

# КОРЕЛАЦИЈЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ НОМИНАЛНОГ ПРИТИСКА У ФУНКЦИЈИ ОД ТЕМПЕРАТУРЕ И ПРИТИСКА ЗА ПРИРУБНИЦЕ ОД УГЉЕНИЧНОГ ЧЕЛИКА

Бранислав Гајић<sup>1</sup>, Урош Милованчевић<sup>1</sup>, Милош Ивошевић<sup>1</sup>,

Милена Отовић<sup>1</sup>, Саша Марковић<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Универзитет у Београду, Машински Факултет, Краљице Марије 16, Београд

<sup>2</sup> Академија Техничких Струковних Студија Београд, АТССБ Одсек за саобраћај, машинство и инжењерство заштите, Наде Димић 4, Београд - Земун

## Абстракт

Прирубнице од угљеничног челика представљају саставни део цевовода и опреме у различитим гранама индустрије. Њихова класификација је у стандардима извршена према номиналном притиску (PN). Ради одређивања PN за прирубнице од угљеничног челика потребно је познавати материјал прирубнице, као и радне услове: притисак и температуру. За потребе инжењерске праксе, у раду су дате корелације између притиска, температуре и номиналног притиска, које су добијене обрадом података, датих у стандарду SRPS EN 1092 – Прирубнице и њихови спојеви – кружне прирубнице за цеви, арматуре фазонске комаде и прибор, које носе ознаку PN. Оцена квалитета корелација извршена је помоћу статистичких показатеља: корелационог односа и средњег квадратног одступања.

**Кључне речи:** номинални притисак, прирубнице, нерђајући челик, температура, притисак

## 1 УВОД

У машинству у оквиру различитих постројења за повезивање цевовода са арматуром, опремом, прикључцима различитих димензија, али и мерним уређајима користе се прирубнице. За инсталације са неагресивним флуидима, за које није потребно израдити прирубнице од нерђајућих челика, за израду се користе угљенични челици. Прирубнице су стандардизоване, а њихове мере (пречник подеоног круга, пречник прирубнице...), као и табеле у којима се налазе подаци о номиналном притиску (PN) у зависности од температуре ( $t, ^\circ\text{C}$ ) и притиска ( $p, \text{bar}$ ) могуће је наћи у стандардима

SRPS EN 1092, ASME B16.5 и ISO 7005. Осим ових стандарда вреди поменути и аустралијски стандард AS 1210, али и нагласити то да су у нашој држави највише у употреби прва 3 поменута стандарда. Пре него што се према поменутим стандардима усвоји вредност номиналног притиска у зависности од температуре и притиска потребно је изабрати одговарајући угљенични челик, у зависности од флуида, који ће бити у контакту са прирубницом. Како су прирубнице увек спојене са цевима, пре усвајања прирубнице је потребно спровести и хидраулички прорачун.

У овом чланку ће бити разматране три групе угљеничних челика и то 3E0, 3E1 и 4E0. Ове 3 групе, као и сви угљенични челици као доминантну компоненту имају угљеник, док им се састав разликује у зависности од удела примеса . Овај начин груписања челика је спроведен и у великом броју других стандарда (аустралијски, јапански, и други стандарди), што се подразумева и за друге врсте челика.

Одабир угљеничних прирубница представља одговоран посао и не треба га олако схватати. Цурење флуида, хаварије и повређивање радника су само неке од последица, које могу уследити услед неправилног одабира прирубница. Према томе одабир прирубница треба учинити што једноставнијим и ефикаснијим. Из тог разлога у овом раду формиране су и приказане криве, које корелишу номинални притисак са температуром и притиском за прирубнице од угљеничних челика.

## **2 ОДРЕЂИВАЊЕ PN ПРЕМА EN, ISO И ASME ЗА 3E0, 3E1 И 4E0**

У овом раду формиране су корелације за угљеничне челике који су међу најзаступљенијима у инжењерској пракси. Челик P265GH се често користи у котлоградњи, док се за израду различитих посуда под притиском користе челици P295GH и 16Mo3. За поменуте групе материјала прирубница корелације су формиране у следећем облику

$$PN = f(p; t)$$

Корелације су формиране на основу податакаја датих у стандардима. Одговарајуће ознаке челика по стандардима дате су у табели 1.

### **2.1 Одређивање PN према EN 1092**

Стандард EN 1092 дефинише следеће номиналне пречнике: DN10, DN15, DN20, DN25, DN32, DN40, DN50, DN65, DN80, DN100, DN125, DN150, DN200, DN250, DN300, DN350 и DN400 и номиналне притиске PN2,5, PN6, PN10, PN16, PN25, PN40, PN63 и PN100.

**Табела 1** Челици P265GH, P295GH и 16Mo3 и њихове ознаке по стандардима

Челик	EN 1092		ASME B16.5		ISO 7005	
	Ознака	Група	Ознака	Група	Ознака	Група
P265GH	1.0425	3E0	A516 Gr 60	1.4	F5	1A4
P295GH	1.0481	3E1	A516 Gr 65	1.3	P11	1A3
16Mo3	1.5415	4E0	A204 Gr B	1.5	P26	1A5

Једначина која корелише номинлни притисак са температуром и притиском и је формирана за номинални притисак PN100 у облику

$$p_{PN100} = a + b \cdot t^c + d \cdot t^g \quad (1)$$

у којој су:

- $p_{PN100}$  (bar) највећи дозвољени притисак при номиналном притиску од 100 bar;
- $a, b, c, d, g$ , параметри.

Корелација (1) важи за сваки номинални притисак, уз напомену да вредност добијену из (1) треба кориговати. Корекција на горе наведене номиналне притиске се обавља помоћу (2)

$$\frac{p_{PN}}{p_{PN100}} = \frac{PN}{100} \quad (2)$$

где је  $p_{PN}$  (bar) највећи дозвољени притисак на номиналном притиску на који се врши прерачунавање.

### 2.1.1 Групе материјала 3E0 и 3E1

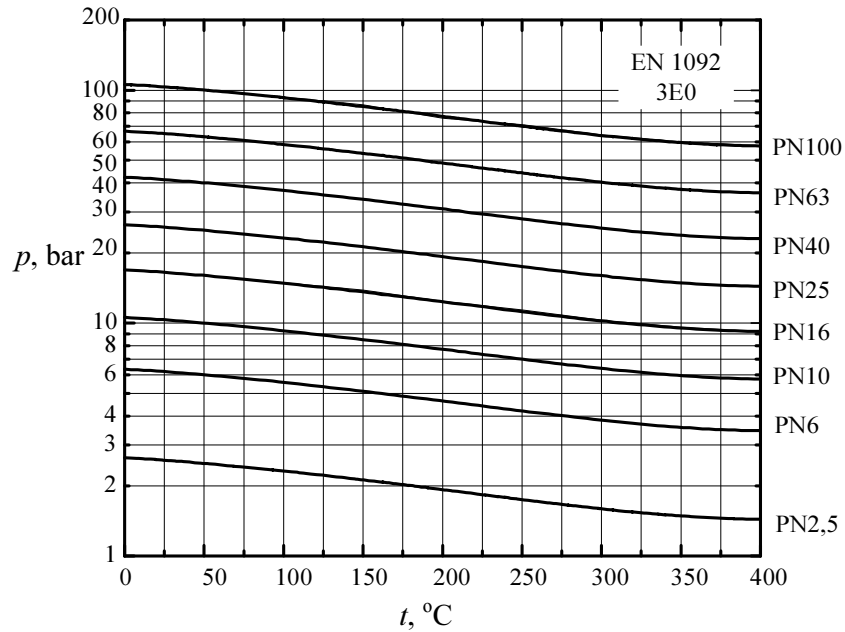
За групе материјала 3E0 и 3E1 корелациони параметри за (1) су дати у табелама 2 и 3. Корелације за групе материјала 3E0 и 3E1 су приказане на сликама 1 и 2.

**Табела 2** Вредности корелационих параметара за групу материјала 3E0

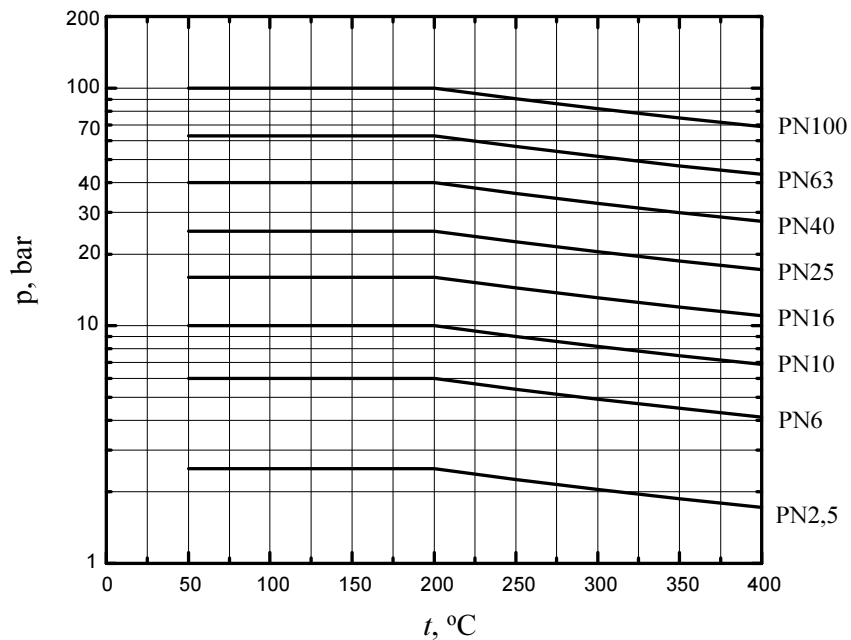
$t$	$a$	$b$	$c$	$d$	$g$
$-10 \leq t \leq 50$	100	-	-	-	-
$50 < t \leq 400$	105,7	-0,052	1,2	$-2,7 \cdot 10^{-9}$	3,8

**Табела 3** Вредности корелационих параметара за групу материјала 3E1

$t$	$a$	$b$	$c$	$d$	$g$
$-10 \leq t < 200$	100	-	-	-	-
$200 < t \leq 400$	-2187	2543	-0,02	-	-



Слика 1 Корелација (1) за групу материјала 3E0



Слика 2 Корелација (1) за групу материјала 3E1

### 2.1.2 Група материјала 4E0

Како за групу материјала 4E0 корелација (1) није давала најбоље статистичке параметре исту је било потребно модификовати. Формирана је корелација (3) на следећи начин

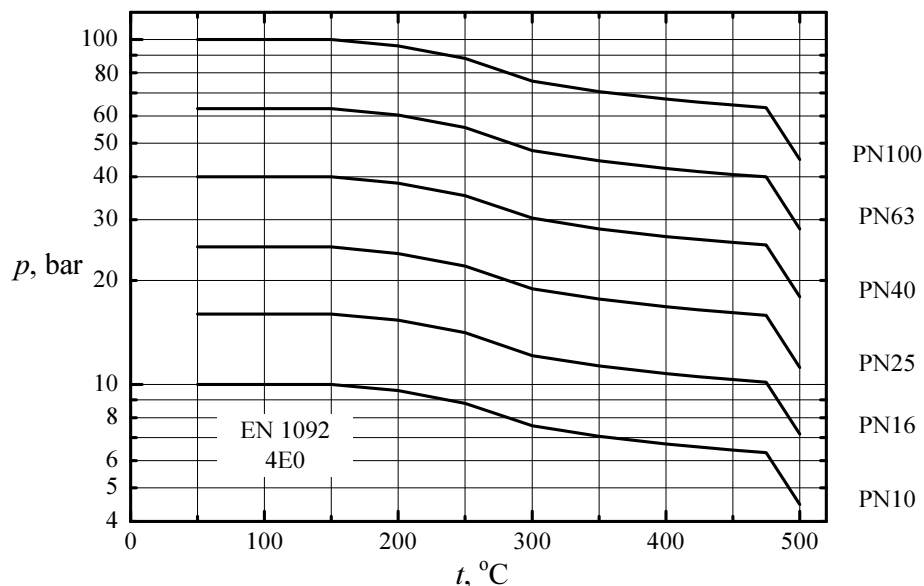
$$p_{PN100} = a + b \cdot t^c + d \cdot t^g + h \cdot t^k \quad (3)$$

у којој су  $h$  и  $k$  параметри.

Корелациони параметри за корелацију (3) приказани су у табели 4, а корелација је графички приказана на слици 3.

**Табела 4** Вредности корелационих параметара за групу материјала 4E0

$t$	$a$	$b$	$c$	$d$	$g$	$h$	$k$
$-10 \leq t \leq 150$	100	-	-	-	-		
$150 < t \leq 300$	96,4	0,051	1	$-364 \cdot 10^{-6}$	2	$133 \cdot 10^{-6}$	3
$300 < t < 475$	49,8	76000	-1,4	-	-	-	-
$475 \leq t \leq 500$	416,8	-0,744	1	-	-	-	-



**Слика 3** Корелација (3) за групу материјала 4E0

### 2.1.3 Статистички параметри корелација

У циљу доказивања ваљаности корелација (1) и (3) израчунати су статистички параметри, дефинисани у апендиксу, и то:

- $SD$  (%), средње квадратно одступање;
- $CR$  (%), корелациони однос;
- $RE_{max}^-$  (%), максимална негативна релативна грешка
- $RE_{max}^+$  (%), максимална позитивна релативна грешка

Статистички параметри корелација (1) и (3) за све 3 групе материјала приказани су у табели 5.

**Табела 5** Статистички параметри корелација

Корелација	Група материјала	$SD, \%$	$CR, \%$	$RE_{max}^-, \%$	$RE_{max}^+, \%$
(1)	3E0	0,85	99,98	-1,42	+1,20
(1)	3E1	0,78	99,97	-0,31	+1,07
(3)	4E0	0,39	99,98	-0,59	+0,85

## 2.2 Одређивање CL према ASME B16.5

У стандарду ASME B16.5 дате су класе прирубница од 150, 300, 400, 600, 900, 1500, 2500.

Једначина (5) корелише номинални притисак са температуром и притиском и она је формирана за CL2500.

$$p_{CL2500} = a + b \cdot t^c + d \cdot t^g \quad (4)$$

у којој су:

- $p_{CL2500}$  (bar) највећи дозвољени притисак у класи 2500;
- $a, b, c, d, g$ , параметри;
- $t$  (°C) радна температура.

Корелација (4) важи за сваку класу прирубница, уз напомену да вредност добијену из (4) треба кориговати. Корекција на претходно наведене класе прирубница се обавља помоћу (5)

$$\frac{p_{CL}}{p_{CL2500}} = \frac{CL}{2500} \quad (5)$$

где су:

- $p_{CL}$  (bar) највећи дозвољени притисак за класу на коју се врши прерачунавање
- CL класа прирубнице

### 2.2.1 Група материјала 1.3 и 1.4

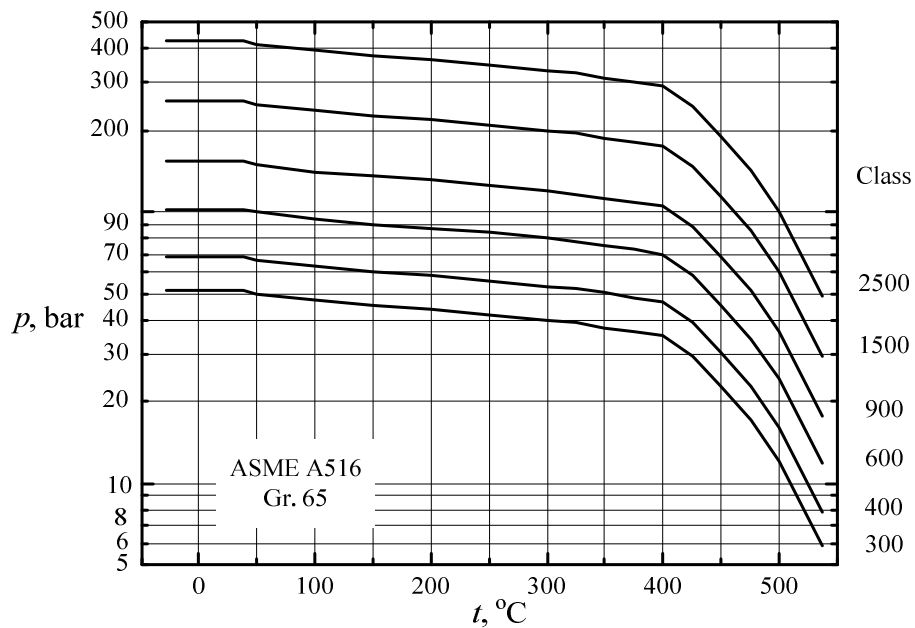
За групе материјала 1.3 и 1.4 одређени су корелациони параметри из (4). Ови параметри, у зависности од температурског опсега приказани су респективно у табелама 6 и 7. На сликама 4 и 5 приказане су криве добијене корелацијом (4) за групе материјала 1.3 и 1.4 респективно.

**Табела 6** Вредности корелационих параметара за групу материјала 1.3

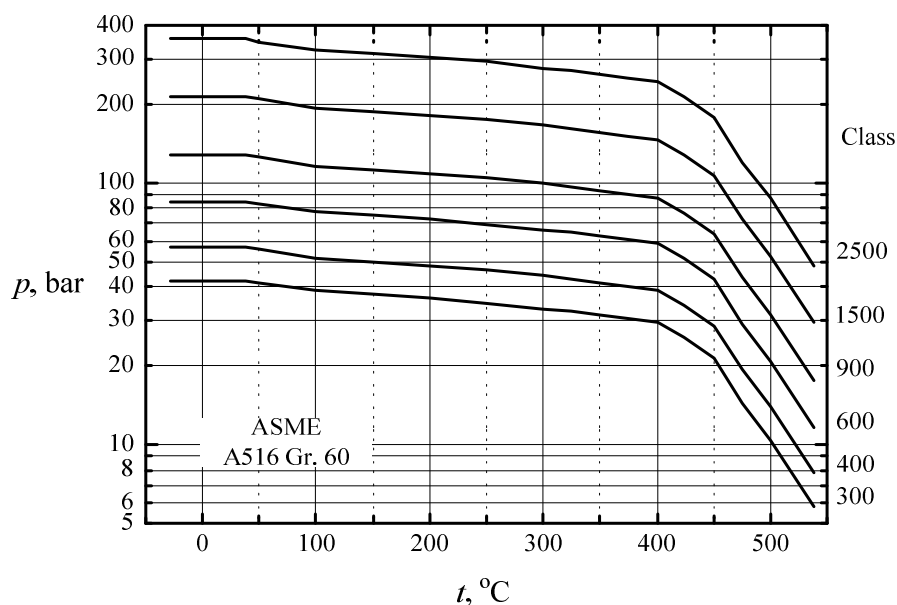
$t$	$a$	$b$	$c$	$d$	$g$
$-29 \leq t \leq 40$	425,5	-	-	-	-
$40 < t \leq 400$	$8,042216 \cdot 10^4$	$-1,5 \cdot 10^{-7}$	3,29	$-7,987 \cdot 10^4$	$4,344 \cdot 10^{-4}$
$400 < t \leq 540$	$4,74191 \cdot 10^3$	-580	0,35	$5,36 \cdot 10^{-4}$	2,2

**Табела 7** Вредности корелационих параметара за групу материјала 1.4

$t$	$a$	$b$	$c$	$d$	$g$
$-29 \leq t \leq 40$	354,6	-	-	-	-
$40 < t \leq 400$	331,73	$8,834085 \cdot 10^7$	-3,92	$-6,14 \cdot 10^{-3}$	1,596
$400 < t \leq 475$	$-3,5806 \cdot 10^3$	39,17	-21,13	$1,06187 \cdot 10^4$	-0,17
$475 < t \leq 538$	-405,38	$3,281 \cdot 10^5$	-1,03463	82,62	-0,13



**Слика 4** Корелација (4) за групу материјала 1.3



Слика 5 Корелација (4) за групу материјала 1.4

### 2.2.2 Група материјала 1.5

Корелациони параметри за корелацију (3) приказани су у табели 8, а формиране криве на слици 6.

Табела 8 Вредности корелационих параметара за групу материјала 1.5

$t$	$a$	$b$	$c$	$d$	$g$
$-29 \leq t \leq 40$	400,1	-	-	-	-
$40 < t \leq 475$	403,14	$8,042786 \cdot 10^6$	$-2,1331726 \cdot 10^7$	$-9,77 \cdot 10^{-5}$	2,3
$475 < t < 538$	777,61	1	-2	$-3,58 \cdot 10^{-4}$	2,3

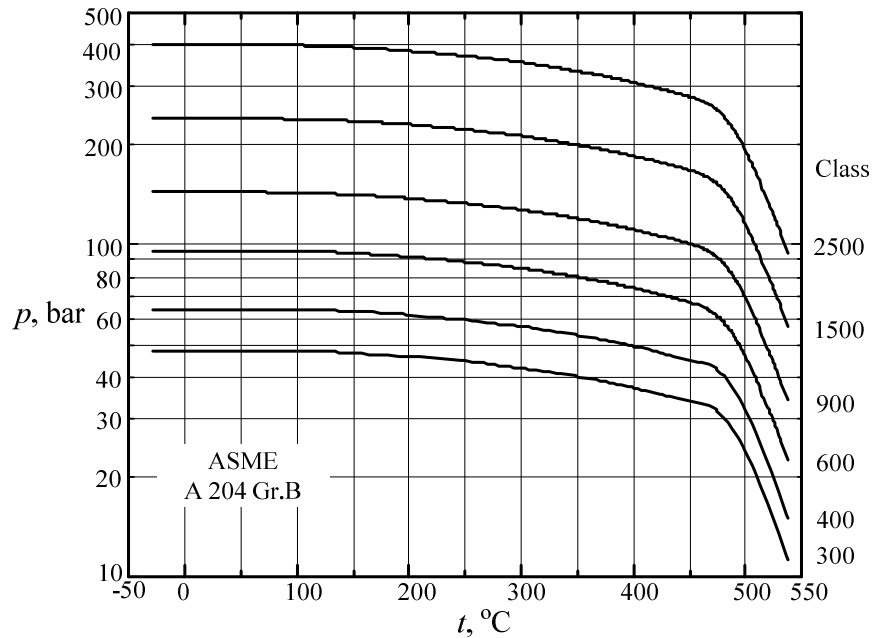
### 2.2.3 Статистички параметри корелација

У табели 9 налазе се статистички параметри корелације (4) за групе материјала 1.3, 1.4 и 1.5.

Табела 9 Статистички параметри корелација

Корелација	Група материјала	$SD, \%$	$CR, \%$	$RE_{max}^-, \%$	$RE_{max}^+, \%$
(4)	1.3	1,11	99,99	-2,62	+2,44
(4)	1.4	0,88	99,99	-2,96	+1,1
(4)	1.5	0,61	99,99	-1,28	+0,83





Слика 6 Корелација (4) за групу материјала 1.5

### 3 ЗАКЉУЧАК

У стандардима EN 1092, ASME 16.5 и ISO 7005 налазе се подаци о прирубницама и то табеларно, по групама материјала. Сваки стандард поседује сопствене ознаке за групе материјала, са тим да се исти материјали обрађују у сваком од стандарда. Анализом табеларних података из стандарда дошло се до закључка да би стварање корелације између номиналног притиска, притиска и температуре код стандарда EN 1092 и класе прирубница са притиском и температуром код стандарда ASME B16.5 у многоме олакшало одабир прирубница у пракси. Корелације су формиране и приказане у тексту као једначине и графичким путем (преко дијаграма). На основу добијених статистичких параметара могуће је закључити да корелације веома верно интерпретирају податке из стандарда EN 1092 и ASME B16.5. Посебне корелације су формиране за сваки од два претходно поменута стандарда, због различитости података из истих. Корелације су формиране за највећи номинални притисак у табели (EN 1092), односно за највишу класу прирубница, па затим помоћу релација (2) и (5) прерачунаване за ниже номиналне притиске, односно за ниже класе прирубница. Сматрамо да ће се применом приказаних корелација доста уштедети на времену приликом усвајања прирубница, као и смањити напор, који је за то потребно уложити.

## АПЕНДИКС

Квалитет релације (1) доказује се преко статистичких параметара.

Средње квадратно одступање ( $SD$ ) је

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_i^n \left( \frac{y_i - y_i^c}{y_i} \right)^2}{n}}$$

где су:

- $y_i$  вредност зависно променљиве за  $x_i$ ;
- $y_i^c$  вредности корелисане променљиве за  $x_i$ ;
- $x_i$  вредност независно променљиве;
- $n$  број тачака које су коришћене за формирање корелације.

Корелациони однос ( $CR$ ) се израчунава према следећој релацији

$$CR = \sqrt{1 - \frac{\sum_i^n (y_i - y_i^c)^2}{\sum_i^n (y_i - y_{sr})^2}}$$

где је  $y_{sr}$  средња вредности независно променљиве

$$y_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Максимална позитивна релативна грешка је

$$RE_{max}^+ = \max \left( \frac{y_i - y_i^c}{y_i} \right) \text{ за } y_i - y_i^c > 0$$

а максимална негативна релативна грешка се приказује у облику

$$RE_{max}^- = \max \left( \frac{y_i - y_i^c}{y_i} \right) \text{ за } y_i - y_i^c < 0$$

## ОЗНАКЕ

$a, b, c, d, g, h, f$  параметри у једначинама

CL класа прирубнице

CR корелациони однос;

DN номинални пречник

$p$  (bar) притисак

$RE_{max}^-$  максимална негативна релативна грешка

$RE_{max}^+$  максимална позитивна релативна грешка

$SD$  (%), средње квадратно одступање

$t$  (°C) температура

#### **РЕФЕРЕНЦЕ**

[1] EN 1092:2001 Flanges and their joints – Circular flanges for pipes, valves, fittings and accessories, PN designated

[2] ASME B16.5:2009 Pipe Flanges and Flanged Fittings

[3] ISO 7005:1998 Pipe flanges – Part 1: Steel flanges for industrial and general service piping systems