

MATHEMATICAL MODEL CHARACTERIZING THE ANGLE OF SPRAYING JET OF SPRAYERS DESIGNED TO FIELD CROPS

MODEL MATEMATIC DE CARACTERIZARE A UNGHIULUI JETULUI DE PULVERIZARE A MASINILOR DE STROPIT CULTURILE CAMP

PhD. Stud. Eng. Nițu (Roșu) M.¹⁾, PhD. Eng. Vlăduț V.¹⁾, PhD. Stud. Eng. Matache M.¹⁾, PhD. Eng. Vlad C.²⁾

¹⁾INMA Bucharest / Romania; ²⁾ICEADR / Romania

Abstract: Within the spraying process, the compact jet of solution coming from a limited space, namely the nozzle body or spraying device, is transformed in droplets by liquid dispersion in space, under a certain angle, at a speed able to defeat the internal cohesion forces of liquid dispersed. The jet spraying angle is the angle of cone formed from the tangents to jet contour, which intersect in the nozzle hole. The spraying angle and jet penetration represent the liquid distribution on spraying surface. The spraying angle mostly depends on type and size of the duzzle. Pressure of liquid has a significant effect on size of spraying angle. Within this paper, a mathematical model characterizing the sprayers' nozzle jet angle depending on working process parameters, is presented.

Keywords: Nozzles, jet spraying angle, sprayers, dimensional analysis.

INTRODUCTION

The biphasic flow is a type of flow that appears in immiscible liquid-gas systems. It is a particular case of multiphase flow. It is often met in nature, the most cogent case being the rain drops fall. In practice, this process is exemplified by the spraying process.

Spraying is the decomposition of the liquid coming in fine droplets (sized between a few micrometers and several hundreds of micrometers, mainly determined by the spraying environment), when the liquid passes through a nozzle at a certain pressure. These droplets leave the spraying nozzle at a certain pressure and then they are decelerated due to friction with air, the liquid superficial tension forces being annulled by internal and external factors, the structure of a sprayed jet being of the form represented in figure 1 [7].

Abstract: În cadrul procesului de pulverizare, jetul compact de soluție ce iese dintr-un spațiu limitat, reprezentat de corpul duzei sau pulverizator, este transformat într-un jet de picături, prin dispersarea lichidului în spațiu, sub un anumit unghi, la o viteză capabilă să învingă forțele de coeziune internă a lichidului dispersat. Unghiul de pulverizare a jetului este unghiul conului format din tangentele la conturul jetului, concurente în orificiul duzei. Unghiul de pulverizare, ca și penetrația jetului, ilustrează distribuția lichidului pe suprafața de stropit. Unghiul de pulverizare depinde în mare măsură de tipul și mărimea orificiului duzei. Presiunea lichidului are un efect semnificativ asupra mărimii unghiului de pulverizare. În cadrul lucrării se prezintă un model matematic care caracterizează unghiul jetului la duză pentru mașinile de stropit în funcție de parametrii procesului de lucru.

Cuvinte cheie: duze, unghiul jetului de pulverizare, mașini de stropit, analiza dimensională.

INTRODUCERE

Curgerea bifazică este un tip de curgere ce apare în sisteme lichid-gaz nemiscibile. Este un caz particular de curgere multifazică. Aceasta este întâlnită pe scară largă în natură, cel mai concludent caz fiind căderea picăturilor de ploaie. În practică, este exemplificată prin procesul de pulverizare.

Pulverizarea este procesul de descompunere a unei vâne de lichid în picături fine (dimensionate între câțiva micrometri și câteva sute de micrometri, determinate în principal de mediul de pulverizare), la trecerea acestuia printr-un ajutoraj (duza), la o anumită presiune. Aceste picături ies din duza de pulverizare la o anumită viteză și sunt apoi decelerate datorită frecării cu aerul, forțele de tensiune superficială a lichidului, fiind anulate de factori interni și externi, structura unui jet de lichid pulverizat având forma din figura 1 [7].

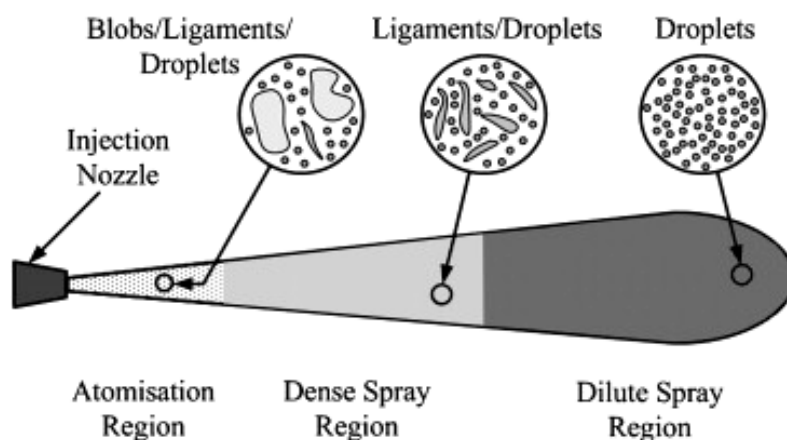


Fig. 1 – Structure of a jet of sprayed liquid [7]

The liquid fraction is dominant in the first area, being decomposed in bubbles and ligaments (non-spherical particles of liquid); in the second area (intermediary), of dense spray, the liquid fraction is less important, because

Fracțiunea lichidă e dominantă în prima zonă, lichidul fiind descompus în bule și ligamente (particule de lichid non-sferice), cea de-a doua zonă (intermediară), de pulverizare densă, fracțiunea lichidă are o pondere mai

a secondary fragmentation takes place and interactions of droplets/droplets appear, such as collisions. In the third area, that of diluted spraying, the spherical droplets well shaped, which are predominant, powerfully interact with the air turbulent jet. The spray mostly depends on nozzle pressure, liquid flow, nozzle geometrical characteristics, viscosity and density of the liquid [1, 3].

Hydraulic spray is obtained at liquid forced passing through the calibrated orifices (nozzles), in case of machines applying phytosanitary treatments in field being performed:

- Through hydraulic spraying nozzles with projected jet (plane conical jet or nozzles with indirect projected jet);
- Through hydraulic nozzles with two jets that hurt one another, achieving this way the dispersion;

Through vortex nozzles, also named tangential nozzles, where the liquid is allowed to have a circular movement in a chamber located before the calibrated hole. [4, 12].

MATERIAL AND METHOD

The physical spraying phenomenon is not completely elucidated, although it was studied during the last decade, because there is not any general theory that allows to determine the main characteristics of liquid sprayed jet for different types of nozzles [7, 9].

Therefore, the main characteristics of liquid sprayed jet, namely the fine spraying, distribution uniformity according to droplets size, spatial distribution of liquid flow and spraying angle are experimentally expressed using suitable apparatus.

In conclusion, the spray studying is experimentally performed, being introduced in model study. Based on similarity theory, the results obtained through dynamic systems, may be generalized.[10] For transposing the models results, it is necessary that numerical values of invariants, that characterize the phenomenon, be identical and the univocity conditions, too. Deduction of invariants is based on a thorough study of phenomenon development, knowing the contour conditions, or starting from the equation of decomposition of liquid sheet and using dimensional analysis method.

This method is based on fundamental theorem of dimensional analysis, theorem Π , referring to the fact that the terms of a physical relation should be homogenous, namely have the same measuring units and the same power of fundamental sizes [12].

The spraying angle is the angle of jet cone and indicates its flaring. The spraying angle dimension depends of density of liquid flow and represents the measure of tangential and axial components of liquid droplets speed [11, 13].

The spraying angle mostly depends on type and size of nozzle hole.

Pressure of liquid significantly influences the size of spraying angle. In practice, the nozzle is also marked with the size of spraying angle [5,6], which is fundamental for dimensional analysis, theorem Π , referring to the fact that the terms of a physical relation should be homogenous, namely have the same measuring units and the same power of fundamental values [12].

mică, deoarece are loc o fragmentare secundară și apar interacțiuni picătură/ picătură, cum ar fi coliziunile. În zona trei, cea de pulverizare diluată predomină picăturile sferice, bine formate, care interacționează puternic cu jetul turbulent de aer. Pulverizarea depinde în mare măsură de presiunea prin duză, de debitul de lichid, de caracteristicile geometrice ale duzei, de vâscozitatea și densitatea lichidului.[1, 3]

Pulverizarea hidraulică se obține la trecerea forțată a lichidelor de stropit prin orificii calibrate (duze), în cazul mașinilor de aplicat tratamente fitosanitare în câmp realizându-se:

- prin duze de pulverizare hidraulică cu jet proiectat (jet plat jet conic direct proiectat sau duze cu jet indirect proiectat);
- prin duze hidraulice cu două jeturi care se lovesc între ele, realizându-se astfel dispersia;
- prin duze de turbionare, denumite și duze tangențiale, unde se permite lichidului să i se imprime o mișcare circulară într-o cameră plasată înaintea orificiului calibrat. [4, 12]

MATERIAL ȘI METODĂ

Fenomenul fizic de pulverizare nu este pe deplin elucidat, deși acesta a fost studiat în ultimul deceniu neexistând o teorie generală care să permită determinarea caracteristicilor de bază ale jetului de lichid pulverizat pentru diverse tipuri duze.[7, 9]

De aceea caracteristicile de baza ale jetului de lichid pulverizat, adică finețea de pulverizare, uniformitatea distribuției după dimensiuni a picăturilor, distribuția spațială a fluxului de lichid și unghiul de pulverizare se exprimă experimental folosind aparatură adecvată.

Studierea procesului de pulverizare se face deci pe cale experimentală, introducându-se studiul pe model. Pe baza teoriei similitudinii, se pot generaliza rezultatele obținute pe sisteme dinamice asemenea.[10] Pentru transpunerea rezultatelor de pe modele este necesar ca valorile numerice ale invarianților, care caracterizează fenomenul, să fie identice, iar condițiile de univocitate asemenea. Deducerea invarianților se face pe baza unui studiu aprofundat al desfășurării fenomenului, cunoscând condițiile de contur, sau pornind de la ecuația descompunerii pânzei de lichid și folosind metoda analizei dimensionale.

Această metodă se bazează pe teorema Această metodă se bazează pe teorema fundamentală a analizei dimensionale, teorema Π , ce se referă la faptul că termenii unei relații fizice să fie omogeni, adică să aibă aceleași unități de măsură și aceleași puteri ale mărimilor fundamentale [12].

Unghiul de pulverizare este unghiul conului jetului și indică evazarea acestuia. Mărimea unghiului de pulverizare este dependentă de densitatea fluxului de lichid și este măsura componentelor tangențială și axială ale vitezei picăturilor de lichid [11, 13].

Unghiul de pulverizare depinde în mare măsură de tipul și mărimea orificiului duzei.

Presiunea lichidului are un efect semnificativ asupra mărimii unghiului de pulverizare. În practică duza are marcată pe ea și mărimea unghiului de pulverizare [5, 6]. fundamentală a analizei dimensionale, teorema Π , ce se referă la faptul că termenii unei relații fizice să fie omogeni, adică să aibă aceleași unități de măsură și aceleași puteri ale mărimilor fundamentale [12].

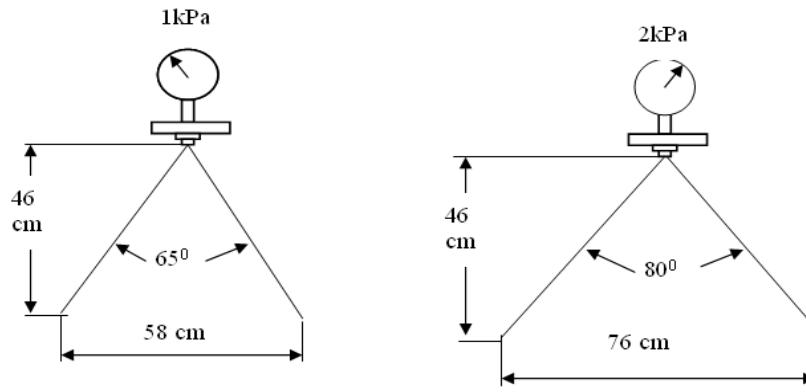


Fig. 2 - Reduction of spraying angle at the same time with pressure diminishing [12]

RESULTS

As a general rule, fluids more viscous than water form smaller spraying angles, while liquids with lower superficial tension disperse at larger angles. A diminishing of spraying angle by 2...10% leads to a non-uniformity of distribution along the length of spray gun.

At the same time, the superficial tension size leads to increasing/diminishing of droplets and spray angle, related to its dimension [2; 8].

The most favourable splitting of jet is given for the ratio:

$$\frac{\lambda}{d_c} = 4.42 \tag{1}$$

where: λ – oscillation wave length
 d_c - jet diameter.

Study of decomposition of liquid can be made by the method of smallest perturbations, method of probable hypotheses and method of dimensional analysis.

For establishing the physical relations, of connection between the sizes used to describe the physical phenomena, the dimensional analysis can be used. This method is based on fundamental theorem of dimensional analysis, theorem Π , of Vaschy-Buckingham. According to it, the physical or physico-chemical processes can be described through functions of independent similarity criteria which can form with variables controlling the process. Those criteria that can not be expressed through arithmetic combinations of other criteria are considered to be independent.[12]

Therefore, if a process is determined by n dimensional variables :

$$X_1, X_2, X_3... X_n$$

It can be expressed by a criteria function of general form:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3... \Pi_{n-m}) = 0$$

Dimensional analysis is the study of relations that describe the physical phenomena. It is based on dimensional homogeneity that must be respected by theory of rational relations and empirical relations. This characteristic refers to the fact that the terms of a physical relation should be homogeneous, namely to have the same measuring units and fundamental measurements power [1].

The general dimensional analysis is connected to cases which, in restricted dimensional analysis lead to equation systems between the dimension exponents and size undetermined exponents.

Applying the theorem Π (number of independent criteria from criteria function is given by the difference $n-r$, where n is the number of dimensional variables and r is

REZULTATE

In general, lichidele mai vâscoase ca apa formează unghiuri de pulverizare mai mici, în timp ce lichidele cu tensiune superficială mai joasă decât apa se dispersează la unghiuri mai largi. O scădere a valorii unghiului de pulverizare cu 2...10% conduce la o neuniformitate a distribuției pe lungimea lăncii de pulverizare.

De asemenea, mărirea tensiunii superficiale conduce la mărirea / micșorarea picăturilor și a unghiului de pulverizare după cum aceasta este mai mare, respectiv mai mică [2; 8].

Situația cea mai favorabilă de descompunere a jetului este pentru raportul:

unde: λ - lungimea de unda a oscilației
 d_c - diametrul jetului.

Studiul descompunerii pânzei de lichid se poate face prin metoda micilor perturbații, metoda ipotezelor probabile și prin metoda analizei dimensionale.

Pentru stabilirea relațiilor fizice, a legăturii care există între mărimile utilizate la descrierea fenomenelor fizice, poate fi utilizată analiza dimensională. Această metodă se bazează pe teorema fundamentală a analizei dimensionale, teorema Π , a lui Vaschy-Buckingham. Conform acestei teoreme, procesele fizice sau procesele fizico-chimice pot fi descrise prin funcții ale criteriilor de similitudine independente ce se pot forma cu variabilele care controlează procesul. Se consideră că sunt independente acele criterii care nu pot fi exprimate prin combinații aritmetice ale altor criterii.[12]

Astfel dacă un proces este determinat de n variabile dimensionale:

$$X_1, X_2, X_3... X_n$$

acesta poate fi exprimat printr-o funcție criterială de forma generală:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3... \Pi_{n-m}) = 0$$

Analiza dimensională este studiul relațiilor care descriu fenomenele fizice. Ea se bazează pe proprietatea de omogenitate dimensională care trebuie să fie respectată de teoria relațiilor raționale și se urmărește să fie respectată de relațiile empirice. Această proprietate se referă la faptul că termenii unei relații fizice să fie omogeni, adică să aibă aceleași unități de măsură și aceleași puteri ale mărimilor fundamentale [1].

Analiza dimensională generală este în legătură cu cazurile care, în analiza dimensională restrânsă conduc la sisteme de ecuații între exponenții de dimensiune și exponenții de mărime nedeterminate.

Aplicându-se teorema Π (numărul de criterii independente din funcția criterială este dat de diferența

the rank of dimensional matrix, which is equal to number of fundamental measurements, according to which the analyzed variables can be expressed), the following dimensionless equalities related to average diameter of droplets d_m and distribution constant n , can be written:

$n-r$, unde n este numărul variabilelor dimensionale iar r este rangul matricei dimensionale, care este egal cu numărul mărimilor fundamentale în funcție de care se pot exprima variabilele luate în analiză), se pot scrie următoarele egalități adimensionale relative la diametrul mediu al picăturilor d_m și constanta de distribuție n :

$$\begin{cases} \frac{d_m}{d_0} = F_1\left(\frac{\rho_g w^2 d_0}{\sigma}, \frac{\rho_l \alpha d_0}{\eta_l^2}, \frac{\rho_g}{\rho_l}, \frac{\eta_g}{\eta_l}\right) \\ n = F_2\left(\frac{\rho_g w^2 d_0}{\sigma}, \frac{\rho_l \alpha d_0}{\eta_l^2}, \frac{\rho_g}{\rho_l}, \frac{\eta_g}{\eta_l}\right) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{d_m}{d_0} = F_1(W_e, L_p, M, N) \\ n = F_2(W_e, L_p, M, N) \end{cases} \quad (3)$$

Restricted dimensional analysis takes into consideration the following function of $m^* = 8$ variables:

Analiza dimensională restrânsă ia în considerare următoarea funcție de $m^* = 8$ variabile:

$$f(D, v, \rho_l, \alpha, \eta_l, p, \rho_g, \sigma) = 0 \quad (4)$$

where:

- D – nozzle diameter;
- v – liquid relative speed to the environmental gas;
- ρ_l – liquid density;
- α – jet angle;
- η_l – dynamic viscosity of the liquid;
- p – liquid pressure;
- ρ_g – gas density;
- σ – liquid superficial tension.

and, D, v, ρ_l are fundamental values.

The following dimensionless complexes were introduced ($\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5$):

unde:

- D – diametrul duzei;
- v – viteza relativă a lichidului față de gazul înconjurător;
- ρ_l – densitatea lichidului;
- α – unghiul jetului;
- η_l – vâscozitatea dinamică a lichidului;
- p – presiunea lichidului;
- ρ_g – densitatea gazului;
- σ – tensiunea superficială a lichidului.

iar, D, v, ρ_l sunt mărimi fundamentale.

S-au introdus următorii complexi adimensionali ($\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5$):

$$\Pi_1 = \alpha; \Pi_2 = \frac{\eta_l}{D^{x_1} v^{x_2} \rho_l^{x_3}}; \Pi_3 = \frac{p}{D^{x_1} v^{x_2} \rho_l^{x_3}}; \Pi_4 = \frac{\rho_g}{\rho_l}; \Pi_5 = \frac{\sigma}{D^{x_1} v^{x_2} \rho_l^{x_3}} \quad (5)$$

Dimensional matrix of variables for the 3 fundamental sizes is:

Matricea dimensională a variabilelor pentru cele 3 mărimi fundamentale este:

	x_1	x_2	x_3					
	x_1'	x_2'	x_3'					
	x_1	x_2	x_3					
	D	v	ρ_l	α	η_l	p	ρ_g	σ
L	1	1	-3	0	-1	-1	-3	1
M	0	0	1	0	1	1	1	1
T	0	-1	0	0	-1	-2	0	-2

System of dimensional linear equations that expresses the homogeneity condition for dimensionless complex Π_2 , is:

Sistemul de ecuații dimensionale liniare care exprimă condiția de omogenitate, pentru complexul adimensional Π_2 , este:

$$\begin{aligned} (L) \quad & x_1 + x_2 - 3x_3 = -1 \\ (M) \quad & x_3 = 1 \\ (T) \quad & -x_2 = -1 \end{aligned} \quad (7)$$

Solutions $x_1 = 1$ are obtained ; $x_2 = 1$; $x_3 = 1$ and it results:

Se obțin soluțiile $x_1 = 1$; $x_2 = 1$; $x_3 = 1$ și rezultă:

$$\Pi_2 = \frac{\eta_l}{Dv\rho_l} \quad (8)$$

System of dimensional linear equations that expresses the homogeneity condition for dimensionless complex Π_3 , is:

Sistemul de ecuații dimensionale liniare care exprimă condiția de omogenitate, pentru complexul adimensional Π_3 , este:

$$\begin{aligned} \text{(L)} \quad & x_1' + x_2' - 3 x_3' = -1 \\ \text{(M)} \quad & x_3' = 1 \\ \text{(T)} \quad & -x_2' = -2 \end{aligned} \tag{9}$$

Solutions $x_1' = 0$; $x_2' = 2$ are obtained ; $x_3' = 1$ and it results:

Se obțin soluțiile $x_1' = 0$; $x_2' = 2$; $x_3' = 1$ și rezultă:

$$\Pi_3 = \frac{p}{v^2 \rho_l} \tag{10}$$

System of dimensional linear equations that expresses the homogeneity condition for dimensionless complex Π_5 , is:

Sistemul de ecuații dimensionale liniare care exprimă condiția de omogenitate, pentru complexul adimensional Π_5 , este:

$$\begin{aligned} \text{(L)} \quad & x_1'' + x_2'' - 3 x_3'' = 0 \\ \text{(M)} \quad & x_3'' = 1 \\ \text{(T)} \quad & -x_2'' = -2 \end{aligned} \tag{11}$$

Solutions $x_1'' = 1$; $x_2'' = 2$ are obtained; $x_3'' = 1$ and it results:

Se obțin soluțiile $x_1'' = 1$; $x_2'' = 2$; $x_3'' = 1$ și rezultă:

$$\Pi_5 = \frac{\sigma}{Dv^2 \rho_l} \tag{12}$$

So that: $\varphi_1(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5) = 0$.
or

așa încât: $\varphi_1(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5) = 0$.
sau

$$\Pi_1 = \varphi_1(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5) \tag{*} \tag{13}$$

namely:

adică:

$$\alpha = \varphi_2\left(\frac{\eta_l}{Dv\rho_l}, \frac{p}{v^2\rho_l}, \frac{\rho_g}{\rho_l}, \frac{\sigma}{Dv^2\rho_l}\right) \tag{14}$$

Dimensionless complex Π_1 :

Complexul adimensional Π_1 :

$$\Pi_1 = k\Pi_2^a\Pi_3^b\Pi_4^c\Pi_5^d \tag{15}$$

Combinations between dimensionless complexes are made so that a physical value, easily to vary in a single complex, appears, namely v , which can be varied. So, the dimensionless complexes Π_2, Π_3 și Π_5 , aiming to eliminate v , are combined and then the new complexes Π_2', Π_3' și Π_5' appear:

Se fac combinații între complexii adimensionali, astfel încât să apară o mărime fizică ușor de variat într-un singur complex, în cazul de față v , care poate fi variată. Astfel, se combină complexii adimensionali Π_2, Π_3 și Π_5 , care să-l elimine pe v și apar noii complexi Π_2', Π_3' și Π_5' :

$$\Pi_2' = \frac{\Pi_2^2}{\Pi_5} = \frac{\eta_l^2}{D^2v^2\rho_l^2} \cdot \frac{Dv^2\rho_l}{\sigma} = \frac{\eta_l^2}{D\rho_l\sigma} \tag{16}$$

$$\Pi_3' = \frac{\Pi_3}{\Pi_5} = \frac{p}{v^2\rho_l} \cdot \frac{Dv^2\rho_l}{\sigma} = \frac{pD}{\sigma} \tag{17}$$

$$\Pi_5' = \frac{\Pi_5}{\Pi_3} = \frac{\sigma}{Dv^2\rho_l} \cdot \frac{v^2\rho_l}{p} = \frac{\sigma}{pD} = \frac{1}{\Pi_3} \tag{18}$$

Relation (13) becomes:

Relația (13) devine:

$$\Pi_1 = k_1\Pi_2'^a\Pi_3'^b\Pi_4^c\Pi_5'^d \tag{19}$$

but,

dar,

$$\Pi_4 = \frac{\rho_a}{\rho_l} = const. \Rightarrow k_1\left(\frac{\rho_a}{\rho_l}\right)^c = k \tag{20}$$

So,

deci,

$$\Pi_1 = k\Pi_2'^a\Pi_3'^b\Pi_5'^d = k\Pi_2'^a\Pi_3'^b\left(\frac{1}{\Pi_3'}\right)^{-d} = k\Pi_2'^a\Pi_3'^{b-d} \tag{21}$$

It is noted: $b-d = e = ct.$ and it results:

Notam: $b-d = e = ct.$ si rezulta:

$$\Pi_1 = k \Pi_2^a \Pi_3^e \tag{22}$$

namely:

adică:

$$\alpha = k \left(\frac{\eta_l^2 \sigma}{D \rho_l} \right)^a \left(\frac{pD}{\sigma} \right)^e \tag{23}$$

Assuming that the liquid used is water, the values of parameters η_l , σ , ρ_l , can be considered constant, so that the angle size depends only on working pressure and nozzle diameter, according to the following relation:

În ipoteza că lichidul utilizat este apă, valorile parametrilor η_l , σ , ρ_l , se considera constante, astfel încât, mărimea unghiului va depinde doar de presiunea de lucru și diametrul duzei, conform următoarei relații:

$$a = k p^x D^y \tag{24}$$

Starting from relation (24) and data obtained from tests, using the same liquid, the function (25), with two variable working values, namely the working pressure and nozzle diameter, results:

Pornind de la relația (24) și datele obținute din experimentări, utilizând același lichid, rezultă funcția (25), cu două mărimi de lucru variabile: presiunea de lucru și diametrul duzei:

Table 1

Evolution of jet depending on working pressure and nozzle diameter

No of measurements, N	Nozzle diameter [m]	Pressure [bar]	Angle [°]
0	1 x 10 ⁻⁴	1	83.8
1	1 x 10 ⁻⁴	2	102.644
2	1 x 10 ⁻⁴	3	109.548
3	1 x 10 ⁻⁴	4	112.634
4	1 x 10 ⁻⁴	5	118.442
5	2 x 10 ⁻⁴	1	85.05
6	2 x 10 ⁻⁴	2	106.736
7	2 x 10 ⁻⁴	3	115.796
8	2 x 10 ⁻⁴	4	127.972
9	2 x 10 ⁻⁴	5	129.756
10	3 x 10 ⁻⁴	1	87.566
11	3 x 10 ⁻⁴	2	100.174
12	3 x 10 ⁻⁴	3	110.546
13	3 x 10 ⁻⁴	4	114.38
14	3 x 10 ⁻⁴	5	118.464
15	4 x 10 ⁻⁴	1	90.632
16	4 x 10 ⁻⁴	2	102.404
17	4 x 10 ⁻⁴	3	112.91
18	4 x 10 ⁻⁴	4	117.652
19	4 x 10 ⁻⁴	5	122.254
20	5 x 10 ⁻⁴	1	84.284
21	5 x 10 ⁻⁴	2	94.832
22	5 x 10 ⁻⁴	3	105.61
23	5 x 10 ⁻⁴	4	113.744
24	5 x 10 ⁻⁴	5	117.974
25	6 x 10 ⁻⁴	1	88.654
26	6 x 10 ⁻⁴	2	99.27
27	6 x 10 ⁻⁴	3	108.3
28	6 x 10 ⁻⁴	4	114.668
29	6 x 10 ⁻⁴	5	122.364

$$F(k, x, y, P, D) = k \left(\frac{P}{P_0} \right)^x \left(\frac{D}{D_0} \right)^y \tag{25}$$

In order to emphasize the dimensionless character of nozzle angle size, the working pressure and nozzle diameter were expressed in equation (25) as a report of respective values per their initial values P_0 și D_0 :

Pentru a se evidenția caracterul adimensional al mărimii unghiului la duză, presiunea de lucru și diametrul duzei au fost exprimate în ecuația (25) ca un raport al mărimilor respective pe valorile lor inițiale P_0 și D_0 :

$$\begin{cases} P_0 = 1 \\ D_0 = 0.0001 \end{cases} \tag{26}$$

$$\tag{27}$$

In order to obtain the values of coefficients k, x and y we propose the functional $N(k,x,y)$ as a sum of differences between the values obtained applying function F and real values measured α_i , all squared.

În scopul obținerii valorilor coeficienților k, x și y propunem funcționala $N(k,x,y)$ ca o sumă a diferențelor dintre valorile obținute aplicând funcția F și valorile reale măsurate α_i , toate ridicate la pătrat.

It results the function as :

Rezultă funcția de forma :

$$N(k, x, y) = \sum_{i=1}^N [f(k, x, y, p_i, d_i) - (a_i)]^2 \tag{28}$$

Initial calculation conditions are: $x = 1$; $y = 1$; $k = 1.5$.
Using Mathcad program, the function $N(k,x,y)$ is minimized:

Condițiile inițiale de calcul sunt: $x = 1$; $y = 1$; $k = 1,5$.
Utilizând programul Mathcad, se minimizează funcția $N(k,x,y)$:

$$F_m = \text{MINIMIZE}(N, k, x, y) \tag{29}$$

And it results:

și rezultă:

$$\begin{aligned} k &= 1,537 \\ x &= 0,21 \\ y &= -9,956 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

In the following table, the value of spraying angle, measured by comparison with spraying jet angle value estimated, is shown, by applying function F with calculated coefficients k , x and y

In tabelul următor se prezintă valoarea unghiului jetului de pulverizare măsurată comparativ cu valoarea unghiului jetului de pulverizare estimat prin aplicarea funcției F cu coeficienții calculați k , x și y .

Table 2

Measured and estimated values of spraying jet angle

Den. No.	α_i (°)	$\alpha_{\text{calculated}}$ [°]
0	83.8	88.07
1	102.644	101.898
2	109.548	110.973
3	112.634	117.897
4	118.442	123.565
5	85.05	87.464
6	106.736	101.197
7	115.796	110.209
8	127.972	117.086
9	129.756	122.715
10	87.566	87.112
11	100.174	100.789
12	110.546	109.765
13	114.38	116.615
14	118.464	122.22
15	90.632	86.863
16	102.404	100.501
17	112.91	109.452
18	117.652	116.281
19	122.254	121.871
20	84.284	86.67
21	94.832	100.278
22	105.61	109.209
23	113.744	116.023
24	117.974	121.6
25	88.654	86.513
26	99.27	100.096
27	108.3	109.011
28	114.668	115.813
29	122.364	121.38

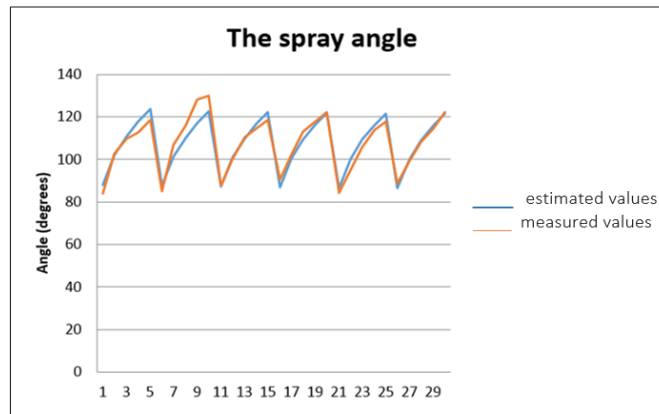


Fig. 3 – Evolution of jet angle for the two values (estimated and measured)

Definition of correlation coefficient:

Definitie coeficient de corelatie:

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (30)$$

În figura 3 are prezentate ca grafic valorile unghiului jetului obținute experimental și cele estimate. Calculând valoarea coeficientului de corelație R între cele două seturi de date, valoarea de 0,95579 este obținută, indicând o corelație directă între ele, fapt confirmat și de diagramele din figura 4.

În figura 3 se prezintă grafic valorile unghiului jetului obținute experimental și estimate. Calculând valoarea coeficientului de corelație R între cele două seturi de date se obține valoarea de 0,95579 ceea ce indică o corelație directă între ele, fapt confirmat și de diagramele din figura 4.

Modulul diferenței dintre valoarea obținută experimental și valoarea minimizată se calculează conform formulei (31) și se introduce în formula (32) pentru calculul abaterii maxime rezultate între cele două seturi de date:

Modulul diferenței dintre valoarea obținută experimental și valoarea minimizată se calculează conform formulei (31) și se introduce în formula (32) pentru calculul abaterii maxime rezultate între cele două seturi de date:

$$\Delta_i = \sqrt{(\alpha_{\text{calculat}} - \alpha_i)^2} \quad (31)$$

$$\frac{\max(\Delta) \cdot 100}{\min(\alpha_i)} = 12.99\% \quad (32)$$

In the following figures, the dependence of spraying jet angle, experimentally measured and estimated afterwards depending on input data (working pressure and nozzle diameter) is presented as a graphic.

În figurile următoare se prezintă grafic dependența unghiului jetului de pulverizare măsurat experimental și mai apoi estimate în funcție de datele de intrare: presiune de lucru și diametrul duzei.

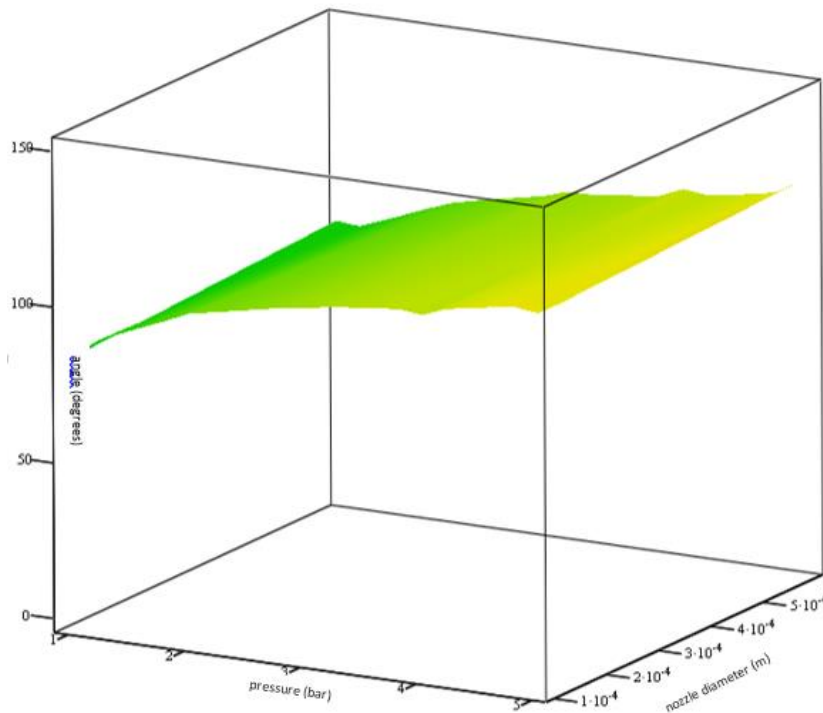


Fig. 4 - Variation of spraying jet angle according to working pressure and nozzle diameter (data experimentally obtained)

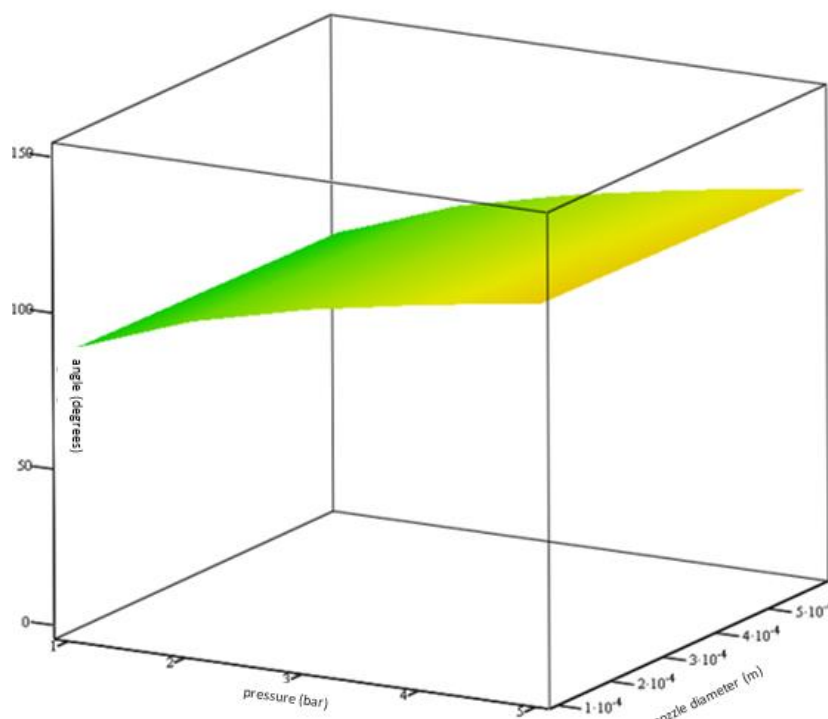


Fig. 5 - Variation of spraying jet angle according to working pressure and nozzle diameter (interpolated data)

CONCLUSIONS

Assuring a maximum efficiency of phytosanitary treatments in agricultural crops is possible by manufacturing sprayers equipped with high performance parameters spraying systems.

The repartition deviations at stand test are inherent even for a new nozzle, but they must frame within the suitable limits that should not affect the fragmentation repartition on working width of ramp, where nozzles repartitions are overlapping, and deviation of overlapping values should not surpass $\pm 5\%$.

Using the function proposed, it can be estimated with high precision the evolution of spraying jet according to working pressure and nozzle diameter. Therefore, this information can be useful when calculating the covering degree and rate of phytosanitary substance used for different crops.

For the present model, only two values have been taken into account, namely nozzle pressure and flow, measurements being performed with water as liquid. In order to continue the researches, three variable sizes will be introduced in the model: viscosity and density of the liquid and its temperature, in this case using the phytosanitary solutions for tests.

REFERENCES

- [1]. Baicu T. (1982) – *Integrated control of diseases and pests within crops pollution limiting*, CERES Publishing House;
- [2]. Bolintineanu Gh., Vlăduț V., Popescu M. (2006) - *Orientations, directions and requirements in the domain of the plant-sanitary protection equipment in terms of E.U. Romania's adhesion*, SCIENTIFIC PAPERS (INMATEH), vol. 18, no. 3/2006, pg. 115-125, Bucharest;
- [3]. Bolintineanu Gh., Pirmă I., Matache M., Uceanu E., Postelnicu E. (2008) - *Researches about testing plants protection machines, according to European norms in force* SCIENTIFIC PAPERS (INMATEH), vol.24, no. 1/2008, pg. 14-20, Bucharest;

CONCLUZII

Asigurarea unei eficiențe maxime a tratamentelor cu substanțe fitosanitare în culturile agricole de câmp este posibilă prin realizarea unor mașini de stropit echipate cu sisteme de pulverizare cu parametri superiori în procesul de lucru.

Abaterile de repartiție, la încercarea pe stand, sunt inerente chiar și pentru o duză nouă însă acestea trebuie să se înscrie în limite care să nu afecteze repartiția fragmentației pe lățimea de lucru a rampei, unde repartițiile duzelor se suprapun, iar abaterea valorilor de suprapunere să nu depășească $\pm 5\%$.

Folosind funcția propusă se poate estima cu o precizie destul de ridicată evoluția unghiului jetului de pulverizare în funcție de presiunea de lucru și de diametrul duzei. Astfel această informație poate fi utilă în calculul gradului de acoperire și al normei de substanță fitosanitară folosită de utilizator pentru diverse culturi.

În modelul luat în calcul s-au presupus ca variabile în timp doar două mărimi: presiunea și debitul duzei, măsurătorile realizându-se prin utilizarea ca lichid a apei. Pentru continuarea cercetărilor se vor introduce în model trei mărimi variabile: vâscozitatea și densitatea lichidului și temperatura acestuia folosindu-se pentru experimentări, în acest caz, soluții fitosanitare.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Baicu T. (1982) – *Combaterea integrată a bolilor și dăunătorilor în limitarea poluării pe culturi*, Editura CERES;
- [2]. Bolintineanu Gh., Vlăduț V., Popescu M. (2006) - *Orientari, directii si cerinte in domeniul echipamentelor pentru protectia fito-sanitara in pragul aderarii Romaniei la U.E.*, LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE (INMATEH), vol. 18, nr. 3/2006, pag. 115-125, Bucuresti;
- [3]. Bolintineanu Gh., Pirmă I., Matache M., Uceanu E., Postelnicu E. (2008) - *Cercetari privind testarea masinilor pentru protectia plantelor, conform normelor europene in vigoare*, LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE (INMATEH), vol. 24, nr. 1/2008, pag. 14-20, Bucuresti;

[4]. Brătucu Gh., (2000) – *Ecological technologies-compulsory prospect of modern farming*, EMA Publishing House, Braşov;

[5]. Heiayne G.C. (1979) – *Systems of applying pesticides, Imperial College Field, Station Slowd Park*;

[6]. Herbst E., Prüftechnik H. (2008) – *Testing of sprayers. Electronic analysis of test reports*, SCIENTIFIC PAPERS (INMATEH), vol. 24, no. 1/2008, pg.30-33, Bucharest;

[7]. Jiang X., Siamas G.A., Jagus K., Karayiannis T.G., (2010) – *Physical modelling and advanced simulation designed to flow of biphasic fluids in spraying processes*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 36, p. 131 - 167;

[8]. Langenakens J.J. (2008) - *Inspections of sprayers: what are the important issues on the standard EN13790*, SCIENTIFIC PAPERS (INMATEH), vol. 24, no. 1/2008, pg. 34-43, Bucharest;

[9]. Neagu T. și colab. (1982) – *Tractors and horticultural machines*, Didactical and Pedagogical Publishing House, Bucharest;

[10]. Paunescu I., David L. (1999) – *Bases of experimental research of biotechnical systems*, PRINTECH Publishing House, Bucharest;

[11]. Popescu M., Gângu V., Cojocaru I. (2007) – *Researches regarding the optimization of qualitative working indexes of sprayers in field crops*, SCIENTIFIC PAPERS (INMATEH 2007 - III), vol. 21, pg. 63-68, Bucharest;

[12]. Stahli W., Bungescu S. (2006) – *Apparata, equipment and machines for plant protection*, AGROPRINT Publishing House, Timișoara;

[13]. *** <http://www.lechler.de>

[4]. Brătucu Gh., (2000) – *Tehnologiile ecologice – perspectivă obligatorie a agriculturii moderne*, Editura EMA, Braşov;

[5]. Heiayne G.C. (1979) - *Sisteme de aplicare a pesticidelor*, Imperial College Field, Station Slowd Park;

[6]. Herbst E., Prüftechnik H. (2008) - *Testarea masinilor de stropit. Analiza electronica a rapoartelor de testare*, LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE (INMATEH), vol. 24, nr. 1/2008, pag. 30-33, Bucuresti

[7]. Jiang X., Siamas G.A., Jagus K., Karayiannis T.G., (2010) - *Modelarea fizică și simularea avansată pentru curgerea fluidelor bifazice în procesele de pulverizare*, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 36, p. 131 - 167;

[8]. Langenakens J.J. (2008) - *Inspeția mașinilor de stropit: care sunt noutățile importante în standardul EN 13790*, LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE (INMATEH), vol. 24, nr. 1/2008, pag. 34-43, Bucuresti;

[9]. Neagu T. și colab. (1982) - *Tractoare și mașini horticole*, Editura Didactică și Pedagogică București;

[10]. Paunescu I., David L. (1999) - *Bazele cercetării experimentale a sistemelor biotehnice*, Editura PRINTECH București;

[11]. Popescu M., Gângu V., Cojocaru I. (2007) - *Cercetări privind optimizarea indicilor calitativi de lucru ai mașinilor de stropit culturile de câmp*, LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE (INMATEH 2007 - III), vol. 21, pag. 63-68, Bucuresti;

[12]. Stahli W., Bungescu S. (2006) – *Aparate, echipamente și mașini pentru protecția plantelor*, Editura AGROPRINT, Timișoara;

[13]. *** <http://www.lechler.de>