

STUDIES AND RESEARCHES ON ENERGETIC OPTIMIZATION OF FODDER HARVESTING COMBINES - THREE DIMENSIONAL MODELS

STUDII SI CERCETARI ASUPRA OPTIMIZARII ENERGETICII COMBINELOR DE RECOLTAT FURAJE – MODELE TRIDIMENSIONALE

PhD. Stud. Ștefănoiu M.D.¹⁾, Math. Cârdei P.²⁾, PhD. Eng. Vlăduț V.²⁾, Prof. PhD. Eng. Vezirov Ch.³⁾, Prof. PhD. Eng. Bădescu M.¹⁾, Assoc. Prof. PhD. Eng. Boruz S.¹⁾, Prof. PhD. Eng. Mihailov N.³⁾

¹⁾University of Craiova / Romania; ²⁾INMA Bucharest / Romania; ³⁾University of Rousse / Bulgaria
e-mail: geiacob@yahoo.com

Abstract: This article is the latest in a three series that have corrected and generalized classical problem of fodder harvesting combines energetic optimization. In order to fully understand this article, it is necessary to read at least the first article, because it contains the definitions of variables that appear in the formulae used. This article exposes the last mathematical model generalization of energy consumed by an aggregate, namely a model with three variables: working speed, displacement idle speed and turning speed. Also there are made general comparisons between the energy consumed by the three- mathematical models in work with this aggregate. These comparisons constitute a synthesis of these three articles.

Keywords: combines, energetics, optimization

INTRODUCTION

In the two articles from this series remarks on a very likely inequality of the three categories of speed involved in working processes of the fodder harvesting combine have been made.

Instead of authors [1], [4] or [5] it was also considered the case where idle speed does not equal work speed, either on one-dimensional or two-dimensional model. From the observations made in previous chapters it results that the original model [1], [4] or [5], hides an unspecified hypothesis, namely that idle turns and idle displacements for repairing the errors are made at the same speed.

This hypothesis does not affect much the calculation because at the two speed model, presented in the second article of the series, it was noticed that working with an idle speed far from optimal, even with appreciable values, does not significantly alter the energy consumed compared to the optimal one. This article will expose a model which places separately the turning speed, to see if the situation mentioned above persists in this case. Introduction turning speed v_i is determined by the fact that, it is generally expected that the tractor driver could not turn the aggregate at the same speed moving towards errors to repair them [2, 3, 6, 7, 8].

MATERIAL AND METHOD

To obtain this model it has been started from the model / formula (1) obtained in [1], [3] or [5]:

$$E = \left(f_{g_s} B v_r + f_{v_s} B v_r^2 + p_1 B \rho v_r + p_2 B \rho v_r^2 + P_{pg} \right) \frac{CL}{B v_r} + \frac{2C}{B v_g} \left(f_{g_s} B v_g + f_{v_s} B v_g^2 + P_{pg} \right) \left(l_i + \frac{L_s}{C} B \right) \quad (1)$$

written as:

scris sub forma:

$$E(v_r, v_g, v_i) = \left(B f_{g_s} v_r + B f_{v_s} v_r^2 + p_1 B \rho v_r + p_2 B \rho v_r^2 + P_{pg} \right) \cdot \frac{CL}{B v_r} + \left(B f_{g_s} v_g + B f_{v_s} v_g^2 + P_{pg} \right) \cdot \frac{2L_s}{v_g} + \left(B f_{g_s} v_i + B f_{v_s} v_i^2 + P_{pg} \right) \cdot \left(A + \frac{B}{2} \right) \cdot \frac{2C}{B v_i} \quad (2)$$

Rezumat: Acest articol este ultimul dintr-o serie de trei care au corectat și generalizat problematica clasică a optimizării energetice combinelor de recoltat furaje. Pentru a putea fi integral înțeles acest articol, este necesară citirea cel puțin a primului, pentru că acesta conține definițiile variabilelor care apar în formulele de calcul folosite. În acest articol se expune ultima generalizare a modelului matematic al energiei consumate de un agregat, anume modelul cu trei variabile: viteza de lucru, viteza de deplasare în gol și viteza de întoarcere. De asemenea se fac comparații generale între cele trei modele matematice ale energiei consumate în lucru de acest agregat. Aceste comparații constituie o sinteză a celor trei articole.

Cuvinte cheie: combină, energetică, optimizare

INTRODUCERE

În cele două articole din această serie s-au făcut observații privind inegalitatea foarte probabilă a celor trei categorii de viteze care intervin în procesele de lucru ale combinelor de recoltat furaje.

Față de autorii [1], [4] sau [5], s-a considerat și cazul în care viteza în gol nu este egală cu viteza în lucru, fie pe model unidimensional, fie pe model bidimensional. Din observațiile făcute în capitolele precedente rezultă că modelul original din [1], [4] sau [5], ascunde o ipoteză neprecizată, anume că întoarcerile și deplasările în gol pentru repararea greșurilor se fac cu aceeași viteză.

Această ipoteză nu afectează cu mult calculul întrucât la modelul cu două viteze, expus în cele de-al doilea articol al seriei, s-a observat că lucrul cu o viteză în gol departe de cea optimă, chiar cu valori apreciabile, nu modifică semnificativ energia consumată în raport cu cea optimă. În acest articol se va expune un model care introduce separat și viteza de întoarcere, pentru a constata dacă situația menționată mai sus se menține și în acest caz. Introducerea vitezei de întoarcere v_i se datorează faptului că, în general este de așteptat ca tractoristul să nu poată întoarce agregatul cu aceeași viteză cu care se îndreaptă spre greșuri pentru a le repara [2, 3, 6, 7, 8].

MATERIAL ȘI METODĂ

Pentru a obține acest model se pleacă de la modelul/formula (1), obținut în [1], [4] sau [5]:

That by basic processing without additional information, arrives at the form:

$$E(v_r, v_g, v_i) = Cfg_s L + p_1 \rho CL + 2Bfg_s L_s + 2ACfg_s + BCfg_s + \\ + (f_v g_s + p_2 \rho) CLv_r + \frac{CLP_{pg}}{B} \cdot \frac{1}{v_r} + 2Bf_v g_s L_s v_g + 2L_s P_{pg} \cdot \frac{1}{v_g} + \\ + (2A + B) C f_v g_s v_i + \frac{(2A + B) CP_{pg}}{B} \cdot \frac{1}{v_i} \quad (3)$$

Definition field is obviously included in rhomb of positive semiaxle In three speeds. Three variables function, (3) has a certain symmetry, has only terms containing at most one of the variables.

Energy function, purpose or objective function of our optimization process, (3) has a free term, one linear term in each variable and one term at a minus power one in each variable. Operating as in the case of two variables energy function, namely annulling equations system of partial derivatives, the following simple expressions of optimal speeds are obtained:

$$v_r \min = \sqrt{\frac{P_{pg}}{B(f_v g_s + p_2 \rho)}}, \quad (4)$$

$$v_g \min = v_i \min = \sqrt{\frac{P_{pg}}{Bf_v g_s}} \quad (5)$$

The same optimal speed in work and idle like in the two-dimensional model is obtained, and furthermore, the optimal turning speed is equal to the optimal idle speed.

From a geometric point of view, in \mathfrak{R}^{4+} space (subspace with all positive coordinates of \mathfrak{R}^{4+} real numbers body), equation (3) represents a hyper surface. For this reason the geometry chart area study is made by projection, making each one of the variables constant.

This is the case of fodder harvestersting combines which stop completely the harvest mechanisms operation in idle operation.

This model, in the version with PTO decoupling during idle displacements and in turns, is simply obtained from the generalized model with three speeds, formulated above, the form (2), extracting PTO idle power from last two terms in parentheses, corresponding to idle speeds (namely in movements for repairing the errors) and in turns. It is obtained energy (for $v_r, v_g, v_i > 0$):

$$E(v_r, v_g, v_i) = \left(Bfg_s v_r + Bf_v g_s v_r^2 + p_1 B \rho v_r + p_2 B \rho v_r^2 + P_{pg} \right) \cdot \frac{CL}{Bv_r} + \\ + \left(Bfg_s v_g + Bf_v g_s v_g^2 \right) \cdot \frac{2L_s}{v_g} + \\ + \left(Bfg_s v_i + Bf_v g_s v_i^2 \right) \cdot \left(A + \frac{B}{2} \right) \cdot \frac{2C}{Bv_i} \quad (6)$$

Ordering relation (6) according to variables and their powers we obtain the following energy expression:

$$E(v_r, v_g, v_i) = fg_s CL + p_1 \rho CL + 2L_s Bfg_s + fg_s C(2A + B) + (f_v g_s CL + p_2 \rho CL) v_r + \\ + \frac{P_{pg} CL}{B} \cdot \frac{1}{v_r} + 2L_s Bf_v g_s v_g + f_v g_s C(2A + B) v_i \quad (7)$$

This energy form is with separate variables and, regarded as a three -variables function, does not have a minimum local point. Algebraic equations system obtained by derivation has the solution:

Care prin prelucrări elementare, fără relații suplimentare, ajunge la forma:

Domeniul de definiție este evident inclus în paralelipipedul de semiaxe pozitive în cele trei viteze. Funcția de trei variabile, (3) prezintă o anumită simetrie, are numai termeni ce conțin cel mult una dintre variabile. Funcția energie, funcția scop sau obiectiv a procesului nostru de optimizare, (3), are un termen liber, câte un termen linear în fiecare variabilă și câte un termen la puterea minus unu în fiecare variabilă. Operând ca și în cazul funcției energie de două variabile, adică anulând sistemul de ecuații al derivatelor parțiale, se obțin următoarele expresii simple ale vitezelor optime:

Se obține aceeași viteză optimă în lucru și în gol ca la modelul bidimensional, în plus viteza optimă de întorcere este egală cu cea optimă în gol.

Din punct de vedere geometric, în spațiul \mathfrak{R}^{4+} (subspațiul cu toate coordonatele pozitive al corpului numerelor reale \mathfrak{R}^4), ecuația (3) reprezintă o hipersuprafață. Din acest motiv studiul grafic al geometriei suprafeței se face pe proiecții, făcând constante pe rând câte una din variabile.

Cazul combinelor de recoltat furaje care opresc complet funcționarea mecanismelor de recoltare la funcționarea în gol.

Acest model, în varianta cu decuplarea transmisiei la priza de putere în timpul deplasărilor în gol și a întoarcerilor, se obține simplu din modelul generalizat, cu trei viteze, formulat mai sus, forma (2), extrăgând puterea la priză în gol din parantezele ultimilor doi termeni, corespunzătoare vitezelor în gol (adică în deplasările pentru repararea greșurilor) și în întoarceri. Se obține energia (pentru $v_r, v_g, v_i > 0$):

Ordonând relația (6) după variabile și puterile acestora se obține următoarea expresie a energiei:

Această formă a energiei este cu variabile separate și, privită ca o funcție de trei variabile, nu are un punct de minimum local. Sistemul de ecuații algebrice obținut în urma derivării are soluția:

$$v_{r \min} = \sqrt{\frac{P_{pg}}{B(f_v g_s + p_2 \rho)}} \tag{8}$$

for v_g and v_i there are no roots.

Behavior study on energetic models for towed forage harvesting combines, in case of stopping energy debiting from PTO in idle displacement and in turns, was also made on 1-dimensional and 2-dimensional models and all their proposed variants.

pentru v_g și v_i neexistând rădăcini.

Studiul comportamentelor modelelor energeticii combinelor tractate de recoltat furaje, pentru cazul opririi debitării de energie la priza de putere în cursul deplasărilor în gol și la întoarceri, a fost făcut și pe modelele 1-dimensionale și pe cele 2-dimensionale și pe toate variantele propuse ale acestora.

RESULTS

For calibration values (they were set as described in the first article of this series), theoretical optimization leads to similar values of bidimensional model, $v_{r \min} = 3,234$ m/s, $v_{g \min} = v_{i \min} = 7,651$ m/s, $E_{\min} = 73,85$ kWh.

REZULTATE

Pentru valorile de calibrare (stabilirea lor a fost descrisă în primul articol al acestei serii), optimizarea teoretică conduce la valori similare modelului bidimensional, $v_{r \min} = 3,234$ m/s, $v_{g \min} = v_{i \min} = 7,651$ m/s, $E_{\min} = 73,85$ kWh.

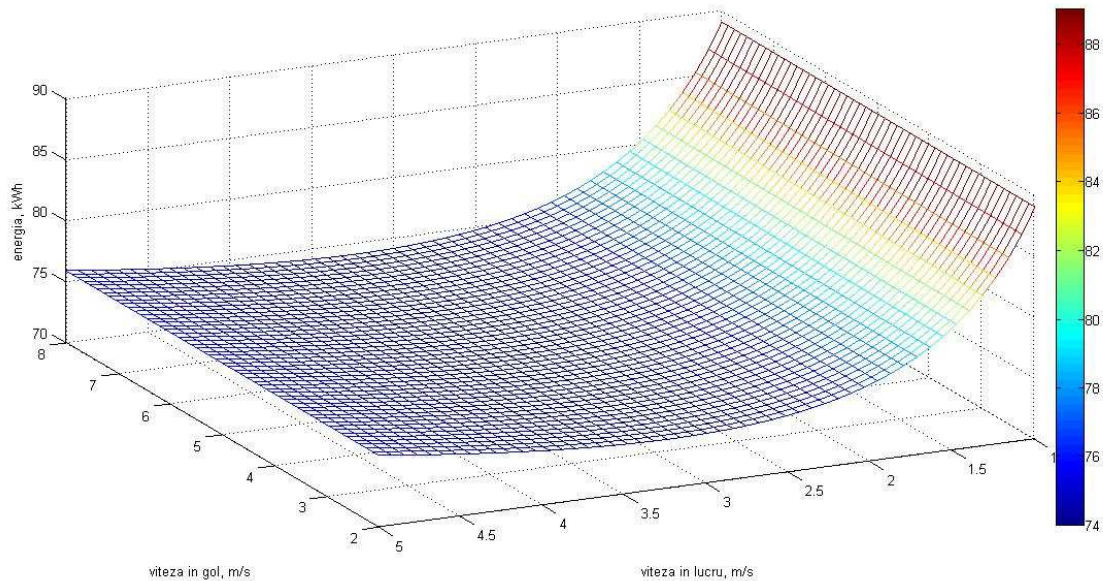


Fig. 1 - Graphical representation of partial function $E(v_r, v_g, 7.651)$, in the vicinity of minimum coordinate point $v_r = 3,234$ m/s, $v_g = v_i = 7,651$ m/s /
 Reprezentarea grafică a funcției parțiale $E(v_r, v_g, 7,651)$, în vecinătatea punctului minim, de coordonate $v_r = 3,234$ m/s, $v_g = v_i = 7,651$ m/s

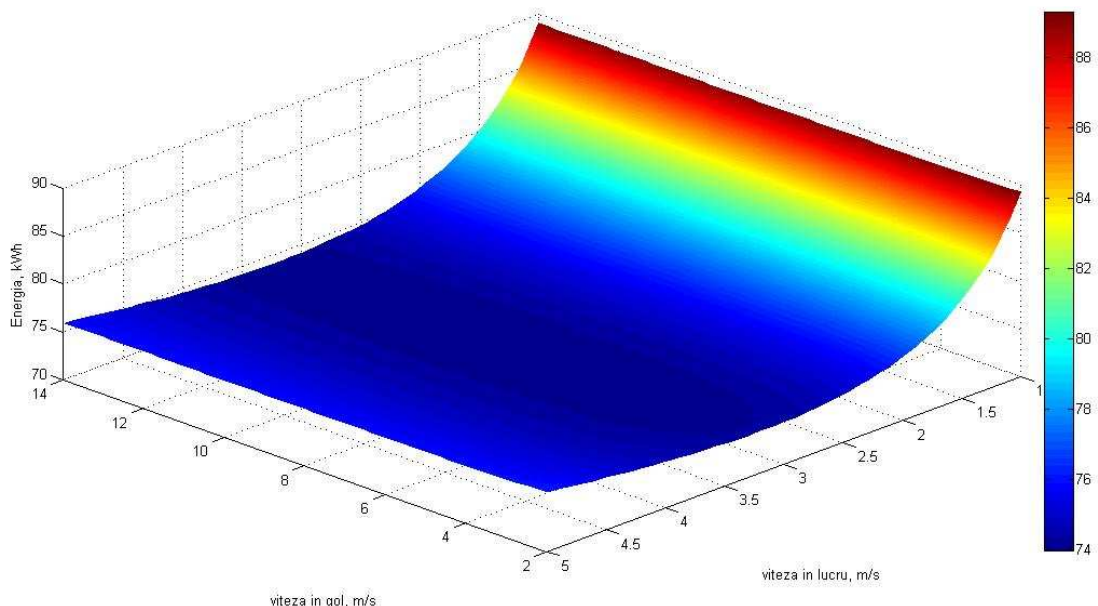


Fig. 2 – Graphical representation of partial function $E(v_r, 7,651, v_i)$, in the vicinity of minimum coordinate point $v_r = 3,234$ m/s, $v_g = v_i = 7,651$ m/s
 Reprezentarea grafică a funcției parțiale $E(v_r, 7,651, v_i)$, în vecinătatea punctului minim, de coordonate $v_r = 3,234$ m/s, $v_g = v_i = 7,651$ m/s

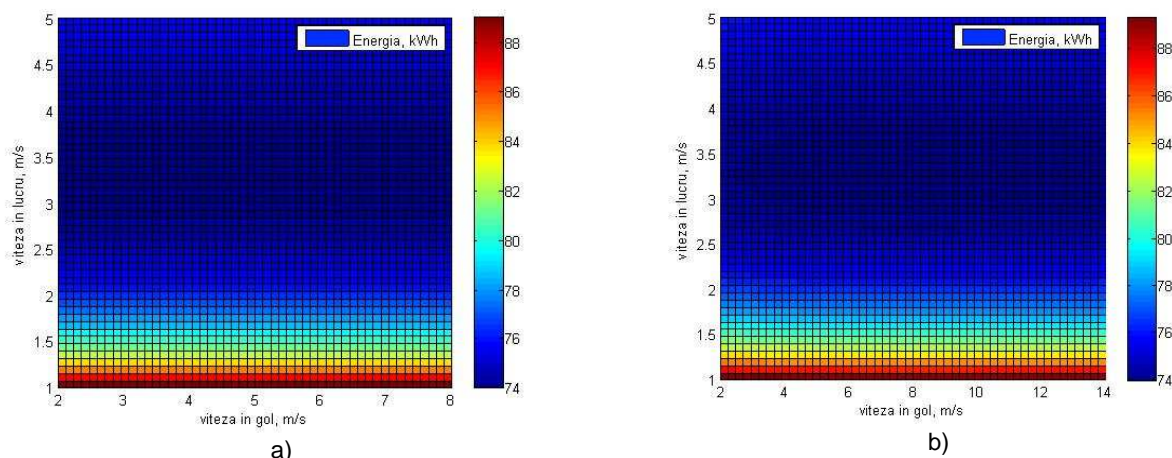


Fig. 3 - Projection representations for speed plan among areas from fig. 5.28 a and 5.29 b /
 Reprezentări în proiecție în planul vitezelor pentru suprafețele din fig. 5.28 a, respectiv 5.29 b

Graphic representations of energy partial functions (2), show that energy variation with idle and turning speed are slow, so that even if the aggregate is not able to reach idle optimal speed, especially turning to the theoretical values given by relations (3), (4), energy loss compare to optimal value is not very high. For example, if the calibration data (presented in the first article in this series), goes with speed given by the relation (3), but with idle speed 4 m / s and turning speed 1 m / s, energy loss is 1.204%.

This model is solved through mathematical programming, simple case without further restrictions, but in cases of restriction in the form of equality:

$$\begin{aligned} v_r &= 1, v_g = 2, v_i = 1, \\ v_r &> 0, v_g > 0, v_i > 0 \\ Bv_r \rho &= q \\ E(v_r, v_g, v_i) &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (9)$$

Results: $v_{rmin} = 1.819$ m/s, $v_{gmin} = 7.655$ m/s, $v_{imin} = 7.681$ m/s, $E_{min} = 80.668$ kWh. Also, the same energy model (3) was used in optimization problem with restriction (9)₃ as inequality form:

$$\begin{aligned} v_r &= 1, v_g = 2, v_i = 1, \\ v_r &> 0, v_g > 0, v_i > 0, v_i \leq 1 \\ Bv_r \rho &< q \\ E(v_r, v_g, v_i) &\rightarrow \min \end{aligned} \quad (10)$$

obtaining results: $v_{rmin} = 1.819$ m/s, $v_{gmin} = 7.651$ m/s, $v_{imin} = 1$ m/s, $E_{min} = 81.559$ kWh.

We can notice the additional condition of upper limit of turning speed and energy obtained on different models differ a little, which is a consequence of energy behaviour to idle speed and turning speed, a slight variation behaviour being observed at each model.

Shyntesis of models results according to reference calibration data

In order to have a more comprehensive image of mathematical models behaviour and their results, their main results will be given for the same set of calibration data (established in the first article in the third series), data with which the initial model calibration was made and which are still valid for all superior models calibration.

Reprezentările grafice ale funcțiilor parțiale ale energiei (2), arată că variația energiei cu viteza în gol și viteza de întorcere sunt lente, astfel încât chiar dacă agregatul nu este capabil să atingă vitezele optime în gol, dar mai ales de întoarcere la valorile teoretice date de relațiile (3), (4), pierderea de energie față de valoarea optimă nu este foarte mare. De exemplu, dacă pe datele calibrării (expusă în primul articol din această serie), se merge cu viteza în lucru dată de relația (3), dar cu viteza în gol 4 m/s și viteza de întoarcere 1 m/s, pierderea de energie este de 1,204 %.

Acest model este rezolvat și pe calea programării matematice, cazul simplu fără restricții suplimentare, dar și în cazurile cu restricție sub formă de egalitate:

rezultatele: $v_{rmin} = 1,819$ m/s, $v_{gmin} = 7,655$ m/s, $v_{imin} = 7,681$ m/s, $E_{min} = 80,668$ kWh. De asemenea același model al energiei (3) a fost folosit și în problema de optimizare cu restricția (9)₃ sub formă de inegalitate:

obținându-se rezultatele: $v_{rmin} = 1,819$ m/s, $v_{gmin} = 7,651$ m/s, $v_{imin} = 1$ m/s, $E_{min} = 81,559$ kWh.

Se observă că s-a pus, în plus și o condiție de limitare superioară a vitezei de întoarcere și că energiile optime obținute pe diverse modele de optimizare diferă puțin, ceea ce este, pe de altă parte și consecința comportamentului energiei față de viteza în gol și viteza de întoarcere, comportament cu variație slabă, pe care l-am sesizat la fiecare model.

Sinteza rezultatelor modelelor pe datele de referință de calibrare

Pentru a avea o imagine mai completă a comportamentului modelelor matematice și rezultatelor acestora, se vor da principalele lor rezultate pentru același set de date de calibrare (stabilite în primul articole din seria de trei), date cu care s-a făcut calibrarea modelului inițial și sunt valabile pentru calibrarea tuturor modelelor superioare.

Modelul/ Model	V_{min} [m/s]	V_{gmin} [m/s]	V_{imin} [m/s]	E_{min} [kWh]	Metoda de optimizare / Optimization method
1 – dimensional / 1 – dimensional	1.780 / 1,780	1.780 / 1,780	-	67.018 / 67,018	analytical / <i>analitică</i>
2 – dimensional without restriction (9) ₃ / 2 – dimensional fără restricția (9) ₃	3.234 / 3,234	7.651 / 7,651	-	67.653 / 67,653	analytical / <i>analitică</i>
2 - dimensional, with restriction (9) ₃ / 2 - dimensional, cu restricția (9) ₃	1.120 / 1,120	3.839 / 3,839	-	81.387 / 81,387	Mathematical programming (numerical) / <i>Programare matematică (numeric)</i>
3 – dimensional, without restriction (9) ₃ / 3 - dimensional, fără restricția (9) ₃	3.234 / 3,234	7.651 / 7,651	7.651 / 7,651	77.363 / 77,363	analytical / <i>analitică</i>
3 – dimensional, without restriction (9) ₃ / 3 - dimensional, fără restricția ((9) ₃)	3.234 / 3,234	7.651 / 7,651	7.662 / 7,662	77.363 / 77,363	Mathematical programming (numerical) / <i>Programare matematică (numeric)</i>
3 - dimensional, with restriction (9) ₃ / 3 - dimensional, cu restricția (9) ₃	1.819 / 1,819	7.655 / 7,655	7.681 / 7,681	80.668 / 80,668	Mathematical programming (numerical) / <i>Programare matematică (numeric)</i>
3 - dimensional, 5.12, with restriction (9) ₃ modified in inequality and turning speed restriction of 1 m/s / 3 - dimensional, 5.12, cu restricția (9) ₃ modificata în inegalitate și restricția vitezei de întoarcere de 1 m/s	1.819 / 1,819	7.651 / 7,651	1.000 / 1,000	81.560 / 81,560	Mathematical programming (numerical) / <i>Programare matematică (numeric)</i>
1 - dimensional, with restriction (9) ₃ and power supplying stopping in idle displacement / 1 - dimensional cu restricția (9) ₃ și oprire debitare putere la priza în gol	1.029 / 1,029	-	-	77.915 / 77,915	analytical / <i>analitică</i>
2 - dimensional without restriction (9) ₃ and power supplying stopping in idle displacement / 2 - dimensional fără restricția (9) ₃ și oprire debitare putere la priza în gol	3.234 / 3,234	-	-	73.888 / 73,888	Analytical (for v_g was taken a value of 1 m / s) / <i>Analitică (pentru v_g s-a luat valoarea 1 m/s)</i>
2 - dimensional with restriction (9) ₃ inequality and power supplying stopping in idle displacement / 2 - dimensional cu restricția (9) ₃ inegalitate și oprire debitare putere la priza în gol	1.049 / 1,049	0,5	-	77.803 / 77,803	Mathematical programming (numerical) / <i>Programare matematică (numeric)</i>
3 - dimensional without restriction with power supplying stopping in idle displacement / 3 - dimensional fără restricție cu oprire debitare la priza de putere în gol	3.234 / 3,234	-	-	76.485 / 76,485	Analytical, with $v_g=3$ m/s, $v_f=1$ m/s / <i>Analitică, cu $v_g=3$ m/s, $v_f=1$ m/s</i>
3 - dimensional with restriction (9) ₃ with power supplying stopping in idle displacement / 3 - dimensional cu restricția (9) ₃ cu oprire debitare la priza de putere în gol	1.819 / 1,819	1,5	0,5	79.781 / 79,781	Mathematical programming (numerical) / <i>Programare matematică (numeric)</i>
3 - dimensional with restriction (9) ₃ inequality, with power supplying stopping in idle displacement / 3 - dimensional cu restricția (9) ₃ inegalitate, cu oprire debitare la priza de putere în gol	1.819 / 1,819	3	0,5	79.781 / 79,781	Mathematical programming (numerical) / <i>Programare matematică (numeric)</i>

We can notice that optimal energy is framed within a rather limited interval, between 67 and 82 kWh. We must underline, for applicant users, that in case of mathematical programming, the result depends on starting point, therefore the results might differ a little from those obtained theoretically. (analytically).

CONCLUSIONS

Optimization of trailed fodder harvesters energetics is a problem which is solved for the time being only theoretically. Experimental tests or theoretical-experimental test have not been known. Experimental data have been used only to optimization. Therefore the values found must be tested by experiments and corrected, if the case is. On the other hand, experiments verifying the existence of a point of optimum within a working process of an agricultural aggregate are very expensive and the results can not be generalized, because are related to features of soil, culture, climate and aggregate wear state.

One certain advantage of analysis performed is the statement that consumed energy error comparing with optimum one, produced by big errors of idle and turning speed, reported to optimum values, is neglectable. Not the same is the situation when the error is related to optimum working speed.

Se observă că energiile optime sunt cuprinse într-un interval destul de restrâns, între 67 și 82 kWh. Este indicat a se sublinia, pentru utilizatorii aplicanți, că, în cazul programării matematice, rezultatul este dependent de punctul de start, de aceea rezultatele pot diferi ușor de cele obținute pe cale teoretică (analitică).

CONCLUZII

Optimizarea energeticii combinelor tractate de recoltat furaje este o problemă rezolvată deocamdată aproape exclusiv teoretic. Incercări de rezolvare experimentală sau teoretico-experimentală nu se cunosc. Date experimentale s-au folosit numai pentru calibrarea modelelor teoretice folosite la optimizare. Pentru acest motiv valorile găsite trebuie testate prin experimente și, eventual corectate. Pe de altă parte, experiențele de verificare a existenței unui punct optimal într-un proces de lucru al unui agregat agricol sunt foarte costisitoare, iar rezultatele nu pot fi generalizate, deoarece depind de caracteristicile solului, culturii, climei și stării de uzură a agregatului, etc.

Un beneficiu cert al analizei efectuate este afirmația că eroarea energiei consumate față de cea optimală, produsă de erori apreciabile ale vitezi în gol și vitezei de întoarcere, față de valorile lor optimale, este neglijabilă. Nu aceeași este situația în cazul în care eroarea se face față de viteza de lucru optimală.

2 and 3-dimensional models confirm the results of 1-dimensional model, excepting the optimum speed dependence on plot size (which becomes manifest at model 1-dimensional but not at the others).

For the eventual future theoretical and empirical or simply empirical researches, the values of optimum point coordinates (speed and energy) supplied by the models given in the three articles, could be starting values for the researches performed.

REFERENCES

- [1]. Dobrescu C. (1981) – *Optimization of agricultural aggregates parameters in order to reduce the energy consumption*, Editorial propaganda agricultural machinery Publishing, Bucharest;
- [2]. Letoşnev N.N. (1959) - *Agricultural Machines*, State Agro-Forestry Publishing House;
- [3]. Schuler R. T. (1991) - *Estimating Agricultural Field Machinery Costs*, A3510, Agricultural Bulletin, Rm. 245, 30 N. Murray St., Madison, Wisconsin 53715;
- [4]. Şandru A., Bădescu M., Şandru L. (1982) – *Reducing the energy consumption by rationally using the agricultural aggregates*, Scrisul Românesc Publishing, Craiova;
- [5]. Şandru A., Popescu S., Cristea I., Neculăiasa V. (1983) – *Exploitation of agricultural equipment*, Didactic and Pedagogic Publishing, Bucharest;
- [6]. Voicu E. (2007) – *Researches on dynamic and energetic optimization of tractor-fodder harvesting combine aggregate*, Ph.D. Thesis, University Transilvania Braşov, Faculty of Mechanical Engineering;
- [7]. *** Regional Statistics Office Bucharest, <http://www.bucuresti.insse.ro>
- [8]. <http://dexonline.ro/definitie/gre%C8%99>.

Modelele 2 și 3-dimensionale confirmă rezultatele modelului 1-dimensional, cu excepția dependenței de dimensiunile parcelelor a vitezelor optime (care se manifestă la modelul 1-dimensional dar nu și la celelalte).

Pentru eventuale viitoare cercetări teoretico-empirice sau pur empirice, valorile coordonatelor punctelor optime (viteze și energie) furnizate de modelele date în cele trei articole, ar putea fi valori de start în căutările efectuate.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Dobrescu C. (1981) - *Optimizarea parametrilor agregatelor agricole în scopul reducerii consumului de energie*, Redacția de propagandă tehnică agricolă, București;
- [2]. Letoşnev N.N. (1959) - *Mașini Agricole*, Editura Agro-Silvică de Stat;
- [3]. Schuler R.T. (1991) - *Estimarea costurilor domeniul mașinilor agricole*, A3510, Buletinul Agricol, RM. 245, 30 N. Str.Murray, Madison, Wisconsin 53715;
- [4]. Şandru A., Bădescu M., Şandru L. (1982) - *Reducerea consumului de energie prin folosirea rațională a agregatelor agricole*, Editura Scrisul Românesc, Craiova;
- [5]. Şandru A., Popescu S., Cristea I., Neculăiasa V. (1983) - *Exploatarea utilajelor agricole*, Editura Didactică și Pedagogică, București;
- [6]. Voicu E. (2007) - *Cercetări privind optimizarea dinamică și energetică a agregatului tractor cu combină de recoltat furaje*, Teza de doctorat, Universitatea Transilvania din Braşov, Facultatea de Inginerie Mecanică ;
- [7]. *** Direcția Regională de Statistica București, <http://www.bucuresti.insse.ro>
- [8]. <http://dexonline.ro/definitie/gre%C8%99>.