

PROGRAM PENTRU OPTIMIZAREA
PROCESELOR DE FREZARE A
LEMNULUI

OPTIMIZATION SOFTWARE FOR THE
MILLING PROCESSES OF WOOD

Wilhelm LAURENZI

Assoc.Prof dr.eng – TRANSILVANIA University of Braşov – Faculty of Wood Engineering
Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Braşov, Romania
E-mail: willy@unitbv.ro

Rezumat:

Frezarea lemnului reprezintă unul din cele mai importante procese de prelucrare a lemnului. Frezarea cu regimuri optime conduce la procese cu consumuri energetice minime, calităţi ridicate, capacităţi de prelucrare mărite, forţe, vibraţii şi zgomote mai reduse, ceea ce înseamnă costuri mai reduse de prelucrare.

Regimurile de frezare depind de mulţi factori care în majoritatea cazurilor sunt determinaţi empiric cu ajutorul diagramelor, tabelelor sau relaţiilor matematice. În multe cazuri aceste regimuri nu sunt optime, ducând la mărirea costurilor de prelucrare. Pentru eliminarea arbitrariului în determinarea regimurilor de frezare se prezintă un program care ţine cont de majoritatea factorilor şi a câtorva restricţii implicate în procesul de frezare.

Programul permite calculul principalilor parametri dinamici ai procesului de frezare bazat pe informaţiile din literatura de specialitate sau pe baza modelelor matematice elaborate de diverşi autori şi optimizarea cu sau fără restricţii a uneia din cele mai importante funcţii obiectiv a procesului de frezare, respectiv puterea de frezare. Programul permite de asemenea simularea şi reprezentarea grafică a procesului de frezare. Pe baza programului existent vor fi dezvoltate în viitor module pentru optimizarea altor funcţii obiectiv importante cum ar fi calitatea frezării, costul frezării etc.

Cuvinte cheie: frezarea lemnului; simulare proces; optimizare proces.

INTRODUCERE

Frezarea lemnului are o pondere foarte ridicată la prelucrarea lemnului, având o influenţă importantă asupra costurilor de fabricaţie. Din acest motiv este foarte important să se realizeze prelucrări cu regimuri optime de frezare.

Un proces optim de prelucrare presupune optimizarea unei funcţii obiectiv (criteriu de optimizare) în condiţiile anumitor restricţii. Funcţia obiectiv exprimă dependenţa variabilei de stare y de variabilele independente x_1, x_2, \dots, x_n .

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

În funcţie de valorile variabilelor independente se pot realiza optimizări fără restricţii (variabilele independente pot avea orice valoare) sau cu restricţii (valorile variabilelor sunt limitate de diferite restricţii

Abstract:

Wood Milling is one of the most important wood machining processes. Milling with optimal processing conditions leads to processes with reduced energy consumption, higher qualities, higher work capacities, lower forces, vibrations and noises, that means lower processing costs

The milling condition depends on many factors and in many cases they are determined empirically or by using of diagrams, tables or equations. In most cases these conditions are not optimal, that finally leads to increased costs. In order to eliminate the arbitrariness in determining the milling conditions, there is presented a program that takes into account the majority of factors and some restrictions involved in the milling process.

The program allows to calculate the most important dynamic parameters of the milling process, based on information from literature or with mathematical models obtained by different authors and to optimize with- or without constraints one of the most important objective function of the milling process, such as the cutting power. The program allows also simulation and graphical representation of the milling process. On base of the existing program, in future will be developed modules for optimizing of other important objective functions like the milling quality, the milling costs etc.

Key words: milling of wood; process simulation; process optimization.

INTRODUCTION

Wood Milling is the process with the highest weight in wood machining, having an important influence on the processing costs. For this reason it is very important to realize wood milling using optimum processing conditions.

An optimal process suppose to optimize an objective function of the process under certain constraints. The objective function expresses the dependence between the dependent variable y and the independent variables x_1, x_2, \dots, x_n of the process:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Depending on the values of the independent variables, we can optimize without constraints (independent variables can take any value) and with constraints (independent variable values are limited

de egalitate sau inegalitate).

Optimizarea funcției obiectiv presupune determinarea unei soluții optime, respectiv determinarea valorilor variabilelor independente care asigură cea mai bună valoare (minimă sau maximă) a funcției obiectiv.

OPTIMIZAREA PROCESULUI DE FREZARE

Funcțiile obiectiv ale procesului de frezare pot fi de ordin tehnic (puterea de frezare, consumul de energie electrică, calitatea frezării etc.), economic (prețul prelucrării, profit etc.) sau o combinație de astfel de criterii. Variabilele independente x_1, x_2, \dots, x_n sunt factorii care au o influență mai mare sau mai mică asupra procesului, cum ar fi viteza de așchiere, viteza de avans, adâncimea de frezare, diametrul frezei, numărul de dinți, unghiurile dinților etc.

În literatură se găsesc diferite funcții obiectiv pentru procesul de frezare, unele sunt funcții generale altele sunt funcții adaptate pentru anumite condiții de frezare. O funcție obiectiv generală utilizată în țara noastră este (Dogaru 1985):

$$P = \frac{K \cdot b \cdot h \cdot u}{60 \cdot 100} \text{ [kW]} \quad (2)$$

în care: P – puterea de așchiere, [kW]; K – lucrul mecanic specific pentru detașarea unui cm^3 de așchii în unitatea de timp, [daNm/cm^3]; b – lățimea de așchiere, [mm]; h – înălțimea de așchiere, [mm]; u – viteza de avans, [m/min];

$$F = \frac{100 \cdot P}{v} \text{ [daN]} \quad (3)$$

în care: F – forța de așchiere, [daN]; P – puterea de așchiere, [kW]; v – viteza de așchiere, [m/s].

Lucrul mecanic specific depinde de mulți factori ai procesului de frezare:

$$K = \frac{k_{sp} \cdot k_v \cdot k_{um} \cdot k_p \cdot k_b}{a^m} \cdot K'_{\psi\delta} \text{ [daNm/cm}^3] \quad (4)$$

în care: k_{sp} – coeficient care depinde de specia lemnului, sp ; k_v – coeficient care depinde de viteza de așchiere, v ; k_{um} – coeficient care depinde de umiditatea lemnului, um ; k_p – coeficient ce depinde de uzura dinților ce ia în considerare durata între două ascuțiri ale sculei, t ; k_b – coeficient care depinde de tipul așchierii (închisă sau deschisă); a – grosimea medie a așchiei; m – coeficient care depinde de direcția de așchiere; $K'_{\psi\delta}$ – rezistența specifică care apare la așchieria unor așchii de 1 mm pentru diferite unghiuri dinamice ψ și de așchiere δ .

Grosimea așchiilor poate fi determinată cu relația:

$$n = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \text{ [rot/min]} \quad (5)$$

$$u_z = \frac{1000 \cdot u}{n \cdot z} \text{ [mm/rot]} \quad (6)$$

by various constraints of equal or unequal types).

Optimizing the objective function suppose determining an optimal solution, ie determining values of the independent variables to ensure the best value (min or max) of the objective function.

OPTIMIZATION OF THE MILLING PROCESS

The objective functions of the milling process could be technical criteria (cutting power consumption of electricity, cutting quality etc.), economical criteria (price of production, profit etc.) or a combination of these criteria. The independent variables x_1, x_2, \dots, x_n are the factors that have a higher or lower influence on the process, such as the cutting speed v , feed rate, milling depth, cutter diameter, number of teeth, cutter angles etc.

In literature, are found various objective functions for the milling process, some are general functions and others are customized for certain milling conditions. A general objective function used in our country is (Dogaru 1985):

$$P = \frac{K \cdot b \cdot h \cdot u}{60 \cdot 100} \text{ [kW]} \quad (2)$$

where: P – the cutting power, [kW]; K – the specific mechanical work for cutting a cm^3 of chips in a time unit, [daNm/cm^3]; b – the cutting width, [mm]; h – the cutting height, [mm]; u – the feed speed, [m/min];

$$F = \frac{100 \cdot P}{v} \text{ [daN]} \quad (3)$$

where: F – the cutting force, [daN]; P – the cutting power, [kW]; v – cutting speed, [m/s].

The specific mechanical work K depends on many factors of the milling process:

$$K = \frac{k_{sp} \cdot k_v \cdot k_{um} \cdot k_p \cdot k_b}{a^m} \cdot K'_{\psi\delta} \text{ [daNm/cm}^3] \quad (4)$$

where: k_{sp} – coefficient which depends on wooden species, sp ; k_v – coefficient which depends on the cutting speed, v ; k_{um} – coefficient which depends on the wooden humidity, um ; k_p – coefficient which depends on the teeth wear rate expressed by the cutting time; k_b – coefficient which depends on the cutting width, b ; a – the thickness of chips, [mm]; m – coefficient which depends on the cutting direction; $K'_{\psi\delta}$ – specific resistance for cutting 1 mm thick chips depending on different dynamic ψ and cutting angles δ .

The chip thickness can be determined with:

$$n = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \text{ [rot/min]} \quad (5)$$

$$u_z = \frac{1000 \cdot u}{n \cdot z} \text{ [mm/rot]} \quad (6)$$

$$a = u_z \cdot \sqrt{\frac{h}{d}} \text{ [mm]} \quad (7)$$

în care: n – turația frezei, [rot/min]; v – viteza de frezare, [m/s]; d – diametrul frezei, [mm]; u – viteza de avans, [m/min]; z – numărul de dinți; a – grosimea așchiei, [mm]; h – adâncimea de frezare, [mm];

Rezistența specifică de frezare $K'_{\psi,\delta}$ poate fi determinată din literatură din diagrame în funcție de unghiul dinamic ψ și unghiul de așchiere δ .

$$\psi = 90 - \arccos \frac{d - 2 \cdot h}{d} \quad (8)$$

$$\delta = \alpha + \beta \quad (9)$$

în care: ψ – unghiul dinamic; δ – unghiul de așchiere; α – unghiul de așezare; β – unghiul de ascuțire.

Influențele coeficienților asupra lucrului specific de așchiere K pot fi scrise sub forma următoarelor dependențe:

- influența speciei:

$$k_{sp} = f(sp) \quad (10)$$

- influența umidității lemnului:

$$k_{um} = f(um) \quad (11)$$

- influența vitezei de frezare:

$$k_v = f(v) \quad (12)$$

- influența uzurii frezei:

$$k_\rho = f(t) \quad (13)$$

- influența tipului frezării (închisă/deschisă):

$$k_b = f(b) \quad (14)$$

- influența grosimii așchiei:

$$a = f(v, u, z, h, d) \quad (15)$$

- influența direcției de frezare:

$$m = f(dir) \quad (16)$$

- influența rezistenței specifice de frezare:

$$K'_{\psi\delta} = f(\psi, \delta) = f(d, h, \alpha, \beta) \quad (17)$$

Prin generalizare și ținând cont de dependențele (10)-(17), lucrul mecanic specific K , puterea de frezare și forța de frezare depind de următorii factori:

$$K = f(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (18)$$

$$P = f(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (19)$$

$$F = f(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (20)$$

Aceste trei funcții obiectiv pot fi optimizate cu sau fără criterii:

- optimizarea fără restricții presupune determinarea valorilor factorilor (soluția optimă) care asigură valori minime sau maxime ale funcției obiectiv, de exemplu:

$$\min \text{ or } \max P = \min \text{ or } \max(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (21)$$

- optimizarea cu restricții presupune determinarea

$$a = u_z \cdot \sqrt{\frac{h}{d}} \text{ [mm]} \quad (7)$$

where: n – rotation speed, [rot/min]; v – cutting speed, [m/s]; d – diameter of the milling cutter, [mm]; u – feed speed, [m/min]; z – number of teeth; a – thickness of chips, [mm]; h – the milling depth, [mm];

The specific resistance to cutting $K'_{\psi,\delta}$ can be determined from literature with diagrams in function of the dynamic angle ψ and cutting angle δ .

$$\psi = 90 - \arccos \frac{d - 2 \cdot h}{d} \quad (8)$$

$$\delta = \alpha + \beta \quad (9)$$

where: ψ – the dynamic angle; δ – the cutting angle; α – the clearance angle; β – the sharpening angle.

The influences of the coefficients on specific mechanical work K can be written as following dependencies:

- the influence of the species:

$$k_{sp} = f(sp) \quad (10)$$

- the influence of the wooden humidity:

$$k_{um} = f(um) \quad (11)$$

- the influence of the cutting speed:

$$k_v = f(v) \quad (12)$$

- the influence of the tooth wear:

$$k_\rho = f(t) \quad (13)$$

- the influence of the cutting width:

$$k_b = f(b) \quad (14)$$

- the influence of the chip thickness:

$$a = f(v, u, z, h, d) \quad (15)$$

- the influence of the cutting direction:

$$m = f(dir) \quad (16)$$

- the influence of the specific resistance to cutting:

$$K'_{\psi\delta} = f(\psi, \delta) = f(d, h, \alpha, \beta) \quad (17)$$

Through generalization and taking into account the dependencies (10)-(17), the specific mechanical work K , the cutting power P and the cutting force depends on following factors:

$$K = f(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (18)$$

$$P = f(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (19)$$

$$F = f(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (20)$$

These three objective functions can be optimized without or with constraints:

- optimization without constraints suppose establishing the factor values (optimal solution) which assure a minimum or a maximum value of the objective function, for example:

$$\min \text{ or } \max P = \min \text{ or } \max(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (21)$$

- optimization with constraints suppose the

valorilor factorilor care supuși unor restricții asigură o valoare minimă sau maximă a funcției obiectiv, de exemplu:

$$\min \text{ or } \max P = \min \text{ or } \max(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (22)$$

Restricții: $20 \leq v \leq 70$ [m/s]
 $5 \leq u \leq 30$ [m/min] (23)
 $2 \leq h \leq 30$ [mm]

 $5-6 \leq \text{clasa de calitate} \leq 9$

PROGRAMUL DE OPTIMIZARE

Pe baza relațiilor (2)-(23) și a programului prezentat la TMCR 2008 (Laurenzi 2008) a fost dezvoltată o nouă versiune a programului de optimizare a procesului de frezare. Programul este prezentat în Fig. 1, 2 și 3 și are trei pagini (interfețe), unde prima pagină conține meniul principal (Fig. 1), a doua pagină conține meniul pentru editarea și încărcarea/salvarea modelelor matematice lineare sau neliniare ale procesului de frezare și pagina 3 conține meniul de simulare și optimizare a procesului de frezare (Fig. 3).

Pagina de optimizare este organizată în 4 secțiuni:

Secțiunea 1 este destinată afișării valorilor predefinite a 2 factori (variabilele independente ale procesului x_1 și x_2) sau a domeniului lor de variație. Valorile afișate sau perechile de factori pot fi modificate de către utilizator.

Secțiunea 2 este destinată alegerii variabilei dependente a procesului y pentru care se face simularea în secțiunea 3.

Secțiunea 3 este destinată afișării valorilor simulate a factorilor aleși în secțiunea 1 și a variabilei dependente aleasă în secțiunea 2. De asemenea se afișează valorile factorilor.

calculation of the factor values which constrained assure a minimum or maximum value of the objective function.

$$\min \text{ or } \max P = \min \text{ or } \max(sp, um, v, u, h, b, d, z, \alpha, \beta, dir, t) \quad (22)$$

Constraints: $20 \leq v \leq 70$ [m/s]
 $5 \leq u \leq 30$ [m/min] (23)
 $2 \leq h \leq 30$ [mm]

 $5-6 \leq \text{quality class} \leq 9$

THE OPTIMIZATION PROGRAM

On base of the equations (2)-(23) and the program presented at TMCR 2008 (Laurenzi 2008) is developed a new version of the program for optimization the milling process. The program presented in Fig. 1, 2 and 3 has three pages (interfaces), the first page contains the main menu (Fig. 1), the second page contains the editing and loading/saving menu of the linear or nonlinear mathematical models of the milling process (Fig. 2) and the third page contains the simulation and the optimization menu (Fig. 3).

The optimization page is organized in 5 sections:

Section 1 is designed for displaying the predefined values of 2 factors (the independent variables of the process x_1 și x_2) or the variation range of these factors. The displayed values and the pairs of the factors can be modified by the user.

Section 2 is designed for choosing the dependent variable of the process y which is simulated in section 3.

Section 3 is designed for displaying the simulated values of the factors chosen in section 1 and the dependent variable chosen in section 2. Also are displayed the values of the factors.

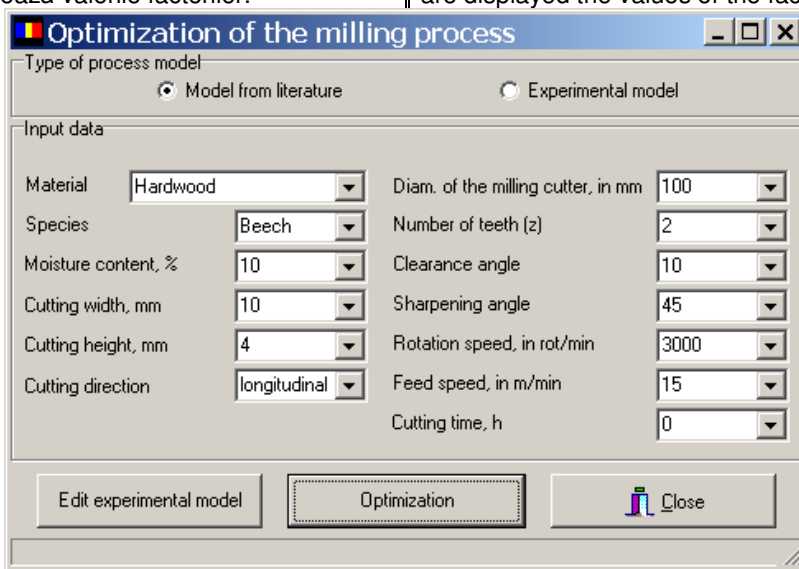


Fig. 1.

Meniul principal al programului de optimizare / The main menu of the optimization program.

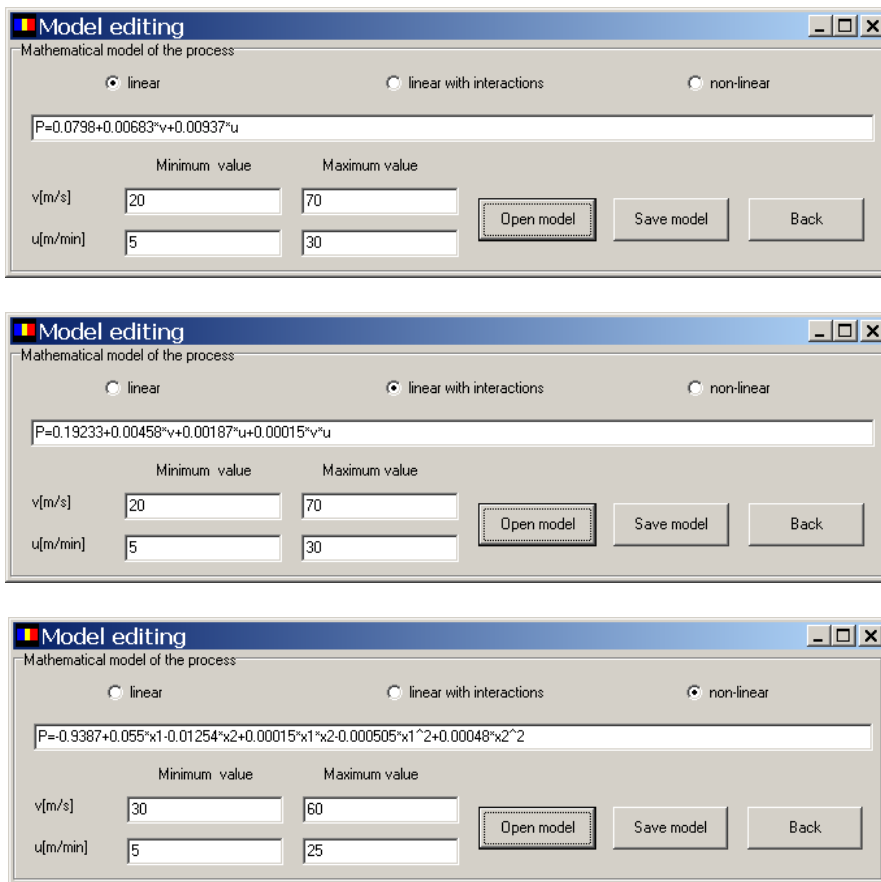


Fig. 2.
*Editarea modelelor matematice liniare și neliniare ale procesului de frezare /
Editing the linear and nonlinear mathematical models of the milling process.*

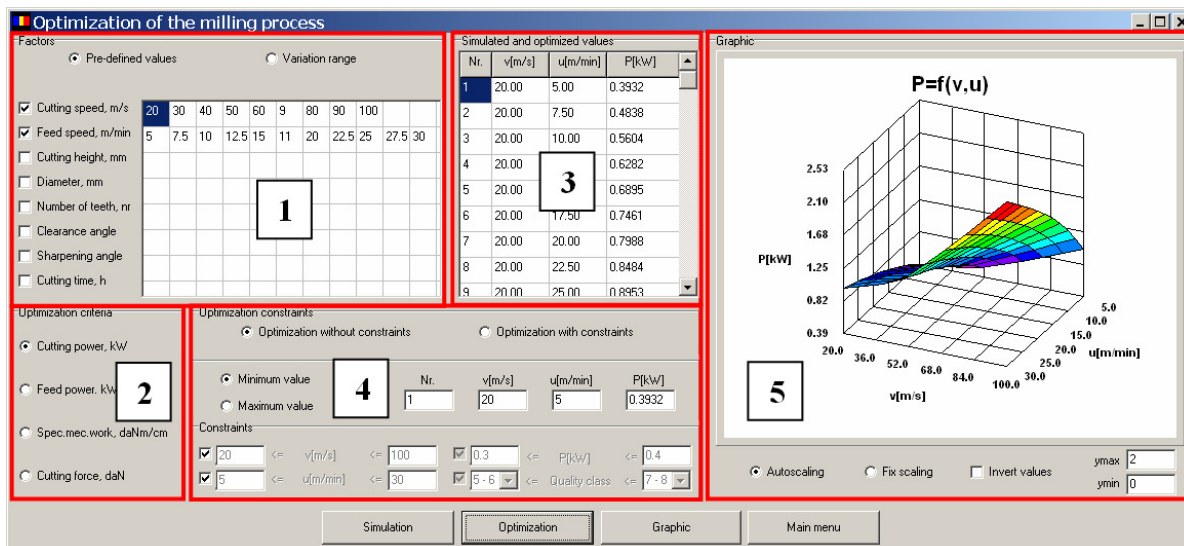


Fig. 3.
Meniul de optimizare a programului / The optimization menu of the program.

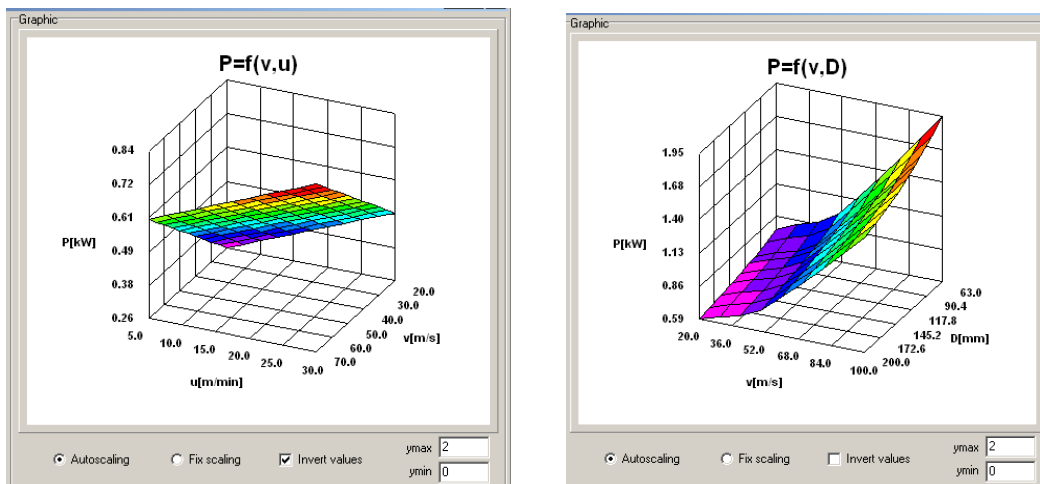


Fig. 4.

**Exemplu de model matematic liniar și neliniar /
Example of a linear and non-linear mathematical model.**

Secțiunea 4 este destinată stabilirii restricțiilor și afișarea valorii minime și maxime a funcției obiectiv. Utilizatorul poate să aleagă între optimizare cu sau fără restricții.

De asemenea, se permite determinarea valorilor factorilor pentru care puterea de frezare este mai mică decât o valoare maximă impusă sau se încadrează între două limite ținând cont de restricțiile de viteză de frezare, viteză de avans și calitatea frezării.

Secțiunea 5 este destinată afișării graficelor valorilor simulate. Graficele pot fi afișate cu auto-scalare sau cu scalare fixă și dacă este necesar pot fi rotite cu 180° .

CONCLUZII

Programul de optimizare prezentat în acest articol este foarte util în procesul didactic cât și în activitatea inginerescă. Programul permite simularea și optimizarea unuia din parametrii dinamici importanți ai procesului de frezare a lemnului, respectiv puterea de frezare. Programul poate fi utilizat pentru studiul influențelor a doi factori diferiți asupra puterii de frezare $y=f(x_1, x_2)$, pentru compararea modelelor matematice teoretice și experimentale ale procesului și pentru obținerea regimurilor optime de frezare.

Section 4 is designed for establishing the optimization constraints and displaying the minimum or maximum value of the objective function.

The user can choose between optimization with or without constraints. Also, the values of the factors are determined for the milling power which is lesser than a maximum limit or is situated between two limits taking into account the constraints of the cutting speed, feed speed and milling quality.

Section 5 is designed for displaying the graphics of the simulated values. The graphics can be displayed with auto- or fix scaling and if it necessary they can be rotated with 180° .

CONCLUSIONS

The optimization program presented in this paper is very useful in the teaching process and also in engineering activities. The program simulation and optimization of one important dynamic parameter of the milling process of wood, respectively the milling power. The program can be used for studying the influence of two different factors on the milling power $y=f(x_1, x_2)$, for comparison of the theoretical and experimental mathematical models of the process and for obtaining of optimal milling conditions.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

DOGARU, V. (1985). Așchieria lemnului (Wood cutting). Bucuresti: Editura tehnică, 1985.
LAURENZI, W. (2008). Program for optimization the milling process of wood. The 12th International Conference, "Modern technologies, Quality, Restructuring – TMCR", Iasi, Romania, May 29th – 30th, 2008, Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi, ISSN 1011-2855, pp. 449.