

## WORKING REGIMES OF THE AGRICULTURAL MACHINES DESIGNED TO SOIL TILLAGE: FROM OPTIMIZATION TO FUNDAMENTALS (1)

### REGIMURILE DE LUCRU ALE MASINILOR AGRICOLE DESTINATE LUCRARILOR SOLULUI: DE LA OPTIMIZARE LA FUNDAMENTE (1)

Math. Cârdei P.<sup>1)</sup>, PhD. Stud. Eng. Meca A.<sup>2)</sup>, Assoc. Prof. PhD. Eng. Kostadinov G.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>INMA Bucharest / Romania; <sup>2)</sup>University from Craiova / Romania; <sup>3)</sup>RILRAM Sofia / Bulgaria

Tel: 021-2693276; E-mail: petru\_cardei@yahoo.com

**Abstract:** The article is part of a series of works dedicated to general formulation of dynamic framework for tillage machines, of which the first, [9] appeared. We expressed in [9], one of the main goals of the series of articles: unification the formulas that give the tensile strength in agricultural machinery mechanics. As an application, in [9], has been given a simple example of optimization the most commonly in the literature, with the resulted changes. The following goals of this series of articles are: a wide approach to optimization problems of the operating modes of machinery for soil, calculation formulas expressing the tensile force in terms of classical mechanics (discrete and continuous), and in the final, taking into account the significance of combinations of sizes, estimating the effects of tillage strategies and opportunities to modernize work processes of the soil. In this article we will deal only the first of the last three listed purposes.

**Keywords:** agricultural, , machinery, optimization, system, soil, works

#### INTRODUCTION

Optimization of operating modes as defined in [3], of machinery is a constant concern in the profile industry and in the activity of their's exploitation, [7], [6], [4]. If a work was expressed the multitude of input parameters and the multitude of output parameters (language and method of the systems theory), then we can formulate an optimization problem consisting of three main components: objective function (one or more of the output parameters expressing the measured effect of process quality), optimization variables chosen from the input parameters (which include those of adjustment) and restrictions, which are conditions provided on some of the working parameters as equations or inequations. By solving optimization problem, is obtained an optimal working regime, characterized by optimal values of optimization variables, which maximize the objective functions.

The problem of optimal workflows of the agricultural machines for soil work is a concern for many decades old. Parameters that characterize the work of agricultural machinery for soil work may be broken in the following categories, [5], [2], [13], [15], [16]:

- Parameters that characterize the physical properties of soil;
- Parameters that characterize the geometry of the machine and aggregate;
- Parameters that characterize the the dynamics of the process;
- Parameters that characterize the energetic of the process;
- Parameters that characterize the work quality performed to the soil.

Summary of these parameters is given in Table 1.

**Rezumat:** Articolul face parte dintr-o serie de lucrări dedicate formulării generale a cadrului dinamicii mașinilor destinate lucrărilor solului, dintre care primul, [9], a apărut. Am exprimat în [9], unul dintre scopurile principale ale seriei de articole: unificarea formulelor care dau forța de rezistență la tracțiune în domeniul mecanicii mașinilor agricole. Ca aplicație, în [9], s-a dat un exemplu simplu de optimizare, cel mai uzual din literatura de specialitate, cu modificările rezultate. Următoarele scopuri ale acestei serii de articole sunt: o abordare lărgită a problemelor de optimizare ale regimurilor de lucru ale mașinilor de lucrat solul, exprimarea formulelor de calcul ale forței de rezistență la tracțiune în termenii mecanicii clasice (discrete și continue), iar în final, ținând seama de semnificația unor combinații de mărimi, estimarea consecințelor asupra strategiilor de prelucrare a solului și oportunităților de modernizare a procedeele de lucru ale solului. În prezentul articol ne vom ocupa numai de primul dintre ultimele trei scopuri enumerate.

**Cuvinte cheie:** agricole, lucrări, mașini, optimizare, regim, sol

#### INTRODUCERE

Optimizarea regimurilor de lucru, definite conform [3], ale mașinilor și utilajelor este o preocupare continuă în industria de profil și în activitatea de exploatare a acestora, [7], [6], [4]. Dacă un proces de lucru a fost exprimat prin mulțimea parametrilor de intrare și mulțimea parametrilor de ieșire (limbaj și metodă proprii teoriei sistemelor), atunci se poate formula o problemă de optimizare constând în trei componente principale: funcția obiectiv (unul sau mai mulți dintre parametrii de ieșire, care exprimă calitativ cuantificat efectul procesului), variabilele de optimizare, alese dintre parametrii de intrare (care îi includ și pe cei de reglaj) și restricțiile, care sunt condiții puse asupra unora dintre parametrii de lucru sub formă de ecuații sau inecuatii. Prin rezolvarea unei probleme de optimizare, se obține un regim de lucru optim, caracterizat prin valorile optime ale variabilelor de optimizare, care extremează funcțiile obiectiv.

Problema realizării proceselor de lucru optime la mașinile agricole destinate lucrărilor solului este o preocupare cu vechime de multe zeci de ani. Parametrii care caracterizează procesul de lucru al mașinilor agricole destinate lucrărilor solului se pot repartiza în următoarele categorii, [5], [2], [13], [15], [16]:

- Parametri care caracterizează proprietățile fizice ale solului;
- Parametri care caracterizează geometria mașinii și agregatului;
- Parametri care caracterizează dinamica procesului;
- Parametri care caracterizează energetica procesului;
- Parametri care caracterizează calitatea lucrărilor solului executate.

Sumarul acestor parametri, este dat în tabelul 1.

Table 1 / Tabelul 1

## Problem parameters / Parametri problemei

Nr. / No.	Name of parameter / Denumirea parametrului	Notation / Notatie	Physical dimension and measurement unit (SI) / Dimensiune fizică și unitatea de măsură (SI)
<b>I</b>	<b>Parameters characterizing the physical properties of soil / Parametrii care caracterizează proprietățile fizice ale solului</b>		
1	Coefficient characterizing the specific resistance to deformation of the soil, according [1], pag. 89 / Coeficient care caracterizează rezistența specifică la deformare a solului, conform [1], pag. 89	$k$	$ML^{-1}T^{-2}$ ; Pa
2	Coefficient which depends on the active surface shape of working bodies and soil properties, according [1], page 90 / Coeficient care depinde de forma suprafeței active a organelor de lucru și de proprietățile solului, conform [1], pag. 90	$\varepsilon$	$ML^{-3}$ ; $kg/m^3$
<b>II</b>	<b>Parameters that characterize the geometry of the machine and aggregate / Parametri care caracterizează geometria mașinii și agregatului</b>		
	Working depth projection plane normal to the direction of advancing / Proiecția adâncimii de lucru pe planul normal la direcția de înaintare	$a$	L; m
	Projection of the width of the working body of the plane normal to the direction of advancing / Proiecția lățimii de lucru a unui organ pe planul normal la direcția de înaintare	$b$	L; m
	Number of working tools / Numărul de organe de lucru	$n$	-
	Working width of the machine / Lățimea de lucru a mașinii	$B=nb$	m
<b>III</b>	<b>Parameters that characterize the the dynamics of the process / Parametri care caracterizează dinamica procesului</b>		
1	Working speed / Viteza de lucru	$v$	m/s
2	Tensile force / Forța de rezistență la tracțiune	$R$	$MLT^{-2}$ ; N
3	Coefficient of friction between soil and agricultural machine parts support on the ground / Coeficient de frecare între sol și părțile de sprijin ale mașinii agricole pe sol	$f$	-
4	Machine table for ground works / Masa mașinii destinate lucrărilor solului	$m$	M;kg
5	Local gravitational acceleration / Accelerația gravitațională locală	$g$	$LT^{-2}$ ; $m/s^2$
6	Agricultural machine weight / Greutatea mașinii agricole	$G=mg$	$MLT^{-2}$ ; N
<b>IV</b>	<b>Parameters that characterize the process energy / Parametri care caracterizează energetica procesului</b>		
1	Hourly fuel consumption / Consumul de combustibil orar	$C_h$	$MT^{-1}$ ; $kg/s$
2	Specific fuel consumption of unit surface worked / Consumul de combustibil specific unității de suprafață lucrata	$C_w$	$ML^{-2}$ ; $kg/m^2$
<b>V</b>	<b>Parameters that characterize the quality of soil work done / Parametri care caracterizează calitatea lucrărilor solului executate</b>		
1	Working capacity / Capacitatea de lucru	$W$	$L^2T^{-1}$ ; $m^2/s$
2	Coefficient of utilization of working time / Coeficient de utilizare a timpului de lucru	$K_{07}$	-

**MATERIAL AND METHOD****Original method**

Original statements of the problem (relative to this work) optimizing the working regime of tillage machines, based on the formula called rational of Goreacikin, [8], appear in [13], [12], [5] and other sources. Goreacikin's rational formula is:

$$R = fG + (k + \varepsilon v^2) aB . \quad (1)$$

Tensile strength  $R$ , as a function of any of the variables with which it defines, do not have strict extreme points (local or global minimum or maximum), on whatever physically interval possible and interesting is considered. In order to obtain however a point of optimum, was set as parameters to optimize the working speed and working width. To obtain an extreme point, objective function is built using (1) on condition of a fixed working capacity:

$$W_0 = K_{07} B v \quad (2)$$

In some works do not take into account of the coefficient of use of working time, [4], or are working with the hourly ability of working capacity effectively of the aggregate, [12]. Some authors specify the mode of construction [5], others consider as a starting point the objective function:

$$R = fG + \frac{kAW_0}{K_{07}v} + \frac{\varepsilon AW_0}{K_{07}} v \quad (3)$$

for example [13]. Function of tensile strength, (3), working as a function of working speed has a minimum point of coordinates:

**MATERIAL ȘI METODĂ****Metoda originală**

Formulări ale problemei originale (relativ la această lucrare) a optimizării regimului de lucru al unor mașini de lucrat solul, plecând de la formula numită rațională, a lui Goreacikin, [8], apar în [13], [12], [5] precum și în alte surse. Formula rațională a lui Goreacikin este:

Forța de rezistență la tracțiune  $R$ , ca funcție de oricare dintre variabilele cu ajutorul căreia se definește, nu prezintă puncte de extremum în sens strict (minime sau maxime locale sau globale), pe indiferent ce interval fizic posibil și interesant se consideră. Pentru a putea obține totuși un punct de optimum s-a fixat ca parametru de optimizare viteza de lucru și lățimea de lucru. Pentru obținerea unui punct de extremum, funcția obiectiv se construiește folosind (1) cu condiția unei capacități de lucru fixate:

În unele lucrări nu se ține seama de coeficientul de utilizare a timpului de lucru, [4], sau se lucrează cu capacitatea de lucru orară efectivă a agregatului, [12]. Unii autori specifică modul de construcție, [5], alții consideră ca punct de plecare funcția obiectiv:

de exemplu [13]. Funcția forță de rezistență la tracțiune, (3) ca funcție de viteza de lucru, are un punct de minim de coordonate:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{k}{\varepsilon}} \quad (4)$$

respectively

respectiv:

$$R_{\min} = fG + 2kaB \quad (5)$$

A more interesting formula for tensile strength, which presents a linear dependent term of the working speed is given in [10] being taken from [1].

#### An alternative to the original method

Construction of an objective function can start also from the traction force (1) and the working capacity (2), but putting a more intuitive condition: minimizing the ratio between the traction force and the working capacity:

$$\phi = \frac{fG + (k + \varepsilon v) aB}{K_{07} Bv} \quad (6)$$

Procedând prin derivare și anularea primei derivate se obține punctul optimal cu coordonatele:

Procedând prin derivare și anularea primei derivate se obține punctul optimal cu coordonatele:

$$v = \sqrt{\frac{fG + k}{\varepsilon aB} + \frac{k}{\varepsilon}} \quad (7)$$

respectively

respectiv:

$$R_{w\min} = \frac{2\sqrt{\varepsilon aB (fG + kaB)}}{KB} \quad (8)$$

It is noted that the optimal speed (7) is higher than the optimal speed (4). The tractive force which is obtained for the optimal speed (7) is:

Se remarcă faptul că viteza optimală (7) este mai mare decât viteza optimală (4). Forța de tracțiune care se obține pentru viteza optimală (7) este:

$$R = 2(fG + kaB) \quad (9)$$

which also it is higher than the optimal tractive force obtained using the first method, defined by the corresponding objective function (3)

care și ea este mai mare decât forța de tracțiune optimală obținută folosind prima metodă, definită prin funcția obiectiv corespunzătoare, (3).

#### Optimisation by the method of mathematical programming

Mathematical programming is a branch of applied mathematics and numerical methods covering theoretical principles for solving optimization problems, according to [2]. From the perspective of mathematical programming, optimization of agricultural machines for seedbed preparation working regime and, in general, of agricultural machines for soil tillage, receives the most natural form. Objective functions are the fuel consumption hourly or per hectare (for which is seeking the minimization), working capacity (for which is seeking the maximization) or the tractive force (for which is seeking the minimization). Because the fuel consumption and the tractive force are related to the tractive characteristics of the tractor, further will consider only the first two objective functions.

In order to be able to use the hourly fuel consumption function as a function of working speed and of working depth (optimization variables considered in this example), is interpolated through non-elementary functions the traction characteristic of tractor in the hourly consumption and speed curves. To exemplify is working with an A-1800 tractor. The interpolation functions, both for the consumption curves and for the speed curves are of the general form:

#### Optimizarea prin metoda programării matematice

Programarea matematică este o ramură a matematicilor aplicate cuprinzând principiile teoretice și metodele numerice de rezolvare a problemelor de optimizare, conform [2]. Din perspectiva programării matematice, optimizarea regimului de lucru al mașinilor agricole destinate pregătirii patului germinativ și, în general, a mașinilor agricole destinate lucrărilor solului, primește forma cea mai naturală. Funcțiile obiectiv sunt consumul de combustibil orar sau la hectar (pentru care se caută minimizarea), capacitatea de lucru (pentru care se caută maximizarea) sau forța de tracțiune (pentru care se caută minimizarea). Deoarece consumul de combustibil și forța de tracțiune sunt legate prin caracteristicile de tracțiune ale tractorului, în continuare se vor considera numai primele două funcții obiectiv.

Pentru a putea folosi funcția consum orar de combustibil ca funcție de viteza de lucru și de adâncimea de lucru (variabilele de optimizare considerate în acest exemplu), se interpolează prin funcții neelementare caracteristica de tracțiune a tractorului în curbele de consum orar și de viteză. Pentru exemplu se lucrează cu un tractor A-1800. Funcțiile de interpolare, atât pentru curbele de consum cât și pentru curbele de viteză sunt de forma generală:

$$C_{hi}(R) = \begin{cases} c1_i R + c0_i, & R \leq R_{li} \\ c2_i R^3 + c3_i R^2 + c4_i R + c5_i, & R > R_{li} \end{cases}, i = 1, 2, 3, 4, 5, \quad (10)$$

where  $c1_i, \dots, c5_i$  are the coefficients of the hourly fuel consumption function  $C_{hi}$  for the gear  $i$ , which has as argument the tractive force  $R$ . The tractive force  $R_{li}$  is the

în care  $c1_i, \dots, c5_i$  sunt coeficienții funcției consum orar de combustibil  $C_{hi}$  pentru treapta de viteză  $i$ , care are ca argument forța de tracțiune  $R$ . Forța de tracțiune  $R_{li}$  este

maximum tractive force for each gear. For the speed curves of the traction characteristic used in the expression of the problem constraints, are used similar expressions for the consumption curves (10). The 50 coefficients (25 for the consumption curves and 25 for the speed curves) are established by the method of the smallest squares using the traction characteristics of the used tractor. It is recommended to use a traction characteristic according with the state of wear of the tractor. In fig. 1 are given the interpolation curves for the hourly consumption and speed, obtained from the traction characteristic of the A-1800 tractor.

valoarea maximă a forței de tracțiune pentru fiecare treaptă de viteză. Pentru curbele de viteză ale caracteristicii de tracțiune folosită în exprimarea restricțiilor problemei, se folosesc expresii similare cu cele pentru curbele de consum (10). Cei 50 de coeficienți (25 pentru curbele de consum și 25 pentru curbele de viteză) se stabilesc prin metoda celor mai mici pătrate folosind caracteristicile de tracțiune ale tractorului utilizat. Se recomandă utilizarea unei caracteristici de tracțiune în concordanță cu starea de uzură a tractorului. În fig. 1 sunt date curbele de interpolare pentru consumul orar și viteze, obținute din caracteristica de tracțiune a tractorului A-1800.

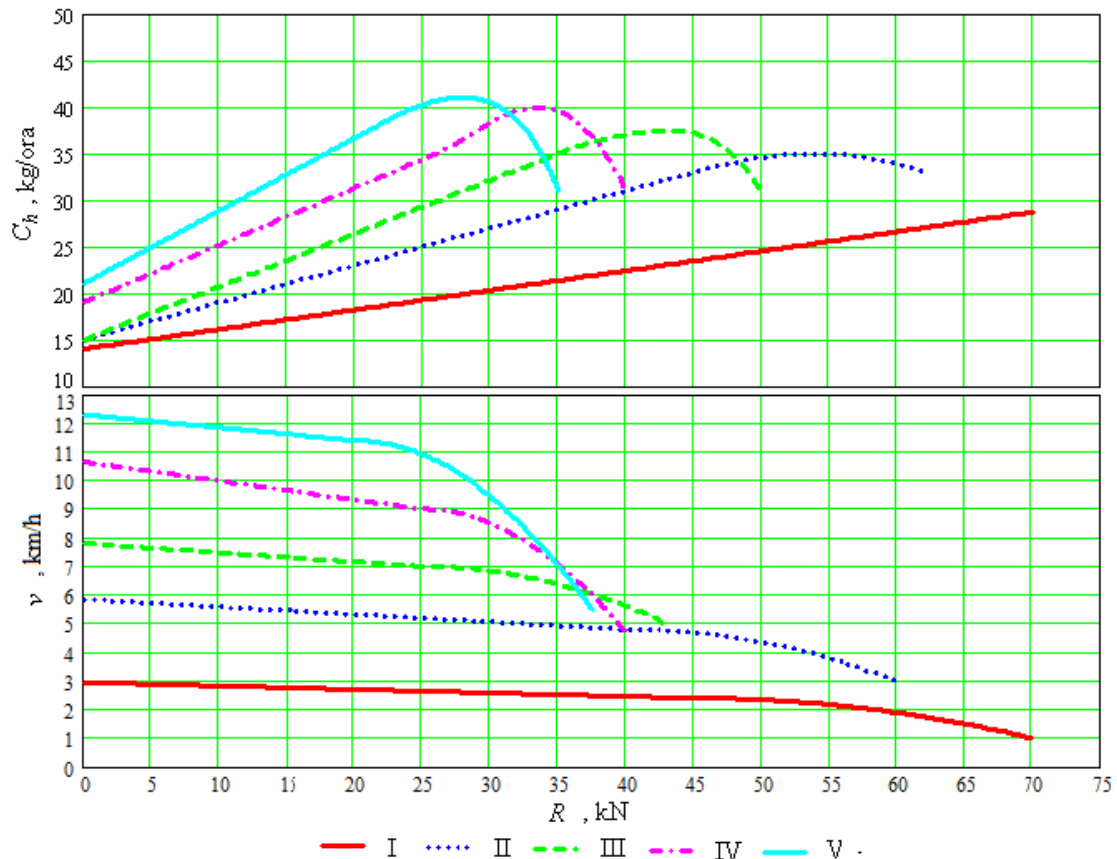


Fig. 1 - Graphical representation of interpolated consumption and speed curves using the traction characteristic of the tractor A-1800 in running on stubble / *Reprezentarea grafică a curbelor de consum și viteză interpolate folosind caracteristica de tracțiune a tractorului A-1800, în deplasare pe miriște*

Under these conditions, the optimization problem enunciation is as follows:

În aceste condiții, enunțul problemei de optimizare este următorul:

$$\begin{aligned}
 &a_0 \leq a \leq a_1 \\
 &v_0 \leq v \leq V_i(R(a, v)) \\
 &R(a, v) < R_{li} \\
 &C_{hi}(a, v) \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{11}$$

if the objective function is the consumption per hour and the optimization is performed on each gear separately ( $V_i$  being the function that gives the speed curve in the gear  $i$ ,  $a_0$  și  $v_0$  are the lower limits are the lower limits of the interval of variation of the depth and working speed), respectively:

dacă funcția obiectiv este consumul orar și optimizarea se face pe fiecare treaptă de viteză separat ( $V_i$  fiind funcția care dă curba de viteză în treapta de viteză  $i$ ,  $a_0$  și  $v_0$  sunt limitele inferioare ale intervalului de variație a adâncimii și vitezei de lucru), respectiv:

$$\begin{aligned}
 &a_0 \leq a \leq a_1 \\
 &v_0 \leq v \leq V_i(R(a, v)) \\
 &R(a, v) < R_{li} \\
 &W_i(v) \rightarrow \max
 \end{aligned} \tag{12}$$

if the objective function is the working capacity and the optimization is performed on each gear separately. It is

dacă funcția obiectiv este capacitatea de lucru și optimizarea se face pe fiecare treaptă de viteză separat.

possible to use both objective functions of the above to obtain an optimal regime working in the sense of convenient working regime listed below. For this is built the objective function:

$$\Psi(a, v) = \sqrt{p(C_h(a, v) - C_h(a_0, v_0))^2 + (1-p)(W(v) - W(V(R(a, v))))^2} \quad (13)$$

where  $p$  is the proportion (subunit fraction) of interest for the hourly fuel consumption and  $a_0$  and  $v_0$  are the working depth and speed at which is achieved the lowest hourly fuel consumption. Obviously, the share of interest for the working capacity in the objective function (13) is  $1-p$ . The enunciation of the optimization problem becomes:

$$\begin{aligned} a_0 &\leq a \leq a_1 \\ v_0 &\leq v \leq V_i(R(a, v)) \\ R(a, v) &< R_{li} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\Psi_i(v) = \sqrt{p(C_{hi}(a, v) - C_{hi}(a_0, v_0))^2 + (1-p)(W(v) - W(V_i(R(a, v))))^2} \rightarrow \min$$

It is noted that for  $p=1$  (the user is only interested in the minimization of the hourly fuel consumption), the problem (14) becomes the problem (11), and for  $p=0$  (the user is only interested in the maximization of the working capacity), the problem (14) becomes the problem (12). Therefore, the general formulation of the optimization problem within the mathematical programming it is (14), of course in the case described in this article. The enunciation can also be complicated introduction of new variables, restrictions or objective functions.

Another way to solve the optimization working regime for the soil tillage aggregates through nomograms, is given in [16]. The nomograms were for the 1970s a subject very discussed, with obvious utility. Today, thanks to the high power computers and of advanced interpolation techniques, the method is outdated.

## RESULTS

### Estimating optimal working speed for the aggregate harrow GD-4 - tractor A-1800

To include all steps into account was taken the minimum working speed  $v_0=0.5$  m/s. Is accepted an working average depth of 15 cm, with accidental deviations of 3 cm, therefore an interval of the working depth ranging from 12 to 18 cm. For soil were considered:  $k = 10000$  N/m<sup>2</sup> and  $\varepsilon = 1500$  kg/m<sup>3</sup>. In this case, the optimal model defined by the objective function (3) gives the optimum working speed with the value  $v_{opt} = 9.295$  km/h, and the model defined by the objective function (6), gives the working speed with the value  $v_{opt} = 22.555$  km/h. If the optimal speed obtained for this case using the formula (4) can be reached in the gears fourth and fifth (with the resistance force of 25.326 kN and of working capacity of 3.235 ha/hr for both gears and the consumption of 5.84 l/ha in the fourth gear speed and the working capacity of 3235 ha / hour, respectively 7.264 l/ha in the fifth gear), the optimal speed given by the formula (7) can not be reached by tractor A-1800, so nor by the considered aggregate. The interval and mode variation of optimal speed (4) is shown in Fig. 2.

For the same case (soil and aggregate), the optimal solutions provided by the mathematical programming are all tangible using the abovementioned aggregate, under the given conditions in any of tractor gears. Three of the possible variants of optimization, corresponding to three objective functions (hourly fuel consumption, working capacity and a combination of these) have the results given in Tables 1, 2 and 3.

Există posibilitatea de a folosi ambele funcții obiectiv de mai sus în scopul obținerii unui regim de lucru optimal în sensul de regim de lucru convenabil precizat mai jos. Pentru aceasta se construiește funcția obiectiv:

în care  $p$  este ponderea (fracția subunitară) de interes pentru consumul orar de combustibil iar  $a_0$  și  $v_0$  sunt adâncimea și viteza de lucru la care se realizează cel mai mic consum orar de combustibil. Evident, ponderea de interes pentru capacitatea de lucru în funcția obiectiv (13) este  $1-p$ . Enunțul problemei de optimizare devine:

Se observă că pentru  $p=1$  (utilizatorul este interesat numai de minimizarea consumului orar de combustibil), problema (14) devine problema (11), iar pentru  $p=0$  (utilizatorul este interesat numai de maximizarea capacității de lucru), problema (14) devine problema (12). Prin urmare, cea mai generală formulare a problemei de optimizare în cadrul programării matematice este (14), binențeles în cazul descris în acest articol. Enunțul se mai poate complica prin introducerea de noi variabile, restricții sau funcții obiectiv.

O altă cale de rezolvare a optimizării regimului de lucru al agregatelor destinate lucrărilor solului prin nomograme, este dată în [16]. Nomogramele erau pentru perioada anilor 1970 un subiect foarte discutat, cu utilitate evidentă. Astăzi, datorită calculatoarelor de mare putere și tehnicilor de interpolare avansate, metoda este depășită.

## REZULTATE

### Estimarea vitezei optime de lucru pentru agregatul grapă GD-4 – tractor A-1800

Pentru a include toate treptele în calcul s-a luat viteza minimă de lucru  $v_0 = 0.5$  m/s. Se acceptă o adâncime medie de lucru de 15 cm, cu abateri accidentale de 3 cm, deci un interval de lucru al adâncimii cuprins între 12 și 18 cm. Pentru sol s-au considerat:  $k = 10000$  N/m<sup>2</sup> și  $\varepsilon = 1500$  kg/m<sup>3</sup>. În acest caz, modelul optimal definit de funcția obiectiv (3) dă viteza optimă de lucru cu valoarea  $v_{opt} = 9.295$  km/h, iar modelul definit de funcția obiectiv (6), dă viteza de lucru cu valoarea  $v_{opt} = 22.555$  km/h. Dacă viteza optimală obținută pentru acest caz folosind formula (4) se poate atinge, în treptele de viteză a patra și a cincea (cu forța de rezistență 25,326 kN și capacitatea de lucru 3,235 ha/oră pentru ambele trepte de viteză și consumul de 5,84 l/ha în treapta a patra de viteză, respectiv 7,264 l/ha în treapta a cincea de viteză), viteza optimală dată de formula (7) nu poate fi atinsă de tractorul A-1800, deci nici de agregatul considerat. Intervalul și modul de variație al vitezei optimale (4) se poate observa în fig. 2.

Pentru același caz (sol și agregat), soluțiile optimale furnizate de programarea matematică sunt toate tangibile folosind agregatul sus menționat, în condițiile date în oricare dintre treptele de viteză ale tractorului. Trei dintre variantele posibile de optimizare, corespunzătoare la trei funcții obiectiv (consumul orar de combustibil, capacitatea de lucru și o combinație a acestora) au rezultatele date în tabelele 1, 2 și 3.

Table 1 / Tabelul 1

The results of numerical optimization for the aggregate tractor A-1800 - harrow GD 4 using the fuel consumption as a function /  
 Rezultatele optimizării numerice pentru agregatul tractor A-1800 grapa GD 4 folosind ca funcție consumul de combustibil

Gear / Trepta de viteză	Optimal working depth / Adâncimea optimă de lucru, [cm]	Optimal working speed / Viteza optimă de lucru, [km/h]	Optimal fuel consumption / Consumul optim de combustibil		Tractive force / Forța de tracțiune, [kN]	Hourly working capacity / Capacitatea de lucru orară, [ha/h]
			[kg/h]	[l/ha]		
1	14	1.8 / 1,8	4.187 / 4,187	8.101 / 8,101	19.936 / 19,936	0.626 / 0,626
2	14	1.8 / 1,8	7.975 / 7,975	15.431 / 15,431	19.936 / 19,936	0.626 / 0,626
3	14	1.8 / 1,8	11.392 / 11,392	22.045 / 22,045	19.936 / 19,936	0.626 / 0,626
4	14	1.8 / 1,8	12.269 / 12,269	23.74 / 23,74	19.936 / 19,936	0.626 / 0,626
5	14	1.8 / 1,8	15.602 / 15,602	30.192 / 30,192	19.936 / 19,936	0.626 / 0,626

Table 2 / Tabelul 2

The results of numerical optimization for aggregate tractor A-1800 - harrow GD 4 using as objective function the hourly working capacity /  
 Rezultatele optimizării numerice pentru agregatul tractor A-1800 grapa GD 4 folosind ca funcție obiectiv capacitatea orară de lucru.

Gear / Trepta de viteză	Optimal working depth / Adâncimea optimă de lucru [cm]	Optimal working speed / Viteza optimă de lucru [km/h]	Optimal fuel consumption / Consumul optim de combustibil		Tractive force / Forța de tracțiune, [kN]	Hourly working capacity / Capacitatea de lucru orară [ha/h]
			[kg/h]	[l/ha]		
1	14	2.703 / 2,703	4.242 / 4,242	5.466 / 5,466	20.200 / 20,200	0.941 / 0,941
2	14	5.285 / 5,285	8.615 / 8,615	5.678 / 5,678	21.537 / 21,537	1.839 / 1,839
3	14	7.065 / 7,065	13.121 / 13,121	6.469 / 6,469	22.962 / 22,962	2.459 / 2,459
4	14	9.001 / 9,001	15.371 / 15,371	5.948 / 5,948	24.978 / 24,978	3.133 / 3,133
5	14	10.439 / 10,439	19.877 / 19,877	6.598 / 6,598	26.862 / 26,862	3.651 / 3,651

Table 3 / Tabelul 3

The results of numerical optimization for aggregate tractor A-1800 - harrow GD 4 using as objective function the combination of the fuel consumption and the working capacity (13), with  $p=0.25$  and the limits of the interval of working depth restricted to 14-16 cm  
 / Rezultatele optimizării numerice pentru agregatul tractor A-1800 grapa GD 4 folosind ca funcție obiectiv combinația dintre consumul de combustibil și capacitatea de lucru (13), cu  $p=0,25$  și limitele intervalului adncimii de lucru restrânse la 14 – 16 cm

Gear / Trepta de viteză	Optimal working depth / Adâncimea optimă de lucru, [cm]	Optimal working speed / Viteza optimă de lucru, [km/h]	Optimal fuel consumption / Consumul optim de combustibil		Tractive force / Forța de tracțiune, [kN]	Hourly working capacity / Capacitatea de lucru orară, [ha/h]
			[kg/h]	[l/ha]		
1	14	2.702 / 2,702	4.242 / 4,242	5.469	20.199	0.940
2	14	5.226 / 5,226	8.599 / 8,599	5.731	21.497	1.819
3	14	6.795 / 6,795	12.982 / 12,982	6.655	22.719	2.365
4	14	8.437 / 8,437	14.978 / 14,978	6.184	24.340	2.936
5	14	10.197 / 10,197	19.783 / 19,783	6.757	26.466	3.549

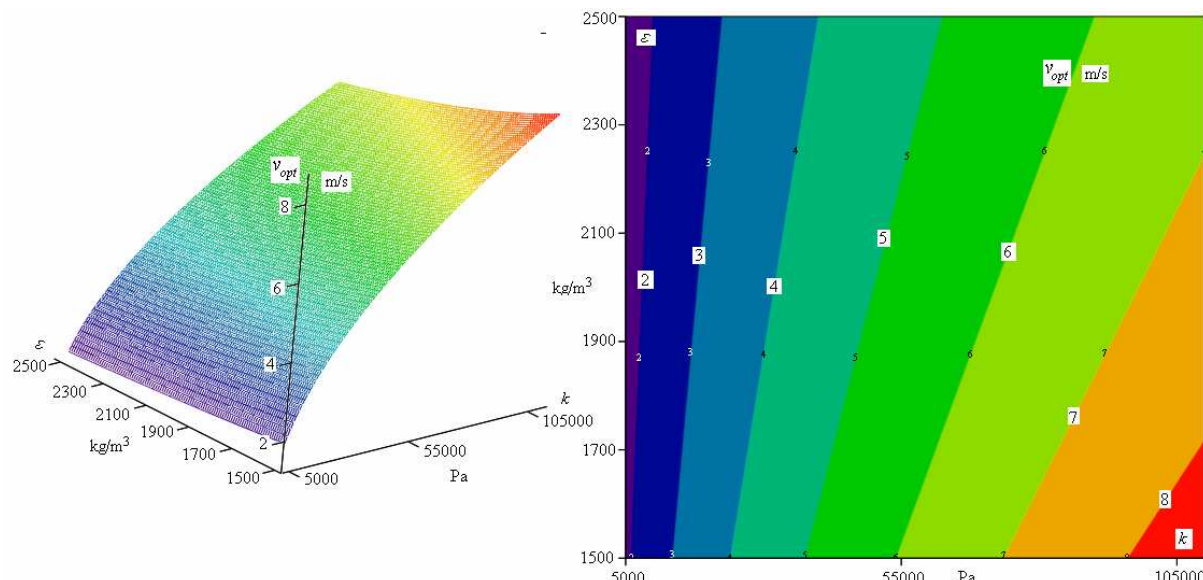


Fig. 2 - The optimal speed variation (4) with the mechanical characteristics k and ε /  
 Variația vitezei optimele (4) cu caracteristicile mecanice k și ε

**CONCLUSIONS**

The numerical results outlined above allow some conclusions with a more private nature, because the results are obtained on a particular case – specified aggregate and soil.

The only results with general character, but only in

**CONCLUZII**

Rezultatele numerice expuse mai sus permit câteva concluzii cu caracter mai mult particular, pentru că rezultatele sunt obținute pe un caz particular – sol și agregat specificate.

Singurele rezultate cu caracter general, dar numai în

absolute mode, are the optimal speeds (and traction forces, working capacities and fuel consumptions per hectare) given in (4) and (7). These formulas contain both a very interesting expression, those defined by the formula (4) and which gives the optimal speed as a function exclusively of the mechanical characteristics of the soil and the geometry of working bodies. This aspect will be exploited in the following articles in this series.

Are observed that the result given by the formula (7) proposes working speeds with high values compared to the values of optimal speeds proposed by the optimization through the mathematical programming method. Formula (4) gives similar values to those obtained by the mathematical programming when using superior speed gears (fourth and fifth).

It is noted that the elementary requirement of minimum consumption (Table 1) leads to a single working speed in all gears and at very low working capacity. Consumptions per hectare are not the lowest compared to other variants, due to the low working capacity realised. In turn the proposed variants of optimization through the mathematical programming method having as objective function the hourly fuel consumption (which must be minimized) are indeed characterized by the lowest hourly consumptions relative to the other variants, for each gear, but also the lowest fuel consumptions specific to unit of surface worked (fuel consumption per hectare).

In the case in which the solution of optimal problem through the mathematical programming has as objective function a function that gives to maximization of working capacity a share of 75%, and to minimization of hourly fuel consumption, 25 %, are obtained intermediate variants between the data in Tables 1 and 2 and these results are given in Table 3.

If the objective function is the working capacity (which must be maximized), the mathematical programming provides solutions given in Table 2. This contains for each gear the variant with the highest working capacity. As a consequence these variants present and the highest hourly fuel consumptions.

The existence of a large number of proposed optimal values, depending on the objectives or objectives combinations taken into consideration, makes that their validation to be possible only experimentally.

It should be noted that much of the literature, [11], [14] and [15], for example, ignores the term from the formula of tensile strength force which depends on the working speed, (1), as being negligible compared with the static term, which obviously implies low working speeds and low capacity working. However it is found that just working speed  $s$  the main variable to be optimized.

From the point of view of the applicability, is highly recommended the use of optimization methods proposed in this article, for each case individually. Dintre From the theoretical variants, is recommended as the most tangible that which gives the optimal working speed in formula (4). It is also recommended the use of mathematical programming, which however impose and the processing of traction characteristics of tractors with which are formed the targeted aggregates. Moreover, the optimization can be extended and to the choosing of the most performing tractor for the agricultural machine designed to the soil tillage targeted. These are and the main directions to continue which this article leaves.

The article will continue in a future release, with the analysis of theoretical formulas in the hypothetical space of the mechanical characteristics of the soil. Another direction to continue the the optimal calculation is that in which the expression of tensile strength force (1) changes with the more complex form proposed in [9], on condition

mod absolut, sunt vitezele optime (și forțele de tracțiune, capacitățile de lucru și consumurile de combustibil la hectar) date în (4) și (7). Aceste formule conțin ambele un termen foarte interesant, cel definit de formula (4) și care dă viteza optimă ca funcție exclusiv de caracteristicile mecanice ale solului și de geometria organelor de lucru. Acest aspect va fi exploatat în următoarele articole din această serie.

Se observă că rezultatul dat de formula (7) propune viteze de lucru cu valori mari față de valorile vitezelor optime propuse de optimizarea prin metoda programării matematice. Formula (4) dă valori similare cu cele obținute prin programarea matematică în cazul utilizării treptelor superioare de viteză (a patra și a cincea).

Se observă că cerința elementară de consum minim (tabelul 1) conduce la o singură viteză de lucru în toate treptele de viteză și la capacitate de lucru foarte mică. Consumurile la hectar nu sunt însă cele mai mici în raport cu celelalte variante, datorită capacității mici de lucru realizate. În schimb variantele propuse de optimizarea prin metoda programării matematice având ca funcție obiectiv consumul orar de combustibil (care trebuie minimizat) sunt caracterizate într-adevăr de cele mai mici consumuri orare relative la celelalte variante, pentru fiecare treaptă de viteză, dar și cele mai mici consumuri de combustibil specifice unității de suprafață lucrată (consumul de combustibil la ha).

În cazul în care soluția problemei optime prin programarea matematică are ca funcție obiectiv o funcție care acordă maximizării capacității de lucru o pondere de 75 %, iar minimizării consumului orar de combustibil, 25 %, se obțin variante intermediare între cele date în tabelele 1 și 2 și aceste rezultate sunt date în tabelul 3.

Dacă funcția obiectiv este capacitatea de lucru (care trebuie maximizată), programarea matematică furnizează soluțiile date în tabelul 2. Acesta conține pentru fiecare treaptă de viteză, varianta cu cea mai mare capacitate de lucru. Ca urmare aceste variante prezintă și cele mai mari consumuri orare de combustibil.

Existența unui mare număr de valori optime propuse, funcție de obiectivele sau combinațiile de obiective avute în vedere, fac ca validarea acestora să fie posibilă numai experimental.

Mai trebuie remarcat faptul că o mare parte din literatura de specialitate, [11], [14] sau [15], de exemplu, ignoră termenul din formula forței de rezistență la tracțiune ce depinde de viteza de lucru, (1), ca fiind neglijabil în raport cu termenul static, ceea ce evident implică viteze mici de lucru și capacități de lucru mici. Se constată însă că tocmai viteza de lucru este principala variabilă de optimizare.

Din punct de vedere aplicativ, se recomandă utilizarea metodelor de optimizare propuse în acest articol, pentru fiecare caz concret în parte. Dintre variantele teoretice, se recomandă ca fiind cea mai tangibilă cea care dă viteza optimă de lucru în formula (4). Se recomandă de asemenea folosirea programării matematice, care însă impune și prelucrarea caracteristicilor de tracțiune ale tractoarelor cu care se formează agregatele vizate. Mai mult decât atât, optimizarea se poate extinde și la alegerea celui mai performant tractor pentru mașina agricolă destinată lucrărilor solului vizată. Acestea sunt și principalele direcții de continuare pe care acest articol le lasă.

Articolul va continua într-o ediție viitoare, cu analiza formulelor teoretice în spațiul ipotetic al caracteristicilor mecanice ale solului. O altă direcție de continuare a calculului optimal este cea în care expresia forței de rezistență la tracțiune (1) se schimbă cu forma mai complexă propusă în [9], cu condiția de a explicita

to explicit the linear term dependent on speed. Also, the form of expression of tensile strength force, which is the objective function generator of the of theoretical ways to optimize, having an equally important role and in the mathematical programming method, only that not quite as explicit, can also be more complicated so that it also lead to a normal behavior of the aggregate in the simulation of its starting up from the resting position. We should mention also the possibility of inclusion among the optimization variables of working width. The working depth and width are interesting variables in the perspective of variable geometry design of agricultural machines, adjustable depending on terrain and traction machine.

## REFERENCES

- [1]. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P. and Buckmaster D.R. (2006) - *Engineering Principles of Agricultural Machines*, 2nd Edition. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, U.S.A.;
- [2]. Bobancu V., Mihăileanu N., Gheorghită S., Brezeanu A., Ștefănescu A., Bălănescu T. (1974) - *Dictionary of general mathematics*, Romanian Encyclopedic Publishing House;
- [3]. Căproiu S., Scripnic V., Segărceanu M., Toma D., & team (1972) - *Dictionary of agricultural mechanics*, Ceres Publishing House;
- [4]. Cesnieks S., Vilde A., Rucins A. (2006) - *Efficiency of the parameter optimisation of soil tillage units*, NJF – Seminar 378, ISSN 1653-2015, pag. 183-189;
- [5]. Dobrescu C. (1981) - *Optimization the parameters of agricultural aggregates to reduce the energy consumption*, Editorial office for agricultural technical propaganda, Bucharest;
- [6]. Grisso R., Perumpral J. V., Vaughan D., Roberson G. T., Pitman R. (2010) - *Predicting Tractor Diesel Fuel Consumption*, Virginia Tech, Virginia Cooperative Extension, publication 442-073;
- [7]. Koelsch R. K., 1978, *Gear-up and Throttle – down to save Fuel, Agricultural Energy Management*, PM-18.3N, FS-15.
- [8]. Letoșnev N., N., 1959, *Agricultural Machinery*, Agro-Forestry Publishing House of the State.
- [9]. Meca V. A., Cârdei P. (2012) - *Studies and researches for the Unification of resistance expression of machines designed to soil tillage with applications in optimization of their working regime*, INMATEH - Agricultural Engineering Journal, vol. 36, No. 1/2012;
- [10]. Mohamed H.I., Gabir S.I.M.N., Omer M.A.A., Abbas O.M. (2011) - *A program for Predicting Performance of Agricultural Machinery in Visual Basic*, Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 7(1): 32-41;
- [11]. Scripnic V., Babiciu P. (1979) - *Agricultural machines*, Ceres Publishing House, Bucharest;
- [12]. Șandru A., Bădescu M., Șandru L. (1982) - *Reducing energy consumption by rational use of of agricultural aggregates*, Romanian Writing Publishing House, Craiova;
- [13]. Șandru A., Popescu S., Cristea I., Neculăiasa V. (1983) - *Exploitation of agricultural machinery*, Didactical and Pedagogical Publishing House, Bucharest;
- [14]. Tecușan N., Ionescu E. (1982) - *Tractors and automobiles*, Didactical and Pedagogical Publishing House, Bucharest;
- [15]. Toma D., Neagu T., Florescu I., Lepși S. (1978) - *Agricultural tractors*, Didactical and Pedagogical Publishing House, Bucharest;
- [16]. Zoz F.M. (1973) - *Optimum Width and Speed for Least Cost Tillage*, Winter Meeting AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, papers 73-1528.

termenul liniar dependent de viteză. De asemenea, forma expresiei forței de rezistență la tracțiune, care este generatoarea funcției obiectiv la căile teoretice de optimizare, având un rol tot atât de important și în metoda programării matematice, numai că nu tot atât de explicit, mai poate fi încă complicată astfel încât aceasta să conducă și la un comportament normal al agregatului în simularea plecării acestuia din poziție de repaus. Mai menționăm și posibilitatea includerii între variabilele de optimizare a lățimii de lucru. Adâncimea și lățimea de lucru sunt variabile interesante în perspectiva proiectării mașinilor agricole cu geometrie variabilă, reglabilă funcție de teren și mașina de tracțiune.

## BIBLIOGRAFIE

- [1]. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P. and Buckmaster D.R. (2006) - *Principiile Ingineriei Mașinilor Agricole*, A doua ediție, Societatea Americană de Inginerie Agricolă și Biologie (ASABE), St. Joseph, Michigan, U.S.A.;
- [2]. Bobancu V., Mihăileanu N., Gheorghită S., Brezeanu A., Ștefănescu A., Bălănescu T. (1974) - *Dicționar de matematici generale*, Editura enciclopedică română;
- [3]. Căproiu S., Scripnic V., Segărceanu M., Toma D., & colectivul (1972) - *Dicționar de mecanică agricolă*, Editura Ceres;
- [4]. Cesnieks S., Vilde A., Rucins A. (2006) - *Eficiența optimizării parametrilor uneltelor de lucrat solul*, Seminarul - NJF, ISSN 1653-2015, pag. 183-189;
- [5]. Dobrescu C. (1981) - *Optimizarea parametrilor agregatelor agricole în scopul reducerii consumului de energie*, Redacția de propagandă tehnică agricolă, București;
- [6]. Grisso R., Perumpral J. V., Vaughan D., Roberson G. T., Pitman R. (2010) - *Prezicerea consumului de combustibil la tractoare*, Virginia Tech, Extinderea Cooperativei Virginia, publicarea 442-073;
- [7]. Koelsch R. K., 1978, *Gear-up and Throttle – down to save Fuel, Agricultural Energy Management*, PM-18.3N, FS-15.
- [8]. Letoșnev N., N., 1959, *Mașini Agricole*, Editura Agro-Silvică de Stat.
- [9]. Meca V. A., Cârdei P. (2012) - *Studii și cercetări pentru unificarea exprimării rezistenței mașinilor destinate lucrării solului cu aplicații în optimizarea regimului de lucru al acestora*, Jurnalul INMATEH - Agricultural Engineering, vol. 36, nr. 1/2012;
- [10]. Mohamed H.I., Gabir S.I.M.N., Omer M.A.A., Abbas O.M. (2011) - *Un program pentru prezicerea performanțelor mașinilor agricole în Visual Basic*, Jurnalul de Cercetări în Științe Agricole și Biologice, 7(1): 32-41;
- [11]. Scripnic V., Babiciu P. (1979) - *Mașini agricole*, Editura Ceres, București;
- [12]. Șandru A., Bădescu M., Șandru L. (1982) - *Reducerea consumului de energie prin folosirea rațională a agregatelor agricole*, Editura Scrisul Românesc, Craiova;
- [13]. Șandru A., Popescu S., Cristea I., Neculăiasa V. (1983) - *Exploatarea utilajelor agricole*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
- [14]. Tecușan N., Ionescu E. (1982) - *Tractoare și automobile*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
- [15]. Toma D., Neagu T., Florescu I., Lepși S. (1978) - *Tractoare agricole*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
- [16]. Zoz F.M. (1973) - *Viteza și lățimea optimă pentru costuri minime de lucrat solul*, Reuniunea DE IARNA a Societății Americane a Inginerilor Agricoli, lucrări 73-1528.