

**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

**MT - 4**



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

## АНАЛИЗА НА ВЛИЈАНИЈА ОД ВТОР РЕД СПОРЕД ЕВРОКОД 2

Софија ДУШАНОВСКА<sup>1</sup>, Дарко НАКОВ<sup>2</sup>, Горан МАРКОВСКИ<sup>3</sup>, Тони АРАНЃЕЛОВСКИ<sup>4</sup>, Денис ПОПОВСКИ<sup>5</sup>

### АПСТРАКТ

Еврокодот [3], како усвоен пропис за употреба во нашата земја, на градежните инженери им овозможува да проектираат објекти според најсовремени стандарди, но и отвора голем број на теми за истражување. Фокусот на овој труд е насочен кон двата поедноставени метода кои Еврокод 2 ги нуди за пресметка на влијанијата од II ред, кои се особено важни да се предвидат при проектирање на одредени специфични конструктивни елементи со голема висина или пак со големи надолжни сили. [2-4], [8], [9]. Моментите од II ред се пресметани за столбови со варирање на поголем број на фактори кои повеќе или помалку влијаат на конечните вредности на влијанијата од II ред. Применети и споредени се двата поедноставени метода понудени во Еврокод 2, метод на номинална крутост и метод на номинална кривина [3]. Целта е да се оцени како промената на одредени фактори, како што се: граничните услови на потпирање, класата на бетонот, попречниот пресек, крутоста на елементите која произлегува од појавата на пукнатини, влијаат врз моментите од II ред. Овие анализи се спроведени во рамки на 6 студии на случај за поединечни столбови. Од студиите може да се утврди колкаво е значењето на одредени параметри моментите од II ред. Од направените анализи применувајќи ги двата метода се добиваат различни резултати за пресметковните моменти, но до одредена гранична вредност, резултатите се со незначителна разлика. Во овој труд е образложена причината зошто методот на номинална кривина и методот на номинална крутост даваат различни резултати и е утврдена граничната вредност до која тие даваат приближно исти резултати. Со оглед на тоа дека во Еврокод 2 е оставена можност изборот на методот за анализа на влијанијата од II ред да биде дефиниран во Националниот Анекс на секоја држава поодделно, со спроведените анализи во овој труд е даден придонес кон носењето на таа одлука.

*Клучни зборови: Еврокод 2; влијанија од II ред; метод на номинална крутост; метод на номинална кривина.*

<sup>1</sup> М-р, дипломиран градежен инженер, Скопје, Северна Македонија, [sofija.dushanovska@hotmail.com](mailto:sofija.dushanovska@hotmail.com)

<sup>2</sup> Вонр. проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Северна Македонија, [nakov@gf.ukim.edu.mk](mailto:nakov@gf.ukim.edu.mk)

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

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

<sup>5</sup> Вонр. проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Северна Македонија, [popovski@gf.ukim.edu.mk](mailto:popovski@gf.ukim.edu.mk)

## 1. ВОВЕД

### 1.1. Научна оправданост

Во денешно време, како резултат на зголемување на популацијата во урбаните средини, еволуцијата на градежните материјали и прописите за проектирање, конструкциите стануваат се повисоки, а како последица на тоа и повитки. Во реалноста ниту еден столб не е идеално изложен на центрична аксијална сила, па затоа потребно е секогаш во предвид да се земе одреден ексцентрицитет. Тој ексцентрицитет под дејство на поголеми аксијални сили и поголема виткост може во тек на време да се зголемува, притоа предизвикувајќи дополнителен момент, кој е всушност момент од втор ред [9].

Иако овие влијанија од втор ред може да се занемарат кај вообичаени конструкции, во одредени случаи може да бидат со поголем интензитет [3], [9], да предизвикаат оштетувања на конструкцијата, а понекогаш и материјални и човечки загуби. Поради оваа причина, влијанијата од втор ред е важно да бидат земени во предвид со направена соодветна анализа, па затоа прописите имаат посебно поглавје посветено на оваа проблематика.

Различните прописи на различен начин се справуваат со проблемот со влијанијата од втор ред. Претпоставките, упростувањата и пристапот се различни во различни држави [13]. Еврокодот, како пропис, е неодамна усвоен кај нас во паралелна употреба со досегашните важечки стандарди, правилници и прописи, па поради оваа причина и влијанијата од втор ред не се многу истражувани. Ова е една од главните причини за пишувањето на овој труд, покрај важноста на вклучувањето на влијанијата од втор ред при пресметка на конструкциите. Со оглед на тоа дека во Еврокод 2 е оставена можност изборот на методот за анализа на влијанијата од втор ред да биде дефиниран во Националниот Анекс на секоја држава поодделно, со овој труд се спроведени анализи со кои се дава одреден придонес кон носењето на таа одлука.

Еврокод 2 нуди неколку методи за определување на влијанијата од втор ред, а во овој труд се анализирани и споредени резултатите од двете поедноставени методи:

- метод на номинална крутост и
- метод на номинална кривина. [3], [6]

### 1.2. Цел и методологија

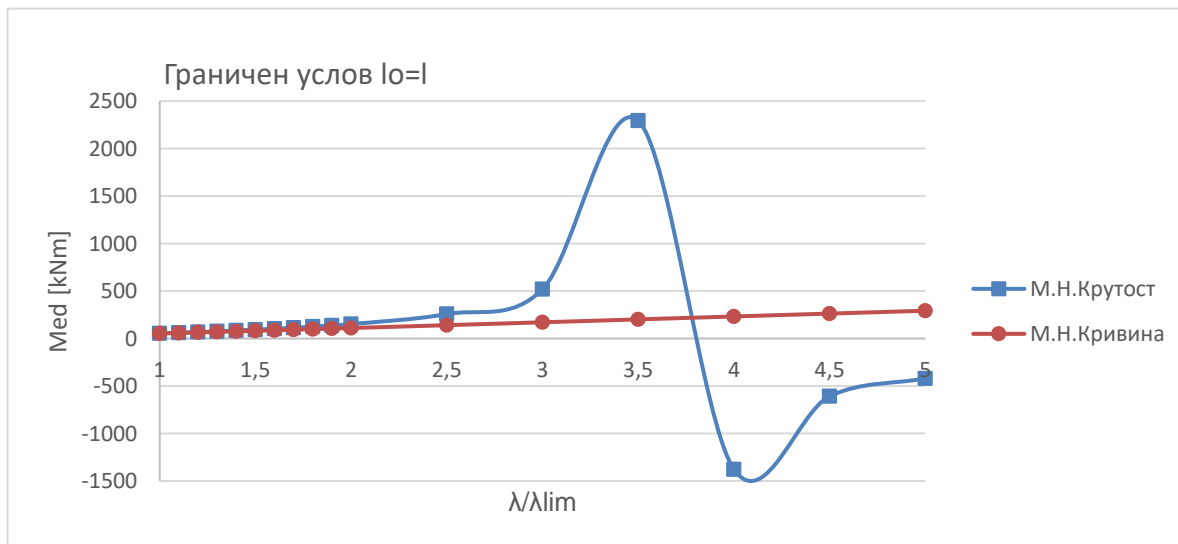
Целта на трудот е да се изврши анализа според двете горенаведени методи и да утврди како одредени фактори влијаат врз вредностите на моментите пресметани според истите. Ќе се изврши споредба на моментите кои се добиваат со методите за да се увиди дали тие даваат приближни резултати и која метода во кој случај резултира со посоодветни резултати.

Трудот ќе опфати разни студии на случај со пресметување на моментите од втор ред со варирање на поголем број на фактори (сили, димензии на столбови, висина, класа на бетон и сл.) на издвоен столб со различни гранични услови. Од добиените резултати ќе бидат изработени зависности со цел да се утврди како разните фактори влијаат на вредностите добиени со двете методи. Сите овие пресметки се направени со помош на ексел документ се со цел да се добијат поголем број на резултати за споредба.

## 2. СТУДИИ НА СЛУЧАЈ

### 2.1. Студија на случај 1 - Однос $\lambda/\lambda_{lim}$

При изработката на трудот, по направените анализи и графици, произлезе прашањето зошто се јавува голема разлика помеѓу пресметковните моменти  $M_{ed}$  пресметани според двата метода и зошто методот на номинална крутост во некои случаи резултира со нестабилни/нелогични решенија. Одговорот на овие прашања е прикажан на следниот график и табела со вредности.



Слика 1: Однос  $M_{ed}$  -  $\lambda/\lambda_{lim}$

Табела 1: Вредности на моментите во зависност од односот  $\lambda/\lambda_{lim}$

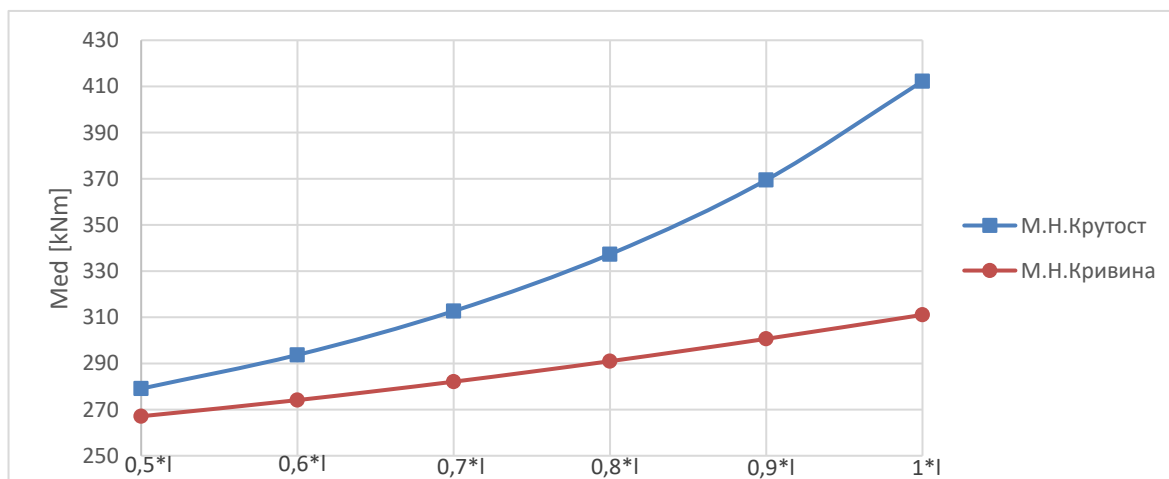
l	$\lambda/\lambda_{lim}$	М.Н.Крутост $M_{ed}$ [kNm]	М.Н.Кривина $M_{ed}$ [kNm]
1	1	54,936	52,981
1,1	1,1	61,681	58,568
1,2	1,2	68,84	64,201
1,3	1,3	76,477	69,876
1,4	1,4	84,67	75,593
1,5	1,5	93,509	81,349
1,6	1,6	103,099	87,142
1,7	1,7	113,569	92,971
1,8	1,8	125,069	98,833
1,9	1,9	137,788	104,727
2	2	151,955	110,651
2,5	2,5	257,976	140,648
3	3	520,264	171,102
3,5	3,5	2293,957	201,774
4	4	-1377,96	232,426
4,5	4,5	-607,518	262,819
5	5	-420,381	292,714

На хоризонталната оска е прикажан односот  $\lambda/\lambda_{lim}$ , додека на вертикалната се моментите  $M_{ed}$ . Пресекот е со димензии  $b/h=30/30$  см, коефициентот на течење е со вредност  $\phi_{ef}=3,1$ , геометриски коеф. на армирање  $\rho=1,5$  %, граничниот услов е  $l_0=1$  и јакоста на притисок на

бетонот ( $f_{ck}$ ) е 25 МРа. Како променлив параметар овде е земена висината на столбот. Истата се менува во граници од 1 m до 5m, со тоа што до 2 m е со чекор од 0,1, а потоа до 5 m со чекор 0,5. Вредностите на моментите пресметани според методот на номинална кривина линеарно се зголемуваат со зголемување на односот  $\lambda/\lambda_{lim}$ , но тоа не е случај кога станува збор за методот на номинална крутост. Се до однос  $\lambda/\lambda_{lim} \approx 1,4$  немаме толку голема разлика во решенијата според двата метода, но како се зголемува тој однос, така методот на номинална крутост дава нелогично високи вредности на моментите  $M_{Ed}$ , кои потоа многу се намалуваат, за на крај повторно да растат. Ова укажува на фактот дека со методот на номинална крутост, за одреден однос на  $\lambda/\lambda_{lim}$ , се добива нестабилно/нелогично решение. Меѓутоа доколку се разгледува само кривата добиена според методот на номинална крутост, се забележува дека овој метод сам за себе дава солидно решение се до односот  $\lambda/\lambda_{lim} \approx 2,5$ .

## 2.2. Студија на случај 2 - Влијание на граничните услови

Во оваа студија на случај ќе се прикаже како промената на граничните услови ги менува пресметковните моменти  $M_{Ed}$ . Вредностите за составениот график и табела се: коефициентот на течење ( $\varphi_{ef}$ ) има вредност 1, додека геометрискиот коефициент на армирање ( $\rho$ ) е со вредност од 1,5 %. Напречниот пресек на столбот ( $b/h$ ) е 40x40 cm, а неговата висина ( $l$ ) 10 m, вертикалната сила ( $V$ ) изнесува 1500 kN, хоризонталната ( $H$ ) 600 kN. Јакоста на притисок ( $f_{ck}$ ) како и во претходните студии е 25 МРа.



Слика 2: Графички приказ на моментите за различни гранични услови (0,5\*1 – 1\*1)

Табела 2: Влијание на граничните услови врз пресметковните моменти

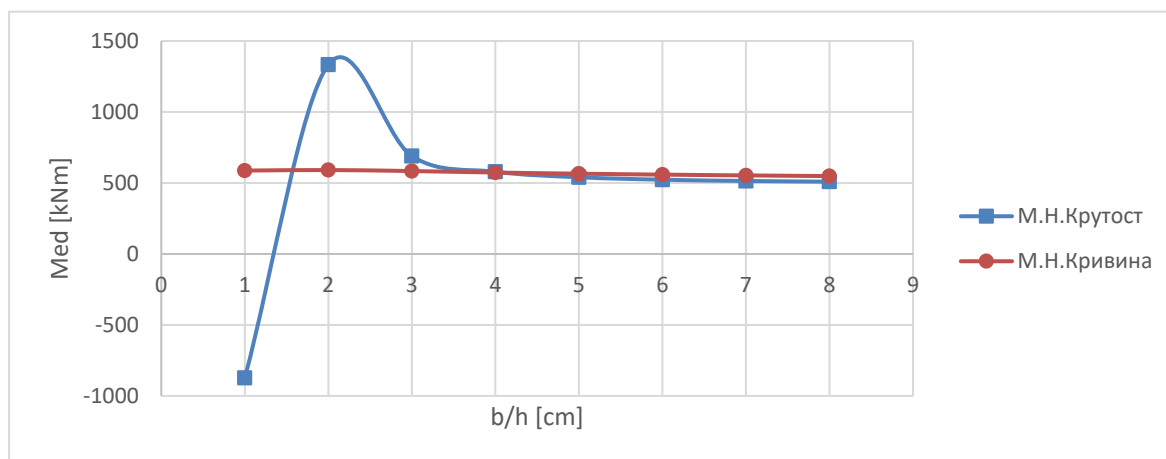
гр.услов	М.Н.Крутост	М.Н.Кривина	Процентуална разлика [%]
	$M_{Ed}$ [kNm]		
0,5*1	279,086	267,117	4,29
0,6*1	293,698	274,114	6,67
0,7*1	312,685	282,096	9,78
0,8*1	337,306	290,971	13,74
0,9*1	369,48	300,653	18,63
1*1	412,249	311,051	24,55
2*1	-7154,481	3455,792	148,3

Овој график ја прикажува промената на пресметковните моменти  $M_{Ed}$  при промена на граничните услови. Како и што беше утврдено претходно, кога елементот има поголем однос на  $\lambda/\lambda_{lim}$  методот на номинална крутост дава доста поголеми вредности, што може да се забележи и на овој график и табела. Но, во граничните услови каде што имаме помал однос на  $\lambda/\lambda_{lim}$  (до 1,4) добиените моменти се со приближна вредност по двата метода. Разликата во вредностите на

моментите, до оваа граница, пресметани по методот на номинална крутост и методот на номинална кривина процентуално се движи од 4 % до 10 %

### 2.3. Студија на случај 3 – Влијание на димензиите на попречниот пресек

Во продолжение следува приказ на моментите  $M_{Ed}$  по методот на номинална крутост и методот на номинална кривина, за случај кога во пресметката се менуваат димензиите на столбот, т.е. неговиот попречен пресек. Графикот што следува е добиен со промена на димензиите на столбот од 30-100 cm, додека константни вредности се коефициентот на течење  $\varphi_{ef}=3$ , геометриски коеф. на армирање  $\rho=10\%$ , висина на елементот од 10 m. За граничен услов е усвоен  $l_0=0,5*1$ , додека јакоста на притисок ( $f_{ck}$ ) изнесува 25 MPa. Константни вредности имаат и вертикалната сила (V) од 1500 kN, а хоризонталната (H) има вредност од 600 kN.



Слика 3: Графички приказ на моментите за различни димензии на пресеците

Табела 3: Влијание на крутоста на елементот врз пресметковните моменти

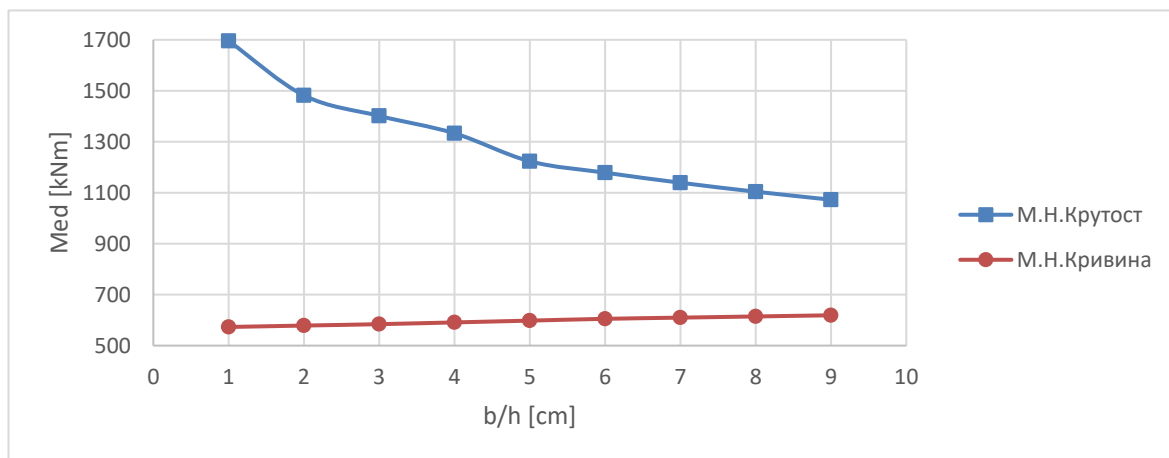
	дим. на столб [cm]	м.н. крутост	м.н. кривина
		$M_{Ed}$ [kNm]	$M_{Ed}$ [kNm]
1	30x30	-872,987	587,354
2	40x40	1332,952	591,130
3	50x50	689,834	583,852
4	60x60	578,966	573,688
5	70x70	540,252	565,449
6	80x80	522,975	558,749
7	90x90	514,145	553,235
8	100x100	509,208	548,635

Од прикажаниот график и табела се забележува линеарен пад на вредностите на моментите со зголемување на крутоста на елементот, кога истите се пресметани според методот на номинална кривина. Меѓутоа методот на номинална крутост, за елементите со напречен пресек 60x60 cm и поголем, дава решение приближно на методот на номинална кривина. Почнувајќи од напречениот пресек со димензии 50x50 cm, имаме благ, линеарен пад на резултатите, а за помалите димензии на напречен пресек имаме нестабилно решение. Повторно оваа појава се поврзува со поголемиот однос  $\lambda/\lambda_{lim}$ , кој што за напречниот пресек со димензии 40x40 cm изнесува приближно 1,5, додека за димензиите 30x30 cm односот изнесува приближно 2,6.

### 2.4. Студија на случај 4 - Влијание на класата на бетонот

За истите константни вредности како и во претходниот случај, коефициент на течење  $\varphi_{ef}=3$ , геометриски коеф. на армирање  $\rho=10\%$ , висина на елемент (l) 10 m и граничен услов  $l_0=0,5*1$ , со напречен пресек на елементот 40x40 cm, се добива следниот график, каде што во предвид е земен

бетон класа од С 12/15 до С 50/60, односно променлива вредност има  $f_{ck}$  (јакост на притисок), а со тоа и модулот на еластичност  $E_{cd}$ . Константни вредности имаат и силите, вертикалната (V) е со вредност од 1500 kN, а хоризонталната со вредност од 600 kN.



Слика 4: Графички приказ на моментите за различен квалитет на бетонот

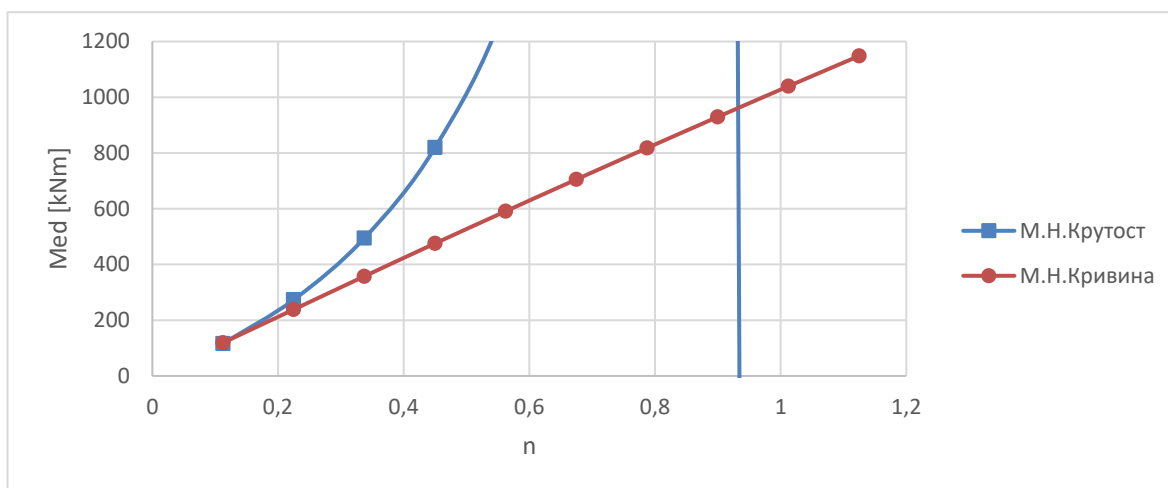
Табела 4: Влијание на марката класата на бетон врз пресметковните моменти

	дим. на столб [cm]	м.н. крутост	м.н. кривина
		$M_{Ed}$ [kNm]	$M_{Ed}$ [kNm]
1	C 12/15	1695,513	573,249
2	C 16/20	1481,831	578,704
3	C 20/25	1401,284	584,202
4	C 25/30	1332,952	591,130
5	C 30/37	1223,278	598,113
6	C 35/45	1178,603	605,146
7	C 40/50	1139,125	609,837
8	C 45/55	1103,988	614,452
9	C 50/60	1072,514	619,067

Од резултатите се гледа дека промената на класата на бетонот има поголемо влијание врз моментите пресметани според методот на номинална крутост, при што со зголемување на класата се намалуваат моментите. Кога станува збор за методот на номинална кривина, зголемувањето на класата на бетонот предизвикува благо зголемување на пресметковниот момент. Овде, врз промената на моментот влијае само промената на  $f_{ck}$  (јакост на притисок), додека модулот на еластичност е факторот кој што е клучен во пресметката на моментот по методот на номинална крутост.

## 2.5. Студија на случај 5 - Влијание на нормализираната сила $n$

Во оваа студија ќе биде анализирано влијанието на промената на нормализираната сила ( $n=N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd})$ ), Ова ќе се направи преку промената на вертикалната сила и како резултат ќе се добие промената на пресметковните моменти  $M_{Ed}$  по двете методи предложени во Еврокод 2. Како фиксни вредности во пресметката се земени: јакоста на притисок ( $f_{ck}$ ) со вредност од 25 MPa, висината на столбот ( $l$ ) е 10 m, хоризонталната сила ( $H$ ) е со вредност од 600 kN, геометрискиот коефициент на армирање ( $\rho$ ) е 10 %, а коефициентот на течење ( $\varphi_{ef}$ ) изнесува 3. Како граничен услов во оваа студија е земен  $l_0=0,5 \cdot l$ , а димензиите на столбот се 40x40 cm. Единствена вредност која што ќе биде варирана е вертикалната сила. Истата ќе се движи во граници од 300-3000 kN со чекор од 300 kN.



Слика 5: Графички приказ на моментите за различна нормализирана сила

Табела 5: Влијание на нормализираната сила врз пресметковните моменти

вертикална сила [kN]	нормализирана сила n	м.н. крутост	м.н. кривина
		Med [kNm]	Med [kNm]
300	0,1125	116,016	119,198
600	0,225	273,623	238,397
900	0,3375	494,699	357,595
1200	0,45	819,733	475,597
1500	0,5625	1332,952	591,130
1800	0,675	2243,231	705,318
2100	0,7875	4250,118	818,159
2400	0,9	12034,644	929,654
2700	1,0125	-32723,492	1039,802
3000	1,125	-8510,472	1148,605

Од табелата може да се забележи дека вертикалната сила и нормализираната сила се пропорционални, т.е. со зголемувањето на вредноста на вертикалната сила, се зголемува и вредноста на нормализираната сила. Пресметковните моменти се зголемуваат како резултат на зголемувањето на силата. Резултатите добиени по методот на номинална крутост, исто како и во претходните студии, се нелогични, односно имаме нагло зголемување на моментите и моменти со негативен предзнак. Единствено првите две вредности се слични во двата метода. Причината за овие резултати е објаснета во Студијата на случај 1. Методот на номинална кривина дава посолдни резултати. Овде имаме скоро линеарен раст на моментите  $M_{Ed}$ .

## 2.6. Студија на случај 6 - Влијание на крутоста на столбовите и гредите

За потребите на трудот направено е истражување за промените во крутоста на столбовите и гредите, предизвикано од појавата на пукнатини, како и нивното влијание врз моментите од II ред (пресметковни моменти). Направени се пет комбинации за редукција на крутоста и тоа:

- 1 случај: ненапукнати столб (1,0) и греда (1,0)
- 2 случај: напукнат столб (0,7) и ненапукната греда (1,0)
- 3 случај: ненапукнат столб (1,0) и напукната греда (0,35)
- 4 случај: напукнат столб (0,7) и напукната греда (0,35)
- 5 случај: ненапукнат столб (1,0) и напукната греда (0,5)

Сите податоци, вредностите на влијанијата т.е. моментите од I ред, димензиите на пресеците, нивните висини, должини, модул на еластичност, јакост на притисок итн., се земени од

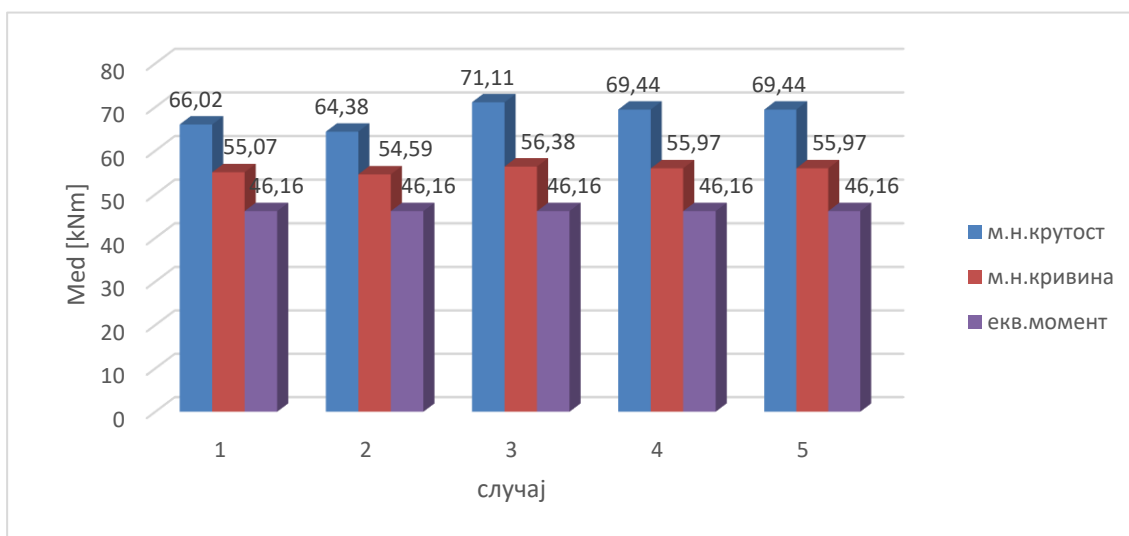
пресметката направена во примерот од точка 7.2. Овде димензиите на столбот изнесуваат 25x25 cm, додека на гредата се 25x40 cm. Катноста изнесува 3,4 m, а должината на гредата е 5,7 m. Материјалните карактеристики се: модул на еластичност на челикот  $E_s=200000$  МПа, јакоста на челикот  $f_{yk}=500$  МПа, бетонот има модул на еластичност  $E_c=31000$  МПа и јакост на притисок  $f_{ck} = 25$ МПа.

Добиените резултати се прикажани во следната табела и график.

Табела 6: Влијание на пукнатините врз пресметковните моменти

случај	фактор за редукција на крутоста		ефективна должина $l_0$ [m]	еквивалентен момент $M_{0E}$ [kNm]	метод на ном. крутост $M_{Ed}$ [kNm]	метод на ном. кривина $M_{Ed}$ [kNm]
	столб	гред				
1	1,0	1,0	2,07	46,16	66,02	55,07
2	0,7	1,0	2	46,16	64,38	54,59
3	1,0	0,35	2,23	46,16	71,11	56,38
4	0,7	0,35	2,18	46,16	69,44	55,97
5	1,0	0,5	2,18	46,16	69,44	55,97

Всушност, помеѓу методите има разлика во пресметката, но на ниво на методите, кога ги варираме крутостите, нема некоја значителна разлика меѓу резултатите. Доколку се пресмета процентуалната разлика меѓу случаите од 2 до 5 со случајот број 1, истата се движи до најмногу 7% кај методот на номинална крутост, додека кај методот на номинална кривина до 2%.



Слика 6: Графички приказ на моментите за петте случаи на редукција на крутоста

Најмали вредности се добиваат за случаите 2, 4 и 5. Тоа се случаи кога имаме редукција на крутоста во столбовите. Доколку се разгледаат вредностите на моментите од сите пет случаи, се доаѓа до заклучок дека редукцијата на крутоста на елементите всушност ѝ нема некое поголемо значење. Затоа редукцијата на крутоста на гредите може да оди и до 50 %. Добиените резултати ни покажуваат дека со методот на номинална крутост се добиваат поголеми моменти од втор ред. Се забележува и дека промената на крутоста на гредата влијае врз конечниот момент од втор ред, односно го зголемува истиот, додека со намалување на крутоста на столбот конечниот момент од втор ред малку се намалува. Процентуалната разлика помеѓу резултатите добиени со методот на номинална крутост и еквивалентниот момент изнесува до 35%.



### 3. ЗАКЛУЧОК

По направените студии и анализи во овој дел ќе бидат изложени заклучоците добиени од нив.

Низ целиот труд може да се забележи нелогични/нестабилни резултати на пресметковните моменти  $M_{Ed}$  пресметани по методот на номинална крутост. Главната причина за ова е големата виткост на столбовите, односно големиот однос  $\lambda/\lambda_{lim}$ , кое што е образложено во студијата на случај 1. Од направената анализа може да се заклучи дека двата методи за пресметка на влијанијата од II ред, предложени во Еврокод 2, даваат приближни решенија сè до однос  $\lambda/\lambda_{lim}=1,4$ . Доколку овој однос е поголем, методот на номинална крутост дава преголеми нестабилни вредности на моментите, а во некои случаи го менува и предзнакот.

Од студијата на случај 2, може да се заклучи дека со промена на граничните услови и зголемување на ефективната должина, се зголемува и пресметковниот момент  $M_{Ed}$ .

Од студијата на случај 3, може да се увиди влијанието кое врз вредностите на моментите го имаат димензиите на попречните пресеци на елементите. Притоа, со зголемување на димензиите и крутоста на елементите се забележува намалување на вредностите на моментите  $M_{Ed}$ . И во оваа студија за помалите вредности на димензиите на попречните пресеци, со методот на номинална крутост се добива нелогично решение.

Од промената на класата на бетонот која е опфатена во рамки на студијата на случај 4, може да се забележи дека таа влијае различно во пресметката на моментите по двете поедноставени методи. По направената анализа, може да се заклучи дека со зголемување на класата на бетонот, моментите пресметани по методот на номинална кривина незначително се зголемуваат за 8% од C12/15 до C50/60. При пресметката единствена промена трпи јакоста на притисок ( $f_{ck}$ ), додека останатите параметри не ја менуваат својата вредност. Кога пресметката се врши според методот на номинална крутост, со зголемување на класата на бетонот пресметковните моменти  $M_{Ed}$  се намалуваат за 37% од C12/15 до C50/60, а врз таа промена влијае само модулот на еластичност ( $E_{cd}$ ).

Од спроведената анализа во рамки на студијата на случај 5, може да се заклучи дека нормализираната сила  $n$  е со право пропорционална зависност во однос на пресметковните моменти  $M_{Ed}$ . Моментите што се добиваат при пресметката со методот на номинална кривина имаат скоро линеарен раст.

Во студијата на случај 6, преку коефициентот  $\alpha$  е направена редукција на крутостите на гредите и столбовите со цел да се земат во предвид пукнатините што се јавуваат во елементите, може да се заклучи дека промената на  $\alpha$  всушност и нема некое поголемо влијание врз моментите. Ова е причината поради која што редукцијата на крутостите на гредите и столбовите може да се зема и до 50%.

По сето она што е образложено во овој дел може да се заклучи дека методот на номинална крутост и методот на номинална кривина можат до одреден степен да дадат приближни решенија. Меѓутоа, во сите студии, за одредени вредности на параметрите, имаме скок, односно нелогични вредности на моментите пресметани по методот на номинална крутост кај столбовите чиј што однос  $\lambda/\lambda_{lim}$  е поголем од 1,4. Ова не е случај кога пресметката се прави по методот на номинална кривина. Со овој метод, најчесто имаме линеарен раст на резултатите што го прави посоодветен и посигурен метод за пресметка како на издвоени елементи, така и на цела конструкција.

Се препорачува за пресметување на моментите од II ред да се усвои методот на номинална кривина.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Anam I. (2002) „Nonlinear properties of reinforced concrete structures”.
- [2] Bhatt P., MacGinley T., Seng Choo B. (2014): „Reinforced Concrete Design to Eurocodes” – Design Theory and Examples” 4th edition. CRC Press. Boca Raton, Florida. pp. 382-383.
- [3] Институт за стандардизација на Република Северна Македонија, MKC EN 1992-1-1:2012, Еврокод 2: Проектирање бетонски конструкции – Дел 1-1: Општи правила и правила за згради, март 2012.
- [4] fib Special Activity Group 5. (2010) „Model Code 2010 – Volume 1”.International Federation for Structural Concrete (fib).
- [5] fib Special Activity Group 5. (2010) „Model Code 2010 – Volume 2”.International Federation for Structural Concrete (fib).
- [6] Frost P. (2011) „Second order effects in RC columns: comparative analysis of design approaches” -Master Thesis.
- [7] Kijania M., Seruga T., Rewers I. (2013) „Effect of some factors on second order effects in reinforced concrete columns”. Technical Transactions - Civil engineering.
- [8] Lluca D., Guri M., Hajdari V. (2013) „The design of slender RC columns”.
- [9] Marinkovic S., Pecic N. (2018) „Teorija betonskih konstrukcija” Akademiska misao. Beograd, Srbija. str. 262-283.
- [10] Milton J. (2017) „Comparative study of the simplified methods of Eurocode 2 for second order analysis of slender reinforced concrete columns”. Journal of Building Engineering vol.14. pp. 55-60
- [11] Module 10 – Compression Members – Lesson 27 Slender Columns
- [12] Mosley B., Bungey J., Hulse R. (2012): „Reinforced Concrete Design to Eurocode 2” 7th edition. PALGRAVE MACMILLAN. London, England. pp. 285
- [13] Nogueira J. (2017) „Comparative analysis of second order effects by different structural design codes” – Master thesis. Tecnico Lisboa.
- [14] Souza R., Magalhaes R., Andrade E. (2018) „Comparative study of nonlinear simulations of a reinforced concrete slender column using finite element method and P-delta”
- [15] Toniolo G., Prisco M. (2017) „Reinforced Concrete Design to Eurocode 2”. Springer Tracts in Civil Engineering.
- [16] Yosef N., Arya N. (2015) „Second-order FE Analysis of Axial Loaded Concrete Members According to Eurocode 2”. Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.
- [17] White D., Hajjar J. (2015) „Application of Second-Order Elastic Analysis in LRFD: Research to Practice”.
- [18] fib Bulletin nb.52 (2009) „ Structural Concrete Textbook on behaviour, design and performance”.
- [19] [https://communities.bentley.com/products/ram-staad/w/structural\\_analysis\\_and\\_design\\_\\_wiki/22312/p-delta-analysis-with-verification](https://communities.bentley.com/products/ram-staad/w/structural_analysis_and_design__wiki/22312/p-delta-analysis-with-verification).
- [20] <https://www.vis-concretedesign.com/white-paper/nominal-stiffness-vs-curvature/>.
- [21] <https://www.vis-concretedesign.com/white-paper/nominal-stiffness-vs-curvature/#:~:text=Nominal%20Stiffness%20method&text=The%20value%20of%20this%20term,cracking%20and%20the%20expected%20viscosity>.