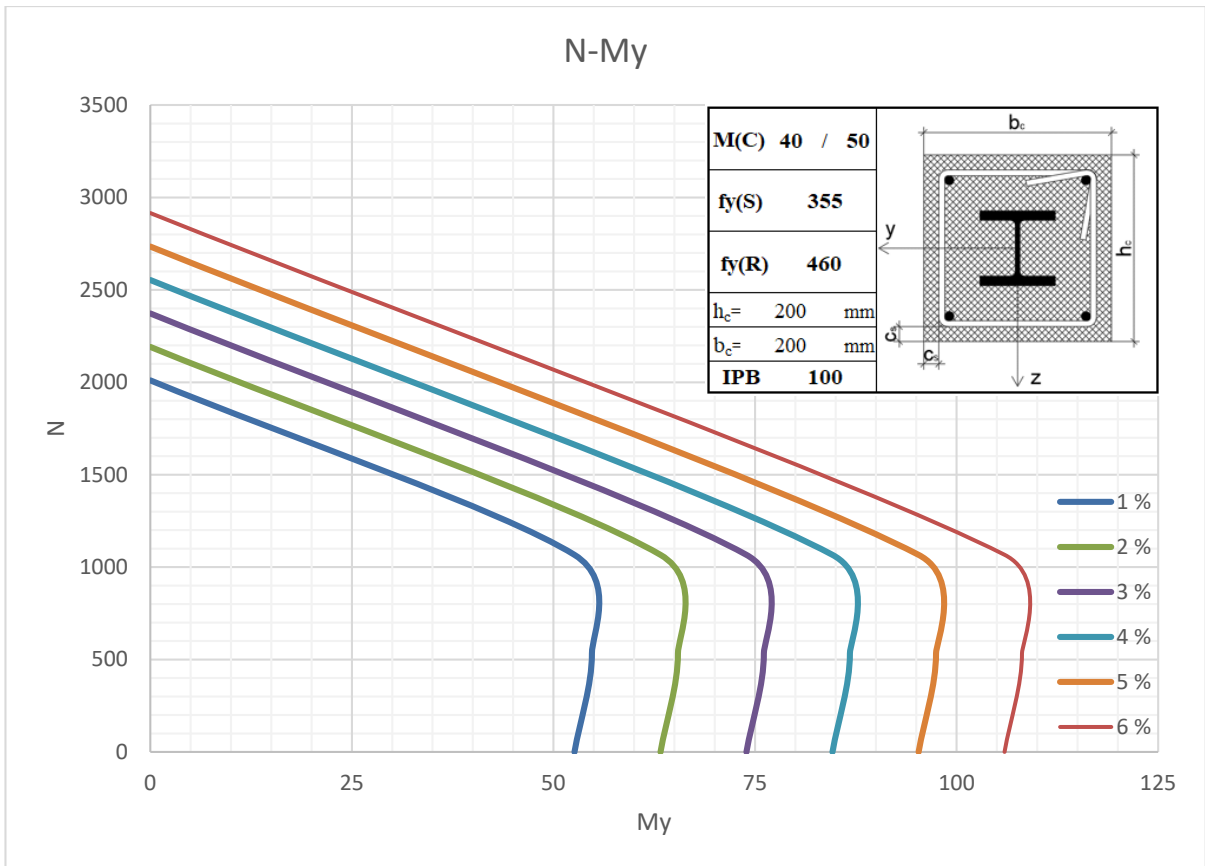
Сл.5. Интеракциона крива за попречен пресек на спрегнати столбови

6. СПОРЕДБА НА ЦЕЛОСНО СО ДЕЛУМНО СПРЕГНАТИ СТОЛБОВИ

Направена е споредна на слични бруто пресеци на столбови и тоа целосно спрегнат столб со димензии 200*200 mm со крута арматура IPB 100 и арматурен кош во бетонска обвивка и делумно спрегнат столб со димензии 200*200 mm со крута арматура IPB 200 и арматурен кош во обвивка меѓу појасите, приказ на поречните пресеци е даден во интеракционите дијаграми, додека квалитетот на челик и арматура и марката на бетон е иста за двата споредувани пресеци. Во прилог на Слика 6 се дадени споредби на целосно спрегнат со делумно спрегнат по z-z оска, додека на Слика 7 по y-y оска.



Сл.6. Споредба на интеркциони дијаграми за целосно со делумно спрегнати столбови со слични пресеци по z-z оска



Сл.7. Споредба на интеркциони дијаграми за целосно со делумно спрегнати столбови со слични пресеци по у-у оска

7. ЗАКЛУЧОК

Евидентно е дека по z-z оска носивоста на делумно бетонираниот столб со димензии 200*200 mm покажува поголема носивост од целосно бетонираниот столб со димензии 200*200 mm, и исто е и по у-у оска делумно бетонираниот има поголема носивост од целосно бетонираниот столб, но во некои случаи може да се случи и обратното. Овие карактеристики зависат од оптоварувањата и нивните правци, матријалните карактеристики и попречните пресеци. Важно е дека делумно бетонираниите по појаката оска на челичниот профил покажуваат поголеми носивости наспроти слични димензии на столбови кај целосно бетонирани пресеци, поради поголемиот пресек има поголем процент на челик во однос на целосно бетонираниот пресек, Слика 6 и 7. При споредба на останатите попречни пресеци од делумно со целосно бетонирани столбови со слични димензии на попречни пресеци има разлика во аксијални или моментни влијанија од 0 до 10%, исклучително и до 15%. Во однос на споредба на притисок и двоаксијално свиткување може да се воочи дека делумно бетонираниот столб има носивост на моменти по z оска и по у оска, кои се поголеми од носивостите на целосно бетонираниот столб. Слична состојба се случува и со останатите анализирани пресеци ако се споредат со слични димензии од друг тип на попречни пресеци.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bešević M. (2010). Nosivost centrično pritisnutih hladno oblikovanih štapova od visokovrednih i nercajućih čelika. Izgradnja. pp. 397-670.
- [2] Bergmann R. (1990). Composite columns. Zurich, Swiss.
- [3] Bzdawka K. (2010). Composite column – Calculation Examples, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Tampere University of Technology, 2010.
- [4] Cvetanovski P. (2012). Composite construction, Department of metal constructions at Faculty of Civil Engineering at the University of St. Cyril and Methodius. Skopje. pp. 1-4, pp. 61-62.
- [5] DIN EN 1994-1-1/NA. (2010-12). National Annex - Eurocode 4. EN 1994-1-1. Design of composite steel and concrete structures.
- [6] Eggemann, H. (2006). Simplified Design of Composite Columns. Based on a Comparative Study of Building Regulations in Germany and the United States. Proceedings of the Second International Congress on Construction History. Queens' College, Cambridge University. Short Run Press.
- [7] Eurocode 4. (2005). Design of composite steel and concrete structures-Part-1-2: General rules – Structural fire design. Brussels. CEN – European Committee for Standardisation.
- [8] Hanswille G, Schäfer M, Bergmann M. (2018). Kommentar zur EN 1994-1-1. Design Guide to EN 1994-1-1. Stahlbaukalender, pp. 5-8.
- [9] Johnson R. P. (2004). Composite Structures of Steel and Concrete. Vol. 1, Blackwell Scientific Publications. U.K., pp. 158-185.
- [10] Landović A., Bešević M. (2016). Analysis of the behavior of axially pressed compressed rods at exploitation and boundary load. Doctoral dissertation. University in Novi Sad. Faculty of Civil Engineering Subotica. Subotica.
- [11] Schleich J.B., Mathieu J. and Conan Y. (1999). Design Handbook for Braced Composite Steel – concrete Building according to Eurocode 4. European Convention for Construction Steelwork, First Edition. Luxembourg. pp. 181-204
- [12] Stojanovski A. (2020). Analysis of composite columns loaded by biaxial action using diagrams of interactions according to Eurocode 4. Master thesis. Faculty of Civil Engineering at the University St. Cyril and Methodius. Skopje.
- [13] Taye S. (2005) Design aid for composite columns. Adis Ababa University. Adis Ababa. pp. 4-80.