

# ПРОГРАМНИ РЕШЕНИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ПОКАЗАТЕЛЯ НА НАДЕЖНОСТ С ГЕНЕРИРАНЕ НА СЛУЧАЙНИ ЧИСЛА И ЗА ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА СТОМАНЕНИ ФЕРМИ С MS EXCEL

инж. Владимир Яков

Computer programs for computation of the of the reliability index  $\beta$  by generation of the random values and for a design of steel trusses by MS Excel worksheets

The first program is realised on C ++. It generates random variables with normal, lognormal and the Fisher-Tippet extreme values distributions. The user can formulate his limit conditions on a form similar to the calculation descriptions in Excel.

The second program calculates the two angles cross sections of steel truss members. The input and output are on a single Excel's worksheet. The program uses output of SAP 2000 static analysis and finds out the most unfavorable normal force combination. The weight of a truss and some input data for reliability index  $\beta$  estimation are calculated too.

## Увод

Двете програмни решения са свързани с изследването на надеждността на строителните конструкции. Първото решение е разработено на C ++ и позволява да се изследват широк кръг задачи, свързани с определянето на показателя на надеждност  $\beta$  по метода на генерирането на случайни числа. Потребителят формулира граничните условия, в които участват случайни величини. Разработени са пет генератора на случайни числа: за нормално и логнормално разпределение и за трите разпределения на Фишер – Типет.

Втората програма оразмерява стоманени ферми с пръти от сдвоени равностранни ъглови профили по българските норми за проектиране и по Еврокод 3. Тази програма използва изхода на SAP 2000, определя най-неблагоприятното за оразмеряването усилие от комбинациите в статическото решение, оразмерява прътите и пресмята теглото на фермата. Допълнително се изчисляват данни необходими за определяне на показателя на надеждност  $\beta$ . Входът и изходът са в една обща таблица в работния лист на Excel.

## Програма „MScalc” за определяне на показателя на надеждност $\beta$ с моделиране на случайните величини чрез генерирани случайни числа

Програмата определя показателя на надеждност  $\beta$  по метода на генерирането на случайни числа. Програмата може да работи с определен брой предварително зададени типове на разпределения на генерираните случайни величини. Предвидени пет разпределения: нормално, логнормално, Гумбел, Фреше и Вейбул. При необходимост този набор може да бъде разширен.

Предимство на разработената програма, определяща  $\beta$  чрез генериране на случайни числа е, че необходимите изчисления и граничните условия се формулират от потребителя по начин близък до обичайния математичен запис.

Генерирането на случайни числа с нормално (Гаусово) разпределение е реализирано с функцията `RandG(mean, stddev)` от библиотеката на C ++. В програмата “MScalc” нейният синтаксис е: **`gnorm(m,s)`**, където **`m`** е средната стойност, а **`s`** средноквадратичното отклонение . Стремещт е максимално да се използват имена на функции от “Mathcad” със същото предназначение.

Логнормалното разпределение също използва функцията `RandG` като при нея вместо  $\mu$  и  $\sigma$  на случайната величина се въвеждат средната стойност  $\mu_{ln}$  и средноквадратичното отклонение  $\sigma_{ln}$  на натуралните логаритми на случайната величина  $x$ . Генерираните случайни

числа са натуралните логаритми  $\ln x_i$ . Следователно ако разполагаме със средната стойност  $\mu$  и средноквадратичното отклонение  $\sigma$  трябва да се извършат следните изчисления на входа и на изхода:

$$\mu_{\ln} = \ln \left( \frac{\mu^2}{\sqrt{\mu_{SSi}^2 + \sigma^2}} \right); \quad \sigma_{\ln SSi} = \sqrt{\ln \left( 1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2} \right)} \quad x_i = \exp(\ln x_i) \quad (1)$$

За удобство на потребителите функцията на логнормалното разпределение е разработена в три варианта:

- $rlnorm(\mu, \sigma)$  – където  $\mu$  е средната стойност и  $\sigma$  е средното квадратично отклонение на случайната величина  $x$ ;
- $rlnormln(\mu_{ln}, \sigma_{ln})$  -  $\mu_{ln}$  е средната стойност, а  $\sigma_{ln}$  е средното квадратично отклонение на натуралния логаритъм на случайната величина  $x$ ;
- $rlnormab(a, b)$  - където  $a$  и  $b$  са параметрите на линейната регресия. Тогава в програмата се извършва изчисляване на  $\mu_{ln}$  и  $\sigma_{ln}$  по формулите:

$$\mu_{\ln H} = -\frac{b}{a} \quad \sigma_{\ln H} = \frac{1}{a} \quad (2)$$

където:

$\mu_{ln}$  е средната стойност на натуралния логаритъм на моделираната случайна величина;

$\sigma_{ln}$  е средноквадратичното отклонение на натуралния логаритъм на случайната величина;

$a$  е ъгловият коефициент на правата от линейния регресионен анализ;

$b$  е отрезът на правата от ординатната ос на правата от линейния регресионен анализ.

На фигура 1 е показан пример с резултатите от регресионния анализ на метеорологичните данни за натоварването от сняг за района на София.

Фигура 1 Резултати от линейната регресия с логнормално разпределение за района на София

Генерирането на случайни числа за трите разпределения на Фишер-Типет се извършва в следната последователност:

- генерират се равномерно разпределени случайни числа  $U_i$  в интервала  $(0,1)$  ;
- с помощта обратната на кумулативната функция на съответното разпределение се получават търсените случайни числа.

Най-удобно е обратните функции за трите разпределения на Фишер – Типет да се получат от трансформираните изрази, използвани при линейната регресия.

$$\ln \{-\ln[F(x_i)]\} = ax_i + b \quad \text{I тип (Гумбел)} \quad (3)$$

$$\ln \{-\ln[F(x_i)]\} = a \ln(x_i) + b \quad \text{II тип (Фреше)} \quad (4)$$

$$\ln \{-\ln[1 - F(x_i)]\} = a \ln(x_i) + b \quad \text{III тип (Вейбул)} \quad (5)$$

Като заместим във формули (3), (4 и (5)  $F(x)$  с  $U_i$  и извършим съответните действия получаваме:

$$x_i = \frac{\ln\{-\ln[U_i]\} - b}{a} \quad \text{за I тип (Гумбел)} \quad (6)$$

$$x_i = \exp\left(\frac{\ln\{-\ln[U_i]\} - b}{a}\right) \quad \text{за II тип (Фреше) и III тип (Вейбул)} \quad (7)$$

където:

$U_i$  е  $i^{\text{тото}}$  случайно число генерирано при равномерно разпределение;

$x_i$  е  $i^{\text{тото}}$  случайно число генерирано при съответното разпределение на Фишер - Типет;

$a$  е ъгловият коефициент на правата от линейния регресионен анализ;

$b$  е отрезът на правата от ординатната ос на правата от линейния регресионен анализ.

При работата с програмата „MScale” в текстовия прозорец се въвеждат видът на разпределенията на случайните величини и условията, които трябва да се проверяват за да се прецени дали дадената конструкция или конструктивен елемент изпълнява изискванията за съответното гранично състояние. Например, ако проверяваме устойчивостта на един натиснат поясен прът на ферма, оразмерителното неравенство има вида:

$$N_G + N_S \leq 2A_1\phi\gamma_c R_y \quad (8)$$

където:

$N_G$  е разрезното усилие от собствено тегло;

$N_S$  е разрезното усилие от сняг;

$A_1$  е площта на единия ъглов профил;

$R_y$  е изчислителното съпротивление.

$\gamma_c$  е коефициентът за условия на работа.

$\phi$  е коефициентът на изкълчване.

В неравенство (8) могат да се приемат като случайни величини разрезните усилия от собственото тегло  $N_G$ , разрезното усилие от натоварването от сняг  $N_S$  и съпротивлението  $R_y$ . Възможно е тази задача да се формулира и много по-близко до действителността като случайните величини включат и модула на линейните деформации  $E$ , началните несъвършенства на пръта (отклоненията от правата линия, началните ексцентricитети) и коравината на еластични запъвания в краищата. Подобно изследване е възможно само в рамките на метода с генериране на случайни числа. Като пример да разгледаме оразмеряването на горния пояс на 18 метрова ферма за района на София. Фермата е оразмерена по нормите преди влизането в сила на Наредба № 3 [8]– фигура 2. Полученото

напречно сечение е от  $2L\ 75.75.6$ , а коефициентът за условия на работа е  $\gamma_c = 0,95$ . Средната стойност и средното квадратично отклонение на усилието от собствено тегло са:  $\mu_G = 72,78\text{ kN}$   $\sigma_G = 7,3\text{ kN}$  (прието е, че средната стойност  $N_G$  е равна на усилието от нормативно натоварване от собствено тегло, а средноквадратичното отклонение е  $10\% N_G$ ). Коефициентът на изкълчване  $\phi = 0,3834$ ,  $2A_1 = 17,56\text{ cm}^2$  и средната стойност и средноквадратичното отклонение на якостта на провлачане на стоманата са  $\mu_{R_y} = 28,8\text{ kN/cm}^2$  и  $\sigma_{R_y} = 2,3\text{ kN/cm}^2$  ( $8\%$  от средната стойност). За генериране на случайните числа за усилието от сняг е използвана връзката между усилието в разглеждания прът и снежната покривка с дебелина  $1\text{ cm}$  на терена  $k_s = 1,33\text{ kN/cm}$ . Така неравенството (8) може да се запише във вида:

$$N_G + 1,33H \leq 17,56 \cdot 0,3834 \cdot 0,95R_y \rightarrow N_G + 1,33H \leq 6,40 \cdot R_y \quad (9)$$

Случайната величина за дебелината на снежната покривка  $H$  за района на София има логнормално разпределение с коефициенти на правата линия:  $a = 1,816$  и  $b = -5,5231$ .

На фигура 3 е показан прозорецът на програмата “MScalc” за изчисляване на показателя на надеждност  $\beta$  за този пример.

### Фигура 3 Прозорец на програмата “MScalc”

В горната част на текстовото поле се въвеждат трите случайни функции, които ще бъдат моделирани чрез генериране на случайни числа. Това са  $R_y$  и  $N_g$  с нормални разпределения със съответните средни стойности и средноквадратични отклонения и  $H$  – височината на снежната покривка с логнормално разпределение и коефициенти  $a$  и  $b$  от правата на регресионния анализ. Накрая е записано оразмерителното неравенство (9). След това се задава броят на итерациите –  $100000$ . Получава се стойност за  $\beta = 2,40437$  която почти съвпада с резултата от численото интегриране на степента на риска в Mathcad, съответно  $\beta = 2,40634$ .

В запис в текстовото поле са използвани следните два символа:

- # - текстът след него до края на реда се игнорира (използва се за коментар);
- & - указва, че на този ред е записано гранично условие, което трябва да се проверява дали е изпълнено или не.

В таблица 1 са показани някои от основните функции и оператори, които се използват при записването на действията в текстовото поле.

Таблица 1 Функции и оператори

функция	действие	оператор	действие
sin	синус	=	присвояване
cos	косинус	<=	по-малко или равно
tan	тангенс	>=	по-голямо или равно
asin	аркуссинус	!=	не равно
acos	аркускосинус	==	равно
atan	аркустангенс	>	по-голямо от
log2	логаритъм при основа 2	<	по-малко от
log	десетичен логаритъм	+	събиране
ln	натурален логаритъм	-	изваждане

<b>exp</b>	експоненциална функция	*	умножение
<b>sqrt</b>	корен квадратен	/	деление
<b>abs</b>	абсолютна стойност	^	повдигане на степен
<b>min</b>	min от аргументи	<b>and</b>	логическо „и”
<b>max</b>	max от аргументи	<b>or</b>	логическо „или”
<b>sum</b>	сума от аргументи	<b>xor</b>	логическо „изключващо или”
<b>avg</b>	средна стойност от аргументи		

Освен тях специално за генериране на случайни величини се използват функциите в таблица 2.

Таблица 2 Функции за генериране на случайни числа

функция	действие
<b>gnorm (m,s)</b>	генерира случайни числа $x_i$ по нормално разпределение със средна стойност $\mu$ и средно квадратично отклонение $\sigma$
<b>rlnormln (m, s)</b>	генерира случайни числа с логнормално разпределение със средна стойност на натуралните логаритми на $x$ : $\mu_{ln}$ и средно квадратично отклонение на натуралните логаритми на $x$ : $\sigma_{ln}$
<b>rlnormab(a,b)</b>	генерира случайни числа с логнормално разпределение с ъглов коефициент $a$ и отрез от ординатната ос $b$ при линейната регресия.
<b>rGumbel(a,b)</b>	генерира случайни числа по разпределение на Гумбел с ъглов коефициент $a$ и отрез от ординатната ос $b$ при линейната регресия.
<b>rFrechet(a,b)</b>	генерира случайни числа по разпределение на Фреше с ъглов коефициент $a$ и отрез от ординатната ос $b$ при линейната регресия.
<b>rWeibull(a,b)</b>	генерира случайни числа по разпределение на Вейбул с ъглов коефициент $a$ и отрез от ординатната ос $b$ при линейната регресия.

За изчисляване на въведените уравнения се използва разработената от Инго Берг библиотека “muParser” [2].

Необходимостта от генерирането на голям брой случайни числа, достигащи в някои случаи до сто милиона налага програмата да се оптимизира и да се постигне голяма скорост на обработка на данните.

Броят на генерираните числа зависи от стойността на показателя  $\beta$ . В таблица 3 са дадени: стойностите на показателя  $\beta$ , степента на риска, съответстваща на тази стойност и минималният брой генерирани числа, за да се получи достоверен резултат.

Таблица 3 Минимален брой на генерираните числа

$\beta$	$P_f$	Минимален брой генерирани числа
5	2.86652E-07	1.0 E08
4.5	3.39767E-06	1.0 E07
4	3.16712E-05	1.0 E06
3.5	0.000232629	1.0 E05
3	0.001349898	10000
2.5	0.006209665	10000
2	0.022750132	1000

Стойностите на показателя на надеждност  $\beta$  зависят от класа на надеждност на конструкцията и са дадени в таблица B2 в [2]. Таблица 4 възпроизвежда таблица B2.

Таблица 4 – Препоръчителни минимални стойности на показателя за надеждност  $\beta$  (крайни гранични състояния)

Клас по надеждност	Минимални стойности за $\beta$	
	При базов период 1 година	При базов период 50 години
RC 3	5,2	4,3
RC 2	4,7	3,8
RC 1	4,2	3,3

Масовият тип сгради може да бъде отнесен към клас на надеждност RC2 и нивото на показателя на надеждност  $\beta$  при базов период 1 година е 4,7. Следователно необходимият брой генерирани случайни числа е над 100000. Съвременните компютрите от среден клас могат да определят показателя на надеждност по метода на генерирането на случайни числа до няколко минути.

### **Използване за MS Excel за оразмеряване на стоманени ферми със сечение на прътите от два ъглови профила**

Работните листа на MS Excel за оразмеряване са част от програмен пакет за изчисляване на показателя на надеждност на стоманени покривни ферми. Изследването обхваща ферми с три различни подпорни разстояния: 18, 24 и 30 метра. Покривното покритие върху тях е изследвано в три варианта: лек тип „монопанел” [6], тежък със стоманобетонени панели [7] и с тегло средно между тези два крайни варианта.

Покривните ферми са проектирани по българските норми за проектиране преди и след влизане в сила на Наредба № 3 [8] и по системата на Еврокодовете. При използването на Евронормите характеристичните атмосферни товари са приети със среден период за превишение 50 години. Използвани са двете алтернативни възможности за комбиниране на товарите съгласно EN 1990 [5] : формула 6.10 и по-неблагоприятният вариант от формули 6.10a и 6.10b. Така за едно населено място е необходимо да бъдат изследвани три ферми с по 12 различни варианта на разрезните усилия. Половината от тези 36 варианта се оразмеряват по българските норми за проектиране на стоманени конструкции [10], а другата половина по Еврокод 3 [4].

Изследвани са общо шест населени места с различни климатични условия, така че се налага провеждането на статически и оразмерителни изчисления за 206 стоманени ферми. Това наложи да се потърси възможност за автоматизиране на редица процеси от статическото решение на фермите със SAP 2000 до документирането на получените резултати от оразмеряването и изследването на показателя на надеждност  $\beta$ .

Обърнато е внимание на повторемостта на операциите при задаването на силите от атмосферни товари в различните райони на страната. В рамките на дадени норми за проектиране атмосферните товари се различават в отделните населени места с коефициенти на подобие. Тези коефициенти са определени за шестте района при натоварването от сняг и вятър за изследваните случаи на натоварване [2], [3], [8] и [9]. Разработена е програма на C ++, която използва тези коефициенти на подобие и с тях коригира съответните места във файловете на SAP 2000 с разширение \*. \$2k. В тези текстови файлове с описание на входните данни за SAP местата, където са въведени товарите от сняг и вятър, се коригират със съответните коефициенти за даденото населено място. В процеса на статическото решение се описват всички комбинации на натоварване, които могат да доведат до най-голямо усилие, в който и да е от прътите. Така при Евронормите за вариант на комбиниране по формули 6.10a и 6.10b се получават 12 комбинации. Оценката на това коя от тях е най-неблагоприятна изисква много време, ако се извършва от проектанта. Изборът на най-неблагоприятната комбинация на усилията е включен в създадена работна среда за оразмеряване на прътите на стоманената ферма.

Работният лист “Orazmeriavane” подрежда по определен начин резултатите от статическите изчисления: започва с комбинациите за нормалните усилията в средния прът на

горния пояс, след това средния прът на долния пояс, усилията в диагоналите от опората към средата и завършва с усилията във вертикалите от опорния към средния. Желаното подреждане може да се осигури чрез подходящо номериране или избор на име (label) на прътите. След подреждането програмата определя минималната и максималната стойност на разрезното усилие в комбинациите за всеки прът. Ако минималната стойност е отрицателна (натисково усилие) тя се избира за оразмеряване. Ако минималната стойност е положителна за оразмерително усилие се приема максималната стойност. При такъв начин на определяне на оразмерителното усилие има опасност когато натисковото усилие е много малко в сравнение с опънното да се допусне грешка. Необходимо е да се прави проверка от проектанта дали приетият прът от оразмеряването на натиск може да поеме многократно по-голямото усилие от опън. В разглежданите 206 варианта тази проверка не се оказва меродавна.

След определянето на оразмерителните усилия се пристъпва към оразмеряването на прътите. За целта се използват два изчислителни шаблона: за оразмеряване по българските норми [10] и по Еврокод 3 [4]. На фигура 2 е дадена таблица с резултати от оразмеряване по нашите норми. Шаблоните за оразмеряване имат аналогична структура, но в тях няма записани разрезни усилия и резултати от оразмерителните проверки. В горната част на шаблона се задават общите данни: изчислително съпротивление, модулът на еластичност, граничните стройности при опънати и натиснати пръти, средната стойност и средноквадратичното отклонение на границата на провлачане на използваната стомана. Непосредствено под тези общи входни данни е полето за максималното усилие, което се включва във възлова плоча  $S_{max}$ . За изследваните ферми е прието, че това е усилието в опорния диагонал. В зависимост от тази стойност се приема дебелината на възловите плочи [6].

В основната таблица се въвеждат конкретните данни за оразмеряваната ферма: ефективната дължина на всеки от оразмеряваните пръти, необходима за изчисляване на стройността му и общата дължина за определяне теглото на фермата. В общата дължина се включват и дължините на симетричните пръти, които не се оразмеряват. В шаблона за оразмеряване по българските норми е предвидена още една входна данна – типът на профила. Условно е прието поясните и опорните пръти да се означават като тип 1, а пълнежните диагонали и вертикали - като тип 2. Такова деление е необходимо за да може програмата да избере коефициент за условие на работа  $\gamma_c = 0,8$  когато стройността на натиснатите пълнежни пръти  $\lambda \geq 60$  [10].

Процедурата по оразмеряването започва със записването на оразмерителното усилие за пръта в копието на таблицата шаблон, използвано за конкретното оразмеряване. В колоната за напречното сечение е включен макрос, който се обръща към работния лист “profiles”. Там са записани подредените според площта им сечения от два ъглови равнострани профили по БДС 2612-73 [6]. Преминаването към друг стандарт изисква замяната на тези данни със съответните им. Опитването започва от най-малкото възможно сечение 2L50.50.5, взема от този ред символния низ за вида на сечението, данните за площта на двата профила  $2A_I$ , инерционния радиус  $i_y$  и разстоянието до центъра на тежестта  $z_0$  – фигура 4. Изчислява се инерционният радиус  $i_z$ :

$$i_z = \sqrt{i_y^2 + t^2} \quad (10)$$

Определят се стройностите  $\lambda_y$  и  $\lambda_z$  и се сравняват с граничната  $\lambda_u$ . Ако тази проверка не е удовлетворена се избира следващият профил, докато се изпълни изискването за максимална стройност. След това се изчислява максималното усилие, което може да поеме избраният профил:

$$\begin{aligned}
N_{\max} &= 2A_1 \cdot \gamma_c \cdot R_y && \text{за опън по [10]} \\
N_{\max} &= 2A_1 \cdot \varphi \cdot \gamma_c \cdot R_y && \text{за натиск по [10]} \\
N_{\max} &= 2A_1 \cdot \gamma_c \cdot f_y && \text{за опън по [4]} \\
N_{\max} &= 2A_1 \cdot \chi \cdot f_y && \text{за натиск по [4]}
\end{aligned}
\tag{11}$$

$A_1$  е площта на единия ъглов профил;

$R_y$  е изчислителното съпротивление.

$\gamma_c$  е коефициентът за условия на работа.

$\varphi, \chi$  са коефициентите на изкълчване по [4] и [10].

Изчислява се показателят за степента на използване на носещата способност:

$$\eta = \frac{N}{N_{\max}}
\tag{12}$$

Ако той е по-голям от единица се преминава към следващия профил с по-голяма площ. За окончателно избраното сечение се изчисляват средната стойност и средноквадратичното отклонение на носещата способност на сечението. Накрая се определя теглото. Програмата преминава автоматично към следващия прът и продължава до изчерпването на шаблона. Накрая проектантът има възможност от съображения за оптимален брой типоразмери да замени някои от сеченията с по-големи. Това се извършва като в колоната за типа на профила се запише желаният размер. Програмата преоразмерява съответния прът със зададеното му сечение и коригира общото тегло на фермата.

Въпреки, че програмата е част от система за определяне на показателя на надеждност  $\beta$ , тя може да се използва и самостоятелно за оразмеряване на стоманени прътови конструкции със напречни сечени от сдвоени равностенни ъглови профили.

Програмата може да бъде разширена, за да включи и други типове напречни сечения, като например кутиеобразни стоуденоогънати профили или тръби.

## Заклучение

Описаните програмни решения могат да се използват за решаване на широк кръг задачи в областта на определянето на показателя на надеждност на строителните конструкции  $\beta$  и за оразмеряването на стоманени прътови конструкции. Преминаването към системата за проектиране на Еврокодовете предполага внимателна оценка на постиганите нива на надеждност.

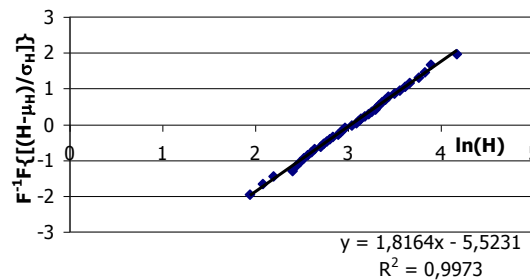
## ЛИТЕРАТУРА

1. Berg I. muParser <http://muparser.sourceforge.net>
2. EN 1991-1-3:2003. Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Snow loads
3. EN 1991-1-4:2003. Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Wind loads
4. EN 1993-1-1:2005. Eurocode 3. Design of steel structures. General rules and rules for buildings
5. БДС EN 1990:2002 Еврокод 0. Основи на конструктивното проектиране

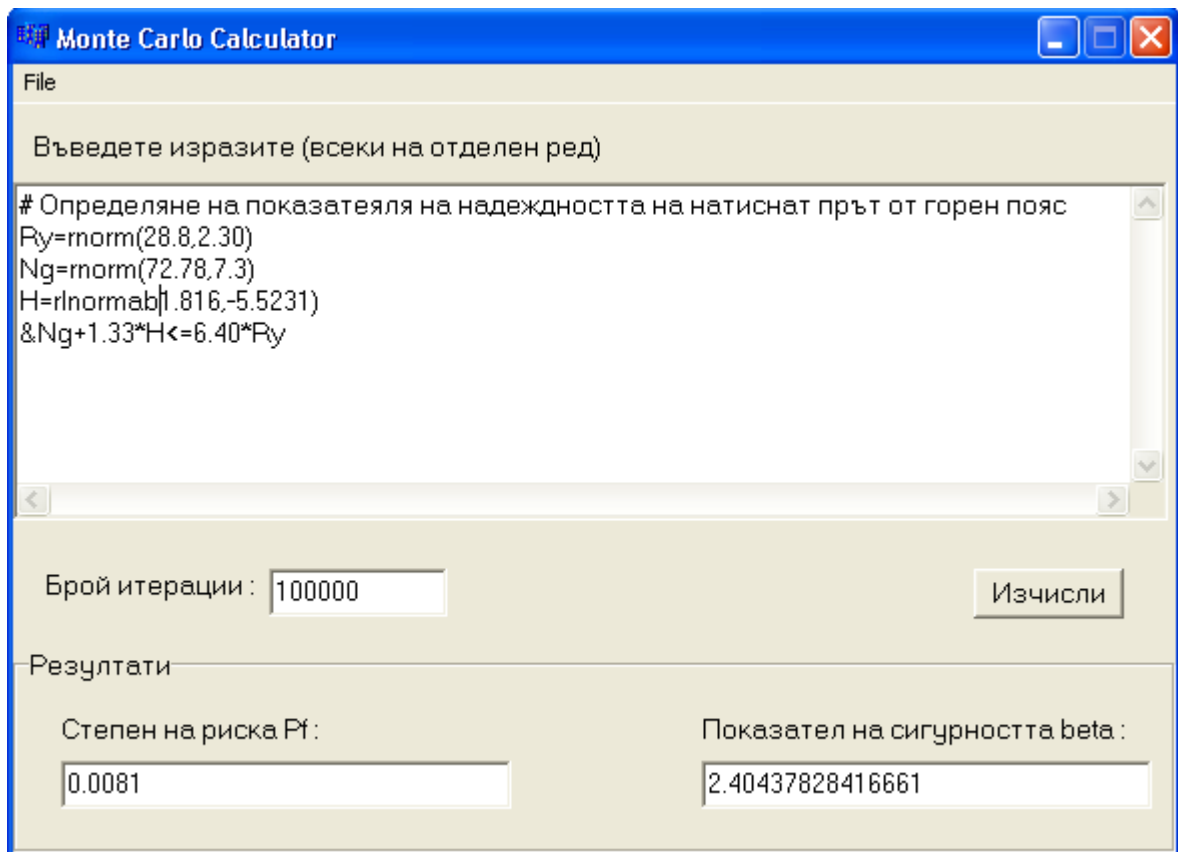


6. Венков Л., Н. Драганов, Д. Даков, В. Митев, Ат. Лазаров, Г. Линков, Стоманени конструкции. Ръководство за проектиране, С., УАСГ, 1998
7. Металлические конструкции: Стрaвочник проектировщика - 2-е изд. /Под ред. Н. П. Мельникова, М., Стройизадт, 1980
8. Наредба № 3 от 21 юли 2004 г. за основните положения за проектиране на конструкциите на строежите и за въздействията върху тях (ДВ, бр. 92 от 2004
9. Натоварвания и въздействия върху сгради и съоръжения. С. 1990.
10. Норми за проектиране на стоманени конструкции., 2 04 02 ,С., Издателски център „Строителство и архитектура”, 1987

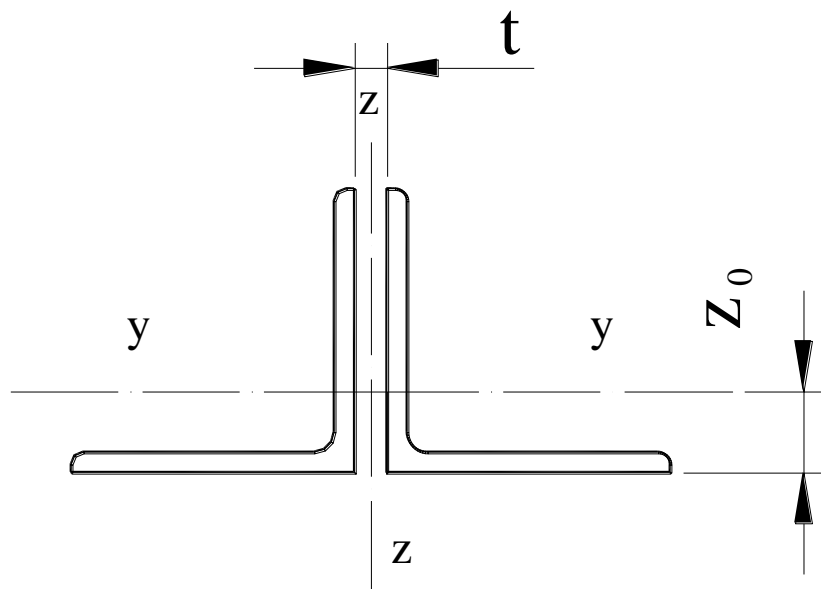
### Графики



Фигура 1 Резултати от линейната регресия с логнормално разпределение за района на София



Фигура 3 Прозорец на програмата “МСcalc”



Фигура 4 Напречно сечение на прътите на фермата

**Общи входни данни**

$R_y$ [MPa]	$E$ [MPa]	$\lambda_u$		$\mu_{fy}$ [MPa]	$\sigma_{fy}$ [MPa]	$\gamma_c$
		опън	натиск			
225	206000	400	180	288	23,04	0,95

$S_{max}$ [kN] =	110,09
$t_1$ [cm] =	0,6

**Оразмеряване на прътите по норми от 1987 г. Лек покрив**

прът	тип	Усилие [kN]	$l_y$ [cm]	$l_z$ [cm]	обща дължина [m]	сечение	$2A_1$	$i_y$	$i_z$	$\lambda_y$	$\lambda_z$	$\lambda_u$	$N_{max.}$ [kN]	$\eta$	$\mu_R$ [kN]	тегло [kg]
$O_{max}$	1	-130,18	300,20	300,20	18,00	2L.75.75.6	17,56	2,3	3,295	130,5	91,1	180	143,90	0,90	184,19	248
$U_{max}$	1	139,60	600,00	900,00	18,00	2L.50.50.5	9,6	1,53	2,302	392,2	391	400	205,20	0,68	262,66	136
$D_1$	1	-110,08	390,51	390,51	7,81	2L90.90.6	21,2	2,78	3,896	140,5	100,2	180	150,58	0,73	192,74	130
$D_2$	2	59,28	312,41	390,51	7,81	2L.50.50.5	9,6	1,53	2,302	204,2	169,6	400	205,20	0,29	262,66	59
$D_3$	2	-14,11	322,88	403,60	8,07	2L.63.63.5	12,26	1,94	2,815	166,4	143,4	180	53,22	0,27	68,13	78
$V_1$	1	-14,09	240,00	240,00	4,80	2L.50.50.5	9,6	1,53	2,302	156,9	104,3	180	55,33	0,25	70,82	36
$V_2$	2	-28,19	208,00	260,00	5,20	2L.50.50.5	9,6	1,53	2,302	135,9	112,9	180	61,53	0,46	78,76	39
$V_3$	2	-2,43	216,00	270,00	2,70	2L.50.50.5	9,6	1,53	2,302	141,2	117,3	180	56,88	0,04	72,80	20
Общо:															746,00	

**Фигура 2 Таблица с резултати от за оразмеряване на прътите на стоманена ферма**