

**ЕФЕКТИВНИ ИЗКЪЛЧВАТЕЛНИ ДЪЛЖИНИ НА ЦЕНТРИЧНО  
НАТИСНАТИ ЕЛЕМЕНТИ, ОПРЕДЕЛЕНИ ЧРЕЗ SAP 2000 И ROBOT  
STRUCTURAL ANALYSIS**

**Любомир Здравков<sup>1</sup>**

*Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия*

**EFFECTIVE BUCKLING LENGTHS OF COMPRESSED ELEMENTS,  
DETERMINED BY SAP 2000 AND ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS**

**Lyubomir Zdravkov**

*University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy*

***Abstract:** Modern programs for analysis and design of building structures often have modules which can help us to determine critical values of loads in which elements will lose overall stability. These modules are especially useful for complex spatial structures where the boundary conditions are not quite clear and it is difficult to determine who is who supports (bear).*

*For accurately determining the critical values of loads is very important used programs to have a correct mathematical algorithms. Unfortunately, these algorithms are not visible to us, their users. However, not everything is in foreign hands. With some simple tests we could to gain approximate idea of the reliability of the results we get.*

***Key words:** critical force, effective buckling length, buckling analysis*

Използваните строителни материали непрекъснато повишават своите якости. В резултат, сеченията на гредите и колоните се получават все по – малки, а елементите - все по – стройни. Пряко последствие от това е нарастналата склонност на елементите да губят местна или обща устойчивост. Този проблем е особено актуален при съвременните стоманени конструкции, където стремежът за „изпиляване“ на носещите елементи е силно изразен.

Съвременните програми за анализ и проектиране на строителни конструкции често разполагат с модули, чрез които могат да се определят критичните стойности на товарите, при които елементите ще загубят обща устойчивост. Тези модули са особено полезни при сложни, пространствени конструкции, където опорните условия не са съвсем изчистени и не е ясно кой кого подпират (носи).

За вярното определяне на критичните стойности на товарите е много важно програмите, които ползваме, да имат коректни алгоритми за изчисление. За жалост, въпросните алгоритми не са видими от нас, техните ползватели. В резултат, на нас ни остава да разчитаме на компетентността, добросъвестността и професионализма на техните създатели. Все пак, не всичко е в чуждите ръце. Бихме могли с няколко

---

<sup>1</sup> Любомир Здравков, доц. д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски“ №1, корпус «Б», ет. 7, каб. 733, e-mail: [zdravkov\\_fce@uacg.bg](mailto:zdravkov_fce@uacg.bg)

елементарни теста да добием що – годе ясна представа за достоверността на резултатите, които получаваме.

### **1. Въведение**

За целта на настоящото изследване ще бъдат използвани 2-е програми – SAP 2000 v.14.2 [4] и Robot Structural Analysis 2015 Pro [3]. Тези продукти са широко разпространени и масово ползвани сред строителната инженерна общност в България.

За целта на изследването, чрез 2-те програми ще бъдат анализирани някои отдавна решени Ойлерови случаи на загуба на обща устойчивост на центрично натиснати пръти. Технологиията на анализа е следната:

- ползвайки съответната програма се построява изчислителният модел;
- моделът се натоварва с единична натискава сила;
- за 1-а форма на загуба на обща устойчивост на елемента се отчита коефициентът на претоварване  $k$ ;
- чрез умножаване на въведената единична сила и коефициентът  $k$  се получава стойността на критичната сила  $N_{cr}$ , при която елементът ще загуби устойчивост;
- изхождайки от известната формула на Ойлер [2] за определяне на носещата способност на идеални, центрично натиснати пръти  $N_{cr}$

$$(1.1) \quad N_{cr} = \frac{\pi \cdot E \cdot I^2}{(l \cdot \mu)^2}$$

след елементарно преобразование получаваме коефициентът на формата при загуба на устойчивост  $\mu$ :

$$(1.2) \quad \mu = \frac{\pi}{l} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{N_{cr}}},$$

където:

$E = 21\,000 \text{ kN / cm}^2$  е модулът на еластичността на стоманата;

$I$  – инерционният момент на натиснатия елемент;

$l$  – геометричната дължина на елемента.

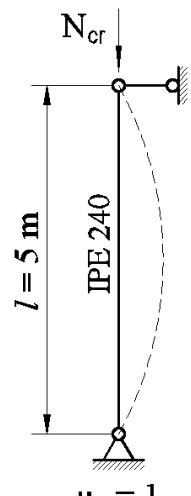
Коефициентът на формата  $\mu$  ще бъде търсен и сравняван при отделните случаи, тъй като:

- той е известен за класическите Ойлерови случаи, които са решени аналитично;
- зависи само от опорните условия на елемента.

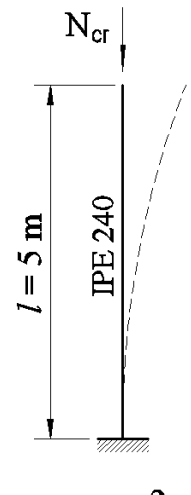
### **2. Изследване**

Изследването е проведено върху няколко стоманени образци с IPE - сечение, от стомана S275. Натоварването, подпорните условия и получените резултати са показани по - долу.

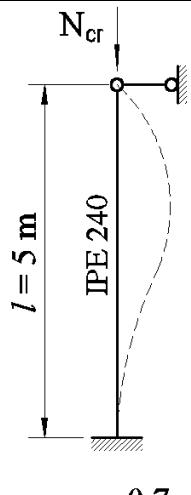
**Случай 1**

	Програма	Критична сила $N_{cr}$ , kN	$\mu$	Грешка $\Delta$ , %
	SAP 2000	3 145,5	1,012	1,2
	Robot 2015 Pro	2 973,2	1,041	4,1

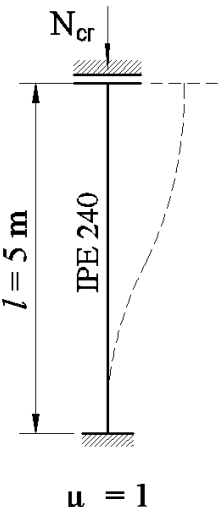
**Случай 2**

	Програма	Критична сила $N_{cr}$ , kN	$\mu$	Грешка $\Delta$ , %
	SAP 2000	808,2	1,998	0,097
	Robot 2015 Pro	737,8	2,091	4,55

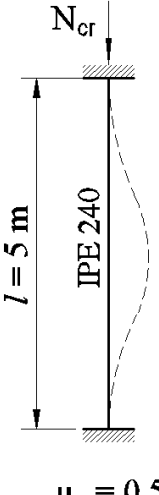
**Случай 3**

	Програма	Критична сила $N_{cr}$ , kN	$\mu$	Грешка $\Delta$ , %
	SAP 2000	6 249,6	0,718	2,57
	Robot 2015 Pro	6 211,4	0,721	3

Случай 4

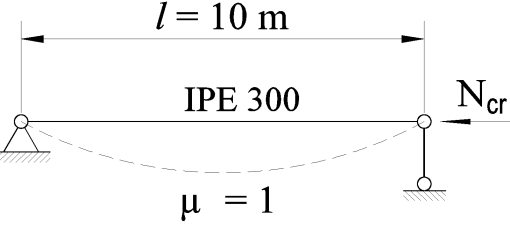
 <p><math>l = 5 \text{ m}</math> IPE 240 <math>\mu = 1</math></p>	Програма	Критична сила $N_{cr}$ , kN	$\mu$	Грешка $\Delta$ , %
	SAP 2000	3199,8	1,004	0,4
	Robot 2015 Pro	3191,4	1,006	0,6

Случай 5

 <p><math>l = 5 \text{ m}</math> IPE 240 <math>\mu = 0,5</math></p>	Програма	Критична сила $N_{cr}$ , kN	$\mu$	Грешка $\Delta$ , %
	SAP 2000	-	-	-
	Robot 2015 Pro	-	-	-

В този случай и 2-те програми не успяха да определят каква ще е стойността на критичната сила  $N_{cr}$ .

Случай 6

 <p><math>l = 10 \text{ m}</math> IPE 300 <math>\mu = 1</math></p>	Програма	Критична сила $N_{cr}$ , kN	$\mu$	Грешка $\Delta$ , %
	SAP 2000	1714,8	1,005	0,5
	Robot 2015 Pro	1690,7	1,012	1,2

Случай 7

	Програма	Критична сила $N_{cr}$ , kN	$\mu$	Разлика с НПСК-87, %
	SAP 2000	601,4	2,316	0,47
	Robot 2015 Pro	541,6	2,44	4,86
	IPE 300 $\rightarrow I_y = I_r = 8356 \text{ cm}^2$ , $l_r = 1000 \text{ cm}$ IPE 240 $\rightarrow I_y = I_c = 3892 \text{ cm}^2$ , $l_c = 500 \text{ cm}$			

Случай 7 не попада сред класическите, Ойлерови случаи. Тук коефициентът на формата  $\mu$  при загуба на устойчивост ще бъде определен по “НПСК-87” [1]:

$$(2.1) \quad \mu = 2 \cdot \sqrt{1 + \frac{0,38}{n}} = 2 \cdot \sqrt{1 + \frac{0,38}{1,073}} = 2,327,$$

където:

$$(2.2) \quad n = \frac{l_c}{I_c} \cdot \frac{I_r}{l_r},$$

в която:

$I_r, I_c$  са инерционните моменти на ригела / колоната в равнината на рамката;  
 $l_r, l_c$  - геометричните дължини на ригела / колоната, виж схемата за Случай 7.

### 3. Заключение

Ползвайки посочените по - горе програми за анализ на конструкции може да се направи извода, че получените чрез тях числени резултати имат добро съвпадение с получените по аналитичен път. Най - голямата отчетена разлика е по - малка от 5 %, което е напълно приемлива точност от инженерна гледна точка. Все пак прави впечатление, че чрез SAP 2000 се получават по - прецизни, по - близки до класиката резултати.

Определянето на критичната сила  $N_{cr}$  чрез Robot 2015 Pro винаги е в посока на сигурността, макар и с малко.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Норми за проектиране на стоманени конструкции, отпечатани в брошура на КТСУ, С., 1987.
- [2] EULER, L., Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti. Lausanne, Geneve: Marc-Michel Bousquet & Co., 1744.
- [3] Robot Structural Analysis 2015 Pro., Autodesk, Inc.
- [4] SAP 2000 v.14.2. Structural analysis program. Computers and Structures, Inc., USA.